



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

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



**Rapport**

**R40:1988**

**Förbättring av fönsters  
värmeisolering samt  
upplevelse av fönsterbyten**

**Agneta Olsson-Jonsson**

**Byggforskningsrådet**

R 40:1988

FÖRBÄTTRING AV FÖNSTERS VÄRMEISOLERING SAMT  
UPPLEVELSE AV FÖNSTERBYTEN

Agneta Olsson-Jonsson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
840955-1 från Statens råd för byggnadsforskning till  
inst för byggnadskonstruktionslära, LTH, Lund.

## REFERAT

Syftet med projektet var att samla ihop den kunskap som finns om fönster och hur de kan förbättras ur energisynpunkt. Kompletteringar i form av mätningar och beräkningar har gjorts där det finns luckor. Projektet behandlar fönster i flerbostadshus av olika åldrar.

Att förbättra fönster ur energisynpunkt innebär antingen att befintliga fönster förändras på olika sätt eller byts ut mot nya fönster med bättre termiska egenskaper.

Rapporten består av två huvuddelar. I den första delen - Tekniska förbättringar - redovisas mätningar och beräkningar på fönstertäthet och ventilation samt värmeförluster under mörker, utstrålningen mot himlen och inverkan av ventilation mellan vågar. Slutligen redogörs för mätningar på några olika sätt att minska värmeförlusterna hos fönster. Den andra delen - Upplevelse av fönsterbyten - behandlar människors upplevelse av fönster samt fasadförändringar i samband med fönsterbyten. Rapporten innehåller en kort historik om hur fönsters utseende och konstruktion har förändrats under 100 år.

I Byggeforskningsrådets 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.

R40:1988

ISBN 91-540-4896-6  
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Spångbergs Tryckeri AB, Stockholm 1988

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD	5
SAMMANFATTNING	7
Fönster i historisk återblick	7
Tekniska förbättringar	8
Upplevelse av fönsterbyte	11
BETECKNINGAR	12
Index	13
INLEDNING	15
Fönsterbeteckningar	17
<u>FÖNSTER I HISTORISK ÅTERBLICK</u>	18
INLEDNING	18
FÖNSTER I FASAD	20
1880-1900	20
1900-1920	21
1920-1930	23
1930-1950	24
1950-1980	25
Slutord	26
FÖNSTERNAS KONSTRUKTION OCH SNICKERIER	28
Fönsterkonstruktioner	28
Fönstersnickerier	29
FÖNSTERBYTEN IDAG	31
Inledning	31
Resultat	31
<u>TEKNISKA FÖRBÄTTRINGAR</u>	34
FÖRBÄTTRING AV FÖNSTERS TÄTHET	34
Inledning	34
Fönstertäthetsmätningar	34
Mätförfarande	34
Mätresultat	36
Luftomsättningsmätningar - ventilation i lägenheter	39
Mätförfarande	39
Mätresultat	41
Modellanpassning av mätningarna - JK-CIRCUS	46
Uteklimatets inverkan på luftomsättningen	56
Samband mellan luftomsättning och fönstertäthet	62
Mätresultat före och efter omtätning av fönster	68
Fönstertäthet	68
Luftomsättning	71
Slutsatser. Inverkan på värmebehovet	75

FÖNSTERS VÄRMEBALANS	78
Glaspartierts värmeförluster under mörker	78
Utstrålning mot himlen och dess inverkan på värmeförlusten	83
Teori och beräkningar	84
Mätförfarande	89
Mätresultat	90
Inverkan av ventilation mellan bågar	96
Försöket	96
Mätresultat	97
Något om fönsters energibalans	102
MINSKNING AV FÖNSTERS VÄRMEFÖRLUSTER	105
Inledning	105
Tredje rutan	105
Mätningar och mätresultat	106
Selektiva skikt	110
Mätningar och mätresultat	113
Nattisolering	114
Mätningar och mätresultat	115
Sammanställning av mätresultat. Slutsatser	122
<u>UPPLEVELSE AV FÖNSTERBYTE</u>	126
GRUPPERING AV FÖNSTER	126
Inledning	126
Första undersökningen	127
Uppläggning och genomförande av likhetsbedömningar	127
Resultat i korthet	128
Andra undersökningen	128
Uppläggning och genomförande av likhetsbedömningar, nya fönster	130
Kan de nya bedömningarna läggas till de gamla?	130
Analys av bedömningsresultat från två bedömnings- tillfällen	131
Analys av skillnader mellan försökspersoner	132
Statistisk bearbetning av likhetsbedömningarna, hela materialet	134
Experimentell analys av fönstergrupperna	139
Slutsatser	147
UTBYTBARHET I OLIKA FASADER	149
Inledning	149
Uppläggning och genomförande av egenskapsbedömningar	149
Resultat och analys av egenskapsbedömningarna	154
Variansanalys av bedömningsvärdena	159
Slutsatser	162
INDIVIDUELLA DIFFERENSER	164
Kön	165
Ålder	170
Slutsats	175
<u>LITTERATUR</u>	176
BILAGA 1	181
BILAGA 2	185

## FÖRORD

Denna rapport hänför sig till forskningsprojektet Förbättring av fönsters värmeisolering. I första delen av rapporten redovisas resultat från mätningar och beräkningar avseende olika tekniska förbättringar av befintliga fönster. I andra delen redovisas resultaten från en studie av människors upplevelse av fasadförändringar i samband med fönsterbyte.

Professor Bo Adamson har initierat projektet. Han har tillsammans med tekn dr Rikard Küller varit till stor hjälp under arbetets gång. Bertil Jonsson, Urban Lundh, Rolf Månsson, Bernhard Murd och Sven Paulsson har hjälpt mig med fält- och laboratoriemätningar. Jan Janssens och Johnny Kronvall har hjälpt till med datorbearbetning av mätvärden och även bidragit med värdefulla synpunkter på arbetet. Marianne Abrahamsson har renskrivit manuskriptet. I avsnittet Utbytbarhet i olika fasader har fönsternalternativen i "fotomodellerna" konstruerats av modellbyggare Lars Sjöstedt, Lund och foton har tagits av fotograf Peter Voitkans, Lund. Övriga foton i rapporten har jag tagit själv.

Till alla dessa och till alla andra som direkt eller indirekt hjälpt mig i mitt arbete vill jag framföra mitt varma tack.

Projektet har finansierats av Statens råd för byggnadsforskning.

Lund i mars 1988

Agneta Olsson-Jonsson





## SAMMANFATTNING

Syftet med projektet var att samla ihop den kunskap som finns om fönster och hur de kan förbättras ur energisynpunkt. Kompletteringar i form av mätningar och beräkningar har gjorts där det finns luckor. Projektet behandlar fönster i flerbostadshus av olika ålder.

Att förbättra fönster ur energisynpunkt innebär antingen att befintliga fönster förändras på olika sätt eller byts ut mot nya fönster med bättre termiska egenskaper.

Rapporten består av två huvuddelar. I den första delen, Tekniska förbättringar, redovisas mätningar och beräkningar på fönstertät-  
het och ventilation samt värmeförluster under mörker, utstrål-  
ningen mot himlen och inverkan av ventilation mellan bågar. Slut-  
ligen redogörs för mätningar på några olika sätt att minska vär-  
meförlusterna hos fönster. Den andra delen, Upplevelse av fön-  
sterbyten, behandlar människors upplevelse av fönster samt fasad-  
förändringar i samband med fönsterbyten.

Rapporten innehåller dessutom en kort historik om hur fönsters  
utseende och konstruktion har förändrats under 100 år.

### Fönster i historisk återblick

Fönsters utseende har förändrats mycket under årens lopp. Utseen-  
det har till största delen bestämts av hur stora glasrutor som  
kunnat tillverkas och hur stora hål som kunnat göras i väggen.  
Den vanligaste fönstertypen under slutet av 1800-talet och en bit  
in på 1900-talet var det s k krysspostfönstret. Detta var ett  
fyrluftsfönster med mitt- och tvärpost, som delade in fönstret i  
två små överbågar och två större nederbågar. Vid sekelskiftet  
blev det vanligt med spröjsar i överbågarna och senare även i  
nederbågarna. Fönsterna var oftast ganska smala och höga.

På 1920-talet ändrade fönsterna karaktär och blev bredare och  
lägre. Den vanligaste fönstertypen var tvåluftsfönster med spröj-  
sar, som indelade fönstret i sex rutor. På 1930-talet kom funk-

tionalismen. Fönsterna ökade i storlek. Treluftsfönster var den vanligaste fönstertypen. Under 1940-, 1950- och 1960-talen var det vanligt med stora glasrutor i fönsterna.

Energikrisen under 1970-talet ledde till vissa restriktioner av fönsterytan. Detta innebar att fönsterna blev mindre än tidigare.

Före 1920 hade fönsterna dubbla enkelbågar där den yttre bågen öppnades utåt och den inre inåt. Under 1920-talet började kopplade fönster användas. I dessa fönster var ytterbågen och innerbågen hopkopplade.

Ända fram till 1970-talet var tvåglasfönster med kopplade bågar den vanligaste fönsterkonstruktionen. Under 1970-talet kom treluftsfönster i olika konstruktioner.

Virket till fönstersnickerier valdes förr med omsorg. Det bästa virket sattes i bottenstyckena, eftersom dessa delar är de mest utsatta för väder och vind. Man använde kärnvirke, vilket är mycket hållbart. Virkeskvaliteten i nyare fönster är inte lika hög. De många rötskadade fönsterna från 1960- och 70-talen har emellertid lett till att kraven på träråvarans kvalitet ökat.

Hur fönsterbyten utföres idag har studerats. Det framgår att vid fönsterbyten förenklas oftast både utseendet och konstruktionen hos fönsterna. De nya fönsterna har färre lufter än de ursprungliga och spröjsarna försvinner. Storleken är vanligtvis densamma som ursprungsfönsternas. Materialet i fönstersnickerierna är i de flesta fall trä och de är oftast mörka till färgen. Vanligtvis byts fyrluftsfönster med krysspöst mot treluftsfönster med hel överbåge och två nederbågar.

#### Tekniska förbättringar

Tätheten hos befintliga fönster i flerbostadshus har bestämts med hjälp av ett mättält konstruerat enligt den s k "guarded pressure box"-principen. Mätningarna visar att flertalet fönster är mycket otäta. Knappt 15% av dem har acceptabel täthet. Fönsterkonstruktionen tycks inte ha någon betydelse för lufttätheten och inte

heller fönsternas ålder. Tätheten kan förbättras betydligt med hjälp av nya tätningslister av gummi och med noggrann justering av fönsterbågar och stängningsbeslag. Detta visar försök i laboratorium och fält.

Luftomsättningen i lägenheter i flerbostadshus har mätts med spårgasmetoden. Mätningarna är gjorda i husen i befintligt skick. Infiltrationen i självdragsventilerade lägenheter uppmättes i medeltal till 0.26 oms/h och normalventilationen i medeltal till 0.47 oms/h. I mekaniskt frånluftsventilerade lägenheter uppmättes infiltrationen i medeltal till 0.12 oms/h och normalventilationen i medeltal till 0.47 oms/h. Medeltalet för normalventilationen både i självdragsventilerade och frånluftsventilerade lägenheter ligger ganska rätt med avseende på hygieniska krav, men många av lägenheterna har för hög eller för låg ventilation.

En jämförelse har gjorts mellan uppmätt luftomsättning i självdragsventilerade lägenheter och beräknad luftomsättning med datorprogrammet JK-CIRCUS.

Uppmätt luftomsättning och fönstertäthet i självdragsventilerade lägenheter har korrelerats mot varandra, men inget klart samband har erhållits.

Beräkningar med JK-CIRCUS på en självdragsventilerad lägenhet visar att inom det normala vindområdet (2-8 m/s) minskar luftomsättningen med högst 0.1 oms/h, när tätheten hos fönsterna förbättras.

Mätningar av luftomsättningen före och efter omtätning av fönster i två självdragsventilerade lägenheter har gett skiftande resultat. I det ena fallet minskade luftomsättningen och i det andra ökade den, vilket gör att några generella slutsatser inte kan dras. Motsvarande mätningar i några frånluftsventilerade lägenheter visar att luftomsättningen påverkas endast i liten omfattning.

Utstrålningen från ett fönster under klara nätter kan bli hög beroende på att himlen har lägre temperatur än uteluften. Beräkningar och mätningar har gjorts på hur detta inverkar på värme-

förlusterna. Beräkningarna visar att vid låga utetemperaturer förändras fönstrets U-värde måttligt, dvs det sker en liten ökning då temperaturskillnaden mellan uteluft och omgivning ökar. Vid höga utetemperaturer däremot ökar U-värdet kraftigt med ökande temperaturskillnad. Mätningarna utfördes vid låga utetemperaturer och resultaten från dessa stämmer ganska väl överens med beräkningarna.

I fönster med kopplade bågar är luftspalten mellan bågarna ventilerad. Genom mätningar har ventilationens inverkan på värmeförlusterna studerats. Mätningarna visar att U-värdet ökar med ökande vindhastighet. Hur stor ökningen blir beror på fönsterkonstruktionen.

Olika sätt att minska värmeförlusterna genom tvåglasfönster har studerats. De system som provats är vanliga eller tänkbara för att förbättra befintliga fönster.

En tillsatsruta av vanligt fönsterglas förbättrar U-värdet med ca 30%, från 2.2 till 1.6  $W/^{o}Cm^2$ . Om tillsatsrutan förses med ett lågmissionsskikt blir det uppmätta U-värdet 1.33  $W/^{o}Cm^2$ , en förbättring på 40%. Då den inre rutan i tvåglasfönstret byts mot en ruta med lågmissionsskikt blir U-värdet 1.7  $W/^{o}Cm^2$ , dvs ungefär samma värde som fönstret med en extra ruta av vanligt fönsterglas.

Genom att förse fönster med en nattisolering kan värmeförlusterna genom fönstret minskas. Nattisoleringen kan bestå av fönsterluckor, rullgardiner, persienner eller liknande.

Den värmeisolerande förmågan hos fönsterluckor är beroende av lufttätheten kring dess kanter. Mätningar visar att vid en spaltvidd på 2 mm mellan lucka och fönster ungefär fördubblas U-värdet jämfört med helt tät lucka.

## Upplevelse av fönsterbyte

Människors upplevelse av fönster har studerats med hjälp av miljöpsykologiska metoder. Försökspersoner gjorde bedömningar av 25 fönster från olika tidsperioder. Fönsterna presenterades i form av diabilder i färg. Två olika försök gjordes. I det första försöket gjorde försökspersonerna likhetsbedömningar av fönsterna. Detta innebar att fönsterna visades parvis två och två och bedömdes med avseende på likhet. I det andra försöket bedömdes varje fönster för sig med avseende på olika egenskaper. De bedömda egenskaperna var valens, massa, form, artikulering, mening, yta, struktur, skala, ålder, färg och ljushet. Likhetsbedömningarna gav som resultat en uppdelning av de 25 bedömda fönsterna i fyra grupper. Av egenskapsbedömningarna framkom vilka egenskaper som var speciella för var och en av de fyra grupperna.

Hur människor upplever fönsterbyten har studerats på liknande sätt som fönster i studien ovan. Härvid fick försökspersoner göra egenskapsbedömningar av fyra fasader i vilka fönsternas utseende och färg hade varierats. Fönsteralternativen valdes så att betydelsen av ökad respektive minskad uppdelning av fönsterna kunde studeras.

Vid en liten förändring av fönsternas utseende, ökad eller minskad uppdelning, så förändras upplevelsen av fasaden endast lite. Stora förändringar av fönsternas utseende påverkar däremot fasadupplevelsen mycket, i allmänhet på ett negativt sätt. Färgen på fönsterna inverkar också till viss del på upplevelsen. Den har speciellt betydelse för hur färgrika och ljusa fasaderna upplevs.

För fönsterförsöket har den individuella differensen studerats, vilket innebär att man tar reda på om försökspersonernas kön och ålder påverkar bedömningarna. Studien visar att materialet är stabilt. Det finns inga större skillnader mellan mäns och kvinnors bedömning. Några skillnader finns emellertid mellan de yngstas och de äldstas bedömningar. De äldsta försökspersonerna bedömer gamla fönster vara äldre än vad de yngsta försökspersonerna gör.

## BETECKNINGAR

A	area	$m^2$
A	admittans	$m^3/sPa$
a	flödeskoefficient	$m^3/sm^2Pa^b$
$B_o$	permeabilitet	$m^2$
b	flödesexponent	-
c	specifikt värme	$J/^\circ Ckg$
c	spårgaskoncentration	ppm
h	skorstenshöjd	m
n	luftomsättning	oms/h
P	effekt	W
p	lufttryck	Pa
q	värmeflödestäthet	$W/m^2$
q	luftflöde	$m^3/s$
R	värmemotstånd	$^\circ Cm^2/W$
T	temperatur	K
t	tid	s
U	värme genomgångskoefficient	$W/^\circ Cm^2$
U,u	vindhastighet	m/s
V	volym	$m^3$
$\alpha$	värmeövergångskoefficient	$W/^\circ Cm^2$
$\epsilon$	emittans	-
$\epsilon$	råhet	m
$\eta$	dynamisk viskositet hos luft	$Ns/m^2$
$\theta$	temperatur	$^\circ C$
$\lambda$	värmeledningsförmåga	$W/m^\circ C$
$\lambda$	friktionsfaktor	-
$\mu$	formfaktor (vind)	-
$\xi$	förlustfaktor	-
$\rho$	densitet hos luft	$kg/m^3$
$\sigma_s$	Stefan Bolzmanns konstant $5.67 \cdot 10^{-8}$	$W/m^2K^4$
$\Phi$	värmeeffekt	W

Index

a omgivning  
c konvektion  
e yttre  
i inre  
r strålning  
se ytteryta  
si inneryta  
50 vid tryckskillnad 50 Pa  
m mark  
h himmel  
H horisontell  
V vertikal  
V ventilation  
F fönster  
L lucka





## INLEDNING

Fönster har till uppgift att föra in dagsljus i byggnader och att ge möjlighet till utblick. Fönster skall även uppfylla en del tekniska krav. De skall bl a vara barnsäkra, lufttäta, skydda mot buller och ljud utifrån och ha en viss värmeisolerande förmåga.

Fönster har under alla tider varit en byggnadsdel som utsatts för stora förändringar. Under de senaste åren har fönster förändrats på olika sätt i syfte att spara energi.

I energisparplanen från 1981 (prop 1980/81:133) påpekas att vid genomförandet av vissa energibesparande åtgärder måste speciella hänsyn tas till byggnadernas särart och miljömässiga värden. En åtgärd som kan påverka en byggnads utseende är just förändring av fönster. En undersökning utförd av Riksantikvarieämbetet visar att t ex fönsterbyte i många fall leder till stora yttre förändringar av byggnader (Antell, Paues (1981)).

Fönster har studerats inom många olika projekt vid institutionen för Byggnadskonstruktionslära, men även vid andra institutioner och högskolor i landet. Det finns således en ganska stor kunskap om fönster.

Syftet med projektet har varit att samla ihop den kunskap som finns om fönster och hur de kan förbättras ur energisynpunkt. Kompletteringar i form av mätningar och beräkningar har gjorts där det finns luckor.

Att förbättra fönster ur energisynpunkt innebär antingen att befintliga fönster förändras på olika sätt eller byts ut mot nya fönster med bättre termiska egenskaper. Båda dessa alternativ behandlas i projektet men på skilda sätt. Vid förändring av befintliga fönster studeras tekniska problem och vid fönsterbyte studeras estetiska problem.

De områden som valts för studier på den tekniska sidan är fönstertäthet och ventilation, värmeförluster under mörker, utstrålning mot himlen, inverkan av ventilation mellan vågar samt olika

sätt att minska värmeförlusterna hos fönster. På den estetiska sidan har valts att studera hur människor upplever fasadförändringar i samband med fönsterbyten där de nya fönsterna inte är en direkt kopia av de befintliga.

Förbättring av fönsters värmeisolering har således studerats på flera olika områden. Tanken med detta har varit att kunna ge en samlad bild av problemet. Därigenom har det inte funnits utrymme att fördjupa sig alltför mycket i enskilda detaljer.

Studierna har koncentrerats till flerbostadshus. Flerbostadshusens fasader dominerar gatumiljön mer än enbostadshusens. Detta har betydelse vid fasadförändringar i samband med fönsterbyten. Fönsterarean i förhållande till fasadarean är i allmänhet också större i flerbostadshus, vilket påverkar värmeförlusterna genom yttervägg och fönster.

Vid studien Upplevelse av fönsterbyten har endast förändringar i fasadens utsida studerats. De förändringar som kan uppstå invändigt, som t ex förändrade smygpaneler och förändrat ljusinsläpp, behandlas inte.

Vid experimentell bestämning av U-värden för fönster har för värmeövergångsmotstånden  $R_{si} + R_{se}$  använts värdet  $0.20 \text{ } ^\circ\text{Cm}^2/\text{W}$ . Därigenom kan värdena jämföras.

## Fönsterbeteckningar

I FIG.1 anges de termer som används för fönsters delar och fönsteruppdelning i lufter.

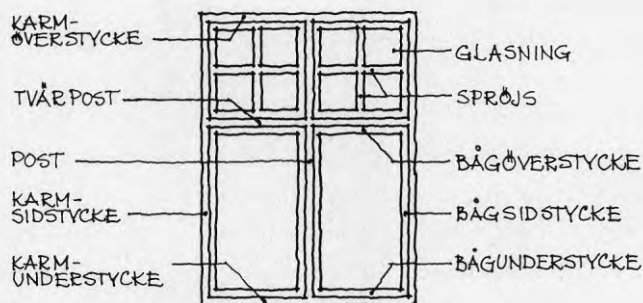
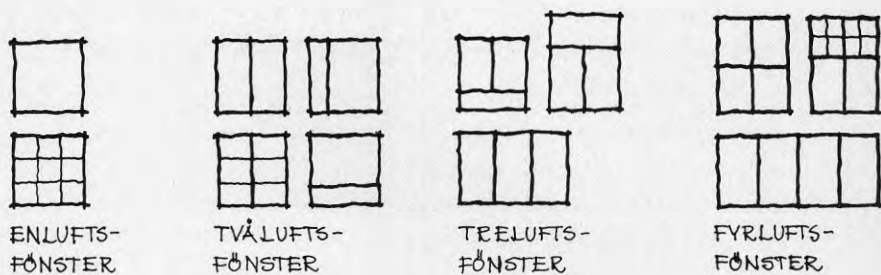


FIG.1 Benämningar på fönsterdelar och fönsteruppdelning.

## FÖNSTER I HISTORISK ÅTERBLICK

### INLEDNING

Det äldsta fönstret var bara ett hål i taket, som hade till uppgift att släppa ut röken från eldstaden och att samtidigt släppa in dagsljus. När skorstenen började användas, blev hålet i taket till ett rent ljusinsläpp. Det täcktes då med ett genomsiktligt material som t ex skrapade djurhudar, oljat papper eller fiskblåsor. Så småningom flyttades fönstret från taket ner på väggen där det var bättre klimatskyddat.

Glas är ett gammalt material. Det betraktades länge som en lyxvara. Glastillverkningen startade i Sverige på 1600-talet. Glaset kallades för kronglas eller månglas. Genom att hålla glasblåsarpipan rakt upp under blåsning fick man en tillplattad kula, som sedan överflyttades till ett roterande sknavelfläns. Man fick då en rund glasskiva som sedan delades i två halvmåneformade bitar. På detta sätt kunde man göra glasrutor som var ca 15x10 cm. Mot slutet av 1700-talet började man istället använda cylindermotoden. Denna innebar att man blåste en glascylinder vars ändar skars av. Cylindern klipptes upp, fläktes ut och värmdes till en plan skiva. Man kunde få ut glasrutor som var upp till 50x50 cm. Metoden förfinades med tiden så att större rutor kunde tillverkas. Den användes fram till 1920-talet då maskinglas började tillverkas. Glasformaten kunde då ökas.

Under medeltiden började glas allmänt användas för fönster i kyrkor och kloster. I bostadshus dröjde det ända till 1800-talet innan det blev vanligt med glas i fönster.

Fönster har till uppgift att släppa in dagsljus i en byggnad, liksom att ge byggnadens invånare möjlighet att blicka ut, se vad som händer utanför. Men fönster är också en del i en fasad, ett arkitektoniskt uttrycksmedel.

Fönsternas utseende har förändrats mycket under årens lopp. Utseendet har till största delen bestämts av hur stora glasrutor som kunnat tillverkas och hur stora hål som kunnat göras i vägg-

konstruktionen.

I det följande görs en historisk återblick på hur fönster och fasader sett ut i Skåne under de senaste 100 åren. Därefter följer ett avsnitt om fönsterkonstruktioner och fönstersnickerier. Kapitlet avslutas med ett avsnitt om hur fönsterbyten göres idag.

## FÖNSTER I FASAD

I Skåne är flerbostadshusen till övervägande del byggda i sten.

### 1880-1900

1880-talets fasader var symmetriskt uppbyggda med fönsterna placerade på jämna avstånd från varandra. Fasaderna putsades oftast. De var släta med kraftiga listverk mellan våningarna, vid takfoten och kring fönsterna. Detta gav fasaderna ett rikt skuggspel. Bottenvåningen var kvaderindelad, antingen putsad eller av sandsten.

Enklare hus putsades inte utan teglet användes som fasadmateriäl. Fasaderna var släta med kraftiga listverk mellan våningarna och med valvmurning över fönster- och dörröppningar. Ibland förekom även putsade fönsteromfattningar och kvaderputsad bottenvåning.

Fönsterna hade fyra lufter med mittpost och tvärpost, s k krysspostfönster. De nedre lufterna var ibland spröjsade. Fönsterna var höga och ganska smala. Eftersom ytterväggarna var bärande kunde bredden på fönsterhålet inte göras för stor. För att få in tillräckligt med ljus blev fönsterna därför höga.



FIG.2 Flerbostadshus från 1880-talet. Fönsterna placerades på jämna avstånd och de har detaljrika fönsteromfattningar.

Flerbostadshusens fasader på 1890-talet var rikt utsmyckade med listverk och fönsteromfattningar. Frontespiser, takkupor och torn var viktiga detaljer. Fasaderna var antingen i fasadtegel eller puts. Teglet kombinerades ofta med olikfärgad tegel eller natursten som dekoration. Bottenvåningen hade kvadrar av puts eller sandsten. I hus med tegelfasader var oftast bottenvåningen också i tegel. Gårdsfasaderna slätmurades med sparsamt listverk.

Fönsterna hade en friare placering i fasaden jämfört med tidigare. De hade vanligtvis fyra lufter med krysspöst. Fönsternas utseende kunde variera inom samma fasad. Det förekom fönster med både raka och rundade överstycken. Fönsternas tvärpost hade ofta en markering i fönsteromfattningen.



FIG.3 Flerbostadshus från 1890-talet.

#### 1900-1920

Vid sekelskiftet slog jugendstilen igenom. Man arbetade nu med friare former och förkärleken för svängda former går igen såväl i plan som fasad. I fasaderna fanns burspråk, frontespiser och balkonger. Fasaderna var släta, antingen putsade eller i tegel. Fönsteromfattningar var inte längre så vanliga, oftast markerades endast valvet över fönsterna. Fönsternas överbågar var spröjsade.

Spröjsarna var inte nödvändiga ur teknisk synpunkt utan de användes i ett rent arkitektoniskt syfte, vilket var något nytt. Fönsternas bredd liksom dess utseende varierade inom fasaden.



FIG.4 Flerbostadshus i jugendstil.

På 1910-talet kom nationalromantiken med sina släta tunga tegelfasader. Fasaderna hade burspråk och frontespiser, ofta asymmetriskt placerade. Fönsterna hade fyra eller sex lufter och samtliga bågar var spröjsade i många små rutor. Fasaderna gav ett sluttet intryck.



FIG.5 Flerbostadshus från 1910-talet.



1920-1930

På 1920-talet var fasaderna släta och enkla med få utsmyckningar. Burspråk, frontespiser och andra fasaddetaljer var mycket strikta i sin karaktär, oftast med klassicistiska drag. Arkitekturen var influerad av samtida byggande i Danmark och Nordtyskland. Fasadmaterialet var vanligtvis rött tegel.

Fönsterna ändrade nu karaktär. Från att ha varit smala och höga blev de bredare och lägre. Den vanligaste fönstertypen var tvåluftsfönster med spröjsar, indelade i sex rutor. Fyrluftsfönster med krysspost och spröjs i nederbågen förekom också.

Husen ingick oftast i storgårdskvarter och därför blev gatufasaderna inom kvarteret mer enhetliga, jämfört med äldre kvartersbebyggelse.



FIG.6 Flerbostadshus från 1920-talet, 20-talsklassicism.

1930-1950

Funktionalismen slog igenom på 1930-talet. Det förespråkades då äkthet och renhet och vikten av ljus och luft betonades. De gamla byggnadskvarteren upplöstes till förmån för lamellsystemet med friliggande, parallellställda huslängor.

Fasaderna var släta och enkla, antingen i tegel eller puts. I fasaderna var balkonger vanliga, oftast med räcken i smide. Som dekoration på de annars släta fasaderna kunde man se små blommor eller figurer. Fönsterna ökade i storlek, beroende på att stora fönsteröppningar kunde överbryggas med armerad betong, men också att glasformaten kunde ökas på grund av tillgång på maskintillverkat glas. Treluftsfönster var den vanligaste fönstertypen, men även tvålufts- och fyrluftsfönster förekom. Spröjsarna var borta.

På 1940-talet var fasaderna mycket detaljfattiga. Balkonger fanns på de flesta flerbostadshusen. Fönsterna var oftast placerade på jämna avstånd. Tvålufts- och fyrluftsfönster var vanligast, oftast med en kvadratisk form. Stora fönster med stora glasytor förekom också. Spröjsar användes ibland som dekor.

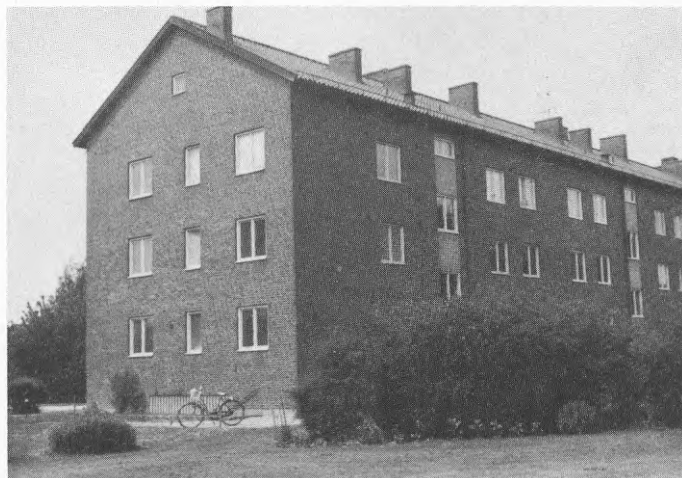


FIG.7 Flerbostadshus från 1940-talet.

1950-1980

Fasaderna var även under denna period släta och enkla. Många olika fasadmateriäl användes som t ex puts, tegel, betong och plattor av olika slag.

Under 1950-talet var tvåluftsfönster med en liten och en stor fönsterbåge vanliga. Den lilla fönsterbågen fungerade som en ventilationsbåge. På 1960-talet kom fönster med en separat gallerförsedd ventilationsbåge. Pivåfönster eller s k perspektivfönster, vilka var vridbara kring en horisontell axel, blev vanliga under 1950- och 1960-talen. De introducerades dock redan under 1930-talet, men de var svåra att få täta, varför det dröjde innan de kunde användas mer allmänt.



FIG.8 Flerbostadshus från 1950-talet.

Energikrisen under 1970-talet ledde till att man i Svensk Byggnorm införde restriktioner angående fönsterarea större än 15% av våningsytan. Detta innebar att fönsterna blev mindre än tidigare. Fönsternas utseende varierade en hel del, man använde både poster och spröjsar i fönsterna.



FIG.9 Flerbostadshus från 1970-talet.

### Slutord

Fönster är en viktig del i en byggnads arkitektoniska utseende. Fönsternas indelning med poster och spröjsar har ofta medverkat i utformningen av fönsteromfattningar och andra fasaddekorationer. Ett exempel på detta är att dekorationslinjer i fasaden ofta lades i samma höjd som tvärposten i krysspöjsfönster, så att en obruten horisontell linje erhöles.

Genom att variera placeringen av fönsterna i ytterväggen kan fasaden ges olika utseende och uttryck. Ett fönster placerat i fasadliv blir ett med ytterväggen medan ett indraget fönster blir ett hål i väggen.

Beskrivningen av fönstertyper från olika tidsperioder kan ge intryck av att det finns klara gränser för förekomsten av de olika typerna. Så är emellertid inte fallet, utan många av fönstertyperna förekom parallellt under de olika tidsperioderna.

Färgen på fönsterna har också varierat under åren. Fram till ca 1910 var fönstersnickerierna mörka, vanliga färger var rödbrunt, brunt eller grönt. Därefter förekom både mörka och ljusa färger,

blått. På 1940- och 1950-talen var det vanligt med tvåfärgade fönstersnickerier, bågarna var vita medan karmarna var mörka i t ex blått eller grönt. På 1970-talet blev det vanligt med mörklaserade fönster.

## FÖNSTERNAS KONSTRUKTION OCH SNICKERIER

Fönsterkonstruktioner

Att använda tvåglasfönster tycks vara en gammal sed i Sverige. Före 1920 hade fönsterna dubbla enkelbågar där den yttre bågen öppnades utåt. De inre bågarna var i början lösa och sattes in i fönstret under vinterhalvåret. Innerbågarna tätades inifrån med klisterremсор av papper och nertill mellan bågarna lades in vadd, som skulle suga upp fukt. I varje rum var oftast en innerbåge öppningsbar för vädring. I början av 1900-talet blev det vanligt med gångjärnshängda innerbågar, vilka öppnades inåt. I FIG.10 visas hur ett krysspostfönster med dubbla enkelbågar var konstruerat.

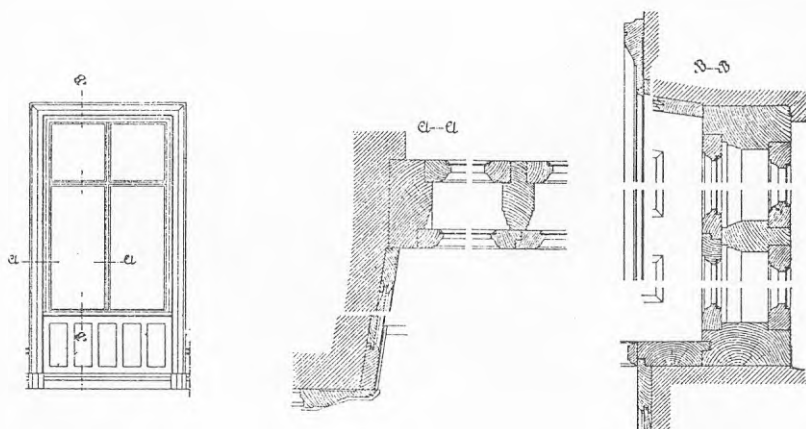


FIG.10 Krysspostfönster med detaljer. Dubbla enkelbågar och panel med fönsterfoder på insidan, enligt Kjellin, Hökerberg (1928).

Under 1920-talet började kopplade fönster användas. I dessa fönster var ytterbågen och innerbågen hopkopplade. De kopplade fönsterna gjordes såväl inåtgående som utåtgående. I byggnader med flera våningar ansågs det säkrare med inåtgående bågar än med utåtgående. I FIG.11 visas konstruktionen för ett inåtgående kopplat fönster.

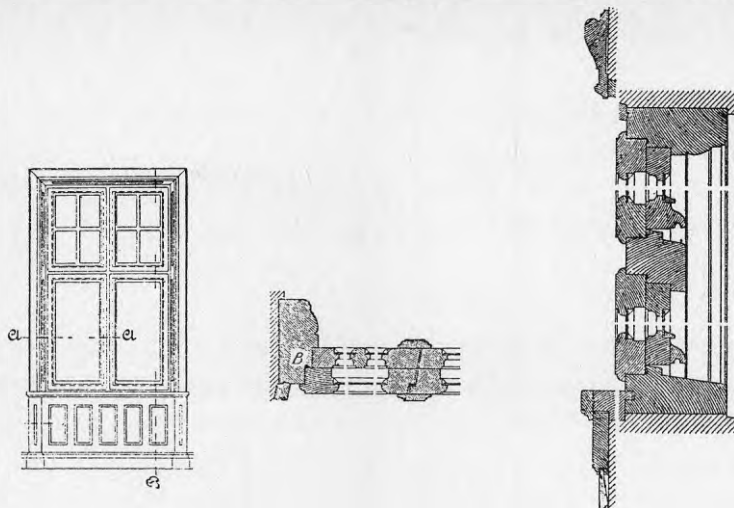


FIG.11 Kopplat inåtgående fönster och panel med fönsterfoder på insidan, enligt Kjellin, Hökerberg (1928).

Konstruktionen av kopplade bågar har förändrats under årens lopp. Olika snickerifabriker, som tillverkade fönster, hade var och en sin egen standard. 1945 utgavs av Byggstandardiseringen den första svenska officiella standarden för fönster och fönsterdörrar. Efter hand som man fick erfarenhet av olika konstruktioners lämplighet reviderades standarden med jämna mellanrum. Exempel på nyare konstruktioner redovisas längre fram i rapporten.

Ända fram till 1970-talet var tvåglasfönster med kopplade bågar den vanligaste fönsterkonstruktionen. Under 1970-talet började treglasfönster att användas i syfte att spara energi. De kunde utföras med tre kopplade bågar eller med två bågar med en enkel ruta i ena bågen och en förseglad ruta i den andra. Förseglade treglasrutor i en enkelbåge förekom också.

### Fönstersnickerier

Virket till fönstersnickerier valdes förr med omsorg. Det bästa virket sattes i bottenstyckena, eftersom dessa delar är de mest utsatta för väder och vind. Bra virke får man om träden har ett långsamt växtsätt, på hedar och moar. Norrslutningar gav rak-

vuxet, tätt virke.

Förr fälldes träden först när de var fullvuxna. De fälldes under december-februari då savbildningen var liten. En låg livskraft vid fällning gör att trädet spricker mindre. Träden barkades vanligtvis redan vid fällningen, vilket minskar angrepp av blåråta och skadeinsekter.

Ringbarkning var tradition fram till sekelskiftet. Ringbarkning innebär att träden barkas av 50 cm upp på stammen, sex månader innan de fälles. Detta förfaringsätt ger en ökning av hartsämnen, som är en typ av impregnering.

I äldre fönstersnickerier använde man kärnvirke. Kärnved är mycket hållbar och är bättre än splintved. Kärnved är den ved som slutat växa. I och med att kvaliteten på virket var så hög, kunde bågar, karmar och andra fönsterdelar göras mycket smäckra.

Under 1960-talet skedde stora förändringar inom skogsvården som ledde till en annorlunda hantering av träråvaran (Bjerking (1979)). Enligt Bjerking gör man nu inget särskilt urval till fönsterträ, vilket gör att också snabbt växande träd med glesa årsringar används. Vidare fäller man träden året om, även under augusti och september då rötrisen är störst. Efter sågningen torkas virket artificiellt 4-5 dagar. Förr fick virket lufttorka under lång tid, 6-10 månader innan det användes. De många rötskadade fönsterna från 1960- och 1970-talen har emellertid lett till att kraven på träråvarans kvalitet ökat.

Fönsterkarmar och fönsterbågar utformades i äldre hus med rik profilering. Under åren har profileringen försvunnit och numera görs fönsterkarmar och bågar helt släta. Färgen på fönstersnickerier invändigt var förr alltid vit oavsett vilken färg de hade utvändigt. Fönstersmygen var också vit, vilket bidrog till att dagsljuset spreds in i rummet på ett behagligt sätt. Under senare år har fönsterna oftast målats i samma färg invändigt som utvändigt.



## FÖNSTERBYTEN IDAG

### Inledning

Inom projektet "Utbyte av fönster - Upplevelse av fasadförändringar", Olsson-Jonsson (1984), gjordes en studie av hur man utför fönsterbyten idag. Tanken var inte att göra någon täckande undersökning utan att få en uppfattning om hur fönsterbyten göres, dvs vilken typ av fönster som bytes ut och hur de nya fönsterna ser ut med avseende på form, färg osv. Studien har gjorts i Malmö och Lund.

### Resultat

I de flesta fallen har man valt fönster i samma storlek som de ursprungliga. I de fall man satt in mindre fönster än tidigare så är det framför allt höjden man minskat på. De nya lägre fönsterna har vanligtvis placerats i ovankant på fönsterhålet och utrymmet under har fyllts igen. I en hel del fall har insticksfönster använts. Detta innebär att de gamla karmarna behålls och de nya fönsterna monteras i dessa. Fördelen med metoden är att fasaden kring fönsterna inte skadas. Nackdelen är att de nya fönsterna blir mindre än de tidigare, glasytan minskar och trädetaljerna runt fönsterna kan se kraftiga ut. Det vanligaste är dock att ta bort de gamla fönsterna helt innan de nya monteras.

Det är mycket sällan man byter till likadana fönster som tidigare. Oftast har de nya fönsterna färre lufter än de gamla. Den fönstertyp som huvudsakligen byts ut är fyrluftsfönster med krysspöst. De byts oftast mot treglasfönster med hel överbåge och T-post.

I några fall har man med hjälp av spröjsar försökt efterlikna det gamla fyrluftsfönstret.



FIG.12 Fyrlufts-fönster byts ut mot trelufts-fönster med T-post. De nya fönsterna är mindre än de gamla och placeras i ovankant på fönsterhålet.

Många äldre fönster har ett välvt karmöverstycke som följer valvet över fönstret. När man idag byter ut dessa fönster mot nya, använder man vanligtvis rektangulära fönster och fyller igen den överblivna valvsektorn med något material.

I samband med fönsterbyte försvinner oftast spröjsar. Det är endast i undantagsfall som den gamla spröjsindelningen har behållits.

Fönsterkonstruktionen ändras vanligtvis i samband med bytet, vilket innebär att utåtgående fönster byts mot inåtgående eller pivåhängda fönster. Materialet i de nya fönsternas bågar och karmar är i de flesta fall trä. I några fall har man satt in aluminiumfönster.

De nya fönsterna är oftast laserade i mörk färg. Endast i enstaka fall har man satt in fönster med ljus färg.

Nya standardfönster kan verka klumpiga i en gammal fasad, beroende på att snickeridetaljerna är grövre än i äldre fönster. Glasytan blir följaktligen också mindre. Det finns emellertid möjlighet att få fönster med mindre dimensioner på karmar och bågar. Det vore önskvärt att sådana fönster användes i större utsträckning, speciellt vid insticksfönster. Snickeridetaljerna i nya fönster saknar också profilering, vilket invändigt kan upplevas negativt.

Många av fasaderna har förändrats på ett negativt sätt genom fönsterbyten, dock inte alla. Det finns flera exempel där man ägnat stor omsorg om fönsterbytet och fått ett lyckat resultat. Här gäller det inte bara omsorg om det nya fönsterutseendet utan även omsorg om kringarbetena. Att resultatet blir bra behöver nödvändigtvis inte innebära att man byter till exakt likadana fönster som tidigare. Huvudsaken är att man försöker behålla något av husets ursprungliga karaktär. Här spelar färgen på fönstersnickerierna spelar en viktig roll.

## TEKNISKA FÖRBÄTTRINGAR

### FÖRBÄTTRING AV FÖNSTERS TÄTHET

#### Inledning

Konditionen hos flerbostadshus har av författaren studerats inom ett par olika BFR-projekt vid institutionen. Inom projektet "Energibesparing i befintliga flerfamiljshus genom byggnadstekniska åtgärder" har ett antal flerbostadshus, byggda 1860-1960, i Malmö, Eksjö och Gävle undersökts med avseende på bl a luftomsättning och fönstertäthet (Olsson-Jonsson (1980)). Samma typ av mätningar har gjorts i ett höghus i Malmö byggt 1971 inom projektet "Energianvändning och energibesparing i Malmö" (Jensen, Lange (1982)). Inom projektet "Planering av energibesparande åtgärder inom kommun" har ett antal luftomsättningsmätningar i flerbostadshus i Malmö utförts i samband med kommunens besiktningens verksamhet för energisparplanering (Olsson-Jonsson (1982)).

De här redovisade fönstertäthetsmätningarna utfördes 1975-78 och luftväxlingsmätningarna utfördes 1976-80. Kompletterande mätningar av luftväxling gjordes 1986.

#### Fönstertäthetsmätningar

##### Mätförfarande

För att mäta tätheten hos fönster har konstruerats ett mättält, FIG.13. Detta är uppbyggt enligt den s k "guarded pressure box" principen. Ett tält fästes omkring fönstret på fasadens insida. Utanför detta tält anbringas ett skyddstält. Med hjälp av fläktar skapas i de båda tälten ett övertryck eller undertryck i förhållande till fönstrets utsida. Trycket regleras så att det blir lika stort i båda tälten. Härvid sker ingen luftströmning från det ena tältet till det andra. På grund av tryckskillnaden över fönstret kommer luft att strömma ut eller in genom otätheter i fönstret. Storleken på luftmängden, som strömmar ut eller in, registreras av en mätare placerad i luftkanalen till innertältet.

På detta sätt kan luftläckaget genom fönstret bestämmas vid olika tryckskillnader. Luftläckagets storlek fås som funktion av tryckskillnaden mellan innertältet och fönstrets utsida.

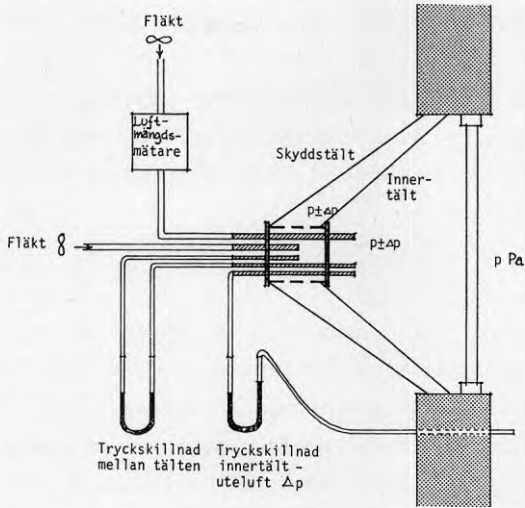


FIG.13 Principskiss över metod att mäta täthet hos fönster.

De båda tälten har tillverkats av transparent plastfolie, vilket har medfört att man kunnat observera hur både fönstret och tälten uppför sig under provet. Tälten har först fästs på en tub igenom vilken samtliga anslutningar varit dragna. Därefter har de fästs med tejp antingen i fönsternischen om den varit tillräckligt stor eller på väggen som omger fönstret.

Tryckskillnaderna har uppmätts med spritmanometrar. För registrering av luftmängden som strömmar in eller ut har använts en lägenhetsgasmätare för stadsgas. Luftflödena från fläktarna till tälten har reglerats med hjälp av varvtalsändring av fläktarna. Avläsning har gjorts då tälten varit i jämvikt samt då luftflödena varit konstanta.

För täta fönster har mätningarna tillgått så att tryckskillnaden över fönstret har stegvis ökat från 0 Pa till ca 300 Pa. Detta värde motsvarar en vindhastighet av 20-25 m/s och har ansetts som en rimlig gräns då det är få dagar som det blåser så mycket eller

mer. För otäta fönster är det däremot svårt att komma upp i höga tryckskillnader. Här har i stället tryckskillnaden över fönstret stegvis ökats från 0 Pa upp till det värde vid vilket luftläckaget är ca  $30 \text{ m}^3/\text{h}$ , som utgör övre gränsen för mätutrustningen.

Sedan något av gränsvärdena uppnåtts har tryckskillnaden stegvis minskats till 0 igen. Därefter har tryckskillnaden åter ökats till gränsvärdena. Detta innebär att för varje fönster har tre mätpunktsföljder erhållits. Mätpunktsföljderna har legat väl samlade för samtliga undersökta fönster. Samma förfarande har tillämpats för både över- och undertryck.

#### Mätresultat

Antalet fönster som undersökts är 21 st, i lägenheter i Malmö, Eksjö och Gävle. Resultaten av mätningarna redovisas i FIG.14. Täthetskurvorna är numrerade från den otätaste till den tätaste. Kurvorna anger luftläckaget mellan karm och båge samt mellan karm och vägg. Det saknas täthetskurvor för några fönster i FIG.14b, beroende på att alla fönster inte har testats för både övertryck och undertryck på insidan. I FIG.14a kan luftläckaget för fönsterna jämföras med luftläckaget för ett nyare fönster.

Figuren visar att de flesta fönsterna är mycket otäta. Det är endast tre fönster (18-20) som har acceptabel täthet. Två av dessa är den äldre fönstertypen med dubbla enkelbågar tätade på gammalt sätt med klisterremсор över springan mellan innerbåge och karm. Flertalet fönster är tätade med textillister eller skumplastlister, vilka åldras snabbt och förlorar sin tätningsförmåga. De otätaste fönsterna saknar helt tätningslister.

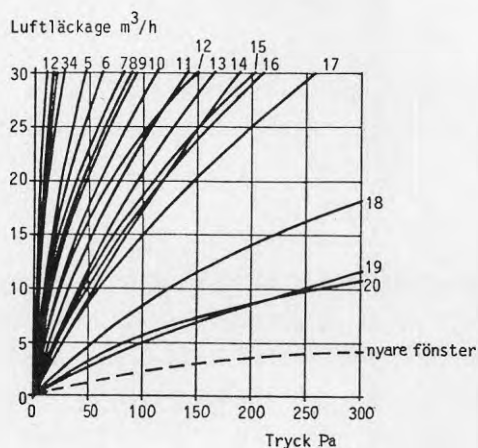
Fönstertypen tycks inte ha någon betydelse för lufttätheten. Inte heller fönsternas ålder påverkar dess täthet.

Nr	Fönstertyp	Tätning- lister	Bygg- nadsår	Ort
1.a	Kopplade utåtgående bågar	saknas	1835 <sup>1)</sup>	Eksjö
b	Dubbla enkelbågar	saknas	1905	Eksjö
2.	Kopplade utåtgående bågar	textillist	1898 <sup>1)</sup>	Eksjö
3.	Dubbla enkelbågar, båda inåtgående	saknas	1898	Malmö
4.	Dubbla enkelbågar	textillist	1922	Malmö
5.	Kopplade inåtgående bågar	skumplast	1946	Gävle
6.	Kopplade inåtgående bågar	textillist	1927	Gävle
7.	Dubbla enkelbågar	skumplast	1922	Malmö
8.	Kopplade utåtgående bågar	textillist	1920	Malmö
9.	Perspektivfönster	V-list i plast +textillist	1955	Malmö
10.	Kopplade inåtgående bågar	metallskena+ textillist	1939	Gävle
11.	Kopplade inåtgående bågar	textillist	1922	Malmö
12.	Kopplade inåtgående bågar	textillist	1922	Malmö
13.	Kopplade utåtgående bågar	textillist	1884 <sup>1)</sup>	Eksjö
14.	Kopplade utåtgående bågar	textillist	1950	Eksjö
15.	Dubbla enkelbågar och kopplade inåtgående bågar	skumplast+ textillist	1922	Malmö
16.	Kopplade inåtgående bågar	textillist	1941	Malmö
17.	Dubbla enkelbågar med klistrade innerbågar	klisterremсор	1835	Eksjö
18.	Kopplade inåtgående bågar	V-list i plast	1955	Malmö
19.	Dubbla enkelbågar med klistrade innerbågar	klisterremсор	1927	Gävle
20.	Dubbla enkelbågar med klistrade innerbågar	klisterremсор	1899	Gävle

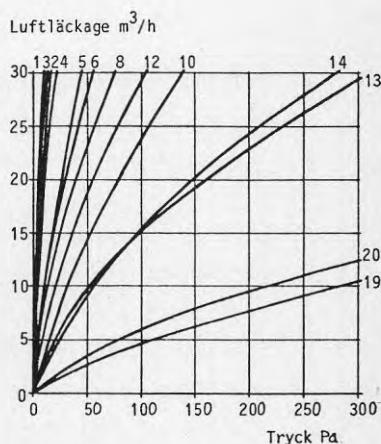
## Nyare fönster:

Treglasfönster, inåtgående kopplade bågar	1976	Vetlanda
--	------	----------

1) Fönsterna utbytta sedan byggnadsåret.



a. Övertryck på fönsternas insida



b. Undertryck

FIG. 14 Luftläckage genom de undersökta fönsterna vid övertryck resp undertryck på fönsternas insida.

Normvärdena för nya fönsters luftläckage mellan karm och båge är  $1.7 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  vid 50 Pa och  $5.6 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  vid 300 Pa tryckskillnad över fönstret. Av de undersökta fönsterna klarar endast två st normerna. Övriga fönster ligger över normvärdena (FIG.15).

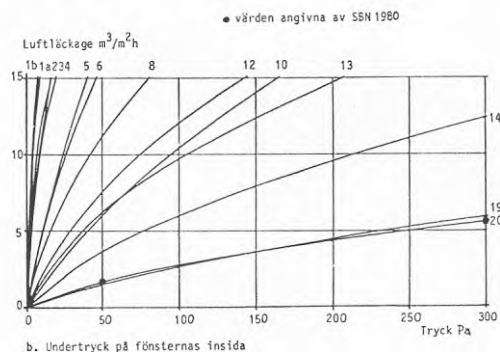
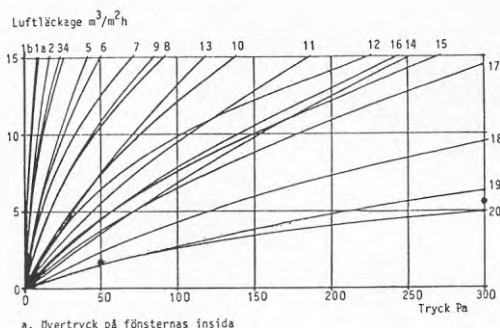


FIG.15 Luftläckaget i  $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$  genom de undersökta fönsterna vid övertryck resp undertryck på fönsternas insida. Ang siffrorna på kurvorna, se FIG.14.

Vid jämförelse mellan kurvorna för luftläckaget vid övertryck resp undertryck för olika fönstertyper visar sig följande. För inåtgående kopplade bågar är kvoten mellan luftläckaget vid undertryck på insidan och luftläckaget vid övertryck på insidan i medeltal 1.08 (0.92-1.23), dvs luftläckaget ökar vid undertryck på insidan. Motsvarande kvot för utåtgående kopplade bågar är i medeltal 0.89 (0.70-1.09), dvs luftläckaget minskar vid undertryck. För fönster med dubbla enkelbågar, en inåtgående och en utåtgående, är kvoten i medeltal 1.04 (0.87-1.19). Även för dessa



fönster ökar luftläckaget något vid undertryck invändigt. I siffrorna ovan ingår endast fyra fönster för varje fönstertyp, varför man får vara försiktig med att dra generella slutsatser.

### Luftomsättningsmätningar - ventilation i lägenheter

#### Mätförfarande

En lägenhets luftomsättning anger hur många gånger inneluften byts ut mot uteluft per tidsenhet.

Luftomsättningarna har mätts med spårgasmetoden. Härvid har använts en gasanalysator som mäter koncentrationen av i lägenheten utsläppt lustgas ( $N_2O$ ). Hastigheten varmed gaskoncentrationen avtar är beroende av ventilationen. Ju större ventilationen är desto snabbare sjunker gaskoncentrationen.

Luftomsättningen kan beräknas enligt en massflödesbalans, vilken säger att ändringen av mängden spårgas i rummet är lika med den mängd gas som bortföres med utsugen luft.

Om spårgaskoncentrationen är  $c$  vid tiden  $t$  och  $c+dc$  vid tiden  $t+dt$  så gäller under förutsättning att spårgasen normalt ej förekommer i luften

$$-V dc = n V c dt$$

där

$$V = \text{rummets volym (m}^3\text{)}$$

$$n = \text{luftomsättning (oms/h)}$$

Detta ger

$$n dt = - \frac{dc}{c}$$

Randvillkoret  $c=c_0$  då  $t=0$  ger efter integrering

$$n = \frac{1}{t} \ln \frac{c_0}{c}$$

Vid tidpunkterna  $t_1$  och  $t_2$  göres mätningar varvid de erhållna gaskoncentrationerna är  $c_1$  respektive  $c_2$ . Ekvationen ovan ger då

$$n = \frac{1}{t_1} \ln \frac{c_0}{c_1} \quad \text{resp} \quad n = \frac{1}{t_2} \ln \frac{c_0}{c_2}$$

Förenkling ger

$$n = \frac{\ln(c_1/c_2)}{t_2 - t_1}$$

Vid mätningarna har använts en gasanalysator av typ URAS 7N. Luft har uppsamlats i fyra punkter i lägenheten, blandats samman och blandningens gaskoncentration har registrerats av gasanalysatorn. Denna har kopplats till en skrivare som registrerat gaskoncentrationen kontinuerligt. Detta mätförfarande medför att ev störningar lätt har kunnat observerats. Luftomsättningen  $n$  har erhållits genom att på den kurva skrivaren ger avläsa två värden på gaskoncentrationen vid olika tidpunkter och sätta in dessa i ekvationen ovan.

Mättiden för varje mätobjekt har normalt varit mellan 4-8 timmar. I några fall har mätningar pågått under längre tidsperioder, allt ifrån ett par dygn till 1 månad. I dessa fall har det inneburit flera mätningar under lång tid.

Vind och temperaturdifferens ute-inne har betydelse för vilket värde som erhålls på ventilationen. Därför har vindhastighet samt inom- och utomhustemperatur registrerats vid varje mättilfälle. Mätningarna har huvudsakligen utförts under vinterhalvåret då temperaturskillnaden mellan uteluft och inneluft är störst.

Luftomsättningen har studerats för 2 olika fall, infiltration och normalventilation. Infiltrationen (ofrivillig ventilation) innebär att samtliga ventilationsdon är tätade så att endast luftläckaget genom otätheter i väggar och fönster erhålles. Detta innebär i och för sig ett onormalt driftfall och man kan inte utan vidare addera denna infiltration till den avsedda ventilationen.

Mätningen ger emellertid en uppfattning om byggnadshöljets tät-  
het. Normalventilationen innebär att inga ventilationsdon är  
tätade och att de ventilationsdon är öppna som normalt skall vara  
öppna.

### Mätresultat

Luftomsättningen har mätts i 29 lägenheter med självdragsventila-  
tion och i 17 lägenheter med mekanisk frånluftsventilation.

#### Självdragsventilation

Av de undersökta lägenheterna är 19 st belägna i Malmö, 5 st i  
Eksjö och 5 st i Gävle. Resultaten av mätningarna redovisas i  
TAB.1. I tabellen redovisas de uppmätta värdena, dvs ingen kor-  
rigering för vind- och temperaturförhållanden vid mättillfället  
har gjorts. Mätvärdena är grupperade efter husens ålder.

Medelvärdet för infiltrationen ligger på 0.26 oms/h och för nor-  
malventilationen på 0.47 oms/h. Medeltalet för normalventilatio-  
nen ligger ganska rätt med hänsyn till hygieniska krav, men många  
lägenheter har för stor eller för liten ventilation. Detta fram-  
går också tydligt av FIG.16 som visar histogram över infiltration  
och normalventilation.

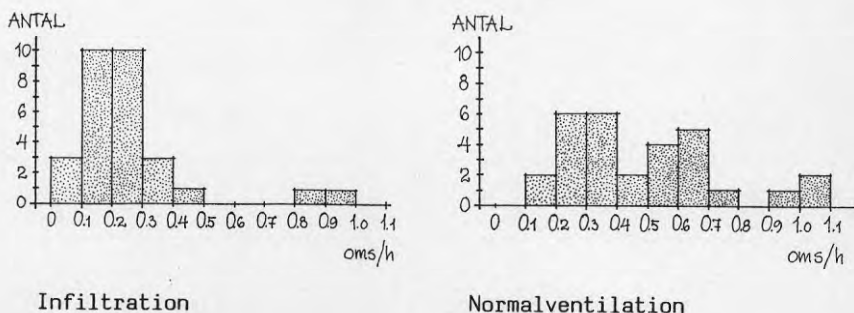


FIG.16 Histogram över uppmätt infiltration och normalventilation  
för 29 lägenheter med självdragsventilation.

TAB.1 Uppmätta värden på ventilationen i lägenheter med självdrags-  
ventilation. Malmö, Eksjö, Gävle.

Fastighet	Bygg- nads- år	Vindhastighet (m/s) Vindriktning	Temperatur- skillnad ute-inne (°C)	Infiltra- tion (oms/h)	Normal- venti- lation (oms/h)
Societeten 1	1835	0.25- 0.75 N	21-22	0.92	1.00
Norrström 1	1884	0.1 - 0.3 N-NO	20	0.23	0.29
Morkullan 9	1894	0 - 1.3 S	23.5	0.46	0.69
Flora 1	1897	1.6 - 2.0 SO	3	0.16	0.18
Kaninen 7	1898	0.3 N	24	0.87	1.00
Borgmästaren 5	1898	0.5 - 0.8 O	25	0.24	0.36
Josefina 3	1898	0.1 - 3.9 V	9.5	0.26	0.30
Reval 3	1899	0.2 - 1.4 V	20-22	0.29	0.54
Biet	1905	1.5 O	19-23	0.36	0.35
Åkermyntan 1	1920	1.2 N	17	0.35	0.60
Hugo 17	1922	1.8 - 2.6 N	15	0.15	0.24
Kvartersmästaren 2	1927	0.1 - 0.3 V	17.5-23	0.16	0.23
Kvartersmästaren 2	1927	0.4 - 1.1 V	20-25	0.38	0.55
Gotthard 6	1930	2.3 - 2.6 O	17	0.22	0.38
Balder 12	1934	2.2 - 3.8 SO	13	0.17	0.33
Lärkträdet 5	1934	2.3 - 2.7 S	21	0.21	0.50
Beritsholm 3	1938	2.0 - 2.8 SO	18.5	0.27	0.47
Beritsholm 3	1938	1.2 - 1.5 SO	13-19	0.29	0.69
Beritsholm 3	1938	0.8 SO	26	0.16	0.53
Fogden 1B	1939	1.1 - 1.6 SV	22.5-23.5	0.09	0.64
Björken 4	1941	1.0 - 1.5 NO	23-24	0.23	0.92
Plankan 1	1945	0.6 V	29-33	0.25	0.71
Odense 1	1946	1.0 - 1.2 SV	19-20.5	0.12	0.24
Viborg 1	1946	1.6 N	19	0.12	0.21
Falster 2	1948	0.8 - 1.7 S	13-15	0.03	0.11
Langeland	1949	2.2 - 2.4 SV	24	0.14	0.42
Målaren 5	1950	1.3 - 2.0 SO	22.5-26	0.10	0.63
Hästhoven 13	1954	0.8 - 1.2 N	20-21.5	0.06	0.35
Persborg 4	1955	1.5 - 3.0 V	25-26	0.15	0.26
Medelvärde				0.26	0.47

TAB.1 visar att luftomsättningen varierar mycket för de olika fastigheterna och husens ålder tycks inte ha någon direkt inverkan på normalventilationen. Däremot tycks husens ålder ha viss inverkan på infiltrationen. För att verifiera detta har sambandet mellan husens byggnadsår och ventilation beräknats med minsta kvadratmetoden. Resultatet redovisas i FIG.17. För infiltrationen är korrelationskoefficienten så hög (0.73) att ett samband kan påvisas. Detta samband innebär att infiltrationen ökar med ökande ålder på husen. Normalventilationen påverkas däremot inte av husens ålder.

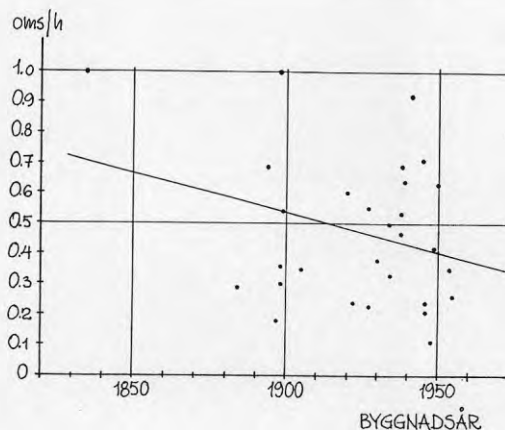
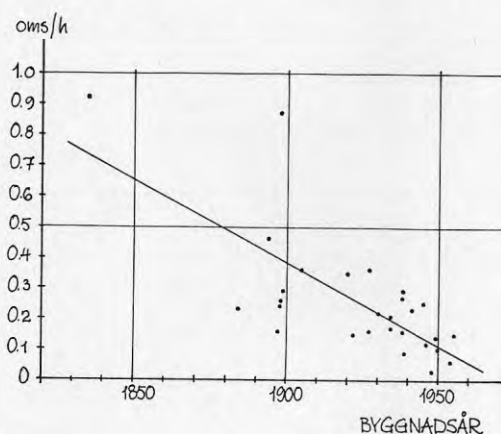


FIG.17 Korrelation mellan byggnadsår och uppmätt infiltration resp normalventilation för 29 lägenheter, beräknat med minsta kvadratmetoden. Självdragsventilation.

## Mekanisk frånluftsventilation

16 st av de undersökta lägenheterna är belägna i Malmö och 1 st i Gävle. Tre av lägenheterna i Malmö ligger i fastigheter som byggts om och där ventilationen i samband med ombyggnaden har ändrats från självdrag till mekanisk frånluft. I TAB.2 redovisas de uppmätta värdena grupperade efter husens ålder. Ingen korrigering för vind- och temperaturförhållanden har gjorts.

TAB.2 Uppmätta värden på ventilationen i lägenheter med mekanisk frånluftsventilation. Malmö, Gävle.

Fastighet	Byggnadsår /ombyggnads- år	Vindhastighet (m/s) Vindriktning	Temperatur- skillnad ute-inne (°C)	Infiltra- tion (oms/h)	Normal- ventila- tion (oms/h)
Bornholm 8	1954	2.0 - 3.9 NO	15-17	0.12	0.78
Betjänten 6	1955	0.2 - 1.3 NV	29-31	0.26	0.66
Cronman 2	1965	0 - 1.8 0	13.5-15	0.04	0.36
Cronman 2	1965	1.2 - 1.3 0	14	0.08	0.51
Cronman 2	1965	0.6 - 2.0 0	14-15	0.06	0.42
Sörbäck*	1967	2.3 - 9.9	23	0.11	0.34
Sörbäck*	1967	1.3 - 4.0 S	7-18	0.09	0.29
Teknikern*	1971	2.0 -10.0	6-24	0.12	0.47
Teknikern	1971	11.0 0	22.5	0.26	0.54
Teknikern	1971	1.0 NO	17-18	0.06	0.36
Teknikern	1971	3.0 N	19	0.04	0.42
Teknikern	1971	0.2 - 0.9 NV	3-4.5	0.08	0.53
Teknikern	1971	1.6 - 3.1 SSV	4.5	0.07	0.30
Holma	1974	1.3 - 3.8 NNO	22.5-24.5	0.15	0.43
Flora 6	1896/1977	4.2 - 6.6 SO	20.5	0.23	0.41
Avenboken 24	1932/1979	1.9 - 2.0 SV	17	0.18	0.81
Avenboken 24	1932/1979	1.3 - 2.6 S	22.5	0.11	0.30
Medelvärde				0.12	0.47

\* = medelvärde av flera mätningar

Medelvärde för infiltrationen är 0.12 oms/h och för normalventilationen 0.47 oms/h. Medeltalet för normalventilationen ligger även här ganska rätt med tanke på hygieniska krav, men i detta fallet har flertalet lägenheter för liten ventilation, se FIG.18 som visar histogram över uppmätt infiltration och normalventilation.

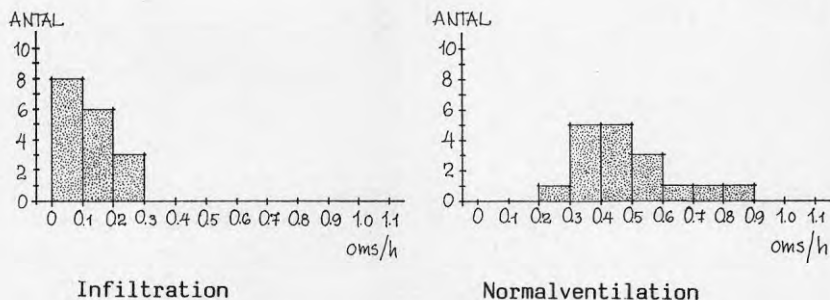


FIG.18 Histogram över uppmätt infiltration och normalventilation för 17 lägenheter med mekanisk frånluftsventilation.

Vid mekanisk frånluftsventilation tycks husens ålder inte ha någon betydelse för storleken varken på infiltration eller normalventilation. Regressionsanalyser visar också att så är fallet, FIG.19. För infiltrationen är korrelationskoefficienten så låg som 0.02. Tydligt är det så att hus med mekanisk frånluftsventilation tätas på ett annat sätt än hus med självdragsventilation. Denna tätning är likartad för husen och oberoende av husens ålder. För de självdragsventilerade husen fanns ett samband mellan infiltrationen och husens ålder (FIG.17). Det verkar i och för sig rimligt att denna skillnad finns mellan självdragsventilerade och mekaniskt frånluftsventilerade hus, eftersom de båda ventilationssystemen fungerar på helt olika sätt.

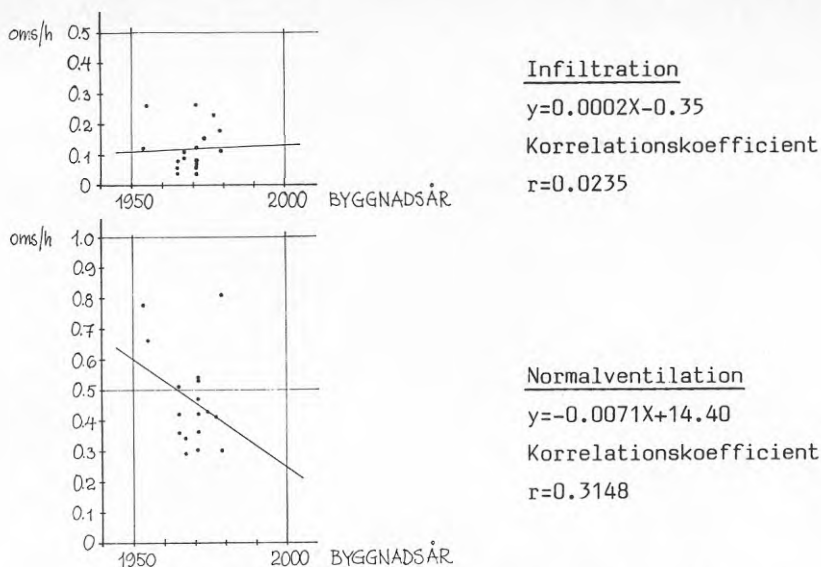


FIG.19 Korrelation mellan byggnadsår och uppmätt infiltration och normalventilation för 17 lägenheter, beräknat med minsta kvadratmetoden. Mekanisk frånluftsventilation.

#### Modell Anpassning av mätningarna - JK-CIRCUS

De erhållna mätvärdena för normalventilationen i självdragsventilerade lägenheter har jämförts med datorberäknade värden. Vid dessa beräkningar har använts ett datorprogram kallat JK-CIRCUS. Programmet har utarbetats av Kronvall (1980) och innebär att

- flödesproblemet delas upp i finita delar - komponenter
- admittansen för varje komponent beräknas
- datorn beräknar potentialerna  $p$  (Pa) i alla noder samt flödena  $q$  ( $m^3/s$ ) genom alla komponenter

Principen är att luftflödet i lägenheten beskrivs med ett nätverk eller flödesdiagram, där de olika delarna kallas komponenter, i analogi med en elektrisk strömkrets med motstånd. Varje komponent i flödesdiagrammet med två anslutningar kallas en förgrening. Anslutningspunkterna kallas för noder. Flera förgreningar kan vara anslutna till samma nod.



Vid luftflöden kan en komponent vara antingen

- en tryckskillnad mellan två noder (aktiv komponent)
- en bit permeabelt material (passiv komponent)
- en bit av en springa, kanal i flödesriktningen (passiv)
- ett engångsmotstånd som t ex ventilationsöppning, krökförluster (passiv)
- ett potentialflöde  $q = a \cdot \Delta p^b$  (passiv)

Beteckningarna som används för delar av material eller springor visas i FIG.20.

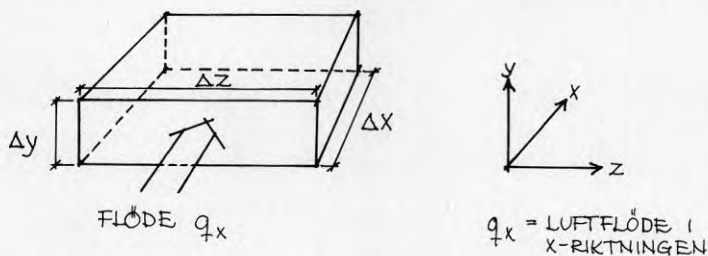


FIG.20 Beteckning av geometriska storheter hos en komponent.

Datorprogrammet arbetar med admittanser. Admittansen  $A$  för en komponent definieras som

$$q_x \text{ (m}^3\text{/s)} = A_x \text{ (m}^3\text{/sPa)} \Delta p_x \text{ (Pa)}$$

där  $\Delta p_x$  = tryckdifferensen över komponenten i flödesriktningen (Pa)

Enligt Kronvall (1980) är admittansen  $A$

för permeabelt material

$$A_x = \frac{B_o}{\eta_l} \frac{1}{\Delta x} \Delta y \Delta z$$

där  $B_o$  = permeabilitet ( $\text{m}^2$ )

$\eta_l$  = dynamisk viskositet hos luft ( $\text{Ns/m}^2$ )

för springor, kanaler

$$A_x(q) = \frac{4 \Delta y^3 \Delta z^2}{\rho q_x \lambda \Delta x}$$

där  $\rho$  = densitet hos luft ( $\text{kg/m}^3$ )

$\lambda$  = friktionsfaktor

I allmänhet beror admittansen för en kanal på flödet  $q$  genom densamma. Vid laminär strömning (Reynolds tal  $Re < 2300$ ) är däremot friktionsfaktorn  $\lambda$  omvänt proportionell mot flödet,  $\lambda = 96/Re = 96 \cdot \Delta z \nu / 2q$ , varför admittansen blir konstant.

Vidare är admittansen  $A$

för engångsmotstånd

$$A_x(q) = \frac{2 \Delta y^2 \Delta z^2}{\rho q_x \xi}$$

där  $\xi$  = förlustfaktor

för potentialflöden

$$A_x(\Delta p) = a \Delta y \Delta z \Delta p^{b-1}$$

där  $a$  = flödeskoefficient ( $\text{m}^3/\text{s m}^2 \text{Pa}^b$ )

$b$  = flödesexponent

Datorberäkningarna har gjorts för en självdragsventilerad lägenhet av storleken  $80 \text{ m}^2$ . Lägenheten har två motstående fasadsidor och är belägen mitt i ett flervåningshus, se FIG.21. Den ventileras med en ventil i köket och en i badrummet, båda anslutna till ventilationsskorsten. Skorstenshöjden är 8 m.

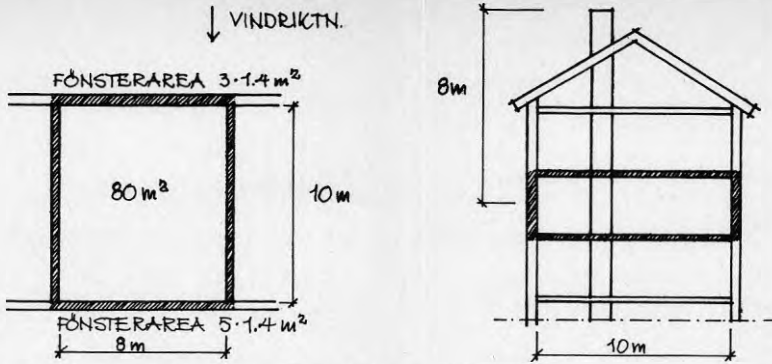


FIG. 21 Den studerade lägenhetens mått.

Nätverket för datorberäkningen för ovanstående lägenhet illustreras av FIG. 22.

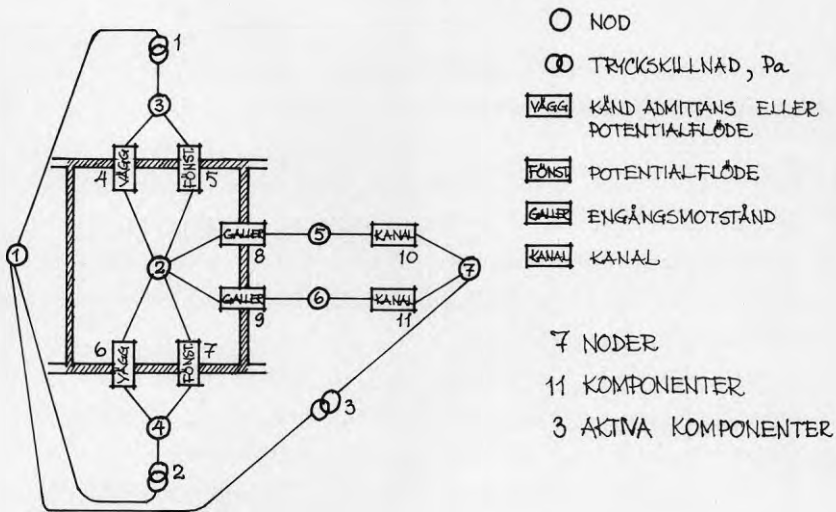


FIG. 22 Nätverk för den studerade lägenheten.

Vindtrycket har beräknats för en vindhastighet av 4 m/s. Formfaktorerna har satts till 0.7 för lovartvägg och -0.5 för lävägg, vilket motsvarar normvärdena för vindlast. För skorstensmyningen har använts formfaktorn -0.4 enligt Liddament (1986). Vindtrycket  $p$  kan beräknas ur formeln

$$p = \mu \rho u^2 / 2 \quad (\text{Pa})$$

där  $\mu$  = formfaktor  
 $\rho$  = luftens densitet ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $u$  = vindhastighet (m/s)

Skillnaden i lufttemperaturer utomhus och inomhus ger upphov till s k skorstensverkan eller termik, en lufttrycksskillnad mellan ute- och inneluft. Tryckdifferensen  $\Delta p$  kan bestämmas genom

$$\Delta p = 0.043 h \Delta \theta \quad (\text{Pa})$$

där  $h$  = skorstenshöjd (m)  
 $\Delta \theta$  = temperaturskillnad ute-inne ( $^{\circ}\text{C}$ )

Vid beräkningarna har den termiska drivkraften satts till 8 Pa, vilket motsvarar en temperaturskillnad på ca  $23^{\circ}\text{C}$  mellan ute- och inneluften då  $h=8$  m.

Fasadytorna påverkas både av vindtryck och termik medan skorstenstoppen endast påverkas av vindtryck.

Ventilationsdonen i kök och badrum antas vara av gallertyp och ha storleken  $0.15 \text{ m} \times 0.15 \text{ m}$ . Förlustfaktorn har satts till 10. Ventilationskanalen från kök har måtten  $0.125 \text{ m} \times 0.250 \text{ m}$  och från badrum måtten  $0.125 \text{ m} \times 0.125 \text{ m}$ , längd 8 m, råheten antas vara  $0.01 \text{ m}$ .

Datorberäkningar har gjorts för täta fönster där luftflödet genom fönsterna vid 50 Pa tryckskillnad över fönstret ( $q_{50}$ ) är  $1.7 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ , dvs normvärdet för nya fönster. Men tittar man på fönstertäthetsmätningarna som utförts på äldre fönster, så ser man att det är få fönster som är så täta (FIG.15). Beräkningar har därför gjorts även för otätare fönster där  $q_{50}=5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ . För täta fönster har flödesexponenten  $b$  satts till 0.67. För otätare fönster visar täthetsmätningarna att  $b$  ligger kring 0.80.

Även väggarna har studerats för olika tätheter. Vid täta väggar har admittansen satts till  $10^{-10} \text{ m}^3/\text{sPa}$ , dvs i praktiken 0. Vid otäta väggar är det potentialflöde genom väggen. Flödeskoefficienten  $a$  har beräknats så att luftomsättningen i lägenheten

vid 50 Pa tryckskillnad mellan ute och inne ( $n_{50}$ ) blir 1.5 oms/h med otåta fönster enligt ovan. Flödesexponenten antas vara 0.7.

Resultaten av datorberäkningarna visas i FIG.23. I figuren redovisas luftflödena in och ut ur lägenheten och luftomsättningen anges.

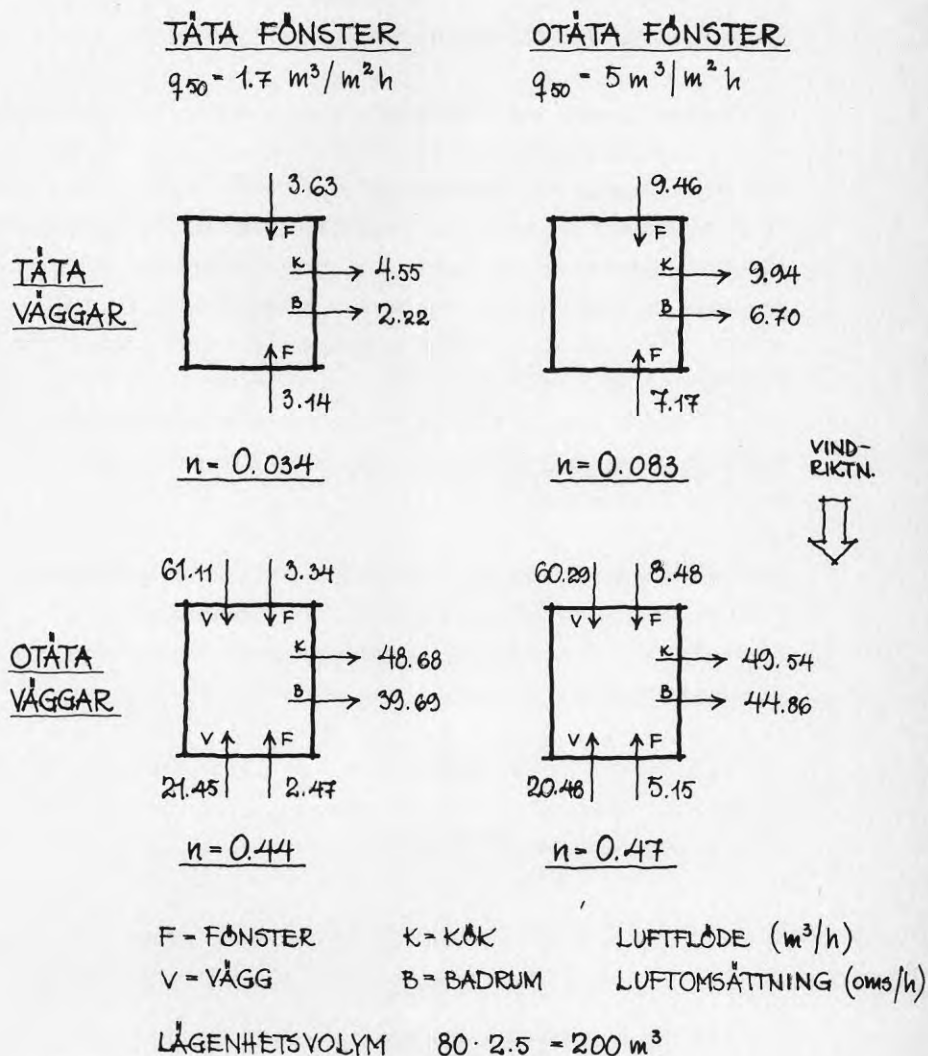


FIG.23 Resultat av datorberäkning med JK-CIRCUS för en självdragsventilerad lägenhet i flerbostadshus. Vindhastighet 4 m/s.

För de självdragsventilerade lägenheterna där ventilationen mätts, ligger medelvärdet för den uppmätta normalventilationen på 0.47 oms/h, dvs ungefär samma värde som i figuren ovan för otäta väggar och otäta fönster. Det verkar därför rimligt att anta att äldre lägenheter har ungefär den täthet på väggar och fönster som använts vid beräkningsfallet. För dessa värden är luftomsättningen vid 50 Pa tryckskillnad  $n_{50}=1.5$  oms/h. Eller annorlunda uttryckt, äldre lägenheter har sådan täthet på väggar och fönster att  $n_{50}$  ligger omkring 1.5 oms/h. Detta värde skall jämföras med normvärdet för flervåningshus,  $n_{50}=1.0$  oms/h.

Av figuren framgår att luftomsättningen i lägenheten påverkas mycket lite av fönstertätheten. Detta kan uttryckas så, att om ett otätt fönster enligt ovan tätas om så att luftläckaget vid 50 Pa tryckskillnad uppfyller normkravet, då minskar luftomsättningen i lägenheten med endast 0.05 oms/h respektive 0.03 oms/h beroende på väggtätheten. För ännu otätare fönster,  $q_{50}=10$   $m^3/m^2h$ , blir luftomsättningen 0.16 oms/h för täta väggar och 0.52 oms/h för otäta väggar. En tätning av fönsterna till normkravet skulle i detta fall ge en minskning av luftomsättningen med 0.13 oms/h resp 0.08 oms/h, dvs något mer än tidigare men inte särskilt mycket ändå.

Luftomsättningen beror således till största delen på väggarnas täthet. Att det är så torde bero på att väggarean är stor i förhållande till fönsterarean. En otät vägg får därför större betydelse än ett otätt fönster.

För lägenheten i beräkningsexemplet kan luftomsättningen vid 50 Pa tryckskillnad mellan ute och inne,  $n_{50}$ , skrivas som funktion av väggtätheten och fönstertätheten

$$n_{50} = 0.144 T_v + 0.056 T_f$$

där  $T_v$  = täthet vägg ( $m^3/m^2h$ )  
 $T_f$  = täthet fönster ( $m^3/m^2h$ )

Av uttrycket framgår att en förändring av väggtätheten påverkar luftomsättningen mer än vad en lika stor förändring av fönstertätheten gör.

Datorberäkningar av luftflöden och luftomsättning har gjorts för två av de självdragsventilerade lägenheterna i vilka spårgasmätningar utförts. Beräknade och uppmätta värden på luftomsättningen har jämförts.

#### Fogden

Denna fastighet byggdes 1939 och har 4 våningar. Ytterväggarna består av 35 cm tegel med puts utvändigt. Den undersökta lägenheten består av 1 rum och kök och ligger på andra våningen. Den är genomgående med två motsatta fasadsidor med ett fönster i varje fasad. Lägenheten ventileras med en ventil i rummet, en i köket och två i badrummet, samtliga anslutna till ventilationsskorsten. I skafferiet finns två ventiler i yttervägg direkt till uteluft och i rummet finns en springventil under fönstret. Lägenhetsvolymen är  $114.7 \text{ m}^3$ . Skorstenshöjden är 9 m.

Uppmätt normalventilation är 0.64 oms/h, ett värde som ligger högre än medelvärdet för självdragsventilerade lägenheter. Den uppmätta temperaturskillnaden mellan uteluft och inneluft var vid mättillfället  $23 \text{ }^\circ\text{C}$ . Detta ger en termisk drivkraft på 8.9 Pa.

Vindhastigheten uppmättes till 1.6 m/s ca 2 m över marken. Men vi är intresserade av vindhastigheten mitt på fasaden till mätlägenheten, 5.5 m över marken. Enligt Liddament (1986) kan vindhastigheten på en viss höjd ovan marken fås ur ekvationen

$$\frac{U}{U_m} = k z^a$$

där

$U_m$  = vindhastigheten mätt på öppet fält på en standardhöjd av 10 m (m/s)

$U$  = vindhastigheten på höjden  $z$  m ovan mark (m/s)

$k, a$  = konstanter som beror på terrängen, för stadsbebyggelse = 0.35 resp 0.25

Med hjälp av ekvationen ovan kan vindhastigheten på höjden 5.5 m,  $U_{5.5}$ , beräknas då vindhastigheten  $U_2$  på 2 m höjd är känd.

$$\left. \begin{aligned} U_{5.5} &= k \cdot 5.5^a \cdot U_m \\ U_2 &= k \cdot 2^a \cdot U_m \end{aligned} \right\} \text{där } a=0.25 \quad U_2=1.6$$

$$U_{5.5} = \left(\frac{5.5}{2}\right)^{0.25} \cdot 1.6 = 2.06 \text{ m/s}$$

När vindhastigheten är känd kan vindtrycket på lägenheten beräknas. Vindriktningen är också känd, så lä- och lovartsida kan bestämmas. Formfaktorerna är som tidigare 0.7 för lovartsidan, -0.5 för läsidan och -0.4 för skorstenstoppen.

Tätheten på ett av fönsterna har uppmätts till  $6 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  vid tryckskillnaden 50 Pa och vid undertryck invändigt, kurva 10 i FIG.15. Flödesexponenten  $b$  är 0.75. Det andra fönstret antas ha samma täthetskurva.

Beräkningar har gjorts för två olika täthetsgrader på ytterväggarna. Dels då lägenhetens luftomsättning vid 50 Pa tryckskillnad är 1.5 oms/h och dels då  $n_{50}=2.0$  oms/h. I båda fallen är fönstertätheten enligt uppmätt värde. Flödesexponenten  $b$  antas vara 0.7. Ventilerna i ytterväggarna ingår i väggtätheten.

Beräkningsresultaten redovisas i FIG.24.

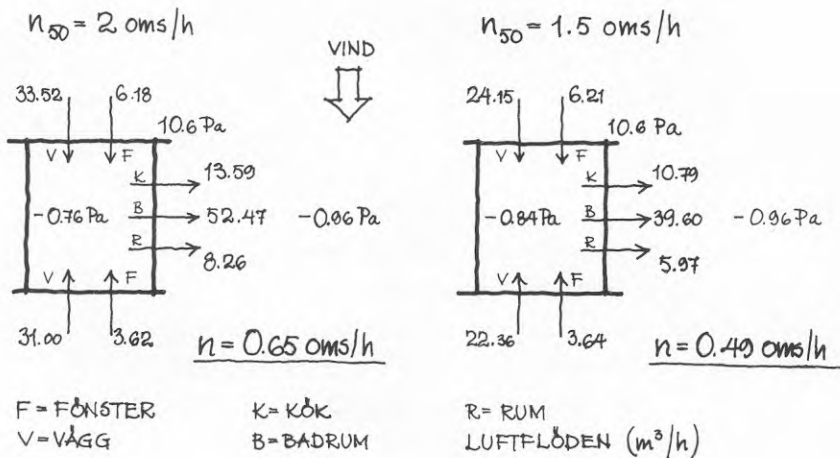


FIG.24 Lufttryck, luftflöden och luftomsättning i lägenhet i fastigheten Fogden beräknade med JK-CIRCUS.



I det första fallet blir den beräknade luftomsättningen 0.49 oms/h och i det andra fallet 0.65 oms/h. Det uppmätta värdet i lägenheten var 0.64 oms/h, vilket stämmer väl överens med det senare beräknade värdet. Det är tydligt att ytterväggarna, liksom fönsterna, är ganska otäta i denna fastighet. Fasadputsen hade fallit ner på några ställen, vilket kan bidra till otätheten.

#### Persborg

Detta hus byggdes 1955 och har 3 våningar. Ytterväggarna består av 25 cm lättbetongblock med putsad utsida. Mätlägenheten är belägen på tredje våningen och har 2 rum och kök. Den är genomgående med två motstående fasadsidor. I ena fasaden är placerat tre fönster, i andra fasaden en balkongdörr och ett fönster. Lägenheten ventileras med en ventil i köket och en i badrummet, båda anslutna till ventilationsskorsten. Dessutom finns två ventiler i ytterväggen direkt till uteluft, en i skafferiet och en i sovrummet. Lägenhetsvolymen är  $134 \text{ m}^3$ . Skorstenshöjden är 5.5 m.

Normalventilationen uppmättes till 0.26 oms/h, vilket är ett lågt värde jämfört med medelvärdet för de självdragsventilerade lägenheterna. Den uppmätta temperaturdifferensen ute-inne var vid mätillfället  $26 \text{ }^\circ\text{C}$ . Den termiska drivkraften på fasaderna blir då 6.2 Pa.

Vindhastigheten uppmättes till 3 m/s ca 2 m över marken. På liknande sätt som för Fogden kan vindhastigheten på mätlägenhetens fasad bestämmas. Den blir 4.2 m/s. Härmed kan vindtrycket beräknas. Formfaktorerna är de samma som tidigare. Fönstertätheten har mätts på två av fönsterna och var vid 50 Pa tryckskillnad 2.4 resp 11.0  $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$ . Vid beräkningarna har använts ett vägt medelvärde på fönstertätheten lika med  $4.6 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ . Flödesexponenten  $b$  har beräknats till 0.83, även det ett vägt medelvärde. Dessa värden på fönstertätheten gäller vid övertryck invändigt. Egentligen är det tätheten vid undertryck invändigt som är av intresse, men då sådana mätvärden inte finns för denna lägenhet och då skillnaden i täthet mellan undertryck och övertryck invändigt är relativt liten, så har de ovannämnda värdena på fönstertätheten använts vid beräkningarna.

Två olika täthetsgrader på ytterväggarna har använts vid beräkningarna. Dels  $n_{50}=1.5$  oms/h och dels  $n_{50}=1$  oms/h, eftersom det uppmätta värdet på ventilationen ligger så lågt. Flödesexponenten  $b$  antas vara 0.7. Ventilerna i ytterväggarna ingår i väggtätheten.

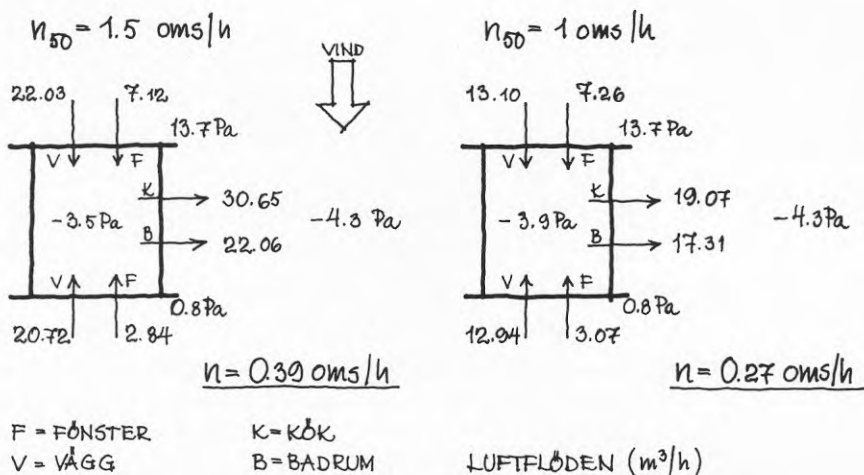


FIG.25 Lufttryck, luftflöden och luftomsättning i lägenhet i fastigheten Persborg beräknade med JK-CIRCUS.

Den beräknade luftomsättningen, med förutsättningar enligt ovan, blir i första fallet 0.39 oms/h och i andra fallet 0.27 oms/h, se FIG.25. Här är det alltså det tätare väggalternativet som stämmer bäst med det uppmätta värdet, 0.26 oms/h.

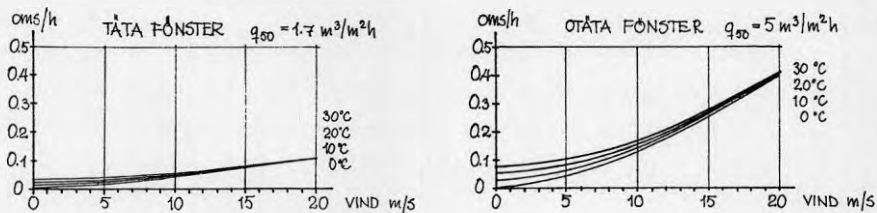
#### Uteklimatets inverkan på luftomsättningen

##### Självdagsventilation

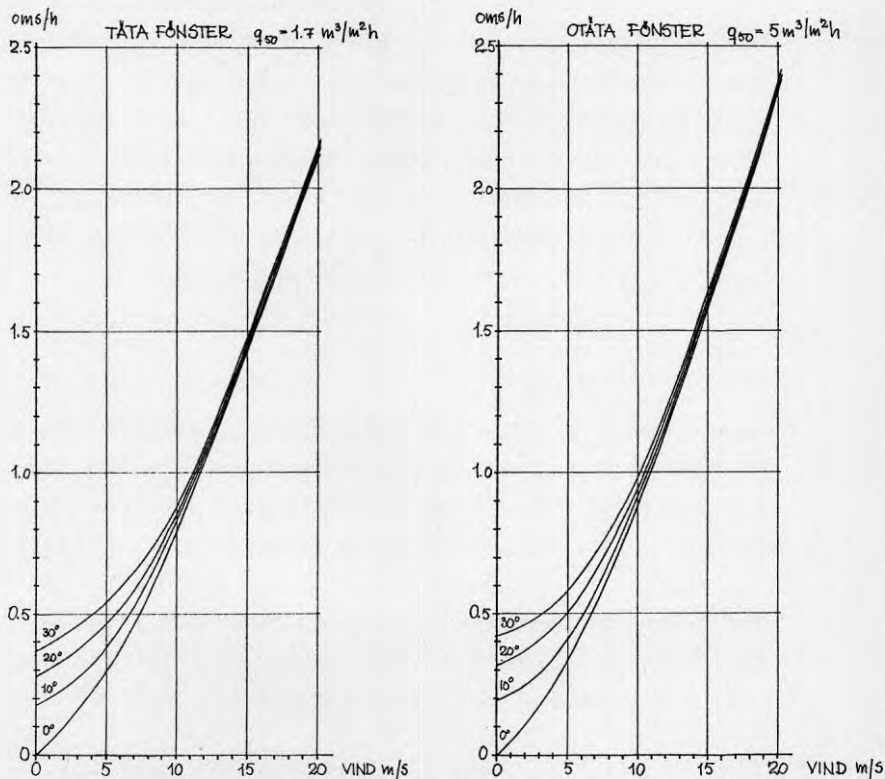
Ventilationen i självdagsventilerade hus är beroende av rådande vind- och temperaturförhållanden. Vindtryck och termik varierar med vindhastighet resp temperaturdifferens mellan ute och inne.

För att se hur vind och temperatur påverkar ventilationen så har luftomsättningen i lägenheten i FIG.21 beräknats med JK-CIRCUS för olika vindhastigheter och temperaturdifferenser ute-inne.

Förutsättningarna i övrigt är de samma som tidigare. Resultaten framgår av FIG.26.



### A. TÄTA VÄGGAR



### B. ÖTÄTA VÄGGAR

FIG.26 Luftomsättningens beroende av vindhastighet och temperaturdifferens ute-inne för täta resp otäta väggar samt täta resp otäta fönster. Självdrag. Lägenhet enligt FIG.21.

Vid låga vindhastigheter har temperaturskillnaden, termiken, störst betydelse för värdet på luftomsättningen. Ju större temperaturskillnaden är desto högre är ventilationen. Vid höga vindhastigheter däremot, tar vindtrycket överhanden och luftomsättningen är nästan oberoende av temperaturdifferensen.

Otåta fönster ökar luftomsättningen med upp till 0.1 oms/h då vindhastigheten är låg, mindre än 10 m/s. För högre vindhastigheter ger otåta fönster en luftomsättningsökning på 0.15-0.3 oms/h, beroende på väggtätheten.

Om man studerar luftflödenas väg i lägenheten så ser man att för låga vindhastigheter läcker luft in både genom lovart- och läväggen. Det varierar något lite med väggtätheten. Inläckningen ökar med ökande temperaturdifferens. För ökande vindhastighet ökar inläckningen genom lovartväggen men minskar genom läväggen. För höga vindhastigheter, större än 10 m/s, sker inläckning enbart genom lovartväggen. Genom läväggen sker istället utläckning av luft, beroende på att vindtrycket tar överhanden över termiken. Detta leder till genomblåsning i lägenheten. Hela tiden evakueras luft ut genom ventilationskanalerna.

#### Mekanisk frånluftsventilation

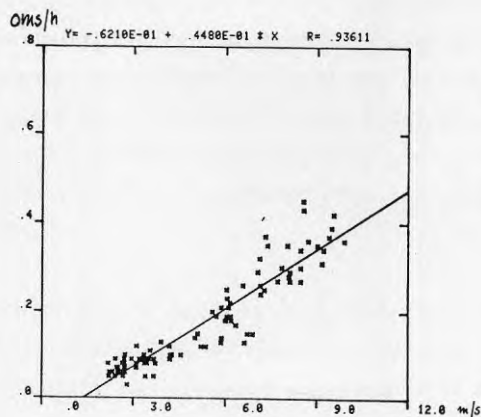
Motsvarande beräkningar har inte gjorts för mekaniskt frånluftsventilerade lägenheter. Däremot har kontinuerliga mätningar av luftomsättning och vind gjorts i en lägenhet med frånluftsventilation, i syfte att ta reda på hur vinden påverkar ventilationen.

Den undersökta lägenheten var belägen på åttonde våningen i ett åttavånings flerbostadshus i Malmö. Lägenheten var genomgående med två motstående fasader. Lägenhetsytan var ca 70 m<sup>2</sup>.

Infiltrationen och normalventilationen uppmättes med spårgas och mätningarna pågick under några dygn. Samtidigt gjordes mätningar av vindhastigheten. Denna mättes med en skålkorsanemometer monterad på en 5.5 m hög mast på taket. Vindhastigheten registrerades kontinuerligt under hela mättiden. För de senare mätningarna svarade Naturgeografiska institutionen vid Lunds Universitet.

Medelvärden av mätningarna var för infiltrationen 0.11 oms/h och för normalventilationen 0.34 oms/h. Temperaturskillnaden mellan inne- och uteluft var under mätperioden omkring 23 °C. Den termiska drivkraften var således konstant under mätperioden, varför det enda som kunde påverka ventilationen var variationen i vindhastighet.

Regressionsanalyser visar att infiltrationen är starkt beroende av vindhastigheten, korrelationskoefficienten är 0.94. Däremot visar normalventilationen inget beroende av vindhastigheten, se FIG.27.

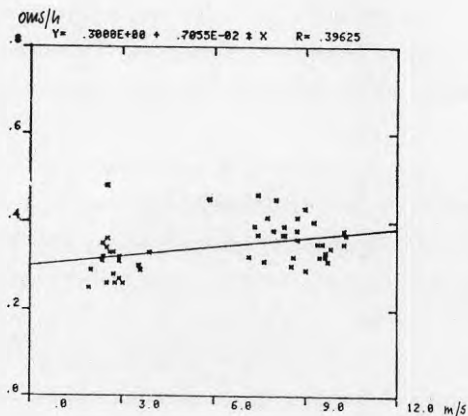


Infiltration

$$y = 0.045X - 0.062$$

Korrelationskoefficient

$$r = 0.936$$



Normalventilation

$$y = 0.0071X + 0.300$$

Korrelationskoefficient

$$r = 0.396$$

FIG.27 Samband mellan vindhastighet och infiltration resp normalventilation i en frånluftsventilerad lägenhet. Varje punkt motsvarar medelvärdet för en 12-minutersperiod.

Infiltrationens beroende av vindhastigheten är förväntad, då läckaget genom otätheter i väggar och fönster ökar vid ökande vindhastighet, vindtrycket ökar med vindhastigheten. Att normalventilationen är oberoende av vindhastigheten stämmer väl med vad Nylund (1984) kommit fram till. Nylund har gjort beräkningar på en frånluftsventilerad lägenhet och funnit att vinden påverkar luftomsättningen lite. Det är först när luft börjar läcka ut genom läsidan som luftomsättningen ökar med ökad vindhastighet. För vilken vindhastighet detta sker är beroende av fasadernas täthet. Ju tätare fasaderna är desto stabilare är ventilationen mot störningar av ökad vindhastighet.

Det bostadsområde som ovanstående lägenhet var belägen i, byggdes om under början av 1980-talet. Vid ombyggnaden tilläggsisolerades väggarna, fönsterna byttes ut och lägenhetsindelningen förändrades. Mätningar av luftomsättning gjordes därefter i en annan lägenhet i bostadsområdet. Den undersökta lägenheten, som var en gavellägenhet, var belägen på femte våningen. Lägenhetsytan var  $100 \text{ m}^2$ .

Infiltrationen och normalventilationen uppmättes i lägenheten med spårgas. Samtidigt mättes vindhastigheten med hjälp av en skålkorsanemometer placerad på lägenhetens balkong. Flera mätningar utfördes under en månad.

Infiltrationen uppmättes i medeltal till  $0.09 \text{ oms/h}$  och normalventilationen till  $0.29 \text{ oms/h}$ . Temperaturskillnaden mellan inne- och uteluft varierade något under mätperioden, men låg i allmänhet kring  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Regressionsanalyser gjordes på mätresultaten, men varken infiltrationen eller normalventilationen var beroende av vindhastigheten. För några enskilda mätningar fanns det korrelation mellan luftomsättning och vindhastighet.

Att mäta vindhastigheten på balkongen är kanske inte helt rättvisande, eftersom det erhållna värdet är beroende av vindriktningen. Om balkongsidan ligger i lä blir utslaget litet på anemometern och tvärtom om balkongsidan ligger i lovart. Det torde varit riktigare att ha satt vindmätaren på taket, som i det tidigare

fallet, eller haft en vindmätare på varje fasad.

SMHI:s värden för vindhastigheten under mätperioden samlades in som jämförelse och regressionsanalyser gjordes på uppmätt luftomsättning och SMHI-värden. Men inte heller nu fanns något samband mellan luftomsättning och vindhastighet.

Resultatet pekar på att väggar och fönster efter ombyggnaden har blivit så täta att både infiltration och normalventilation är helt oberoende av vindhastigheten.

Två av fönsterna i lägenheten hade springventiler, ett i var och en av de två motstående fasaderna. Luftomsättningsmätningar gjordes med springventilerna öppna både för infiltration och normalventilation. Något samband mellan luftomsättning och vindhastighet fanns inte heller i detta fall.

Öppna springventiler ökar infiltrationen med 0.03 oms/h och normalventilationen med 0.02 oms/h. Luftomsättningen ändras som synes mycket lite då springventilerna är öppna, trots att man tycker att det borde ske en större inläckning och kanske till och med en viss genomblåsning i lägenheten eftersom de är placerade på motstående sidor. En tänkbar förklaring till den låga förändringen av luftomsättningen kan vara att springventilerna är ganska otäta även när de är stängda. Springventilernas yta är också liten i förhållande till vägg och fönster.

Detta är bara en enstaka mätning, så några generella slutsatser går inte att dra angående springventilernas betydelse, men Eriks-son (1962) redovisar liknande resultat för öppna och stängda springventiler i sin undersökning.

### Samband mellan luftomsättning och fönstertäthet

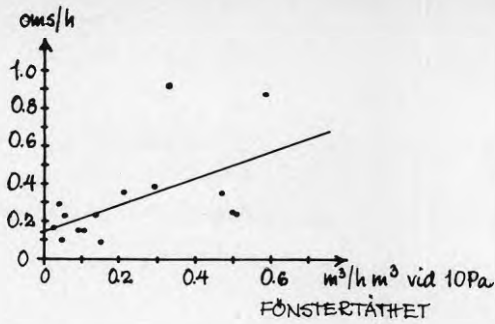
Sambandet mellan luftomsättning och fönstertäthet har studerats för de lägenheter i vilka utförts luftomsättnings- och fönstertäthetsmätningar, totalt 15 lägenheter. Samtliga hade självdragsventilation. För resp lägenhet har det totala luftläckaget genom fönsterna beräknats per lägenhetsvolym. Sambandet mellan detta värde och den uppmätta luftomsättningen har därefter undersökts genom regresionsanalys med datorprogrammet MINITAB.

Det totala luftläckaget genom fönsterna har erhållits på följande sätt. Ur täthetsdiagrammet i FIG.14 har luftläckaget ( $m^3/h$ ) för de undersökta fönsterna i resp lägenhet avlästs vid tryckskillnaden 10 Pa resp 50 Pa, både vid undertryck och övertryck invändigt. Därefter har luftläckaget per m fog mellan båge och karm ( $m^3/h,m$ ) beräknats. Luftläckaget genom fogen mellan karm och vägg är således försummat. Alla fönster i lägenheterna har emellertid ej täthetstestats, varför luftläckaget hos en del fönster har fått uppskattas. De fönster som varit tätade på samma sätt som det provade, har antagits ha samma luftläckage per m fog som det provade. Om tätningen ej varit lika det provade fönstrets, så har ett rimligt värde antagits på luftläckaget per m fog. Detsamma gäller för de fönster som ej testats med undertryck invändigt utan enbart övertryck. För dessa fönster har ett värde på luftläckaget antagits med utgångspunkt från värdet vid övertryck och med hänsyn tagen till om fönstret är inåtgående, utåtgående eller har dubbla enkelbågar.

Luftläckaget ( $m^3/h$ ) genom samtliga fönster i resp lägenhet har därefter summerats och dividerats med lägenhetsvolymen och vi får fönstertätheten i  $m^3/h,m^3$ .

Sambandet mellan luftomsättning och fönstertäthet, beräknat enligt ovan, för de 15 lägenheterna redovisas i FIG.28 vid 10 Pa tryckskillnad och i FIG.29 vid 50 Pa tryckskillnad. Av figurerna framgår att det inte finns något samband mellan normalventilation och fönstertäthet. Däremot är sambandet mellan infiltration och fönstertäthet större. Korrelationskoefficienten ligger dock ganska lågt, omkring 0.55, för att ett klart samband skall kunna påvisas.





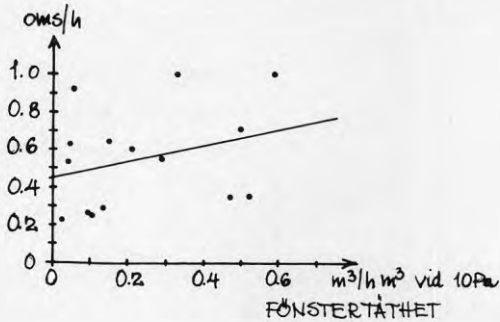
ÖVERTRYCK INSIDA

Infiltration

$$y=0.720X+0.147$$

Korrelationskoefficient

$$r=0.565$$

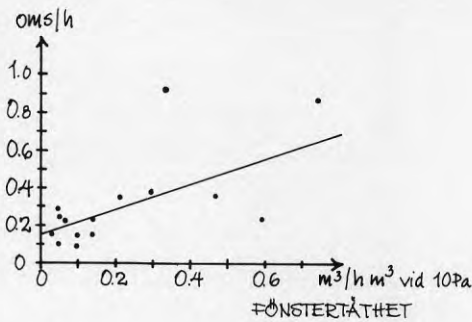


Normalventilation

$$y=0.416X+0.456$$

Korrelationskoefficient

$$r=0.305$$



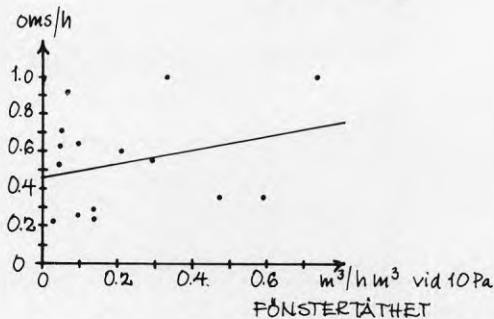
UNDERTRYCK INSIDA

Infiltration

$$y=0.669X+0.150$$

Korrelationskoefficient

$$r=0.602$$



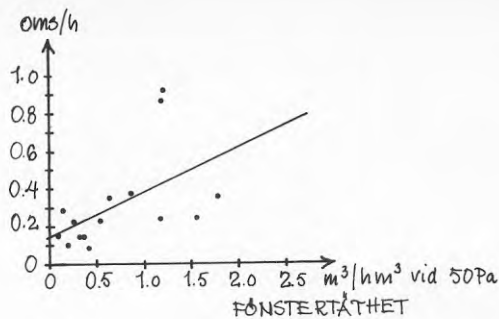
Normalventilation

$$y=0.375X+0.460$$

Korrelationskoefficient

$$r=0.316$$

FIG.28 Samband mellan luftomsättning och fönstertäthet vid tryckskillnaden 10 Pa, övertryck resp undertryck på fönsternas insida. 15 lägenheter.



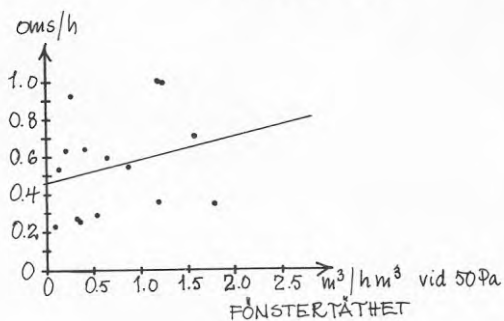
ÖVERTRYCK INSIDA

Infiltration

$$y=0.241x+0.144$$

Korrelationskoefficient

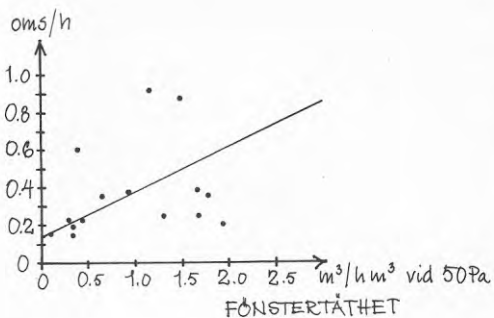
$$r=0.522$$

Normalventilation

$$y=0.123x+0.466$$

Korrelationskoefficient

$$r=0.247$$



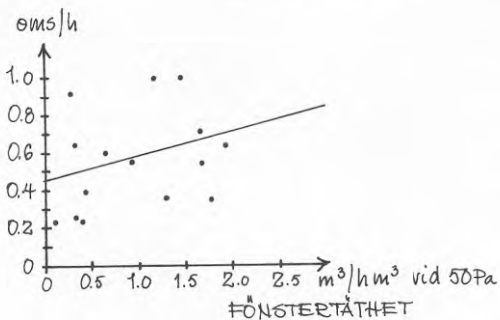
UNDERTRYCK INSIDA

Infiltration

$$y=0.237x+0.139$$

Korrelationskoefficient

$$r=0.557$$

Normalventilation

$$y=0.129x+0.457$$

Korrelationskoefficient

$$r=0.283$$

FIG.29 Samband mellan luftomsättning och fönstertäthet vid tryckskillnaden 50 Pa, övertryck resp undertryck på fönsternas insida. 15 lägenheter.

Det visades tidigare att det fanns ett samband mellan infiltration och byggnadsår för lägenheterna med självdragsventilation. Det verkade därför intressant att undersöka luftomsättningens beroende av fönstertäthet och byggnadsår. Detta gjordes med multipel regressionsanalys med MINITAB. Vid multipel regressionsanalys anges sambandet med en  $R^2$ -koefficient, determinationskoefficienten.  $R^2$  utgör ett mått på förklaringsgraden och anges i procent. Om  $R^2=74\%$  så betyder det att den anpassade funktionen, som erhållits vid regressionsanalysen, förklarar 74% av variationen i y. De återstående 26% tillskrivs andra påverkande faktorer samt slumpen. Vid enkel linjär regression är  $R^2$  kvadraten på korrelationskoefficienten r.

Vid multipel regressionsanalys (MINITAB) blev  $R^2$ -koefficienterna för infiltrationens beroende av fönstertäthet och byggnadsår följande

fönstertäthet vid övertryck insida	10 Pa:	$R^2=64.8\%$
"- "- "-	50 Pa:	$R^2=60.5\%$
undertryck insida	10 Pa:	$R^2=67.2\%$
"- "- "-	50 Pa:	$R^2=63.7\%$

Determinationskoefficienten ligger kring 65%, dvs fönstertäthet och byggnadsår förklarar variationen i infiltrationen till ungefär 65%, vilket är ganska bra. För normalventilationen är förklaringsgraden endast omkring 10%.

Regressions sambandet mellan infiltration och fönstertäthet-byggnadsår visar att infiltrationen för en given fönstertäthet ökar med ökande ålder på husen. För ett givet byggnadsår minskar infiltrationen med ökande täthet hos fönsterna. Ju nyare husen är och ju tätare fönsterna är desto lägre blir infiltrationen.

I utskriften av regressionsanalysen anges också de så kallade t-kvoterna. Dessa visar om koefficienterna framför variablerna i regressionskvationen är signifikant skilda från 0 på en viss signifikansnivå, se Andersson et al (1983). I regressionskvationerna för sambanden mellan infiltration och fönstertäthet-byggnadsår är koefficienten för byggnadsår skild från 0 på 1%-nivån medan koefficienten för fönstertäthet är skild från 0 på 5%-nivån

endast vid 10 Pa undertryck invändigt.

En annan faktor som kan tänkas påverka luftomsättningen är materialet i ytterväggarna. I de undersökta lägenheterna var ytterväggarna antingen av sten eller trä. Regressionsanalyserna visar att för infiltrationen har förklaringsgraden ökat till drygt 75% om väggmaterialet tas med i regressionen, förutom byggnadsår och fönstertäthet. Motsvarande siffra för normalventilationen är 30%, den har ökat, men är fortfarande låg.

Regressions sambandet för infiltrationen i detta fall visar att lägenheter med ytterväggar av trä har lägre infiltration än lägenheter med ytterväggar av sten, skillnaden är ungefär 0.2 oms/h. Samtliga koefficienter i regressionsekvationen är signifikant skilda från 0 på nivån 0.2-5%.

Ytterligare en faktor som kan påverka luftomsättningen är antalet fasadsidor i lägenheten. Det visar sig emellertid att lägenheterna med ytterväggar av trä i huvudsak har 3 fasadsidor medan de med ytterväggar av sten i huvudsak har 2 fasadsidor. Det är därför svårt att säga om det är materialet eller antalet fasadsidor som påverkar luftomsättningen för dessa lägenheter. Tittar man emellertid på regressionsekvationerna så är koefficienterna för ytterväggsmaterialet statistiskt säkrare än koefficienterna för antalet fasadsidor. Troligt är således att det är ytterväggsmaterialet och inte antalet fasadsidor som i första hand påverkar luftomsättningen.

Slutligen kan husets läge i omgivningen tänkas påverka luftomsättningen. De undersökta husen låg antingen i tätare stadsbebyggelse eller ganska fritt i omgivningen. Regressionsanalyserna visar att för infiltrationen blir determinationskoefficienten omkring 80% om husens läge, byggnadsår och fönstertäthet tas med i regressionen. Koefficienterna i regressionsekvationerna är samtliga skilda från 0 (0.2-2%-nivån).

Regressions sambandet visar att hus som är belägna i stadsbebyggelse har högre infiltration än hus i friare lägen, skillnaden är omkring 0.2 oms/h.

Infiltrationen är, som synes, till största delen beroende av fönstertäthet, byggnadsår och ytterväggsmaterial eller husens läge i omgivningen. Normalventilationen däremot beror till mycket liten del på dessa faktorer. Här spelar troligtvis andra faktorer in, som t ex utformningen av ventilationskanaler, don och liknande. I TAB.3 anges resultaten av de utförda regressionsanalyserna. För fönstertäthet anges medelvärde av determinationskoefficienterna för fönstertätheten vid övertryck och undertryck vid tryckskillnaderna 10 Pa och 50 Pa. Inom parentes anges lägsta och högsta värde.

TAB.3 Påverkande faktorer för infiltration och normalventilation för 15 självdragsventilerade lägenheter. Resultat av regressionsanalys med MINITAB.

Faktor	Determinationskoefficient $R^2$ (%)	
	Förklaringsgraden	
	Infiltration	Normalventilation
Byggnadsår	53.1	5.8
Fönstertäthet	31.6 (27.2,36.2)	8.4 (6.1,10.0)
Byggnadsår + fönstertäthet	64.1 (60.5,67.2)	10.6 (8.7,12.0)
Byggnadsår + fönstertäthet + + ytterväggsmaterial	76.8 (75.4,78.0)	31.5 (29.8,32.7)
Byggnadsår + fönstertäthet + + antal fasadsidor	73.1 (71.7,74.1)	26.7 (25.7,27.6)
Byggnadsår + fönstertäthet + + husens läge	80.9 (78.9,82.5)	21.0 (19.7,22.7)

Vid tolkningen av regressionsanalyserna bör man emellertid vara mycket försiktig eftersom materialet är litet, endast 15 lägenheter. Dessutom utgör materialet inte ett statistiskt urval, trots att mätobjekten kommer från olika orter och har varierande ålder. Därför gäller de här resultaten enbart för detta material och inte generellt. I och med att urvalet inte är statistiskt så kan resultaten ibland bli motsägelsefulla, som t ex att hus i tätare stadsbebyggelse får högre infiltration än hus i friare lägen. Det

kan vara andra faktorer, som inte studerats vid analyserna, som ger detta utslag, t ex vind och temperaturskillnad mellan inne- och uteluft.

### Mätresultat före och efter omtätning av fönster

#### Fönstertäthet

Hur tätheten kan förbättras hos äldre fönster har studerats dels i laboratorium och dels i fält. Tätheten har mätts såväl före som efter omtätning mellan båge och karm. Några fönster har dessutom tätats om mellan karm och vägg och mätningar har även här gjorts före och efter omtätning. Totalt har 9 fönster studerats före och efter omtätning mellan båge och karm, 3 i laboratorium och 6 i fält. Av de senare har 4 tätats om även mellan karm och vägg.

Vid tätning mellan karm och båge skall tätningslisten placeras längst in mot rummet. Härvid är den bäst skyddad mot väder och vind samt motverkar kondens på ytterglasets insida. Vid inåtgående bågar placeras listen på bågen och vid utåtgående bågar placeras listen på karmen.

Vid omtätningen av samtliga studerade fönster användes gummilister, eftersom dessa har god elasticitet, goda åldringsegenskaper, förmåga att ta upp ojämnheter mellan båge och karm samt förmåga att följa med i bågens rörelser. Dels användes slanglister med O-profil och dels cellister, porösa gummilister med slutna porer.

Fogen mellan karm och vägg skall fungera på samma sätt som väggen och bör därför byggas upp efter samma grundprinciper. Dessa principer baseras lämpligen på tvåstegstätning, dvs regntätning på utsidan och vindtätning innanför i var sitt skikt. Fogen måste dessutom vara värmeisolerande, för att minska värmeförlusterna och för att skydda mot kondens.

Omtätningen mellan karm och vägg utfördes på följande sätt. Först plockades foder eller trälistor bort invändigt och den gamla drevningen undersöktes. Därefter packades den gamla drevningen väl med en träspackel och kompletterades med ny mineralullsdrevning där så erfordrades. På drevningen lades sedan en bottnings-

list av gummi i lämplig storlek. Storleken bestämdes av fogbred- den. Till sist lades fogmassa i fogen och trälisterna monterades på plats igen.

Täthetsmätningarna visar att tätheten kan förbättras mycket med hjälp av nya tätningslister. Men för att uppnå gott resultat vid omtätning av fönster är det också viktigt att bågen justeras i karmen så att fönstret går lätt att öppna och stänga. Även stäng- ningsbeslag och gångjärn bör ses över och eventuellt justeras. Vikten av justering av bågar och stängningsbeslag illustreras i FIG.30 och FIG.31.

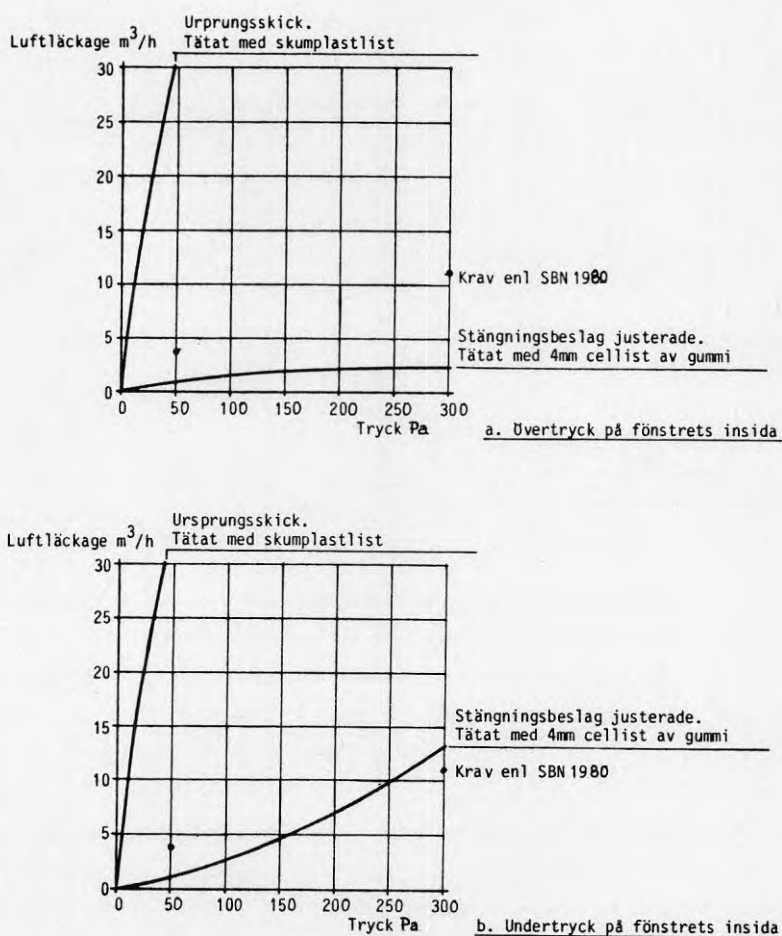
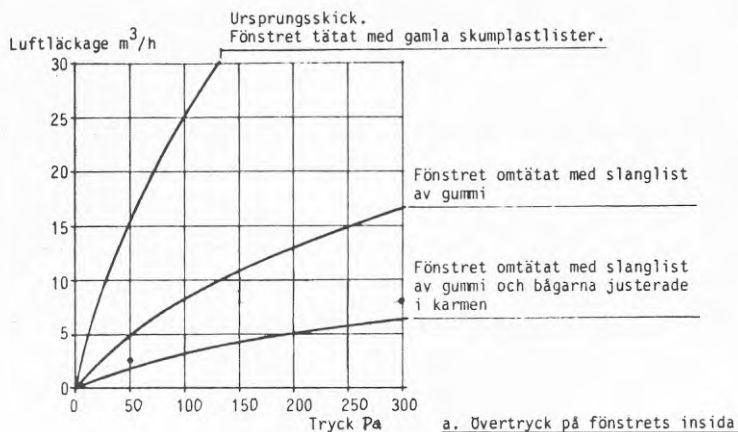


FIG.30 Jämförelse mellan luftläckage före och efter omtätning mellan karm och båge. Kopplade inåtgående bågar, två fönsterlufter med mittpost. Yta  $2.0 m^2$ . Fältmätning.



•KEAV SBN 1980

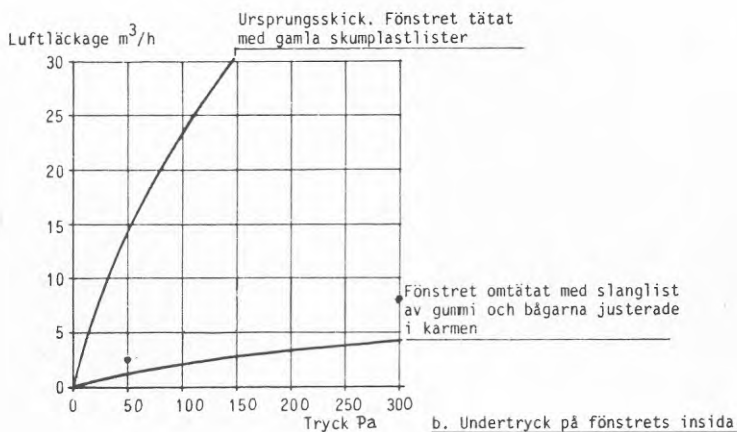


FIG.31 Jämförelse mellan luftläckage före och efter omtätning mellan karm och båge. Kopplade utåtgående bågar, två fönsterlufter med mittpost. Yta 1.44 m<sup>2</sup>. Laboratiemätning.

Det första fönstret har testats i fält och det andra i laboratorium. I det senare fallet har man haft möjlighet att enkelt ta reda på var otätheterna fanns och kunnat justera fönstret efter detta. Den möjligheten har man inte vid fältmätningar.

Alla omtätade fönster har inte blivit lika täta efter omtätningen som dessa båda. Flertalet har dock erhållit acceptabel täthet.



För två av fönsterna har emellertid omtätningen lett till ökat luftläckage jämfört med ursprungsskicket. Dessa fönster tätades om även mellan karm och vägg och borde ha gett ett bättre resultat. Varför luftläckaget genom fönsterna ökat är svårt att säga, men troligtvis beror det på dåligt utförande av omtätningen och ingen justering av fönsterbågar och stängningsbeslag.

### Luftomsättning

I nio lägenheter i Malmö har luftomsättningen uppmätts före resp efter omtätning av fönster. Två av lägenheterna hade självdragsventilation och sju hade mekanisk frånluftsventilation. Luftomsättningen bestämdes med hjälp av spårgas.

### Självdragsventilation

Resultaten av mätningarna redovisas i TAB.4. I tabellen anges uppmätta värden på ventilation, vind och temperatur. Klimatförhållandena vid före- och eftermätningarna är ganska lika, varför mätvärdena direkt kan jämföras med varandra. Vid omtätningen användes tätningslister av gummi. Samtliga fönster och ytterdörrar försågs med nya tätningslister mellan karm och båge respektive dörrblad.

TAB.4 Uppmätta värden på ventilationen före och efter omtätning av fönster och ytterdörr i lägenheter med självdragsventilation.

Lägenhet Mätfall	Vindhastighet (m/s) Vindriktning	Temperatur- skillnad ute-inne (°C)	Infiltra- tion (oms/h)	Normal ventilation (oms/h)
1. ursprung	0 -1.3 S	23.5	0.46	0.71
efter omtätning	0.7-2.6 S	20.0	0.09	0.28
2. ursprung	2.0 0	24.0	0.15	0.40
efter omtätning	1.5-3.1 0	21.5	0.19	0.69

I den första lägenheten, som är byggd 1894, saknades tätningslistor. Här uppmättes normalventilationen till 0.71 oms/h och infiltrationen till 0.46 oms/h i ursprungsskick. Efter tätning av fönsterna och ytterdörren uppmättes motsvarande värden till 0.28 resp 0.09 oms/h. Tätningen har minskat ventilationen kraftigt, vilket troligtvis beror på att lägenheten ursprungligen saknade tätningslistor.

I den andra lägenheten, byggd 1919, var fönsterna försedda med textillister, som var gamla och övermålade på vissa ställen. Före omtätningen uppmättes normalventilationen till 0.40 oms/h och infiltrationen till 0.15 oms/h. Efter omtätningen uppmättes motsvarande värden till 0.69 oms/h resp 0.19 oms/h. Infiltrationen är ungefär lika stor före och efter omtätningen, medan normalventilationen däremot är högre efter omtätningen. Detta är underligt, men beror troligtvis på att fönsterbågar och beslag inte justerades. Det har tidigare visats att detta är viktigt att göra vid omtätning. En annan tänkbar förklaring till det höga värdet på normalventilationen är att vi har fått s k "snedtändning" i ventilationssystemet efter omtätningen. Detta innebär att luftströmmen i någon av ventilationskanalerna har vänt och istället för att evakuera luft från lägenheten och ut, så dras uteluften in genom kanalen till lägenheten. Detta medför helt naturligt högre luftomsättning.

Enligt Nylund (1984) är det ganska vanligt att man får en sådan "snedtändning" efter tätning av fönster i självdragsventilerade hus. Risker för "snedtändning" ökar när ytterväggarna görs tätare. Orsaken kan vara en höjning av temperaturen i en av kanalerna så att drivkraften i denna ökar. Detta ökar i sin tur undertrycket i lägenheten och motverkar den uppåtgående luftströmmen i en annan kanal. Så småningom kan luftströmmen vända i denna kanal. Ju längre det här tillståndet varar desto stabilare blir det, eftersom uteluften kyler ner kanalen.

Att på grundval av dessa båda mätningar påvisa hur mycket luftomsättningen förändras vid en omtätning är mycket svårt. Resultaten har varit skiftande, i ena fallet har ändringen varit till det bättre och i andra fallet till det sämre. En sak kan emellertid konstateras och det är att man måste vara försiktig vid omtätning

av självdragsventilerade lägenheter så att luftströmmen inte kastas om i någon kanal. Detta leder till drag och ökad energiförbrukning.

#### Mekanisk frånluftsventilation

Resultaten redovisas i TAB.5. I tabellen anges uppmätta värden på ventilation, vind och temperatur. Tidsintervallet mellan före- och eftermätningarna har varit mindre än en månad, ibland bara några dagar. För lägenhet 1, 2, 6 och 7 har uteklimatet varierat ganska lite mellan före- och eftermätningarna. Däremot har för lägenhet 3-5 vindhastighet och -riktning förändrats kraftigt mellan mätningarna. I samtliga fönster monterades nya tätningsslister av gummi, typ slanglist. I de sex sista lägenheterna tätades skarven mellan karm och vägg också om, enligt tidigare beskrivning. Dessa lägenheter tillhörde samma fastighet.

I den första lägenheten, byggd 1974, var fönsterna tätade med textillister. I ursprungsskick uppmättes infiltrationen till 0.15 oms/h och normalventilationen till 0.43 oms/h. Därefter plockades tätningsslister bort och en ny mätning gjordes. Nu blev mätvärdet för infiltrationen 1.1 oms/h och för normalventilationen 0.86 oms/h. Ventilationen ökar kraftigt då fönsterna helt saknar tätningsslister. Infiltrationen blir till och med större än normalventilationen. Detta kan bero på att tryckförhållandena i lägenheten är annorlunda i infiltrationsfallet, då ventilationsdonen är tätade, än i normalfallet, då ventilationsdonen fungerar som de ska. Detta kan leda till att luftläckaget genom otätheter i väggar och fönster blir större i infiltrationsfallet.

Sedan fönsterna tätats igen blev infiltrationen 0.22 oms/h och normalventilationen 0.46 oms/h. Infiltrationen har ökat något efter omtätningen medan normalventilationen är lika stor som i ursprungsfallet.

I de andra sex lägenheterna (nr 2-7), byggda 1971, var fönsterna tätade med lister av syntetgummi med V-profil. Av tabellen framgår att infiltrationen har ökat efter omtätningen i fyra av lägenheterna och minskat i en. Normalventilationen har efter omtätningen ökat i två av lägenheterna och minskat i två. De övriga

har ungefär samma luftomsättning före och efter omtätningen. Om man enbart studerar lägenheterna 2, 6 och 7 med ungefär samma klimatförhållande före och efter omtätning är förändringen liten.

TAB.5 Uppmätta värden på ventilationen före och efter omtätning av fönster i lägenheter med mekanisk frånluftsventilation.

Lägenhet Mätfall	Vindhastighet (m/s)	Vindriktning	Temperatur- skillnad ute-inne (°C)	Infiltra- tion (oms/h)	Normal ventilation (oms/h)
1. ursprung utan tätning efter omtätning	1.3-3.8	NNO	23.5	0.15	0.43
	0.9-2.0	NO	22.5	1.10	0.86
	3.2-5.3	V	23.0	0.22	0.46
2. ursprung ursprung ursprung ursprung efter omtätning efter omtätning	4.0	SV	6.0	0.11	0.45
	9.0	SV	8.5-10.0	0.25	0.56
	10.0	SV-V	17.5	0.13	0.58
	2.0		24.0	0.06	0.34
	3.0	SO-S	17.5-20.5	0.05	0.43
	4.0	NV	20.0	0.09	0.42
3. ursprung efter omtätning	6.0	S	16.0-17.5	0.05	0.37
	11.0	O	22.5	0.26	0.54
4. ursprung efter omtätning	4.0	NO-NV	26.5	0.14	0.26
	1.0	NO	17.0-18.0	0.06	0.36
5. ursprung efter omtätning	9.0	V-NV	20	0.11	0.35
	3.0	N	19.0	0.04	0.42
6. ursprung efter omtätning	10.0	SO-S	25.0	0.27	0.73
	0.2-0.9	NV	3.0-4.5	0.08	0.53
7. ursprung efter omtätning	1.9-2.2	SSV	2.5	0.14	0.61
	1.6-3.1	SV-SSV	4.0-5.0	0.07	0.30
	0.7-4.5	NO-S	4.0-6.0	0.14	0.34

I en av lägenheterna gjordes flera föremätningar. Trots att uteklimatet har varierat en hel del mellan dessa mätningar så ligger mätvärdena för ventilationen ganska väl samlade, dvs klimatet tycks inte nämnvärt påverka luftomsättningen.

Resultaten kan sammanfattas så att infiltrationen har ökat i de flesta fall efter omtätningen av fönster medan normalventilationen är oförändrad. Effekten av omtätning vid normalventilation skall i och för sig bli liten eftersom en omfördelning av tryckfall över byggnadsdelar och i kanalsystem medför att luftflödet endast påverkas i mindre omfattning (Jensen, Lange (1982)). Även Nylund (1984) visar med sina beräkningar att tätningsåtgärder endast marginellt påverkar luftomsättningen.

#### Slutsatser. Inverkan på värmebehovet

Täthetsmätningarna på befintliga fönster visar att flertalet fönster är mycket otäta. Knappt 15% av dem har acceptabel täthet. Fönstertypen tycks inte ha någon betydelse för lufttätheten och inte heller fönsternas ålder. Försök i laboratorium och fält visar att tätheten kan förbättras betydligt med hjälp av nya tätningslistor av gummi och med noggrann justering av fönsterbågar och stängningsbeslag. Det senare har visat sig vara mycket betydelsefullt.

Luftomsättningsmätningarna visar att infiltrationen i självdragsventilerade lägenheter i medeltal är 0.26 luftomsättningar per timme och normalventilationen i medeltal är 0.47 oms/h. I frånluftsventilerade lägenheter uppmättes infiltrationen i medeltal till 0.12 oms/h och normalventilationen i medeltal till 0.47 oms/h. Mätningarna är gjorda i husen i befintligt skick. Medeltalet för normalventilationen både i självdragsventilerade och frånluftsventilerade lägenheter ligger ganska rätt med avseende på hygieniska krav, men många av lägenheterna har för hög eller för låg ventilation.

En jämförelse mellan medelvärdet på uppmätt luftomsättning i självdragsventilerade lägenheter och beräknat värde, med datorprogrammet JK-CIRCUS, visar att äldre lägenheter har sådan täthet på väggar och fönster att  $n_{50}$ -värdet i genomsnitt ligger omkring 1.5 oms/h. Detta är ganska bra eftersom normvärdet för flervåningshus är 1 oms/h. För ett par av lägenheterna var emellertid den uppmätta luftomsättningen 0.8-1.0 oms/h. För dessa lägenheter ligger  $n_{50}$ -värdet omkring 5 oms/h.

Vi vet att fönsterna i lägenheterna är otäta, men hur påverkar detta luftomsättningen. Försök att korrelera uppmätt luftomsättning och fönstertäthet i självdragsventilerade lägenheter gav för infiltrationen en korrelationskoefficient på 0.55 och för normalventilationen 0.3. En hypotes var därför att fönstertätheten har liten inverkan på luftomsättningen.

Beräkningar med JK-CIRCUS på en självdragsventilerad lägenhet visar att inom det normala vindområdet (2-8 m/s) så minskar luftomsättningen med högst 0.1 oms/h, när tätheten hos fönsterna förbättras till normvärdet. Beräkningsmässigt är det en liten energibesparing man gör vid omtätning av fönster.

Mätningar av luftomsättningen före och efter omtätning av fönster i två självdragsventilerade lägenheter har gett skiftande resultat. I det ena fallet har luftomsättningen minskat kraftigt efter omtätningen, vilket ger minskat värmebehov i lägenheten. I det andra fallet har luftomsättningen ökat. Detta beror troligtvis på att det har blivit baksug i någon av ventilationskanalerna, vilket innebär att denna istället kommer att fungera som en tillluftskanal. Härvid ökar luftintaget i lägenheten och luftomsättningen blir större. Den ökade luftomsättningen kräver inte bara mer värmetillförsel utan luften i den omvänt fungerande kanalen upplevs som obehaglig, det blir tjuvdrag i lägenheten. Det finns således risk för ökad energiförbrukning vid omtätning av fönster i självdragsventilerade hus. Man måste vara medveten om vad som kan hända, att man kan få "snedtändning" i ventilationssystemet.

Effekten av en förbättrad täthet hos fönster i mekaniskt frånluftsventilerade lägenheter är liten. Resultatet blir bara en omfördelning av tryckfallen över kanaler och byggnadsdelar med ringa påverkan på luftomsättningen. Mätningar av luftomsättningen före och efter omtätning av fönster i några frånluftsventilerade lägenheter visar att så är fallet. Luftomsättningen påverkas endast i liten omfattning i flertalet lägenheter.

I en av fastigheterna ovan var det många hyresgäster som efter omtätningen klagade över att det drog mer ifrån fönsterna och att det tjöt i dem. Troligtvis har luftläckaget i fönsterna efter omtätningen koncentrerats till en eller ett par punkter, mot att

tidigare ha varit jämnt fördelat över hela fönstret. Ett koncentrerat luftläckage upplevs mycket obehagligare än ett mer utspritt läckage. Dessutom är det så att då fönsternas täthet i frånluftsventilerade lägenheter förbättras, så ökar undertrycket i huset väsentligt. Detta medför bl a att luftläckaget genom kvarvarande otätheter ökar och risk för obehag föreligger.

Både beräkningar och mätningar visar att fönstertätheten har liten inverkan på luftomsättningen, både i självdraagsventilerade och mekaniskt frånluftsventilerade lägenheter. Detta innebär att en förbättrad täthet hos fönster inte ger någon större energibesparing. Men att fönsterna är täta är viktigt för komforten - fönsterdrag minskar och vistelsezonen i rummen ökar. Minskat obehag av fönsterdrag innebär att lufttemperaturen inne kan sänkas, vilket leder till minskad energiförbrukning. Vältätade fönster utestänger dessutom smuts och buller.

## FÖNSTERS VÄRMEBALANS

Detta avsnitt behandlar värmebalansen för fönster, teoretiskt och experimentellt.

Glaspartiers värmeförluster under mörker

För ett antal äldre tvåglasfönster har värmemotståndet i en punkt på glasdelen bestämts med hjälp av flödesgivare av hjälpväggstyp. Flödesgivaren mäter temperaturskillnaden över givareplattan och med hjälp av materialdata för givaren kan flödet genom punkten bestämmas. Den inre och den yttre yttemperaturen på glasdelen uppmättes samtidigt med termoelement. Då dessa tre mätvärden är kända för mätpunkten, kan värmemotståndet beräknas. Till detta värde adderas det normerade övergångsmotståndet för in- och utsida,  $R_{si} + R_{se}$ , som för fönster är  $0.2 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$ . Därefter kan U-värdet för mätpunkten beräknas.

Mätningarna gjordes på fönster i befintliga hus. Placeringen av flödesgivaren varierade beroende på hur fönstret i fråga såg ut. Strävan var att montera givaren mitt på en större glasdel i fönstret, se FIG.32.

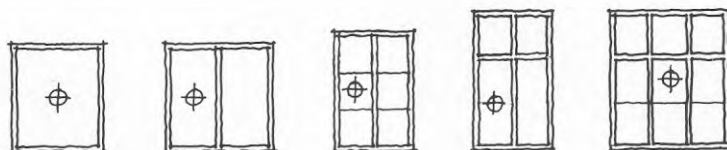


FIG.32 Placering av flödesgivare på olika fönster.

Värmemotståndet uppmättes hos totalt 19 st tvåglasfönster, varav 12 st hade kopplade bågar och 7 st dubbla enkelbågar. För fönster med kopplade bågar låg det uppmätta U-värdet i medeltal på  $2.42 \text{ W}/^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2$  (mellan  $2.22$  och  $2.64 \text{ W}/^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2$ ). Motsvarande värde för fönster med dubbla enkelbågar var  $2.35 \text{ W}/^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2$  (mellan  $2.25$  och  $2.47 \text{ W}/^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2$ ). Skillnaden i U-värde mellan de båda fönsterkonstruktionerna torde bero på att fönster med dubbla



enkelbågar har större avstånd mellan glasen, vilket ger dem något högre värmemotstånd och därmed lägre U-värde än fönster med koplade bågar. Skillnaden är dock ganska liten, ca 3%. Materialet är också litet, varför det är svårt att dra några generella slutsatser.

Mätning med flödesgivare ger bara en uppfattning om värmeflödet i just den punkt man mäter. Eftersom mätningar har skett i endast en punkt på fönsterna, så går det inte att dra några slutsatser om värmemotståndet för fönsterna som helhet.

En tillförlitligare metod att bestämma värmemotståndet är att mäta i en sk hot-box. Härvid bestäms värmemotståndet för hela fönstret.

Metoden innebär att man har två kamrar med mellanliggande skiljevägg i vilken provfönstret monteras (FIG.33). I den ena kammaren simuleras inomhusklimat och i den andra utomhusklimat. I den varma kammaren finns en varmlåda i vars nedre del en värmekälla är monterad. Värmekällans effekt kan regleras så att värmeflödet mellan varmlådan och den varma kammaren blir noll eller nära noll. I varmlådan finns en skärm som förhindrar värmestrålning från värmekällan till fönstret och som kan åstadkomma en egenkonvektion i lådan. Termoelement har monterats i varmlådan och i kalla kammaren för att mäta lufttemperaturen. Likaså har termoelement monterats på fönsternas inner- och yttersidor för att mäta yttemperaturer på båge, karm och glas. Vid mätningarna registreras den effekt som levereras till värmekällan i varmlådan. Dessutom registreras yttemperaturerna på fönsterbåge, -karm och -glas samt temperaturerna i kamrarna och varmlådan. Värmemotståndet  $R$  har därefter beräknats enligt formeln

$$R = \frac{A(\bar{\theta}_{si} - \bar{\theta}_{se})}{\phi}$$

där

$A$  = area fönster ( $m^2$ )

$\bar{\theta}_{si}$  = medelyttemperatur på fönstrets varma sida ( $^{\circ}C$ )

$\bar{\theta}_{se}$  = medelyttemperatur på fönstrets kalla sida ( $^{\circ}C$ )

$\phi$  = tillförd värmeeffekt genom fönstret ( $W$ )

Värmeegenomgångskoefficienten, U-värdet, beräknas enligt följande formel

$$U = \frac{1}{R + R_{si} + R_{se}}$$

där  $R_{si} + R_{se}$  = de aktuella värmeövergångsmotstånden som för fönster oftast sätts till  $0.20 \text{ } ^\circ\text{Cm}^2/\text{W}$ .

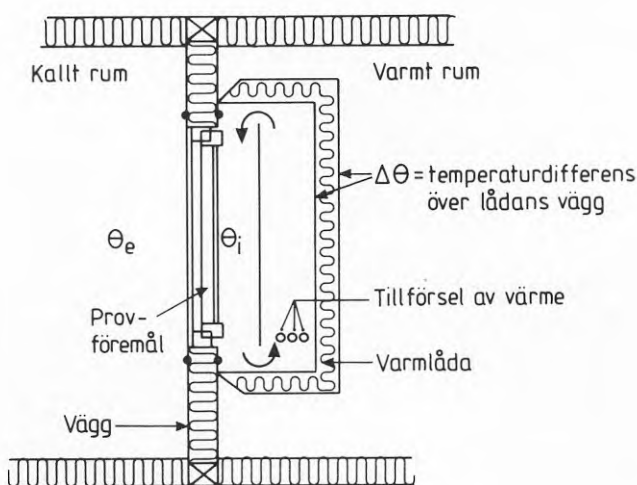


FIG.33 Principskiss över provningsutrustning.

För tre äldre fönster har värmemotståndet bestämts i en hot-box. Fönsterna kommer från hus i vilka man bytt fönster. Det är således fönster som har varit i bruk ett antal år och varit utsatta för väder och vind. Fönsterna kommer från södra Sverige.

Det första fönstret är från 1930-talet. Det har 2 kopplade utåtgående bågar och mittpost. Storleken är  $1.40 \text{ m} \times 1.48 \text{ m}$  (bredd x höjd). Dimensioner på karm och bågar enligt FIG.34. Fönstret saknade tätningslister.

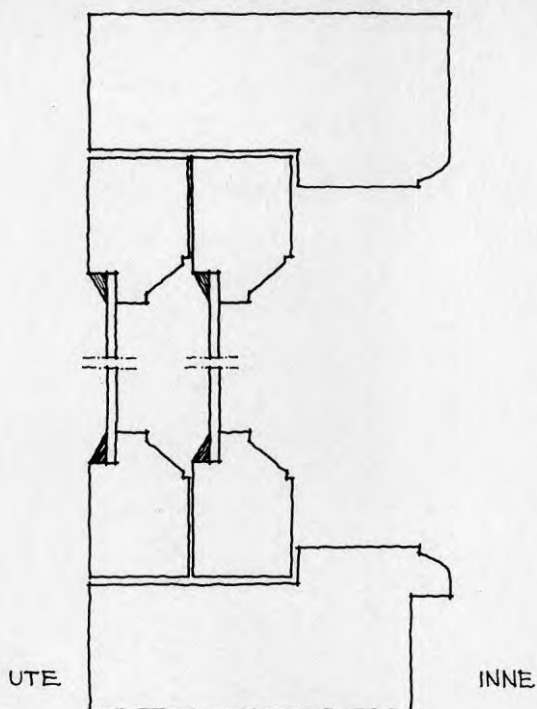


FIG.34 Dimensioner på karm och bågar. Fönster från 1930-talet.

Vid mätningarna var lufttemperaturen på kalla sidan omkring  $-11^{\circ}\text{C}$  och på varma sidan omkring  $19.5^{\circ}\text{C}$ . Det uppmätta U-värdet för fönstret var  $2.03 \text{ W}/^{\circ}\text{Cm}^2$ . Mätningar gjordes också med en tättningslist av gummi mellan karm och båge. Resultatet blev ungefär detsamma som för fönstret i ursprungsskick.

Det andra fönstret är från mitten av 1960-talet. Det har 2 koppade utåtgående bågar och mittpost. Storleken är  $0.95 \text{ m} \times 1.14 \text{ m}$  (bredd x höjd). Dimensioner på karm och bågar enligt FIG.35. Fönstret hade tättningslister av textil.

Lufttemperaturen på kalla sidan var omkring  $-11^{\circ}\text{C}$  och på varma sidan omkring  $19^{\circ}\text{C}$ . U-värdet för fönstret uppmättes till  $2.01 \text{ W}/^{\circ}\text{Cm}^2$ . Mätningar gjordes även här med en tättningslist av gummi mellan båge och karm. Värdet blev ungefär detsamma som för fönstret i ursprungsskick.

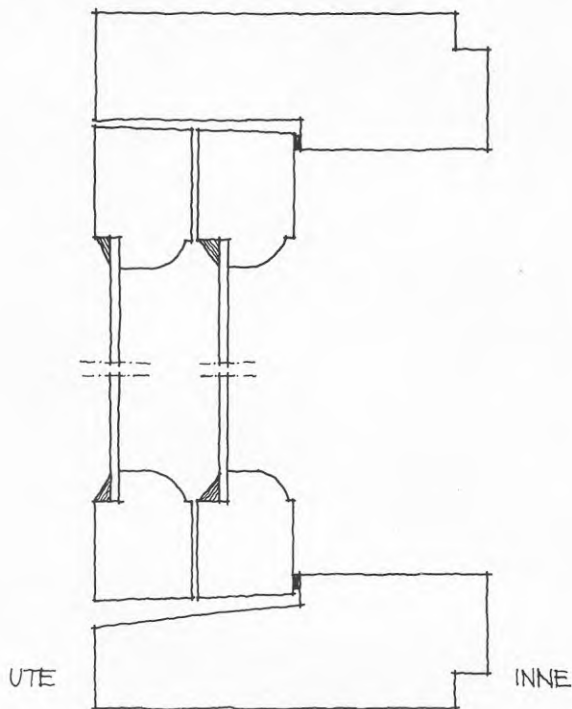


FIG.35 Dimensioner på karm och bågar hos fönster från mitten av 1960-talet.

Det tredje fönstret är från 1973. Det har en kopplad utåtgående båge. Storleken är 0.89 m x 1.49 m (bredd x höjd). Bågar och karm enligt FIG.36. Fönstret hade tätningslist av gummi, slangprofil.

Vid mätningarna var lufttemperaturen på den kalla sidan ca  $-11^{\circ}\text{C}$  och på den varma sidan ca  $19^{\circ}\text{C}$ . Det uppmätta U-värdet blev  $2.19 \text{ W}/^{\circ}\text{Cm}^2$ . Fönstret hade en persienn mellan bågar. Med persiennen nedfälld och lamellerna vertikalställda blev det uppmätta U-värdet  $1.78 \text{ W}/^{\circ}\text{Cm}^2$ . Persiennen sänker således U-värdet från  $2.19$  till  $1.78 \text{ W}/^{\circ}\text{Cm}^2$ , en förbättring på 19%.

Den ursprungliga luftspalten delas inte helt upp i två luftspalter av persiennen. Konvektionen är troligtvis densamma, däremot minskar strålningen och fönstrets värmemotstånd ökar.

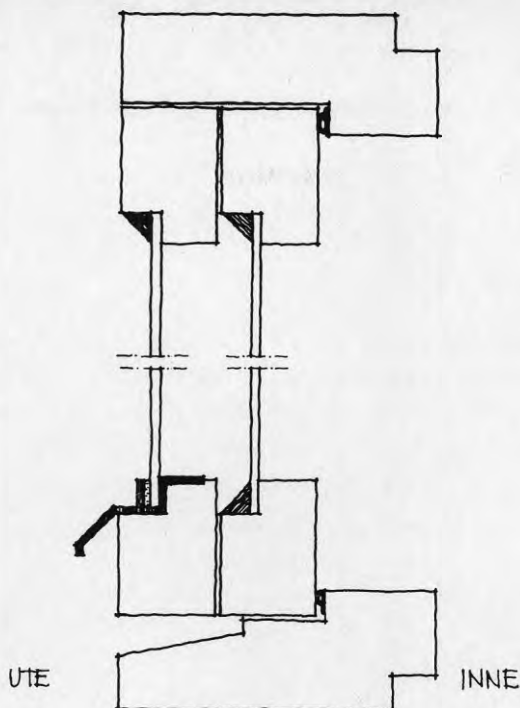


FIG.36 Dimensioner på karm och bågar. Fönster från 1973.

De uppmätta U-värdena för fönsterna ligger väl samlade, kring drygt  $2.0 \text{ W/}^\circ\text{Cm}^2$ . Det nyare fönstrets U-värde ligger dock något högre än de båda övriga fönsternas. Det beror på att detta fönster har större glasandel än de båda andra.

#### Utstrålning mot himlen och dess inverkan på värmeförlusten

Ett fönsters värmemotstånd sammansätts i en del som beror på själva fönsterkonstruktionen och en del som beror på förhållanden för den inre samt yttre omgivningen ( $R_{si} + R_{se}$ ). Det yttre värmeövergångsmotståndet kan variera en hel del då det beror på konvektionen vid ytan (vind, temperatur) och strålningsutbytet med omgivningen. För klara nätter kan  $R_{se}$  till och med bli negativt, dvs yttemperaturen blir lägre än lufttemperaturen. Skillnaden mellan klara och molniga nätter märks mer för fönster med dåligt U-värde. Inverkan blir mindre ju bättre fönstret är, dvs ju fler glas och luftspalter det har.

Teori och beräkningar

Strålningen  $\Phi_r$  (W) från omgivningen (himmel, mark, byggnader osv) kan skrivas

$$\Phi_r = \epsilon_a \sigma_s A_a T_a^4$$

där

$\epsilon_a$  = emissivitet för omgivningen

$\sigma_s$  = Stefan-Bolzmanns konstant  $5.67 \cdot 10^{-8}$  (W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>)

$A_a$  = area omgivning (m<sup>2</sup>)

$T_a$  = temperatur omgivning (K)

Värmeutbytet mellan ett fönster och omgivningen blir på grund av strålning

$$\Phi_r = \epsilon_{res} \sigma_s A_1 (T_{se}^4 - T_a^4) \quad (W)$$

där  $\epsilon_{res}$  = den resulterande emittansen som ges av

$$\frac{1}{\epsilon_{res}} = \frac{1}{\epsilon_1} + \left(\frac{1}{\epsilon_a} - 1\right) \frac{A_1}{A_a}$$

$A_1, A_a$  = area fönster respektive omgivning (m<sup>2</sup>)

$T_{se}$  = yttemperatur fönster ute (K)

$T_a$  = temperatur omgivning (K)

$\epsilon_1, \epsilon_a$  = emissivitet för fönster respektive omgivning

Värmeövergångskoefficienten pga strålning  $\alpha_r$  (W/°Cm<sup>2</sup>) definieras som

$$\alpha_r = \frac{\epsilon_{res} \sigma_s}{(\theta_{se} - \theta_e)} (T_{se}^4 - T_a^4)$$

där

$\epsilon_{res}$  = den resulterande emittansen enligt ovan

$\theta_{se}$  = yttemperatur fönster ute (°C)

$\theta_e$  = lufttemperatur ute (°C)

$T_{se}$  = yttemperatur fönster ute (K)

$T_a$  = temperatur omgivning (K)

Då  $A_a$  är mycket större än  $A_1$  blir  $\epsilon_{res}$  ungefär lika med  $\epsilon_1$ . Emmittansen för vanligt fönsterglas är 0.85, varför ovanstående uttryck kan skrivas

$$\phi_r = 0.85 \cdot 5.67 \cdot 10^{-8} A_1 (T_{se}^4 - T_a^4)$$

$$\alpha_r = \frac{0.85 \cdot 5.67 \cdot 10^{-8}}{(\theta_{se} - \theta_e)} (T_{se}^4 - T_a^4)$$

För molniga nätter är omgivningens temperatur mycket nära luftens, medan den för klara nätter är lägre än luftens temperatur. Den härvid stora utstrålningen ökar värmeförlusterna genom fönstret.

För vertikalt monterade fönster kan temperaturskillnaden mellan uteluften och omgivningen bli högst 15–20 °C. För horisontella fönster däremot kan denna skillnad bli 30–40 °C, beroende på att dessa fönster i huvudsak är exponerade mot himlen (jfr FIG. 43–44).

Inverkan av strålningsutbytet med omgivningen på det yttre värmövergångsmotståndet  $R_{se}$  och på U-värdet har beräknats för ett treglasfönster med 12 mm luftspalt mellan rutorna, som är 3 mm. Beteckningar enligt FIG.37.

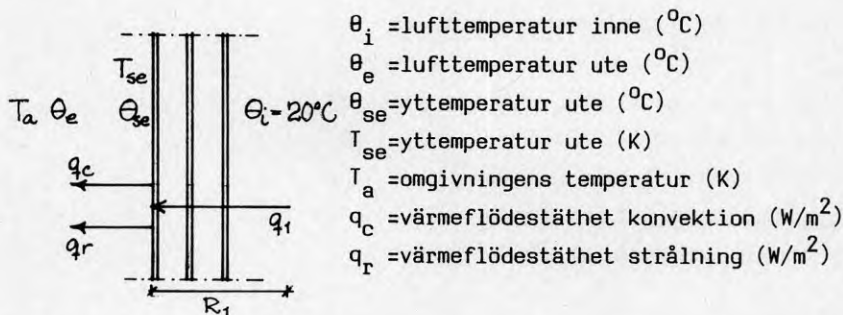


FIG.37 Beteckningar för beräkning

Värmemotståndet  $R_1$  från inneluften till den yttre ytan blir enligt nedan då  $\lambda$ -värdet för glas är  $0.8 \text{ W/}^\circ\text{Cm}$ , värmemotståndet för luftspalten antas vara  $0.166 \text{ }^\circ\text{Cm}^2/\text{W}$  (Adamson, Hidemark 1986) och inre värmeövergångsmotståndet antas vara  $0.15 \text{ }^\circ\text{Cm}^2/\text{W}$ .

$$R_1 = 3 \frac{0.003}{0.8} + 2 \cdot 0.166 + 0.15 = 0.493 \text{ }^\circ\text{Cm}^2/\text{W}$$

Värmeväxlingskoefficienten  $q_1$  ( $\text{W/m}^2$ ) från inneluften till den yttre ytan blir

$$q_1 = \frac{1}{R_1} (\theta_i - \theta_{se}) = \frac{1}{0.493} (20 - \theta_{se})$$

Värmeväxlingskoefficienten  $q_2$  ( $\text{W/m}^2$ ) från den yttre ytan till omgivningen är summan av  $q_r$  och  $q_c$ . Vid en medelvindhastighet på  $2 \text{ m/s}$  anger Jürges (1924) det konvektiva värmeövergångsmotståndet  $\alpha_c$  till  $15 \text{ W/}^\circ\text{Cm}^2$ . Enligt tidigare resonemang är  $\epsilon_{res}$  ungefär lika med  $\epsilon_1$ , som är  $0.85$  för vanligt fönsterglas.

$$\begin{aligned} q_2 = q_r + q_c &= \epsilon_{res} \sigma_s (T_{se}^4 - T_a^4) + \alpha_c (\theta_{se} - \theta_e) = \\ &= 0.85 \cdot 5.67 \cdot 10^{-8} (T_{se}^4 - T_a^4) + 15 (\theta_{se} - \theta_e) \end{aligned}$$

Men  $q_1 = q_2$ . Genom att ansätta värden på  $\theta_e$  och  $T_a$  kan  $\theta_{se}$  lösas ut. Därefter kan  $U$ -värdet beräknas

$$U = \frac{(\theta_i - \theta_{se})}{(\theta_i - \theta_e) R_1} = \frac{20 - \theta_{se}}{(20 - \theta_e) \cdot 0.493}$$

Yttre värmeövergångsmotståndet  $R_{se}$  ( $^\circ\text{Cm}^2/\text{W}$ ) beräknas ur

$$R_{se} = \frac{1}{U} - R_1 = \frac{1}{U} - 0.493$$

Resultaten av beräkningarna redovisas i TAB.6 resp FIG.38. Då temperaturdifferensen mellan uteluften och omgivningen är  $0$  ligger det yttre övergångsmotståndet  $R_{se}$  kring det förväntade värdet  $0.05 \text{ }^\circ\text{Cm}^2/\text{W}$ . Det påverkas endast lite av utetemperaturen. Då det blir en temperaturskillnad mellan uteluften och omgivningen så minskar det yttre övergångsmotståndet och det blir



till och med negativt. Värdet är beroende av utetemperaturen. Ju varmare uteluften är desto lägre blir värdet på  $R_{se}$ .

TAB.6 Yttemperatur  $\theta_{se}$ , yttre övergångsmotstånd  $R_{se}$  och U-värde för treglasfönster vid olika utetemperatur  $\theta_e$  och omgivningstemperatur  $\theta_a$ .

$\theta_e - \theta_a$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\theta_e$ ( $^{\circ}\text{C}$ )					
	-20	-10	0	10	15	
0	$\theta_{se}$	-15.98	-7.04	+1.94	+10.95	+15.47
	$R_{se}$	+0.055	+0.054	+0.053	+0.052	+0.051
	$U_{se}$	1.83	1.83	1.83	1.83	1.84
5	$\theta_{se}$	-16.74	-7.87	+1.02	+9.95	+14.43
	$R_{se}$	+0.044	+0.038	+0.026	-0.002	-0.050
	$U_{se}$	1.86	1.88	1.92	2.04	2.26
10	$\theta_{se}$	-17.44	-8.65	+0.16	+9.01	+13.44
	$R_{se}$	+0.034	+0.023	+0.004	-0.004	-0.117
	$U_{se}$	1.90	1.94	2.01	2.23	2.66
20	$\theta_{se}$	-18.73	-10.09	-1.42	+7.26	+11.62
	$R_{se}$	+0.016	-0.001	-0.033	-0.106	-0.199
	$U_{se}$	1.96	2.03	2.17	2.58	3.40
30	$\theta_{se}$	-19.87	-11.36	-2.84	+5.70	+9.98
	$R_{se}$	+0.002	-0.021	-0.061	-0.148	-0.247
	$U_{se}$	2.02	2.12	2.32	2.90	4.06
40	$\theta_{se}$	-20.86	-12.48	-4.09	+4.31	+8.51
	$R_{se}$	-0.010	-0.038	-0.084	-0.179	-0.278
	$U_{se}$	2.07	2.20	2.44	3.18	4.66

Dessutom framgår att ju varmare uteluften är desto snabbare sjunker värdet på det yttre övergångsmotståndet då temperaturskillnaden mellan uteluft och omgivning ökar. Vid en lufttemperatur på  $+15^{\circ}\text{C}$  blir  $R_{se}$  negativt redan vid en temperaturskillnad på omkring  $2.5^{\circ}\text{C}$  mellan uteluft och omgivning.

U-värdet för fönstret påverkas av variationen i  $R_{se}$ . Vid låga utetemperaturer är ökningen av U-värdet måttlig då temperaturskillnaden mellan uteluft och omgivning ökar. Vid höga utetemperaturer däremot ökar U-värdet kraftigt med ökande temperaturskillnad.

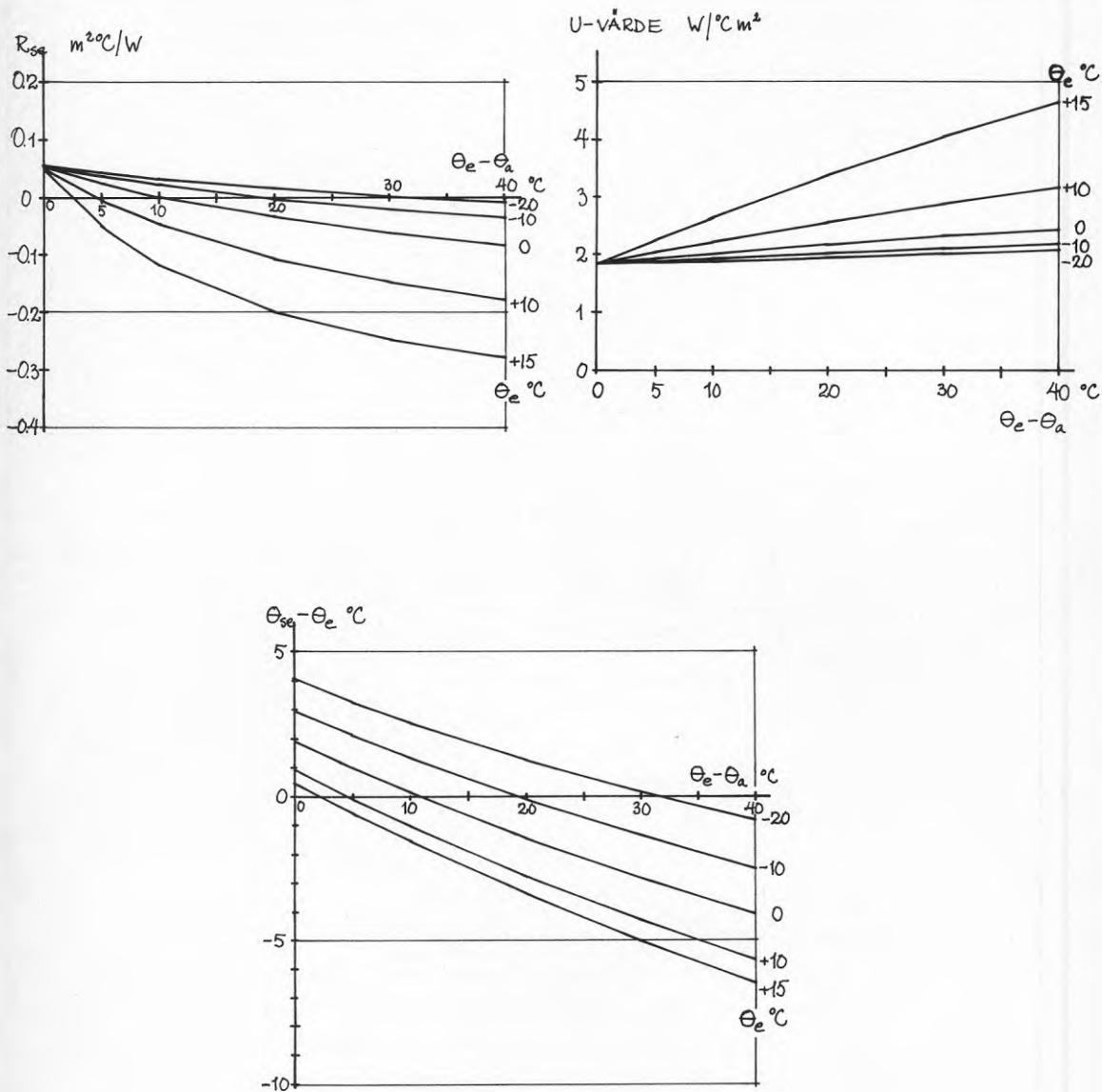
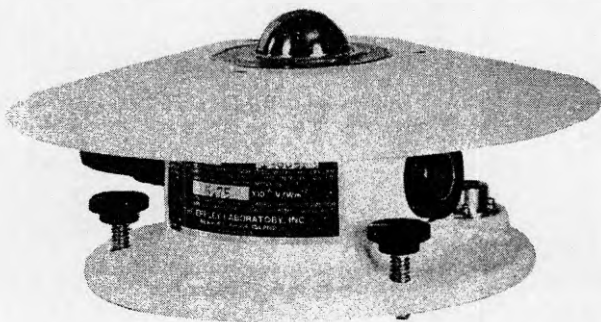


FIG.38 Beräknade värden på yttre värmeövergångsmotståndet  $R_{se}$ , U-värde samt temperaturskillnad mellan yttemperatur och lufttemperatur ute  $\theta_{se} - \theta_e$  vid olika temperatur på omgivning och uteluft. Treglasfönster.

Yttemperaturen på fönstret sjunker då temperaturskillnaden mellan uteluft och omgivning ökar. Den blir i vissa fall lägre än lufttemperaturen, vilket sker när det yttre övergångsmotståndet blir negativt.

#### Mätförfarande

Inverkan av strålningsdelen för det yttre värmeövergångsmotståndet har studerats med hjälp av pyrgeometer. Detta är en radiometer som mäter långvågig strålning. Den mäter strålningsutbytet mellan en svart yta (detektor) och omgivningen som t ex mark och himmel. Instrumentet visas i FIG.39.



EPPLEY PRECISION INFARED  
RADIOMETER (PYRGEOMETER)

Model PIR

FIG.39 Pyrgeometer, infraröd radiometer.

Pyrgeometern skall normalt sitta horisontellt, men eftersom vi var intresserade av att mäta värmestrålningen från omgivningen mot en vertikal yta, monterades den vertikalt på väggen bredvid ett fönster. I laboratorium studerades om den vertikala placeringen av instrumentet gav upphov till fel i mätvärdena. Resultatet redovisas i FIG.40. Av figuren framgår att en ändring av instrumentet från horisontalläge till vertikalläge inte ger upphov till större felvisning. Temperaturerna som anges på de olika kurvorna är den temperatur som kupolen hade, mot vilken pyrgeometern riktades. Det motsvarar himmelens temperatur.

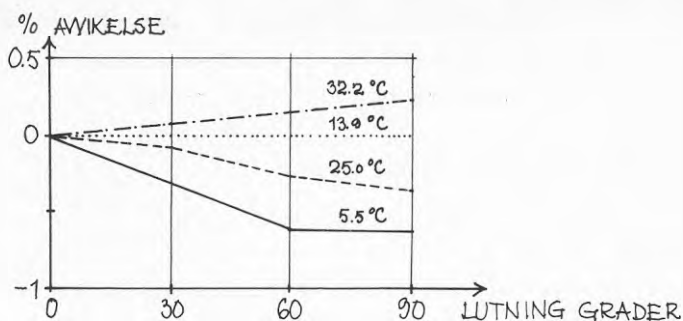
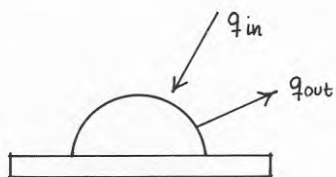


FIG.40 Pyrgeometerns felvisning då dess lutning mot horisontalplanet ändras.

Strålningsutbytet  $q_{\text{net}}$  kan skrivas som skillnaden mellan strålningen in och strålningen ut, se FIG.41.  $q_{\text{net}}$  mäts, men kompenseras i instrumentet med avseende på  $q_{\text{out}}$  så att  $q_{\text{in}}$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) registreras vid mätningarna.



$$q_{\text{net}} = q_{\text{in}} - q_{\text{out}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow q_{\text{in}} = \epsilon_{\text{res}} \sigma_s T_a^4 \quad (\text{W}/\text{m}^2)$$

FIG.41 Strålningsutbytet över pyrgeometern.

#### Mätresultat

Mätningar har gjorts på ett treglasfönster av storleken 1.20 m x 1.20 m. Fönstret var placerat i en hot-box, så att dess U-värde kunde bestämmas. Vid mätningarna registrerades yttemperaturer på fönstret, liksom lufttemperaturen ute och marktemperaturen. Den senare var dock svår att bestämma då det låg snö på marken under stor del av mätperioden. Pyrgeometern placerades på väggen vid sidan om fönstret.

Mätningarna pågick under drygt två månader. Under vissa perioder var fönstret skuggat med hjälp av en träjalusi med snedställda fasta lameller. Jalusin var monterad en bit utanför fönstret så att luftrörelserna kring fönstret inte påverkades. På detta sätt

kunde strålningsförhållandena motsvarande molnig natt studeras. Då jalousin inte var uppsatt erhöles strålningsförhållandena för verklig natt, som kunde variera från helt klar till helt mulen natt.

Mätvärden från sex timmar varje natt har bearbetats vidare. Värmefflödestätheten  $q_{in}$  ( $W/m^2$ ) bestämes med hjälp av pyrgeometern. Vid beräkning av omgivningens temperatur har uttrycket  $q_{in} = \epsilon_{res} \sigma_s T_a^4$  använts. Enligt tidigare resonemang blir  $\epsilon_{res}$  lika med emissionsförmågan för pyrgeometern, som är 1.

Om emissionsförmågan för mark, himmel och pyrgeometer sättes lika med 1, fås att den långvågiga strålningen från mark och himmel blir

$$q_{in} = \sigma_s (F_m T_m^4 + F_h T_h^4)$$

där

$F_m, F_h$  = vinkelkoefficienter för mark resp himmel  
sedda från pyrgeometern

$T_m, T_h$  = temperatur för mark resp himmel (K)

Vid beräkningen av himlens temperatur  $\theta_h$  ansättes  $T_m$  lika med utelufttemperaturen,  $\theta_e + 273$  (K) samt  $F_m = F_h = 0.5$ .

I FIG.42 visas sambandet mellan temperaturkvoten  $(\theta_{se} - \theta_e) / (\theta_i - \theta_e)$  och temperaturskillnaden mellan uteluft och himmel,  $\theta_e - \theta_h$ , under klara nätter. Korrelationskoefficienten är 0.54, som dock är ganska låg. Regression mellan temperaturkvoten och temperaturskillnaden mellan uteluft och omgivning, dvs  $\theta_e - \theta_a$ , ger lite högre korrelationskoefficient, 0.56.

Kvoten

$$\frac{\theta_{se} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} = \frac{R_{se}}{R_{tot}}$$

där  $R_{tot}$  är det totala värmemotståndet över fönstret.

$R_{tot}$  är ungefär  $0.5 \text{ } ^\circ\text{Cm}^2/\text{W}$  och detta ger att  $R_{se}$  blir ungefär enligt streckad linje i FIG.42.

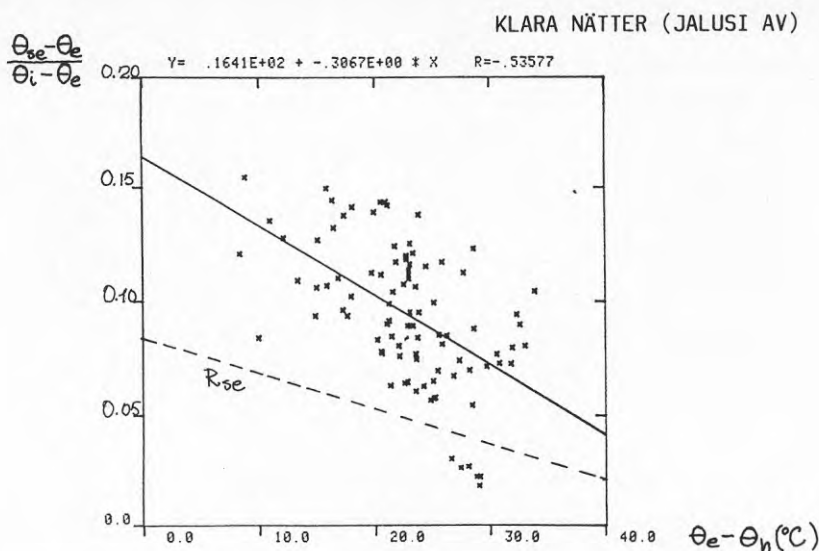


FIG.42 Samband mellan temperaturkvoten  $\frac{\theta_{se} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$  och temperaturskillnaden mellan uteluft och himmel under klara nätter.

Medeltemperaturen för uteluften under klara nätter var  $-8.2^{\circ}\text{C}$ . Vid jämförelse med de beräknade värdena av  $R_{se}$  i FIG.38 framgår att kurvan för  $\theta_e = -10^{\circ}\text{C}$  har ungefär samma lutning som den streckade kurvan i FIG.42. Den beräknade kurvan ligger lägre än den uppmätta, vilket beror på att man vid beräkningar måste göra vissa antaganden som skiljer sig något från verkliga förhållanden.

I FIG.43 visas sambandet mellan det inverterade värdet av yttre värmeövergångskoefficienten  $\alpha_{se}$  och temperaturskillnaden mellan uteluft och himmel under klara nätter. Värmeövergångskoefficienten beräknas ur mätvärden enligt

$$\alpha_{se} = \frac{\phi_1}{A_1(\theta_{se} - \theta_e)}$$

där

$\phi_1$  = tillförd effekt till hot-boxen (W)

$A_1$  = area fönster =  $1.44 \text{ m}^2$

Korrelationskoefficienten blir i detta fall 0.57.

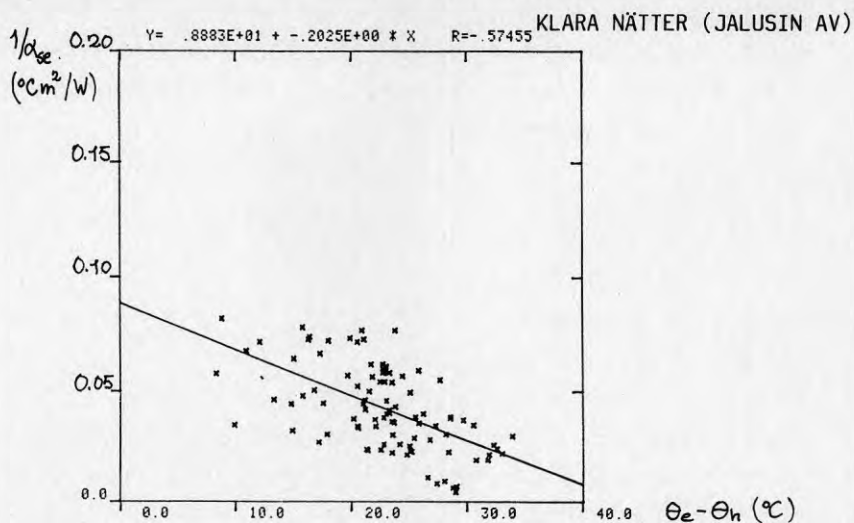


FIG.43 Samband mellan  $1/\alpha_{se}$  och temperaturskillnad mellan uteluft och himmel under klara nätter.

Men  $1/\alpha_{se} = R_{se}$ , det yttre övergångsmotståndet. Det framräknade  $R_{se}$ -värdet i FIG.42 stämmer väl med det i FIG.43. Det förra är framräknat ur uppmätta temperaturer och antaget  $R_{tot}$ , det senare är beräknat på uppmätt effekt och uppmätta temperaturer.

Sambandet mellan det inverterade värdet av värmeövergångskoefficienten på grund av strålning  $\alpha_r$  och temperaturskillnaden mellan uteluft och omgivning under klara nätter visas i FIG.44. Här finns ett klart samband, korrelationskoefficienten är 0.75. Om man studerar uttrycket

$$\frac{1}{\alpha_r} = \frac{(\theta_{se} - \theta_e)}{\epsilon_{res} \sigma_s (T_{se}^4 - T_a^4)}$$

så kan detta skrivas

$$\frac{1}{\alpha_r} = \frac{1}{\epsilon_{res} \sigma_s 4 T_m^3} - \frac{(\theta_e - \theta_a)}{\epsilon_{res} \sigma_s 4 T_m^3 (\theta_{se} - \theta_a)}; T_m = \frac{T_{se} + T_a}{2}$$

Mätningarna visar att termerna  $T_m^3$  och  $T_m^3(\theta_{se}-\theta_a)$  varierar relativt lite under klara nätter. Variationen är 5-6% kring medelvärdet. Detta betyder att  $1/\alpha_r$  huvudsakligen beror på  $(\theta_e-\theta_a)$  och uttrycket kan skrivas

$$\frac{1}{\alpha_r} = A - B(\theta_e - \theta_a)$$

där A och B är konstanter.

Av figuren framgår att  $(\theta_e - \theta_a)$  blir högst 13 °C.  $\alpha_r$  är positiv under hela mätperioden, vilket innebär att fönstrets yttemperatur aldrig blir lägre än lufttemperaturen. Under någon klar natt ligger  $1/\alpha_r$  mycket nära noll.

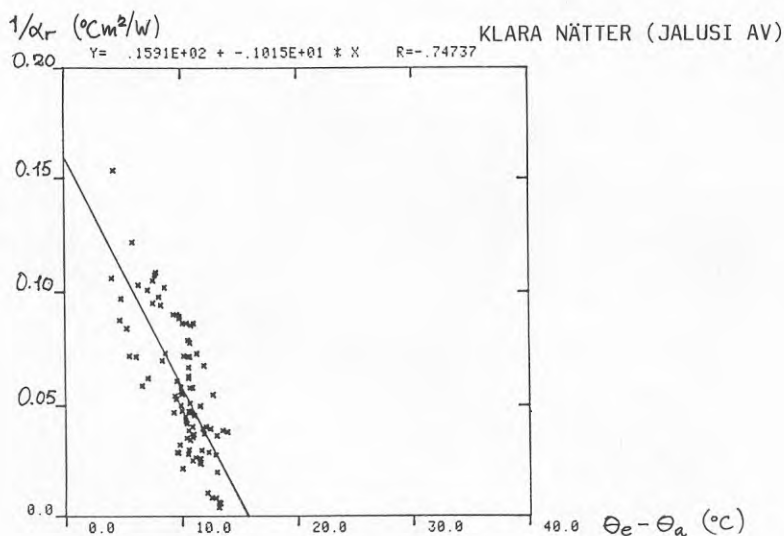


FIG.44 Samband mellan  $1/\alpha_r$  och temperaturskillnad mellan ute-luft och omgivning under klara nätter.

FIG.45 visar sambandet mellan omgivningens temperatur och lufttemperaturen ute för samtliga nätter. Den nedre punktskaran härrör från klara nätter, där omgivningens temperatur är lägre än lufttemperaturen. Den övre punktskaran härrör från molniga nätter, där omgivningens temperatur ligger ganska nära lufttemperaturen, skillnaden är huvudsakligen 2-3 °C. Korrelationskoeffi-



cienten är hög, 0.91. Streckad linje anger när lufttemperatur och omgivningstemperatur är lika. För jämförelsens skull har även kurvan för motstrålningstemperaturen för en horisontell yta, angiven av Brown (1956), lagts in i figuren.

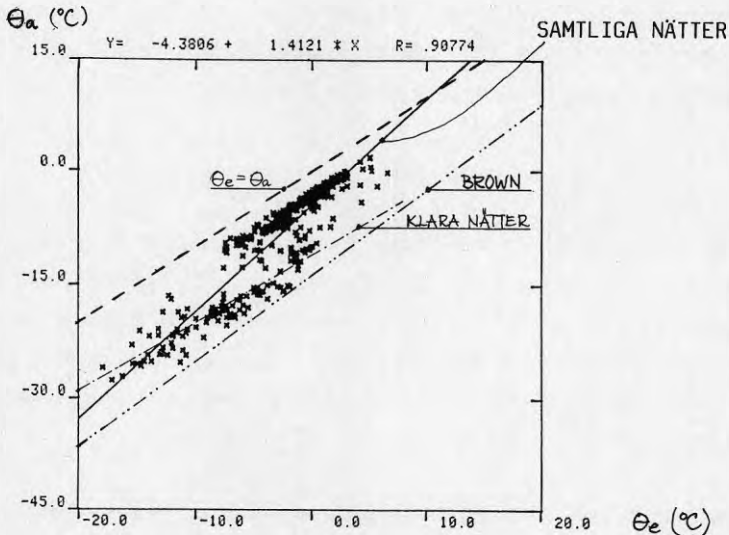


FIG.45 Samband mellan omgivningens och uteluftens temperatur för samtliga nätter.

Samband mellan fönstrets U-värde och temperaturskillnaden mellan uteluft och omgivning ( $\Theta_e - \Theta_a$ ) under klara nätter har också studerats. De experimentella värdena ligger längs en nästan horisontell linje och med en mycket låg korrelationskoefficient. Det är därför inte möjligt att fastställa något samband. Den uppmätta medeltemperaturen för uteluften under klara nätter var  $-8.2$  °C. De teoretiska beräkningarna, TAB.6 och FIG.38, visar att då utetemperaturen är omkring  $-10$  °C så ökar U-värdet relativt lite, ca  $0.15 \text{ W/}^\circ\text{Cm}^2$  då  $\Theta_e - \Theta_a$  ökar från 0 till  $15$  °C.

### Inverkan av ventilation mellan bågar

I fönster med kopplade bågar är luftspalten mellan bågarna i allmänhet ventilerad för att förhindra kondens mellan rutorna. Hur stor denna ventilation är vet vi inte mycket om och inte heller huruvida den påverkar fönstrets värmebalans. Genom att mäta temperaturer i en ventilerad luftspalt och jämföra dessa med motsvarande temperaturer i en oventilerad luftspalt, så kan man få en uppfattning om vilken inverkan ventilationen har.

#### Försöket

Två likadana fönster med kopplade bågar monterades i var sin hot-box. De två hot-boxarna var placerade intill varandra och vetter mot uteluften så att fönsterna var utsatta för samma väder- och vindförhållanden. I det ena fönstret har springan mellan bågarna tätats med tejp. Det andra fönstret är precis som det skall vara normalt.

Man har försökt att hålla samma temperatur i boxarna som i rummet utanför, så att det blir små värmeförluster genom boxväggarna.

Skillnaden i värmefflöde  $\Delta\phi_F$  (W) mellan de båda fönsterna blir

$$\Delta\phi_F = P_1 - P_2 + P_{\text{korrr}} + \Delta\phi_B$$

där  $P_1$  = tillförd effekt i box 1 (W)

$P_2$  = tillförd effekt i box 2 (W)

$P_{\text{korrr}}$  = korrektionsfaktor (W)

$\Delta\phi_B$  = skillnaden i värmefflöde genom boxväggarna (W)

$P_1$  och  $P_2$  är korrigerade till samma lufttemperatur i boxarna.  $P_{\text{korrr}}$  har bestämts under en referensperiod då båda fönsterna var lika, dvs antingen var båda luftspalterna tätade eller båda ventilerade. Då skillnaden mellan boxarnas lufttemperatur är liten blir  $\Delta\phi_B$  försumbar. Om man antar att det resulterande luftflödet går vinkelrätt mot isotermerna, så blir temperaturskillnaden i resultantens riktning  $\sqrt{\Delta\theta_V^2 + \Delta\theta_H^2}$ . Luftflödet  $q$  ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) genom luftspalten kan då skrivas

$$q = \frac{\Delta\phi_F}{c \varrho \sqrt{\Delta\theta_V^2 + \Delta\theta_H^2}}$$

där

$$\left. \begin{aligned} c &= \text{specifikt värme för luft (Wh/}^\circ\text{Ckg)} \\ \varrho &= \text{luftens densitet (kg/m}^3\text{)} \end{aligned} \right\} c\varrho = 0.34 \text{ Wh/}^\circ\text{Cm}^3$$

$\Delta\theta_V =$  temperaturskillnad i höjdled ( $^\circ\text{C}$ )  
 $\Delta\theta_H =$  temperaturskillnad i sidled ( $^\circ\text{C}$ )

Temperaturer mättes i spalten mellan bågarna i tre punkter i överkant, tre punkter i underkant och i två punkter på varje sida. Yt- och lufttemperaturer ute och inne mättes i båda boxarna. Vindhastigheten registrerades 10 m ovanför mark utanför boxarna.

Ventilationen mellan bågar har på detta sätt studerats för en-lufts-fönster med dels 1+1 glas och dels 2+1 glas. Storleken på fönsterna var 1.2 m x 1.2 m.

#### Mätresultat

Ivåglasfönsterna hade kopplade utåtgående bågar, dess konstruktion visas i FIG.46. Spalten mellan bågarna var 2 mm och avståndet mellan glasen 29 mm. Fönsterna var tätade med en tätningslist av gummi, slangprofil.

I början av mätperioden var spalten mellan bågarna i båda fönsterna tätade. FIG.47 visar temperaturerna mitt i spalten mellan bågarnas ovanstycken respektive understycken samt mitt i luftspalten mellan glasen.

Temperaturerna mitt i luftspalten och mellan bågarnas ovanstycken ligger väl samlade, 3-4  $^\circ\text{C}$  högre än temperaturerna mellan bågarnas understycken. Det ena fönstret har något större temperaturskillnad mellan ovankant och mittpunkt än det andra.

Temperaturskillnaden över hela luftspalten är ungefär den samma för båda fönsterna. Efter några dagar togs tätningen bort från det ena fönstret, heldragen kurva. Temperaturen i underkant sjunker ca 3  $^\circ\text{C}$  då luftspalten blir ventilerad.

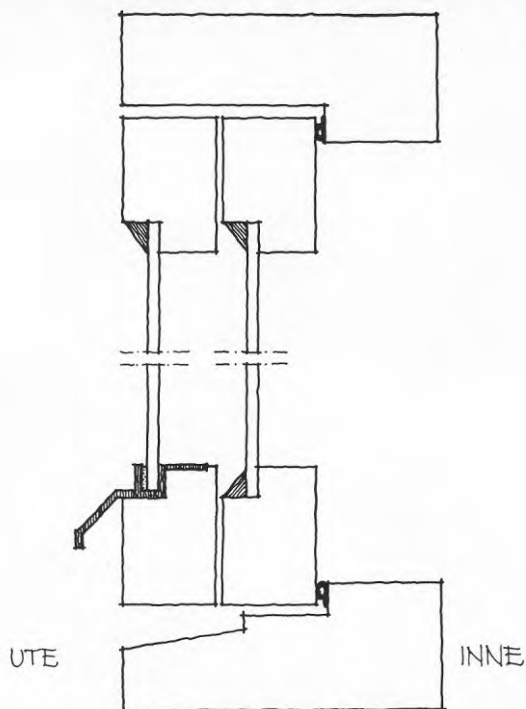


FIG.46 Tvåglasfönsternas konstruktion, kopplade utåtgående bågar

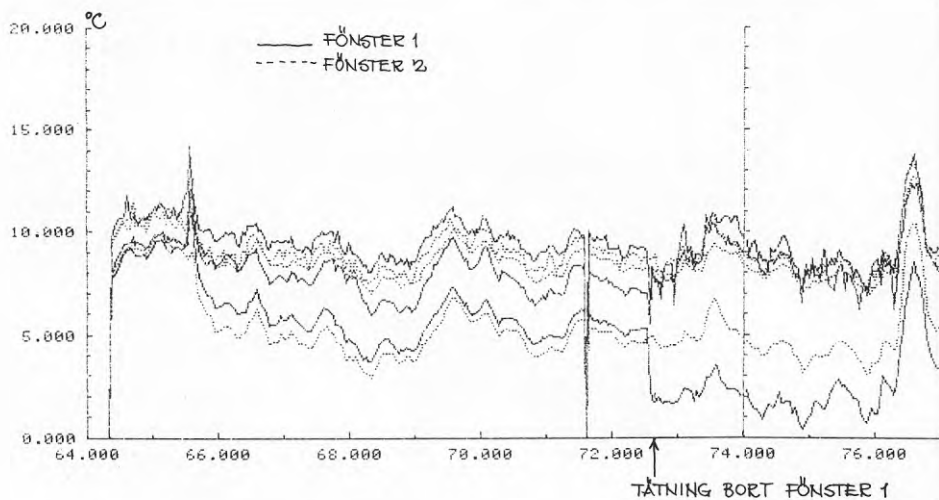


FIG.47 Temperaturer i luftspalten mellan kopplade bågar i två likadana fönster. I början av mätperioden var luftspalten oventilerade. Dag 72 togs tätning bort på fönster 1 så att luftspalten blev ventilerad.

Vid bearbetningen har timvärden för sex timmar per natt använts. Luftflödet genom luftspalten har beräknats och korrelerats med vindhastigheten, se FIG.48. Det är ganska stor spridning på punkterna och korrelationskoefficienten är låg, 0.36. Tendensen är dock att ventilationen i luftspalten ökar då vindhastigheten ökar.

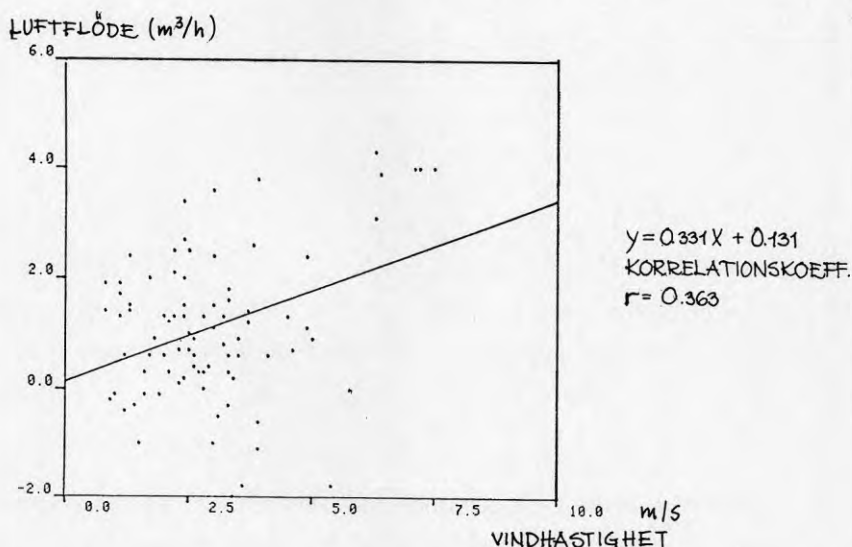


FIG.48 Samband mellan luftflöde i spalt mellan kopplade bågar och vindhastighet. Tvåglasfönster. Timvärden, natt.

I FIG.49 visas sambandet mellan vindhastigheten och temperaturskillnaden  $\sqrt{\Delta\theta_V^2 + \Delta\theta_H^2}$ , där  $\Delta\theta_V$  är temperaturskillnaden i höjdlid och  $\Delta\theta_H$  är temperaturskillnaden i sidled i luftspalten. Här finns ett litet samband, korrelationskoefficienten är 0.60. Av figuren framgår att temperaturskillnaden minskar när vindhastigheten ökar. Mätningarna visar att temperaturskillnaden i sidled  $\Delta\theta_H$  är ganska liten, varför  $\sqrt{\Delta\theta_V^2 + \Delta\theta_H^2}$  ungefär är lika med  $\Delta\theta_V$ .

Fönstret med ventilerad luftspalt har högre U-värde än fönstret med tätad luftspalt. Skillnaden mellan U-värdena varierar en del med vindhastigheten. Mätningarna visar att förändringen är 0.02 W/°Cm<sup>2</sup> per m/s.

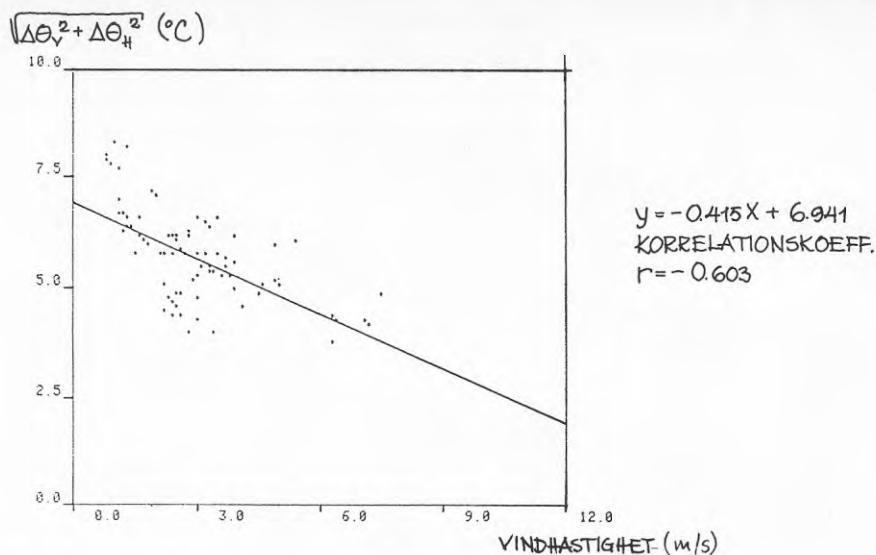


FIG.49 Samband mellan  $\sqrt{\Delta\theta_V^2 + \Delta\theta_H^2}$  i luftspalten mellan kopplade bågar och vindhastighet. Tvåglasfönster. Timvärden, natt.

Treglasfönsterna hade kopplade inåtgående bågar med förseglade rutor i innerbågen och ett enkelglas i ytterbågen. Fönsterkonstruktionen visas i FIG.50. Fönsterna var tätade med en gummilist, slangprofil. I underkant fanns dubbla tätningslister. Spalten mellan bågarna var 5 mm och luftspalten mellan glasen 46 mm. I spalten mellan bågarna fanns en dammlist som var heldragen vid underkant och gångjärnssida och hade två hål vardera vid överkant och beslagsida. Hålen var 41 respektive 35 mm vid överkant och 35 mm vid beslagsida.

Mätvärden för sex timmar (timvärden) per natt har använts vid bearbetningen. Sambandet mellan luftflödet i luftspalten och vindhastigheten visas i FIG.51. Något klart samband finns inte, korrelationskoefficienten är låg, 0.19. Spridningen på mätpunkterna är stor. Regressionslinjen visar dock att luftflödet ökar då vindhastigheten ökar. Vid jämförelse med tvåglasfönstret (FIG. 48) blir ökningen inte lika stor. Detta torde bero på att det finns skillnader i fönsterkonstruktionen och att treglasfönstret har en dammlist som kan påverka ventilationen.

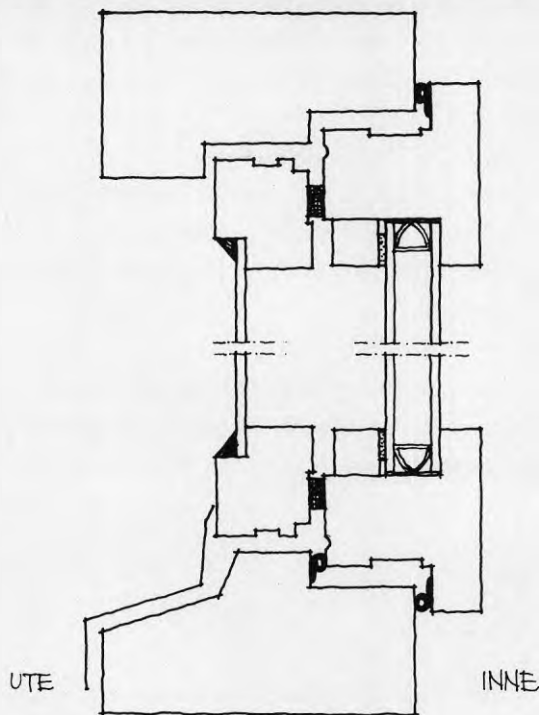


FIG.50 Treglasfönsternas konstruktion.

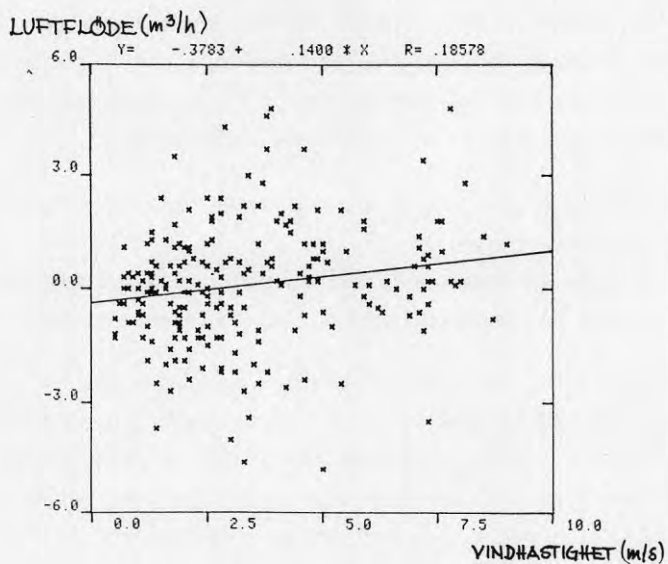


FIG.51 Samband mellan luftflöde i spalt mellan kopplade bågar och vindhastighet. Treglasfönster. Timvärden, natt.

Samband har också sökts mellan luftflödet i luftspalten och temperaturskillnaden mellan ute- och inneluft, men inte heller här finns ett klart samband. Regressionslinjen är nära nog horisontell kring luftflödet  $0 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Fönstret med ventilerad luftspalt har ungefär samma U-värde som fönstret med tätad luftspalt. Skillnaden mellan U-värdena varierar också här med vindhastigheten, men förändringen är liten, endast  $0.006 \text{ W}/^\circ\text{Cm}^2$  per  $\text{m/s}$ .

För båda fönsterkonstruktionerna gäller att om man räknar medelvärden på mätvärdena över tidsperioder längre än en timme, så blir spridningen mellan punkterna mindre och korrelationskoefficienterna högre.

#### Något om fönsters energibalans

De redovisade mätvärdena i de föregående avsnitten gäller nattvärden för fönster. Under dagen har vi emellertid ljusstrålning genom glaspartierna i fönstret. En del av denna strålning absorberas i glaset och omvandlas till värme. För tvåglasfönster med 3 mm glas absorberas ca 6% i det yttre och 5% i det inre glaset (Adamson, Backman (1975)). Denna värmeförlust påverkar värmetransporten genom fönstret. Huvudparten av ljusstrålningen passerar eller transmittas genom fönstret till rummet innanför. Dessutom reflekteras en mindre del av strålningen.

Med fönsters energibalans menas skillnaden mellan värmeförlusten ut och värmevinsten in till följd av solinstrålning. Hur energibalansen påverkas av flödet in och ut visas i FIG.52. Vid ljusstrålning får man ett lägre U-värde än under mörker.

För ett vanligt tvåglasfönster består värmeflödet genom luftspalten till 2/3 av strålning och 1/3 av ledning och konvektion. Störst minskning av flödet fås därför genom att reducera strålningsutbytet mellan glasytorna i luftspalten. Det är viktigt att skilja mellan den kortvågiga strålningen från solen och den långvågiga temperaturstrålningen, se FIG.53. Solstrålningen, våglängd  $0.3\text{--}3 \mu\text{m}$ , och temperaturstrålningen  $4\text{--}80 \mu\text{m}$  överlappar inte varandra.





Vill man ha små förluster från ett hus eller rum så gäller det inte enbart att välja ett fönster med lågt mörker-U-värde utan man måste studera flödet både in och ut. För att få så stort tillskott som möjligt skall man välja ett fönster med lågt U-värde och stor transmission för solens kortvågiga strålning. Reflektionen för den långvågiga temperaturstrålningen bör också vara hög. Önskvärda egenskaper illustreras i FIG.54.

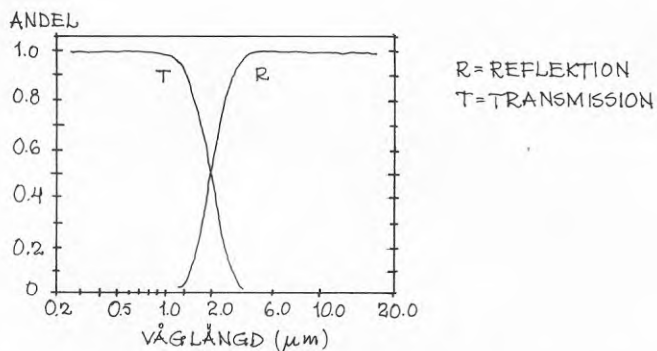


FIG.54 Önskvärda egenskaper hos fönster för att ge små förluster.

## MINSKNING AV FÖNSTERS VÄRMEFÖRLUSTER

### Inledning

För att minska värmeflödet genom ett fönster måste det totala värmemotståndet över fönstret ökas. Detta kan göras på flera olika sätt. Fönstret kan förses med ytterligare en luftspalt genom att montera ett extra glas på det. Ett annat sätt är att byta ut ett av glasen mot förseglade rutor. Genom att ersätta luften i förseglade rutor med en gas, t ex argon eller svavelhexafluorid, kan värmemotståndet ytterligare förbättras.

Glas med selektiva skikt eller lågemissionsskikt kan också användas för att öka värmemotståndet. Dessa glas kan antingen ersätta ett av de befintliga eller monteras som ett tredje glas.

Genom att förse fönstret med persienner mellan rutorna, med rullgardiner eller med isolerade fönsterluckor kan värmemotståndet över fönstret ökas.

Mätningar har gjorts i hot-box för några olika sätt att minska värmeförlusterna genom fönster. Mätresultaten redovisas i det följande. De system som provats är sådana som kan användas för att förbättra befintliga fönster.

I slutet av kapitlet ges en sammanställning av mätresultaten från samtliga försök.

### Tredje rutan

I ett kopplat tvåglasfönster blir mörker-U-värdet för glaspartiet enligt nedan. Värmeövergångskoefficienten för strålning  $\alpha_r$  och för konvektion  $\alpha_c$  antas vara 3.81 respektive 1.8 W/°Cm<sup>2</sup> enligt Adamson, Hidemark (1986). Värmemotståndet för luftspalten blir då

$$R_{sp} = \frac{1}{3.81+1.8} = 0.178$$

Totala värmemotståndet över glaspartiet blir då  $\lambda$ -värdet för glas är  $0.8 \text{ W/}^\circ\text{Cm}$ , dess tjocklek är 3 mm och övergångsmotståndet  $R_{si} + R_{se} = 0.20 \text{ }^\circ\text{Cm}^2/\text{W}$

$$R_{\text{tot}} = 0.178 + 2 \frac{0.003}{0.8} + 0.20 = 0.386$$

vilket ger  $U = 2.59 \text{ W/}^\circ\text{Cm}^2$ .

Om en tredje ruta lägges till så blir det totala värmemotståndet istället

$$R_{\text{tot}} = 0.386 + 0.178 + \frac{0.003}{0.8} = 0.567$$

och mörker-U-värdet blir nu  $1.76 \text{ W/}^\circ\text{Cm}^2$ . Beräkningsmässigt förändras U-värdet för glaspartiet med  $0.83 \text{ W/}^\circ\text{Cm}^2$ , dvs en förbättring på ca 30%.

De vanligaste sätten att göra om ett tvåglasfönster till ett treglasfönster är att antingen byta ut ett av glasen mot en förseglad tvåglasruta eller att komplettera fönstret med ytterligare ett glas, invändigt, utvändigt eller mellan de befintliga glasen. I det senare fallet kan man också använda folier av olika slag.

Det finns i marknaden flera olika system att göra om tvåglasfönster till treglasfönster. Mätningar har gjorts i hot-box på tre olika system för ombyggnad av tvåglasfönster och på en fönsterfolie.

#### Mätningar och mätresultat

Två av systemen monterades dels på ett inåtgående och dels på ett utåtgående kopplat tvåglasfönster. Fönsterna var lika stora med karmyttermåtten  $1.185 \text{ m} \times 0.985 \text{ m}$ . Båda fönsterna var tätade mellan karm och båge med en slanglist av gummi.

I det första systemet placerades den tredje rutan på insidan av fönsterna. Rutan var monterad i en ram av PVC, vilken på ena sidan var fastskruvad i den inre bågen. Denna del av ramen fungerar som gångjärn. De andra tre sidorna av ramen har en anligg-

ningsyta av mjuk plast för att ge en god tätning mot innerbågen. Ramen stänges mot bågen med speciella klämskruvar, vilket innebär att rutan är öppningsbar, se FIG.55.

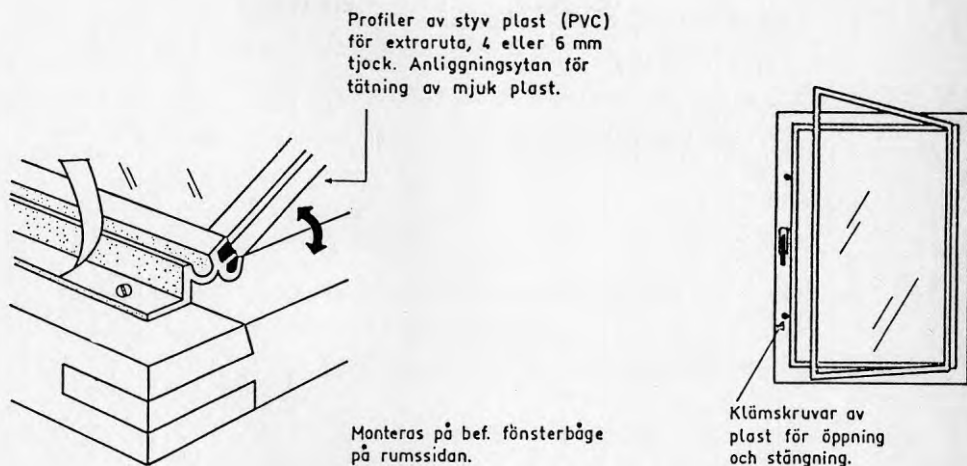


FIG.55 Montering av enkelglas på insidan av befintlig båge (Duplo).

I det andra systemet byttes enkelglaset i innerbågen ut mot en förseglad tvåglasruta. De förseglade rutorna monterades i innerbågarna med hjälp av aluminiumprofiler, se FIG.56.

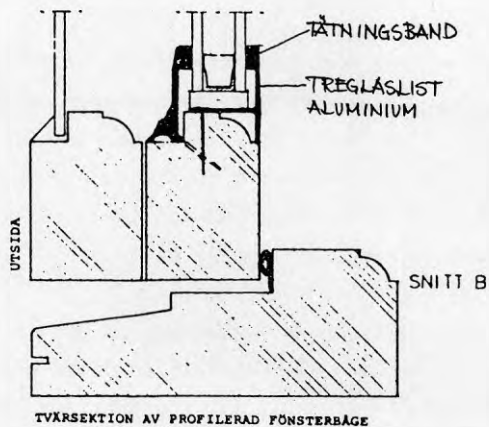


FIG.562 Montering av förseglade rutor i innerbåge (Treglaslist).

Lufttemperaturen på den varma sidan och på den kalla sidan har varierat något mellan de olika försöken. På den varma sidan låg lufttemperaturen mellan 19 och 22 °C och på den kalla mellan -8 och -12 °C. Temperaturskillnaden mellan luften på varma resp kalla sidan för de olika försöken låg i medeltal på 30.6 °C (mellan 28.6 och 32.2 °C).

Resultaten av mätningarna visas i TAB.7. De i tabellen angivna U-värdena är framräknade med värmeövergångsmotståndet  $R_{si} + R_{se} = 0.20 \text{ } ^\circ\text{Cm}^2/\text{W}$ .

TAB.7 Uppmätta U-värden  $\text{W}/^\circ\text{Cm}^2$  för kopplade tvåglasfönster i ursprungsskick och efter montering av tredje rutan. Fönsterstorlek 1185x985 mm.

	Fönster med utåtgående kopplade bågar	Fönster med inåtgående kopplade bågar
Ursprungsskick		
1+1 glas	2.20	1.95
Extra enkelglas		
1+1+1 glas	1.57	1.46
Extra isolerruta		
2+1 glas	1.50	1.51

De uppmätta U-värdena för fönsterna har förbättrats 25-30% med ett tredje glas. Någon större skillnad mellan systemen är det inte. U-värdet för det inåtgående fönstret i ursprungsskick är lägre än för det utåtgående, vilket beror på att andelen trä är större och glasytan mindre i det inåtgående fönstret. Skillnaden blir mindre när det tredje glaset är inmonterat.

Det tredje systemet och fönsterfolien monterades på ett inåtgående kopplat tvåglasfönster med karmyttermått 1.186 m x 1.186 m. Fönsterkonstruktion enligt FIG.57. Fönstret var tätat med en slanglist av gummi. Fönstret monterades i innerkant på skiljeväggen i boxen.

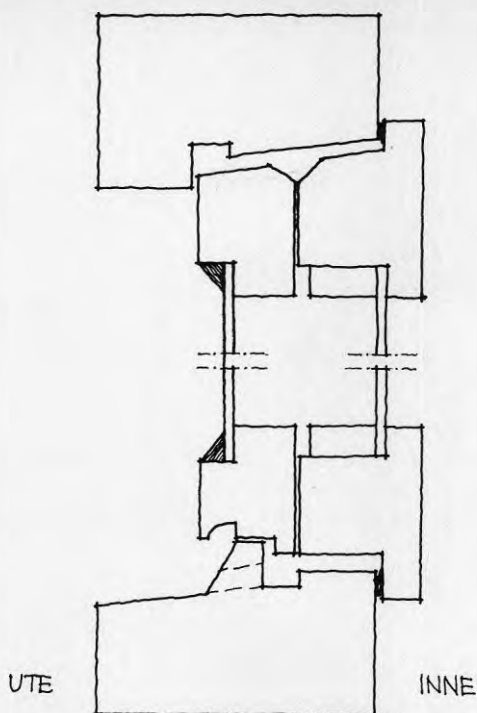


FIG.57 Provfönstrets konstruktion. Kopplat tvåglasfönster, inåtgående.

Vid bestämning av U-värdet för fönstret i ursprungsskick var lufttemperaturen på varma sidan  $23^{\circ}\text{C}$  och på kalla sidan  $-11^{\circ}\text{C}$ . U-värdet uppmättes till  $2.22 \text{ W}/^{\circ}\text{Cm}^2$ .

I det tredje systemet monterades extra rutan i en ram av plast, vilken sattes direkt mot det inre glaset, se FIG.58. Med hjälp av metallclips hålles rutan på plats. Tillsatsrutan är således ej öppningsbar utan får lyftas ner vid rengöring. På ramen finns en tätningslist av silikon, slangprofil.

Vid mätningarna var lufttemperaturen på varma sidan  $23^{\circ}\text{C}$  och på kalla sidan  $-11^{\circ}\text{C}$ . Uppmätt U-värde blev  $1.59 \text{ W}/^{\circ}\text{Cm}^2$ . Fönstrets U-värde förbättras även i detta fall ca 30%.

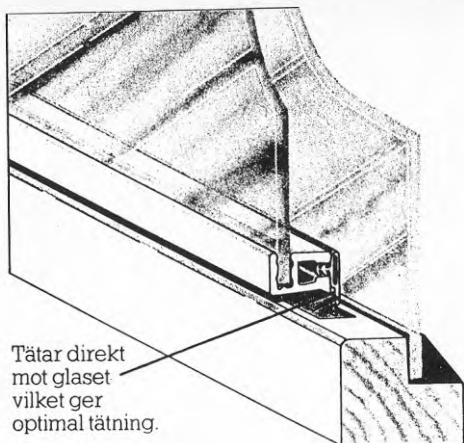


FIG.58 Montering av enkelglas på insidan av befintligt innerglas (Värnamo).

Den testade fönsterfolien var av märket Tesa Moll, vilken kan inhandlas i större byggvaruhus. Det är en fönsterisoleringsfolie som de boende själv kan montera. Folien, som är transparent, sättes fast på innerbågens insida med dubbelhäftande tejp. Därefter värms folien med en varmluftsfläkt så att den sträcks och blir slät. Överbliven folie utanför den dubbelhäftande tejpens skäres bort.

Lufttemperaturen på varma sidan var  $23^{\circ}\text{C}$  och på kalla sidan  $-11^{\circ}\text{C}$  under mätningen. U-värdet för fönstret med folie uppmättes till  $1.78 \text{ W}/^{\circ}\text{Cm}^2$ , en förbättring på 20%. Fönsterisoleringsfolien är inte riktigt lika bra som en glasruta, vilket beror på att folien är delvis transparent för långvågig strålning.

#### Selektiva skikt

Genom att belägga glas med selektiva skikt kan strålningsegenskaperna genom glaset förändras. Önskemålet är att få stor reflektion på den långvågiga strålningen, dvs temperaturstrålningen. Den stora reflektionen, som ger låg emission, minskar värmeförlusterna och sänker mörker-U-värdet för glaspartiet. Skiktet kan



antingen anbringas direkt på glaset eller på en tunn plastfilm som sedan anbringas på glaset. Till lågemissionsskikt används idag tennoxid ( $\text{SnO}_2$ ), indiumoxid ( $\text{InO}_3$ ), koppar (Cu), guld (Au) och silver (Ag). Samtliga metaller och metalloxider kan anbringas direkt på glaset.

Oftast är systemen blandade på så sätt att t ex tennoxiden dopas med antimon eller fluorid och indiumoxiden med tenn. Metallerna ingår i regel i flerskiktsystem.

För ett glas belagt med ett lågemissionsskikt ligger emissionen omkring 0.10-0.15.

Flertalet lågemissionsskikt är ömtåliga för mekanisk påverkan och lämpar sig därför bäst i förseglade rutor. Tennoxidskikt har emellertid en god resistens mot mekanisk påverkan. De är så resistent att de kan putsas på samma sätt som vanligt fönsterglas och följaktligen kan de användas i kopplade fönster.

Låg emission ger en lägre transmission, vilket innebär att instrålningen genom fönstret under dagen blir lägre. Detta är en nackdel eftersom man i vårt klimat vill kunna utnyttja solvärmen.

Om tennoxid dopas med ammoniumfluorid ( $\text{NH}_4\text{F}$ ) så kan detta skikt få en hög reflektion inom det långvågiga området, men också en hög transmission inom det kortvågiga området. Transmissionen blir drygt 0.8 och reflektionen blir 0.85, dvs emissionen blir 0.15. FIG.59 visar transmissions- och reflektionskurvor för fluordopad tennoxid enligt Ribbing (1986). Transmissionen hos det belagda glaset ligger mycket nära det obelagda glasets. Denna typ av lågemissionsskikt finns ännu inte tillgängligt kommersiellt.

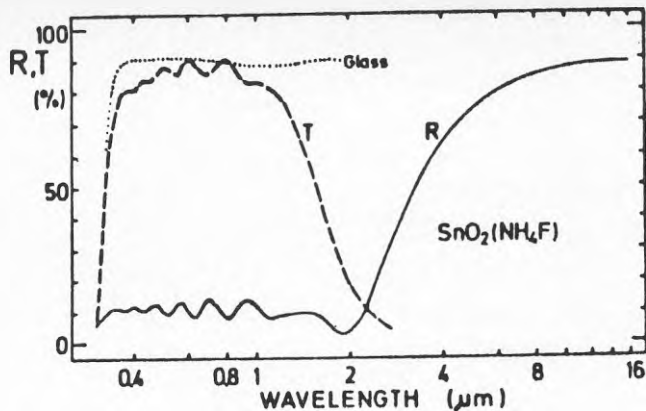


FIG.59 Transmission (T) och reflektion (R) som funktion av strålningens våglängd för fluordopad tennoxid enligt Ribbing (1986).

Mörker-U-värdet för glasdelen i ett kopplat tvåglasfönster beräknades till  $2.59 \text{ W/}^\circ\text{Cm}^2$  (se avsnitt Tredje rutan). Om det inre glasets utsida förses med ett lågemissionsskikt med emissionen  $\xi=0.15$  så blir

$$\frac{1}{\xi_{\text{res}}} = \frac{1}{0.15} + \frac{1}{0.85}^{-1} \quad \text{vilket ger } \xi_{\text{res}} = 0.146$$

Detta ger  $\alpha_r = 0.75 \text{ W/}^\circ\text{Cm}^2$ . Med  $\alpha_c = 1.8 \text{ W/}^\circ\text{Cm}^2$  blir värmemotståndet för luftspalten

$$R_{\text{sp}} = \frac{1}{0.75 + 1.8} = 0.392$$

Totala värmemotståndet för glaspartiet blir

$$R_{\text{tot}} = 0.392 + 2 \frac{0.003}{0.8} + 0.20 = 0.599$$

och U-värdet blir  $1.67 \text{ W/}^\circ\text{Cm}^2$ , som är något lägre än ett treglasfönsters.

Om ett glas med lågemissionsskikt enligt ovan monteras som ett tredje glas på ett kopplat tvåglasfönster så blir glaspartiets mörker-U-värde  $1.27 \text{ W/}^\circ\text{Cm}^2$ . Detta är en förbättring på 50% av mörker-U-värdet jämfört med fönstret i ursprungsskick.

Med hjälp av selektiva skikt kan man således minska värmeförlusterna genom tvåglasfönster väsentligt utan att förändra dess transmissionsegenskaper.

Genom mätningar i hot-box har mörker-U-värdet bestämts för ett tvåglasfönster vilket har kompletterats med en tredje ruta med selektivt skikt liksom för ett tvåglasfönster i vilket innerglaset har bytts ut mot ett glas med selektivt skikt.

#### Mätningar och mätresultat

Vid försöken användes samma fönster som i föregående avsnitt, se FIG.57, ett kopplat inåtgående fönster. Detta fönster hade ett mörker-U-värde på  $2.22 \text{ W/}^\circ\text{Cm}^2$ . Lågmissionsskiktet bestod av tennoxid, av fabrikat "Comfort" (Glaverbel).

Vid komplettering av fönstret med lågmissionsglasets som tredje ruta, monterades detta enligt FIG.58.

Under mätningen var lufttemperaturen på varma sidan  $23^\circ\text{C}$  och på kalla sidan  $-11^\circ\text{C}$ . U-värdet för fönstret blev  $1.53 \text{ W/}^\circ\text{Cm}^2$ . Detta värde verkade emellertid lite för högt jämfört med beräknat värde för glaspartiet. Även vid jämförelse med mätningarna för en tillsatsruta av vanligt fönsterglas ( $U=1.59 \text{ W/}^\circ\text{Cm}^2$ ) var skillnaden mycket liten. Efter undersökning av tillsatsrutan visade det sig att denna var felvänd, dvs det selektiva skiktet var vänt mot den varma sidan och inte in mot fönstret. Detta innebar att rutan inte fungerade på avsett sätt.

Efter byte av rutan, så att lågmissionsskiktet kom in mot inner-rutan på det kopplade fönstret, blev U-värdet istället  $1.33 \text{ W/}^\circ\text{Cm}^2$ . Lufttemperaturen på varma sidan var  $23^\circ\text{C}$  och på kalla sidan  $-10^\circ\text{C}$ .

Vid mätningarna då innerrutan var utbytt mot ett glas med lågmissionsskikt var lufttemperaturerna  $23^\circ\text{C}$  resp  $-11^\circ\text{C}$ . Det uppmätta mörker-U-värdet blev  $1.70 \text{ W/}^\circ\text{Cm}^2$ , dvs ungefär samma värde som fönstret med en extra ruta av vanligt fönsterglas.

## Nattisolering

Värmeförlusterna genom ett fönster under natten är stora. Hur stora de är beror på dess mörker-U-värde. Under klara nätter blir det dessutom en långvågig utstrålning från fönstret mot himlen, som då har lägre temperatur än uteluften. Genom att förse fönster med en nattisolering kan värmeförlusterna minskas.

Nattisoleringen kan placeras på utsidan, insidan eller inuti fönsterkonstruktionen. I det första fallet består isoleringen vanligtvis av luckor, som är mer eller mindre välisolerade. I de två senare fallen består isoleringen vanligtvis av någon typ av rullgardin eller persienn, med vars hjälp fönstret delas upp i fler spalter än tidigare. Olika material kan användas för nattisolering som t ex textil, skikt med olika beläggningar, styva skivor eller isoleringsskivor.

Beräkningar visar att fönsterluckor av högvärdigt isolermaterial tillsammans med tvåglasfönster kan ge en väsentlig energibesparing under förutsättning att de används varje natt under den kalla årstiden. Enligt Adamson, Hidemark (1986) har nattisolering något lägre energibesparande effekt än det tredje glaset, räknat på årsenergibehov med dagsljus.

Om vi antar att fönsterluckorna har värmemotståndet  $1 \text{ } ^\circ\text{Cm}^2/\text{W}$ , vilket motsvarar 40 mm värmeisoleringsmaterial ( $\lambda=0.04 \text{ W}/^\circ\text{Cm}$ ), blir U-värdet för det nattisolerade fönstret ca  $0.7 \text{ W}/^\circ\text{Cm}^2$ .

Den värmeisolerande förmågan hos fönsterluckor är emellertid beroende av lufttätheten kring dess kanter. Om luft kan passera in och ut genom spalten mellan lucka och fönster, försämras U-värdet för konstruktionen.

En persienn eller rullgardin monterad mellan rutorna eller på insidan av ett tvåglasfönster bör beräkningsmässigt fungera på samma sätt som en tredje ruta. Mätningar med vertikaltställda persienner mellan rutor i kopplade fönster visar emellertid att persienner inte helt delar in luftspalten i två spalter (Larsson et al (1981), Adamson, Höglund (1957)). Effekten blir således inte densamma som vid montering av en extra ruta, U-värdet blir lite högre.

Om persienner utförs så att de i vertikalställt läge bättre delar upp luftspalten mellan bågarna i två spalter eller om de utförs med blanka lameller, så kan värmemotståndet över fönstret ytterligare ökas. Larsson et al (1981) visar att persienner med blanka, reflekterande lameller ger en stor förbättring av fönstrets U-värde ca 20% för ett treglasfönster. Se även mätningar i avsnitt Glaspartiers värmeförluster under mörker.

Mätningar i hot-box har gjorts på ett tvåglasfönster med en värmeisolerande rullgardin monterad på dess insida. Mätningar har även gjorts på fönstret med utvändig nattisolering. Inverkan av otätheter mellan fönsterlucka och fönster har också studerats.

#### Mätningar och mätresultat

Samma fönster som tidigare användes vid försöken, FIG.57. Den invändiga rullgardinen som testats heter Glas-Klara, se FIG.60.

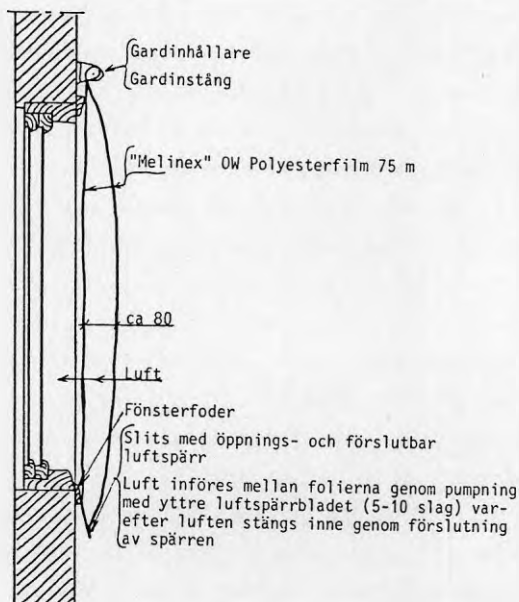


FIG.60 "Glas-Klara", värmeisolerande rullgardin.

Detta är en rullgardin med två genomsynliga plastfolier. Plastfolierna sitter fast i varandra längs kanterna. Luftutrymmet mellan dem kan blåsas upp genom en öppning i nedre kanten, då gardinen är neddragen. Öppningen förslutes med en magnetlås. I vardera hörnet på gardinens nederkant finns en öljet med ett reglerbart snöre, som spännes mot en hake i väggen så att gardinens underkant ansluter mot väggen.

I den testade rullgardinen var den ena plastytan belagd med ett reflekterande skikt. Vid institutionen har tidigare testats en likadan rullgardin, men med obelagda plastytor (Jonsson (1987)). En jämförelse mellan mätvärdena göres.

Luft rörelsen i spalten mellan fönstret och gardinen är svårbedömbär, då denna spalt inte är jämntjock, gardinen buktar inåt. Luftspaltens tjocklek i gardinen varierar också. Den är 5-8 cm tjock vid mitten, men bara 0.5 cm vid ytterkanterna. Gardinen är inte heller tätad invid väggen, varför det här kan bli ett inläckande luftflöde, som kan påverka värmeflödet.

Vid mätningarna med Glas-Klara var fönstret monterat mitt i skiljeväggen i hot-boxen. Mätningar gjordes för två olika tjocklekar på luftspalten i rullgardinens mitt. I ena fallet var tjockleken 6.5 cm, i andra fallet 5.0 cm. Dessutom gjordes en mätning då rullgardinen var tejpade runt om mot väggen. I detta fall var tjockleken i mitten på luftspalten 7.5 cm. Lufttemperaturen var 23 °C på varma sidan och -11 °C på kalla sidan för samtliga mätningar.

U-värdet blev 1.29 W/°Cm<sup>2</sup> för spaltvidden 65 mm och 1.30 W/°Cm<sup>2</sup> för spaltvidden 50 mm i rullgardinen. Värderna är således desamma oberoende av spaltvidden. När rullgardinen var tejpade runt om blev U-värdet 1.26 W/°Cm<sup>2</sup>, vilket är lite bättre än för rullgardinen otejpade. Dessa värden skall jämföras med U-värdet för fönstret utan rullgardin som är 2.22 W/°Cm<sup>2</sup>. Mätningarna visar att värmeförlusterna genom fönstret minskar väsentligt med en rullgardin av det här slaget monterade på insidan. Att resultatet blir så bra beror på att en av plastytorna var belagd med ett reflekterande skikt.

För Glas-Klara med obelagda plasttytor blev U-värdet  $1.93 \text{ W/}^{\circ}\text{Cm}^2$ , enligt Jonsson (1987). Då rullgardinen var tejpad runtom blev U-värdet  $1.75 \text{ W/}^{\circ}\text{Cm}^2$ . Vid jämförelse med den tidigare redovisade fönsterisoleringsfolien monterad på fönstrets innerbåge ( $U=1.78 \text{ W/}^{\circ}\text{Cm}^2$ ) så framgår det att denna minskar värmeförlusterna mer än vad Glas-Klara med obelagda plasttytor gör, trots att den senare består av två plastfilmer.

Fönsterluckan som användes vid försöken med utvändigt nattisolering bestod av 70 mm mineralull med 10 mm plywood på samtliga sidor. Storleken var 1.6 m x 1.6 m. Den monterades på utsidan av fönstret enligt FIG.61.

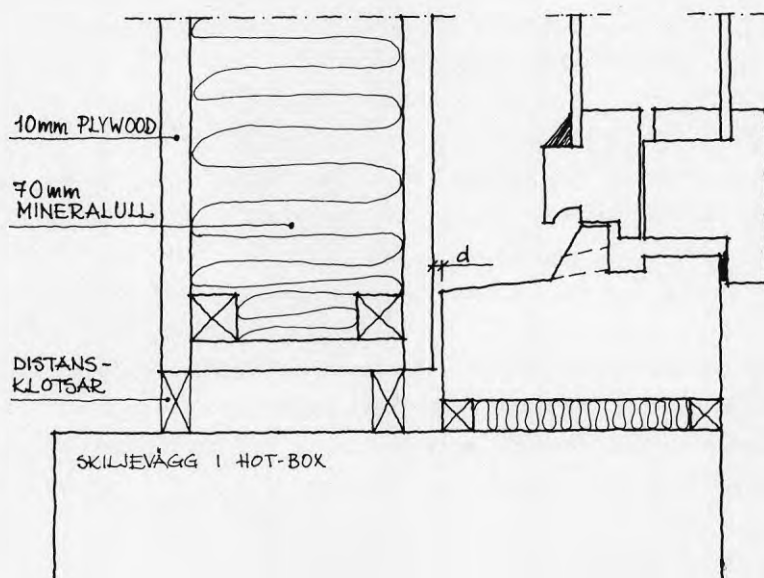


FIG.61 Fönsterluckans uppbyggnad och montering på fönstrets utsida i hot-boxen.

Fönsterluckans inverkan på värmeflödet har studerats dels då luckan sluter tätt mot fönstret och dels för olika spaltvidder mellan lucka och karm. Med hjälp av distansklossar i olika storlekar placerade mellan lucka och karm, har önskade spaltvidder erhållits. Inverkan av hela eller trasiga tätningslister har också studerats.

Då det finns en springa mellan lucka och fönster så uppstår en luftström i luftspalten. Värmeflödet som går genom fönstret kommer då att delas upp i en del som går genom luckan och en del som förs bort med ventilationen i luftspalten. Detta illustreras i FIG.62.

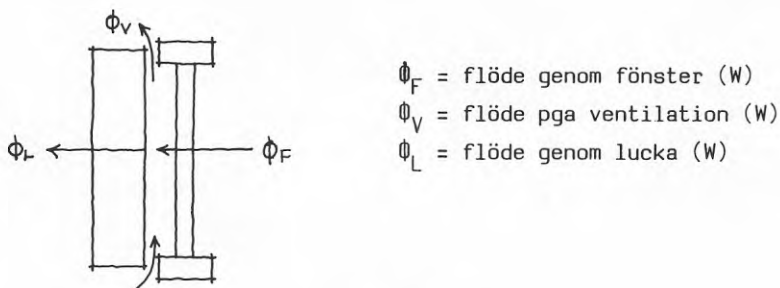


FIG.62 Värmeflöden kring otät lucka

En värmebalans för luftspalten mellan fönster och fönsterlucka ger då med beteckningar enligt figur ovan

$$\Phi_F = \Phi_V + \Phi_L$$

Värmeflödet genom fönstret,  $\Phi_F$ , är den tillförda effekten till boxen som går genom hela fönstret, korrigerad med avseende på fönsterluckans storlek, eftersom denna inte täcker hela fönstret. Värmeflödet i luftspalten kan skrivas

$$\Phi_V = c \mathcal{S} q \Delta\theta_V$$

där

$c$  = specifikt värme för luft (Wh/°Ckg)

$\mathcal{S}$  = luftens densitet (kg/m<sup>3</sup>)

$q$  = luftflödet i luftspalten (m<sup>3</sup>/h)

$\Delta\theta_V$  = temperaturskillnad över luftspalten i höjdled (°C)

Värmeflödet genom luckan blir

$$\Phi_L = \frac{1}{R_L} A \Delta\theta_L$$



där

$$R_L = \text{värmemotståndet över luckan (}^{\circ}\text{Cm}^2/\text{W})$$

$$A = \text{area (m}^2\text{)}$$

$$\Delta\theta_L = \text{temperaturskillnad över luckan (}^{\circ}\text{C)}$$

Med hjälp av  $\Phi_F$  och  $\Phi_L$  kan  $\Phi_V$  beräknas. Resultaten av mätningarna redovisas i TAB.8. I tabellen anges värmeflödena dividerade med arean och temperaturskillnaden mellan uteluft och inneluft. Det är de normerade värdena som anges. Detta innebär att värmemotståndet över hela konstruktionen beräknas med hjälp av mätvärdena. Därefter adderas värmeövergångsmotstånderna  $R_{si}+R_{se}=0.2$   $^{\circ}\text{Cm}^2/\text{W}$  och lufttemperaturerna på varma och kalla sidan kan beräknas enligt

$$\Delta\theta = \theta_i - \theta_e = (\theta_{si} - \theta_{se}) \frac{R+0.2}{R}$$

där

$$\theta_i = \text{lufttemperatur på varma sidan, normerad (}^{\circ}\text{C)}$$

$$\theta_e = \text{lufttemperatur på kalla sidan, normerad (}^{\circ}\text{C)}$$

$$\theta_{si} = \text{inre yttemperatur, uppmätt (}^{\circ}\text{C)}$$

$$\theta_{se} = \text{yttre yttemperatur, uppmätt (}^{\circ}\text{C)}$$

$$R = \text{värmemotståndet över hela konstruktionen, uppmätt (}^{\circ}\text{Cm}^2/\text{W)}$$

Man beräknar således de lufttemperaturer som det skulle varit i boxen om  $R_{si}+R_{se}=0.2$ . Den i tabellen angivna kvoten  $\Phi_F/A\Delta\theta$  är detsamma som U-värdet för hela konstruktionen.

Vid försöken med tätningslist har denna monterats på fönsterluckan. Tätningslisten var av gummi, slangprofil. I fallet med dåliga hörnskarvar fanns det en springa i varje hörn, motsvarande en area på  $15 \text{ mm}^2$  i både överkant och underkant. I fallet med dålig list saknades listen på några ställen i överkant och underkant, motsvarande en area på  $175 \text{ mm}^2$ .

Lufttemperaturen på varma sidan var ca  $23$   $^{\circ}\text{C}$  och på kalla sidan ca  $-11$   $^{\circ}\text{C}$  vid mätningarna.

TAB.8 Mätningar på fönsterlucka. Kvoten  $\Phi/A\Delta\theta$  för fönster, lucka och luftspalt vid olika spaltvidder mellan fönster och lucka samt vid olika tätningsförhållanden.  $\Phi$  = värmeflödet (W) se FIG.61, A = area ( $m^2$ ) och  $\Delta\theta$  = normerad temperaturskillnad mellan inne- och uteluft ( $^{\circ}C$ ).  
 $\Phi_F/A\Delta\theta$  = U-värdet för hela fönsterkonstruktionen.

	Ingen fläkt			Fläkt		
	$\frac{\Phi_F}{A\Delta\theta}$	$\frac{\Phi_L}{A\Delta\theta}$	$\frac{\Phi_V}{A\Delta\theta}$	$\frac{\Phi_F}{A\Delta\theta}$	$\frac{\Phi_L}{A\Delta\theta}$	$\frac{\Phi_V}{A\Delta\theta}$
2-glasfönster inåtgående	2.154			2.217		
+fönsterlucka spaltvidd d mm						
d=0 tejpade	0.40	0.40	0	0.47	0.47	0
d=0	0.50	0.39	0.11	0.59	0.45	0.14
d=1	0.67	0.37	0.30	0.75	0.41	0.34
d=2	0.85	0.34	0.51	0.95	0.38	0.57
d=4	1.21	0.30	0.91	1.30	0.32	0.98
d=8	1.43	0.27	1.16	1.50	0.29	1.21
tättningslist						
runtom	0.36	0.40	-0.04	0.48	0.46	0.02
saknas i överkant	0.41	0.40	0.01	0.60	0.44	0.16
saknas i underkant	0.39	0.40	-0.01	0.59	0.45	0.14
saknas i ena sidan	0.80	0.35	0.45	0.86	0.40	0.45
dåliga hörn	0.37	0.40	-0.03	0.49	0.44	0.05
dålig list	0.43	0.39	0.04	0.54	0.45	0.09

I tabellen anges värden med och utan fläkt i det kalla rummet. Ingen fläkt motsvarar vindstilla förhållanden och när fläkten är igång motsvarar detta en vindpåverkan på konstruktionen.

Det framgår att då spaltvidden mellan lucka och fönster ökar, försämras U-värdet för hela konstruktionen. Kvoten  $\Phi_V/A\Delta\theta$  ökar med ökande spaltvidd, medan  $\Phi_L/A\Delta\theta$  minskar. Då fönsterluckan sitter tätt intill fönstret är det tejpade fallet bättre än det otejpade, beroende på att både fönsterlucka och karm är lite skrovliga på ytan varvid det bildas en liten luftspalt mellan dem, som påverkar värmeledningen. Skillnaden mellan värdena för 'fläkt' och 'inte fläkt' är ganska liten, värdena är högre då fläkten är igång. I FIG.63 ges en grafisk bild av förändringen

av kvoten  $\dot{\Phi}/A\Delta\theta$  för olika spaltvidder.

En tätningslist runtom på fönsterluckan förbättrar konstruktionen. För fallen med dålig tätningslist sker den största förändringen då fönsterluckan saknar list vid ena sidan. Skillnaden mellan mätvärdena för 'fläkt' och 'inte fläkt' är inte heller här särskilt stor.

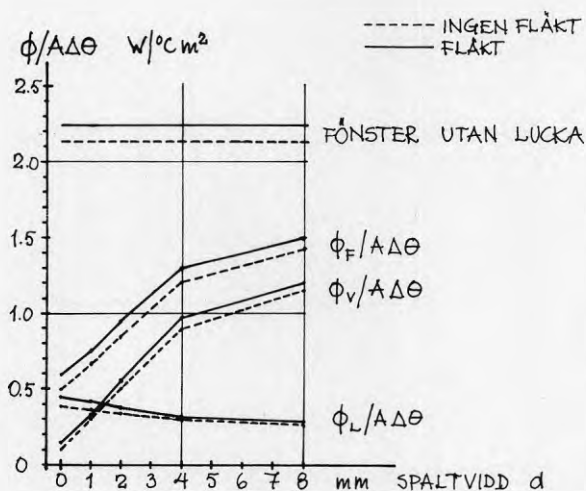


FIG.63 Kvoten  $\dot{\Phi}/A\Delta\theta$  ( $W/°Cm^2$ ) för fönster, fönsterlucka och luftspalt som funktion av spaltvidden mellan fönster och lucka.

Yttemperaturen på fönstrets insida och lufttemperaturen i luftspalten mellan fönster och lucka redovisas i TAB.9. I tabellen anges även luftflödet i luftspalten. Yttemperaturen sjunker ungefär  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  då spaltvidden ökar från 0 till 8 mm. Lufttemperaturen i luftspalten sjunker betydligt mer och vid spaltvidden 4 mm är den under  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Luftflödet i spalten ökar också mycket då spaltvidden ökar.

TAB.9 Mätningar på fönsterlucka.  $\theta_{si}$ ,  $\theta_v$  och  $q$  för olika spaltvidder mellan fönster och lucka. Uppmätta värden.  
 $\theta_{si}$  = medelvärdet av ytemperaturen på fönstrets insida ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $\theta_v$  = medeltemperaturen i luftspalten ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $q$  = luftflödet i luftspalten ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

	Ingen fläkt			Fläkt		
	$\theta_{si}$ $^{\circ}\text{C}$	$\theta_v$ $^{\circ}\text{C}$	$q$ $\text{m}^3/\text{h}$	$\theta_{si}$ $^{\circ}\text{C}$	$\theta_v$ $^{\circ}\text{C}$	$q$ $\text{m}^3/\text{h}$
2-glasfönster inåtgående	14.41			12.92		
+fönsterlucka spaltvidd d mm						
d=0 tejpad	20.21	15.78	0	19.74	14.59	0
d=0	19.69	14.02	0.98	19.34	13.01	1.25
d=1	18.98	10.62	2.38	18.54	9.17	2.59
d=2	18.20	7.29	3.60	17.77	5.48	4.25
d=4	16.61	-0.28	7.97	16.17	-2.04	10.64
d=8	15.74	-5.02	14.07	15.42	-5.74	17.98

#### Sammanställning av mätresultat. Slutsatser

Mätresultaten från försöken att minska värmeförlusterna genom fönster redovisas i TAB.10. Tabellen är uppdelad i två avdelningar, beroende på att försöken är gjorda i två olika hot-boxar. De första försöken gjordes i en äldre box och de senare försöken i en nyare box. Det skiljer något i försöksutrustningen och uppbyggnaden av boxarna. Mätvärdena är därför inte helt jämförbara med varandra.

I tabellen redovisas även det uppmätta U-värdet från inneluft till uteluft. Övergångsmotståndet blir då inte normerat, utan det aktuella värdet i hot-box och kylrum har använts. Orsaken är att övergångsmotståndet förändras beroende på vilken typ av tilläggisolerings som använts. De uppmätta övergångsmotstånden anges också i tabellen.

TAB.10 Minskning av fönsters värmeförluster. Mätresultat, hot-box.

$\Delta\theta$  = temperaturskillnad uteluft-inneluft ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\theta_{\text{sig}}$  = yttemperatur på insidan ( $^{\circ}\text{C}$ )

$R_f$  = uppmätt värmemotstånd från inneryta till ytteryta ( $^{\circ}\text{Cm}^2/\text{W}$ )

$R_{\text{si}}+R_{\text{se}}$  = uppmätt värmeövergångsmotstånd ( $^{\circ}\text{Cm}^2/\text{W}$ )

$U_{\text{uppm}}$  = uppmätt U-värde från inneluft till uteluft ( $\text{W}/^{\circ}\text{Cm}^2$ )

$U_{\text{norm}}$  = U-värde då  $R_{\text{si}}+R_{\text{se}}=0.2$  ( $\text{W}/^{\circ}\text{Cm}^2$ )

LE betyder lågmissionsskikt

Försök	$\Delta\theta$ $^{\circ}\text{C}$	$\theta_{\text{sig}}$ $^{\circ}\text{C}$	$R_f$ uppm $^{\circ}\text{Cm}^2/\text{W}$	$R_{\text{si}}+R_{\text{se}}$ uppm $^{\circ}\text{Cm}^2/\text{W}$	$U_{\text{uppm}}$ $\text{W}/^{\circ}\text{Cm}^2$	$U_{\text{norm}}$ $\text{W}/^{\circ}\text{Cm}^2$
<u>2-glas kopplat utåtgående</u>	30.4		0.255			2.20
+extra glas	28.6		0.435			1.57
innerruta utbytt mot förseglad ruta	31.1		0.469			1.50
<u>2-glas kopplat inåtgående</u>	32.2		0.318			1.93
+extra glas	31.4		0.484			1.46
innerruta utbytt mot förseglad ruta	29.8		0.462			1.51
<u>2-glas kopplat inåtgående</u>	34.0	11.11	0.251	0.173	2.36	2.22
+fönsterfolie	34.2	16.10	0.362	0.148	1.96	1.78
+extra glas	33.9	15.11	0.430	0.176	1.65	1.59
+extra glas med LE	33.2	16.7	0.552	0.180	1.37	1.33
+extra glas med LE felvänt	33.6	12.28	0.455	0.236	1.45	1.53
innerruta utbytt mot ruta med LE	33.8	13.82	0.387	0.181	1.76	1.70
+Glasklara (65 mm)	33.8	17.95	0.659	0.162	1.22	1.16
+Glasklara (50 mm)	33.7	18.05	0.649	0.159	1.24	1.18
+Glasklara tejpad	33.7	18.07	0.679	0.166	1.18	1.14
+fönsterlucka tät	33.9	19.56	1.892	0.215	0.47	0.48
+fönsterlucka dåligt tätad	33.9	19.39	1.664	0.205	0.54	0.54

Yttertemperaturen  $\theta_{sig}$  är medelvärde av yttertemperaturen på insidan av fönsterkonstruktionens inre 'glas'. Beteckningen 'glas' kan vara det inre fönsterglaset, fönsterfolien eller rullgardinen. I så gott som samtliga fall höjs yttertemperaturen flera grader vid tilläggsisolering. Undantag är fallet med ett extra glas med felvänt lågmissionsskikt där höjningen är endast 1 °C. Detta beror på att skiktet är vänt in mot det varma rummet och därigenom minskar värmeöverföringen genom strålning mellan innerytan och omgivningen. Detta innebär att  $R_{si}$  ökar och således blir  $R_{si}+R_{se}$  ganska högt. Då fönstret är försett med en fönsterlucka blir yttertemperaturen på fönsterglasets insida hög, vilket bidrar till ökad komfort.

De uppmätta värmeövergångsmotstånden varierar mellan 0.15 och 0.24 °Cm<sup>2</sup>/W. För vanliga fönsterkonstruktioner ligger värdet omkring 0.17-0.18 °Cm<sup>2</sup>/W, dvs under nuvarande normvärden. Fönster med plastfolier, som släpper igenom större delen av den långvågiga strålningen, får ett lågt värde på  $R_{si}$ . Då fönstret förses med en fönsterlucka kommer  $R_{si}$  att öka något, vilket beror på det ökade värmemotståndet.

Försöken visar att värmeförlusterna genom äldre fönster går att minska. Vilken metod man väljer beror till stor del på hur det befintliga fönstret ser ut.

Ombyggnad av tvåglasfönster till treglasfönster innebär en ökad belastning på fönsterbågarna. Det är därför viktigt att se till att gångjärnen orkar med den ökade belastningen. Vid montering av tredje rutan skall denna sluta tätt mot den inre bågen så att kondens mellan tillsatsruta och innerbåge inte uppstår. Om innerglaset byts ut mot två förseglade rutor är det likaså viktigt att täta väl mellan de förseglade rutorna och innerbågen så att rums-luften inte kan komma in i luftspalten mellan bågarna och förorsaka kondens på ytterglaset.

Glas med lågmissionsskikt av tennoxid är mycket resistent mot mekanisk påverkan. De kan därför användas i kopplade fönster. Att använda selektiva skikt tycks därför vara ett bra alternativ att minska värmeförlusterna. Om man använder selektiva skikt i förseglade rutor med en gas mellan rutorna kan U-värdet ytterligare för-

bättras.

Vid användandet av nattisolering av något slag är det viktigt att den anbringas varje natt så att värmevinsten blir så stor som möjligt. Skulle nattisoleringen sitta kvar även på dagen så utestängs solljusinstrålningen och dess värmetillskott reduceras. Det krävs således en viss disciplin vid användandet av nattisolering. Den värmeisolerande förmågan hos fönsterluckor är dessutom beroende av lufttättheten kring dess kanter. I flerbostadshus kan utvändiga fönsterluckor kanske vara svåra att använda, men då finns det persienner och rullgardiner av olika slag att tillgå.

## UPPLEVELSE AV FÖNSTERBYTE

### GRUPPERING AV FÖNSTER

#### Inledning

Fönsterna kallas ofta för husens ögon. Ögonens uttryck är mycket viktigt för hur vi uppfattar en människa och kanske är fönsternas roll för vår uppfattning av en byggnad lika viktiga. En undersökning visar att fönster i allmänhet är en av de byggnadsdelar som först drar uppmärksamheten till sig (Janssens (1976)). Men fönster är också en byggnadsdel som under alla tider varit föremål för stora förändringar.

Hur upplever människor fönster? Olsson-Jonsson (1980) har gjort en studie av människors upplevelse av fönster. Härvid fick ett antal försökspersoner göra bedömningar av idag vanligt förekommande fönster. Syftet med försöken var att ta reda på vad folk ser hos fönster. Det fanns också ett hopp om att kunna gruppera fönsterna i typgrupper utifrån upplevda gemensamma egenskaper hos de bedömda fönsterna. Kunskapen om vad det är som gör att människor upplever att fönster har något gemensamt kan vara en viktig utgångspunkt för resonemang om fönsterval vid utbyte av sådana.

Vid försöken har miljöpsykologiska metoder använts, utarbetade inom projektet Miljöenheter vid avd för Formlära, LTH. Sorte (1982) har utvecklat ett system för att beskriva egenskaper hos föremål i den byggda miljön. Sortes test bygger på Küllers semantiska miljöbeskrivningsmodell (1972) med avseende på sättet att inhämta och strukturera komplexa upplevelsedata. Küller använder sig av sju gradiga semantiska skattningsskalor, i vilka grupper av försökspersoner markerar sin uppfattning av miljön. De enskilda skattningarna bearbetas med en statistisk metod kallad faktoranalys. Sorte (1982) visar också på en metod att identifiera likheter hos föremål i den byggda miljön.

Två olika försök gjordes, likhetsbedömningar och egenskapsbedömningar, båda enligt Sorte (1982). I det första försöket visades fönsterna parvis två och två och bedömdes med avseende på likhet. I det andra försöket bedömdes varje fönster för sig med avseende



på olika egenskaper.

Fönsterna presenterades för försökspersonerna i form av diabilder i färg. Att använda diabilder som representation av verkligheten kan tyckas påverka bedömningarna. Acking, Sorte (1972) har jämfört bedömningar ute i bostadsmiljöer med bedömningar av samma miljöer presenterade som färgdiabilder. Skillnad erhöles endast i en av de fem testade faktorerna och då på 5% signifikansnivå. Bilden är en förmedlare av verkligheten som vi sedan länge har lärt oss leva med (Küller (1972)).

De här redovisade bedömningarna har utförts vid två olika tillfällen. Vid första undersökningen gjordes likhets- och egenskapsbedömningar av 22 fönster och vid den andra undersökningen gjordes motsvarande bedömningar av 3 fönster.

### Första undersökningen

#### Uppläggning och genomförande av likhetsbedömningar

Ett antal fönster fotograferades med diafilm i färg. Ur det insamlade bildmaterialet utvaldes 22 fönster vilka ansågs vara vanligt förekommande, fönster nr 1-22 i FIG.64. Fönsterna bedömdes av 25 försökspersoner uppdelade på två grupper om 12 resp 13 personer. Bedömningsgrupperna var heterogent sammansatta med avseende på ålder och kön. Åldern på försökspersonerna var mellan 14 och 71 år.

#### Försöksgruppens ålders- och könsfördelning

Kön	Åldersgrupp				Summa
	-19	20-39	40-59	60-	
Kvinnor	2	6	4	1	13
Män	3	8	0	1	12
Summa	5	14	4	2	25

Fönsterna visades parvis två och två varvid försökspersonerna fick bedöma hur pass lika varandra fönsterna var. Varje individ gjorde således totalt 231 likhetsbedömningar. Fönsterparen visades i olika ordning för de båda grupperna. Bedömningen markerades med ett streck på en 100 mm lång skala enligt nedan.



En streck till vänster på skalan betyder att fönsterna bedöms vara mycket lika varandra medan en streck till höger på skalan innebär att fönsterna bedöms vara mycket olika. Markeringen på skalan anger graden av likhet för de olika fönsterparen.

Likhetsbedömningarna har överförts till ett numeriskt värde genom att sätta den ena ytterligheten på skalan (helt olika) till 1 och den andra ytterligheten (helt lika) till 99.

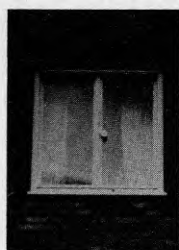
#### Resultat i korthet

Bedömningarna bearbetades statistiskt och gav som resultat en uppdelning av de 22 bedömda fönsterna i fyra grupper. Försökspersonerna gjorde också egenskapsbedömningar av fönsterna och av dessa framkom vilka egenskaper som var speciella för de fyra grupperna. Hur dessa bedömningar genomfördes redovisas längre fram.

#### Andra undersökningen

I samband med en studie av fönsterbyten i flerbostadshus (Olsson-Jonsson (1984)) framkom att undersökningen ovan borde kompletteras med ett par fönstertyper. Studien har därför utökats med 3 fönster och omfattar nu totalt 25 fönster.

De nya fönsterna har bedömts på samma sätt som de tidigare, dvs med avseende på likhet och olika visuella egenskaper. Samtidigt med de nya fönsterna bedömdes ett av de gamla. Detta har gjorts som kontroll för att se om de nya fönsterbedömningarna kan adderas till de gamla utan alltför stora skillnader.



1.



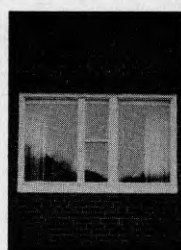
2.



3.



4.



5.



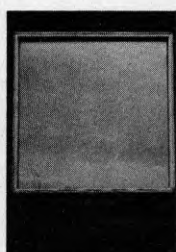
6.



7.



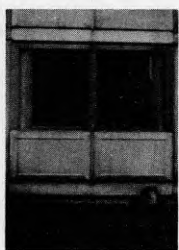
8.



9.



10.



11.



12.



13.



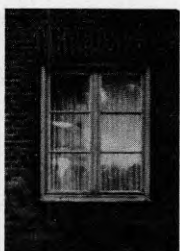
14.



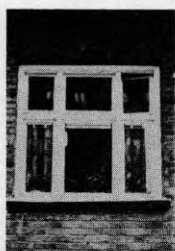
15.



16.



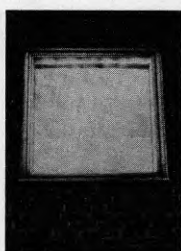
17.



18.



19.



20.



21.



22.



23.



24.



25.

FIG.64 De 25 undersökta fönsterna.

Uppläggning och genomförande av likhetsbedömningar,  
nya fönster

Försöket lades upp och genomfördes på samma sätt som det tidigare försöket. I FIG.64 visas de 25 fönster som har blivit bedömda, nya fönster är 23, 24 och 25. De nya fönsterna plus ett gammalt (19) bedömdes av 25 försökspersoner uppdelade på två grupper om 11 resp 14 personer. Åldern på försökspersonerna var mellan 15 och 76 år. 15 av försökspersonerna var med även förra gången då de 22 första fönsterna bedömdes. 10 av försökspersonerna var helt nya.

Försöksgruppens ålders- och könsfördelning

Kön	Åldersgrupp				Summa
	-19	20-39	40-59	60-	
Kvinnor	2	7	6	0	15
Män	2	6	1	1	10
Summa	4	13	7	1	25

De fyra fönsterna parades ihop dels med varandra och dels med de tidigare 21 fönsterna. De visades parvis och försökspersonerna fick bedöma hur pass lika varandra fönsterna var. Totalt gjorde varje individ nu 90 likhetsbedömningar. Fönsterparen visades i olika ordning för de båda grupperna.

Kan de nya bedömningarna läggas till de gamla?

Två olika statistiska analyser gjordes för att ta reda på om bedömningarna av de nya fönsterna kunde läggas till de gamla. Först analyserades om det fanns några skillnader mellan bedömningarna vid de båda tillfällena för de försökspersoner som varit med båda gångerna. Därefter analyserades om det fanns skillnader mellan bedömningarna för nya och gamla försökspersoner vid det senaste tillfället. Om inga signifikanta skillnader uppstod så kunde de nya fönsterna adderas till de gamla och hela materialet kunde bearbetas vidare.

Analys av bedömningsresultat från två bedömningstillfällen

Vid båda tillfällena gjordes likhetsskattningar av fönsterpar där fönster 19 ingår och 15 av försökspersonerna var med båda gångerna. Det är således 15 försökspersoners bedömningar av samma fönsterpar vid två olika tillfällen som skall jämföras.

De 15 försökspersonernas bedömningsvärden plockades fram för resp fönsterpar och tillfälle. Därefter gjordes en statistisk bearbetning av värdena, T-test, med resultat enligt TAB.11.

TAB.11 T-test av 15 försökspersoners bedömning av samma fönsterpar vid två olika tillfällen. (Signifikant skillnad mellan försöken om  $p < 0.01$ )

Fönsterpar	Likhetsbedömning medelvärden			T-test Signifikansnivå (p)
	Gamla försöket	Nya försöket	Skillnad	
19-1	71.8	77.2	5.4	0.215
19-2	52.6	56.1	3.5	0.689
19-3	22.7	21.9	0.8	0.914
19-4	37.9	27.5	10.4	0.164
19-5	31.0	33.3	2.3	0.725
19-6	44.9	35.2	9.7	0.243
19-7	49.1	51.5	2.4	0.809
19-8	45.0	34.5	10.5	0.183
19-9	31.5	22.1	9.4	0.108
19-10	28.0	24.3	3.7	0.558
19-11	33.5	25.7	7.8	0.210
19-12	58.3	52.8	5.5	0.499
19-13	34.3	41.7	7.4	0.184
19-14	35.5	27.9	7.6	0.336
19-15	39.1	28.5	10.6	0.154
19-16	35.7	18.1	17.6	0.005
19-17	54.0	50.7	3.3	0.526
19-18	39.8	35.6	4.2	0.511
19-20	28.6	26.5	2.1	0.776
19-21	41.0	29.5	11.5	0.065
19-22	45.1	58.5	13.4	0.048

Testet innebär att bedömningsvärdena för varje fönsterpar från de olika försöken har jämförts med varandra och signifikansnivån för skillnader mellan tillfällena har beräknats. Signifikansnivån (p) anger hur stor sannolikheten är att resultatet har uppkommit

av en slump. Det är ett mått på resultatets statistiska tillförlitlighet. Ett värde på  $p=0.005$  innebär att en så stor skillnad mellan tillfällena uppkommer slumpvis i 5 fall av 1000. Signifikant skillnad mellan försöken föreligger om  $p<0.01$ . T-testet visar att det endast för ett fönsterpar (19-16) finns en klar signifikant skillnad mellan tillfällena. Av tabellen framgår att bedömningsvärdena från nya försöket i de flesta fallen är lägre än de gamla.

En variansanalys på materialet gav följande resultat.

	Signifikansnivå (p)
fönsterpar (F)	0.0000
tillfälle (T)	0.2845
FxT	0.0562

Signifikant skillnad eller interaktion (samband) anses föreligga om  $p<0.01$ . Mellan fönsterparen finns en signifikant skillnad, vilket det också ska vara. Mellan tillfällena finns inte någon skillnad. Däremot finns det en tendens till interaktion mellan tillfälle och fönsterpar men ingen klar signifikans kan visas.

#### Analys av skillnader mellan försökspersoner

Bedömningsvärdena från senaste försöket för fönsterpar med fönster 19 i har bearbetats. Värdena har delats upp i två grupper, bestående av 15 gamla försökspersoner resp 10 nya. En variansanalys gjordes på värdena med resultat enligt TAB.12. Vid en jämförelse mellan de båda grupperna ser man att de nya försökspersonerna genomgående har lägre bedömningsvärden än de gamla. En klar signifikant skillnad mellan grupperna finns det dock enbart för ett fönsterpar (19-22).

Variansanalysen gav också följande resultat med avseende på signifikanta skillnader och interaktioner för testvariablerna.

	Signifikansnivå (p)
fönsterpar (F)	0.0000
grupp (G)	0.0917
FxG	0.6189

Mellan fönsterparen finns signifikanta skillnader. Mellan grupperna finns inga signifikanta skillnader och inte heller finns det någon interaktion mellan fönsterpar och grupp av försökspersoner.

TAB.12 Bedömning av fönsterpar vid senaste försöket. Jämförelse mellan gamla och nya försökspersoners (fp) bedömning. (Signifikant skillnad mellan grupperna om  $p < 0.01$ )

Fönsterpar	Likhetsbedömning medelvärden		Skillnad	Variansanalys Signifikansnivå (p)
	Gamla 15 fp	Nya 10 fp		
19-1	77.2	66.4	10.8	0.252
19-2	56.1	43.4	12.7	0.310
19-3	21.9	10.8	10.1	0.161
19-4	27.5	19.3	8.2	0.300
19-5	33.3	13.0	20.3	0.038
19-6	35.2	32.2	3.0	0.806
19-7	51.5	31.7	19.8	0.050
19-8	34.5	26.0	8.5	0.387
19-9	22.1	20.0	2.1	0.792
19-10	24.3	12.4	11.9	0.160
19-11	25.7	23.4	2.3	0.737
19-12	52.8	50.3	2.5	0.832
19-13	41.7	40.7	1.0	0.935
19-14	27.9	22.6	5.3	0.618
19-15	28.5	13.1	15.4	0.093
19-16	18.1	9.3	8.8	0.128
19-17	50.7	39.7	11.0	0.353
19-18	35.6	17.2	18.4	0.051
19-20	26.5	24.9	1.6	0.873
19-21	29.5	23.2	6.3	0.480
19-22	58.5	30.2	28.3	0.002

Denna och föregående analys visar att de nya fönsterna kan läggas till de gamla och att samtliga bedömningar kan bearbetas statistiskt i sin helhet. Detta trots att det är lång tid mellan de båda bedömningstillfällena. Det visar på att metoderna är generella. Det fanns en tendens till interaktion men ingen klar signifikans kunde visas.

Statistisk bearbetning av likhetsbedömningarna, hela materialet

Sedan likhetsbedömningarna överförts till numeriska värden enligt tidigare, beräknades medelvärdet av försökspersonernas likhets-skattningar för resp fönsterpar. Följande korrelationsmatris kunde härvid uppställas.

Fönster nr	1	2	3	...	25
1		$f_{12}$	$f_{13}$		
2			$f_{23}$		
3					
.					
.					
25					

I cell  $f_{12}$  finns medelvärdet av försökspersonernas bedömningar av likheten mellan fönster 1 och 2, i  $f_{13}$  mellan fönster 1 och 3 osv. Ju större det numeriska värdet i matrisens celler är desto större är likheten mellan resp fönsterpar.

Med korrelationsmatrisen som utgångspunkt genomfördes en faktoranalys. Faktoranalysen av likhetsbedömningarna har gett en struktur med 4 faktorer, se TAB.13. Resultatet innebär att de undersökta fönsterna kan delas in i fyra grupper. Inom varje grupp har fönsterna någonting gemensamt, som skiljer dem från övriga fönster i materialet. I varje faktor anges för varje fönster en siffra, s k faktorladdning, vilken är ett mått på hur väl resp fönster korrelerar med faktorn. Ju högre faktorladdning ett fönster har desto bättre representerar det faktorn. Faktorladdning större än 0.55 har satts som gräns för tillhörighet i de tre första faktorerna. I den fjärde faktorn finns endast ett fönster som uppfyller detta krav. Här har istället kravet på tillhörighet satts till större än 0.35.

Den fjärde faktorn kan tyckas "onödig" eftersom faktorgränsen här har ändrats från 0.55 till 0.35. En struktur på tre faktorer har emellertid också studerats, men fyra faktorer bedömdes som en bättre indelning av materialet samtidigt som den fjärde faktorn gav upphov till en meningsfull tolkning.



TAB.13 Faktormatris baserad på 25 försökspersoners  
likhetsbedömningar av 25 fönster (FIG.64)

Fönster nr	Faktor			
	1	2	3	4
1	0.45	0.29	0.62	0.13
2	0.17	0.84	0.25	0.07
3	0.02	0.33	0.35	0.74
4	0.87	0.12	0.26	0.01
5	0.24	0.10	0.72	0.26
6	0.72	0.39	0.16	0.01
7	0.18	0.25	0.78	0.17
8	0.11	0.80	0.09	0.10
9	0.86	0.02	0.17	0.08
10	0.61	0.03	0.55	0.12
11	0.35	0.10	0.63	0.02
12	0.65	0.43	0.16	0.11
13	0.11	0.72	0.07	0.50
14	0.90	0.07	0.26	0.01
15	0.68	0.13	0.31	0.07
16	0.44	0.01	0.66	0.09
17	0.20	0.73	0.23	0.10
18	0.09	0.40	0.44	0.46
19	0.23	0.59	0.46	0.25
20	0.84	0.07	0.27	0.07
21	0.06	0.71	0.08	0.37
22	0.27	0.15	0.83	0.14
23	0.11	0.69	0.01	0.00
24	0.06	0.76	0.18	0.00
25	0.04	0.80	0.02	0.14

Vid den tidigare bedömningen (22 fönster) kunde materialet också delas in i fyra grupper. De nu erhållna grupperna innehåller i huvudsak samma fönster som tidigare, inga fönster har fallit från men några har kommit till. De tre nya fönsterna har alla kommit i samma grupp.

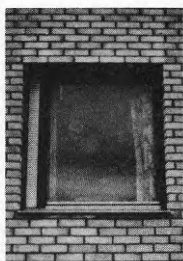
De fyra fönstergrupperna redovisas nedan. Siffran under respektive fönster anger fönstrets faktorladdning. För varje grupp göres en intuitiv tolkning av gemensamma egenskaper. Detta innebär att man genom att titta på fönsterna i respektive grupp bildar sig en uppfattning om vad de har gemensamt.

## Faktor 1

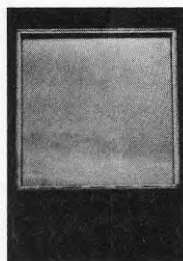
I grupp 1 har nedanstående åtta fönster faktorladdningar större än 0,55. I denna grupp har flertalet fönster en kvadratisk form. Fönsterna har stora hela glasrutor som inte är mycket uppdelade. De är också vad man skulle vilja kalla moderna fönster.



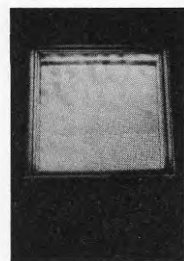
nr 14  
faktorladdn 0.90



nr 4  
faktorladdn 0.87



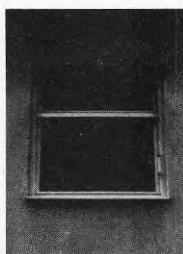
nr 9  
faktorladdn 0.86



nr 20  
faktorladdn 0.84



nr 6  
faktorladdn 0.72



nr 15  
faktorladdn 0.68



nr 12  
faktorladdn 0.65



nr 10  
faktorladdn 0.61

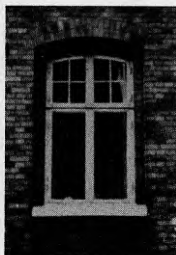
FIG.65 Fönster i grupp 1 med faktorladdningar större än 0,55.

## Faktor 2

I grupp 2 har nio fönster fallit ut med faktorladdningar större än 0.55. Samtliga fönster har likartad form, höjden är större än bredden. Fönsterna har också mittpost och uppdelade glasytor.



nr 2  
faktorladdn 0.84



nr 25  
faktorladdn 0.80



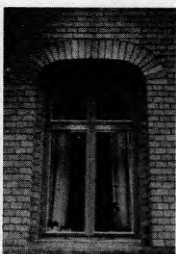
nr 8  
faktorladdn 0.80



nr 24  
faktorladdn 0.76



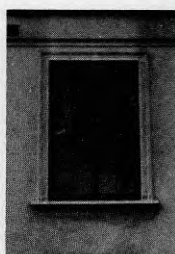
nr 17  
faktorladdn 0.73



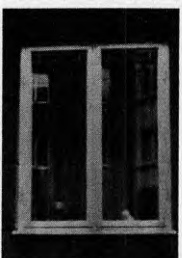
nr 13  
faktorladdn 0.72



nr 21  
faktorladdn 0.71



nr 23  
faktorladdn 0.69



nr 19  
faktorladdn 0.59

FIG.66 Fönster i grupp 2 med faktorladdningar större än 0.55.

## Faktor 3

I grupp 3 ingår nedanstående 6 fönster. Fönsterna i denna grupp har i flertalet fall större bredd än höjd. De har en eller två vertikala delningar.



nr 22  
faktorladdn 0.83



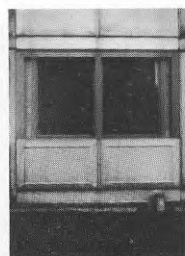
nr 7  
faktorladdn 0.78



nr 5  
faktorladdn 0.72



nr 16  
faktorladdn 0.66



nr 11  
faktorladdn 0.63



nr 1  
faktorladdn 0.62

FIG.67 Fönster i grupp 3 med faktorladdningar större än 0.55

## Faktor 4

I grupp 4 är faktorladdningarna större än 0.35 för fyra fönster. Fönsterna i denna grupp har kraftiga vertikala och horisontala poster, som ger ett tungt och massivt intryck. Vidare är glasytorna uppdelade.



nr 3  
faktorladdn 0.74



nr 13  
faktorladdn 0.50



nr 18  
faktorladdn 0.46



nr 21  
faktorladdn 0.37

FIG.68 Fönster i grupp 4 med faktorladdningar större än 0.35.

Likhetsbedömningarna har lett fram till en gruppering av fönsterna som medgivit en intuitiv tolkning av gemensamma egenskaper. Det är emellertid svårt att med denna tolkning komma mycket längre än till ett formalt resonemang, dvs ett tal om fönsternas bredd och höjd samt fönsterytans grad av uppdelning. Detta är också det vanligaste sättet att tala om fönster idag. Av den första undersökningen framgick att det finns andra upplevelseaspekter som kan läggas till grund för ett resonemang om skillnader mellan de grupper som har kommit fram. Detta visar också den mer detaljerade analysen som gjorts med hjälp av en metod, som beskriver det visuella uttrycket hos varje fönster.

#### Experimentell analys av fönstergrupperna

Vid denna analys har Sortes metod att beskriva egenskaper hos föremål i byggd miljö använts. Föremålen beskrivs med hjälp av elva egenskaper, som grundar sig på analyser av människors upplevelse av objekt. Egenskaperna är valens, massa, form, artikule-

ring, mening, yta, struktur, skala, ålder, färg och ljushet. Varje egenskap beskrivs med hjälp av 4 bedömningsvariabler (BILAGA 1). Denna metod användes för att finna en mer nyanserad tolkning av fönstergrupperna. Metoden användes dels i den första undersökningen med 22 fönster och dels i den senare med 3 nya fönster och ett kontrollfönster.

Uppläggning och genomförande av bedömningarna har utförts på samma sätt i båda undersökningarna. Bedömningarna gjordes av samma försökspersoner, som gjorde likhetsskattningarna. De var liksom tidigare uppdelade i två grupper. Fönsterna bedömdes var för sig i de 44 variablerna, vilket innebär att varje försöksperson gjorde totalt 968 bedömningar vid den första undersökningen och 176 vid den andra.

Fönsterna presenterades i olika ordning för de båda grupperna och även ordningsföljden på variablerna var olika. Variablerna bedömdes enligt nedanstående skattningsskala, som anger i hur hög grad fönsterna bedöms ha en viss egenskap. Skattningsskalan har 7 steg och markering sker genom att sätta ett kryss i en ruta.

Variabel								
litet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	mycket

En markering åt vänster betyder att fönstret bedöms ha litet av egenskapen som variabeln avser, medan en markering åt höger betyder att fönstret bedöms ha mycket av egenskapen. Bedömningsprotokollen utformades så att samtliga fönster bedöms först i en variabel, därefter i en annan osv.

Bedömningarna har överförts till ett numeriskt värde genom att i den 7-gradiga skalan sätta den ena ytterligheten (litet) till 1 och den andra ytterligheten (mycket) till 7. Därefter har medelvärdet av försökspersonernas bedömningar beräknats för var och en av de 44 variablerna. Slutligen har variablerna sammanvägts fyra och fyra till de 11 egenskaperna. Bedömningarna av de nya fönsterna har lagts till de gamla. Medelvärdena för de 25 fönsterna i de 11 egenskaperna redovisas i TAB.14.

TAB.14 Faktorvärden för de undersökta 25 fönsterna (FIG.64)  
i de 11 egenskapsbeskrivande variablerna

Fönster	Valens	Massa	Form	Artikulering	Mening	Yta	Struktur	Skala	Alder	Färg	Ljushet
1	3.4	3.5	2.8	2.7	4.5	4.2	2.7	2.9	4.1	3.2	4.6
2	4.4	3.9	3.6	3.6	4.9	3.9	4.1	4.3	5.4	4.2	3.3
3	5.0	5.2	5.7	5.8	4.6	3.4	6.2	5.6	5.6	4.6	2.9
4	3.5	3.5	3.1	3.0	4.5	5.0	2.9	3.5	1.8	4.2	4.8
5	3.8	4.1	3.8	4.5	3.7	4.6	4.8	4.7	4.0	3.8	5.0
6	2.5	3.5	3.3	2.4	3.6	4.2	2.9	3.5	4.3	3.1	4.0
7	3.2	4.0	3.3	3.0	4.3	2.9	3.3	4.2	5.8	3.0	3.4
8	5.0	3.4	4.1	4.3	5.0	3.4	4.6	4.0	5.9	4.2	4.0
9	2.1	2.6	1.8	1.6	2.9	4.6	1.4	5.2	2.8	2.5	5.5
10	4.4	3.5	3.9	4.2	4.9	5.3	4.1	4.2	1.8	5.0	5.2
11	2.7	4.4	3.2	3.6	3.4	2.9	3.9	3.3	4.1	3.2	2.9
12	2.6	3.6	2.6	2.1	4.2	3.6	2.1	3.5	5.0	2.2	3.6
13	5.4	5.1	5.0	5.0	5.2	4.3	4.9	4.6	5.6	5.3	3.7
14	3.2	3.3	3.4	3.0	3.9	4.6	3.0	3.5	2.7	3.5	4.3
15	1.7	4.1	3.1	2.3	3.2	2.9	2.9	2.6	3.9	1.7	2.5
16	4.6	3.7	4.0	4.3	4.9	5.3	4.1	4.3	1.9	4.8	4.9
17	5.2	3.8	3.5	4.2	5.1	3.9	4.1	3.5	5.4	4.3	4.5
18	5.5	5.8	4.1	5.8	5.2	5.1	5.6	5.4	4.7	5.4	5.2
19	3.7	4.1	2.9	3.0	4.5	4.4	2.8	4.5	4.6	3.8	5.1
20	2.1	3.1	2.1	1.6	3.2	3.8	1.7	3.3	3.9	2.7	4.6
21	5.0	5.5	5.5	5.9	4.8	3.3	5.9	5.3	5.7	4.3	2.4
22	3.8	4.1	3.5	3.7	4.5	4.1	3.7	3.9	4.0	3.9	3.5
23	5.6	4.9	2.5	5.3	5.8	4.5	4.2	4.2	4.2	3.8	2.8
24	3.8	4.4	3.2	3.0	4.3	4.7	3.8	4.9	4.6	3.4	5.0
25	4.7	4.7	4.7	4.6	4.9	3.3	5.3	4.6	6.0	3.9	3.8

Uppställningen ger möjlighet att i detalj gå in på varje fönsters utseende i de enskilda faktorerna. Fönster nr 15 har mycket låga värden i valens (medelvärde=1.7), vilket innebär att försökspersonerna intar en negativ hållning till dess utseende. Högsta valensvärdet har fönster nr 23. Fönster nr 18 med värdet 5.8 i massa är mycket massivt och bastant. Formvärdet 1.8 för fönster nr 9 tyder på att detta upplevs mer kantigt än de övriga fönsterna i urvalet.

Likhetsgrupperna har därefter analyserats statistiskt. Analysen innebär att man med hjälp av Fishers test undersöker om de fönster som har höga faktorladdningar skiljer sig från de övriga i den egenskap man analyserar. Genom att på detta sätt analysera grupperna för var och en av de elva egenskaperna, får man kännedom om vilka egenskaper som är speciella för de olika grupperna. Resultatet av denna analys för de fyra grupperna redovisas nedan.

#### Första likheten - faktor 1

Resultatet av analysen för grupp 1 (fönster 4,6,9,10,12,14,15,20) redovisas i FIG.69. Figuren ger en samlad översikt över hur samtliga 25 fönster har upplevts i de 11 egenskaperna. De svarta prickarna anger hur de 8 fönsterna i grupp 1 skiljer sig från de övriga 17 fönsterna i samplet. Markeringarna har gjorts i de egenskaper där fönsterna i grupp 1 visar en klart signifikant avvikelse ( $p < 0.01$ ) från de övriga fönsterna. Signifikansnivåerna härrör sig från Fishers test.

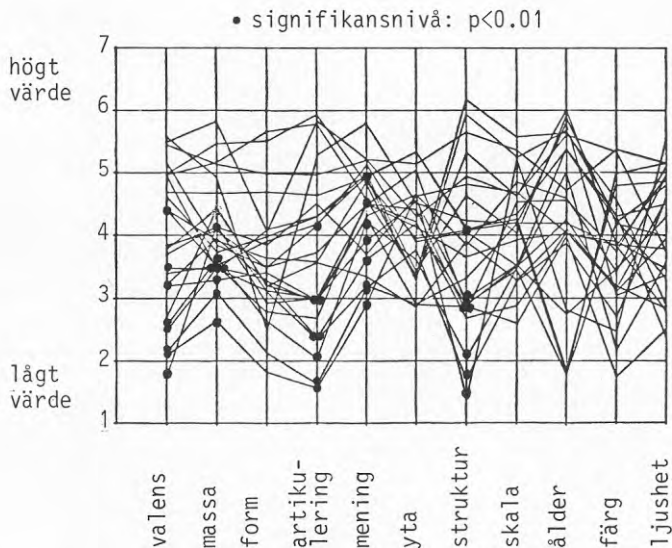


FIG.69 Egenskaper speciella för grupp 1.



För fönsterna i denna grupp, som intuitivt tolkades som kvadratiska med i stort sett odelade glasytor, ger figuren grund för följande utökade tolkning. Fönsterna upplevs vara tråkiga och föga personliga (valens). De har ett mindre massivt och bastant utseende än de övriga fönsterna. Artikuleringsvärdet visar på en typ av miljöenheter, som man inte har bearbetat mer än det som absolut behövs för funktionen i fråga. Vidare upplevs de inte heller vara särskilt meningsfulla som fönster betraktade. Slutligen visar det låga värdet i strukturen att de upplevs som föga uppdelade och detaljrika. Den ensamma pricken i artikulering och struktur är fönster nr 10. Att detta har fått ett något högre värde i dessa egenskaper kan bero på att det är lite mer bearbetat och detaljrikare än gruppens övriga fönster.

Utöver dessa 5 egenskaper fanns det tendens till signifikant avvikelse ( $p < 0.025$ ) för ytterligare 3 egenskaper, form, skala och ålder. Gruppens fönster är samlade kring ett lågt värde i form, vilket visar att de upplevs som mycket kantiga. Vad beträffar ålder är spridningen ganska stor, men fönsterna upplevs huvudsakligen som moderna. Även i skala är spridningen stor.

#### Andra likheten - faktor 2

Fönsterna i grupp 2 (fönster 2,8,13,17,19,21,23,24,25) visar en klart signifikant avvikelse från de övriga fönsterna i 2 egenskaper, mening och ålder. I FIG.70 visas hur de 9 fönsterna i grupp 2 skiljer sig från de övriga 16 fönsterna i dessa egenskaper.

Den intuitiva tolkningen av gruppen visade på fönster som hade större höjd än bredd och uppdelade glasytor. Av figuren nedan framgår att de fönster som definierar gruppen är säregna på det sättet att de inger en känsla av äkthet (mening). De inger också en känsla av högre ålder än övriga fönster. Allmänt kan sägas att fönsterna i denna grupp upplevs mer som fönster än andra.

Det fanns tendens till signifikant avvikelse ( $p < 0.05$ ) för ytterligare 3 egenskaper; valens, struktur och skala. Värdet i valens är ganska högt, vilket innebär att fönsterna upplevs som mycket trivsamma. Strukturvärdet är också högt, dvs de upplevs som

detaljrika och mycket uppdelade. Slutligen upplevs de som stora.

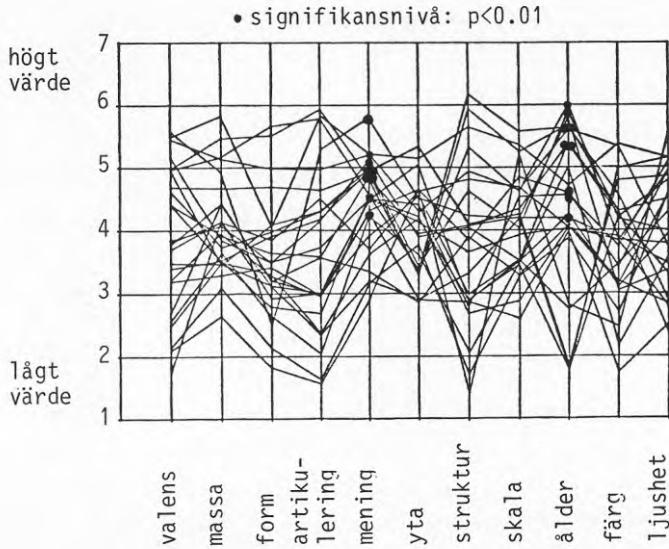


FIG.70 Egenskaper speciella för grupp 2.

### Tredje likheten - faktor 3

För grupp 3 (fönster 1,5,7,11,16,22) har ej erhållits någon signifikant avvikelse för någon av egenskaperna. Detta innebär att fönsterna i gruppen har något gemensamt som inte går att beskriva med vårt egenskapstest. I FIG.71 har bedömningsvärdena för de 6 fönsterna markerats i samtliga egenskaper.

Fönsterna i grupp 3 tolkades intuitivt ha större bredd än höjd och med en eller två vertikala delningar. Figuren nedan visar att gruppens fönster för flera egenskaper intar ett mellanläge. Detta innebär att de inte är speciellt extrema i något avseende. För denna grupp är det troligtvis fråga om en proportionsaspekt i jämförelse med de andra grupperna. För att ta reda på om det är så, gjordes en korrelationstest mellan proportion och faktorladdning.

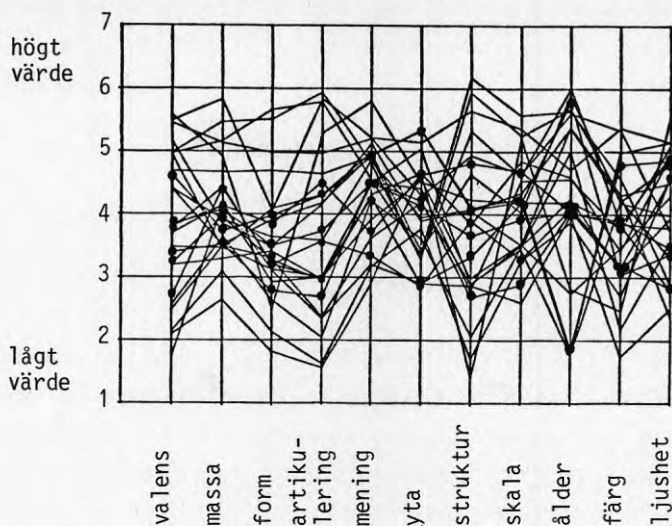


FIG.71 Egenskapsvärden för fönster i grupp 3.

För varje fönster mättes bredden och höjden och förhållandet mellan bredd och höjd beräknades. Faktorladdningarna för varje fönster i faktor 3 finns i TAB.13. Värdena prickades in i ett diagram och en regressionsanalys gjordes, FIG.72. Av figuren framgår att det finns ett samband mellan proportion och faktorladdning för faktor 3. Korrelationskoefficienten är så hög som 0.84.

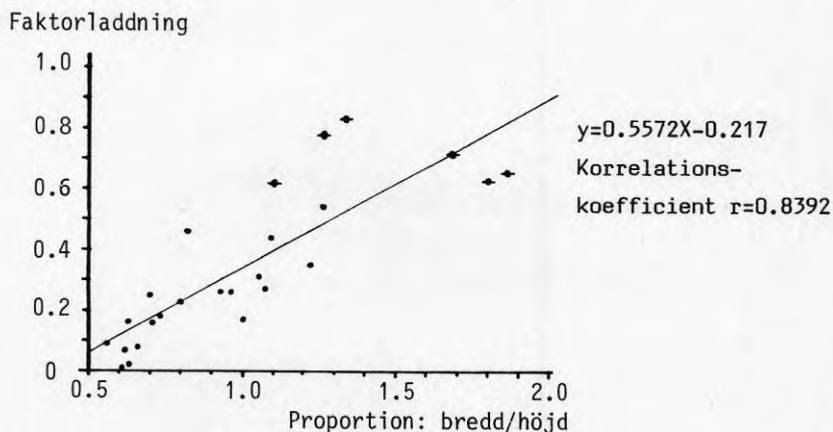


FIG.72 Samband mellan proportion och faktorladdning i faktor 3. Markeringarna (●) anger hur de 6 fönsterna i grupp 3 skiljer sig från de övriga 19.

Proportionsvärdena testades också med Fishers test på samma sätt som de 11 övriga egenskapsvärdena har gjorts. Denna test visar att fönsterna i grupp 3 visar en klart signifikant avvikelse ( $p < 0.01$ ) från övriga fönster för proportion. Det är tydligt att proportion är en viktig likhetsfaktor för fönster.

#### Fjärde likheten - faktor 4

För fönsterna i grupp 4 (fönster 3,13,18,21) fanns det ej klar signifikant avvikelse för någon av egenskaperna. Däremot fanns det tendens till signifikant avvikelse ( $p < 0.05$ ) för 9 egenskaper. I FIG.73 visas hur de 4 fönsterna i grupp 4 skiljer sig från övriga 21 fönster i dessa egenskaper.

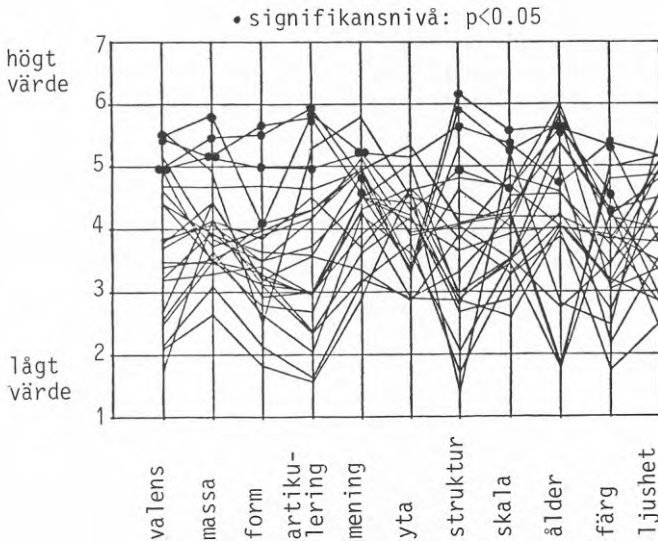


FIG.73 Egenskaper speciella för grupp 4

Fönsterna i denna grupp tolkades intuitivt som tunga och massiva med uppdelade glasytor. Figuren ovan ger grund för följande tolkning. Fönsterna representerar en typ av miljöenheter som upplevs vara mycket positiva (valens) samt mycket massiva och tunga. Det höga värdet i form visar att de upplevs som avrundade. Artikule-

ringsvärdet visar att de är mer bearbetade än vad som är absolut nödvändigt för funktionen. Man har vidare att göra med en typ av miljökomponenter som verkar mycket meningsfulla och som är uppdelade och detaljrika. De upplevs också vara större (skala) och äldre än övriga fönster. Slutligen upplevs de vara färgrika. Det är en mycket speciell grupp, men troligtvis en mycket trivsamt grupp av fönster.

### Slutsatser

Likhetsbedömningarna har som resultat gett en uppdelning av de 25 undersökta fönsterna i fyra grupper. De fyra grupperna kan illustreras enligt FIG.74. Inom varje grupp gjordes en intuitiv tolkning av gemensamma egenskaper, vilka även anges i figuren.

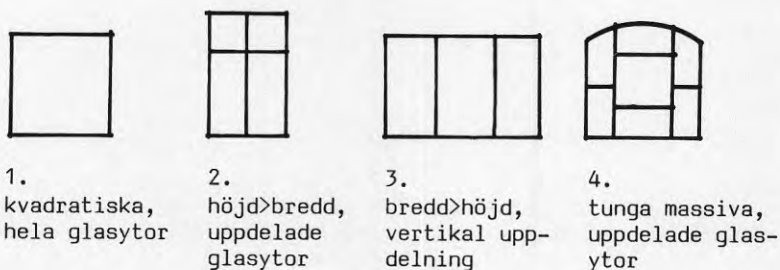


FIG.74 Illustration av de fyra likhetsgrupperna.

Den intuitiva tolkningen gav emellertid endast formala aspekter på fönsterna. Upplevelsen av fönster är emellertid inte bara en fråga om form och uppdelning utan många andra egenskaper är betydelsefulla. Att så är fallet visar den mer detaljerade analysen av fönstergrupperna som gjordes. Av denna framgår att sådana egenskaper som valens, mening och ålder påverkar upplevelsen av fönster, se TAB.15. Det framgår av tabellen att mening är en speciellt viktig egenskap när det gäller att bilda likheter för fönster.

För fönstergrupp 3 gav den detaljerade analysen inget utöver den intuitiva tolkningen. För denna grupp visade det sig istället att proportion var en likhetsfaktor. Någon sådan faktor fanns inte med i egenskapstestet. Även för fönstergrupp 2 var proportion en likhetsfaktor.

TAB.15 Egenskaper speciella för de fyra likhetsgrupperna.

x=signifikansnivå<0.01

o=signifikansnivå<0.05

Egenskap	Likhetsgrupp			
	1	2	3	4
Valens	x	o		o
Massa	x			o
Form	o			o
Artikulering	x			o
Mening	x	x		o
Yta				
Struktur	x	o		o
Skala	o	o		o
Ålder	o	x		o
Färg				o
Ljushet				
Proportion		x	x	

Det är svårt att säga om försökspersonerna har bedömt enbart fönsternas utseende eller om gardiner, blommor osv också har bedömts. Vid fotograferingen var strävan emellertid att fönsterna inte skulle innehålla alltför många saker som kunde störa bedömningarna. Dessutom skulle fönsterna sinsemellan vara ganska lika i detta avseende. Därför är det troligt att det i första hand är fönsternas utseende som har bedömts.

## UTBYTBARHET I OLIKA FASADER

### Inledning

En studie av fönsterbyten, se avsnitt Historisk återblick, visade att både utseende och konstruktion hos fönsterna förenklas i samband med byte. De nya fönsterna är oftast mörka till färgen. För många av husen har fönsterbytet inneburit en förändring av fasaden. Det är svårt att byta fönster i ett hus på ett varsamt sätt, eftersom det krävs omdöme och känsla för den arkitektoniska helheten.

Hur människor upplever fönsterbyten vet vi inte mycket om. För att få en uppfattning om detta fick ett antal försökspersoner göra bedömningar av några fasader i vilka fönsternas utseende och färg varierades (Olsson-Jonsson (1984)). Syftet med försöket var att ta reda på vad som händer med en fasad vid olika fönsteralternativ, vad som förändras och på vilket sätt. Önskemålet var att finna riktlinjer för hur fönsterbyten kan utföras utan att byggnadens utseende upplevelsemässigt förändras alltför drastiskt.

Fasaderna med sina olika fönsteralternativ bedömdes med avseende på olika egenskaper. Denna egenskapsbedömning är den samma som användes vid fönsterstudien i föregående avsnitt.

### Uppläggning och genomförande av egenskapsbedömningar

Ett antal husfasader i Lund fotograferades med småbildsfilm i färg. Ur det insamlade bildmaterialet utvaldes 4 hus vilka ansågs vara representativa för sin tidsperiod med avseende på arkitektonisk utformning, FIG.75. De 4 husen fotograferades därefter med storbildsfilm i färg och bilderna förstörades till ca 70x100 cm. På dessa stora bilder konstruerade sedan en modellbyggare de olika fönsteralternativen. Varje alternativ fotograferades med diafilm i färg och dessa diabilder presenterades för försökspersonerna.



Fasad A. Byggnadsår 1888.



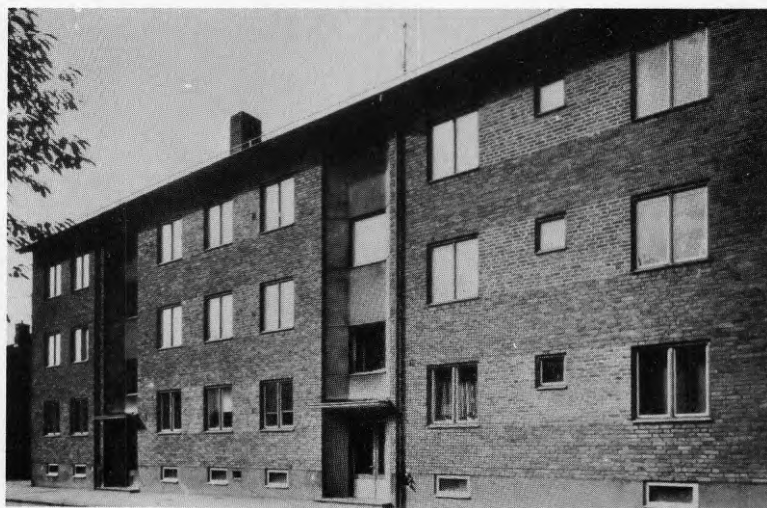
Fasad B. Byggnadsår 1903.

FIG.75 De undersökta fasaderna i ursprungsskick.  
Forts på följande sida.





Fasad C. Byggnadsår 1927.



Fasad D. Byggnadsår 1953.

FIG.75 De undersökta fasaderna i ursprungsskick.  
(Forts från föregående sida).

Vid valet av fönsteralternativ har fönstergrupperna från studien av fönsterupplevelse legat som grund, men även studien av fönsterbyten (avsnitt Historisk återblick) har påverkat valet av alternativ. I det senare fallet var det speciellt intressant att undersöka treluftsfönster med T-post, vilka i allt större utsträckning börjar ersätta fyrluftsfönster med krysspост.

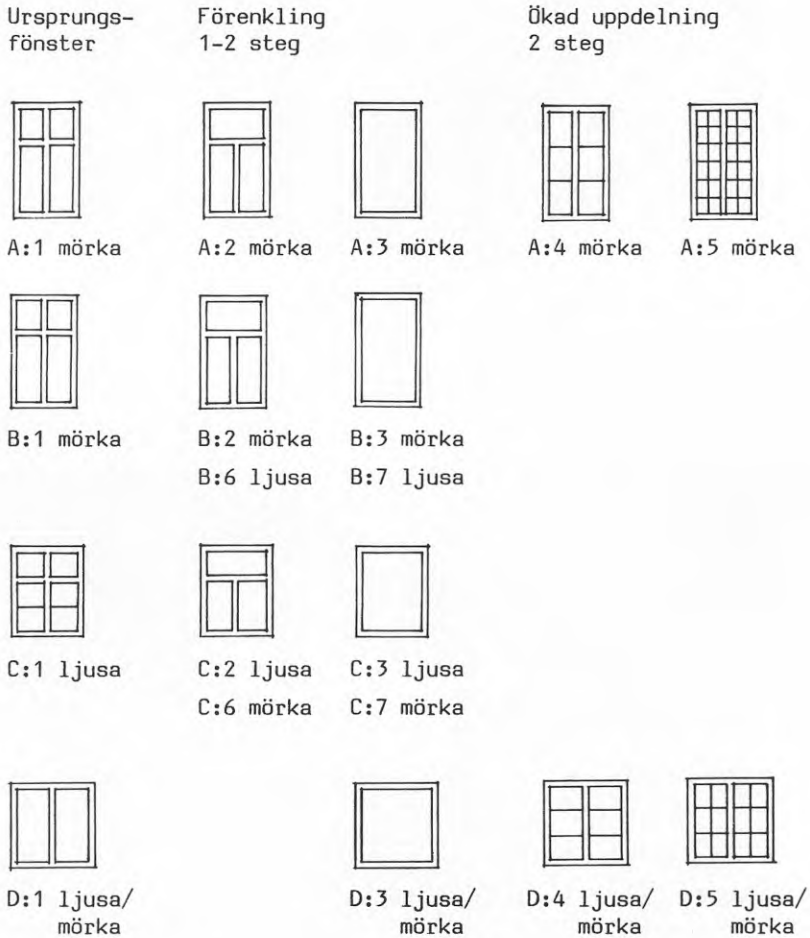


FIG.76 De 19 studerade fönsteralternativen. Se även BILAGA 2.

De studerade fönsteralternativen var följande (se FIG.76). För fasaderna A-C har fönsternas utseende förenklats i två steg, från fyrluftsfönster till treluftsfönster resp enluftsfönster. För fasad D har fönsterutseendet förenklats ett steg, från tvåluftsfönster till enluftsfönster.

fönster till enluftsfönster. I denna fasad är ursprungsfönsterna redan förenklade ett steg jämfört med de övriga fasadernas. Av intresse var också att studera vad som händer om fönsterna istället delas upp mer än de var från början. I två av fasaderna, A och D, har därför fönsterna spröjsats upp i två steg. I samtliga här beskrivna alternativ är fönsterfärgen samma som respektive ursprungsfönster.

Färgens betydelse för upplevelsen av fönsterbyte har också studerats. Härvid har för fasaderna B och C de båda förenklingsalternativen även testats med annan färg än den ursprungliga. Totalt har 19 st fasadalternativ testats. De nya fönsterna är i samtliga alternativ lika stora som ursprungsfönsterna. I BILAGA 2 visas samtliga fönsteralternativ för de fyra fasaderna.

Som tidigare nämnts presenterades fasadalternativen i form av projicerade diabilder för försökspersonerna. De bedömdes av 21 försökspersoner uppdelade på två grupper om 11 resp 10 personer. Åldern på försökspersonerna var mellan 16 och 76 år. 4 av försökspersonerna hade aldrig varit med vid sådana här försök tidigare, de övriga hade varit med minst en gång tidigare.

#### Försöksgruppens ålders- och könsfördelning

Kön	Åldersgrupp				Summa
	-19	20-39	40-59	60-	
Kvinnor	1	8	4	0	13
Män	2	5	0	1	8
Summa	3	13	4	1	21

Fasadalternativen bedömdes med avseende på olika egenskaper enligt samma metod som fönsterna i föregående avsnitt, Gruppering av fönster. De bedömdes var för sig i 44 variabler, vilket innebär att varje försöksperson gjorde 836 bedömningar. Variablerna bedömdes i den 7-gradiga skala som redovisades i föregående avsnitt. Hälften av försökspersonerna har gjort bedömningarna enligt en variabelordning och hälften enligt en annan.

Ordningsföljden på de 19 fasadalternativen lottades först fram.

Därefter justerades den så att fasadalternativen för ett hus fördelades något så när jämnt och ej kom intill varandra. Den så fastställda ordningsföljden delades i en del a om 9 bilder och en del b om 10 bilder. För den första försöksgruppen visades bilderna i ordningen a+b och för den andra försöksgruppen i ordningen b+a. Försökspersonerna visste inte vilka ursprungsfasaderna var. Det fick de reda på först när försöket var slutfört.

### Resultat och analys av egenskapsbedömningarna

Bedömningarna överfördes till ett numeriskt värde genom att i den 7-gradiga skalan sätta den ena ytterligheten (litet) till 1 och den andra ytterligheten (mycket) till 7. Medelvärdet av försökspersonernas bedömningar har beräknats för de 11 egenskaperna. Värdena redovisas i TAB.16.

TAB.16 Faktorvärden för de 19 fasadalternativen i de 11 egenskapsbeskrivande variablerna. Fasadkoder, se FIG.76.

Fasad- alternativ	Valens	Massa	Form	Artikulering	Mening	Yta	Struktur	Skala	Ålder	Färg	Ljushet
A:1	5.8	3.8	4.0	4.7	6.0	5.7	4.2	3.1	4.3	5.1	5.7
A:2	5.7	3.8	3.9	4.7	5.8	5.7	4.3	3.3	4.2	4.9	5.6
A:3	4.5	3.3	3.4	3.8	3.9	6.0	3.7	3.6	3.8	4.6	5.6
A:4	5.9	3.9	3.9	4.9	6.1	5.8	4.3	3.2	4.3	5.0	6.0
A:5	5.4	4.5	3.7	5.6	5.5	5.4	4.9	3.6	4.3	5.0	5.1
B:1	3.4	5.0	3.3	4.0	5.2	2.7	3.7	4.4	5.8	2.4	3.2
B:2	3.6	5.1	3.3	4.0	5.0	2.9	3.7	4.6	5.5	2.6	3.3
B:3	2.8	4.3	3.0	3.5	3.8	3.7	3.3	4.8	4.8	2.6	3.6
B:6	3.6	4.8	3.3	4.1	4.3	3.5	3.9	4.8	5.0	3.1	3.9
B:7	2.9	4.3	3.0	3.4	3.5	3.9	3.2	4.7	4.7	3.1	4.3
C:1	3.3	5.3	3.0	3.8	4.6	3.7	3.5	5.7	5.0	3.5	4.3
C:2	3.1	5.0	3.1	3.5	4.0	3.6	3.6	5.5	4.6	3.5	4.0
C:3	2.4	4.4	2.6	2.5	3.4	3.8	2.8	5.6	4.3	3.2	3.8
C:6	3.0	5.2	3.2	3.3	4.2	3.3	3.4	5.6	4.8	3.0	3.2
C:7	2.6	4.8	2.7	2.6	3.3	3.7	3.2	5.5	4.4	3.0	3.0
D:1	2.3	4.3	3.0	2.0	4.0	2.8	2.9	3.3	4.2	2.5	3.1
D:3	2.2	4.0	2.8	2.0	3.7	3.3	2.7	3.5	3.8	2.8	3.6
D:4	2.4	4.5	3.3	2.9	3.0	2.8	3.7	3.4	4.1	2.8	3.0
D:5	2.5	4.8	3.2	3.1	3.0	2.9	3.9	3.6	4.1	2.9	3.1

I tabellen kan man direkt jämföra egenskapsvärdena för de olika alternativen. Härvid kan man utläsa på vilket sätt egenskaperna förändras vid förändring av fönsterna i fasaden. Egenskapsvärdena har också ritats in i diagram, s k bedömningsprofiler. Bedömningsprofilerna redovisas fasadvis nedan.

#### Fasad A

Bedömningsprofilerna för fasad A visas i FIG.77. I denna fasad har fönsternas komplexitet förändrats dels mot minskad uppdelning och dels mot ökad uppdelning jämfört med ursprungsfönsterna. Av figuren framgår att bedömningsprofilen för enluftsfönsterna (A:3) skiljer sig ganska mycket från de övriga. Skillnaden är störst i valens, artikulering och mening. Fasaden med enluftsfönster bedöms vara otrivsammare, mindre artikulerad och mindre meningsfull än övriga alternativ. Även bedömningsprofilen för de mycket spröjsade fönsterna (A:5) avviker något från de övriga, mest i artikulering där värdet ligger högt. De övriga alternativens profiler är ganska lika varandra, vilket innebär att dessa fasadalternativ upplevs på samma sätt.

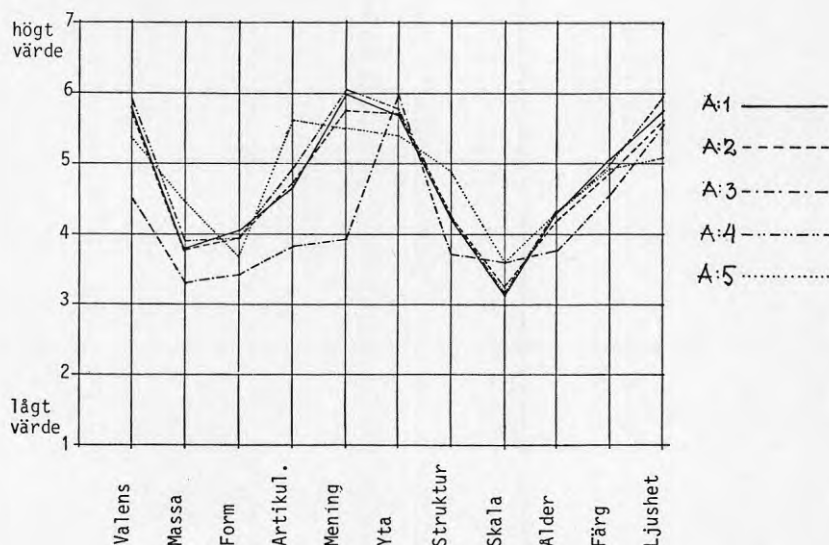


FIG.77 Bedömningsprofiler för fasadalternativen för fasad A.

## Fasad B

Bedömningsprofilerna för fasad B visas i FIG.78. I denna fasad har fönsterna förenklats i två steg och förenklingsalternativen har även studerats för annan färg än ursprungsfärgen. Bedömningsprofilen för treluftsfönster i ursprungsfärg (B:2) är mycket lika den för ursprungsfönsterna (B:1). De ljusa treluftsfönsterna (B:6) skiljer sig från de mörka i mening, yta, ålder, färg och ljushet. Det förra fasadalternativet upplevs vara mindre meningsfullt, glansigare, yngre, färgrikare och ljusare än det senare. Fasadalternativet med enluftsfönster i ursprungsfärg (B:3) skiljer sig från ursprungsfasaden i så gott som samtliga egenskaper. De ljusa enluftsfönsterna (B:7) skiljer sig från de mörka (B:3) endast i färg och ljushet, där värdena ligger högre för de ljusa fönsterna.

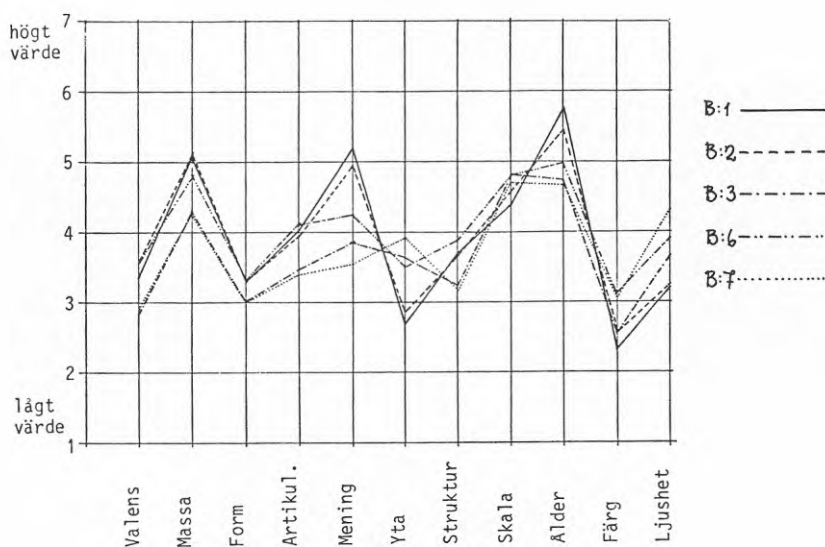


FIG.78 Bedömningsprofiler för fasadalternativen för fasad B.

## Fasad C

Bedömningsprofilerna för fasad C visas i FIG.79. Här har fönsterna förenklats i två steg och färgen har dessutom förändrats för dessa alternativ. Av figuren framgår att vid förenkling av fönsterna förändras artikulering och mening på så sätt att ju enklare fönsterna är desto lägre är värdena i dessa egenskaper. Det framgår också att fönsternas färg enbart påverkar egenskapen ljushet. Ljusa fönster i fasaden (C:2, C:3) ger ett högre bedömningsvärde i ljushet, fasaden upplevs vara ljusare.

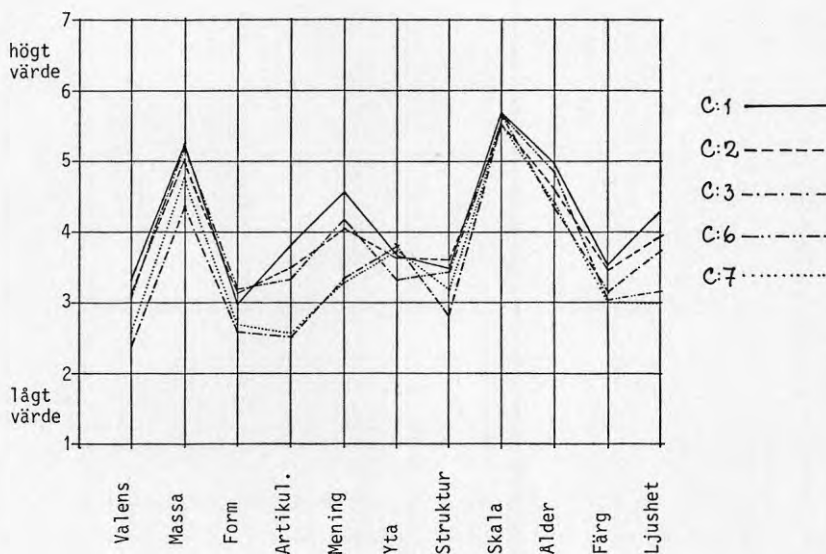


FIG.79 Bedömningsprofiler för fasadalternativen för fasad C.

## Fasad D

Bedömningsprofilerna för fasad D visas i FIG.80. Fönsternas komplexitet har förändrats dels mot minskad uppdelning och dels mot ökad uppdelning i jämförelse med ursprungsfönsterna. Förenkling av fönsterna (D:3) tycks inte påverka upplevelsen nämnvärt i någon egenskap. Ökad uppdelning av fönsterna visar emellertid på skillnader i artikulering, mening och struktur. Fasadalternativen med spröjsade fönster (D:4, D:5) är mer artikulerade, mindre meningsfulla och detaljrikare än ursprungsfasaden (D:1). Bedöm-

ningsprofilerna för spröjsalternativen följer varandra väl.

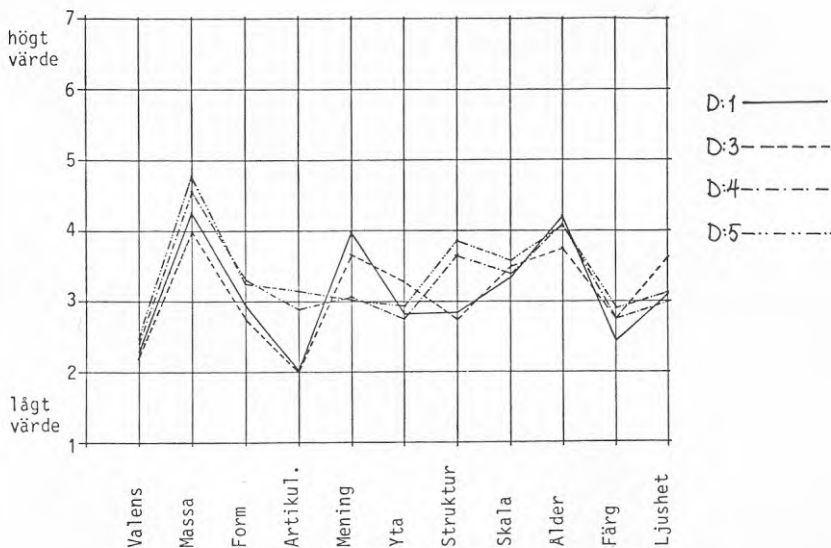


FIG.80 Bedömningsprofiler för fasadalternativen för fasad D.

Av TAB.16 och FIG.77-79 för fasaderna A, B och C framgår att vid byte av fyrluftsfönster med krysspöst mot treluftsfönster med T-post så förändras upplevelsen av fasaderna mycket litet, under förutsättning att ursprungsfärgen på fönsterna behålles. Detta är intressant att notera eftersom det idag är mycket vanligt att man byter ut fyrluftsfönster mot treluftsfönster med T-post. Byte till hela rutor förändrar däremot fasadupplevelsen mycket. Färgen på fönsterna inverkar också till viss del på upplevelsen. Den har speciellt betydelse för hur färgrika och ljusa fasaderna upplevs. Detta är en enkel tolkning av bedömningsvärdena. Variansanalyser har gjorts på bedömningsvärdena för att säkrare kunna tolka vilken betydelse fönsters komplexitet och färg har för fasadupplevelsen.



### Variansanalys av bedömningsvärdena

Med hjälp av dator har variansanalyser gjorts på bedömningsvärdena. Analyserna har gjorts för att ta reda på vilken inverkan fönsternas färg och uppdelning har på fasadupplevelsen.

I analysen av färgens betydelse ingick bedömningsvärdena för de fönsteralternativ som finns både i ursprungsfärg och förändrad färg, dvs B:2, B:3, B:6, B:7, C:2, C:3, C:6 och C:7. Resultatet av analysen visar att signifikanta skillnader mellan mörka och ljusa fönster finns i egenskaperna färg och ljushet. Signifikansvärdena är 0.012 resp 0.000 (TAB.17). För båda egenskaperna är bedömningsvärdena högre för ljusa fönster än för mörka, vilket innebär att fasaderna upplevs vara färgrikare och ljusare med ljusa fönster.

Studerar man färgens betydelse för de enskilda fasaderna, fasad B resp C, finner man signifikanta skillnader mellan mörka och ljusa fönster i färg och ljushet för fasad B och ljushet för fasad C.

Analysen av förenkling av fönsternas uppdelning omfattar bedömningsvärdena för alternativen 1, 2 och 3 för samtliga fasader. För att kunna genomföra analysen har alternativen för fasad D kompletterats med alternativ D:5. Av analysen framgår att det i många egenskaper finns signifikanta skillnader (0.01-nivån) mellan olika fönsteruppdelningar. Dessa egenskaper är valens, massa, artikulering, mening, yta, struktur och ålder (TAB.17). Tabellen visar att egenskapen valens påverkas på så sätt att ju mindre uppdelade fönsterna är desto otrivsammare upplevs fasaderna vara. Fasaderna upplevs vidare vara mindre massiva, mindre artikulerade och mindre meningsfulla med enkla fönster. Slutligen upplevs de vara glansigare, mindre detaljrika och yngre med enkla fönster.

I analysen av ökad uppdelning av fönsterna ingick bedömningsvärdena för alternativen 1, 4 och 5 för fasaderna A och D. Denna analys visar på signifikanta skillnader (0.01-nivån) i artikulering, mening och struktur (TAB.17). Artikuleringsvärdet ökar med ökande uppdelning av fönsterna, detsamma gäller strukturvärdet. För mening är det tvärtom, värdet minskar med ökande uppdelning av fönsterna. Detta innebär att fasader med mycket komplexa fön-

TAB.17 Resultat av variansanalys av fönsteruppdelning och fönsterfärg. Medelvärde av bedömningsvärden samt signifikansnivå,  $p > 0.05$  ej angivna.

Egenskap	Förenkling			Ökad uppdelning			Ändrad färg	
	mycket enkel	enkel	medel	medel	komplex	mycket komplex	ljus	mörk
Valens	3.0	3.7	3.7	4.1	4.2	3.9	3.0	3.0
	p=0.000							
Massa	4.0	4.5	4.7	4.0	4.2	4.6	4.6	4.9
	p=0.000				p=0.046			
Form	3.0	3.3	3.4	3.5	3.6	3.5	3.0	3.1
	p=0.016							
Artikulering	3.0	3.5	3.9	3.4	3.9	4.4	3.4	3.3
	p=0.000				p=0.000			
Mening	3.7	4.7	4.7	5.0	4.6	4.3	3.8	4.1
	p=0.000				p=0.011			
Yta	4.2	3.8	3.7	4.3	4.3	4.2	3.7	3.4
	p=0.009							
Struktur	3.1	3.6	3.8	3.5	4.0	4.4	3.4	3.4
	p=0.000				p=0.001			
Skala	4.4	4.2	4.2	3.2	3.3	3.6	5.2	5.1
Ålder	4.2	4.6	4.8	4.3	4.2	4.2	4.7	4.9
	p=0.000							
Färg	3.3	3.4	3.5	3.8	3.9	3.9	3.2	2.8
							p=0.012	
Ljushet	4.1	4.0	4.1	4.4	4.5	4.1	4.0	3.3
							p=0.000	

Notera att "medel" vid förenkling ej är samma som "medel" vid ökad uppdelning, det ingår olika fasadalternativ i de två värdena. I det förra fallet ingår 4 fasadalternativ (A:1, B:1, C:1, D:5) i värdet, i det senare fallet ingår endast två fasadalternativ (A:1, D:1) i värdet.

ter upplevs vara mindre meningsfulla än med mindre komplexa fönster.

Betydelsen av fönsternas komplexitet har också studerats för varje enskilt hus. Bedömningsvärdena för fasadalternativen finns i TAB.16. För fasad A finns 5 olika alternativ för uppdelning av fönsterna. Vid variansanalys av bedömningsvärdena för dessa framgår att signifikanta skillnader (0.01-nivån) finns för egenskaperna valens, artikulering och mening. Värdena för valens och mening varierar för de olika alternativen men mittenalternativen (A:1, A:2, A:4) upplevs vara mest positiva, det är trivsammare och mer meningsfullt med lagom uppdelade fönster. Artikuleringsvärdet ökar med ökande uppdelning av fönsterna.

För fasad B ingår alternativen 1, 2 och 3 i analysen. Denna visar att signifikanta skillnader finns i massa, mening, yta och ålder. Fasaden upplevs vara mindre massiv med enluftsfönster. Meningsvärdet minskar ju enklare fönsterna är. Fasaden upplevs vara glansigare och yngre vid minskad uppdelning av fönsterna.

För fasad C ingår alternativen 1, 2 och 3. För denna fasad finns signifikanta skillnader i artikulering och mening. Värdena för båda dessa egenskaper minskar då fönsterna förenklas.

Fasad D har 4 alternativ för uppdelning av fönsterna. Analysen av dessa visar att signifikanta skillnader finns i artikulering och struktur. Värdena för båda dessa egenskaper ökar med ökande uppdelning av fönsterna.

Variansanalysen för de enskilda fasaderna bekräftar till viss del den tidigare tolkningen av bedömningsprofilerna för fasadalternativen.

### Slutsatser

Resultaten av egenskapsbedömningarna visar att om fönsternas uppdelning förenklas, dvs fönsterna får färre lufter, så påverkas upplevelsen i många egenskaper, se TAB.18. Bland annat påverkas valensvärdet så att ju färre lufter det är i fönster desto otrivsammare upplevs fasaden vara. Liknande gäller för egenskapen mening, en fasad med enluftsfönster upplevs vara mindre meningsfull än med fönster med fler lufter.

Vid byte av fyrluftsfönster med krysspost till treluftsfönster med T-post förändras valensvärdet mycket lite. Detta innebär att om fönster vid byte förenklas endast lite så förändras upplevelsen av fasaden också lite.

Om fönsterna delas upp mer än de var från början så påverkas tre egenskaper, artikulering, mening och struktur. Ju mer ett fönster uppdelas desto mer artikulerad och detaljrik upplevs fasaden vara. Däremot upplevs fasaden vara mindre meningsfull ju mer fönsterna delas upp. Här gäller motsvarande som vid förenkling. Om fönsternas uppdelning ökar endast lite, så ändras upplevelsen av fasaden också lite.

Fönsternas färg påverkar två egenskaper, färg och ljushet. Vad som inte påverkas då fönsternas färg ändras, är valensvärdet, vilket kan vara intressant att notera. Detta innebär att de här testade fasaderna upplevs vara lika positiva eller negativa beroende av färgen på fönsterna. Hade färgen på fönsterna i fasad A ändrats till ljus, hade troligtvis upplevelsen inte blivit densamma som för de testade fasaderna. De mörka fönsterna i fasad A bidrar sannolikt till den positiva upplevelsen av denna, då de står i kontrast till de vita fönsteromfattningarna. En sammanställning av de egenskaper som påverkas av fönsternas uppdelning och färg finns i TAB.18.

TAB.18 Egenskaper som påverkas av fönsternas uppdelning och färg. Signifikansnivå 0.01.

Egenskap	Förenkling	Ökad uppdelning	Ändrad färg
Valens	x		
Massa	x		
Form			
Artikulering	x	x	
Mening	x	x	
Yta	x		
Struktur	x	x	
Skala			
Ålder	x		
Färg			x
Ljushet			x

Vissa fasader tål fönsterbyte bättre än andra. Detta gäller i huvudsak fasader med få dekorationer. I en slät, monoton fasad kan en förändring av fönsternas utseende kanske till och med berika fasaden.

En försöksgrupp bestående av arkitekter hade kanske bedömt fasadalternativen annorlunda. Janssens (1984) visar emellertid att skillnaderna är ganska små mellan arkitekters och andras bedömningar av byggnadsexteriörer.

## INDIVIDUELLA DIFFERENSER

För fönsterförsöket har den individuella differensen studerats, vilket innebär att man tar reda på om försökspersonernas ålder och kön påverkar bedömningarna. Bedömningsvärdena från egenskapsbedömningarna för de 22 första fönsterna har härvid studerats, eftersom dessa bedömts av samma försökspersoner. Fönster nr 23-25 bedömdes av en annan grupp av försökspersoner.

25 försökspersoner, varav en uteslöts på grund av ofullständigt protokoll, var med i detta försök. Kön- och åldersfördelningen var enligt nedan. De har delats upp i 3 lika stora grupper med avseende på ålder.

## Försöksgrupperns köns- och åldersfördelning

Kön	Åldersgrupp			Summa
	14-24	25-33	34-71	
Kvinnor	4	3	6	13
Män	4	5	2	11
Summa	8	8	8	24

I fönstergrupp 1, 2 och 3 (FIG.65-67) har bedömningsvärdena studerats för de två fönster som har högst faktorladdning i respektive grupp. Vid bearbetningen har medelvärdet av de två fönsternas bedömningsvärden använts. I fönstergrupp 4 (FIG.68), som är en liten grupp, har bedömningsvärdena studerats för endast ett fönster, det som har högst faktorladdning. I grupp 1 har fönster 14 och 4 högst faktorladdning, i grupp 2 fönster 2 och 8, i grupp 3 fönster 22 och 7 och i grupp 4 fönster 3. Med hjälp av variansanalyser har bedömningsvärdena jämförts för att ta reda på om det finns signifikanta skillnader med avseende på kön och ålder.

Kön

För de fönster som studerats i varje fönstergrupp har medelvärdet av kvinnornas respektive männens bedömningar i de 11 egenskaperna beräknats. De redovisas i TAB.19.

TAB.19 Medelvärden av mäns och kvinnors bedömningar i 11 egenskaper för respektive grupp.

Egenskap	Grupp 1		Grupp 2		Grupp 3		Grupp 4	
	Män	Kvin- nor	Män	Kvin- nor	Män	Kvin- nor	Män	Kvin- nor
Valens	3.53	3.15	4.83	4.56	3.85	3.25	4.50	5.35
Massa	3.37	3.37	3.29	4.02	3.91	4.09	5.34	5.00
Form	3.11	3.37	3.87	3.86	3.47	3.32	5.52	5.77
Artikul	3.01	2.97	4.25	3.69	3.53	3.17	5.73	5.83
Mening	4.31	4.11	4.87	4.97	4.42	4.36	3.91	5.11
Yta	4.69	4.89	3.75	3.64	3.62	3.43	2.77	3.88
Struktur	2.97	2.92	4.40	4.36	3.60	3.38	6.32	6.06
Skala	3.74	3.29	4.07	4.29	4.20	3.93	5.45	5.67
Ålder	2.24	2.29	5.40	5.83	4.75	5.04	5.73	5.56
Färg	3.78	3.87	4.11	4.30	3.60	3.36	4.04	5.04
Ljushet	4.66	4.48	3.95	3.40	3.75	3.12	2.64	3.08

## Grupp 1

Männens och kvinnornas bedömningskurvor visas i FIG.81. Av figuren framgår att kurvorna följer varandra väl, det är således liten skillnad i männens och kvinnornas bedömningar av de studerade fönsterna. Variansanalysen visar att det finns ingen signifikant skillnad mellan bedömningarna i någon av egenskaperna. Männerna och kvinnorna har bedömt lika.

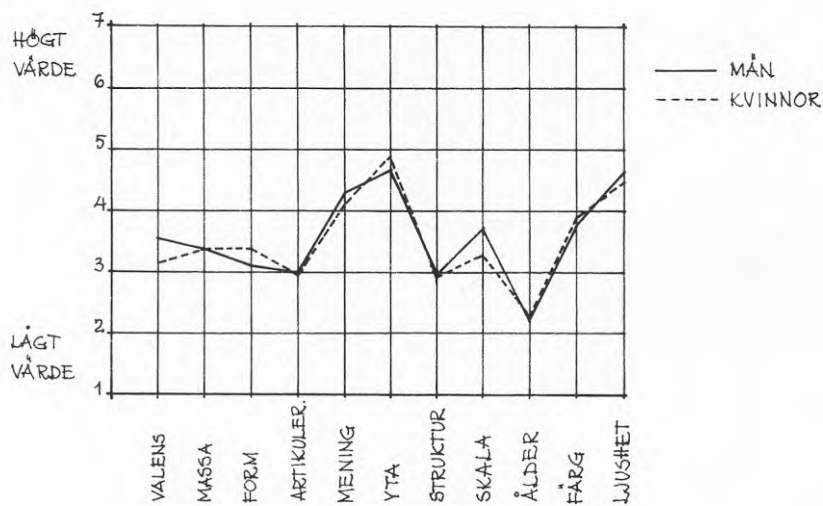


FIG.81 Mäns resp kvinnors bedömning av fönster 4 och 14 i faktor 1



## Grupp 2

FIG.82 visar att för denna grupp finns skillnader mellan männens och kvinnornas bedömningar i några egenskaper, massa, artikulering och ljushet. Signifikant skillnad (signifikansvärde  $p=0.028$ ) finns i egenskapen massa. Kvinnorna bedömer de studerade fönsterna vara mer massiva och tunga än vad männen gör.

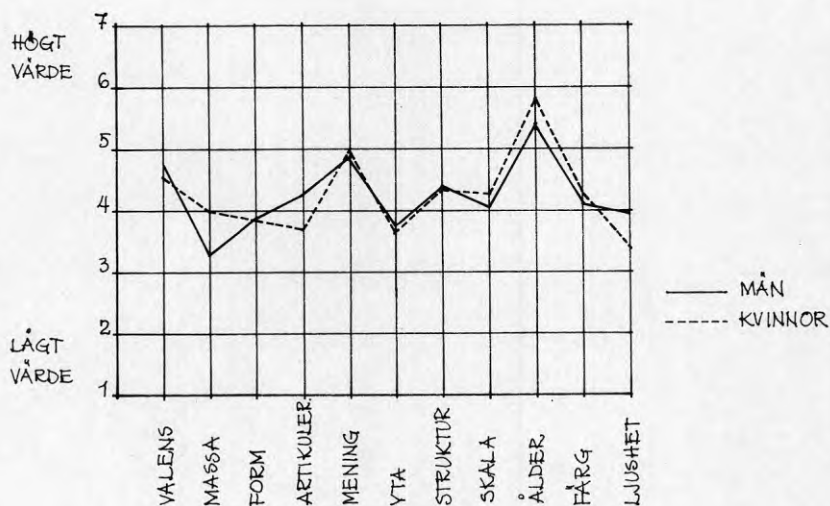


FIG.82 Mäns resp kvinnors bedömning av fönster 2 och 8 i faktor 2

## Grupp 3

Bedömningskurvor enligt FIG.83. Det framgår att skillnader förekommer i egenskaperna valens och ljushet. Kvinnorna upplever fönsterna som mindre positiva än vad männen gör. Likaså upplever kvinnorna fönsterna vara mörkare och murrigare. Variansanalysen visar att det finns signifikant skillnad ( $p=0.036$ ) mellan mäns och kvinnors bedömning i ljushet samt tendens till signifikant skillnad ( $p=0.060$ ) i egenskapen valens.

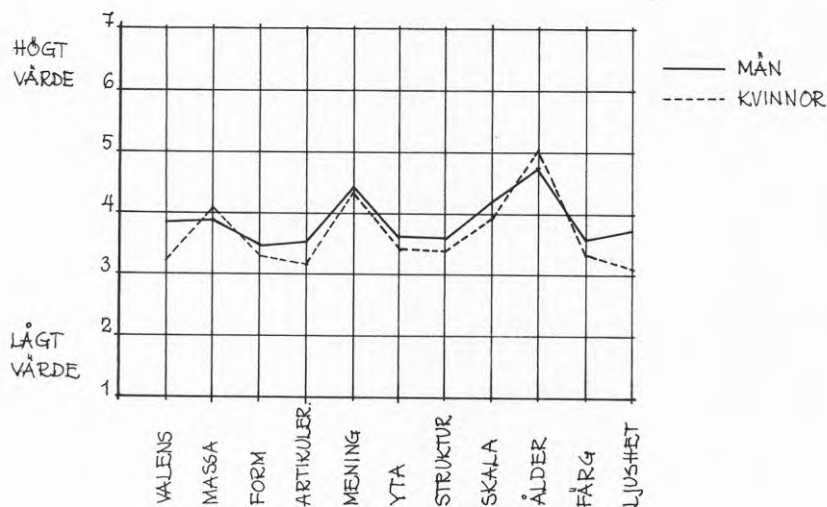


FIG.83 Mäns resp kvinnors bedömning av fönster 7 och 22 i faktor 3

## Grupp 4

Det framgår av FIG.84 att det finns stora skillnader i flera egenskaper. Männen upplever detta fönster vara mindre positivt (valens), mindre meningsfullt, mindre glansigt och mindre färgrikt än kvinnorna. Signifikanta skillnader finns i egenskaperna yta ( $p=0.024$ ) och färg ( $p=0.029$ ). Tendens till signifikant skillnad finns i mening ( $p=0.087$ ).

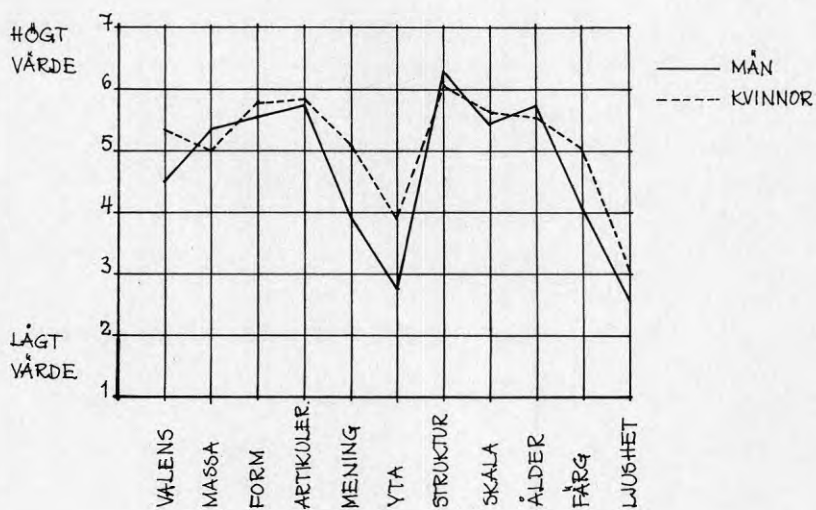


FIG.84 Mäns resp kvinnors bedömning av fönster 3 i faktor 4

Ålder

I denna analys har de åtta äldsta försökspersonernas bedömningar jämförts med de åtta yngstas. Åldern på den förra gruppen var 34-71 år och den senare var 14-24 år. Medelvärdet av de äldstas resp yngstas bedömningar av de studerade fönsterna har beräknats i de 11 egenskaperna, se TAB.20.

TAB.20 Medelvärde av äldre och yngre försökspersoners bedömning i de 11 egenskaperna.

	Grupp 1		Grupp 2		Grupp 3		Grupp 4	
	Äldst	Yngst	Äldst	Yngst	Äldst	Yngst	Äldst	Yngst
Valens	3.98	3.48	4.08	4.47	3.69	3.11	4.34	4.97
Massa	3.56	3.08	3.86	3.77	4.06	3.98	5.25	5.16
Form	3.25	3.34	3.61	3.87	3.25	3.37	5.69	5.59
Artikul	3.30	3.08	3.80	3.64	3.37	3.09	5.81	5.56
Mening	4.49	3.83	4.28	5.19	4.34	4.31	4.53	4.50
Yta	5.24	4.64	3.48	3.58	3.81	3.50	3.22	3.34
Struktur	2.72	3.16	4.39	4.14	3.52	3.28	6.59	5.87
Skala	3.77	3.36	4.22	4.20	4.05	3.69	5.69	5.41
Ålder	2.08	2.42	6.31	5.27	4.92	4.98	6.19	5.16
Färg	4.33	3.75	4.11	4.11	3.53	3.44	4.81	4.47
Ljushet	4.80	4.56	3.45	3.73	3.53	3.39	2.81	2.81

## Grupp 1

Bedömningskurvorna för den äldsta och den yngsta gruppen visas i FIG.85. I egenskapen mening finns det stora skillnader i bedömningarna på så sätt att de yngre upplever fönsterna som mindre meningsfulla än vad de äldre gör. Märkbar skillnad finns också i egenskapen yta. Variansanalysen visar att det finns tendens till signifikanta skillnader (0.09-nivån) i just egenskaperna mening och yta.

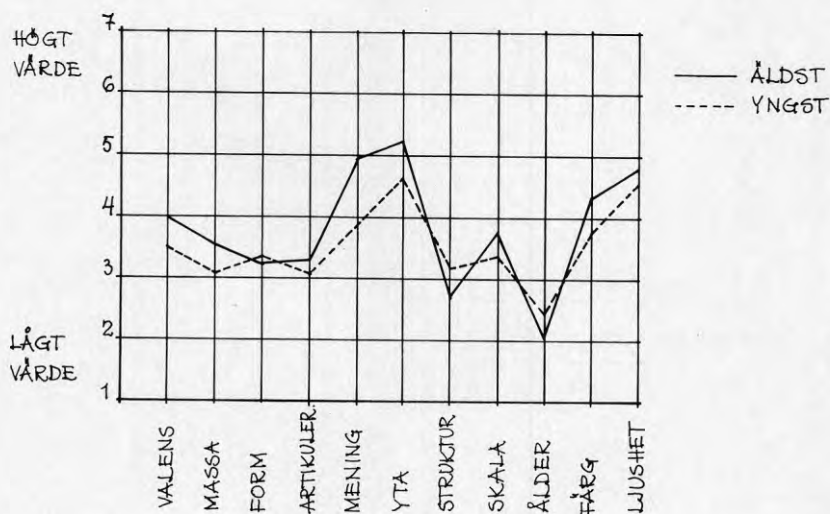


FIG.85 De äldstas resp yngstas bedömning av fönster 4 och 14 i faktor 1.

## Grupp 2

Bedömningsprofilerna för de båda åldersgrupperna redovisas i FIG.86. Av figuren framgår att de äldsta försökspersonerna bedömer fönsterna vara mindre meningsfulla och äldre än vad de yngsta försökspersonerna gör. En klart signifikant skillnad (0.005-nivån) mellan grupperna finns i egenskapen ålder. En tendens till signifikant skillnad finns i egenskapen mening ( $p=0.121$ ).

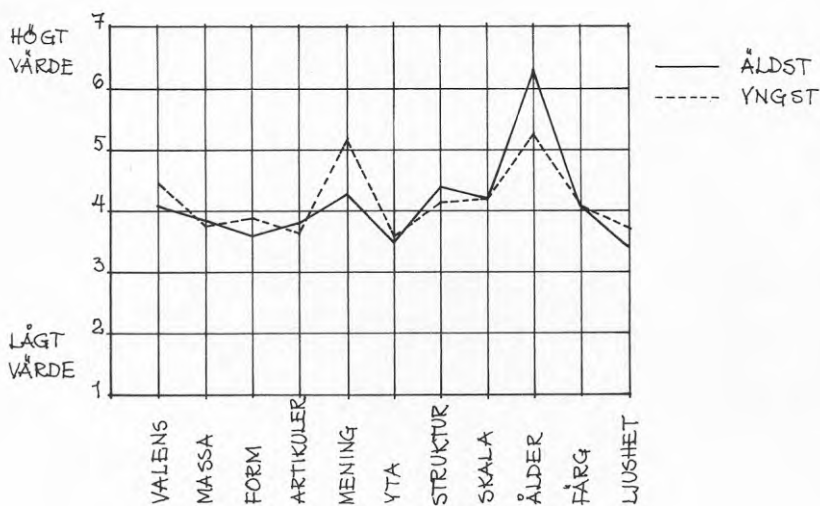


FIG.86 De äldstas resp yngstas bedömning av fönster 2 och 8 i faktor 2

## Grupp 3

Av FIG.87 framgår att gruppernas bedömning av fönsterna är ganska lika. Grupperna skiljer sig lite åt i egenskapen valens på så sätt att den yngre gruppen upplever fönsterna vara mindre positiva än den äldre gruppen gör. Variansanalysen har dock inte gett några signifikanta skillnader mellan grupperna i någon av egenskaperna.

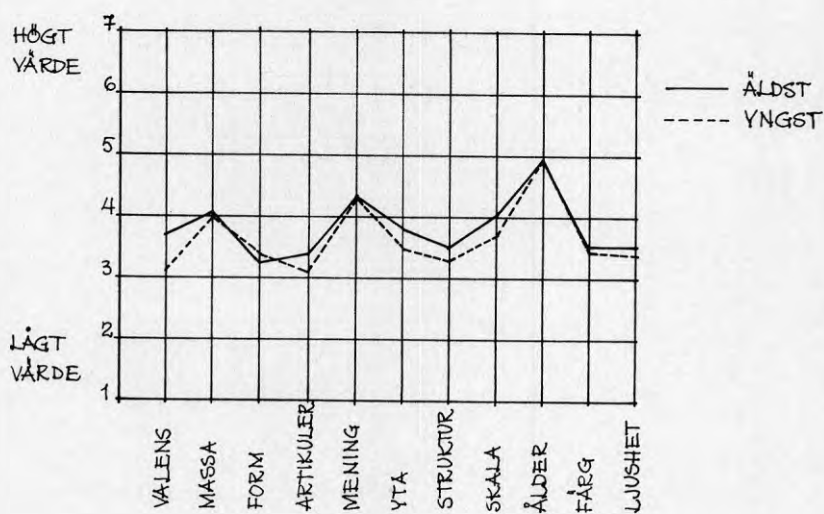


FIG.87 De äldstas resp yngstas bedömning av fönster 7 och 22 i faktor 3

## Grupp 4

Bedömningsprofilerna visas i FIG.88. Figuren visar att den äldsta gruppen bedömer fönstret vara äldre än den yngsta gruppen. Signifikant skillnad ( $p=0.021$ ) mellan grupperna finns i egenskapen ålder.

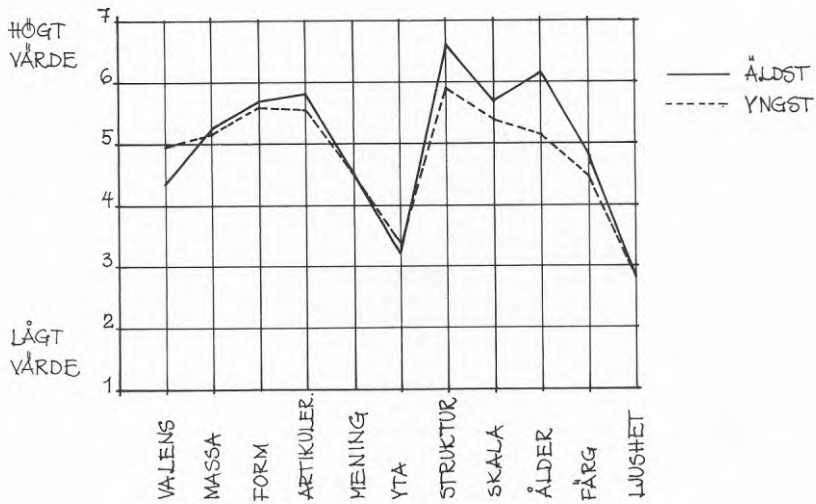


FIG.88 De äldstas resp yngstas bedömning av fönster 3 i faktor 4



### Slutsats

Studien visar att materialet är stabilt. Det finns inga större skillnader mellan mäns och kvinnors bedömning. Vissa skillnader finns dock och de har också påpekats ovan.

Vad beträffar försökspersonernas ålder så finns det också några skillnader mellan de äldstas och de yngstas bedömningar. De äldsta försökspersonerna bedömer gamla fönster vara äldre än vad de yngsta försökspersonerna gör. Detta torde bero på att de båda åldersgrupperna har olika preferensnivå.

De äldsta försökspersonerna anser att nyare fönster är mer meningsfulla än vad de yngsta gör. Men de anser också att nyare fönster är meningsfullare än äldre fönster. För den yngsta gruppen är det tvärtom. Vad detta beror på är svårt att säga, men kanske lägger de äldre försökspersonerna in en praktisk värdering i sin bedömning. De upplever kanske gamla fönster som svåra att sköta och därför tycker att nyare fönster är bättre.

Man skall vara försiktig med tolkningen av dessa resultat, eftersom åldersgrupperna är mycket små, endast 8 personer. Det är bara tendenser som den här analysen visar på.

LITTERATUR

- Adamson, B, Backman, H, 1975, Glas i hus. (Esselte Studium) Lund.
- Adamson, B, Hidemark, B, m fl, 1986, Sol, energi, form. Utformning av lågenergihus. (Statens råd för byggnadsforskning) Skrift T2:1986. Stockholm.
- Adamson, B, Höglund, I, 1957, Tekniska synpunkter på treglasfönster. (Tidskriften Byggmästaren) nr B7. Stockholm.
- Andersson, G, Jorner, U, Ågren, A, 1983, Regressions- och tidsserieanalys med och utan datorstöd. (Studentlitteratur) Lund.
- Antell, O, Paues, C, 1981, Isolering uppåt väggarna. (Statens råd för byggnadsforskning) Skrift T4:1981. Stockholm.
- Bjerking, S-E, 1979, Fönster. (Statens råd för Byggnadsforskning) Rapport R150:1979. Stockholm.
- Björk, C, Kallstenius, P, Reppen, L, 1984, Så byggdes husen 1880-1980. (Statens råd för byggnadsforskning och Stockholms stadsbyggnadskontor) Skrift T1:1984. Stockholm.
- Brown, G, 1956, Värmeövergång vid byggnadsytor. (Statens nämnd för byggnadsforskning) Handlingar nr 27. Stockholm.
- Dverre, U, Nilsson, O, 1986, Fönster. Utformning och typutveckling. (Avd för Husbyggnad, Arkitekturens teori och historia, CTH) Examensarbete. Göteborg.
- Engdal, C, Dranger Isfält, L, 1983, Stenhusen 1880-1920, varsam ombyggnad. (Statens råd för byggnadsforskning) Skrift T12:1983. Stockholm.
- Eriksson, B E, 1962, Bostadsventilation. Fältundersökningar av bostadsventilationens funktion och ventilationskanalers tätthet. (Statens råd för byggnadsforskning) Rapport 77. Stockholm.

- Hammarsten, S, Pettersson, B, 1980, Undersökning av hur statligt stödda energisparåtgärder utförts. Delrapport 2: Resultat från fältmätningar. (Statens institut för byggnadsforskning) Meddelande M80:18. Gävle.
- Höglund, I, Pettersson, O, Åhlgren, B, 1984, Fönsterteknik. (Byggförlaget) Stockholm.
- Janssens, J, 1976, Hur man betraktar och identifierar byggnads-  
exteriörer - Metodstudie. (Avd för formlära, LTH) Rapport 2.  
Lund.
- Janssens, J, 1984, Looking at Buildings. Individual Variations in  
the Perception of Building Exteriors. (Avd för Formlära, LTH)  
Rapport R4:1984. Lund.
- Jensen, L, Lange, E, 1982, Energianvändning och energibesparing i  
Malmö. Undersökning av ett höghus. (Statens råd för byggnads-  
forskning) Rapport R9:1982. Stockholm.
- Jonsson, B, 1987, Värmetransport genom fönster med låga k-värden.  
(Inst för Byggnadskonstruktionslära, LTH) Rapport BKL 1987:14.  
Lund.
- Joss, E, Sixtensson, R, 1980, Åtgärder med befintliga fönster.  
(Statens råd för byggnadsforskning) Rapport R55:1980. Stock-  
holm.
- Jürges, W, 1924, (Gesundheits-Ingenieur) 19 (1,1).
- Kjellin, E, Hökerberg, O, 1928, Byggnadskonsten. Dess teori,  
juridik och praktik. Band II. (L Hökerbergs Bokförlag) Stock-  
holm.
- Kronvall, J, 1980, Air Flows in Building Components. (Division  
of Building Technology, LTH) Report TVBH-1002. Lund.
- Küller, R, 1972, A Semantic Model for Describing perceived en-  
vironment. (Statens råd för byggnadsforskning) Document  
D12:1972. Stockholm.

- Larsson, K, Lund, U, Persson, A, 1981, Fönster. Inventering av fönsterkonstruktioner. Fönstret i litteraturen. Mätning av värmeisolering hos treglasfönster med persienn. (Avd för Husbyggnadsteknik, CTH) Examensarbete. Göteborg.
- Liddament, M W, 1986, Air Infiltration Calculation Techniques - An Applications Guide. (Air Infiltration and Ventilation Centre) Braknell, Berkshire, Storbritannien
- Lundberg, H, Nilsson, T, 1976, Ofrivillig ventilation i bostadshus. (Tidskriften VVS) nr 9, p 57-59. Stockholm.
- Löfving, C, Nyström, F, 1980, Byggtekniska möjligheter att spara energi i befintlig bebyggelse. (Industrigruppen för Lätt Byggeri) Stockholm.
- Nylund, P O, 1979, Tjyvdrag och ventilation. (Statens råd för byggnadsforskning) Skrift T4:1979. Stockholm.
- Nylund, P O, 1984, Räkna med luftläckningen. Samspel byggnad - ventilation. (Statens råd för byggnadsforskning) Rapport R1:1984. Stockholm.
- Nyström, F, Persson, I, 1974, Fönster. Utbyte, renovering och underhåll. (Inst för Konstruktionslära, KTH) Examensarbete. Stockholm.
- Olsson-Jonsson, A, 1980, Energibesparing i befintliga flerfamiljshus genom byggnadstekniska åtgärder. (Inst för Byggnadskonstruktionslära, LTH) Rapport BKL 1980:5. Lund.
- Olsson-Jonsson, A, 1982, Planering av energibesparande åtgärder inom kommun. Energisparverksamhet i flerbostadshus i Malmö kommun. (Inst för Byggnadskonstruktionslära, LTH) Rapport BKL 1982:5. Lund.
- Olsson-Jonsson, A, 1984, Utbyte av fönster - Upplevelse av fasadförändringar. (Inst för Byggnadskonstruktionslära, LTH och Byggnadsforskningsrådet) Rapport BKL 1984:5. Lund.

- Ribbing, C-G, 1986, Utveckling och värdering av selektiva fönsterbeläggningar. (Statens råd för byggnadsforskning) Rapport R111:1986. Stockholm.
- Rydberg, J, Arnell, Å, 1949, Ventilationens storlek i bostäder. (Statens kommitté för byggnadsforskning). Meddelande nr 15. Stockholm.
- Sixtensson, R, 1978, Träfönster i gamla hus. (Statens råd för byggnadsforskning) Skrift T9:1978. Stockholm.
- Sorte, G J, 1979, Analys av likheter mellan komponenter i den byggda omgivningen. (Avdelningen för Formlära, LTH) Stencil. Lund.
- Sorte, G J, 1982, Visuellt urskiljbara egenskaper hos föremål i den byggda miljön. (Statens råd för byggnadsforskning) Rapport R5:1982. Stockholm.
- Arkitekttidningen, 1979, Om energi, Temanummer. (SAR:s medlemsblad) Nr 7, april. Stockholm.
- Byggnadskultur, 1979, Byggnadsvård i energisparandet, Temanummer. (Svenska föreningen för byggnadsvård) Nr 1. Stockholm.
- Fönster. Projektering. Byggnade. Underhåll, 1984, (AB Svensk Byggtjänst) Lund.
- Ta hand om hus, varmt och varsamt, 1979. (Arkitekturmuseet) Stockholm.



## BILAGA 1

Beskrivning av de 11 egenskapskriterierna.

Var och en av egenskaperna har identifierats utifrån bedömningar av komponenter i laboratorie- och fältstudier utförda inom projektet Miljöenheter vid avd för Formlära, LTH.

Utdrag ur "Analys av likheter mellan komponenter i den byggda omgivningen" av Gunnar Jarle Sorte.

#### Egenskap 1 (Valens):

är mycket likartad Berlynes Hedonic Value (Berlyne 1971), Osgoods Evaluation factor (Osgood 1957) och Küllers Pleasantness factor (Küller 1972). Variabler som ligger till grund för identifiering och tolkning är: vänlig, personlig, tråkig och obehaglig. Valens beskriver således individens upplevelse av positiva respektive negativa egenskaper hos föremålet ifråga.

#### Egenskap 2 (Massa):

återspeglar graden av kompakthet och tyngd hos föremålen. Mycket tyder på att man med denna faktor beskriver skillnaden mellan öppna respektive slutna föremål. Således korresponderar faktorn i vissa avseenden med Küllers Enclosedness factor (Küller 1972). Exempel på beskrivande variabler: massiv, stark, lätt, luftig.

#### Egenskap 3 (Form):

skiljer mellan föremål med avseende på huruvida de upplevs att vara avrundade eller kantiga. Stigande faktorvärden innebär mera avrundad till formen. Faktorn har vissa likheter både med Osgoods Tautness factor och hans Potency factor (Osgood 1957). Küller, 1972, har också påvisat en Potency factor i individens upplevelse av olika miljökaraktärer, vilken påminner om den faktor som här har givits beteckningen form. Faktorn definieras av variabler som avrundad, kantig, oregelbunden, symmetrisk.

#### Egenskap 4 (Artikulering):

är ett beskrivande mått som visar till upplevelsen av att föremålen har en grad av bearbetning som går utöver den för funktionen absolut nödvändiga. Faktorn påminner om Berlynes Decorativeness (Berlyne och Oostendorp). Beskrivande variabler: överarbetad, enkel, dekorerad, förädlad.

#### Egenskap 5 (Mening):

beskriver egenskaper hos föremål som upplevelsemässigt är knutna till känslan av huruvida något är äkta och meningsfullt. Måttet är också knutet till känslan av att tingen är genomtänkta och inger en känsla av tidsmässig varaktighet som motsats till det provisoriska. Exempel på variabler: äkta, varaktig, ogenomtänkt, tillfällig.

#### Egenskap 6 (Yta):

är ett beskrivande mått för individens upplevelse av huruvida ett föremål domineras antingen av blanka, släta eller skrovliga och grova ytor. Måttet har mycket gemensamt med Edbergs första texturdimension (Texturstyrka, Edberg 1977). Beskrivande variabler: blank, glänsande, skrovlig, repad.



## Egenskap 7 (Struktur):

visar till möjligheten att urskilja delar hos föremålen. Simple-complex aspekten är välbekant från andra undersökningar (Sorte 1969). Berlynes Uncertainty/activity (Berlyne 1974) och Küllers Complexity (Küller 1972) är faktorer som ligger mycket nära denna faktor. Exempel på variabler: detaljrik, sammansatt, varierad, enhetlig.

## Egenskap 8 (Skala):

är ett beskrivande mått för upplevandet av storlek. Mätvärden i detta bedömningskriterium är beroende av den referensgrupp som föremålen tillhör. I ex ges i denna faktor en stor urna högre bedömningsvärden än en liten bil, även om storleksförhållandet beskrivet i det metrisk systemet är det motsatta. För tolkningen av denna faktor är följande variabler bestämmande: liten, överdimensionerad, dominerande, hög.

## Egenskap 9 (Ålder):

visar till egenskaper hos föremålen som för bedömaren ger information om ålder och grad av ursprunglighet. Faktorn är analog till Küllers Affektionsfaktor (Küller 1972). Beskrivande variabler: ny, modern, sliten, gammalmodig.

## Egenskap 10 (Färg):

är som beteckningen visar ett beskrivningsmått för den upplevda färgrikedomen hos det som bedöms. Mätvärden i denna faktor är sannolikt beroende av den enskilda färgens styrka och antalet olika valörer. Faktorns förklaringsvärde ökas alltmer genom den färgforskning som utförs av Anders Hård vid Svenskt Färgcentrum och Lars Sivik vid Göteborgs Universitet. Beskrivningsvariabler är: mångfärgad, färgglad, grå, färglös.

## Egenskap 11 (Ljushet):

är ett mått vari man kan beskriva skillnader mellan mörka och ljusa föremål. Skattningar i variablerna mörk, murrig, dunkel, ljus utgör fastställandet av bedömningsvärdet i detta kriterium.



## BILAGA 2

Studerade fönsteralternativ för fyra fasader.  
Bilderna är papperskopior av diabilder.

Fasad A.

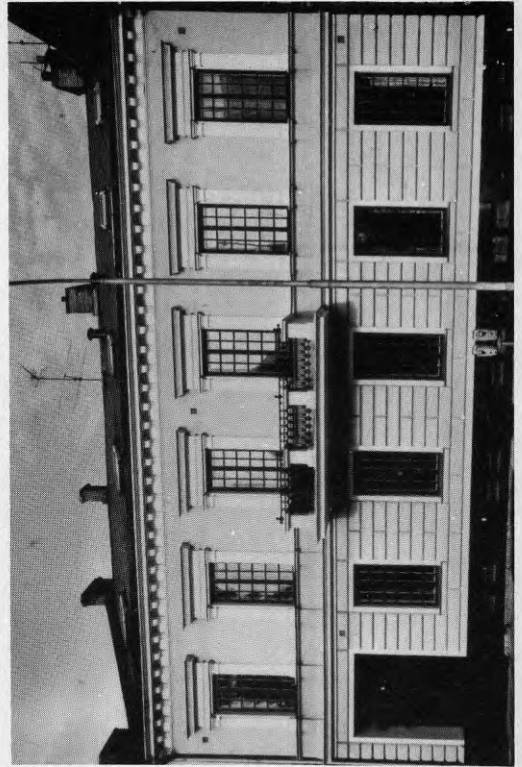
Gul putsad fasad med vita fönsteromfattningar,  
mörka fönster. Byggnadsår 1888.



A:1



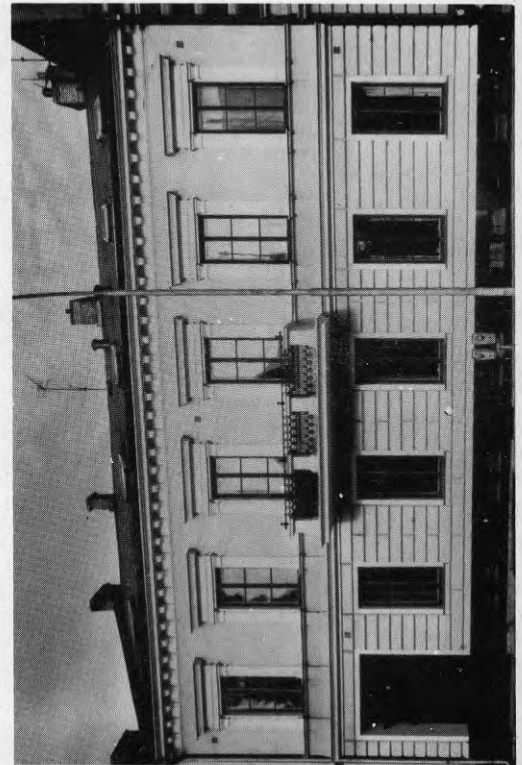
A:3



A:5



A:2



A:4

Fasad B.

Gul tegelfasad med vissa dekorativa detaljer  
i brun tegel, mörka fönster. Byggnadsår 1903.



B:1



B:2



B:3



B:6



B:7

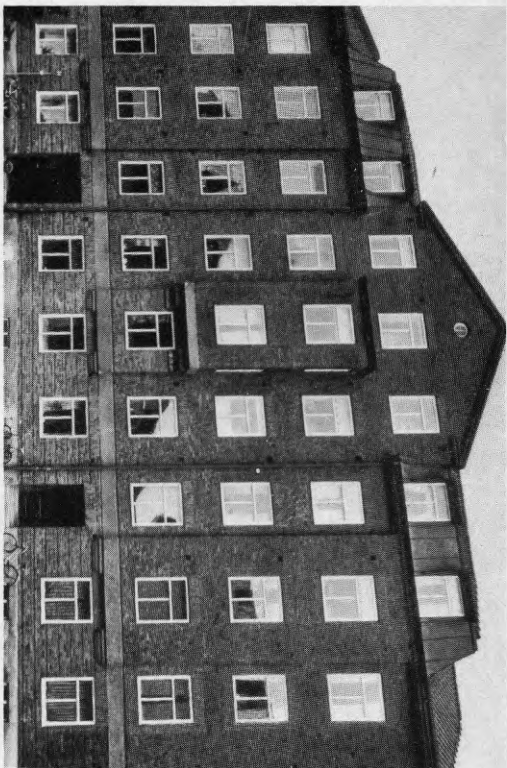
Fasad C.

Röd tegelfasad med ljusa fönster. Byggnadsår 1927.

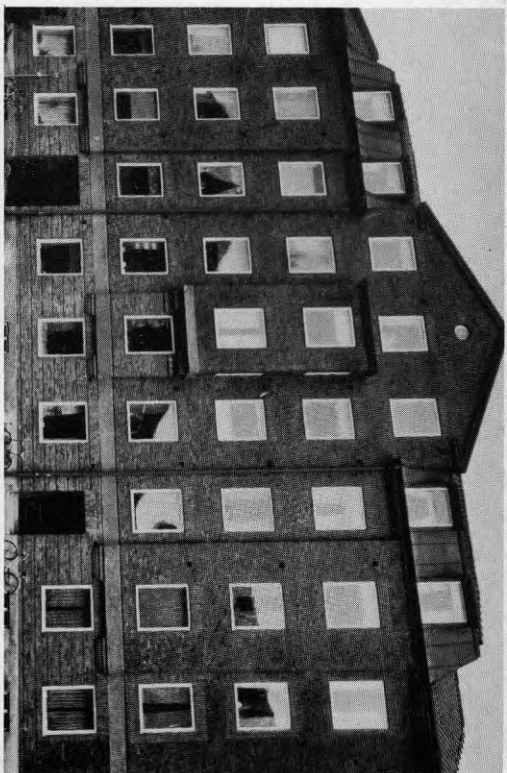


C:1

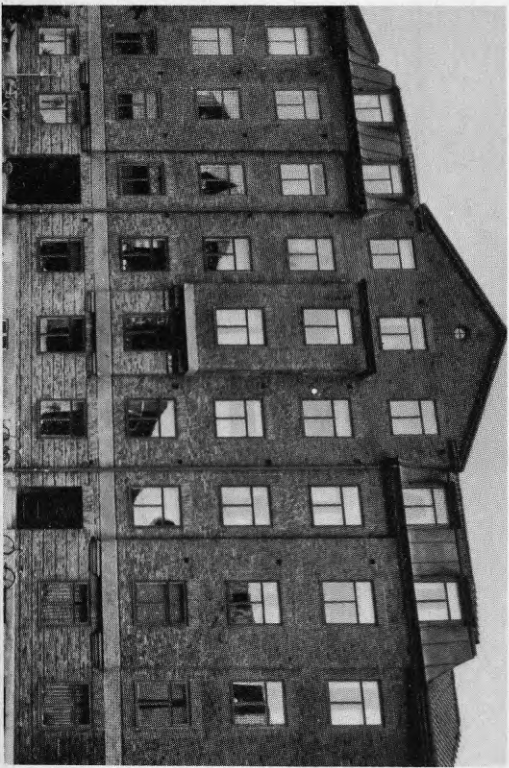




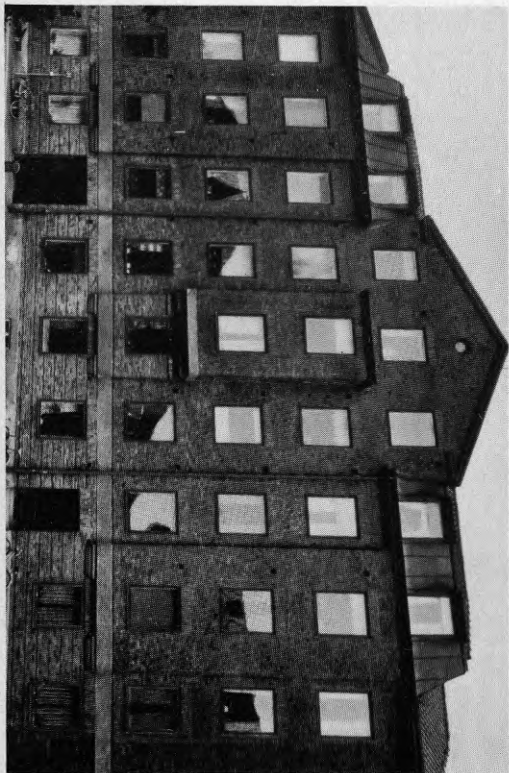
C:2



C:3



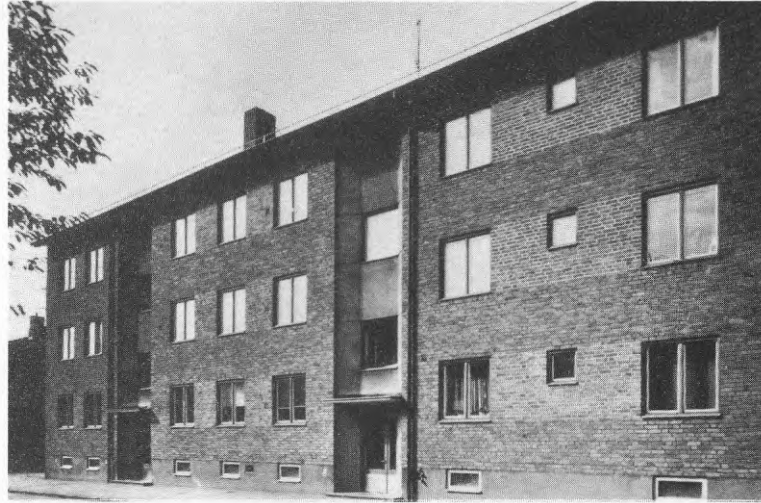
C:6



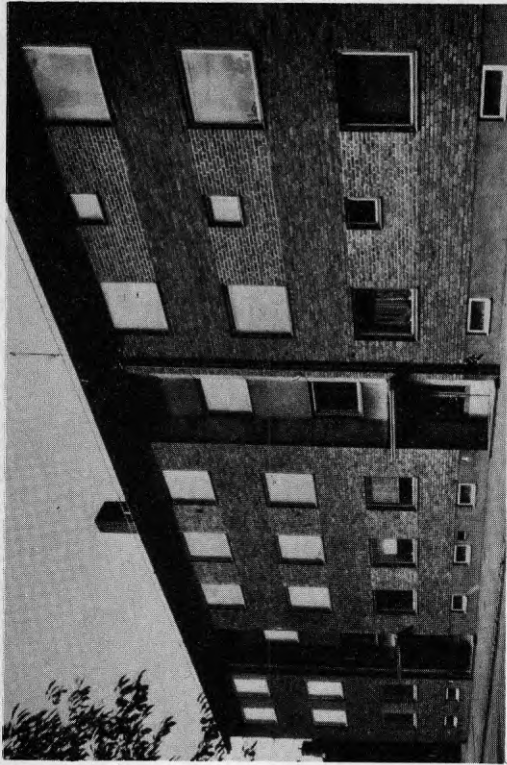
C:7

Fasad D.

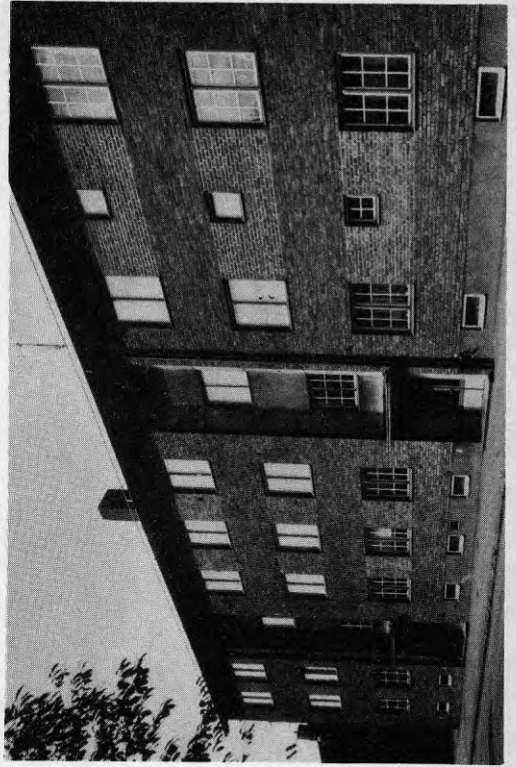
Röd tegelfasad, fönster med ljusa bågar  
och mörka karmar. Byggnadsår 1953.



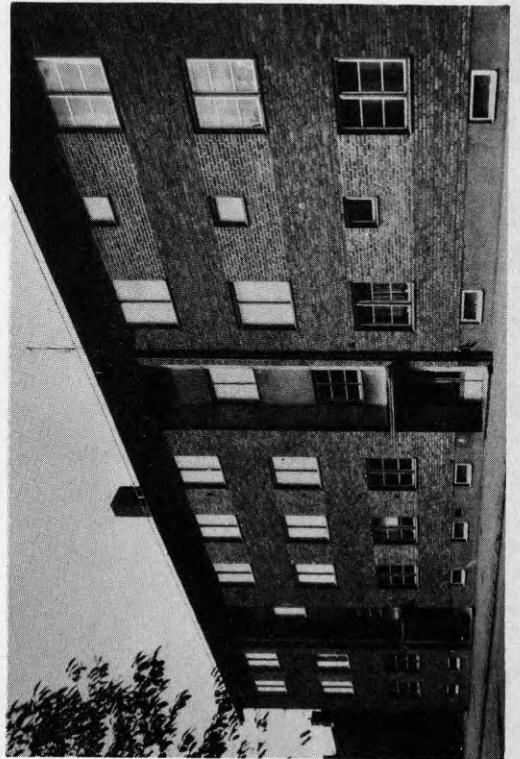
D:1



D:3

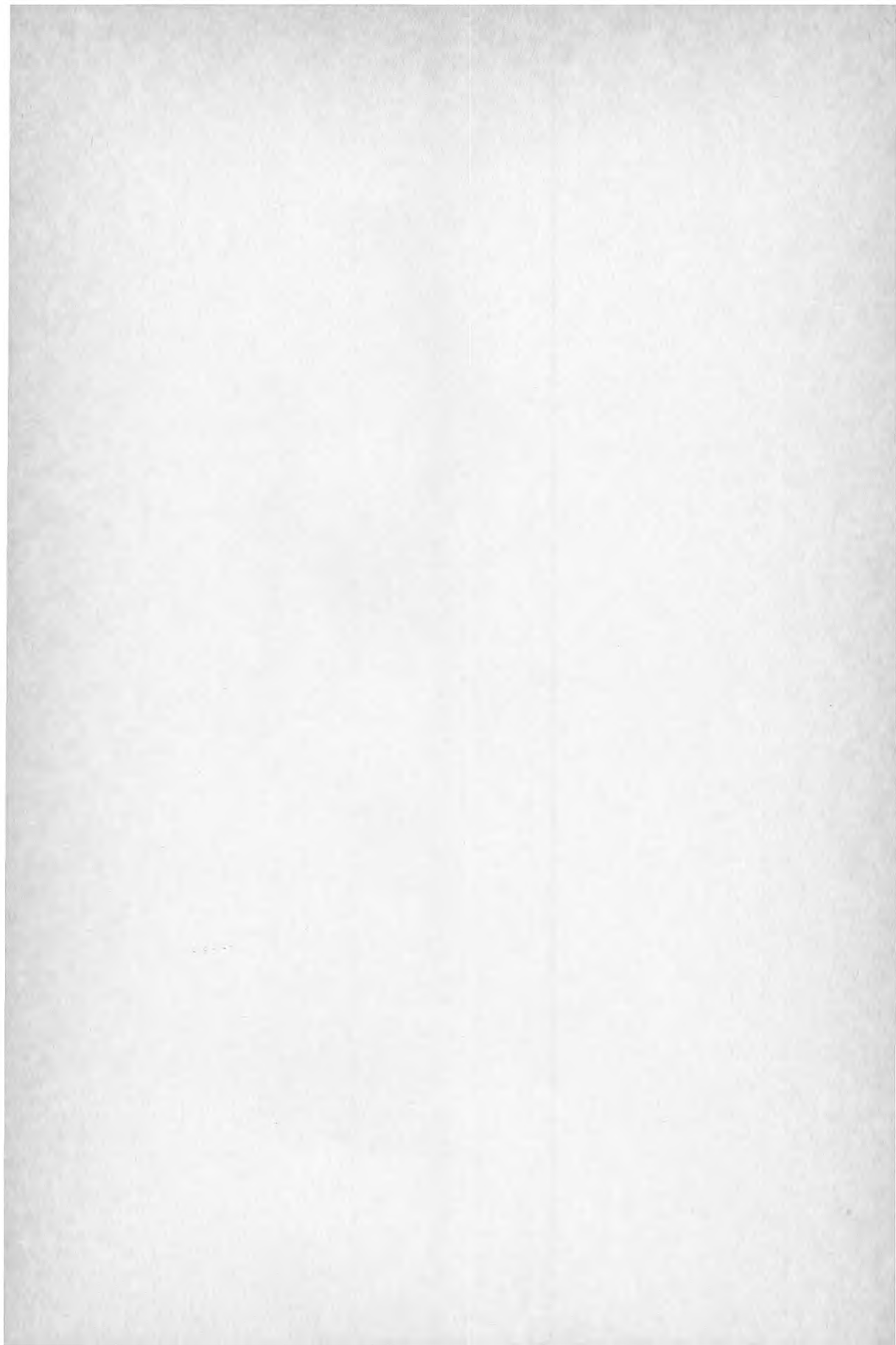


D:5



D:4







**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 840955-1  
från Statens råd för byggnadsforskning till  
inst för byggnadskonstruktionslära, LTH Lund.**

**R40:1988**

**ISBN 91-540-4896-6**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.Nr: 6708040**

**Abonnemangsgrupp:  
Z. Konstruktioner och material**

**Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 7853  
103 99 Stockholm**

**Cirka pris: 63 kr exkl moms**