



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**

**R28:1973**

TEKNISKA HÖGSKOLAN I LUND  
SEKTIONEN FÖR VÄG- OCH VATTEN  
BIBLIOTEKET

**Begränsning av fukt-  
skador i yttervägg genom  
reglering av lufttrycks-  
differensen mellan  
väggens in- och utsida**

**Lars-Olof Andersson**

**Byggforskningen**

# Begränsning av fuktskador i yttervägg genom reglering av lufttrycksdifferensen mellan väggens in- och utsida

Lars-Olof Andersson

De senaste årens krav på inomhusklimat med reglerad luftfuktighet har i ett stort antal fall resulterat i kostsamma fuktskador i ytterväggar, särskilt i samband med användande av prefabricerade byggelement för stomme och fasad. Skadornas omfattning har ett direkt samband med storleken och varaktigheten av differensen i lufttryck mellan ytterväggens in- och utsida.

Föreliggande undersökning omfattar i huvudsak:

Studier av tryckdifferensen och dess variationer över yttervägg.

Inventering och redovisning av skadefall.

Litteraturstudier.

Redovisning av principer och praktiska metoder för att undvika skador.

Undersökningarna har bland annat visat betydelsen av att man tar hänsyn till de faktorer som påverkar fuktvandringen inte endast vid val av fasadkonstruktion och fogs-system utan också i fråga om byggnadens planering, luftbehandlingsanläggningens konstruktion och dess drift. Vid uppgörande av driftsinstruktioner för byggnaden i sin helhet måste därför lämpliga instruktioner för luftbehandlingsanläggningens drift särskilt uppmärksammas.

## Skador

Skador på grund av kondensering i ytterväggar förekom tidigare i stort sett endast i de "våta" industrierna; papper, cellulosa, textil och tobak. Inom dessa industrier har man numera lärt sig att behärska svårigheterna trots att rumsluftens relativa fuktighet kan vara så hög som 70 % och mer.

Sedan luftbefuktning, av skäl som inte här skall diskuteras, blivit vanlig i de stora byggnadssektorerna sjukhus och kontor, har fuktskador uppstått på sådana byggnader, och i en omfattning som gjort dem till ett ekonomiskt sett mycket allvarligt problem. Att detta har kunnat inträffa trots att man stannat vid befuktning motsvarande 35 å 50 % relativ fuktighet hänger i hög grad ihop med att man samtidigt i stor utsträckning gått över till att använda prefabricerade byggelement i fasaderna.

Skadorna är i huvudsak av följande slag: rostangrepp, röta i trädetaljer, för-

sämrad värmeisolering, fuktfläckar och andra missfärgningar på väggens ut- och insida, sönderfrysning. Isbildningen på fasader har ibland varit så stor att det funnits risk för personskador.

Huvudorsakerna till uppkomsten av fuktskador är:

*Fuktkonvektion* genom att befuktad rumsluft på grund av övertryck inomhus strömmar ut genom otäta fogar, exempelvis mellan stomme och fönsterkarm respektive fasadelement, eller mellan angränsande fasadelement. Följden av denna utströmning är kondensering och, vintertid, isbildning på och i väggens yttre skikt.

*Diffusion* av vattenånga genom väggens inre skikt, kondensering och isbildning i de yttre delarna.

I alla här studerade objekt är dock fuktkonvektionen dominerande.

## Tryckdifferenser

Tryckdifferensen över en yttervägg, dvs. tryckskillnaden mellan rumsluften och luften vid ytterväggens utsida, påverkar sålunda på ett avgörande sätt skadornas uppkomst och omfattning.

En väsentlig del av det utförda undersökningsarbetet har lagts ned på att för några vanliga typer av byggnader undersöka hur det verkliga värdet på tryckdifferensen varierar under skilda driftsförhållanden.

Mätningarna har skett under sammanhängande tidsperioder av max. 3 dygn under vinterhalvåret 1969-70. De har utförts med hjälp av en mikromanometer ansluten till punktskrivare.

Storleken av tryckdifferensen påverkas dels av *yttre faktorer*: byggnadens läge, byggnadens höjd och utformning, omgivningens topografi, det yttre klimatet, dels av *inre faktorer*: byggnadens planlösning, placeringen av hiss- och trappschakt och deras anslutning till våningsplanen, ventilationssystemets utformning och drift.

Även sättet att bruka själva byggnaden inverkar på tryckdifferensen. Detta gäller särskilt öppethållande och stängande av fönster och av dörrar mellan schakt och våningsplan samt mellan delar av dessa. Tryckdifferensmätningarna visar sålunda att om så litet som ca 1 % av det totala antalet fönster öppnas, är detta tillräckligt för att ändra tryckförhållandena i hela byggnaden i en sådan grad att på normalt sätt utförda teore-

# Byggforskningen Sammanfattningar

R28:1973

Nyckelord:  
*fuktskador (ytterväggar)*, lufttrycksdifferenser, fuktkonvektion

Rapport R28:1973 hänför sig till anslag C 530 från Statens råd för byggnadsforskning till tekn.lic. Lars-Olof Andersson, Axlander & Rosell Konstruktionsbyrå AB, Skärholmen.

UDK 69.059.2  
697.93  
69.022.3  
SfB (21)  
ISBN 91-540-2132-4

Sammanfattning av:

Andersson, L-O, 1973, *Begränsning av fuktskador i yttervägg genom reglering av lufttrycksdifferensen mellan väggens in- och utsida*. (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport R28:1973, 47 s., ill. 15 kr.

Rapporten är skriven på svenska med svensk och engelsk sammanfattning.

Distribution:

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

tiska beräkningar av tryckdifferensen ger helt felaktiga värden.

Undersökningarna har givit exempel på att man genom en noga studerad och systematiskt genomförd driftsrutin för ventilationsanläggningen kan styra tryckdifferensen inom byggnadens olika delar. Kontroll av vissa dörrförbindelser och fönster enligt ovan måste därvid ingå i rutinen om önskat resultat skall uppnås.

Är dessa förutsättningar uppfyllda kan det vara möjligt att reducera kondenseringen i så hög grad att svårare skador

undviks även i en byggnad där väggarnas fuktskydd är ofullständigt.

Undersökningen visade även att i ett riktigt byggt kontorshus med 35–40 % relativ fuktighet vintertid kan ett visst övertryck tillåtas under arbetstid utan att fuktproblem uppstår i yttreväggarna. Övertrycket ger en förbättring av rumsklimatet genom eliminering av fönsterdrag. Huvudregeln måste dock vara att undvika större övertryck.

Av FIG. 1 och 2 framgår hur tryckdifferensen varierar i ett 28 våningar högt kontorshus. Vid en utomhustemperatur

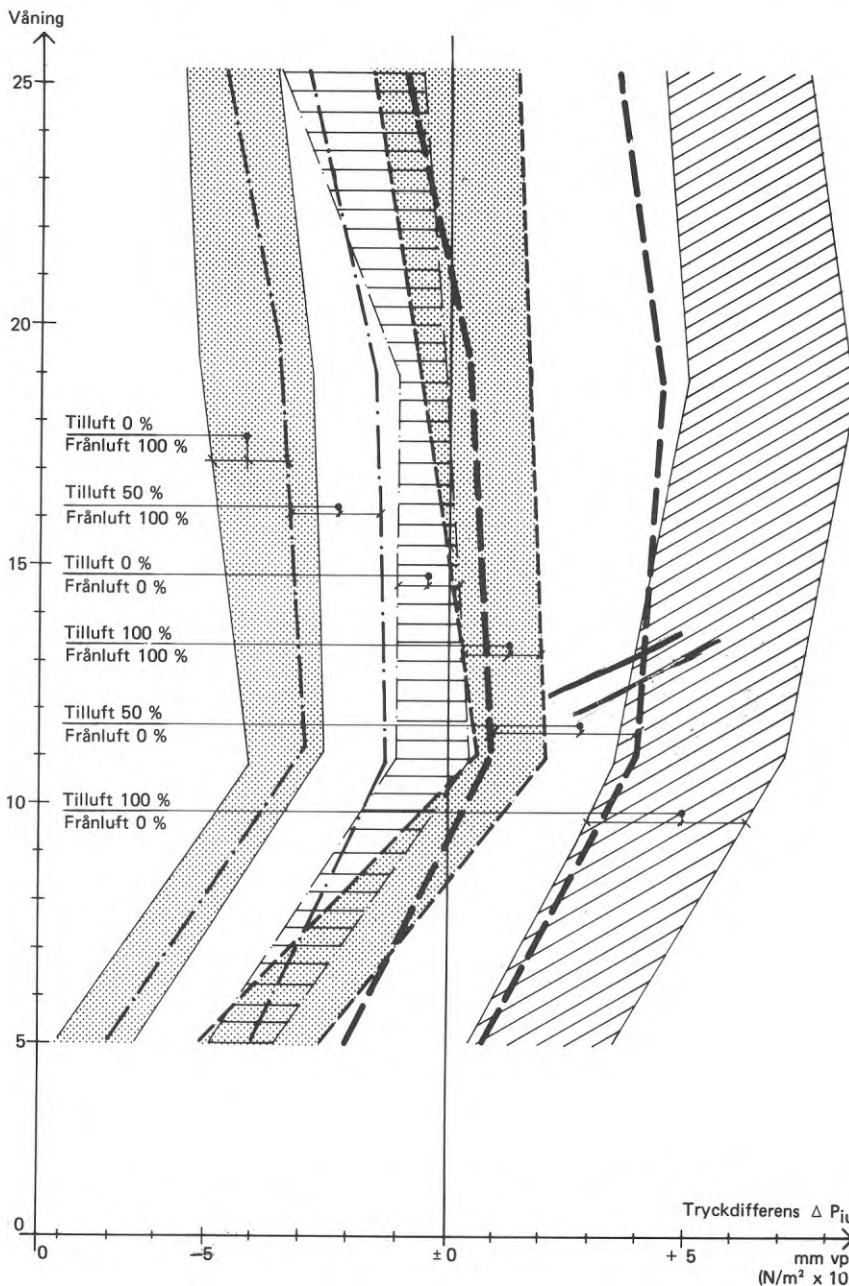


FIG. 1. Tryckdifferensvariationer i ett 28 våningar högt kontorshus vid varierande inställningar av fläktsystemet. Kurvformen mellan de olika inställningarna visar god överensstämmelse, medan variationerna i tryckdifferens ökar med ökat övertryck i byggnaden. Utomhustemperatur  $-20^\circ C - \pm 0^\circ C$ . Medelvindhastighet 0–7 m/s.

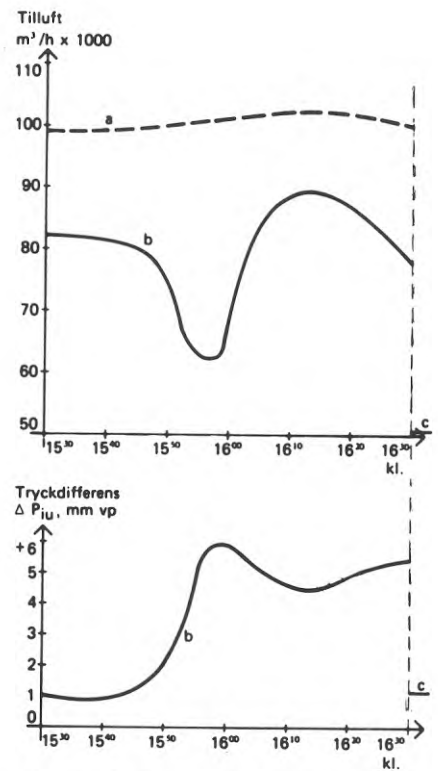


FIG. 2. Variationer hos tilluftsflöde och tryckdifferens  $\Delta P_{iu}$  i samband med arbetets slut i ett 28 våningar högt kontorshus vintertid.

Fläktinställningar:

- a: 100 % tilluft, 100 % frånluft,
- b: 100 % tilluft, 0 % frånluft,
- c: 50 % tilluft, 0 % frånluft.

av  $-10^\circ C$  ger den termiska drivkraften upphov till ett teoretiskt övertryck på ca 9 mm vp (1 mm vp  $\approx 10 N/m^2$ ) i de översta våningarna. Vid balanserad ventilation blir den uppmätta tryckdifferensen dock endast ca 2 mm vp. Detta beror huvudsakligen på "kortslutningseffekten" (t.ex. vid fönstervädning) och väl avgränsade hiss- och trappschakt.

## Rekommendationer

1. Nyanserad planlösning med hänsyn tagen till rums- och våningssamband, varvid det huvudsakligen gäller att begränsa skorstensverkan via hiss- och trappschakt.
2. Genomförd driftsrutin för ventilationsanläggningen.
3. Instruktioner till inom byggnaden verksam personal gällande rutiner för handhavande av fönster och dörrar.
4. Intermittent befuktning under driftstid.
5. Överväg om befuktning verkligen är nödvändig och begränsa i så fall fuktmängden.

# Limitation of damage due to moisture in external walls by control of the air pressure differential indoors and outdoors

Lars-Olof Andersson

*Indoor climate with controlled air humidity has become a common requirement in recent years and has in its turn led to costly damage in a large number of cases, in particular when prefabricated units have been used for structural framework and external walls. The extent of the damage occurring is directly correlated to the magnitude and duration of the difference in air pressure between the inside and outside surfaces of external walls.*

*The following were the points investigated in the course of the present study:*

*Studies of difference in pressure and its variations in external walls.*

*Inventories and documentation of cases of damage.*

*Reviews of literature.*

*Description of principles applied and methods of practical use in order to avoid damage.*

*Among the data which emerged from the project was the fact that it is important to pay attention to the factors which affect moisture penetration not only when selecting the external wall design and jointing system, but also when planning the building in question, the design of air conditioning equipment and its operation. Special care must therefore be taken to provide suitable instructions for the operation of air conditioning plants when drawing up the operational instructions for the building as a whole.*

## Damage

Damage due to condensation in external walls was formerly more or less only found in "wet" industries manufacturing goods such as paper, pulp, textiles and tobacco. These have now learnt to overcome their difficulties despite the fact that the relative humidity on such premises can be as high as 70 % or more.

However, since humidification became common in the large building sectors hospitals and offices, for reasons which will not be examined in this particular work, damage due to moisture has been found to occur on these premises also and to an extent which has made it an extremely serious problem in economic terms. Damage has occurred despite the fact that the relative humidity of the air was maintained between 35 and 50 %. The reasons for this can be very largely attributed to a transition to the use of prefabricated external wall panels at the same time.

The main types of damage were the following: rusting, rot in timber members, deterioration in thermal insu-

lation, damp stains and other discoloration on inside surfaces of walls, frost damage. Formation of ice on facades has occasionally been so extensive as to be dangerous to passers-by. The principal causes of damage due to moisture penetration are:

*Moisture convection* due to leakage of humidified room air through poorly sealed joints is one; e.g. between structural framework and window and external wall panels, or between adjacent wall panels. This leakage is followed by condensation and, in winter, by the formation of ice on the outer surface of walls.

*Diffusion* of water vapour through the inner skin of the wall followed by condensation and formation of ice on the external parts.

Moisture convection was however the predominant cause of damage in all the cases studied.

## Pressure differential

The pressure differential of external walls, i.e. the difference in pressure between room air and the air on the outside of the external walls thus has a decisive effect on the occurrence and extent of damage.

Much of the study was devoted to examination of how the real pressure differential in some common types of building varies under differing operational conditions.

Measurement took place during consecutive periods with a maximum length of 3 days during the winter of 1969/70. A micromanometer connected to a dot chart recorder was used.

The size of the pressure differential is influenced in part by *external factors*; e.g. location of building, height and shape of building, topography, external climate. It is also influenced by *internal factors* such as floor plans, positions of lift shafts and stair wells, and their links with the various floors, design and operation of the ventilation system.

Even the way in which a building is used has a certain effect on the pressure differential. Here we refer in particular to opening and closing of windows and doors between stair wells and lift shafts and the different floors, and between parts of the same. Measurement of pressure differentials can thus demonstrate that if approximately 1 % of all windows are opened, this is sufficient to change the level of pressure throughout the building to such an extent that theoretical calculations based on normal procedure yield totally incorrect values.

The studies have also provided examples of how it is possible to control pressure differential in different parts of a building with the aid of thoroughly

# National Swedish Building Research Summaries

R28:1973

Key words:

*damage due to moisture (external walls), difference in air pressure, moisture convection*

Report R28:1973 refers to Grant C 530 from the Swedish Council for Building Research to tekn.lic. Lars-Olof Andersson, Axlander & Rosell Konstruktionsbyrå AB, Skärholmen.

UDC 69.059.2  
697.93  
69.022.3  
SfB (21)  
ISBN 91-540-2132-4

Summary of:

Andersson, L-O, 1973, *Begränsning av fuktskador i yttervägg genom reglering av lufttrycksdifferensen mellan väggens in- och utsida*. Limitation of damage due to moisture in external walls by control of the air pressure differential indoors and outdoors. (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Report R28:1973, 47 p., ill. Sw. Kr. 15.

The report is in Swedish with Swedish and English summaries.

Distribution:

Svensk Byggtjänst  
Box 1403, S-111 84 Stockholm  
Sweden

prepared, systematically implemented operational routines for ventilation systems. Control of certain doors and windows mentioned earlier should then be included in the routine in order to achieve the required result.

If all the prerequisites are present, it is possible to reduce condensation to such an extent that serious damage is avoided even in buildings which lack adequate moisture barriers in their walls.

The studies also showed that in a properly constructed office block with 35–

40 % relative humidity in winter overpressure can be permitted during working hours without risk of moisture problems in the external walls. This overpressure is responsible for a considerable improvement in the room climate in that it eliminates draught from windows. The golden rule here is of course to avoid too much overpressure.

FIGS. 1 and 2 show how the pressure differential varies in a 28-storey office block.

At an outdoor temperature of  $-10^{\circ}\text{C}$

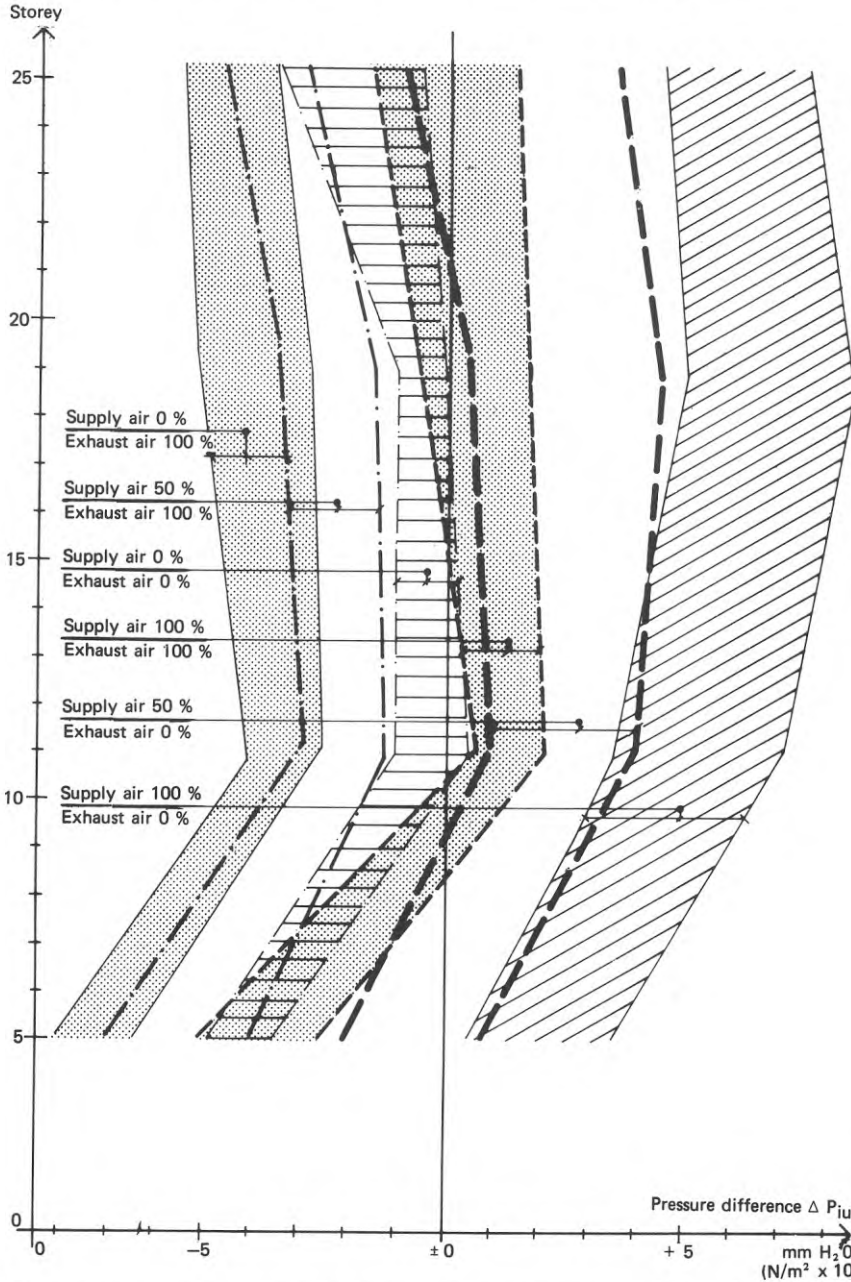


FIG. 1. Variations in pressure differential in 28-storey office block on adjustment of the setting of the fan system. The shape of the curve for the different settings shows good agreement, while variations in pressure difference increase with increasing overpressure in the building. Outdoor temperature  $-20^{\circ}\text{C} \pm 0^{\circ}\text{C}$ . Mean wind velocity  $0-7 \text{ m/s}$ .

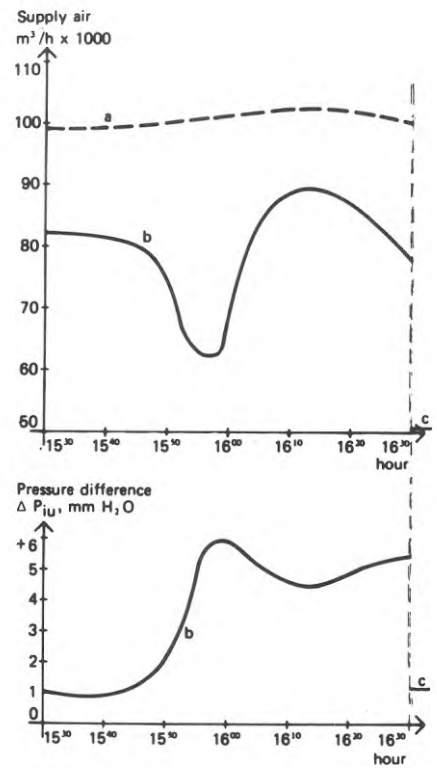


FIG. 2. Variations in supply air flow and pressure differential  $\Delta P_{iu}$  at the end of working hours in a 28-storey office block during the winter months.

Fan settings:

a: 100% supply air, 100% exhaust air

b: 100% supply air, 0% exhaust air

c: 50% supply air, 0% exhaust air

we obtain a theoretical overpressure of approximately  $9 \text{ mm H}_2\text{O}$  ( $1 \text{ mm H}_2\text{O} \approx 10 \text{ N/m}^2$ ) on the upper floors. In the presence of balanced ventilation however the pressure difference will be only around  $2 \text{ mm H}_2\text{O}$ , largely due to the "short-circuit effect" (e.g. airing by opening windows) and suitably separate stair wells and lift shafts.

### Recommendations

1. Conscious planning of floor layouts taking relationships between rooms and respective floors into account — mainly to limit the chimney effect of lift shafts and stair wells.
2. Established operational routine for ventilation system.
3. Instructions to staff working in a given building as to routines for opening of doors and windows.
4. Intermittent humidification during hours of use.
5. Consider whether humidification is absolutely necessary and if so, limit the level.

Rapport R28:1973

BEGRÄNSNING AV FUKTSKADOR I YTTERVÄGG GENOM REGLERING  
AV LUFTRYCKSDIFFERENSEN MELLAN VÄGGENS IN- OCH UTSIDA

LIMITATION OF DAMAGE DUE TO MOISTURE IN EXTERNAL WALLS  
BY CONTROL OF THE AIR PRESSURE DIFFERENTIAL INDOORS  
AND OUTDOORS

av Lars-Olof Andersson

Denna rapport hänför sig till anslag C 530 från Statens råd för  
byggnadsforskning till tekn.lic. Lars-Olof Andersson, Axlander  
& Rosell Konstruktionsbyrå AB, Skärholmen.  
Försäljningsintäkterna tillfaller fonden för byggnadsforskning.

Statens institut för byggnadsforskning  
ISBN 91-540-2132-4

Rotbeckman Stockholm 1973



## INNEHÅLL

BETECKNINGAR OCH DEFINITIONER . . . . .	4
1 INLEDNING . . . . .	5
1.1 Omfattning . . . . .	5
1.2 Målsättning . . . . .	6
1.3 Arbetsmetodik . . . . .	6
2 FUKTSKADOR . . . . .	7
2.1 Fuktvandring . . . . .	9
2.1.1 Fuktkonvektion . . . . .	9
2.1.2 Lufttransport genom vägg . . . . .	9
2.2 Kondensation . . . . .	10
3 BYGGNADENS TRYCKFÖRHÅLLANDE . . . . .	11
3.1 Vindtryck . . . . .	11
3.2 Skorstensverkan . . . . .	13
3.3 Ventilationssystemets utformning . . . . .	13
3.4 Byggnadens egen funktion . . . . .	13
4 MÄTNINGAR AV TRYCKDIFFERENSER OCH LUFTTILLSTÅND . . . . .	14
4.1 Mätmetodik, utrustning . . . . .	14
4.2 Mätresultat . . . . .	14
4.2.1 Kontorshus, 28 våningar . . . . .	14
4.2.2 Kontorshus, 15 våningar . . . . .	23
4.2.3 Kontorshus, 9 våningar . . . . .	23
4.2.4 Övrigt . . . . .	29
4.3 Sammanfattning . . . . .	29
5 OBJEKTREDOVISNING . . . . .	32
5.1 Kontorshus med 28 våningar . . . . .	32
5.2 Kontorshus 13 våningar . . . . .	34
5.3 Bankhus 6-8 våningar . . . . .	36
5.4 Bostadshus . . . . .	38
6 REKOMMENDATIONER . . . . .	39
REFERENSER . . . . .	40
SYMBOLS AND DEFINITIONS . . . . .	45
CAPTIONS (figurtexter och tabellrubriker översatta till engelska) . . . . .	46

## BETECKNINGAR OCH DEFINITIONER

Beteckning	Benämning och definition	
	Temperatur	
$t_u$	utomhustemperatur	( $^{\circ}\text{C}$ )
$t_i$	inomhustemperatur	( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_1$	temperatur	( $^{\circ}\text{K}$ )
$T_2$	temperatur	( $^{\circ}\text{K}$ )
	Tryck	(mm vp)
$\Delta P_{iu}$	tryckdifferensen över yttervägg, inomhus relativt utomhus	(mm vp)
$P$	tillgänglig drivkraft	
$P_t$	tillgängligt fläkttryck i tilluftskanal	
$P_f$	tillgängligt fläkttryck i frånluftskanal	
$P_f^{\text{WC}}$	tillgängligt fläkttryck i WC-frånluftskanal	
$T_t^{\text{WC}}$	tillgänglig termisk drivkraft i tilluftskanal	
$T_t^f$	tillgänglig termisk drivkraft i frånluftskanal	
$T_f^{\text{WC}}$	tillgänglig termisk drivkraft i WC-frånluftskanal	
$T_h^{\text{WC}}$	tillgänglig termisk drivkraft i hisschakt	
$T_{tr}^h$	tillgänglig termisk drivkraft i trappschakt	
	Vind	
$N, S, Ö, V$	representativ aktuell vindriktning	
$v_m$	medelvindhastighet mätt under en 10-minutersperiod	(m/s)
	Övrigt	
$h$	verksam hushöjd	(m)
$d$	sprickbredd	(mm)
$\gamma_1$	specifik vikt vid temp $t_1$	( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
$k_d$	ångdiffusionstal vid ca $20^{\circ}\text{C}$	( $\frac{\text{g}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg}}$ )
1/1 till	motsvarar ca 100 % tilluftsflöde	
1/2 till	motsvarar ca 50 % tilluftsflöde	
tilluft-	motsvarar ca 0 % tilluftsflöde	
$\nabla\Delta$	extremvärden (max- och min-värden för $\Delta P_{iu}$ )	
X	öppen förbindelse mellan korridor och trappschakt	
$\emptyset$	dörrarna mellan korridor och trappschakt stängda	
RH	relativ fuktighet	

## OMVANDLINGSTAL TILL SI-ENHETER

$$1 \text{ mm vp} \approx 10 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ mm Hg} \approx 133 \text{ N/m}^2$$

## 1 INLEDNING

### 1.1 Omfattning

Utredningen behandlar möjligheten att begränsa och styra differensstrycket över vägg. Avsikten med denna styrning är i första hand att förhindra skadlig fuktvandring och fuktutfällning i väggar, företrädesvis gällande byggnader där rumsluften under den kalla årstiden befuktas. Exempel på fuktutfällning visas i FIGUR 1 och FIGUR 2.

Orsaken till fuktproblem diskuteras liksom typ av skador samt exempel på skadefall.

Fukttransporten som funktion av skadeparametrarna differensstryck över yttervägg, inomhus- och utomhusklimat och fogsystem redovisas samt även analys av möjligheterna att reducera fuktbelastningen genom att ta hänsyn till de mest påtagliga parametrarna.

Arbetet har begränsats till att omfatta de rent tekniska områden som anknyter till projektering, tekniskt utförande samt driftbetingelser.

Av denna anledning har inte de ekonomiska aspekterna vid något tillfälle tagits upp till behandling.



FIGUR 1. Fuktskador på fönsterkarm i bostadshus.

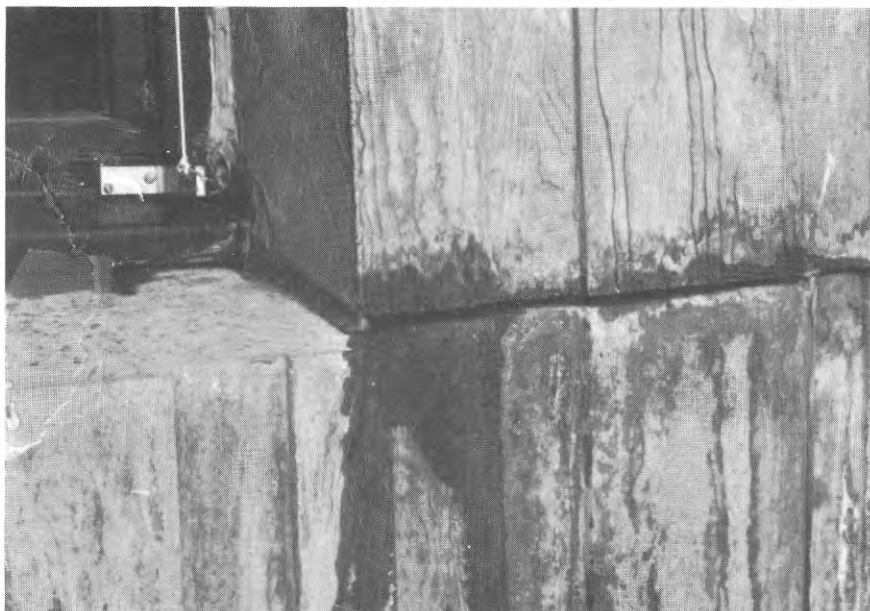
## 1.2 Målsättning

Arbetet syftar till att leda fram till rekommendationer, avsedda att användas som handledning vid projektering och utförande av byggnadsobjekt, där befuktning av rumsluften förekommer. Särskilt gäller detta sådana byggnader där ytterväggarna består av fasadelement.

## 1.3 Arbetsmetodik

Arbetet har förutom insamling och bearbetning av aktuell litteratur gått ut på att sammanställa de produktions- och projekteringsfarenheter som funnits tillgängliga, samt att på grundval av dessa ge praktiska anvisningar och förslag, bland annat genom detaljerade studier av typiska skadefall.

De tryckdifferensmätningar som utförts har utnyttjats till, dels att skapa underlag för en projekteringsmetodik, dels att belysa nödvändigheten av att via en samordnad planering skapa möjligheter för ett godtagbart inomhusklimat utan skadeverkningar på byggnaden.



FIGUR 2. Kondensutfällning i fog mellan bärande ytterväggselement. Balanserad ventilation samt befuktad luft.

## 2 FUKTSKADOR

Orsaken till fuktskador kan, bortsett från skador av typ tappvattenläckor, läckor på värmesystem samt bygg- och markfukt, i huvudsak sättas i samband med avsiktligt förhöjd relativ fuktighet inomhus.

Visserligen förekommer årligen skadefall orsakade av slagregn mot exempelvis lättbetongfasader med sprickförekomst samt tegelfasader, men dessa skador är i regel lokalt begränsade till ytterväggsytan, se O Lyng & L Fyrhake (1969), och ger inte upphov till en så omfattande skadetyper som uppträder i samband med elementbyggeri och befuktad tilluft.

Den praktiska konsekvensen av en tillsats av vattenånga i rumsluften blir att kondens kan falla ut när rumsluften avskilda anledningar passerar ytterväggen. Den relativa fuktigheten inomhus varierar mellan olika slag av byggnader och är beroende av tillförd fuktmängd samt luftomsättningen i den aktuella lokalen. I vanliga bostäder ligger exempelvis vintertid relativa fuktigheten någonstans mellan 20-50 % beroende på boendevanor, aktuell lokal etc. Kök och badrum har högre relativ fuktighet än övriga bostadsrum. Dessa våtutrymmen uppvisar också de flesta skadorna på yttervägg, och orsaken är ofta att en för dålig fuktspärr anbringats på väggens insida, eller kanske rättare uttryckt, samma fuktspärr och samma fogtätning har använts i dessa lokaler som i huset i övrigt. Inom industrin har sedan länge dessa problem funnits. Detta gäller exempelvis lokaler inom pappers- och cellulosa-, tobaks- och textilindustrierna. I samtliga dessa förekommer lufttillstånd där relativa fuktigheten är 70 % och högre, samtidigt som även temperaturen ligger över normal rumstemperatur, vilket betyder ytterligare förhöjt vatteninnehåll. Trots detta har man för dessa fall kommit fram till en sådan praxis i byggnadernas projektering och utförande att fuktskador som regel kan undvikas. I TABELL 1 redovisas relativa fuktigheten för några olika typer av byggnader.

De typer av fuktskador som uppträder i en yttervägg kan ge sig till känna genom

- a. Sönderfrysning av fasadmaterialet.
- b. Rostangrepp på infästningsdetaljer.
- c. Röta i trädetaljer.
- d. Försämrade isoleringsförmåga genom vatten i isoleringsmaterialet.
- e. Fuktfläktar på väggens insida.
- f. Missfärgning av ytterväggsytan. Orsaken kan vara fukt-, salt- eller frostutfällningar som uppkommit exempelvis genom användande av tegel, kalksten eller skiffer av icke frostbeständig kvalitet, sättsprickor i murverk, hål i fasader härrörande från genomföringar, olämplig brukskvalitet, täta ytskikt som hindrar avdunstningen från ytterväggsytan (puts och murverk).

TABELL 1. Riktvärden för relativa fuktigheten vintertid i olika lokaler.

Lokalitet	Relativ fuktighet %
Affärs- och kontorshus	40
Bageri	50-80
Banker	40
Bibliotek	40
Bostadshus	--
Chokladfabrik	40-60
El-industri	50-70
Filmindustri	50-60
Hotell och restaurang	40
Kylrum	60-80
Ladugårdar	60-80
Samlingslokaler	40
Sjukhus	35
(Intensivvård, operationsrum)	50-55)
Skolor	--
Textilindustri	50-80
Tobaksindustri	40-70
Tryckerier	40-60
Träindustri	40-80

Bland övriga skador kan nämnas sådana som uppkommer genom olämpligt applicerade fönster och fönsterglas. Det kan vara hermetiskt tillslutna glas som monterats så att en köldbrygga uppstått via metallramen och där således kondens uppträder redan vid låg relativ fuktighet. Det kan även vara normala tvåglasfönster enligt svensk standard där luftgapet mellan fönstren blivit normenligt för stort så att kondens och is kan falla ut på ytterglaset insida även om normala tätningmetoder använts mellan karm och båge. För övrigt rekommenderas Statens Råd för Byggnadsforskning utgåvor Bruk - Murning - Putsning (1966) samt programskrift 12 Fukt, byggnadstekniska fuktproblem (1970).

## 2.1 Fuktvandring

Fukttransporten genom en konstruktion kan ske i ångform genom diffusion, effusion, termodiffusion och konvektion samt i vätskeform genom kapillärsugning, osmos, termoosmos, samt genom påverkan av yttre krafter såsom vindtryck och gravitation. Nevander (1968) behandlar utförligt de teoretiska grunderna för fukt och fuktvandring i byggnadskonstruktioner, varför någon redovisning av de ekvationer som beskriver de olika transportsätten ej lämnas i denna rapport.

De manuellt förekommande transportsätten är diffusion, konvektion, gravitation och kapillärsugning, mellan vilka det i praktiken oftast sker en samverkan. Mest dominant torde dock fukt-konvektionen vara.

### 2.1.1 Fuktkonvektion

De tryckdifferenser i och över en byggnads ytterväggar som ger upphov till luftrörelser, uppkommer som regel på grund av vindpåverkan, ventilationssystemets uppbyggnad samt skorstensverkan. Mängden transporterad fukt blir en funktion av skillnaden i totaltryck, koncentrationen av vattenånga i luften samt ytterväggens täthet.

Bortseende från extremt höga byggnader där skorstensverkan kan ge upphov till relativt konstanta över- respektive undertryck kommer de flesta ytterväggskonstruktioner att vara utsatta för en tryckdifferens på grund av vindpåverkan varierande mellan + och - värden. Detta ger väggen möjlighet att torka ut och är förmodligen en av orsakerna till att vissa väggar, utsatta för extrem fuktpåkänning, kan klara sig utan fuktskador.

Det problem som speciellt bör beaktas sammanhänger med den konvektivt burna fukten som i huvudsak varit boven vid de fuktskador som uppstått på senare år.

### 2.1.2 Lufttransport genom vägg

För att hindra påtvingad konvektion över en vägg erfordras god täthet i material och fogar samt vindskydd. Detta kan kompletteras på insidan med ett diffusionsskydd (ångspärr) som också har god lufttäthet.

Tätningproblem uppträder nästan alltid i anslutningspunkten mellan olika byggnadsenheter, exempelvis bjälklag - yttervägg, bärande vägg - fönsterkarm etc.

Även vid genombrytning av yttervägg för el- och vvs-installationer uppstår fogproblem.

De fuktmängder som kan transporteras av konvektionsluft över en fasad är ofta flera gånger större än fukttransport genom diffusion. Detta betyder att stor omsorg erfordras vid tätningar av ytterväggar gränsande mot lokaler med befuktad luft.

Nevander (1968) redovisar transporterade fuktmängder vid konvektion och diffusion. Se TABELL 2.

Tabellen gäller för mellansverige vintertid, i byggnader med befuktad luft, r.f. 50 %, samt ett invändigt övertryck av 5 mm vp. Av det framlagda materialet kan utläsas att den diffunderade fuktmängden är relativt oberoende av sprickor samt att konvektionen börjar dominera vid sprickor större än 0,2 mm.

## 2.2 Kondensation

Även om en god ångspärr finns på insidan och fogarna är av gott utförande uppstår alltid ett visst läckage.

Fuktutfällning kan vid vissa tillfällen emellertid tillåtas om den tages om hand på ett sådant sätt att skador på väggen ej uppstår.

Detta kan ske genom:

Magasinering av kondensat i väntan på uttorkning.

Uttorkning via ventilationsspalt.

Dränering av kondensat och regnvatten.

TABELL 2. Transporterad fuktmängd vid konvektion och diffusion, relativ fuktighet 50 %, inre övertryck 5 mm vp.

Konstruktion	Transporterad kondenserbar fuktmängd ( $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ) $\cdot 10^8$	
	Diffusion	Konvektion
1. Homogen gasbetong, 25 cm	12,8	2,5
2. Murverk av staplad gasbetongstav, 25 cm	12,8	406
3. 50 cm breda gasbetongelement, 25 cm, med sprickor mellan elementen		
sprickvidd 0,2 mm	12,8	11,1
" 1 mm	12,8	920



### 3 BYGGNADENS TRYCKFÖRHÅLLANDE

De faktorer som främst påverkar tryck och tryckdifferenser i, över och omkring en byggnadskropp är:

Vindtryck, skorstensverkan, ventilationssystemets uppbyggnad och drift samt byggnadens "egen funktion".

#### 3.1 Vindtryck

För att kunna bedöma storleksordningen av vindtrycket mot, samt tryckdifferensen över en yttervägg, fordras kunskap om:

Vindhastighet

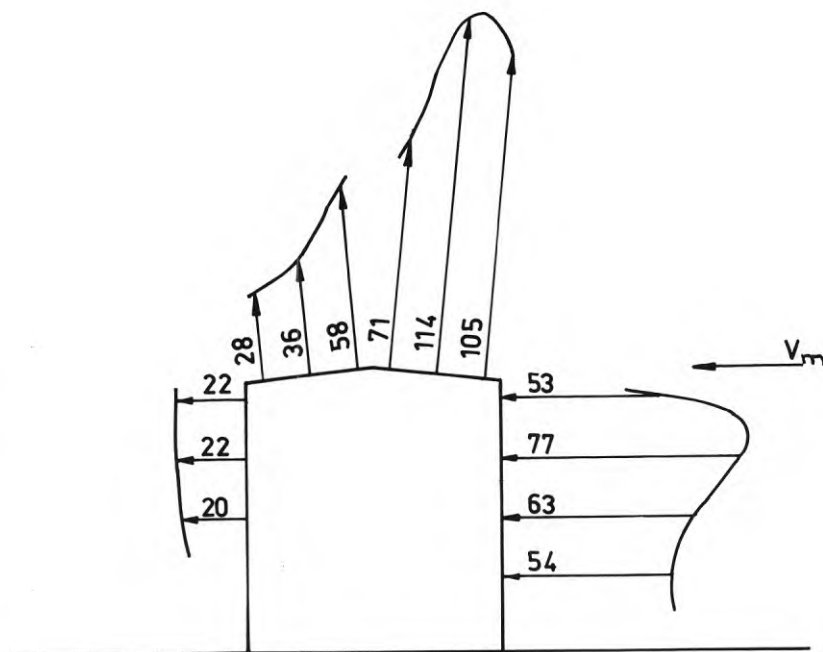
Förhärskande vindriktning

Markens ytråhet (markens beskaffenhet med avseende på kupe-ring, växtlighet m m)

Byggnadens täthet

På grund av ytråhetens inverkan är det svårt att erhålla ett rättvisande resultat vid direkt överföring av mätvärden från ett objekt till ett annat.

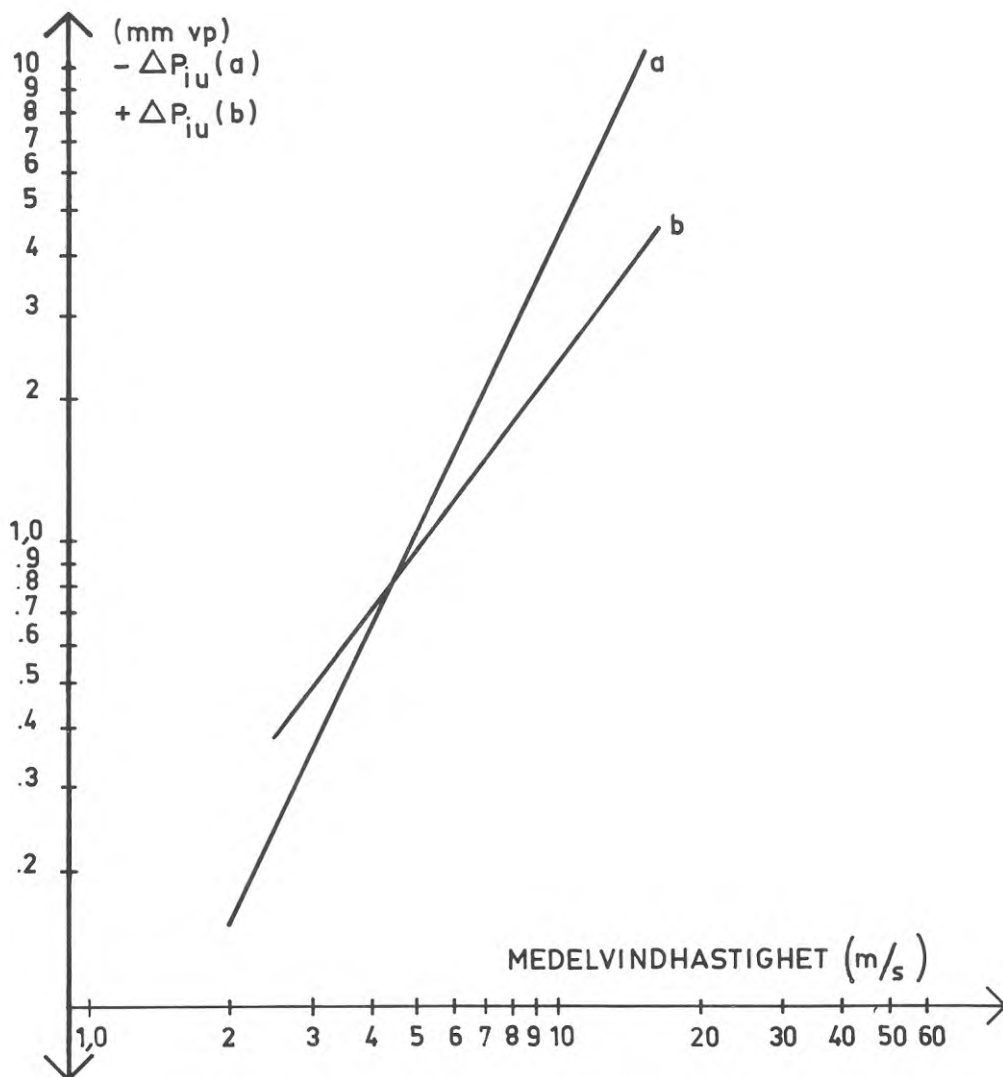
Jensen & Frank (1963) redovisar exempel på tryckfördelningen runt en byggnadskropp, se FIGUR 3.



FIGUR 3. Exempel på vindtryckets fördelning mot en byggnadskropp. Vindtrycket redovisas i procent av fria vindhastighetens dynamiska tryck i höjd mednock.

Tamura (1964) och Andersson (1967) redovisar tryckdifferenser över lovartsfasad, se FIGUR 4. Sambandet mellan medelvindhastighet och tryckfall över lovartsfasad kan vid nämnda undersökningar skrivas  $\Delta P_{iu} = 0.038 v_m^2$  (mm vp).

FIGUR 4 redovisar även tryckdifferensen över läfasad vid sned anblåsning. Av de redovisade kurvorna framgår att vid en medelvindhastighet av 5 m/s blir tryckdifferensen över lovart- och läfasad ca -1 mm respektive +1 mm.



FIGUR 4. Kurva a visar tryckdifferensen över lovartsfasad vid vinkelrät anblåsning. Kurva b visar tryckdifferensen över läfasad vid sned anblåsning.

### 3.2 Skorstensverkan

Skillnaden mellan ute- och innetemperatur ger upphov till en termisk drivkraft. Är utetemperaturen lägre än temperaturen inne i byggnaden uppstår ett undertryck i de lägst belägna våningsplanen och ett övertryck i de högst belägna. Byggnadssätt med avseende på täthet, rumssamband, våningssamband, ventilationssystemets uppbyggnad etc bestämmer läget på den nivå där det inte förekommer någon tryckdifferens mellan in- och utsida, så kallad noll-zon.

Den termiska drivkraften kan uttryckas med ekvationen:

$$P = h \cdot \gamma_1 \cdot \frac{(T_1 - T_2)}{T_2} \cdot (\text{mm vp})$$

Vid en inomhustemperatur av +20°C och med nedanstående utomhustemperaturer blir drivkraften P.

$t_u$	P	
+10	0,043 · h	h = verksam hushöjd
±0	0,089 · h	
-10	0,138 · h	
-20	0,191 · h	

### 3.3 Ventilationssystemets utformning

Den principiella utformningen av ventilationssystemet kan vara av stor betydelse för funktionen. Rydberg (1970) redovisar hur den termiska drivkraften kommer att inverka på tillgängligt fläktryck beroende på fläktplacering, trumdragning etc. Även betydelsen av en fullgod inreglering av ventilationssystemet behandlas. För att anläggningen skall fungera fordras dessutom att drift, skötsel samt underhåll ej blir eftersatta, något som dessvärre är mycket vanligt förekommande.

### 3.4 Byggnadens egen funktion

Varje byggnadskropp fungerar med utgångspunkt från sina egna förutsättningar, exempelvis ett höghus avsett att tjänstgöra som kontor. Byggnaden får sin egen puls. Människor anländer, dörrar öppnas och stängs. Installationer utnyttjas mer eller mindre kontinuerligt. Driftinstruktioner för byggnaden söker skapa en viss stabilitet. Hela denna egenfunktion reglerar till stor del byggnadens inomhusklimat relativt oberoende av de ofta dyrbara reglersystem som inte kan utnyttjas fullständigt på grund av "kortslutningseffekter" som inte helt kan styras eller förutses. Med kortslutningseffekter avses tryckutjämnings-effekter av typ fönstervädning.

## 4 MÄTNINGAR AV TRYCKDIFFERENSER OCH LUFTTILLSTÅND

### 4.1 Mätmetodik, utrustning

Val av mätobjekt.

Valet av mätobjekt har i huvudsak skett i syfte att kunna undersöka rumssambandens betydelse, främst med tanke på hiss- och trappschaktens förbindelse med korridorer och rumsenheter belägna vid yttervägg. Även möjligheten att via ventilations-systemet styra tryckförhållandena har varit av betydelse vid urvalet, likaså möjligheten till jämförelse med tidigare utförda undersökningar.

Tryckdifferensmätningar har utförts på följande byggnader:

- a. 28-våningar högt kontorshus med avskärmade hiss- och trappschakt.
- b. 15-våningar högt kontorshus med avskärmade hiss- och trappschakt.
- c. 10-våningar högt kontorshus med fri förbindelse från våningarna till hiss- och trappschakt.
- d. Industribyggnad med avskärmd förbindelse mellan uteluften och verkstadslokalen.
- e. Simhall.

Tryckmätning.

Differenstryck över fasad har registrerats med en JRD-mikromanometer typ MDC, mätområde  $\pm 5,0$  mm vp. Tryckförhållandena har registrerats var tjugonde sekund med en fallbygelskrivare och erhållits som prickdiagram.

Varje mätperiod omfattar 1-3 dygn.

Mätningar över fasad har utförts med 4 mm kopparrör, som stuckits genom yttervägg och mynnade vid fasad. Röret var medelst plastslang förbundet med mätinstrumentet.

Vindmätning.

Underlag för vindhastighet och vindriktning har framtagits via SMHI's dagligen utgivna väderbulletin.

Temperatur- och luftfuktighet

Ute- och innetemperatur har uppmätts samt i en del fall även luftfuktighet.

### 4.2 Mätresultat

#### 4.2.1 Kontorshus, 28 våningar

Inledning.

Hiss- och trappschakt är placerade mitt i byggnadskroppen och är med branddörrar väl avgränsade från de korridorer som betjänar vid yttervägg liggande rumsenheter. Tilluften tages in i översta planet, filtreras, värmes, befuktas samt ledes via kanaler ned till respektive våningszon. Varje zon omfattar 3-4 våningsplan. Frånluften ledes på motsvarande sätt ned till ett garage beläget i nedersta planet, evakuerat via separata frånluftsfläktar.

Tryckdifferensmätningarna har utförts med fläktarna för WC och motsvarande utrymmen tillslagna. Detta frånluftsflöde utgör ca 30 % av totala frånluftsflödet. Vid 1/1-fart ger tilluftsfläktarna ca 100 000 m<sup>3</sup>/h, vid 1/2-fart ca 60 000 m<sup>3</sup>/h. Motsvarande värden för frånluftsfläktarna är vid 1/1-fart ca 65 000 m<sup>3</sup>/h och vid 1/2-fart ca 35 000 m<sup>3</sup>/h.

Vid avstängd frånluft erhålles vid 1/1-fart ett tilluftsflöde på ca 80 000 m<sup>3</sup>/h.

Den tillgängliga drivkraften (P) som återstår efter reduktion med hänsyn till termisk drivkraft kan skrivas:

$$P = P_t + P_f - (T_t + T_f)$$

Luftflödet kommer således, bortsett från vindens inverkan, att vara beroende av den termiska drivkraften. Reduktionen i flöde kommer teoretiskt att vara lika för alla våningsplan beroende på att summa transportsträckor är lika för alla planen. Eftersom mätningarna är utförda vid utomhustemperaturer varierande mellan +10 och -20° samt vid en inomhustemperatur av ca +23° kommer den termiska drivkraften att variera enligt nedan.

Hushöjden har vid beräkning reducerats till 22 våningar, beroende på den kortslutningseffekt som erhålles via entréhallen i plan 5.

$$T_{(t+f)0^{\circ}} \quad \text{ca } 6,5 \text{ mm vp}$$

$$T_{(t+f)-20^{\circ}} \quad \text{ca } 12,5 \text{ mm vp}$$

Medelvindhastigheten har under försöken varierat mellan

$$v_m \quad 0-7 \text{ m/s}; \quad \text{maxhastigheten } v_{\max} \quad 12 \text{ m/s}$$

Redovisning.

I FIGUR 5 redovisas tryckdifferensen över yttervägg i respektive våningsplan. Tryckdifferensen är uppmätt vid sex specifika inställningar av fläktsystemet. Från stängd tilluftsfläkt och öppen frånluftsfläkt till öppen tilluftsfläkt och stängd frånluftsfläkt. Av figuren framgår att kurvformen för de skilda fläktingställningarna sinsemellan överensstämmer medan kurvbreddens ökar med ökat övertryck. Den beräknade termiska drivkraften vid en utomhustemperatur av -10° blir ca 9 mm vp. Vid balanserad ventilation blir den uppmätta kraften dock endast ca 2 mm vp. Detta beror huvudsakligen på kortslutningseffekten och väl avgränsade hiss- och trappschakt.

Obs. Tryckdifferensen registrerad vid stängda fönster och dörrar.

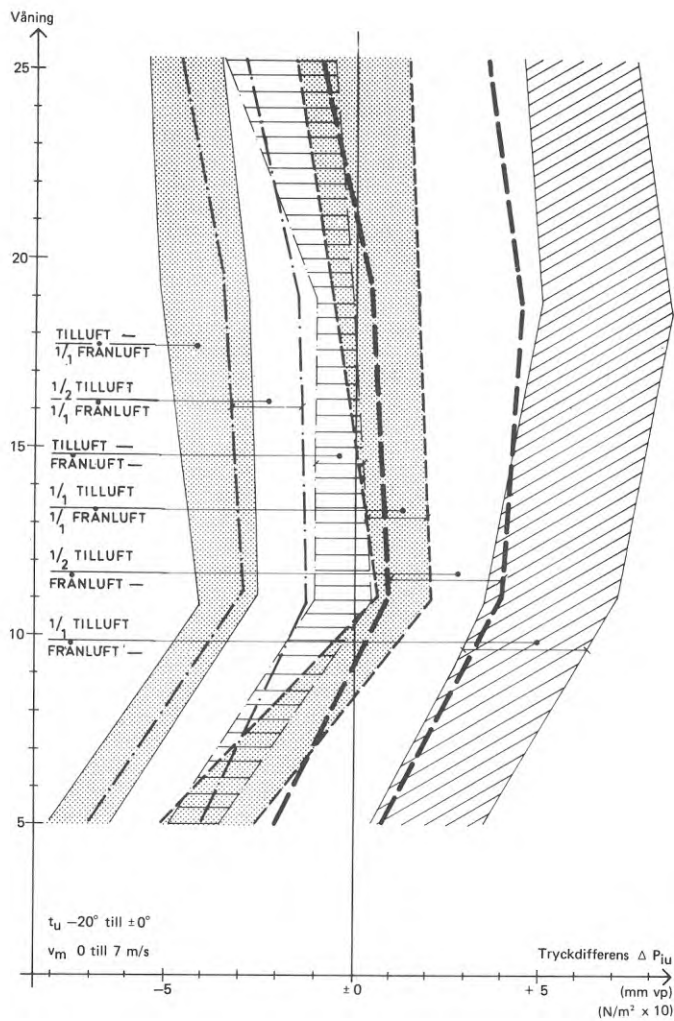
Orsaken till kurvans utsträckning redovisas i FIGUR 6.

Faktorer som påverkar  $\Delta P_{iu}$ .

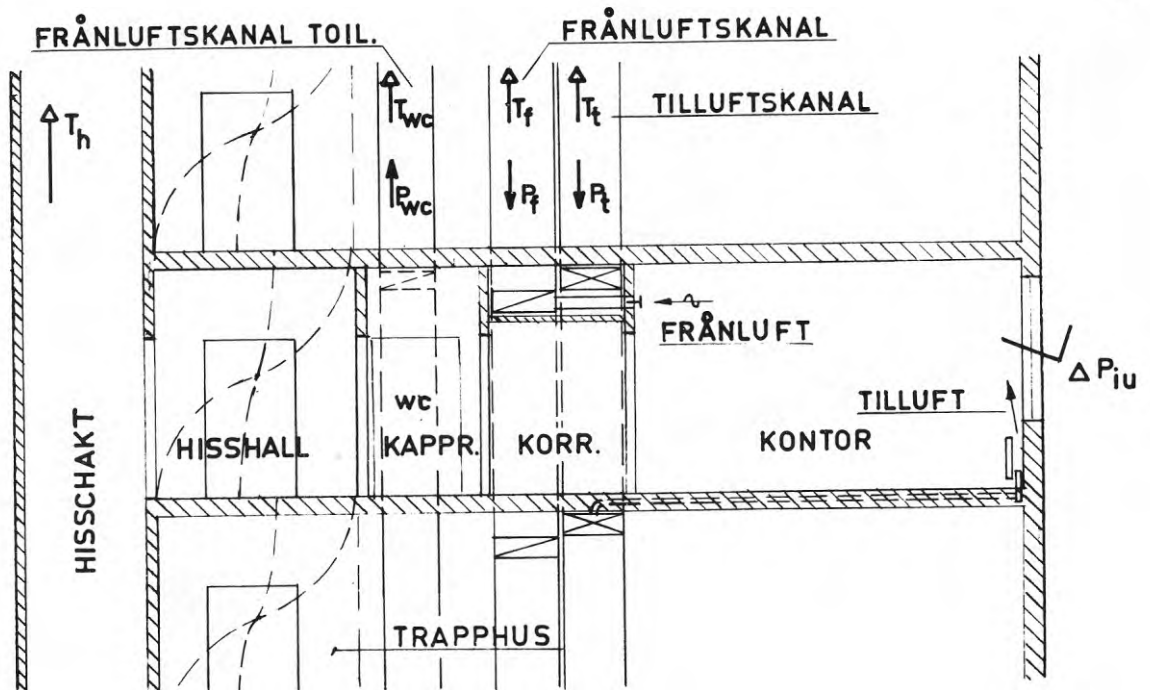
$$\text{Fall a) för längst ned liggande kontorsrum} \\ \Delta P_{iu}^f (P_t \cdot P_f \cdot P_{wc} \cdot T_t \cdot T_f \cdot T_{wc} \cdot T_h);$$

I detta fall (vån 5) behöver hänsyn inte tagas till  $T_f$ ; vidare balanserar  $P_t$  och  $P_f + P_{wc}$  varandra varför  $\Delta P_{iu}$  huvudsakligen blir en funktion av  $T_t$ ,  $T_{wc}$ ,  $T_h$ , vilka alla ger upphov till ett undertryck i detta våningsplan.

Hisschaktet mynnar i entréhallen som har ringa avgränsning mot kringliggande rumsenheter. Detta torde vara huvudorsaken till det utbildade undertrycket i detta plan.



FIGUR 5. Tryckdifferensen i olika våningar över yttervägg vid varierande fläkt- och spjällinställningar samt varierande utomhusklimat.



FIGUR 6. Ventilationssystemets uppbyggnad, kontorhus 28 våningar.

Fall b) för högst upp liggande kontorsrum

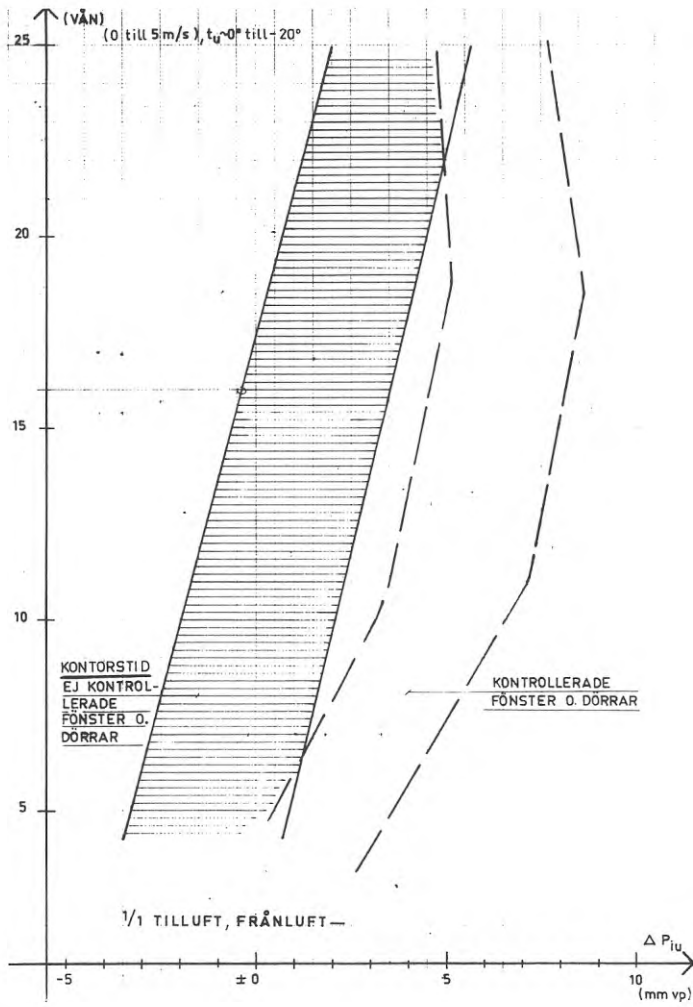
$$\Delta P_{iu} \propto (P_t \cdot P_f \cdot P_{wc} \cdot T_t \cdot T_f \cdot T_{wc} \cdot T_h);$$

Även i detta fall balanserar  $P_t$  och  $P_f + P_{wc}$  varandra och dessutom närmar sig  $T_t$  och  $T_{wc}$  noll varför  $\Delta P_{iu}$  huvudsakligen blir en funktion av  $T_f + T_h$ .

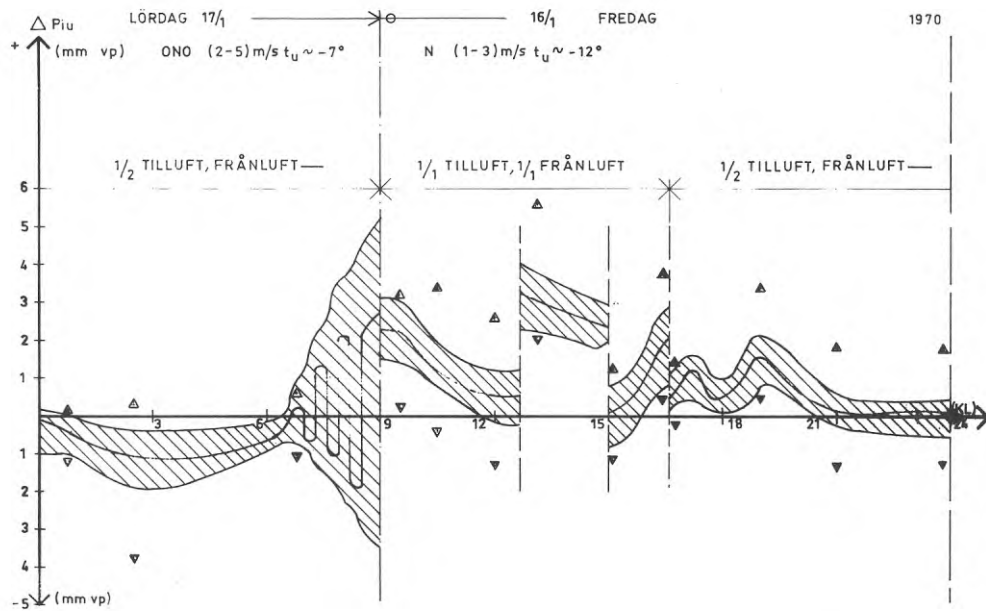
Trappschaktet är väl avgränsat mot aktuella rumsenheter. Detta gäller även flertalet över våning 5 liggande plan. Under förutsättning att  $T \sim 0$  blir således inverkan från skorstenverkan relativt ringa i dessa plan. Tendensen till lägre differensstryck i de översta planen härrör förmodligen från skillnaden i instrykning mellan de skilda våningarna.

Något påtagligt samband mellan vindriktning, hastighet och temperaturdifferens i relation till differensstryck är svårt att finna. Eventuellt kan detta samband spåras hos extremvärdena. Svårigheten att finna överensstämmelse härrör förmodligen från lokal vindkantring, turbulensfenomen samt diverse kortslutningseffekter. Jämförelse med uppmätta värden hos J Rydberg (1968) ger relativt god överensstämmelse.

Av FIGUR 7 framgår hur tryckfördelningen varierar under kontorstid, det vill säga när sannolikheten för kortslutningseffekter i form av öppna fönster och dörrar är störst. Undertryck kan även vid full tilluft och avslagen frånluftsfläkt erhållas i våning 16.



FIGUR 7. Tryckdifferensen över yttervägg under kontorstid.



FIGUR 8. Tryckdifferensens variationer i vån 25, lovartfasad.



Av FIGUR 8 framgår hur  $\Delta P_{iu}$  varierar mellan kl 9-15 för att sedan stiga omkring kl 16. Arbetet i huset avslutas omkring kl 16.30. Omkring kl 15.30 börjar en successiv tryckökning beroende på att fönster börjar stängas. Denna effekt uppstod dagligen vid ovanstående tid under hela den period på två månader som försöken varade.

Från kl 16.30 köres tilluftsfläktarna på halvfart som också framgår av figuren. Omkring midnatt ökar vindtrycket och ett undertryck uppstår i de kontorsrum som vätter mot lovart.

Omkring kl 6.00 sker en omställning av fläktarna till hel-fart och nästan samtidigt visar sig de kortslutningseffekter som uppstår när personalen anländer.

FIGUR 9 visar hur trycket varierar under lördag och söndag. I detta fall finns det inte någon tendens till kortslutningseffekter, utan  $\Delta P_{iu}$  påverkas endast av vinden. Lagg märke till hur undertrycket, ca -1 mm vp, övergår till ett övertryck, ca +1 mm vp, samtidigt med vindvridningen.

En tryckstegring på ca 3 mm vp uppstod ofta under försöken mellan kl 03.00 och kl 06.00 i de övre våningsplanen. Någon förklaring till detta har ej kunnat erhållas, se FIGUR 10.

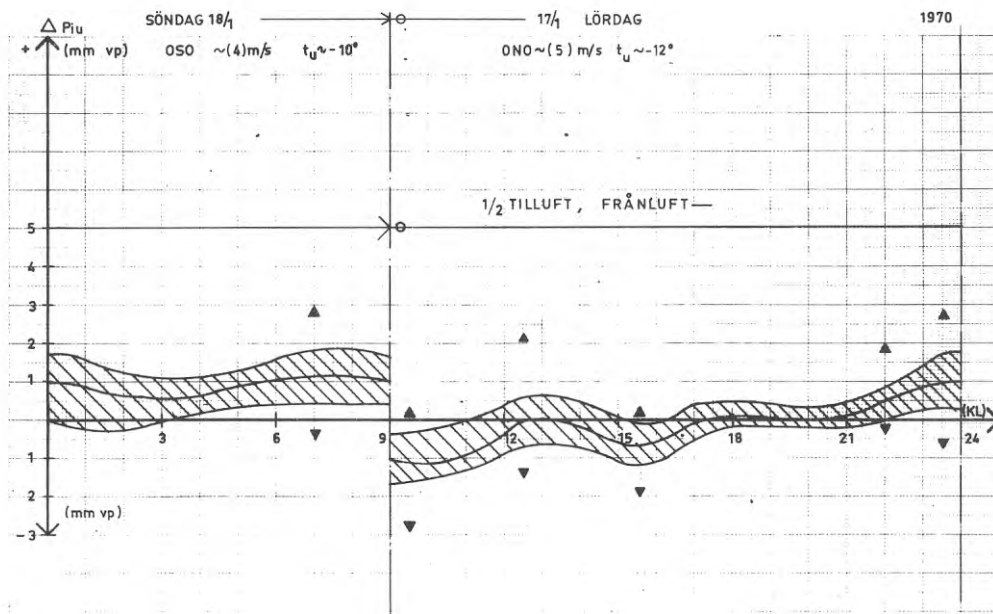
FIGUR 11 visar hur  $\Delta P_{iu}$  vid full tilluft och avslagen frånluft minskar ned till ca +1 mm vp vid  $T_u -20^\circ$  för att sedan inom loppet av en halvtimme uppnå +6 mm vp. Det är tydligt att fönsteröppning sker i övre halvan av byggnaden oberoende av utomhustemperatur, dock med hänsyn till vindriktning och vindhastighet. Antalet öppna fönster torde dock endast vara ca 1 % eller mindre jämfört med hela antalet.

Omkring kl 07.00 skapas ett övertryck på ca 8-9 mm vp i våning 19, för att sedan variera mellan 1 och 3 mm vp i och med att arbetsdagen börjar.

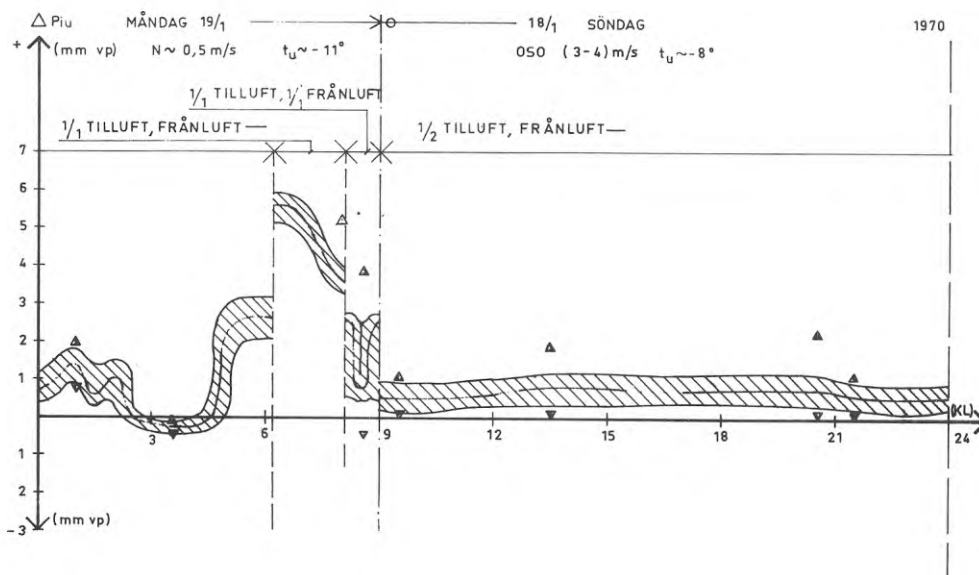
FIGUR 12 visar att man med balanserad ventilation kan skapa ett svagt övertryck i detta våningsplan.

FIGUR 13 visar att även om full tilluft inkopplas ger kortslutningseffekten upphov till påtagliga undertryck. Lagg märke till hur städningen mellan kl 20.00 - 24.00 påverkar tryckfördelningen. Kl 07.00 kan ett övertryck på ca 2 mm vp byggas upp. Detta övertryck reduceras dock snabbt när arbetsdagen börjar.

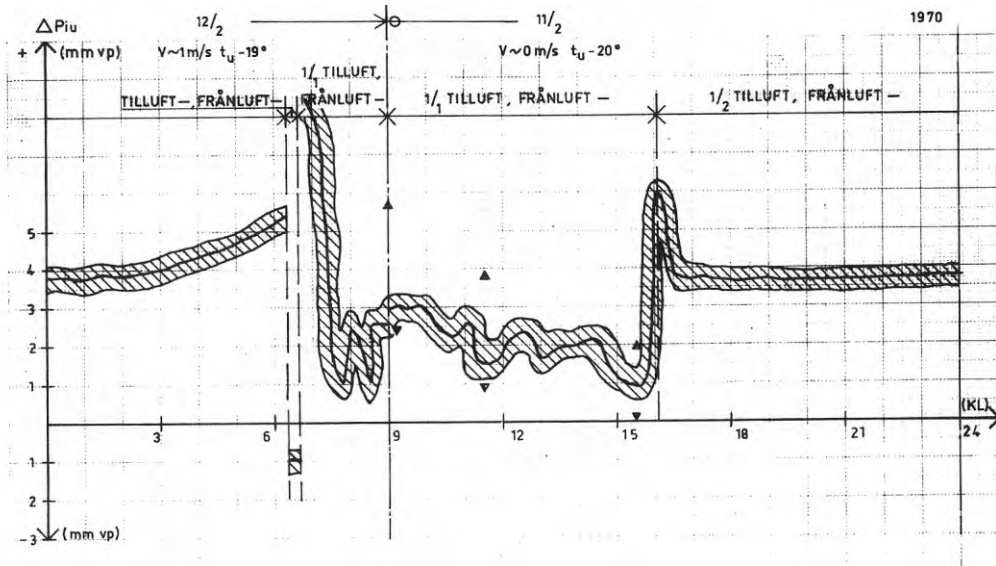
FIGUR 14 visar att vid låg utomhustemperatur och balanserad ventilation erhålles under dagtid ett undertryck i detta våningsplan på ca -3 mm vp. Detta ger upphov till att avsevärda mängder kall luft intränger, framförallt via otäta fönster, med klagomål som följd.



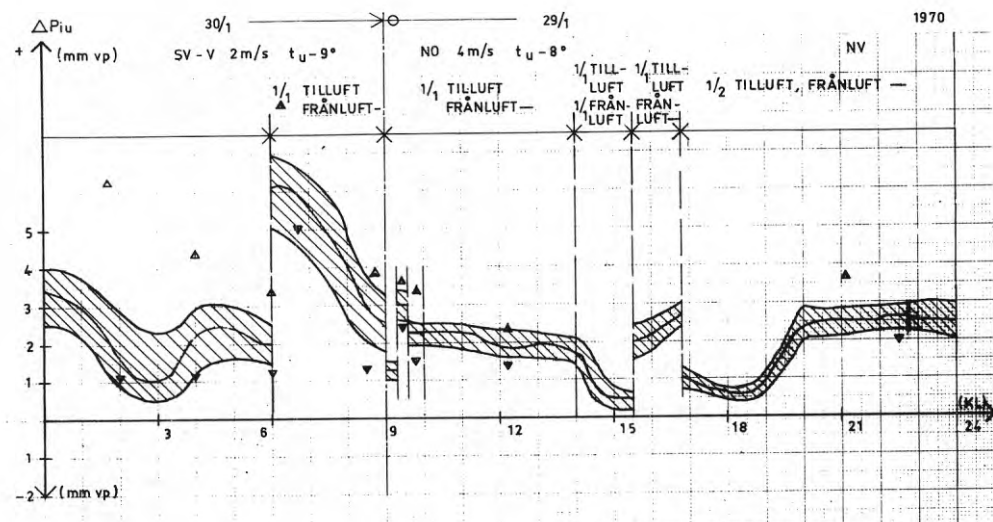
FIGUR 9. Tryckdifferensens variationer i vån 25, nordfasad, under lördag - söndag.



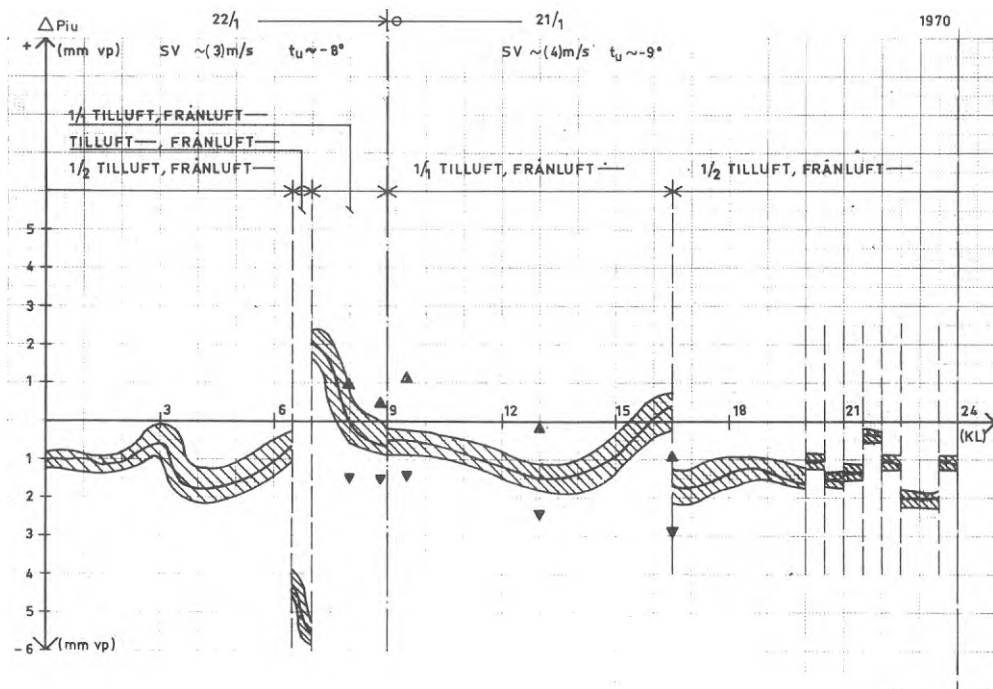
FIGUR 10. Tryckdifferensens variationer i vån 25, nordfasad, under söndag - måndag.



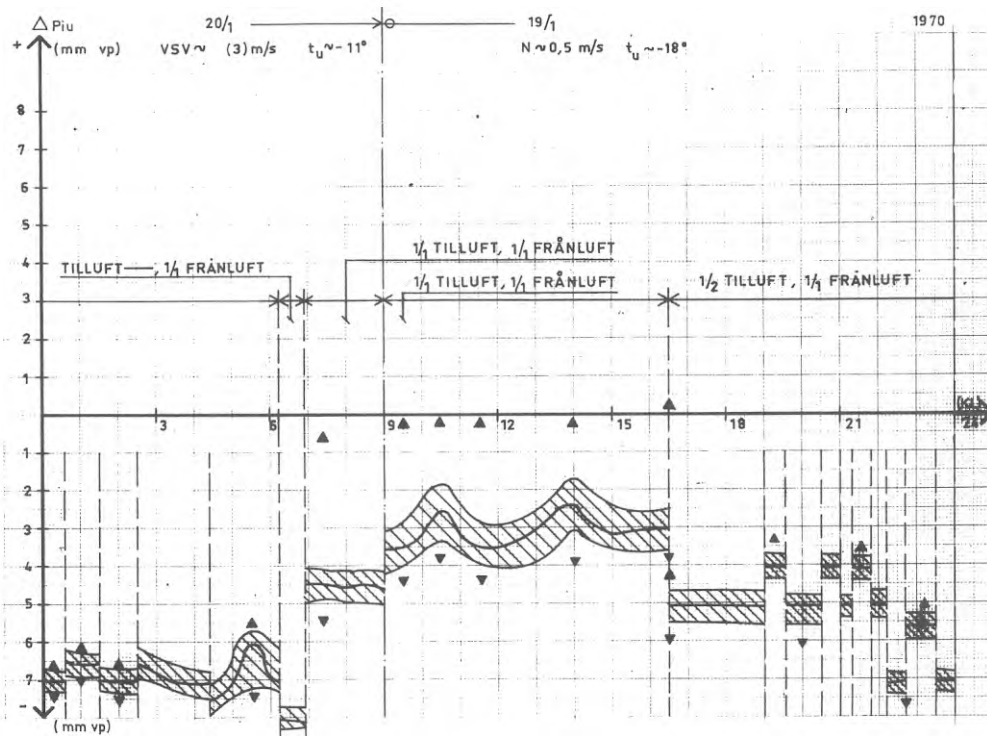
FIGUR 11. Tryckdifferensens variationer i vån 19, ostfasad.



FIGUR 12. Tryckdifferensens variationer i vån 11, sydfasad.



FIGUR 13. Tryckdifferensens variationer i vån 5, ostfasad.



FIGUR 14. Tryckdifferensens variationer i vån 5, nordfasad.

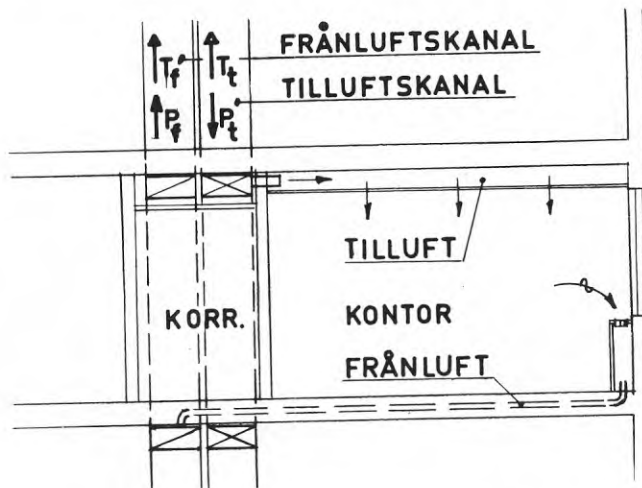
#### 4.2.2 Kontorshus, 15 våningar

##### Inledning.

Mätningarna har utförts i ett 15 våningars kontorshus bestående av en höghusdel och en låghusdel på 4 våningar. Trappschakten är avgränsade mot varje våningsplan medan hisschakten har direkt förbindelse med de korridorer som förbinder kontorsrummen.

##### Redovisning.

Ventilationssystemets principiella uppbyggnad framgår av FIGUR 15. Byggnaden är försedd med befuktningsaggregat. Den termiska drivkraften i till- och frånluftskanalerna kommer teoretiskt att elimineras på grund av att en viss balans uppstår mellan kanalerna.



FIGUR 15. Ventilationssystemets principiella uppbyggnad. Kontorshus 15 våningar.

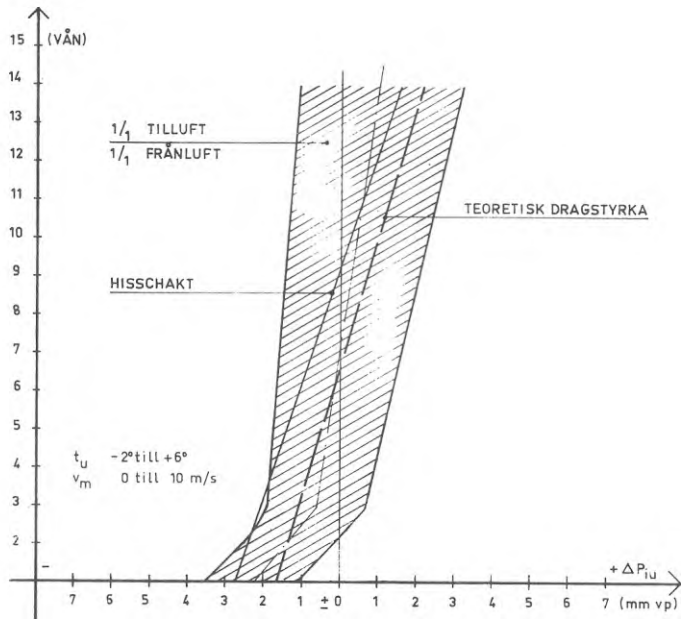
Av FIGUR 16 framgår att tryckdifferensen i alla våningsplan utom 1 tr vid normal vindstyrka ligger väl samlad kring en noll-zon oberoende av våningshöjd. Detta verifieras även av att uppmätt relativ fuktighet samt inomhustemperatur väl överensstämmer mellan de skilda våningsplanen. Periodiska över- respektive undertryck i de nedersta planen respektive de översta planen relativt hisschaktet har uppmätts. Storleksordningen är här ca +0,5 respektive  $\pm 0$  vid stillastående hiss, samt +1,5 till +3,5 respektive -1,5 till -2 mm vp vid hiss i rörelse. Hissmaskinrummet är via ett ytterväggsgaller förbundet med uteluften. Vid kraftiga vindstyrkor kunde sådana undertryck uppstå att hissörrarna i vissa våningar fastnade.

Någon inverkan av hisschakt och trappschakt på  $\Delta P_{iu}$  har inte kunnat konstateras. De faktorer som påverkar tryckdifferensen över fasad är uteslutande fläktsystem och vindtryck.

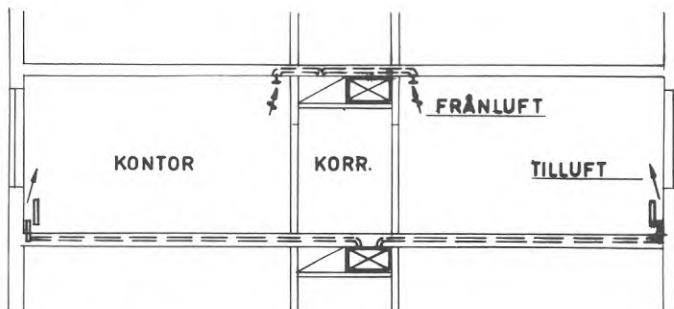
#### 4.2.3 Kontorshus, 9 våningar

##### Inledning.

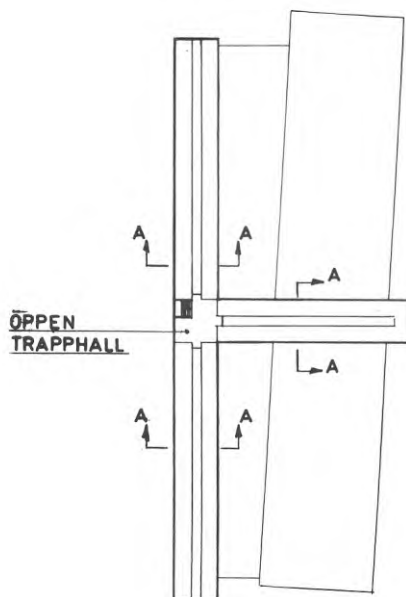
Byggnaden består av 9 våningar och är utförd i T-form med det öppna trappschaktet beläget i skänklarnas skärningspunkt. Se FIGUR 17. Principen för vent.systemet överensstämmer med tidigare redovisat 28 våningars kontorshus. Filtreerad, för-



FIGUR 16. Tryckdifferensen över yttervägg vid balanserad ventilation samt varierande utomhusklimat. Kontorshus 15 våning.



SEKTION A-A  
PRINCILOSNING AV VENTILATIONSSYSTEM



PLANSKISS AV KORRIDORSYSTEM

FIGUR 17. Planskiss, gällande kontorshus 9 våningar.

värmd och befuktad luft tages in i översta planet samt ledes ned till respektive våning. Frånluften ledes nedåt till garage belägna i nedersta planen. Byggnaden är inte zon-indelad med avseende på kanalsystemet utan ett vertikalt schakt betjänar alla våningsplan. WC-frånluften har varit tillslagen under hela mätperioden. Den termiska drivkraften i kanalerna kommer teoretiskt att påverka varje plan lika eftersom transportsträckan är lika.

Den termiska drivkraften  $T$  blir vid en inomhustemperatur av  $+20^{\circ}$  och nedanstående utomhustemperaturer

$t_u$	$T$
$+0^{\circ}$	+2,4 mm vp
$-10^{\circ}$	+3,7 mm vp
$-20^{\circ}$	+5,1 mm vp

I enlighet med vad som redovisats under "kontorshus 28 våningar" blir de krafter som påverkar  $\Delta P_{i,u}$  i de översta våningsplanen huvudsakligen  $T_{tr}+T_h+T_f$ . Skorstensverkan i trappschakten skapar via öppen förbindelse med korridorerna ett övertryck i de översta planen vilket yttrar sig i form av kondensutfall och is på det yttre fönsterglasets insida, se FIGUR 18.

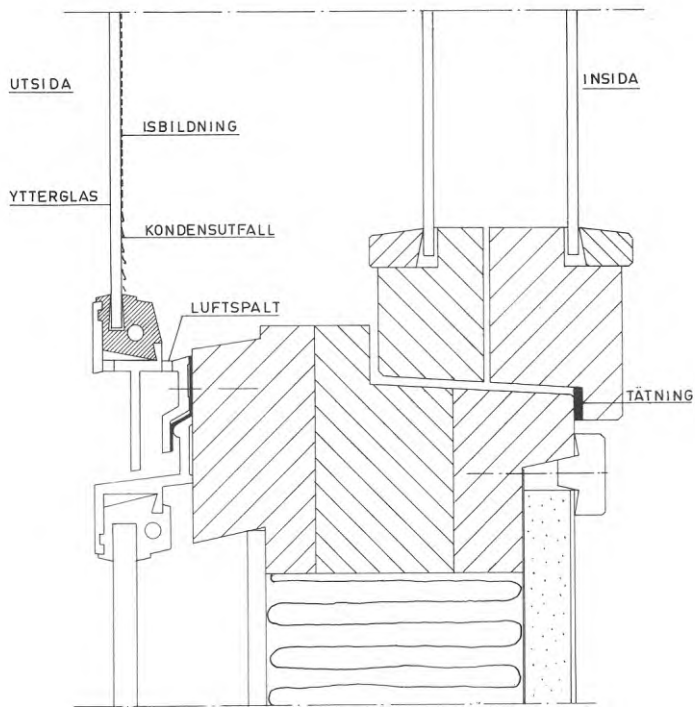
Redovisning.

Av FIGUR 19 framgår tydligt hur ett undertryck utbildar sig i rumsenheter på lovartsidan, våning 7, och även hur tryckdifferensen varierar med ökad vindhastighet. På läsidan uppstår isbildning på ytterglaset i våningarna 7-4. Någon möjlighet att kompensera övertrycket på läsidan genom ändrad fläktinställning föreligger inte.

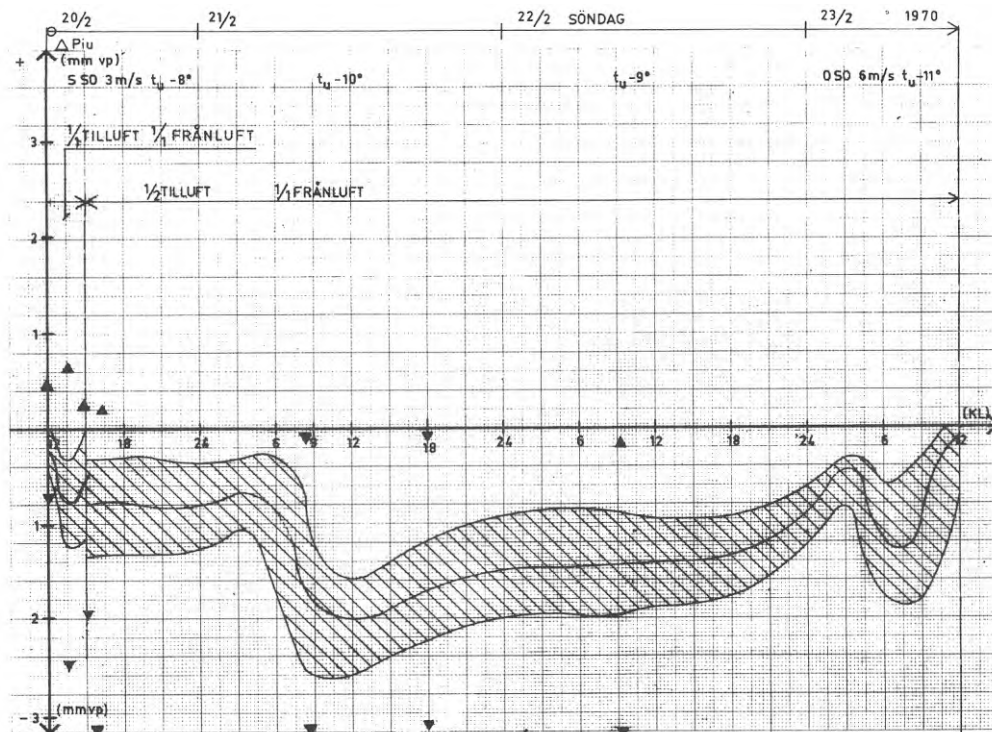
Av FIGUR 20 framgår hur tryckförhållandena varierar vid låg vindhastighet och stängda dörrar till trappschakt. Att tryckdifferensen kontinuerligt pendlar kring  $\pm 0$  beror på att några fönster alltid öppnas under dagtid även om utetemperaturen är nere i  $-14^{\circ}$ . Ett svagt undertryck skapas nattetid när de flesta fönster har stängts. När dörrarna till trappschakten öppnas skapas ett övertryck på ca 1-1,5 mm vp. Utfällning av fukt i väggar och fönster har förekommit i byggnaden, i hög grad beroende på detta övertryck. Under mätperioden hölls dessa dörrar i möjligaste mån stängda.

Av FIGUR 21 framgår hur tryckdifferensen varierar vid låg vindhastighet när någon kontroll på trappschaktet inte finns. Med halv tilluft och hel frånluft och stängda dörrar tycks skorstensverkan i trappschaktet kunna klaras även om utetemperaturen är ca  $-20^{\circ}$ .

Av FIGUR 22 framgår hur undertrycket förstärks på lovartsidan, våning 3 tr, för att närma sig noll när tilluften ökar från halv- till helfart. Vid stängda dörrar till trappschakt utbildas ett svagt övertryck.

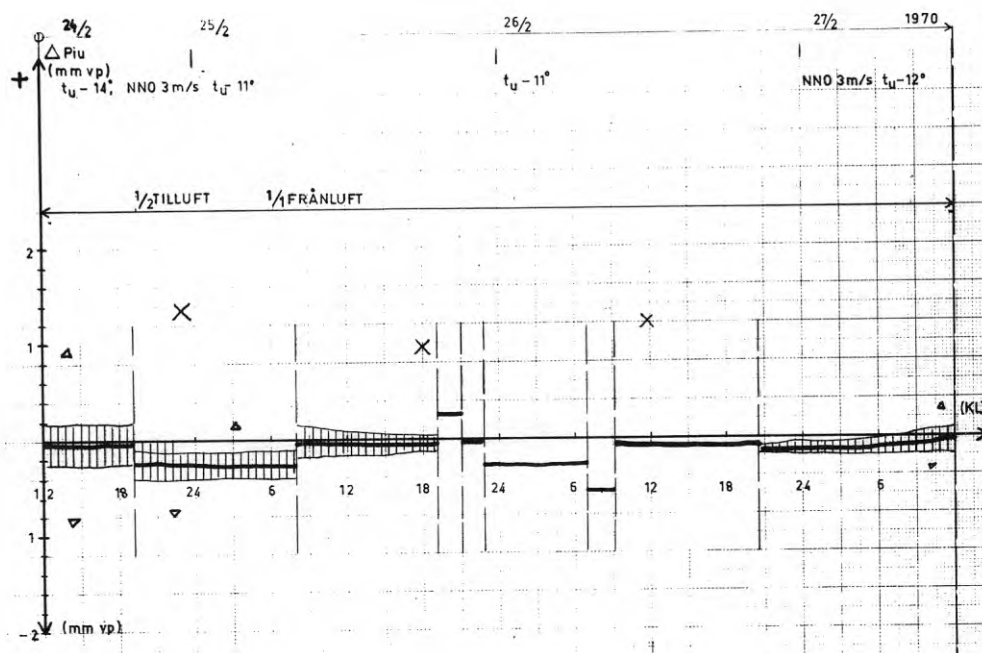


FIGUR 18. Sektioner genom fönster vid yttervägg där isbildning och kondensutfall förekommit.

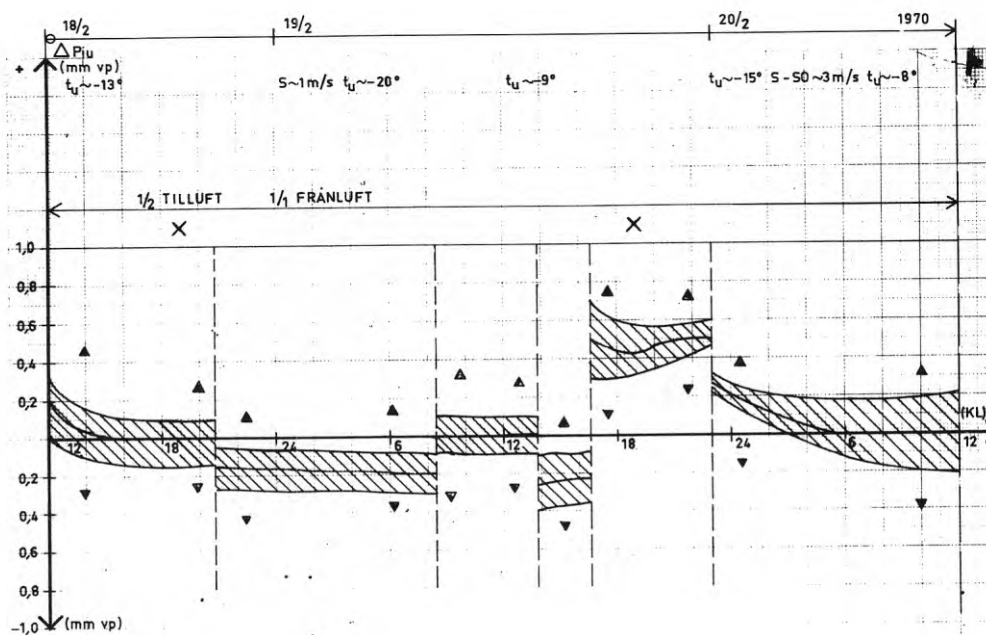


FIGUR 19. Tryckdifferensens variation i vån 7, ostfasad, vid 1/2 tilluft 1/1 frånluft. Kontorshus 9 våningar.

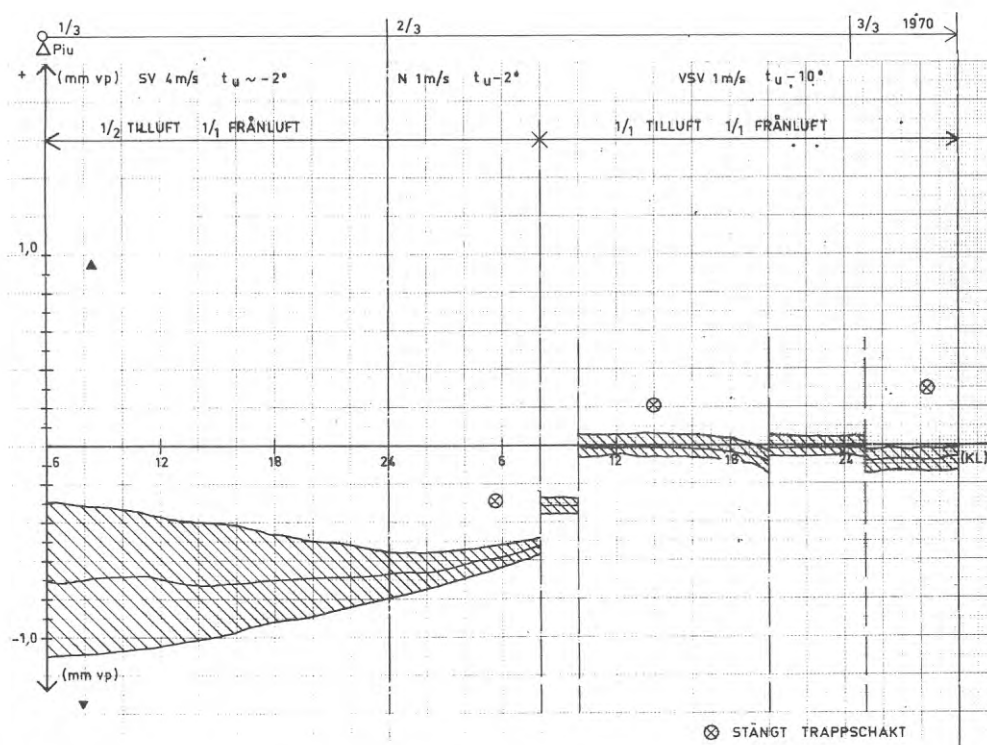




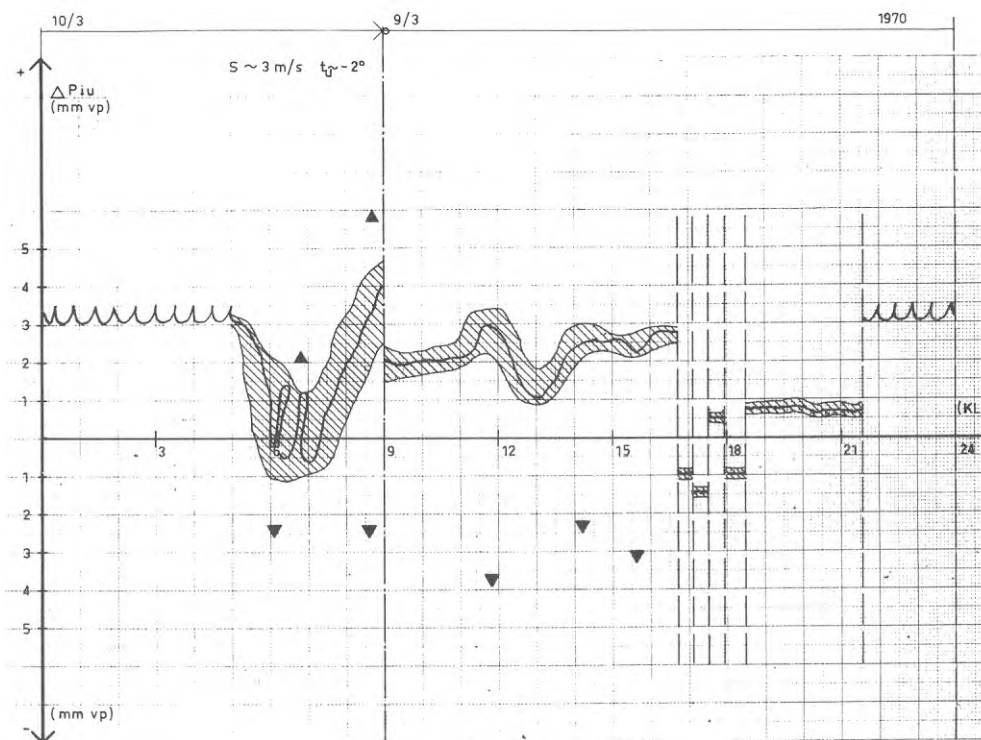
FIGUR 20. Tryckdifferensens variation i vån 7, ostfasad.  
X=Dörrarna mellan korridor och trappschakt öppna.



FIGUR 21. Tryckdifferensens variation i vån 7, ostfasad,  
vid ringa kontroll över fönster och dörrar.  
X=Dörrarna mellan korridor och trappschakt öppna.



FIGUR 22. Tryckdifferensens variation i vån 3, västfasad, vid ringa kontroll över fönster och dörrar.  $\otimes$  = Dörrarna mellan korridor och trappschakt stängda.



FIGUR 23. Tryckdifferens över lovartfasad i tobaksfabrik.

#### 4.2.4 Övrigt

Tryckdifferenser för lokaler med hög relativ fuktighet har studerats. Som försöksobjekt har valts dels en tobaksfabrik ( $t_i = 23^\circ$ , RH = 70 %), dels en simhall ( $t_i = 25^\circ$ , RH = 40-45 %).

##### Tobaksfabrik.

I denna byggnad tillföres befuktad luft fabrikslokalen där efterbefuktning sker. Frånluftskanalen är via en återluftskanal förbunden med tilluftskanalen och inblandningen sker automatiskt via ett reglerspjäll. För att relativa fuktigheten inom hela lokalen skall kunna hållas konstant, med mycket små toleranser, är anläggningen inreglerad för att ge ett övertryck  $\Delta P_{i,u}$  av 1 - 3 mm vp.

Av FIGUR 23 framgår att detta övertryck i stort kan bibehållas. De variationer i tryckdifferensen som uppmätts och som uppkommit via vindtryck är här av ringa intresse eftersom vägarna är väl utförda med fullgoda fuktspärrar samt fönstren fasta och med inblåsning av torr värmd luft mellan glasen. De påtagliga språng i tryckdifferensen som diagrammet visar här rör från de kortslutningseffekter som uppstår när dörrarna mellan lokalerna av skilda anledningar lämnats öppna och då samband mellan lokal och uteluft uppstått. De mindre trycksvängningar som kontinuerligt registrerats beror på att svängningar i regleringen av återluftsspjället har givit förändringar av tilluftsflödet.

Att man i denna lokal har erhållit fullgod tryckstabilitet beror på en väl genomtänkt samplanering av byggnadens konstruktion, rumssamband samt ventilationstekniska utformning och apparater.

##### Simhall.

Mätningarna har utförts i en simhall väl avgränsad från uteluften via slussar.

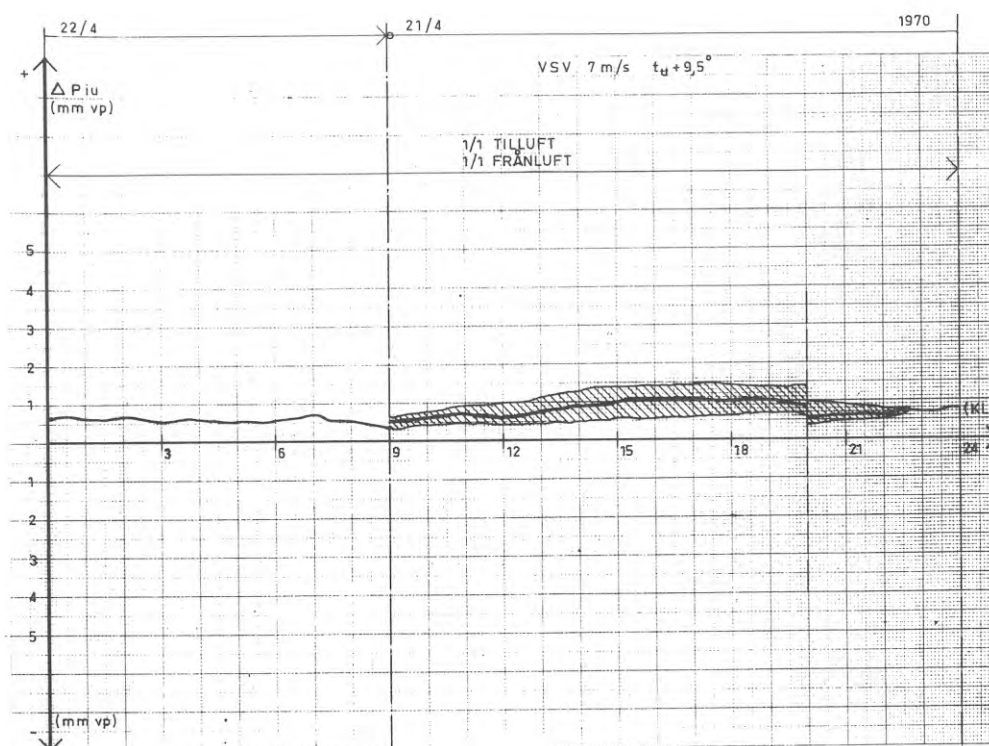
Av FIGUR 24 framgår att ett övertryck under hela mätperioden upprätthållits i hallen. Detta är visserligen fördelaktigt på så vis att det minskar tendensen till drag från entréer och fönster, men med tanke på den ökade fuktbelastning som byggnaden utsätts för borde inreglering av fläktarna utföras så att en reduktion av övertrycket erhålles.

#### 4.3 Sammanfattning

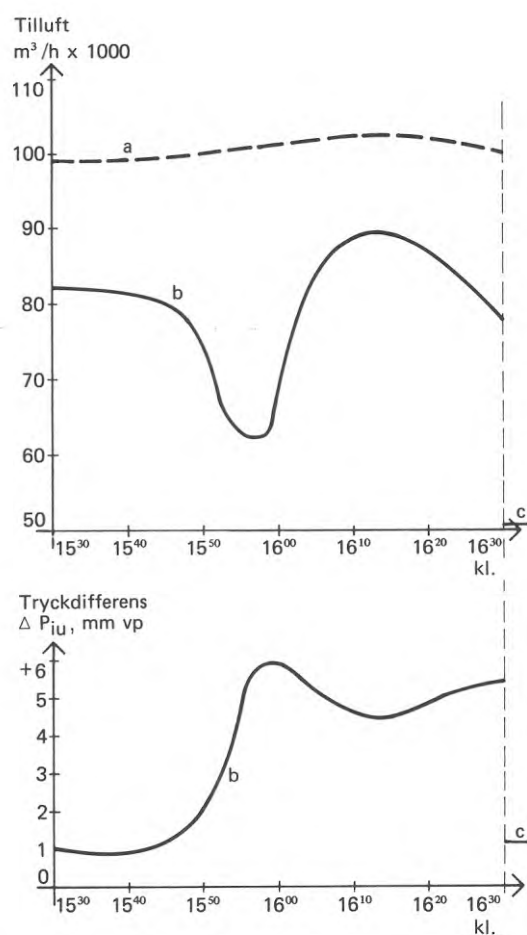
Undersökningen visar att en ingående och samordnad analys av de skilda variablerna erfordras för att en godtagbar tryckfördelning skall kunna uppnås.

Nedanstående faktorer bör beaktas:

1. Öppna trappschakt med direktförbindelse till korridorer med därtill anslutna rumsenheter bör endast användas i låga byggnader, upp till 3 å 4 våningar.



FIGUR 24. Tryckdifferens över läfasad i simhall. Slussförbindelse mellan inom- och utomhusklimat.



Fläktinställningar:

- a = 1/1 tilluft, 1/1 frånluft
- b = 1/1 tilluft, frånluft -
- c = 1/2 tilluft, frånluft -

FIGUR 25. Variationer hos tilluftsflöde och  $\Delta p_{iu}$  i samband med arbetets slut. Kontorshus 28 våningar, vintertid.

2. Insättes tättslutande dörrar mellan trappschakt och korridorer kan denna planlösning användas i byggnader upp till ca 10 våningar. Se vidare SBN kap 37, brandskydd.
3. Högre byggnader bör utföras med trappschakten avskilda från hissarnas stannplan vilka i sin tur via enkeldörrar eller slussar avskiljas från korridorerna. I höghus bör också ventilationskanalerna uppdelas zonvis.
4. Information och instruktioner ges till alla inom byggnaden kontinuerligt verksamma. Instruktionerna skall klargöra hur fönster och dörrar får användas. Ex. fönster i rum vid yttervägg får bara öppnas under förutsättning att dörr till korridor är stängd.
5. Driftsinstruktioner som klargör hur ventilationsanläggningen skall handhas överlämnas dessutom till byggnadens skötselpersonal.

Undersökningen har visat att det vintertid, speciellt vid sträng kyla, har varit möjligt att radikalt nedsöka frånluftsflödena i ett höghus (28 våningar) för att därigenom skapa ett övertryck inom praktiskt taget hela byggnaden.

I FIGUR 25 redovisas hur tilluft och  $\Delta P_{iu}$  varierar i samband med arbetets slut omkring kl 16.00 vintertid. Av figuren framgår att tilluftsflödet reduceras med ca 20 % vid helt avstängd frånluft. Kapprum och toaletter evakueras kontinuerligt under hela mätperioden. Kontorshuset som har ca 2000 fönster kommer således att under kontorstid erhålla ett övertryck som motverkar kallluftsinnläckning.

En viss fönsteröppning äger tydligen rum under kontorstid vilket framgår av kurvan. Fönstren börjar stängas omkring kl 15.30 varvid övertrycket ökar och tilluftsflödet minskar. Flödet minskar med ca 25 % under en halvtimme för att sedan öka när huset börjar utrymmas.

Denna driftsmetod i kombination med väl avgränsade hiss- och trappschakt har vid måttliga vindstyrkor nästan helt avlägsnat de dragproblem som annars alltid förekommer under vinterhalvåret. Tillförda luftmängder räcker bra ur kvalitetssynpunkt.

Obs! Befuktning endast under kontorstid ger byggnaden möjlighet att torka ut.

## 5 OBJEKTREDOVISNING

Nedanstående objekt har utvalts såsom representativa för byggnation där allvarliga skador uppkommit både med och utan luftbefuktning.

## 5.1 Kontorshus 28 våningar (höjd över mark ca 75 m)

Byggperiod 1955-1960

Bärande konstruktion Platsgjutna pelare och bjälklag. Pelare i yttervägg c/c 1 m.

Klimatmålsättning (ursprunglig) Kontorsklimat 20-22<sup>o</sup> genom balanserat ventilationssystem. Ej befuktning, ej kylning.

## Yttervägg

Utvändig beklädnad Marmorskivor över 2-4 cm luftspalt utanför stomisoleringen. Fästade med rostfria bultar i väggelementens karmar.

Väggdel Våningshöga element mellan pelarna i profilerade Al-ramar med fabriksmonterade fönster och isoleringsplattor av 5 cm lättbetong.

Fönsterbröstning Utvändigt emaljerad stålplåt, luftspalt, isolering av 80 mm mineralull. Invändiga eternitskivor.

Fönster 2-glas vertikalpivotfönster med yttre al- och inre träbåge. Satta i liv med marmorfasad.

## Skadebild hösten 1960.

Regnvattenläckage in över fönstrens öppna övre fog och in mellan bågarna på fönsterpersiennerna. Vid regntillfällen anmäldes vattenskador på 100-200 av totalt 2000 fönster. Något bestämt mönster för skadelokaliseringen kunde inte spåras.

## Orsak.

Regnvatten kunde intränga vid tätningslisterna mellan fönstrens ytter- och innerbåge och genom läckor vid gångjärnen på fönstrens översida. Vid vertikalpivotfönster kan effektiv vattenavvisning genom droppnäsor icke åstadkommas.

## Åtgärd.

Fönstertätningarna av ylle och skumplast utbyttes mot en list av PVC-slang med längsgående fläns.

## Resultat.

Husets täthet mot regngenomslag förbättrades avsevärt.

1961 infördes luftbefuktning till ca 40 % RF. Under hösten 1962 började vatten intränga vid övre fönstergångjärnen. Under följande år kunde särskilt under soliga dagar efter kalla nätter iakttagas fuktutfällningar på fasaderna.

Skadebild våren 1964 - våren 1965.

Vattenläckage över fönstergångjärnen kunde sättas i samband med fuktutfällningarna på fasaden. Orsaken var tydligen icke regn. Vid en inspektion av fasaderna på våren 1965 konstaterades att marmorskivorna i fasaden höll på att tryckas ut. En närmare undersökning visade att luftspalten bakom marmorskivorna var full av is och att ca 10 % av fästbultarna för dessa skivor hade lossnat. Några skivor hängde enbart i kittfogarna. Risk för ras.

Orsak.

1. Vid slagregn uppstår ett tryckfall över fasadskivan. Vatten kan då tryckas in i luftspalten, rinna utefter dess insida och intränga i huset via fönstrens överstycken.
2. I husets övre delar, där tryckskillnaden mellan inomhusluften och luftspalten vanligen är störst, kan befuktad innerluft genom otätheter i fogar tryckas ut i luftspalten där den kondenserar och orsakar vattenflöde som vid låga utetemperaturer fryser till is. Vattenflödet passerar de öppna fogarna över fönstren och kan särskilt i husets undre delar sugas in i huset. Isbildningen kan vid viss väderlek växa och fylla luftspalten med lossnande av fästbultarna för fasadskivorna som följd.  
Väggens värmeisoleringskikt hålles således av skilda anledningar och under lång tid av året fuktig, varigenom isoleringsförmågan nedsättes och bränsleåtgången stiger.

Åtgärder. (förutom reparation av marmorfasaden)

I den öppna spalten över fönstren och i motsvarande horisontalfog på pelarbeklädnaden anbringades ett droppbleck från isoleeringen genom luftspalten och ca 2 cm ut över fasadens utsida. Elementramarnas överstycken täcktes dessutom av en neoprenkappa som fästes med en polysulfidfogmassa i frästa spår i isoleeringskiktet och slutande i fasadlivet. Fasadventilation ordnades på detta sätt våningsvis istället för genom en 75 m hög luftspalt. Luftinsläpp sker vid fasadelementen i fogen över droppblecken och vid pelarna under droppblecken. Alla invändiga fogar förseglades med påklistrade remsor av ett papp-plastlaminat. Släta elementytor och fogfri betong i stommen underlättade detta arbete.

Slutresultat.

Efter dessa åtgärder har husets ytterväggar fungerat tillfredsställande. Innerluften hålles vid ca 40 % RF. Bränsleekonomin har visat en gynnsam utveckling, vilket tyder på att väggisoleringens normala egenskaper återställts. Bilder, tagna med AGA-thermovisionskamera bekräftar detta. Fasadens övre, tidigare mest utsatta delar, visade sålunda ungefär samma utseende som de nedre.

## 5.2 Kontorshus 13 våningar över mark

Byggperiod	1961-1963
Bärande konstruktion	Pelare och balkar av stålprofiler, monterade med svets- och bultförband, för brandisolering kringklädda med vermiculiteputs, platssprutad på armeringsnät eller monterad i skivor. Bjälklag av prefabricerade betongelement.
-----	
Klimatmålsättning	Helautomatisk luftkonditionering med kylning och luftbefuktning. 22-23 <sup>o</sup> i kontorsrum samt 45-50 % RF.
Yttervägg	
Utvändig beklädnad	Långsidor och vissa gavlar: Sandwichelement med utväändig betong 80 + mineralull
Väggdel	70 + invändig betong 80 mm.
Fönsterbröstning	70 + invändig betong 80 mm.
Invändig beklädnad	Vissa gavlar: Utväändig betong 80 + mineralull 70 + invändig platsgjuten betong 180 mm. Pelare täckta med fasadglas.
Fönster	Långsidor: Fönsterband SCA med sidohängda 2-glasfönster i utväändigt al- och invändig tråbåge. Tätade med gummilist. Gavlar: Fönster som ovan, men platsmonterade var för sig.
Bärande konstruktion	Belägen innanför ytterväggen men ansluten till dess insida.
Fogar i fasad	Akrylplastmassa i enkelfog.
Fogar i övrigt	Invändig tätning med cementbruk.
Anmärkning	Ytterväggens isoleringsskikt icke ventilerat med någon särskild luftspalt.
-----	

## Skadebild 1964-1967.

Missfärgning av gavelväggar genom kalk- och saltutfällningar. Under åren starkt stigande bränsleåtgång (upp till ca 30 % högre än den beräknade).

Kraftig kondensbildning på insidan av fönstrens ytterglas med fuktskador på bågarnas och karmarnas understycken som följd. Betongflisor har sprängts loss från något av ytterväggselementen. Armeringen visade där rostskador.

## Åtgärder.

Fönstertätningarna ses över och dräneringen i fönstren justeras för att hindra kvarstående kondensvatten från att intränga i tråkarmarna.

Skumplastlisten mellan fönsterbågarna ersätts med ett "Viledon-filter" på bottenstycke och bågsida.

Innerluftens fuktighet nedsatt till ca 35 % RF.



**Resultat.**

Kondensen på fönsterytterglaset betydligt reducerad.  
Skadegörelsen på fasaderna genom fukt begränsad.

**Skadebild vintern 1968.**

Fukt på gavelfasadernas sandwichelement, sannolikt beroende på att fuktig innerluft läcker ut genom otäta innerfogar och kondenserar på isoleringens yttersida. Vatten droppar från sandwichelementens undersida, där tecken på kalkutfällning förekommer.

Inklädnaden på en pelare har avlägsnats varvid luftläckage konstaterades genom innerväggen in i pelarnas flänskanaler. Vidare observerades att dessa kanaler står i öppen förbindelse med motsvarande kanaler runt balkarna. Detta orsakar en kraftig, oavsedd och okontrollerbar luftströmning.

**Åtgärder.**

Skadorna är omfattande, och på grund av de stora kostnader som är förenade med ett tillrättaläggande av felen, har något sådant arbete ännu ej påbörjats.

## 5.3 Bankhus, 6-8 våningar över mark

Byggperiod 1962 - 1965

Bärande konstruktion Platsgjutna pelare och bjälklag.  
Pelare i ytterväggen.

---

Klimatmålsättning	+22 à 23 <sup>0</sup> RF 45-50 %, i datacentral 55-60 %.
Yttervägg	
Utvändig beklädnad	Granit respektive plåtlådor framför 30 mm luftspalt. Gårdsfasad: Puts på lättbetongvägg.
Väggdel	80 mm platsgjuten betong, utvändigt klistrad 50 mm lättbetong, $\gamma$ 0,4.
Fönsterbröstning	150 mm lättbetong $\gamma$ 0,4 murad med KC-bruk.
Fönster	2-glas sidohängda träbågar, yllelist, vanlig drevning.
Diffusionsspärr	Tätning med kitt mellan karmar och pelare.
Invändig beklädnad	Målad väv på balk och pelare.
Bärande konstruktion	Betongpelare och betongbjälklag, utvändigt isolerade med 50 mm lättbetong.
Trummor	Prefabricerade U-formade slitspelare för ventilationskanaler, invändigt täckta med 30 mm hamparmerade gipsskivor.
Rörledningar	I slitspelare.
Håltagningar	I fönsterbröstningar för el-kabelhyllornas infästning. I fönsterinnerbåge för linor till mellan monterade persiennor.
Fogar	I granitfasader kittfogar med skumplastutfyllning.

---

## Skadebild 1966.

Fuktskador och isbildning på fasader och kondens på insidan av fönstrens ytterglas.  
Vattenutflöde särskilt mitt för slitspelarna i fasaden samt på och under fönsterblecken.  
Långa istappar (0,5-1,0 m och med 100-150 mm  $\emptyset$ ) utbildades.  
Målningen på fönstrens undre delar visade tecken på förstöring.

## Orsak.

Kondensvatten från befuktad innerluft som strömmade ut genom otätheter i ytterväggarnas insidor.  
AGA thermovisionskamera avslöjade temperaturdifferenser på 7-8<sup>0</sup> mellan närliggande fasaddelar.  
Prov med såpvattenpåstrykning och invändigt undertryck visade luftläckor runt fönstren, särskilt under karmunderstycken, i bröstningarnas bruksfogar och kabelstegsinfästningar, i linhål för persiennerna, i springor mellan fasadbalkar och pelare samt i rör genomföringar till slitspelarna.

### Åtgärder.

Under sommaren 1967 beslöts att tätning skulle utföras på samtliga invändiga betong- och lättbetongytor samt runt alla fönster så att varmluftsläckage och vattenångstransport icke skulle överskrida luftspaltens ventilationskapacitet.

1. Runt fönsterkarmar och mellan bröstningar och pelare tätades med Bofors Monofix fogmassa.
2. Bröstningar och anslutningar mellan bröstningar respektive karmar och pelare beströks med Casco PVA-emulsion, fogar och sprickor 2 gånger.
3. Över PVA-emulsionen ströks Beckers latexfärg (styrén-butadienbaserad). Man avsåg att den mycket låga adhesionen mellan dessa olika material skall kunna lämna latexfärgen tät även om underlagret spricker.
4. Fönstren tätades med släplister av gummi.
5. Den relativa fuktigheten begränsades i kontorsvåningarna till 35 % vid yttertemperatur  $-5^{\circ}$  för att stiga till max 45 % vid stigande temperatur.  
I datacentralen bibehålles konstat 55-60 % RF.

Genom dessa åtgärder reducerades isbildningen avsevärt.

Våren 1968 gjordes en ny besiktning.

Yttertemperaturen hade efter en mildvädnersperiod sjunkit till  $-5^{\circ}$ . Inomhus var temperaturen  $+22^{\circ}$  och fuktigheten 35 % RF i kontoren och 55 % i datacentralen.

Isbildning iakttoogs vid datavåningen på plåten under slitspelarna. Med anledning härav monterades pelarplåtarna ned på en bärande pelare och en slitspelare vid en ordinär kontorsvåning. Vid den bärande pelaren hade den klistrade mineralullsisoleringen i stor omfattning lossnat från både pelare och bröstning och låg lös mot fasadplåten.

Slitspelarens övre stötfog var öppen 3-4 mm och från denna otäthet kom en varmluftsström. Mineralullsisolering saknades för övrigt här på pelarens övre del.

Vid datacentralen visade sig utströmmande rumsluft vara orsak till kondens på bröstningsplåtarnas insida.

Tätning av slitspelarnas övre fog har ännu inte utförts.

Föreslagen polyuretanfyllning i slitsen skulle ha hindrat rörbesiktning och uttorkning av vatten efter ett eventuellt rörläckage.

Granitfasaden befarades vara fuktig på baksidan på flera ställen. Fogmassan togs därför bort på 3 ställen i en horisontalfog i brösthöjd över gatuplanet. På ett av dessa ställen var skumplastutfyllningen bakom kittfogen helt våt och vatten rann ut från fogen. På de övriga var utfyllningen fuktig.

### Slutresultat.

Även om tätningsåtgärderna avsevärt minskat fuktutfällningen på fasaderna kan kondens och isbildning fortfarande uppstå vid ogynnsamma väderleksförhållanden, bland annat genom svårigheter att isolera slitspelarna i fasaderna och att hindra fuktutfällning på granitfasadernas insida.

## 5.4 Bostadsområde

Byggperiod 1967 - 1968

-----

Klimatmålsättning Normal bostadsstandard (ej befuktning).

Yttervägg av våningshöga sandwichelement.  
Fönsterkarmar av grundbehandlat trä har ingjutits i elementen med karmöverstycket i elementöverkant och karmsidorna avslutna av olika breda betongskänklar utan särskild inbördes förankring.

-----

Skadebild sommaren 1970.

Fönstermålning flagnar.

Fönstren svåra eller omöjliga att öppna och stänga.

Regnvatten tränger in genom otäta fogar och vid karmarnas över- och undersidor.

Orsak.

Vid karmträets torkning uppstår otäthet mellan trä och betong. Vid regn intränger vatten där, karmarna sväller efter hand och spänner mot betongomfattningarna. Karmarna deformeras och fönsterbågarna kärvar. Risk för söndersprängning av de smalare betongsidorna kan föreligga.

Åtgärd.

Ej vidtagen.

6. REKOMMENDATIONER FÖR STYRNING OCH BEGRÄNSNING AV FUKTBELASTNINGEN I FASAD
  1. Nyanserad planlösning med hänsyn tagen till rums- och våningssamband, i huvudsak gällande begränsning av skorstensverkan via hiss- och trappschakt.
  2. Genomförd drifrutin för ventilationsanläggningen.
  3. Instruktioner till inom byggnaden verksam personal gällande rutiner för handhavande av fönster och dörrar.
  4. Intermittent befuktning under driftstid.
  5. Överväg om befuktning verkligen är nödvändig och begränsa i så fall fuktmängden.

## REFERENSER

Böcker och forskningsrapporter

Adamson, B, Ahlgren, L, Bergström, S, G & Nevander, L, E, 1970, Fukt, byggnadstekniska fuktproblem. (Statens råd för byggnadsforskning.) Programskrift 12. Stockholm.

Agdur, B & Lindberg, K, 1968, Ny metod för fuktmätning i byggnadsmaterial. (Statens institut för byggnadsforskning.) Informationsblad 42:1968. Stockholm.

Betongelement för husbyggnad, 1967. (Statens institut för byggnadsforskning.) Rapport 29:1967. Stockholm.

Bostikhandboken, 1969, Metoder och anvisningar för limning och tätning. (Bostik AB.) Stockholm.

Bygg AMA, 1965. (AB Bygg AMA.) Stockholm.

Carlsson, A, 1966, Inventering av byggnadsskador. (Statens institut för byggnadsforskning.) Rapport 13:1966. Stockholm.

Dührkop, H, Saretok, V, Sneck T & Svendsen, S, D, 1966, Bruk, murning, putsning. (Statens råd för byggnadsforskning.) Stockholm.

Dylander, B, Kjaer, A & Brixen, J, 1964, Fugeproblemer ved elementbyggede ydervægge. (Statens Byggeforskningsinstitut.) SBJ-Saertryk 149. Köpenhamn.

Eriksson, B, E, 1966, Luftfuktighet inomhus i Norrland. (Statens institut för byggnadsforskning.) Informationsblad 43:1966. Stockholm.

Franzén, B & Sjögren, A, 1967, Metod för klimatmätningar i kontorsrum. (Statens institut för byggnadsforskning.) Informationsblad 9:1967. Stockholm.

Franzén, B, 1968, Kontorsrummet 3, Luftfuktighet. (Statens institut för byggnadsforskning.) Informationsblad 12:1968. Stockholm.

Franzén, B, 1968, Kontorsrummet 4, Luftväxling. (Statens institut för byggnadsforskning.) Informationsblad 13:1968. Stockholm.

Fugeforsegling. Arbeidutførelse, 1965. (Norges byggforskningsinstitutt.) Byggetaljblad Dt 411. Oslo.

Fugemasser. Egenskaper og materialvalg, 1965. (Norges byggforskningsinstitutt.) Byggetaljblad D 401. Oslo.

Fukt i byggnadskonstruktioner, 1970. (STF-TLJ kursverksamhet.) Stockholm.

Fukt i fasader, 1968, Sammanfattning av föredrag. (Jacobsson & Widmark AB.) Stockholm.

Böcker och forskningsrapporter (forts.)

Fyrhake, L, 1968, Inklädning av fuktskadade ytterväggar av lättbetong. (Statens institut för byggnadsforskning.) Informationsblad 22:1968. Stockholm.

Geirbo, E, 1966, Kondens i tak og annen fuktighet i hus. (Norges byggforskningsinstitutt.) Særtrykk 125. Oslo.

Gustavsson, B, 1962, Fogmassor. (Statens institut för byggnadsforskning.) Informationsblad 38:1962. Stockholm.

Henriksson, R, 1959, 1963, Saaranen, E, 1967, Värmeförluster genom väggar, provade under praktiska förhållanden I, II och III. (Statens forskningsinstitut för lantmannabyggnader.) Meddelande 47, 58 och 108. Lund.

Isaksen, T, 1960, Aluminiumvinduer. (Norges byggforskningsinstitutt.) Særtrykk 45. Oslo.

Isaksen, T, 1966, Slagregn og utformning av fuger i og mellom betongelementer. (Norges byggforskningsinstitutt.) Særtrykk 131. Oslo

Isaksen, T, 1966, Åpne fuger i utvendige kledninger. (Norges byggforskningsinstitutt.) Særtrykk 138. Oslo.

Jensen, H & Franck, N, 1963, Model-scale tests in turbulent wind, Part I, II. (Danish Technical Press.) Köpenhamn.

Johansson, C, H, 1949, Theoretical Investigation of the Effect of Capillary Suction. (KTH) Handling 20. Stockholm.

Järnmark, T, 1966, Neutronsond för fuktmätning i byggnadselement. (Statens institut för byggnadsforskning.) Informationsblad 21:1966. Stockholm.

Kontorsutredning, 1966. (KBS.) Rapport 12:1967. Stockholm.

Kunzel, H, 1962, Wärme- und feuchtigkeitstechnische Untersuchungen an einem Versuchshaus mit zusätzlicher Wärmedämmung an den Ecken der Aussenwände.

Der Wärmeschutz von Ecken.

Kapillare Wasseraufnahme und Austrocknungsverhältnisse von Aussenputzen. (Veröffentlichungen aus dem Institut für Technische Physik.) Heft 48:1962. Stuttgart.

Kunzel, H, 1964, Das Feuchtigkeitsverhalten von zweischaligen wänden und wänden mit vorgehängten verkleidungsplatten. (Veröffentlichungen aus dem Institut für Technische Physik.) Heft 51:1964. Stuttgart.

Kunzel, H, 1965, Die Wärmebrücken - Wirkungen von Ecken in bauwerken.

Untersuchungen über Wärmebrücken in Wohnungsbau.

Der Wärmeschutz von Betonmontagewänden mit Dämmung aus Schamm-Knuststoff. (Veröffentlichungen aus dem Institut für Technische Physik.) Heft 55:1965. Stuttgart.

Kunzel, H, 1967, Der Wärme- und Feuchtigkeitsschutz von Ziegelaussenwände. (Veröffentlichungen aus dem Institut für Technische Physik.) Heft 5:1967. Stuttgart.

Böcker och forskningsrapporter (forts.)

Kunzel, H, 1967, Untersuchungen über die Feuchtigkeitsverhältnisse in Aussenwänden mit dichter Aussenverkleidung. (Veröffentlichungen aus dem Institut für Technische Physik.) Heft 59:1967. Stuttgart.

Kunzel, H, 1969, Wärme- und Feuchtigkeitstechnische Untersuchungen an vorgefertigten Aussenwänden.

Die Bewegungen in Fugen zwischen vorgefertigten Aussenwandplatten. (Veröffentlichungen aus dem Institut für Technische Physik.) Heft 61:1969. Stuttgart.

Lantz, H, 1967, Hur undvika sprickbildning i ytterväggar av lättbetong. (Tekn.dr Arne Johnson Ingenjörbyrå.) Tekniska meddelanden 20. Stockholm.

Lindblad, F & Pedersen, H, 1968, Besiktningar, byggfel. (Svenska Byggnadsingenjörers Riksförbund.) Kompendium 15:1968. Stockholm.

Lyng, O & Fyrhake, L, 1969, Ytterväggar; värmeisoleringsförmåga och sprickförekomster hos sju väggtypen inom två klimatområden. (Statens institut för byggnadsforskning.) Rapport 28:1969. Stockholm.

Lyng, O, 1962, Isolerglas - värmeisolering, kondensskydd, insättning. (Statens institut för byggnadsforskning.) Informationsblad 10:1962. Stockholm.

Lyng, O, 1962, Träfönsters täthet mot vind och regn. (Statens institut för byggnadsforskning.) Informationsblad 17:1962. Stockholm.

Lyng, O, 1962, Anslutning mellan karm och vägg. (Statens institut för byggnadsforskning.) Informationsblad 18:1962. Stockholm.

Lyng, O, 1962, Missfärgning av naturstens- och betongfasader. (Statens institut för byggnadsforskning.) Informationsblad 37:1962. Stockholm.

Malinowski, R, Dworjadhin, A & Berntsson, L, 1966, Dimensionsförändringar hos lättbetong vid upprepad vattenlagring och uttorkning. (Statens institut för byggnadsforskning.) Informationsblad 6:1966. Stockholm.

Nevander, L, E, 1968, Värmeisolering, kompendium i byggnadsteknik I, ak 1. (Institutionen för byggnadsteknik, LTH.) Lund.

Nevander, L, E, Bankwall, C & Sandberg, P, S, 1968, Fukt. Kompendium i byggnadsteknik I, ak 1. (Institutionen för byggnadsteknik, LTH.) Lund.

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

Om byggnader för högre utbildning och forskning, 1967. (KBS.) Rapport 16:1967. Stockholm.

Reiher, H, 1965, Wärmeschutz und Feuchtigkeitsverhalten von Aussenwänden. (Veröffentlichungen aus dem Institut für Technische Physik.) Heft 55:1965. Stuttgart.



Böcker och forskningsrapporter (forts.)

Reiher, H, 1967, Klimatologi der Gebäude. (Veröffentlichungen aus dem Institut für Technische Physik.) Heft 59:1967. Stuttgart.

Schule, W, 1959, Wärmetechnische Untersuchungen im Wohnungsbau. (Veröffentlichungen aus dem Institut für Technische Physik.) Heft 41:1959. Stuttgart.

Schule, W, 1959, Feuchtigkeitstechnische Untersuchungen in beheizten Kleinküchen.

Feuchtigkeitsschäden in Wohnungen. Wärmeschutz und Feuchtigkeit bei Aussenwänden. Wärmeschutz und Feuchtigkeit bei Baustoffen. Feuchtigkeitsverhältnisse bei Aussenwänden. (Veröffentlichungen aus dem Institut für Technische Physik.) Heft 42:1959. Stuttgart.

Schule, W, 1962, Luftdurchlässigkeit von Fenstern. (Veröffentlichungen aus dem Institut für Technische Physik.) Heft 48:1962. Stuttgart.

Schule, W, 1962, Wärme- und Feuchtigkeitstechnische Untersuchungen an Reihenhäusern aus verschiedenen Baustoffen. (Veröffentlichungen aus dem Institut für Technische Physik.) Heft 49:1962. Stuttgart.

Schule, W, 1964, Wärme- und Feuchtigkeitstechnische Untersuchungen an Aussenwänden aus verschiedenen Lockziegeln und aus Leichtbetong - Hohlblocksteinen.

Untersuchungen über die Luft und Wärmedurchlässigkeit von Fenstern. (Veröffentlichungen aus dem Institut für Technische Physik.) Heft 51:1964. Stuttgart.

Schule, W, 1967, Temperaturverhältnisse in Gebäuden. Feuchtigkeit in Bauteilen von Wohnhäusern. (Veröffentlichungen aus dem Institut für Technische Physik.) Heft 58:1967. Stuttgart.

Schule, W, 1969, Raumklima und Bauausführung. Bauphysikalische Bedingungen bei Montagebanten. (Veröffentlichungen aus dem Institut für Technische Physik.) Heft 60:1969. Stuttgart.

Storseth, S, 1969, Fuger i yttervegger. (Norges byggforskningsinstitutt.) Saertrykk 153. Oslo.

Svensk Byggnorm 1967. (Statens planverk.) Stockholm.

Tell, W, 1965, Fuktbehovet i ytterväggar. (Statens institut för byggnadsforskning.) Informationsblad 3:1965. Stockholm.

Tveit, Q, 1966, Measurements of Moisture Sorption and Moisture Permeability of Porous Materials. (Statens institut för byggnadsforskning.) Rapport 8:1966. Stockholm.

Victorin, G, 1966, Fuktmätningar i trähus. (Statens institut för byggnadsforskning.) Informationsblad 44:1966. Stockholm.

### Tidskriftsartiklar

- Bjerking, S, E, 1969, "Regnkappa" på ytterväggar av lättbetong. (AB Lättbetong.) Lättbetong 1:1969, p 4-16.
- Bergman, H, 1970, Nya Riksdagshuset. Byggnadsingenjören 1-2:1970.
- Diamant, R, M, E, 1966-67, Dampness in Buildings. Heating and Ventilating, dec 1966 - april 1967.
- Engdahl, C, 1966, Fogmassor och tätningsmedel får allt större betydelse. Husbyggaren 5:1969.
- Eriksson, A, 1968, Vågar vi bygga luftkonditionerade hus? Byggnadsindustrin 4:1968, p., 49-50.
- Feher, J, 1969, Jahresbilanz des kondensationsfeuchtigkeit in mehrschichtigen unbelüfteten Aussenwänden. Gesundheits-Ingenieur, Heft 4:1969.
- von Gegerfelt, G, 1966, Slagregn på tunna tegelväggar. Tegel 4:1966, p., 50-56.
- Lättbetong lanserar aluminiumklädda helelement - nya fasadelement för svåra klimatförhållanden, 1960. Byggnadsvärlden 17-18:1960.
- Lundin, R, 1970, Fogar i ytterväggar, Byggmästaren 12:1970.
- Nevander, L, E, 1968, Fuktproblem i byggnader med befuktad luft. (AB Lättbetong.) Lättbetong 3:1968.
- Nylund, P, O, 1963, Fogar i ytterväggar av betong - fogmassor. Fogmassor som tätning i betongfasader. Byggmästaren 11:1963.
- Rydberg, J, 1968, Om ventilationssystemets funktion. VVS-tidningen 2:1968.
- Rydberg, J, 1970, Den förbättrade ventilationen. Byggmästaren 5:1970, p., 30-36.
- Tamura, G, T, 1964, Air leakage and pressure measurements on two occupied houses. ASHRAE Transactions 1964.
- Walter, A, 1968, Tätning av fogar i elementbyggen. Byggnadsingenjören 11-12:1968.

### Opublicerade manuskript

- Andersson, L-O, 1967, Vindens påverkan på en byggnadskropp ur ventilationsteknisk synpunkt. Licentiatarbete KTH. Stockholm.
- Håkansson, B & Johansson, O, 1965-66, Tryckförhållanden i höghus. Examensarbete utfört vid KTH. Stockholm.
- Höglund, I, 1968, Analys av faktorer som påverkar den ofrivilliga ventilationens storlek. KTH 25.11.68. Stockholm.

## SYMBOLS AND DEFINITIONS

Symbol	Description and definition	
<u>Temperature</u>		
$t_u$	outdoor temperature	(°C)
$t_i$	indoor temperature	(°C)
$T_1$	temperature	(°K)
$T_2$	temperature	(°K)
<u>Pressure</u> (mm water gauge)		
$\Delta P_{iu}$	pressure differential on surfaces of external wall, comparison of indoors and outdoors	
$P$	power available	
$P_t$	available fan pressure in supply air duct	
$P_f$	available fan pressure in exhaust duct	
$P_{wc}$	available fan pressure in WC exhaust duct	
$T_t$	available thermal power in supply air duct	
$T_f$	available thermal power in exhaust duct	
$T_{wc}$	available thermal power in WC exhaust duct	
$T_h$	available thermal power in lift shaft	
$T_{tr}$	available thermal power in stair well	
<u>Wind</u>		
N, S, E, W	representative current wind direction	
$v_m$	mean wind velocity recorded over a 10-minute period (m/s)	
<u>Misc.</u>		
$h$	height of building	(m)
$d$	width of cracks	(mm)
$\gamma_1$	specific weight at temp $t_1$	(kg/m <sup>3</sup> )
$k_d$	vapour diffusivity ratio at approximately 20°C	$\frac{g}{m^2 \cdot h \cdot mmHg}$
1/1 till	represents approximately 100 % supply air flow	
1/2 till	represents approximately 50 % supply air flow	
tillluft-	represents approximately 0 % supply air flow	
$\Delta V$	extreme values (maxima and minima for $P_{iu}$ )	
X	open link between corridors and stair well	
☒	doors between corridor and stairs closed	
RH	relative humidity	
1 mm H <sub>2</sub> O $\approx$ 10 N/m <sup>2</sup>		
1 mm Hg $\approx$ 133 N/m <sup>2</sup>		

## CAPTIONS

- FIG. 1. Window frame in block of flats damaged by moisture.
- FIG. 2. Deposits from condensation in joint between load-bearing external wall panel. Balanced ventilation and humidified air.
- FIG. 3. Examples showing distribution of wind pressure on buildings. Wind pressure given as a percentage of the dynamic pressure of the free wind velocity on a level with the ridge of a roof.
- FIG. 4. Curve a shows the pressure differential along the windward elevation of a building at right angles to the wind direction. Curve b shows the pressure differential along the leeward elevation of a building obliquely exposed to the wind.
- FIG. 5. Pressure differential at different storeys on an external wall when settings of fans and vents, and indoor climate vary.
- FIG. 6. Structure of the ventilation system in a 28-storey office block.
- FIG. 7. Pressure differential along external wall during working hours.
- FIG. 8. Variations in pressure differential at the 25th floor on a windward elevation.
- FIG. 9. Variations in pressure differential at the 25th floor on a northern elevation from Saturday to Sunday.
- FIG. 10. Variations in pressure differential at the 25th floor on a north-facing elevation from Sunday to Monday.
- FIG. 11. Variations in pressure differential at the 19th floor on an east-facing elevation.
- FIG. 12. Variations in pressure differential at the 11th floor on a south-facing elevation.
- FIG. 13. Variations in pressure differential at the 5th floor on an east-facing elevation.
- FIG. 14. Variations in pressure differential at the 5th floor on a north-facing elevation.
- FIG. 15. Fundamental structure of ventilation system. 15-storey office block.
- FIG. 16. Pressure differential on external wall with balanced ventilation and varying outdoor climate. 15-storey office block.

- FIG. 17. Plan. 9-storey office block.
- FIG. 18. Sections through windows at external wall subject to ice formation and stained by deposits from condensation.
- FIG. 19. Variation in pressure differential at 7th floor on eastern elevation with 1/2 supply air and 1/1 exhaust air. 9-storey office block.
- FIG. 20. Variation in pressure differential at 7th floor on eastern elevation. X = doors between corridor and stairs open.
- FIG. 21. Variation in pressure differential at 7th floor on eastern elevation. Little control of windows and doors. X = doors between corridor and stairs open.
- FIG. 22. Variation in pressure differential at 3rd floor on western elevation. Little control of windows and doors. X = doors between corridor and stairs closed.
- FIG. 23. Pressure differential on windward elevation of tobacco factory.
- FIG. 24. Pressure differential on leeward elevation of indoor swimming baths. Transitional zone between indoor and outdoor climates.
- FIG. 25. Variations in flow of supply air and pressure differential  $\Delta P_{iu}$  at the end of working hours in a 28-storey office block during the winter months.
- TAB. 1. Approximate levels of relative humidity in different types of premises in winter.
- TAB. 2. Amount of moisture transported via convection and diffusion; relative humidity 50 %, excess pressure indoors 5 mm water gauge.



**R28: 1973**

**Denna rapport hänför sig till anslag C 530 från Statens råd för byggnadsforskning till tekn. lic. Lars-Olof Andersson, Axlander & Rosell Konstruktionsbyrå AB, Skärholmen.**

**Försäljningsintäkterna tillfaller fonden för byggnadsforskning.**

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

**Grupp: konstruktion**

**Pris: 15 kronor**