



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**

**R34:1984**

# **Dynamisk isolering**

**Utvecklingsläget  
David Södergren**

**Ventilationstekniska beräkningar  
Axel Fagerstedt**

K  
A/W

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION

Accnr

Plac *ser*

**Byggeforskningsrådet**

R34:1984

DYNAMISK ISOLERING

Del I

En sammanställning av  
utvecklingsläget - framtidsutsikter

David Södergren

Del II

Ventilationstekniska grunder för praktisk  
tillämpning i byggnader

Axel Fagerstedt

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
790146-5 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Paul Petersson Konstruktionsbyrå AB,  
Stockholm

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

R34:1984

ISBN 91-540-4099-X

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck Stockholm 1984



## INNEHÅLL

## Del I

1	SAMMANFATTNING . . . . .	7
2	BESKRIVNING AV PRINCIPEN . . . . .	8
3	ANVÄNDNINGSSOMRÅDEN . . . . .	9
3.1	Bostäder	
3.2	Kontor, hotell, vårdbyggnader, skolor, etc.	
3.3	Industri- och lantbruksbyggnader	
3.4	Inkapsling kring ugnar och värmekrävande processer	
4	KOMMENTARER TILL DE DELRAPPORTER SOM TILLHÖR SAMMANFATTNINGEN . . . . .	10
4.1	Teori för värmeisolering som genomströmmas av gas eller vätska (Gunnar Anderlind, Bernt Johansson)	
4.2	Mätning av dynamisk isolerings filtrerande förmåga (Anders Jansson . . . . .	12
4.3	Två förstudier av luftkvalitet i byggnad med dynamisk isolering (Armin Guhl, Hélène Nicander-Bredberg) . . . . .	13
4.4	Dynamisk isolering, konstruktiva lösningar (Axel Fagerstedt) . . . . .	14
5	KOMMENTARER TILL ÖVRIGA RAPPORTER AV BETYDELSE FÖR SAMMANFATTNINGEN . . . . .	15
5.1	Provhus med dynamisk isolering (Carl-Axel Broman, Mats Matsson)	
5.2	Ett nytt, unikt system för energibesparing i småhus (Torgny Thorén) . . . . .	16
5.3	Dynamisk isolering och återvinning (Lars Jensen) . . . . .	17
6	FUNKTIONSANALYS . . . . .	17
7	TILLÄMPNINGSANALYS INKLUSIVE EKONOMISKA ASPEKTER . . . . .	19

## Del II

	FÖRORD . . . . .	23
1	FRÅGESTÄLLNINGAR KRING ANVÄNDNINGEN AV DYNAMISK ISOLERING . . . . .	24
1.1	Några användningsområden . . . . .	25
1.2	Isoleringsförmåga	
1.3	Övriga energibesparande effekter . . . . .	27
1.3.1	Kombination med värmepump . . . . .	28
1.4	Inneklimat . . . . .	29
1.4.1	Filtreringsegenskaper	
1.4.2	Akustikegenskaper	
1.4.3	Luftrörelser och strålningstemperatur	
1.5	Kostnadsaspekter . . . . .	30

2	LUFTVÄXLINGAR I BYGGNAD MED DYNAMISK ISOLERING . . . . .	32
2.1	Syftet med vald luftväxlingsmodell	
2.2	Luftväxlingens kontinuitetssamband	
2.3	Luftväxlingens tryckberoende flödesfunktioner . . . . .	34
2.3.1	Klimathölje	
2.3.2	Dynamisk isolering . . . . .	35
2.3.3	Luftkanaler	
2.3.4	Fläktar	
2.4	Det sammansatta systemet av tryckberoende flödesfunktioner . . . . .	36
2.5	Behandlingen av indata vid beräkning av luftväxlingen . . . . .	37
2.5.1	Byggnadens geometri	
2.5.2	Formfaktorer . . . . .	38
2.5.3	Tryckberoende flödesfunktioner . . . . .	40
2.5.4	Klimatet . . . . .	42
2.6	Beräkningsresultat . . . . .	45
2.7	Diskussion av de beräknade flödesvariationerna . . . . .	57
3	LOKALA FLÖDESARIATIONER I DYNAMISK ISOLERING . . . . .	58
3.1	Inverkan av friktion och dynamiskt tryck . . . . .	60
3.1.1	Rätlinjig fördelning . . . . .	62
3.1.2	Radiell fördelning . . . . .	65
3.2	Termiska tryckvariationer i fördelningsspalten . . . . .	71
3.3	Läckage i fördelningsspalten	
3.4	Tryckvariationer på rumssidan . . . . .	72
3.5	Total flödesvariation	
3.6	Beräkningar och diskussion av lokala flödesvariationer . . . . .	73
4	FUKT VID MOTFLÖDESIOLERING . . . . .	76
4.1	Diffusionsfukt	
4.2	Uteluftens fukt . . . . .	77
4.3	Beräkningsmodell för beräkning av kondensmängder under vattentaket . . . . .	80
4.4	Resultat och diskussion av kondensmängdsberäkningar under vattentaket . . . . .	84
	LITTERATUR . . . . .	90

DYNAMISK ISOLERING

Del I

En sammanställning av utvecklingsläget -  
framtidutsikter

David Södergren



## 1. SAMMANFATTNING

Syftet med detta projekt har varit att ge en sammanfattande bild av uppvärmnings-och ventilationssystem med tillämpning av dynamisk isolering, dess fördelar och nackdelar samt dess möjligheter för framtida användning. Arbetet har delats upp i skilda underprojekt vars resultat dels publicerats separat, dels publiceras som bilagor till denna rapport. Samtliga dessa deluppgifter behandlas sammanfattningsvis i rapporten. Dessutom lämnas korta referat till publikationer om dynamisk isolering som inte finansierats genom detta projekt men ändå är av stor betydelse för helheten. I särskilda avsnitt har slutligen egna vinklingar av principens idé och därav sannolika framtida tillämpning redovisats.

Med dynamisk isolering, som kan vara av motflödes- eller av medflödestyp, kan effekten av en värmeisolering förbättras till extremt goda värden. Med motflödesprincipen, då luft strömmar mot värmeströmmen, åstadkommes besparingen genom att isoleringsskiktets utsida blir kallare varvid värmeavgivningen till omgivningen minskas. Luften som strömmar in genom isoleringen uppvärms och den energi som fordras för detta är lika stor som om luften värmdes på annat sätt. En första förutsättning för ekonomi är därför att ett behov av uppvärmd luft föreligger. I medflödesversionen åstadkommes besparingen genom en sänkning av temperaturen på luften som går ut genom isoleringen och som då får förutsättas bli avluft som skall lämna byggnaden.

För att nå en god effekt med den dynamiska isoleringsprincipen fordras att det redan finns en isolering som i sig ger ett hyggligt värmemotstånd. Det innebär att värdet av denna effektivisering av isoleringen blir av större ekonomisk betydelse och blir allt intressantare ju högre energipriserna blir. För att få ekonomi med dynamisk isolering idag fordras att installationen kan utföras enkelt och till låg kostnad.

Skall man göra en fullständig analys av principens möjligheter och begränsningar krävs tillämpning av ett synsätt kopplat till ekonomiska studier av såväl investeringskostnader som drifts- och underhållskostnader för hela det betraktade systemet. Detta kräver ett intimt samarbete över fackgränserna för alla i byggprocessen ingående parter. Förutsättningarna för en så omfattande analys synes inte föreligga.

I ett konventionellt isoleringsskikt, som ofta är ett poröst material med minimal fast andel, eftersträvas att få luft eller någon annan gas att hålla sig så stilla som möjligt. Med stillastående luft som det värmeisolerande mediet kan värmekonduktiviteten teoretiskt bli så låg som  $0.024 \text{ W/m, K}$ . Praktiskt kan man med mineralull som fast material komma ned till  $0.030 \text{ W/m, K}$ .

Med begreppet dynamisk isolering avses den värmeisolerering som uppnås genom att man tvingar luften, som finns i isoleringsskiktet, att röra sig med eller mot värmeströmmen. Vid motflödesisolering då luften rör sig mot värmeströmmen minskas värmeavgivningen från isoleringens kalla sida radikalt redan vid små lufthastigheter, någon meter per timme. Exempelvis erhålles ett k-värde omkring  $0.1 \text{ W/m}^2, \text{ K}$  med isolerskiktjocklek 150 mm och en motflödes hastighet av 1.5 m/h.

Vid medflödesisolering rör sig luften i samma riktning som värmeströmmen och hela isoleringsskiktets temperatur stiger. Det betyder att temperaturskillnaden mellan rummet och isolerskiktet blir mindre och att värmeströmmen från rummet därav blir mindre om man bortser från den värme den avgående luften för med sig. Om den avgående luften är avluft som i ett jämförelsefall skulle ha släppts direkt ut med den temperatur den har i rummet erhålles en energibesparing med medflödesisoleringen.



### 3 ANVÄNDNINGSSOMRÅDEN

Dynamisk isolering kan tillämpas i princip för alla typer av byggnader samt för inklädnader av apparater och processer där större temperaturskillnader mot omgivningen förekommer. Ett villkor för lönsamhet torde vara att det av andra skäl, hygieniska eller process-tekniska, erfordras ett icke oväsentligt luftflöde till byggnaden eller till processen.

#### 3.1 Bostäder

Principen dynamisk isolering är tillämpbar för bostäder men behovet av ventilationsluft, ca 0.5 oms/h, är i minsta laget för att få isoleringen effektiv i varje fall i enbostadshus där både väggar och tak gränsar mot uteklimat. Avgörande för i vilken omfattning principen kommer att tillämpas blir ekonomin och om utförandet lämpar sig för serieproduktion.

#### 3.2 Kontor, hotell, vårdbyggnader, skolor, etc.

För alla dessa typer av byggnader är principen tillämpbar. Ju större ventilationsbehov som erfordras dess bättre är förutsättningarna för att få en väl fungerande anläggning. Även i dessa byggnader blir ekonomin avgörande för tillämpningen.

#### 3.3 Industri- och lantbruksbyggnader

För dessa typer av byggnader är det sannolikt att principen har största förutsättningarna att bli ekonomiskt fördelaktig. I lokaler där frånluften ofta är så förorenad av stoft och gaser att den inte kan återföras blir uteluftsbehovet stort. Det kan då vara fördelaktigt att välja en takkonstruktion för dynamisk isolering. En reversering av flödet för sommarförhållanden blir ofta nödvändigt.

#### 3.4 Inkapsling kring ugnar och värmekrävande processer

Dynamisk isolering kan vara en utomordentligt fördelaktig princip för isolering av ugnar och värmekrävande processer i industrier. Speciellt i förbränningsanläggningar där det fordras stora luftmängder för förbränningen torde det finnas goda förutsättningar för tillämpning. Även för tork- och härdningsugnar verkar förutsättningarna goda att utnyttja den dynamiska isoleringens princip för att få en effektiv värmeisolering.

4 KOMMENTARER TILL DE DELRAPPORTER SOM TILLHÖR  
SAMMANFATTNINGEN

4.1 Dynamisk isolering

Teori för värmeisolering som genomströmmas av  
gas eller vätska.

Författare: Gunnar Anderlind, Bernt Johansson

BRF-rapport R162:1980 (separat utgivning)

Rapporten redovisar på ett uttömmande sätt teorin för  
den dynamiska isoleringens princip. Såväl temperatur-  
förhållanden som ånghalt behandlas i rapporten. Det dy-  
namiska k-värdet redovisas i diagram och följande två  
diagram är så väsentliga att det finns anledning att  
återge dem i denna sammanfattning.

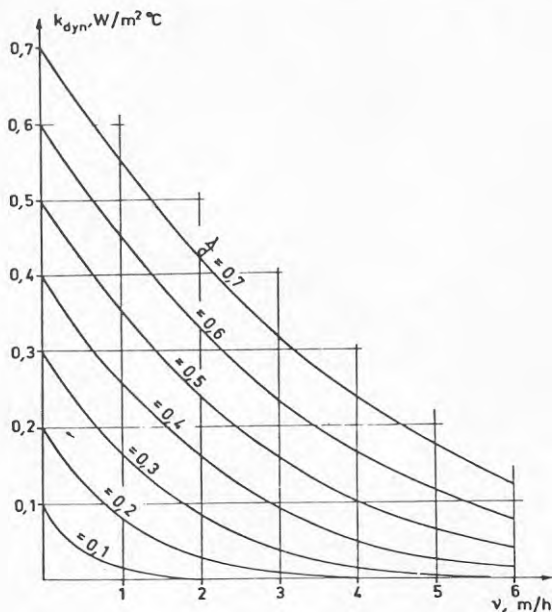


Fig 4.1 Dynamiskt k-värde som funktion av luft-  
hastigheten då  $\rho c = 1200 \text{ W s/m}^3$ ,  $K$  för olika  
värden på  $\lambda/d, \alpha_i = \infty$ ,  $\alpha_u = \infty$ .

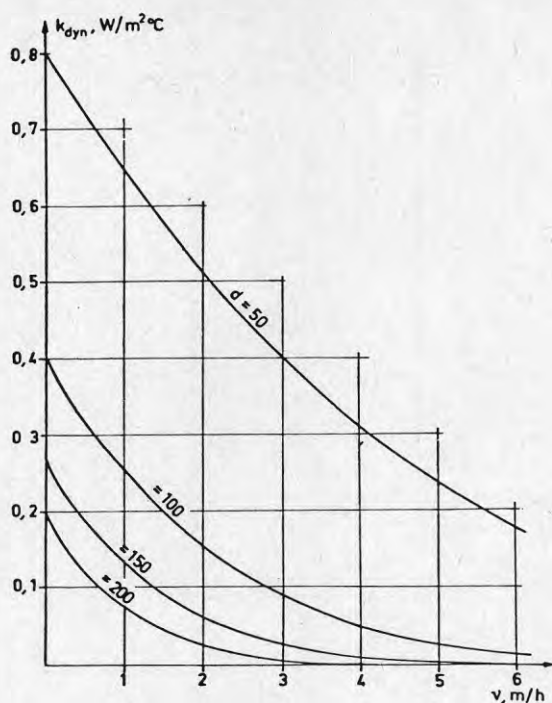


Fig. 4.2 Dynamiskt k-värde som funktion av lufthastigheten då  $\rho c = 1200 \text{ Ws/m}^3, \text{ K}$ .

$\lambda = 0.040 \text{ W/m, K}$ . Isolertjocklekar 50, 100, 150 och 200 mm.  $\alpha_i = \infty, \alpha_u = \infty$ .

Rapporten behandlar även hur riskerna för kondensation i isoleringsskiktet i motflödes- och medflödesversionen kan beräknas. Risken för kondens i motflödesversionen är givetvis liten medan den är uppenbar vid medflöden.

Jämförelser mellan de teoretiskt beräknade temperaturerna i isoleringsskiktet med i tidigare försök uppmätta temperaturer visar mycket god överensstämmelse.

I rapporten ges slutligen några exempel på tillämpningar med motflödestak och medflödesgolv.

#### 4.2 Mätning av dynamisk isolerings filtrerande förmåga

Rapporten utarbetad av Arbetarskyddsstyrelsen, Arbetsmedicinska avdelningen, 1981.

Författare: Anders Jansson

Rapporten finns tillgänglig på Byggdok och hos Bengt Dahlgren Stockholm AB.

Mätningarna genomfördes för att fastlägga isoleringsskiktets stoftavskiljande förmåga samt om fibrer från isoleringsskiktet kunde släppa och följa med tilluften in i lokalen. Fyra olika sammansättningar av isoleringsskikt studerades.

Samtliga typer av isoleringsskikt visade sig ha utomordentligt goda stoftavskiljande egenskaper. I följande tabell, som har nr 2 i bilagan, visas avskiljningsgraden.

Kassett nr	I	II	III	IV
hastighet . m/h	2	2	10	200
tryckfall . Pa	~ 0.5	25	100	130
-----				
partikeldiam.	avskiljningsgrad .% .för respektive kassett			
0.01-0.05 $\mu\text{m}$	>99	>99	>99	>99
0.05-0.5 $\mu\text{m}$	>99	>99	>99	>95
0.5 -5 $\mu\text{m}$	>99.9	>99.8	>99.8	>97
>5 $\mu\text{m}$	>99.99	>99.99	>99.9	>99.9

Tabell 4.2 Lufthastigheter och tryckfall samt avskiljningsgrader i olika partikerstorleksintervall. För intervallen 0.01 - 0.5  $\mu\text{m}$  och >0.5  $\mu\text{m}$  medförde mätmetodiken högsta mätbara avskiljningsgrad 99% respektive 99.99%.

Inget av isoleringsskikten som provades kunde påvisas avge något fibermaterial till den luft som passerade.

Risken för att isoleringsskiktet blir helt igensatt av damm, som följer med uteluften, kan också behöva belysas. Ett vanligt filter kan ackumulera omkring  $600 \text{ g/m}^2$  utan att luftmotståndet blir orimligt stort. Med de låga hastigheter som förekommer i isoleringsskiktet torde en sådan storleksordning av ackumulationen vara fullt acceptabel. Stofthalten i stadsluft ligger vid  $250 \mu\text{g/m}^3$ . Med en lufthastighet genom skiktet av  $1 \text{ m/h}$  blir stofthalten per  $\text{m}^2$  isoleringsyta:

$$8760 : 250 \cdot 10^{-6} = 2.2 \text{ g/år}$$

Under normala stadsförhållanden skulle det således dröja omkring 300 år innan det har fastnat så mycket damm i isoleringen att luftmotståndet påverkas.

#### 4.3 Två förstudier av luftkvalitet i byggnad med dynamisk isolering.

Rapporten är utarbetad av:

Armin Guhl, OHA Statens Naturvårdsverk

Hélène Nicander-Bredberg, Psykologiska Institutionen, Stockholms Universitet

Rapporten finns tillgänglig på Byggdok och hos Bengt Dahlgren Stockholm AB.

Innehållet i rapporten återges enklast och i lämplig omfattning genom att citera författarnas sammanfattning: "Resultaten av de kemiska mätningarna som utförts på luften i hus med dynamisk isolering, dels i enfamiljshus, dels i badmintonhall är inte anmärkningsvärda. Varken de flyktiga organiska eller de oorganiska ämnena förekom i några alarmerande höga halter. PIXE-analysen visar dock genomgående lägre halter oorganiska ämnen inomhus än utomhus och inga nya ämnen tycks ha tillkommit vid luftens passage genom väggen. Antalet partikelmätningar som utförts är tyvärr för litet för att kunna bedömas meningsfullt då resultaten varierade mycket. Formaldehydhalten låg under den av socialstyrelsen rekommenderade gränsen. Fler provtagningar av det slag vi utfört skulle ej ge ytterligare information om den dynamiska isoleringens eventuella bidrag till luftföroreningsgraden. Detta eftersom det är många material som avger ämnen i husen. Istället skulle det vara av intresse att studera enbart den dynamiska isoleringen i laboratorieexperiment under väl definierade förhållanden."

#### 4.4 Dynamisk isolering, konstruktiva lösningar.

Rapporten är utarbetad av Axel Fagerstedt, K-konsult och den ingår som del II i föreliggande rapport.

Utredningen behandlar lösningar och problem vid praktisk tillämpning av dynamisk isolering i byggnader. Av de frågor som behandlas förekommer bl a hur den dynamiska isoleringen påverkas av olika yttre klimatförhållanden.

Emedan principen vanligen tillämpas i låga byggnader, enbostadshus och industrihallar blir inte termiska strömningar (skorstensverkan) av så stor betydelse. Vindpåverkan kan bli störande om inte motståndet för luftflödet genom isoleringen är tillräckligt stort. Ett vanligt luftmotstånd är enligt uppgift omkring 10 Pa och presenterade diagram visar att flödet genom isoleringen då kan minska ner till 50% av nominellt flöde vid vindhastigheter som förekommer under 5-10% av året. Detta påverkar givetvis isoleringens effektivitet.

Risk för fuktutfällning i den dynamiska isoleringen föreligger under vissa förhållanden. Vid motflödesisoleringen bör dock principen leda till mindre risk för fuktutfällning än vad som gäller i konventionella byggnader. Erfarenheten från provhus med dynamisk isolering i väggar bekräftar detta.

Med medflödesisolering, som oftast förekommer i golv, finns risk för fuktutfällning om temperaturen under golvet blir så låg att den närmar sig daggpunkten för frånluften. Även i detta fall visar erfarenheten att lämpliga konstruktiva lösningar undanröjer riskerna. (Se mer om detta nedan där erfarenheter från Anebyhus redovisas.)

Med motflödesisolering i tak finns risk att termiska luftströmmar i ex.vis en fabrikshall kan orsaka lokala bakåtströmmar, (medflöden) och att då fuktig lokalluft kan kondensera i takets kalla område.

Även snabba yttre klimatväxlingar kan orsaka kondens på yttertaketets undersida om relativa fuktigheten utomhus närmar sig daggpunkten och samtidigt takets yttertemperatur av någon anledning ex.vis på grund av strålning mot rymden eller värmekapacitet i takkonstruktion möjligen även p g a snö på taket är lägre än lufttemperaturen. Det rör sig dock om korta tider och med normala förhållanden bör en upptorkning snart erhållas.



5 KOMMENTARER TILL ÖVRIGA RAPPORTER AV BETYDELSE  
FÖR SAMMANFATTNINGEN

5.1 Provhus

Mätningar

Författare: Carl-Axel Boman, Mats Matsson

BFR-rapport R142:1981

Till kommentarerna har fogats några kompletterande synpunkter med anledning av besök i provhuset 1983-02-25 av Arne Elmroth, David Södergren och John Granström.

Mätningarna har genomförts i ett enbostadshus med dynamisk isolering uppfört i Aneby 1978 av Anebyhus. Provhuset har en invändig yta av 146 m<sup>2</sup> i ett plan. Under första 10 månaderna av mätperioden var huset obebott. Familjen som bor i huset sedan oktober 1980 består av 2 vuxna och 2 barn.

Det samband mellan utetemperatur och värmepannans effektbehov som redovisas för mätperioden innan familjen flyttade in antyder ett årsenergibehov av ca 16 000 kWh. Samma samband gällande den tid huset varit bebott visar ett minskat behov av energi från värmepannan (fortfarande utan tappvarmvattenförbrukning). Aproximativt fordras för ett år 13 000 kWh. Om energin för hushållsapparater, inv. belysning och fläktar adderas erhålles 16 500 kWh. (Tappvarmvatten ingår ej.) Luftomsättningen är ganska exakt 0.5 oms/h. Familjen önskar en innetemperatur av omkring +20°C och proven visar att denna temperatur upprätthålles ganska väl under eldningssäsongen.

Uppvärmnings- och ventilationssystemet är något mer komplicerat än vad som är normalt. Uteluft tas in vid taket, passerar innanför en ytterpanel och sugs in genom isolerskiktet (110 mm mineralull) till sugkassetter som är anslutna till tilluftsfläkten. Tilluften tillsammans med dubbelt så mycket cirkulationsluft trycks in genom värmare (konvektorer) i spalter på ytterväggarnas insidor och kommer in i bostaden genom springor i underkant fönster eller i överkant vägg. Frånluft tas ut i kök, bad, WC och tvätt och efter att passerat medflödesgolvet kommer den ner i kryppgrunden och sugs ut av avluftsfläkten.

Synnerligen omfattande och noggranna klimatomätningar har genomförts av SIB-personalen. Genomgående kan konstateras att systemet fungerar helt enligt planerna med en mycket jämn inomhustemperatur. Temperaturgradienten i vertikalled är bara några tiondels grader. Mätningar med globtermometer visar samma jämna temperatur.

Solstrålning på ytterpanelen påverkade inte nämnvärt tilluftens temperatur. Temperaturen i luftspalten på söderfasaden var under hela mätperioden nästan exakt densamma som på norrfasaden.

Det kan konstateras att den fuktiga luft som sugts ut från badrum och torkskåp direkt ner i golvisoleringen inte vållat något som helst obehag med fukt vare sig i isolering eller kryppgrund. Temperaturen i kryppgrunden har under hela mätperioden legat i intervallet  $+15 \pm 3^{\circ}\text{C}$ .

Vid besök i huset 1983-02-25 kunde konstateras att det termiska och hygieniska klimatet fortfarande var bra. Utetemperaturen var omkring  $0^{\circ}\text{C}$  och soligt väder rådde. Lufttemperaturen i de flesta rum var ca  $20^{\circ}\text{C}$ . Väggtemperaturer ovanför konvektorer var ca  $24^{\circ}\text{C}$ . Väggar utan konvektorer höll  $17.5 - 18.0^{\circ}\text{C}$ . Golvtemperaturerna låg mellan  $18.0$  och  $19.5^{\circ}\text{C}$ . Taktemperaturen var ca  $20^{\circ}\text{C}$  i alla rum. Tilluftstemperaturen var omkring  $26^{\circ}\text{C}$ . Fönstren, 2+1 glas, hade en invändig yttemperatur av mellan  $16$  och  $18^{\circ}\text{C}$ .

Företagsledningen för Anebyhus meddelade att de inte inom överskådlig tid kommer att ändra sin prototypkonstruktion till dynamisk isolering i tak eller väggar trots bra klimat i provhus. De konstruktiva lösningar som har tillämpats i provhuset för att eliminera risken för termiska störningar är förhållandevis komplicerade. Medflödesgolv föreföll att vara av någon större intresse.

## 5.2 Ett unikt system

Ett nytt unikt system för energibesparing i småhus

Författare: Torgny Thorén

STU-information nr 76-1978

Rapporten redovisar principen för dynamisk isolering i första hand vid tillämpning i enbostadshus. Många av de lösningar som sedan använts för provhuset i Aneby beskrivs. Författaren till rapporten, som dessutom är uppfinnare till principen, visar jämförelser mellan konventionellt utförda enbostadshus och hus med dynamisk isolering vad beträffar beräknade energibehov och antagna produktionskostnader. I vissa avseenden bekräftas teorierna i rapporten av resultatet från provhuset i Aneby ex.vis vad gäller energibehov och termisk komfort. I andra avseende har det praktiska utförandet visat sig ge något avvikande resultat från teorierna i rapporten ex.vis angående solvärmestillskott från fasaderna.

Den erforderliga merinvesteringen som uppskattats av författaren gäller vid serieproduktion och någon bekräftelse på dessa siffrors relevans har inte varit möjligt att få från tillverkaren.

### 5.3 Dynamisk isolering och återvinning

Rapporten hänför sig till ett forskningsanslag från Sydkraft AB:s Stiftelse

Författare: Lars Jensen, Lunds Tekn. Högskola

Rapport BKL 1982:4

Författaren anser det nödvändigt att vid jämförelse av dynamisk isolering med annan isolering också ta hänsyn till andra möjligheter till värmeåtervinning, kombinerad med såväl dynamisk- som konventionell isolering.

Den värmeåtervinning som studeras i olika varianter baseras genomgående på principen att ta värme ur frånluften och med den värma tilluften. Om detta kombineras med dynamisk isolering kan tilluftsflödet antingen passera i serie, först genom isoleringen och sedan genom värmeväxlaren eller parallellt, en del genom isoleringen och en del genom värmeväxlaren. Det bör observeras att det fordras stora luftflöden i synnerhet med parallella flöden. Sammanfattningsvis anges några slutsatser varav följande citeras:

"Fallet med dynamisk isolering parallellt med ventilationsvärmeåtervinning ger högre relativ besparing än fallet med dynamisk isolering i serie med ventilationsvärmeåtervinning".

"De förbättringar som har erhållits är måttliga jämfört med vanlig isolering och värmeåtervinning. Dynamisk isolering kräver inte obetydliga byggnadstekniska och installationstekniska åtgärder och därpå följande kostnader".

Rapporten är ett bra exempel på det systemtekniska synsätt som är nödvändigt att tillämpa då dynamisk isolering ställs mot andra energibesparande åtgärder.

## 6 FUNKTIONSANALYS

Utöver de teoretiska och praktiska analyser av principen med dynamisk isolering som redovisats i ovanstående rapporter, kan följande aspekter vara belysande för att bedöma principens framtida tillämpning.

I motströmsalternativet där principen tillämpas i sin mest renodlade form och som kan bli aktuell i samband med enbostadshus, industrierhallar, idrottsanläggningar, ugnar etc, strömmar luft från omgivningen genom den värmeisolerande väggen eller taket in mot det utrymme där temperaturen skall upprätthållas.

Värmen kan generellt betraktat försvinna ut ur en byggnad via två vägar: dels kan luften som lämnar byggnaden (avluften) ha högre värmeinhåll än den uteluft som kommer in, dels kan värme via strålning, ledning eller konvektion avges till omgivningen från byggnadens ytteryta. Värmeförlusterna via luftflödet kan minskas genom att man sänker avluftens värmeinhåll (temperatur och fuktighet) eller genom att man minskar luftflödet genom byggnaden. Vad som i övrigt händer med luften vid dess passage genom byggnaden har ingen betydelse.

Värmeförlusterna via strålning, ledning eller konvektion från byggnadens ytteryta kan minskas genom att man minskar byggnadens ytteryta, minskar värmeövergångstalet eller genom att man minskar temperaturskillnaden mellan ytan och omgivningen. Ytterytans storlek och värmeövergångstal är i allmänhet konstanter som är svåra att göra något åt medan temperaturen vanligtvis är den faktor som kan påverkas.

Hur är då möjligheterna att med dynamiska isoleringens princip minska värmeförlusterna enligt de beskrivna vägarna? Med en motflödesvägg eller ett motflödestak närmar sig ytterytans temperatur den omgivande luftens temperatur på grund av att luften strömmar in genom väggen. På så sätt erhålles en värmebesparing och dess effekt kan bestämmas av de tabeller och diagram som finns i Anderlind-Johansson. Rapport R 162:1980. Temperaturen på den avluft som går ut från byggnaden påverkas inte av den dynamiska isoleringsprincipen i motflödesvarianten. Värmebehovet för att värma luftflödet genom byggnaden är således detsamma som i ett konventionellt ventilationssystem.

När luften strömmar genom isoleringen i medflödesvarianten erhålles därmed en sänkning av temperaturen som gör att värmeförlusten för ventilation minskar.

De effekter som den dynamiska isoleringsprincipen åstadkommer för värmebesparingen genom att byggnadens yttemperatur i motflödesfallet närmar sig utetemperatur och likaså av att avluftens temperatur i medflödesfallet närmar sig omgivningens temperatur kan naturligtvis uppnås även med andra åtgärder. Vid motflödesprincipen kan den sänkning av yttemperaturen som inträffar på väggens insida lätt bli besvärande och åtgärder kan erfordras för att undanröja sådana risker. Omvänt bör uppmärksammas fördelen av varma golv vid medflödesisolering i golv.



## 7. TILLÄMPNINGSANALYS INKL. EKONOMISKA ASPEKTER

I vilken omfattning dynamisk isolering kommer att utnyttjas i framtiden beror på hur det går att finna enkla och billiga lösningar för att tillämpa principen och hur kostnaderna för dessa lösningar ställer sig i relation till andra värmebesparande system.

Den dynamiska isoleringens mest iögonfallande egenskap är hur snabbt värmemotståndet i en vägg ökar så snart en luftström möter värmeflödet. Om  $k$ -värdet är  $0,28 \text{ W/m}^2, \text{ K}$  med en  $150 \text{ mm}$  tjock isolering i en statisk konstruktion går det ner till hälften  $0,14 \text{ W/m}^2, \text{ K}$  i den dynamiska varianten med en luftström av  $1 \text{ m/h}$ . Värdena ligger vid vanligtvis förekommande nivåer. Ekonomin med den värmebesparing som principen ger måste dock uppvägas av den ökade investering som fordras för att få en jämn fördelning av luftflödet genom byggnadselementet. En jämförelse måste också göras med andra möjligheter för energibesparing för att just den dynamiska isoleringens princip skall kunna fastställas som den bästa. En tjockare isolering i väggen kan ev. vara billigare.

I dag föreliggande erfarenheter tyder på att tak i industrihallar eller andra lokaler med relativt stora ventilationsbehov har bästa förutsättningarna för att ge ekonomiskt fördelaktiga lösningar med tillämpning av den dynamiska isoleringsprincipen. Behovet av ventilationsluft måste vara så stort att luftflödet räcker för att åstadkomma en god dynamisk isolering. Om luftflödet måste ökas för värmeisoleringens skull försvinner ekonomin med principen mycket snart.

Om dynamisk isolering används i ett industritak för att minska värmeförlusterna vintertid fordras att en annan lösning tillämpas under sommarförhållanden då annars solvärmens från taket kan orsaka okomfortabla temperaturförhållanden i lokalen. En god lösning kan vara att reversera flödet genom taket sommartid. Med axialfläktar finns vissa möjligheter att genom ändrad rotationsriktning reversera flödet. Med kanalsystem och spjäll kan samma omkastning av flödet genom takisolereringen åstadkommas trots att flödet genom fläkten är likriktat. Eftersom tilluftsfläkten för vinterförhållanden ändras till en frånluftsfläkt under sommartid måste vinterns tilluftssystem kompletteras med något annat system för tilluft under sommarfallet så att det räcker såväl för avluft genom tak som avluft till processer enligt vinterfallet.

Medflödesprincipen har förutsättningar att komma till användning där inte andra möjligheter att ta tillvara värmen i avluften föreligger. Om principen används för exempelvis ett golv kan isoleringen i golvet göras något tunnare genom att rumsluften strömmar ner genom isoleringen under golvytan och håller den varm. Principen har, som beskrivits ovan, tillämpats på prov i ett bostadshus och med ett luftflöde motsvarande byggnormens krav har fuktigheten från bostaden inte orsa-

kat några problem med fukt i krypgrunden under huset. Risken för fuktutfällning i samband med medflödeskonstruktioner behöver dock uppmärksammas och det bör framhållas att grundmurar och mark i kryputrymmen kan behöva isoleras för att temperatursänkningen där skall bli måttlig. Omvänt kan sägas att med motflödeskonstruktioner är riskerna för några fuktproblem små.

När stora temperaturdifferenser föreligger, vilket kan vara fallet i vissa industriprocesser vid ugnar, torrar etc. torde möjligheten att få ekonomiska lösningar genom tillämpning av dynamiska isoleringsprinciper vara stora.

Med de energipriser som råder i början av 1980-talet har hittills förekommande projekt visat att det kan vara svårt att utföra en anläggning för dynamisk isolering till så låga kostnader att energibesparing blir en god affär. Om energipriserna ökar i relation till andra kostnader kommer förutsättningarna för att få ekonomiska anläggningar med tillämpning av den dynamiska isoleringsprincipen att bli gynnsammare. Industriell tillverkning av byggkomponenter kan minska extrakostnaderna för dynamisk isolering.



DYNAMISK ISOLERING

Del II

Ventilationstekniska grunder för praktisk  
tillämpning i byggnader

Axel Fagerstedt



## FÖRORD

Föreliggande rapport behandlar en icke konventionell isolerteknik kallad dynamisk isolering som genomströmmas av en gas eller vätska. Metoden har patenterats och utvecklats av byggnadsingenjör Torgny Thorén.

Utredningen har finansierats av Statens råd för byggnadsforskning och ingår som en del i ett projekt om dynamisk isolering.

Stockholm mars 1983

Axel Fagerstedt

1 FRÅGESTÄLLNINGAR KRING ANVÄNDNINGEN AV DYNAMISK ISOLERING

Frågeställningarna vid användningen av dynamisk isolering kan vara många och av högst skiftande natur. Ny teknik innebär att gamla och invanda metoder ändras. Nya kunskaper kräver insatser i tid och engagemang. Dåliga kunskaper, att tekniken spänner över många nu åtskilda teknikfack samt en allmän misstro mot nyheter har bidragit till en hittills blygsam tillämpning av dynamisk isolering. Rätt nyttjad kommer tekniken att kunna erbjuda så många fördelar att tillämpningen i framtiden bör kunna bli betydande. Nedan nämns några av de viktigaste frågeställningarna vid användningen av dynamisk isolerteknik

- 1 Tänkbara användningsområden
- 2 Isoleringsförmåga
- 3 Övriga energibesparande effekter
- 4 Inneklimat
- 5 Kostnadsaspekter
- 6 Täthetskrav på byggnaden
- 7 Luftfördelningen över isoleringen
- 8 Diffusion och fuktvandringar

Av dessa behandlas 6, 7 och 8 mer ingående i kapitel 2, 3 och 4.

Låt oss först klargöra var i den huvudsakliga skillnaden mellan statisk och dynamisk isolering ligger. I konventionell statisk isolerteknik försöker man i allmänhet begränsa värmetransmissionen till följd av ledning, strålning och diffusion genom att inestänga luft i ett poröst material med en diffusionsspärr mot den varma sidan.

Vid tillämpning av dynamisk isolerteknik eftersträvar man att upprätthålla ett jämt utbrett styrt luftflöde genom isoleringen. Två huvudprinciper kan särskiljas. Medflödes- respektive motflödesisolering. I medflödesfallet går luftflödet och värmefflödet i samma riktning medan luftflödet är motriktat i värmefflödet i motflödesfallet.

I korthet kan medflödesprincipen sägas gå ut på att spillvärme i t ex förbrukad varm frånluft används till att värma upp en inneryta så att rumsluftens värme innehåll ej transmitteras till ytan. Vid motflödesisolering gäller att utåtgående transmissionsvärme upptas av ett inåtgående kallare tillutflöde.

## 1.1 Några användningsområden

Användningsområden för dynamisk isolerteknik är betydligt mer mångskiftande än den för konventionell statisk isolerteknik. Den för närvarande enklaste tillämpningen torde vara att tak förses med motflödesisolerande tak i olika hallbyggnader. Gjorda beräkningar i efterföljande avsnitt behandlar främst detta fall.

Motflöde i tak kan med fördel kombineras med medflöde i golv tex i småhus. Ytterväggar kan givetvis också förses med dynamisk isolering. Därutöver finns en rad nya tillämpningar inom industrin som dock inte kommer att behandlas här.

Solvärmeinfångning med hjälp av dynamisk isolering är möjlig i många olika tillämpningar. Genom styrning av flödet kan även besvärande solvärme enkelt hindras att tränga in i byggnaden. Då luften genom en dynamisk isolering omväxlande går i olika riktning, ömsom motflöde ömsom medflöde, kan en regenerativ luftvärmewäxling av till- och frånluft uppnås. Utöver de direkta applikationer som nämnts bör påpekas att möjligheterna för ytterligare innovationer är stora.

## 1.2 Isoleringsförmåga

Teorin för hur isolereffekten varierar för olika flöden finns beskriven i (1). I fig 1.2.1 visas ett exempel. Kurvorna varierar naturligtvis beroende på vilka materialkonstanter och andra ingångsvärden som väljs. Jämför fig 5.4 i (1).

Trots betydande ansträngningar till förbättringar förekommer emellertid fortfarande stora transporter av såväl värme, luft och fukt genom konventionell statisk isolering. Dels beror detta på att ekonomiska skäl begränsar valet av isolertjocklek, dels på att fullständig täthet är svår att uppnå i normala byggnader. Vid konventionell isolerteknik strömmar således luft, värme och fukt med olika hastighet och i olika riktningar genom isoleringen beroende på vilka klimatbetingelser som för tillfället råder. Då en byggnad är riktigt konstruerad är riktningen och storleken av dessa strömmar i genomsnitt över en längre tidsperiod sådana att eftersträvad isolereffekt ändå i stort uppnås samtidigt som fuktvandringen ej orsakar bestående skador.

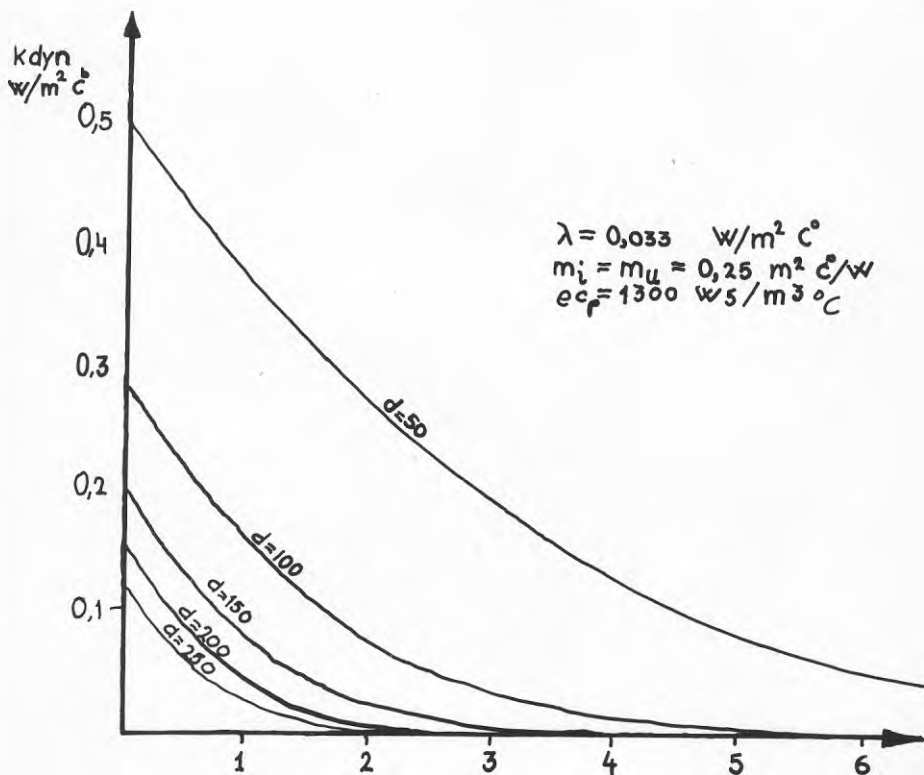


Fig 1.2.1 Det dynamiska k-värdet  $k_{dyn}$ , för olika mineralullstjocklekar,  $d$ , och Lufthastigheter  $v$  genom isoleringen. Grunderna för beräkningarna finns beskrivna i (1)  $\lambda = 0,33 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$   $\rho c_p = 1300 \text{ W s/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $M_i = M_u = 0,25 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$



Dessa förhållanden torde ej vara okända för flertalet läsare. Det är emellertid viktigt att ständigt hålla det ovan nämnda i minnet när kunskaper från konventionell statisk isolerteknik i tillämpliga delar skall tillämpas på den nya dynamiska isolertekniken. Läsaren bör således ej förfasas över att luftflödet genom dynamisk isolering kortare perioder kan gå i motsatt riktning mot det eftersträfvade. Olika flöden genom statiska isoleringar går i allmänhet i oönskade riktningar under mycket längre tidsrymder.

De i fig 2.6.1 - 2.6.11 redovisade flödesminskningarna kan lite förenklat sägas motsvara motriktade flöden i konventionell statisk isolering. Förutsatt är då att samma täthet förekommer i byggnadsdelarna samt att o-tätheterna är jämt fördelade. Att speciellt byggnader med konventionellt statisk isolerade plana tak ofta uppvisar fuktproblem är ej förvånande med tanke på vad som ovan nämnts.

### 1.3 Övriga energibesparande effekter

Förutom den värmeisolerande förmågan finns ytterligare energibesparande effekter vid användning av dynamisk isolerteknik i byggnaders klimatskal.

I allmänhet kan t ex temperaturgradienten inne i byggnaden minskas varvid en lägre genomsnittlig temperaturskillnad till omgivningen är möjlig. Storleken av denna besparing varierar mycket från fall till fall. Betydande besparingar kan förväntas i byggnader med stor takhöjd.

Förutsatt att lika byggnader jämförs minskar den oavsiktliga ventilationen i byggnader med dynamisk isolering. Minskningen blir per ytenhet störst för plana takytor. Sker jämförelsen med konventionella byggnader med stora temperaturgradienter ökar besparingseffekten ytterligare. Beräkningar tyder på att besparingseffekterna ofta blir betydande. För att erhålla storleksordningar på besparingarna kan fig 2.6.1 - 2.6.11 studeras.

Risken för dragproblem minskar oftast vid användning av dynamisk isolering. Dragproblem är ofta orsaken till för höga innetemperaturer. Behovet av att kompensera drag med höjd innetemperatur kan därför förhoppningsvis elimineras.

Några direkta mätningar av ventilationseffektiviteten vid användning av dynamisk isolering finns ej ännu. Mycket talar för att effektiviteten kan göras hög. Låga temperaturgradienter samt en utbredd lufttillförsel är positiva faktorer i sammanhanget. I den mån en ökning av ventilationseffektiviteten kan påvisas borde denna kunna leda till en minskning av ventilationsflödet. Luftspalter kring den dynamiska isoleringen tjäna i första hand till att fördela luftflödet genom

isoleringen, men bidrar också till att ytterligare höja isolereffekten. Rätt utformad kan luftspalten dessutom tjäns göra som solfångare. Solvärme i betydande mängder kan på detta sätt tillföras byggnaden. Om önskad tillskott sommartid ska kunna undvikas bör flödet kunna regleras. Regleringen kan skötas på ett flertal olika sätt. En avstängning eller reversering av tilluftsfläkten är oftast tillräcklig.

Sammanlagt kan energibesparingarna av ovan nämnda effekter ofta t o m överträffa de som erhålls genom den minskade värmetransmissionen,  $k_{dyn}$ -värdet.

### 1.3.1 Kombination med värmepump

Eftersom frånluften ej utnyttjas till värmeväxling med frånluften kan dynamiskt isolerade byggnader med fördel förses med frånluftsvärmepump. I de fall frånluftsvärmepump och luftvärmväxlare är energimässigt jämförbara är således de energimässiga besparingarna genom den dynamiska isoleringen det som skiljer de båda alternativen. Då i dag frånluftsvärmepumpen ensam är ett energimässigt konkurrenskraftigt alternativ torde kombinationen med dynamisk isolering bli ett energimässigt svårslaget alternativ.

Att jämföra FTX-system i konventionellt statiskt isolerade byggnader med dynamisk isolerade byggnader utan frånluftsvärmepump är ej kostnadsmässigt relevant eftersom det första alternativet är så pass mycket kostsamare.

För att isoleringen skall fungera som dynamisk isolering krävs naturligtvis att avsett luftflöde upprätthålls. Under vissa delar av dygnet behöver en del byggnader ej någon ventilation. I konventionellt statiskt isolerade byggnader stängs då den mekaniska ventilationen av. I många utföranden är detta möjligt även med dynamisk isolerade byggnader. För somliga utföranden kan dock förfarandet, beroende på önskad fuktvandringar, vara mindre lämpligt. Då dynamiskt isolerade byggnader är försedda med en frånluftsvärmepump behöver kontinuerlig ventilation ej betyda någon energimässig nackdel.

Vid låga ventilationsflöden genom den dynamiska isoleringen erhålls negativa termer i energibalansen för följande kombinationer av utetemperaturer,  $t_{ute}$ , och frånluftstemperaturer efter värmepumpen,  $t_{vp}$ . Innetemperatur och frånluftstemperatur är satta till  $20^{\circ}\text{C}$ .

$$\begin{array}{ll} t_{vp} = +10^{\circ}\text{C} & t_{ute} < \pm 0^{\circ}\text{C} \\ " & + 5 " & " < -10 " \\ " & \pm 0 " & " < -20 " \end{array}$$

Då angivna utetemperaturer överskrids erhålls positiva bidrag till energibalansen. I en energimässig årsbalans kan det m a o i bland visa sig energimässigt

fördelaktigt att låta ventilationen gå dygnet runt.

#### 1.4 Inneklimat

Det inre klimatet i en byggnad kan påverkas på ett flertal olika sätt av den dynamiska isoleringen. Nedan nämns några av de viktigaste.

- 1 Filtreringsegenskaper
- 2 Akustikegenskaper
- 3 Luftrörelser och strålningstemperaturer

##### 1.4.1 Filtreringsegenskaper

Många farhågor och vanföreställningar har florerat kring den dynamiska isoleringens filtrerande egenskaper. Tankar på att isoleringen skulle sättas igen och att tilluften skulle rycka med sig mineralullsfibrer har med jämna mellanrum framförts.

Mätningar ger vid handen att filtergraden vid normala applikationer ofta ligger över 99%. Filtreringsgraden överstiger m a o vida vad som normalt krävs.

För medryckning av isolerfibrer krävs en lufthastighet av flera meter per sekund. Lufthastigheten genom dynamisk isolering är i regel endast några meter per timme! När motflödesisoleringen förses med ett inre reglerskikt med luftkanaler på några tiondels milimeter, försvinner möjligheterna till fibernedfall helt.

Någon medryckning av mineraullsfibrer har ej kunnat konstateras ens vid för dynamisk isolering extremt höga lufthastigheter. Faran för att isoleringen skulle sätta igen sig vid applikationer med normal uteluft blir ej aktuell förrän efter hundratals års användning. Om tekniken används i miljöer där igen-sättningen kan ske snabbare innebär det ökade tryck-fallet under stor del av denna tid oftast ett stabilt flöde. I ett längre perspektiv kan det dock då bli aktuellt med val av en större fläkt eller ett förfilter av utbytestyp.

##### 1.4.2 Akustikegenskaper

Akustikegenskaperna går ej att beskriva generellt. Två olika egenskaper kan särskiljas. Den första avser ljuddämpningen av fläktljuden. Den andra och mest betydelsefulla avser möjligheterna att utnyttja den dynamiska isoleringen för rumsakustisk dämpning. Möjligheter till stor absorptionsyta utan hygieniska nackdelar och utan stora extra kostnader för separata dämpningsanordningar erbjudes genom tillämpningar av dynamisk isolerteknik.

Beräkningar och bedömningar får dock göras från fall till fall. Beräkningstekniken skiljer sig inte nämnvärt från den som normalt tillämpas i andra byggnadstekniska sammanhang.

#### 1.4.3 Luftrörelser och strålningstemperatur

Redan tidigare har positiva effekter med låga temperaturgradienter och dragfrihet nämnts som möjliga vid användning av dynamisk isolerteknik. Då t ex hela takytan använts för tillförsel av luft till rummet blir fördelningen över rummet extremt god. I de fall stora mängder luft önskas tillföras rummet på detta sätt måste följande beaktas. Yttemperaturen mot rummet får ej bli besvärande låg. Kompensation med andra varma ytor kan eliminera besvärande sänkt yttemperatur på dynamiskt isolerade ytor. Jämför med radiatorer som traditionellt kompenseras kalla fönster. Stora luftmängder genom den dynamiska isoleringen kan i vissa fall ge upphov till kallras om ej tillförseln ordnas på tillfredsställande sätt.

#### 1.5 Kostnadsaspekter

Valet av byggnads- och isolerteknik är oftast utsatt för olika ekonomiska prövningar. En jämförelse mellan kostnaderna för konventionell statisk dynamisk isolerteknik är därför naturlig. Jämförelser kräver dock kunskaper om vad som jämförs. Bl a följande områden bör beaktas.

Investeringskostnaderna för:	Stommen
	Isoleringen
	Ventilationen
	Uppvärmningen
	Värmeåtervinningen
	Ljudabsorbktion
Driftkostnaderna för:	Uppvärmning
	Personal
	Reparationer
	Underhåll

Eftersom en kostnadsjämförelse där alla kvaliteter är helt likvärdigt prissatta oftast är omöjlig blir kostnads kalkylerna mer eller mindre trubbiga instrument som inte sällan bedrar köparen. Förutom den förbättrade isolerförmågan är god filtrering av tilluften, avsaknaden av filterbyten, god rumsakustik, minskade anslutningseffekter samt ytterligare energibesparande effekter utöver det sänkta k-värdet exempel på sådant som tidigare sällan har prissatts. Några detaljerade kostnadsjämförelser finns emellertid ännu inte att tillgå. Många be-

räkningar pekar dock redan på att de besparingar som kan göras på såväl investeringssidan som på drifts- sidan är betydande.



## 2 LUFTVÄXLINGAR I BYGGNAD MED DYNAMISK ISOLERING

Isolereffekten av dynamisk isolering i byggnadens klimatskal bygger på att isoleringen genomströmmas av luft. Eftersom luftflödet genom isoleringen kan påverkas av klimatet är det önskvärt att storleken av denna inverkan kan beräknas.

Eftersom samtliga luftflöden genom en byggnad är inbördes beroende av varandra leder beräkningen av ett visst flöde till att även alla övriga flöden måste beräknas. En modell för beräkning av luftväxlingen i en byggnad med dynamisk isolering presenteras nedan.

## 2.1 Syftet med vald luftväxlingsmodell

För att fullständigt kunna beskriva olika byggnaders luftväxling krävs en ytterst komplicerad modell. Den här presenterade modellen bygger på vissa för dessa beräkningarna acceptabla förenklingar. Endast genomsnittsvärden av tryck och flöden för olika ytor behandlas. Byggnaden antas ej innehålla innerväggar och bjälklag eller andra hinder för luftrörelser inne i byggnaden. Vidare antas tryckvariationerna ske så långsamt i tiden att tryck och flöden kan beskrivas som om de var utsatta för stationära förhållanden.

Svårigheten att fastställa alla indata samt mängden av möjliga variabler leder till att en lättbehandlad luftväxlingsmodell söks. Syftet med en sådan modell begränsas till att erhålla en rimligt noggrann information om generella krav på en byggnad med dynamisk isolering.

## 2.2 Luftväxlingens kontinuitetssamband

Luftväxlingen i en byggnad med dynamisk isolering kan schematiskt åskådliggöras med Fig 2.2.1. Till- och frånluftsflöden delas där upp i en mekanisk och en klimatstyrd del. Den klimatstyrda delen går genom otätheter i byggnadens klimathölje, avsiktliga öppningar och ventiler. Självdragsventilation kan betraktas som klimatstyrd.

Om alla flöden omräknas till samma temperatur får vi med beteckningar enligt fig 2.2.1 det grundläggande sambandet.

$$q_{ISO} = q_{MT} + q_{KS} = q_{MF} - q_{KR} \quad (2.2.1)$$

Sambandet innebär att ett flöde till byggnaden motsvaras av ett lika stort flöde från densamma.



Omräkning av ett flöde som ändrar temperatur från  $T_x$  till  $T_{REF}$  görs enl formeln

$$q_{REF} = \frac{T_{REF}}{T_x} \cdot q_x \quad (2.2.2)$$

$q_{REF}$  = flödet  $q_x$  omräknat för referenstemperaturen  $T_{REF}$

$q_x$  = flödet vid temperaturen  $T_x$

$T_{REF}$  = referenstemperatur,  $^{\circ}K$

$T_x$  = den verkliga temperaturen på flödet  $q_x$ ,  $^{\circ}K$

I den fortsatta redovisningen förutsätts alla flöden vara omräknade till samma referenstemperatur.

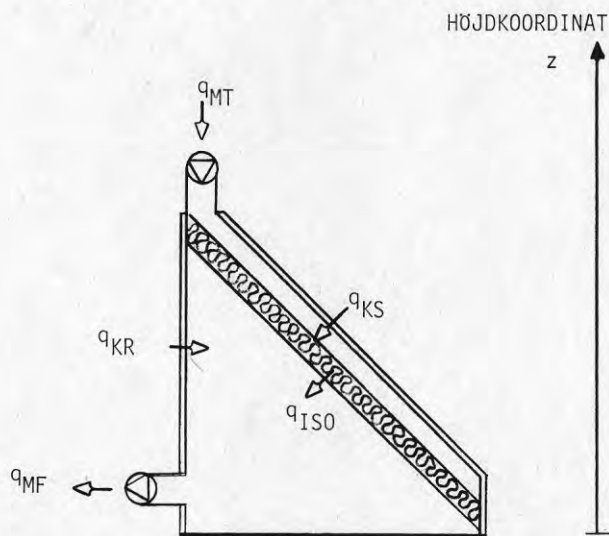


Fig 2.2.1 Schematisk bild av luftväxlingen i en byggnad med dynamisk isolering

$z$	Höjdskoordinater
$q_{ISO}$	Flödet genom isoleringen, positivt vid flöde till rummet.
$q_{MT}$	Mekaniskt styrd tilluft
$q_{MF}$	Mekaniskt styrd frånluft
$q_{KR}$	Klimatbetingat flöde genom rummets klimathölje, positivt vid flöde till rummet.
$q_{KS}$	Klimatbetingat flöde genom spaltens yttre tätskikt, positivt vid flöde till spalten

## 2.3 Luftväxlingens tryckberoende flödesfunktioner

## 2.3.1 Klimathölje

Flödet  $q_i$  genom arean  $A_i$  kan skrivas

$$q_i = A_i \times k_i \times p_i^{b_i} \quad (2.3.1.1)$$

Där  $q_i$  räknas positivt för strömning till byggnaden. I praktiska sammanhang räknar man med att  $k_i$  och  $b_i$  är konstanter.  $b_i$  varierar mellan 0,5 vid turbulent strömning och 1,0 vid laminär strömning

Formeln är inte tillämplig vid springor vars öppningar kan ändras med trycket som t ex vid läpplistor.

Klimathöljet uppdelas enl fig 2.2.1 i två delar, KR och KS. Summorna av flödet genom resp del kan skrivas.

$$\sum q_{KR_i} = A_{KR_i} \times k_{KR_i} \times p_{KR_i}^{b_{KR_i}} \quad (2.3.1.2)$$

resp

$$\sum q_{KS_i} = A_{KS_i} \times k_{KS_i} \times p_{KS_i}^{b_{KS_i}} \quad (2.3.1.3)$$

Trycket i en punkt  $p_i$  på utsidan av klimathöljet kan beskrivas som

$$p_i = p_o + 1/2 \times \rho \times C_{p_i} \times v_i^2 \quad (2.3.1.4)$$

där  $p_o$  = barometertrycket

$$1/2 \times \rho \times C_{p_i} \times v_i^2 = \text{vindtrycket}$$

Att barometertrycket och det termiska trycket utomhus varierar förbises här.

Trycket i en punkt  $i$  på insidan av klimathöljet kan skrivas som

$$p_i = p_R - 0,04 \times \Delta T \times \Delta Z_i \quad (2.3.1.5)$$

$$\text{där } \Delta T = T_R - T_o$$

$$\Delta Z_i = Z_{\text{ref}} - Z_i$$

$$p_R = \text{Rumstryck vid referenshöjden, } Z_{\text{ref}}$$

$Z_{\text{ref}}$  = Referenshöjd, beror av otätheternas fördelning. Vid jämnt fördelade otätheter är referenshöjden halva totalhöjden.

$$Z_i = \text{Punkten } i \text{'s höjd}$$

$$T_R = \text{Rumstemperatur}$$

$$T_o = \text{Omgivningens temperatur}$$

Tryckvariationer p g a luftrörelser inne i rummet beaktas ej här utan behandlas i ett senare avsnitt.

Tryckskillnaden över klimathöljet kan då skrivas som

$$\Delta p_i = p_o - p_R + \frac{1}{2} \rho \times C_{p_i} \times v_i^2 + 0,04 \times \frac{\Delta T \times \Delta z_i}{(2.3.1.6)}$$

$\Delta p_i$  insättes i ekv (2.3.1.2) och (2.3.1.3)

### 2.3.2 Dynamisk isolering

I likhet med ekvationerna (2.3.1.2) och (2.3.1.3) kan flödet genom isoleringen skrivas som

$$\sum q_{iso_i} = \sum A_{iso_i} \times k_{iso_i} \times \Delta p_{iso_i}^{b_{iso_i}} \quad (2.3.2.1)$$

där  $q_{iso_i}$  räknas positivt vid strömning till rummet.

Flödet i mellanrummet, spalten S, mellan klimathölje och isolering antas ske utan tryckförluster. Inverkan av tryckförluster i spalten behandlas i separat avsnitt.

Trycket  $\Delta p_{iso_i}$  varierar under dessa förutsättning endast beroende av termiska krafter.

$$\Delta p_{iso_i} = p_S - p_R + 0,04 \left[ (T_S - T_o) \times (z_{Sref} - z_i) - (T_R - T_o) \times (z_{Rref} - z_i) \right] \quad (2.3.2.2)$$

### 2.3.3 Luftkanaler

Flödets beroende av trycket kan för till- resp frånluftskanal skrivas som

$$\sum q_{MT_i} = \sum k_{MT_i} \times \Delta p_{MT_i}^{b_{MT_i}} \quad (2.3.3.1)$$

och

$$\sum q_{MF_i} = \sum k_{MF_i} \times \Delta p_{MF_i}^{b_{MF_i}} \quad (2.3.3.2)$$

där i de flesta praktiska fall  $b_i = 0,5$

Kanalerna och fläktarna antas vara täta, vinden antas påverka endast kanalmyningen mot omgivningen och lufttemperaturen i kanalen antas vara samma som omgivningens temperatur. Under dessa antaganden kan

$\Delta p_{MT_i}$  och  $\Delta p_{MF_i}$  skrivas som

$$\Delta p_{MT_i} = \Delta p_{Fläkt,T} + p_o - p_S + 0,6 \times C_{p_{MT}} \times v_{MT}^2 + 0,04 \times (T_S - T_o) (z_{ref} - z_i)$$

(2.3.3.3)

$$\Delta p_{MF,i} = \Delta p_{Fläkt,F} + p_R - p_O - 0.6 \times C_{pMF} \times V_{MF}^2 - 0,04 \times (T_R - T_O) (z_{ref} - z_i)$$

(2.3.3.4)

#### 2.3.4 Fläktar

Tryckets beroende av flödet för en fläkt blir ofta mycket komplicerat. Inom ett mindre intervall kan det väl approximeras med en rät linje medan det i ett stort intervall antingen måste delas upp i ett flertal mindre intervall eller approximeras med en mer komplicerad funktion. Detta arbete går inte närmare in på dessa samband utan uttrycker till- och frånluftsfläktarnas kurvor som  $\Delta p_{Fläkt,T}$  ( $q_{MT}$ ) resp  $\Delta p_{Fläkt,F}$  ( $q_{MF}$ ).

#### 2.4 Det sammansatta systemet av tryckberoende flödesfunktioner.

För en byggnad vilken ej är utsatt för vind- och termiska tryck kan de tryckberoende flödesfunktionerna ritas upp som i fig 2.4.1.

Systemet är i balans. D v s det uppfyller ekv (2.2.1).

Balansläget kan erhållas genom antingen grafiskt eller matematiskt passningsarbete.

När vind- och termiska tryck påverkar byggnaden ändras balansläget. Varje ändring leder till en ny passningsberäkning. För att på ett rationellt sätt behandla en större mängd ingångsvärden krävs ett datorprogram. Ett sådant program har också utvecklats. Behandlingen av indata samt resultat av några beräkningar presenteras nedan.

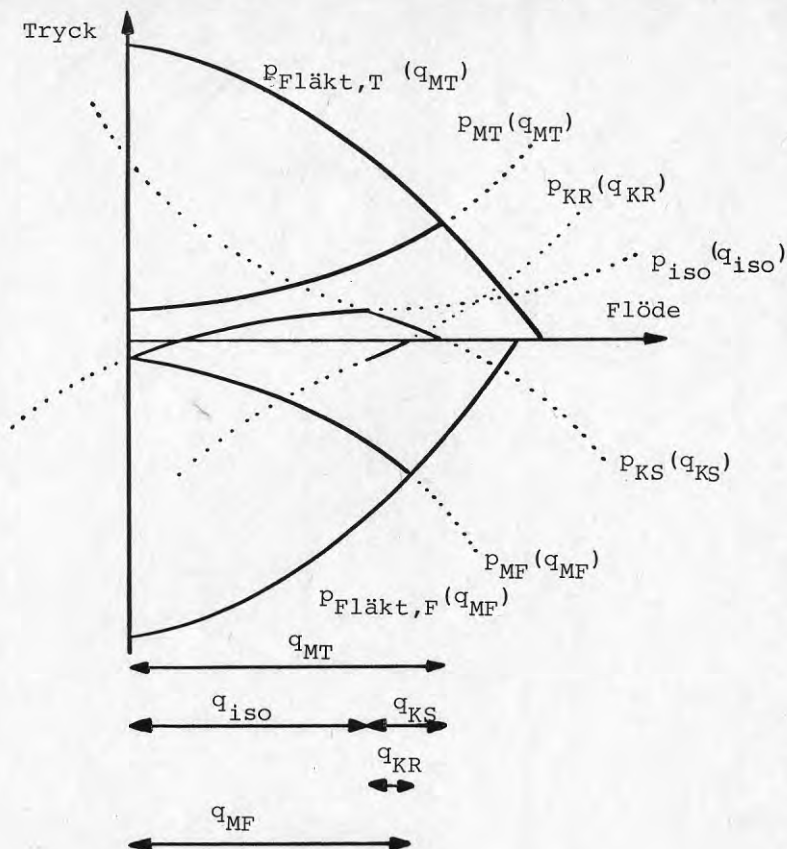


Fig 2.4.1 Tryck som funktion av flöde för de olika delarna i en byggnad med dynamisk isolering. Byggnaden är ej utsatt för vind eller termiska tryck.

## 2.5 Behandlingen av indata vid beräkning av luftväxlingen

I avsnitten 2.5.1 - 2.5.4 redovisas dels vilka möjliga ingångsvariabler som kan användas i det utarbetade dataprogrammet dels vilka värden på variablerna som har använts vid beräkningarna.

### 2.5.1 Byggnadens geometri

Byggnadens ytterhölje delas upp i sex areor. Två av dessa innesluter den dynamiskt isolerade ytan med sin luftfördelningsspalt. De fyra återstående utgör byggnadens övriga klimathöljen vilka ej antas innehålla dynamisk isolering. Uppdelningen är främst gjord för att behandla lösningar med dynamisk isolering i takkonstruktioner. Det finns dock inga principiella hinder för att behandla väggar på samma sätt.

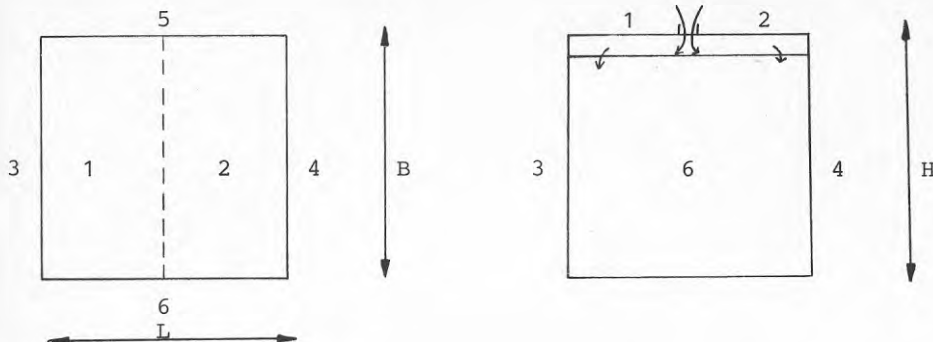


Fig 2.5.1.1 Numreringen av en byggnads sex ytterareor i relation till längderna  $L$  och  $L_1$ , bred  $B$  och höjd  $H$ , vid dynamisk isolering i takkonstruktioner.

Areauppdelningen ansluter till byggnormens uppdelning av areor för beräkning av vindpåkänningar. För att underlätta jämförelser mellan byggnader med olika dimensioner införs här en faktor,  $F$ , som ett mått på relationen mellan area 1 och 2 resp 3, 4, 5 och 6

$$F = \frac{A_1 + A_2}{A_3 + A_4 + A_5 + A_6}$$

Luftens strömning i fördelningsspalten under  $A_1$  och  $A_2$  förutsätts ske utan tryckändringar. Denna förutsättning antas även gälla för kommunikationen mellan de bägge areornas spalter.

I de redovisade beräkningarna behandlas endast byggnader med kvadratisk form dvs  $L = B$ . Vidare har  $L_1$  konsekvent fått halva värdet av  $L$ ,  $L_1 = \frac{L}{2}$ .

Denna inskränkning har gjorts för att begränsa parametrar. Inskränkningen påverkar inte på något allvarligt sätt möjligheten att bedöma byggnader med annorlunda dimensioner.

Indata i programmet är  $L$ ,  $L_1$ ,  $B$  och  $H$ .

## 2.5.2 Formfaktorer

Formfaktorerna påverkar trycket på utsidan av klimathåljet enl ekv 2.3.1.4. Numrering av formfaktorerna ansluter sig till areornas numrering se fig 2.5.1.1. Två olika tryckbilder har kommit till användning vid beräkningarna. Med den areauppdelningen som redovisats ovan skiljer de båda tryckbilderna sig åt så till vida att den ena, nr 1, ger en sammanlagrad negativ resultat för areorna 3-6 medan den andra, nr 2, ger en



positiv resultant. Värdet på formfaktorerna i de två tryckbilderna redovisas enl nedan.

Tryckbild nr 1



$$\left. \begin{array}{l} C_{p_1} = -0,8 \\ C_{p_2} = -0,5 \\ C_{p_3} = +0,7 \\ C_{p_4} = -0,5 \\ C_{p_5} = -0,6 \\ C_{p_6} = -0,6 \end{array} \right\}$$

$$C_{p_{12}} = -0,64$$

$$C_{p_{36}} = -0,18$$

Tryckbild nr 2



$$\left. \begin{array}{l} C_{p_1} = -0,8 \\ C_{p_2} = -0,5 \\ C_{p_3} = +0,5 \\ C_{p_4} = -0,3 \\ C_{p_5} = +0,5 \\ C_{p_6} = -0,3 \end{array} \right\}$$

$$C_{p_{12}} = -0,64$$

$$C_{p_{36}} = +0,027$$

Under förutsättning att konstanterna  $k$  och  $b$  i avsnitt 2.3.1 är lika för de olika delareorna kan en resulterande formfaktor för areorna 1 och 2 resp 3, 4, 5 och 6 uträknas enl nedan

$$\left( \sum \frac{A_i}{A_{tot}} \times C_{p_i} \right)^{\frac{1}{b}} = C_{p_{tot}} \quad (2.5.2.1)$$

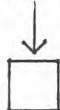
$C_{p_{tot}}$  för  $A_1$  och  $A_2$ , som här betecknas  $C_{p_{12}}$ , har i beräkningarna hållits på en konstant negativ nivå. Denna negativa nivå är tänkt att motsvara ett relativt plant tak. Vid brutna tak ökar den resulterande formfaktorns värde. Ju spetsigare brytning desto högre värde på formfaktorn. Resonemanget förutsätter en god kommunikation mellan areornas spalter. Då formfaktorn för taket ökar, ökar mestadels flödet genom isoleringen under vindpåkänningar. Det innebär att

brutna tak eller andra konstruktioner med högre resulterande formfaktor kan tänkas ge bättre värden än de som redovisas i efterföljande avsnitt. Problemen med stora taklutningar behandlas framförallt i avsnitt 3.

Motsvarande förhållande för väggarna är att större formfaktor ger lägre flöde genom isoleringen. Tryckbild nr 2 utgör m a o en större störning av flödet genom den dynamiska isoleringen. Detta är anledningen till att tryckbild nr 2 har använts för de flesta beräkningarna.

Som framgår av ekv (2.5.2.1) kan den resulterande formfaktorn variera genom att areornas förhållande till varandra varierar. Med bibehållna tryckbilder blir den maximala variationen av de resulterande formfaktorerna enligt nedan.

Tryckbild nr 1



$$- 0,8 < C_{p_{12}} < - 0,5$$

$$- 0,6 < C_{p_{36}} < + 0,02$$

Tryckbild nr 2



$$- 0,8 < C_{p_{12}} < - 0,5$$

$$(- 0,3) < C_{p_{36}} < (+ 0,5)$$

Den maximala variationen av  $C_{p_{36}}$  i tryckbild nr 2 är närmast att betrakta som utopisk. Om areaförhållandet ändras så att byggnaden får en mer rektangulär golvyta ändras ej storleken av  $C_{p_{36}}$  jämfört med den använda.

Vi ser att förhållandena lätt kan leda till en ökning av flödet genom den dynamiska isoleringen. Möjligheten till motsatt effekt är mindre sannolik.

Ett fenomen som naturligtvis starkt kan bidra till ett ändrat flöde genom isoleringen är om någon dominerande otäthet finns i en av väggarna.

Förutom byggnadens ytterhölje finns möjlighet att med två formfaktorer  $C_{p_{TF}}$  och  $C_{p_{FF}}$  beskriva vindens inverkan på tilluftens inlopp resp frånluftens utlopp.

Indata i programmet är  $C_{p_1}$ ,  $C_{p_2}$ ,  $C_{p_3}$ ,  $C_{p_4}$ ,  $C_{p_5}$ ,  $C_{p_6}$ ,  $C_{p_{TF}}$  och  $C_{p_{FF}}$ .

### 2.5.3 Tryckberoende flödesfunktioner

Flödet genom en area kan skrivas enl ekv 2.3.1.1. Värdet av exponenten  $b$  varierar beroende på om strömningen genom arean är turbulent eller laminär. För de här redovisade beräkningarna har värdet av  $b$  i ekvationerna för klimathöljet och isoleringen givits värdet 0,67. Detta värde ligger någorlunda mitt emellan de båda ytterlighetsfallen och torde vara relativt vanligt för läckage i byggnader.

Vad gäller väggar och tak kan värdet av konstanten  $k$  i ekv. (2.3.1.1) bestämmas enl följande. Läckaget,  $q_{50}$ , per  $m^2$  bestäms vid en tryckdifferens av 50 Pa.  $k$ 's värde ges då ekv

$$k = \frac{q_{50}}{50^b} \quad (2.5.3.1)$$

För den dynamiska isoleringen bestäms  $k$ 's värde enligt ekv (2.3.2.1) och av det dimensionerande flödet genom isoleringen,  $q_{diso}$ , vid det dimensionerande tryckfallet,  $\Delta p_{diso}$ . I beräkningarna har  $\Delta p_{diso} = 10$  Pa valts varför  $k$ 's värde här bestäms av

$$k = \frac{q_{diso}}{10^b} \quad (2.5.3.2)$$

I de fall yttertakarean är lika stor som den underliggande dynamiskt isolerade arean, vilket antas gälla här, kan lätt inses att täthetskraven på yttertaket är bundet till det dimensionerande flödet genom isoleringen. Med lite eftertanke inses då att samma förhållande gäller även för väggarna. Väggareans storlek anges genom faktorn  $F$  i relation till takarean, se ekv 2.5.1.1.

För att underlätta jämförelser införes därför två storheter.

$$k_v = \frac{q_{v50}}{q_{diso}} \quad (2.5.3.3)$$

och

$$k_t = \frac{q_{t50}}{q_{diso}} \quad (2.5.3.4)$$

Dessa storheter utgör ett dimensionslöst mått på väggars resp yttertakets täthet i relation till det dimensionerande flödet genom isoleringen.

I normala praktiska sammanhang väljer man oftast att dimensionera systemkaraktäristiska för kanaler och kanalanslutningar respektive väljer fläktar med fläktkurvor sådana att flödet varierar måttligt för relativt stora tryckändringar.

I princip kan sägas att de redovisade beräkningarna bygger på konstanta flödet genom till- och frånluftsfläktar.

Karaktäristiken på flätkurvan respektive kanalens systemkurva kan väljas sådan att en måttlig tryckändring ger en märkbar flödesändring. Om t ex formfaktorerna för till- och frånluftskanalernas in- och utlopp då har ett stort värde kan ändringarna i flöden genom fläktarna bli betydande vid vindpåkänningar. Detta innebär att vindens störningseffekter på flödet genom den dynamiska isoleringen kan minskas då det ovan nämnda beaktas vid konstruktionsarbetet. Möjlighet att simulera inverkan av olika flätkurvor och luftkanalmyningars formfaktorer finns inbyggt i programmet.

Innan storleken av klimatpåverkan på flödet genom isoleringen fastställs genomförs en grundbalansering av tryck- och flödessystemet. Rumstrycket kan då väljas till önskat värde. I de redovisade beräkningarna har rumstrycket vid grundbalanseringen konsekvent satts till noll.

Indata i programmet är:

Frånluftens kurva beskriven av fem olika punkter

Tillluftens kurva beskriven av fem olika punkter

Dimensionerande flöden,  $Q_{\text{diso}}$ , och tryckfall,  $\Delta P_{\text{diso}}$ , för isoleringen

Dimensionerande rumstyrck vid grundbalanseringen

Flödet per  $\text{m}^2$  genom väggar,  $q_{v50}$ , resp genom yttertaket,  $q_{t50}$ , vid 50 Pa tryckdifferens.

Exponenterna för isoleringen,  $b_{\text{iso}}$ , väggarna,  $b_v$ , och taket,  $b_t$ .

#### 2.5.4 Klimatet

Klimatets påverkan i luftväxlingsmodellen inskränker sig till temperatur och vindpåverkan.

Eftersom inverkan av olika temperaturer i normala fall ej har någon avgörande inverkan på genomsnittliga flöden genom isoleringen behandlas denna inverkan ej närmare i detta avsnitt.

Vid de förhållanden som har studerats låg minskningen av flödet genom isoleringen p g a termiska krafter på några få procent.

Inverkan av vindens hastighet är den helt dominerande faktorn vilken påverkar genomsnittliga flöden genom den dynamiska isoleringen.

Det är relativt svårt att få goda uppgifter om vindhastigheter. De uppgifter som finns lätt tillgängliga genom t ex klimatdataboken, bygger på bearbetade mätvärden från olika meteorologiska stationer. Mätvärdena är tagna på 10 m höjd och utförs av varaktighetsuppgifter över 10 minuters medelvärden för vindhastigheter inom vissa hastighetsintervaller.

Uppgifter om vindhastigheten vid t ex Bromma flygplats visar att

$v > 15,5 \text{ m/s}$	$> 8,8 \text{ h/år}$
$v > 12,5 \text{ m/s}$	$26,3 \text{ h/år}$
$v > 12,5 \text{ m/s}$	$149 \text{ h/år}$
$v > 6,5 \text{ m/s}$	$1130 \text{ h/år}$
$v > 4,5 \text{ m/s}$	$4582 \text{ h/år}$
$v > 0,5 \text{ m/s}$	$8015 \text{ h/år}$

Med hjälp av dessa uppgifter har ett varaktighetsdiagram konstruerats. Vindhastigheterna har därefter omräknats till att gälla en höjd av 5 m, genom användandet av formeln

$$V(Z) = V(10) \cdot \frac{Z}{10}^{0,15}$$

där

$V(10)$  = Vindhastighet på 10 m höjd, m/s

$V(Z)$  = Vindhastighet på  $Z$  m höjd, m/s

$Z$  = Höjdkoordinat, m

Varaktighetskurvan har med detta förfarande erhållit formen i fig 2.5.4.1.

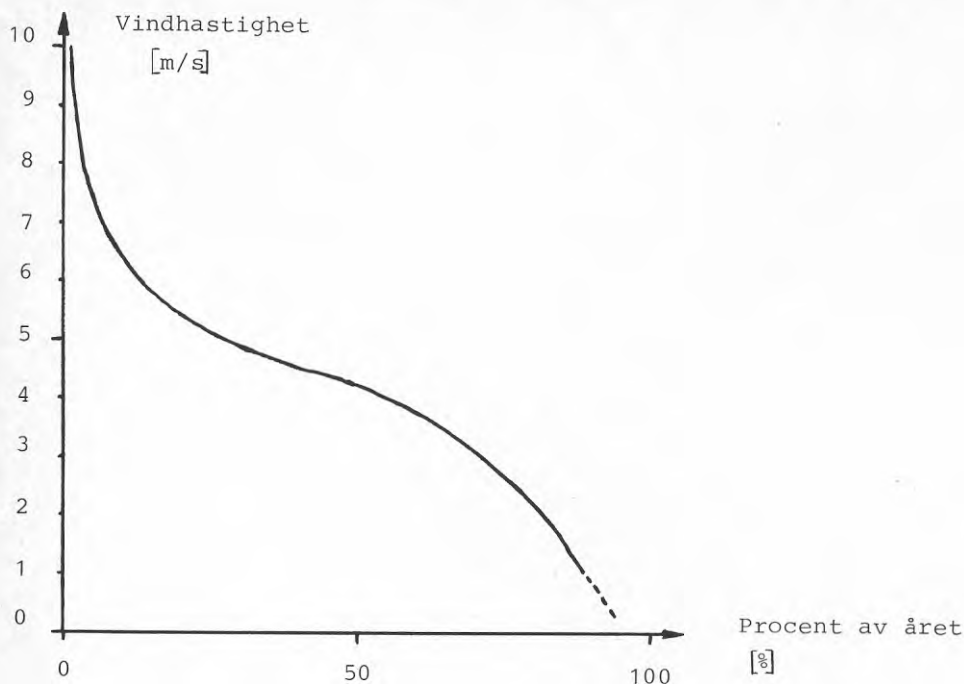


Fig. 2.5.4.1 Varaktigheten av vindhastigheten på 5 m höjd vid Bromma flygplats.

Med ledning av kurvan i fig 2.5.4.1 har varaktighetskurvorna i avsnitt 2.6 konstruerats.

Vid vindlastberäkningar som syftar till att fastställa vilka påkänningar en byggnad eller delar av denna momentant kan utsäts för kan nästan aldrig hastighetsprofilens minskning under 10 meters höjden beaktas. För beräkningar vid dymamisk isolering är momentana påkänningar, speciellt vad gäller en liten delyta, av litet intresse. Detta motiverar att vindhastigheter vid lägre höjder än 10 m används för byggnader väsentligt lägre än 10 m vid bedömningen av varaktigheten för flödet genom isoleringen.

En här mycket intressant vindstatistik vore kvadratisk vägda medelvärden för längre tidsperioder. Exemplelvis skulle varaktigheten för det kvadratisk vägda medelvärdet av vindhastigheter varande ett antal veckor, dagar och timmar kunna ge en vägledning om faran för diffusionsfukt. Avsaknaden av sådan statistik gör att dimensioneringen måste göras med större marginal än om sådan statistik fanns tillgänglig.

Vindhastigheten på låga höjder är ytterligt beroende av hur omgivande terräng är utformad. För att utforma ett bra varaktighetsdiagram för låga höjder krävs därför god lokalkännedom. Om byggnaden är tänkt att



placeras högst upp på ett berg, vilken även utan dynamisk isolering vore dumt ur energisynpunkt, måste täthetskraven bli därefter. Varaktighetskurvan för vinden, som skall användas för att bedöma varaktigheten av flödet genom isoleringen, måste även den bli därefter.

Indata i programmet är:

Vindhastighet

Luftens densitet

Luftens temperatur i rummet

Luftens temperatur i omgivningen

Höjdkoordinaten för luftintaget till den mekaniska ventilationen

Höjdkoordinaten för luftsläppet

Höjdkoordinaten för väggarnas läckage

Höjdkoordinaten för yttertakets läckage

Höjdkoordinaten för den dynamiska isoleringen

## 2.6 Beräkningsresultat

Beräkningsresultaten presenteras här i form av luftflödets storlek genom den dynamiska isoleringen uttryckt i procent av det dimensionerande flödet genom isoleringen. I den högra delen i figurerna ser vi hur flödet minskar vid ökande vindhastigheter och att minskningen sker snabbare vid otätare väggar. Jämförelser mellan de olika figurerna visar att flödesminskningen sker snabbare även vid ökad otäthet i taket ovanför den dynamiska isoleringen. Varaktigheten av flödet genom den dynamiska isoleringen över året, med varaktighet för vinden enligt fig 2.5.4.1, finns inritad för max - resekive min - värdet för redovisade väggtätheter.

Figurerna är baserade på olika tätheter på yttertak,  $k_1$ , geometriska faktorer,  $F$ , och även delvis olika tryckbilder.

Dimensionerande tryckfall över isolering är i samtliga beräkningsfall 10 Pa.

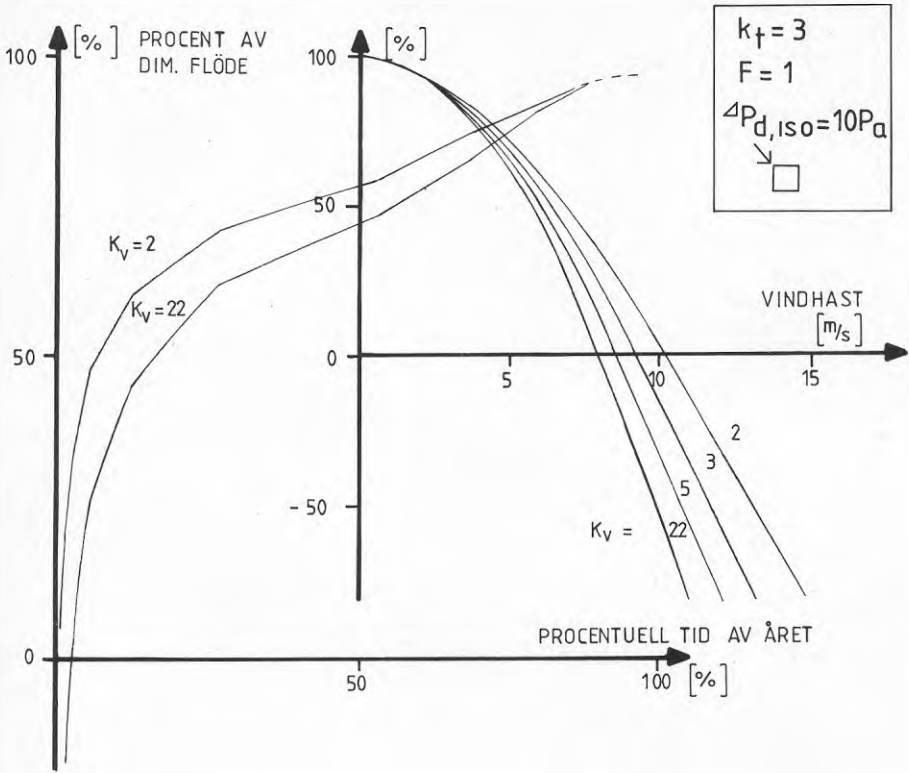


Fig 2.6.1

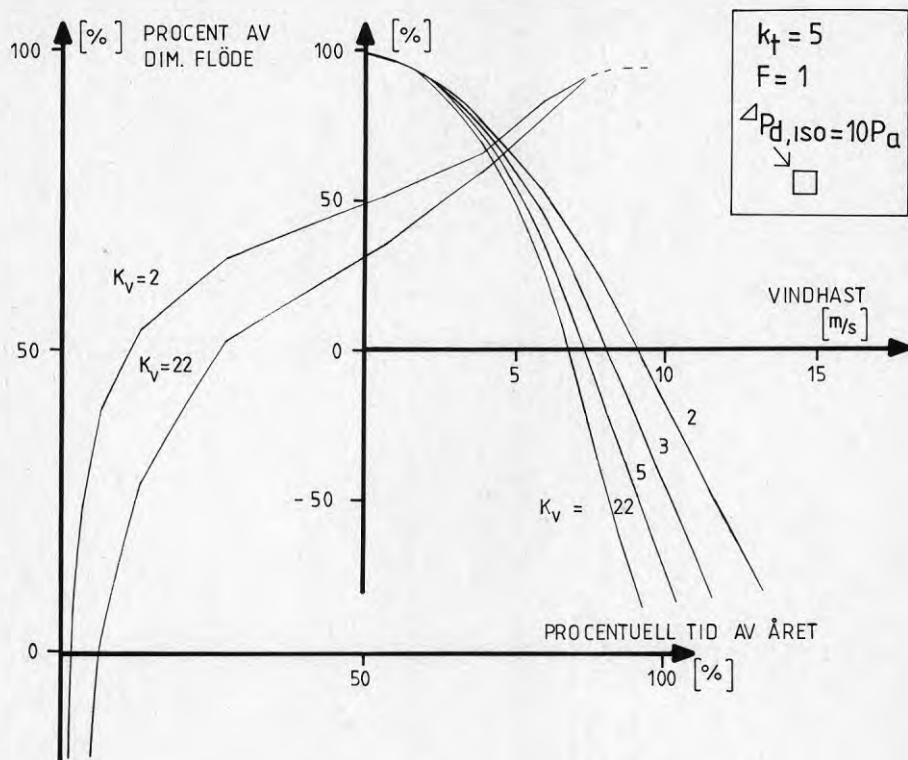


Fig 2.6.2

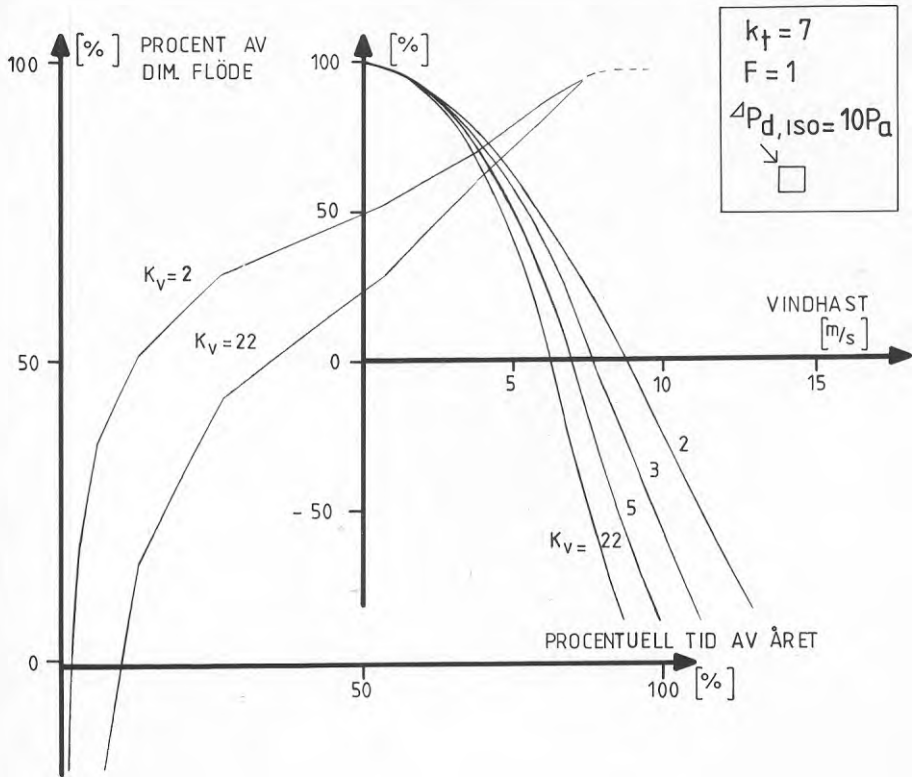


Fig 2.6.3

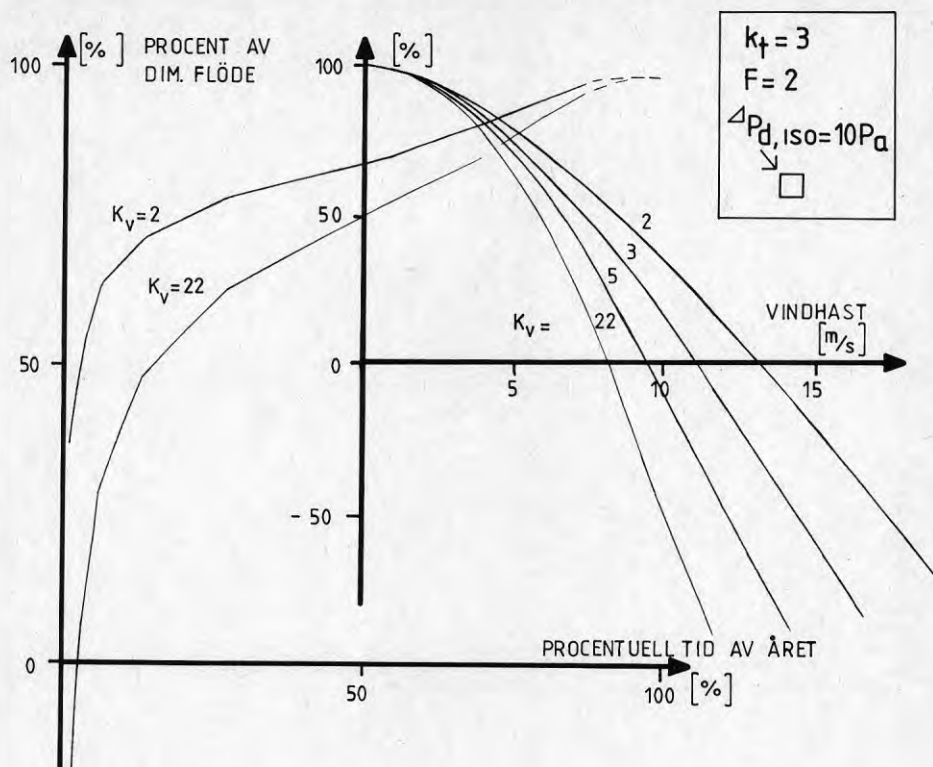


Fig 2.6.4

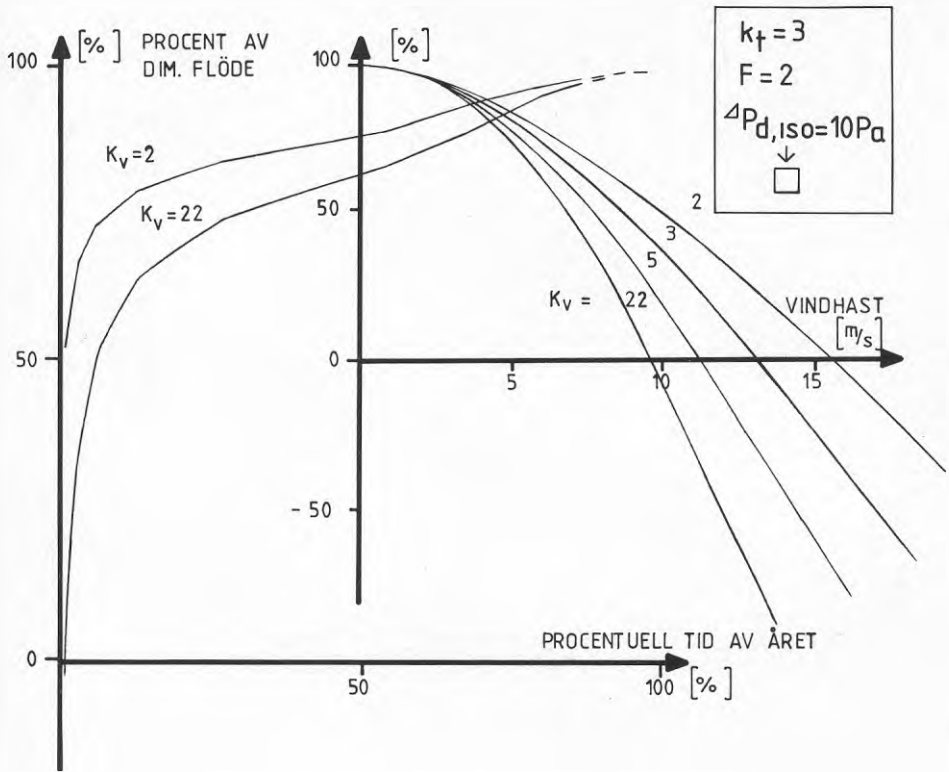


Fig 2.6.5



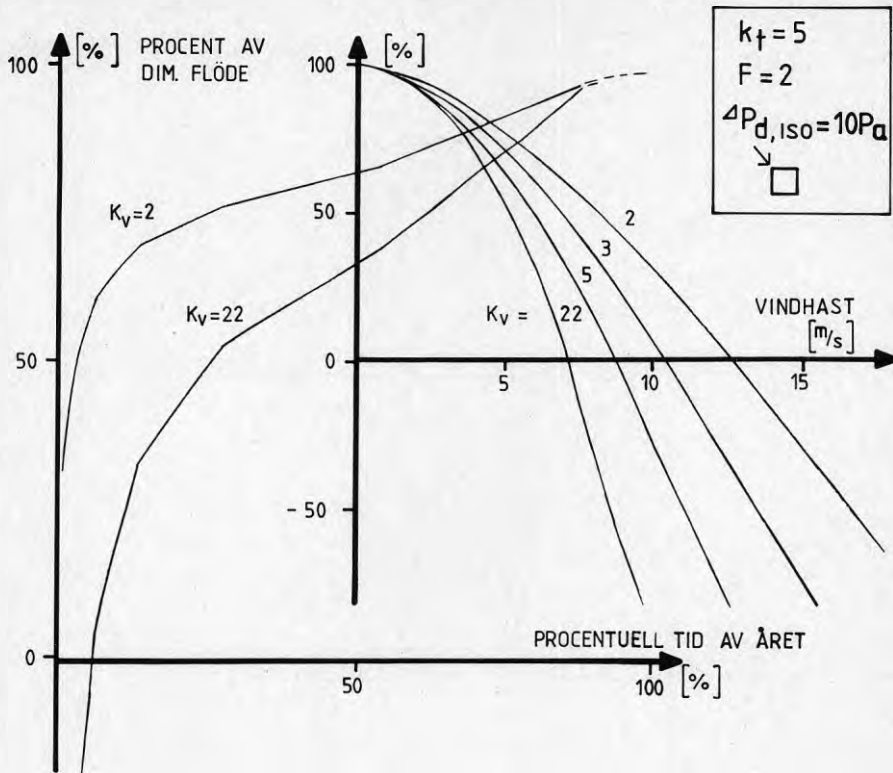


Fig 2.6.6

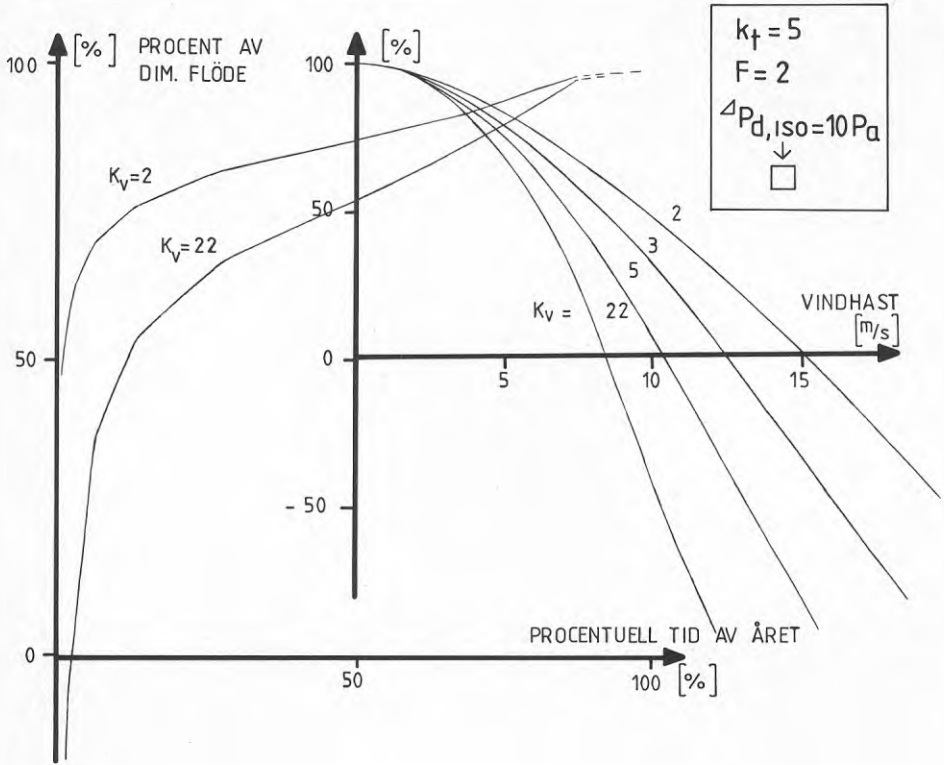


Fig 2.6.7

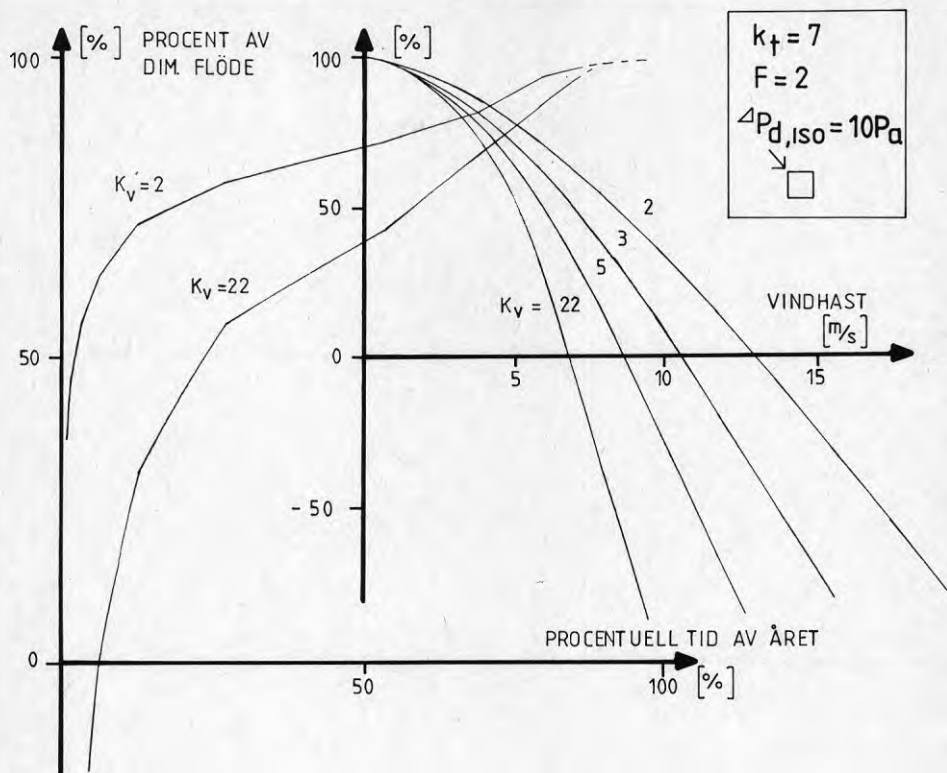


Fig 2.6.8

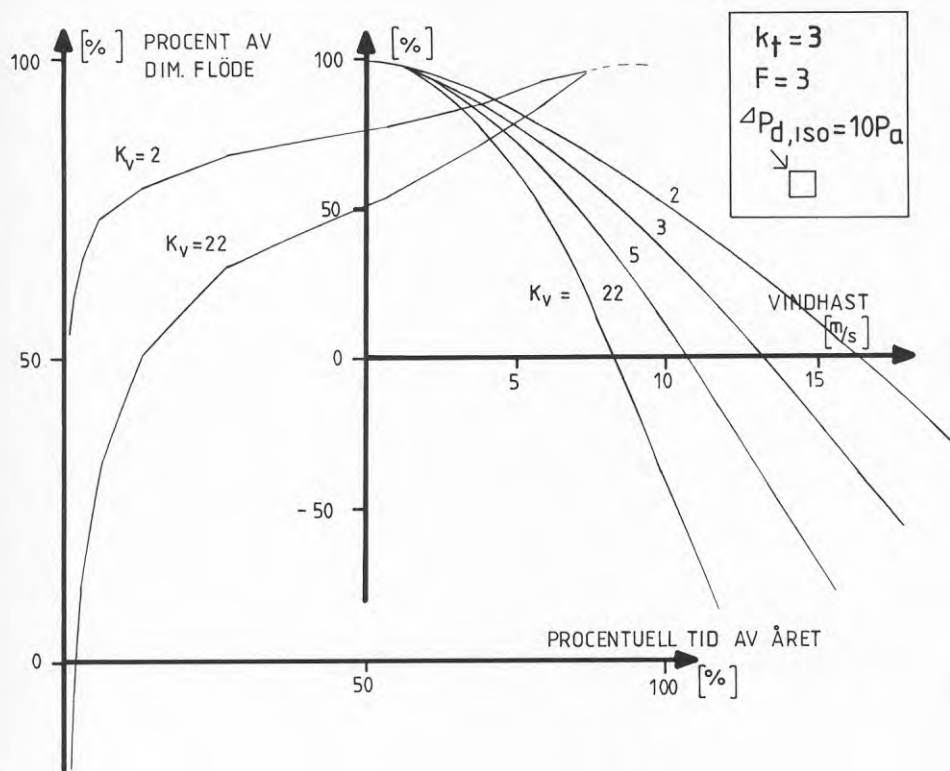


Fig 2.6.9

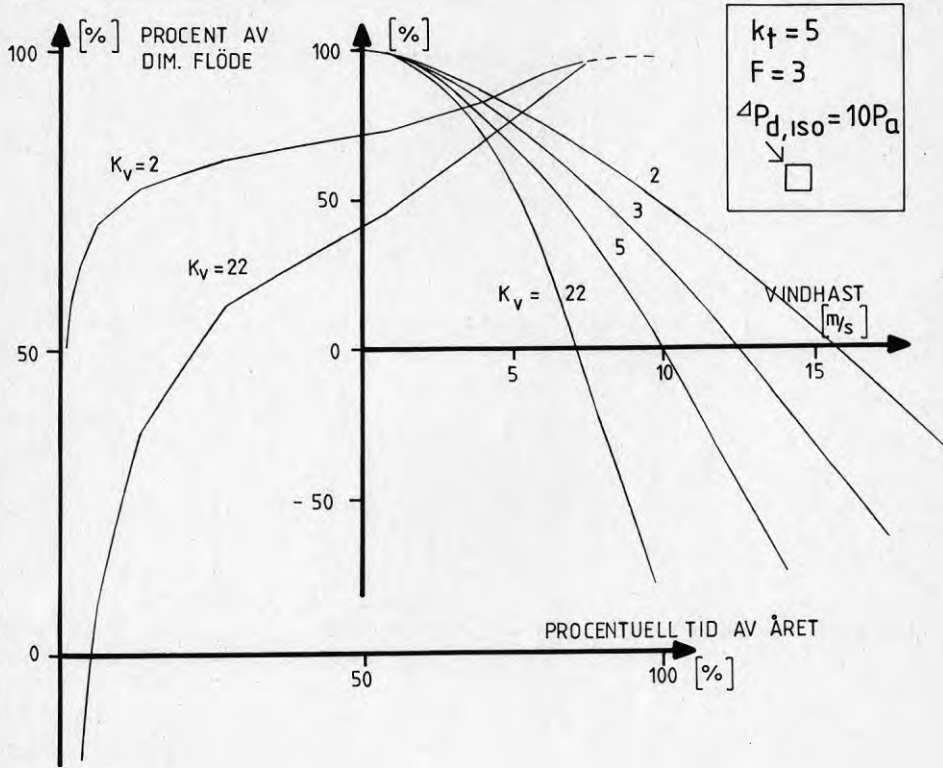


Fig 2.6.10

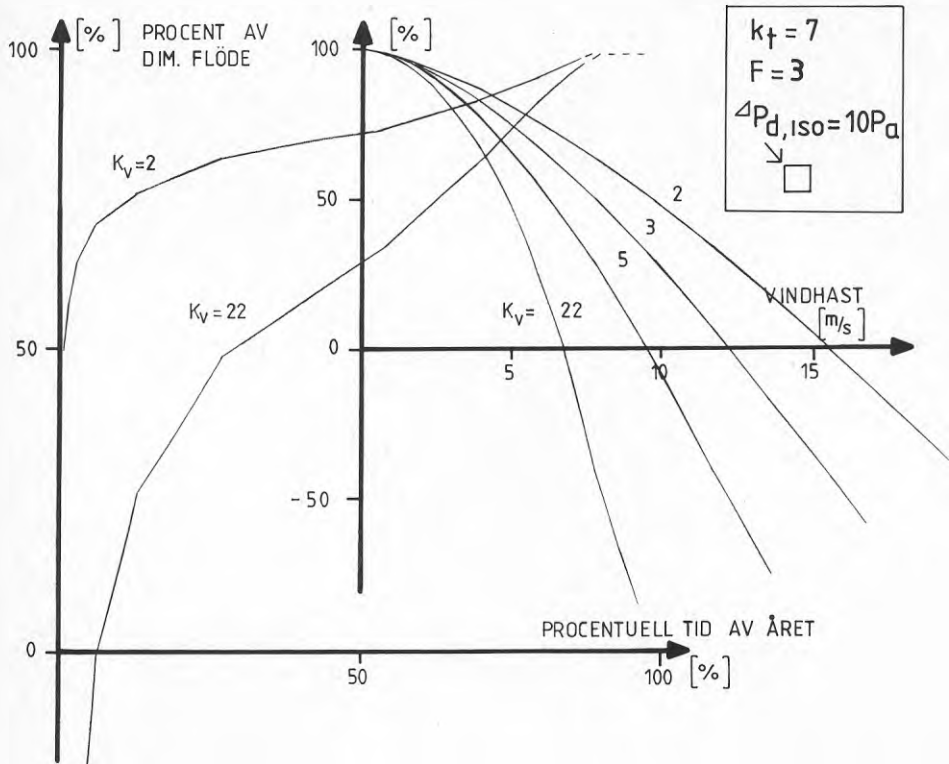


Fig 2.6.11



## 2.7 Diskussion av de beräknade flödesvariationerna

Vid bedömningen av vilka variationer av flödet genom den dynamisk isoleringen som kan tillåtas kommer två olika överväganden att ligga till grund för beslutet. Det första övervägandet gäller vilken tid flödet kan tillåtas vara så lågt eller gå i ej önskad riktning att fukt fälls ut i isoleringen. Svaret ges av isoleringens fuktbufferingskapacitet samt hur eventuella tryckfallsskikt är beskaffade. I många fall är bufferingskapaciteten åtskilliga dagar varför efterföljande uttorkning i allmänhet kan ske långt innan några problem uppstår. Det andra övervägandet gäller vilken variation som kan tillåtas med tanke på god energiekonomi. Att ventilationen totalt sett minskar behöver normalt ej befaras eftersom luftflödesminskningen genom den dynamiska isoleringen ersättes av luftläckaaget genom andra ytor. En jämförelse med statistiskt isolerade byggnader med samma täthet som dynamiskt isolerade ger vid handen att minskningen av flödet genom den dynamiska isoleringen är av samma storleksordning som minskningen av den oavsiktliga ventilationen i den dynamiskt isolerade byggnaden jämfört med den statistiskt isolerade. Den nya tekniken ger således även här energimässiga fördelar.

Som framgår av det ovan nämnda går det ej att ge några generella svar på tillåten flödesvariation. Vad som står klart är att några större svårigheter för att skapa gott fungerande dynamiskt isolerade byggnader inte torde föreligga. Här förutsättes naturligtvis att det praktiska utförandet förs med god kännedom om tekniken.

Hittills har endast fall med icke reglerbara fläktflöden behandlats. I vissa speciella tillämpningar kan man t ex tänka sig en varvtalsreglering av tilluftsfläken. Styrningen skulle kunna utgå från tryckfallet över den dynamiska isoleringen. Även direkt klimatbetingad kompensering är tänkbar. Eftersom förfarandet av detta slag kostar och den totala luftomsättningen ofta ökar i förhållande till det dimensionerade torde användandet bli begränsat. De redovisade beräkningarna ger i alla händelser ej anledning att normalt tillgripa denna metod. Att metoderna finns är emellertid en styrka för tekniken.

## 3 LOKALA FLÖDESvariationer I DYNAMISK ISOLERING

När tryckfallets karaktäristiska är lika i alla punkter av den dynamiska isoleringen, vilket förutsätts i detta avsnitt, innebär det i de flesta praktiska fall en viss flödesvariation mellan olika punkter i den dynamiska isoleringen. Av flera skäl måste dessa variationer hållas inom rimliga gränser. I detta avsnitt redogörs för faktorer som orsakar variationer och hur storleken av dessa beräknas.

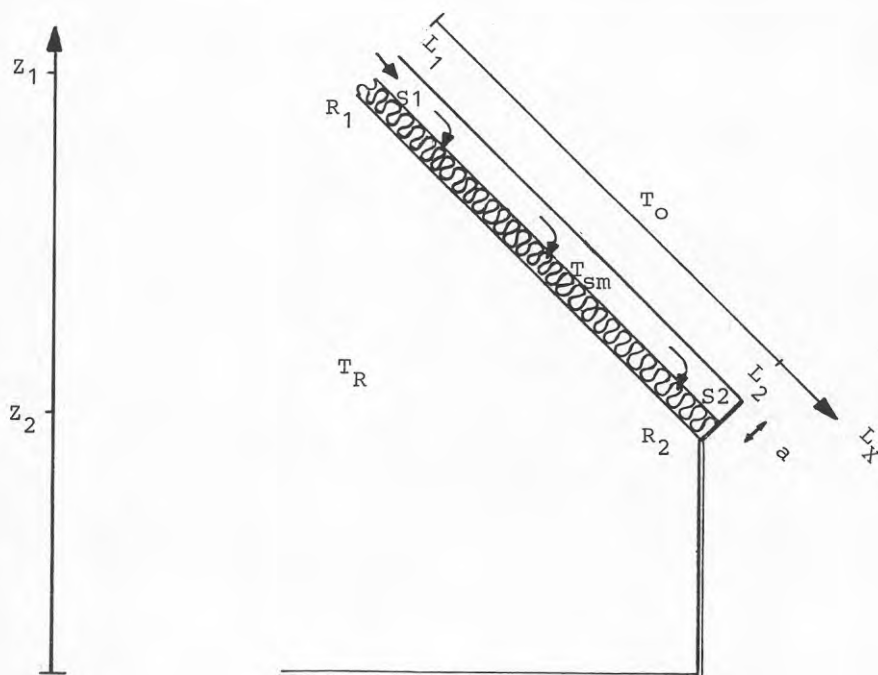


Fig 3.1 Schematisk bild av dynamisk isolering.

- a = spalttjocklek
- L = spaltens längdkoordinat
- T = lufttemperatur
- Z = höjdkoordinat

## INDEX

- o = omgivning
- R = rummet
- S = spalten
- m = medel
- 1 = spaltens början
- 2 = spaltens slut
- s = statisk
- d = dynamisk
- f = friktion

## 3.1 Inverkan av friktion och dynamiskt tryck

Fördelningen över isoleringen behandlas för två olika principer. Den ena är när luften från en cylinderyta med höjden  $a$ , radiellt fördelas i en spalt över isoleringen. Den andra principen är att först fördela luften i en riktning med hjälp av kanaler och därefter över isoleringen i en spalt med höjden  $a$  som har vinkelrät riktning mot kanalerna. Inverkan på kanalfördelningen behandlas ej. För båda typerna av fördelning behandlas laminär, turbulent och blandad strömning.

Friktionstryckfallet  $\Delta P_f$ , kan allmänt skrivas

$$\Delta P_f = f_l \times \rho \times w^2 \times \frac{L}{d_h} \quad (3.1.1)$$

$P_f$  = friktionstryckfallet

$f_l$  = friktionsfaktor

$\rho$  = luftens densitet

$w$  = luftens hastighet

$L$  = kanalens eller spaltens längd

$d_h$  = Hydrauliska diametern

I en spalt med höjden  $a$  och bredden  $b$  gäller att

$$d_h = 2 \times a \quad \text{då } a \ll b$$

för laminär strömning gäller att

$$f_l = \frac{48}{Re}$$

$Re$  = Reynolds tal

$$\text{med } Re = \frac{3 \times W \times d_h}{\mu} \quad \text{ger detta}$$

$\mu$  = Luftens dynamiska viskositet

$$P_f = \frac{48 \times \mu \times W \times L}{(2 \times a)^2} \quad (3.1.2)$$

som kan förenklas till

$$\Delta p_f = k \times \frac{L \times W}{a^2} \quad (3.1.3)$$

I SI-systemet är för luft av  $0^\circ\text{C}$   $k = 2,05 \times 10^{-4}$ .  
För turbulent strömning varierar  $f_1$  beroende på relativ ytråhet och  $Re$ -värde.  
För flöden av storleksordningen några  $\text{m}^3/\text{h}$   $\text{m}^2$  kan det vara svårt att åstadkomma varaktiga förhållanden. Oftast förekommer därför både laminära och turbulenta förhållanden i fördelningsspalten.

Sambandet mellan totaltrycket,  $P_{\text{tot}}$ , statiska trycket,  $P_s$ , dynamiska trycket  $P_d$ , och friktionstryckförluster,  $P_f$ , kan skrivas

$$P_{\text{tot}} = P_s + P_d \quad (3.1.4)$$

$$dp_s + dp_d + dp_f = 0 \quad (3.1.5)$$

Med beteckningen enl Fig 3.1 och approximationen att, det dynamiska trycket i spalten vid punkten 2,  $P_{dS2} = 0$  erhålles den statiska tryckskillnaden i spalten beroende på friktionsförluster.

$$\Delta P_{sSf \ 1-2} = P_{sS1} - P_{sS2} = \Delta P_f \ 1-2 - P_{dS1} \quad (3.1.6)$$

Det dynamiska trycket kan allmänt skrivas som

$$P_d = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot w^2 \quad (3.1.7)$$

Beroende på att små flöden genom isoleringen i allmänhet används, kan det dynamiska trycket vinkelrätt isoleringen försummas. Detta leder till att totaltrycken för spaltens begränsningsytor kan approximeras med det statiska trycket i spalten.

Vid beräkningen av den statiska tryckskillnaden antas flödet vara jämnt fördelat. Om den statiska tryckskillnaden visar sig vara mycket mindre än det dimen-

sionerande tryckfallet över isoleringen är antagandet en rimlig approximation. I de fall den statistiska tryckskillnaden utgör en väsentlig del av det dim tryckfallet över isoleringen, samt hög noggrannhet efterfrågas, kan iteration med hänsyn till ojämnheten i flödesfördelningen tillgripas.

### 3.1.1. Rätlinjig fördelning

Med den tidigare approximationen att flödet är jämnt fördelat genom isoleringen kan hastigheten i spalten vid rätlinjig fördelning skrivas som

$$W_x = \frac{Q_{iso}}{a} (L_{tot} - L_x) \quad (3.1.1.1)$$

$Q_{iso}$  = flödet med  $m^2$  genom isoleringen.

$a$  = spalthöjden

$L_{tot}$  = spaltens totala höjd

$L_x$  = längden från  $L_1$  till punkten  $x$

$W_x$  = hastigheten vid punkten  $x$

#### Laminär strömning vid rätlinjig fördelning.

Funktionstryckfallet vid rätlinjig fördelning vid laminär strömning mellan punkten 1 och 2 kan efter integrering beräknas enligt nedan

$$\Delta P_{f\ 1-2} = k \cdot \frac{Q_{iso}}{a^3} \cdot (L_{tot} \cdot (L_2 - L_1) - \frac{1}{2} \cdot (L_2^2 - L_1^2)) \quad (3.1.1.2)$$

I SI-systemet är  $k = 2,05 \cdot 10^4$  för Luft av  $0^\circ\text{C}$

Med det dynamiska trycket enligt ekv (3.1.7) samt  $L=L_2 = L_{tot}$  och  $L_1=0$  kan den statistiska tryckskillnaden mellan punkten 1 och 2 i spalten,  $\Delta P_{ssf\ 1-2}$  enligt ekv (3.1.6) skrivas som



$$\Delta p_{\text{SSf } 1-2} = \frac{q_{\text{iso}}}{2} \cdot L^2 \cdot \left( \frac{k}{a} - \rho - q_{\text{iso}} \right) \quad (3.1.1.3)$$

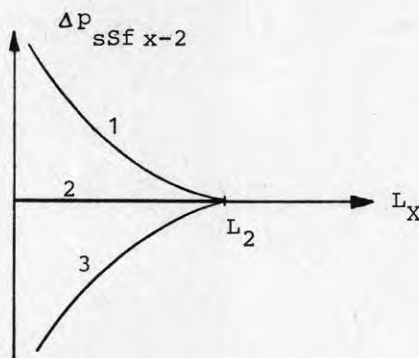


Fig 3.1.1.1 3 principiellt olika variationsmöjligheter för  $\Delta p_{\text{SSf } x-2}$  vid rätlinjig fördelning och laminär strömning.

Då  $\frac{k}{a \cdot \rho \cdot q_{\text{iso}}} > 1$  är  $p_{\text{SSf } 1-2}$  positiv, vilket illustreras av kurva 1 i fig 3.1.1.1.

Det statiska trycket är här högre i början av spalten. Omvänt förhållande gäller då  $\frac{k}{a \cdot \rho \cdot q_{\text{iso}}} < 1$ , se kurva 3.

I det fall  $\frac{k}{a \cdot \rho \cdot q_{\text{iso}}} = 1$  är  $\Delta p_{\text{SSf } 1-2}$  konstant i spalten, se kurva 2. Här finns m a o en möjlighet att erhålla en absolut jämn fördelning.

Den laminära strömningen uppträder ofta endast i slutet av spalten. Eftersom tryckändringen orsakad av denna del många gånger endast utgör en bråkdel av den totala tryckvariationen kan denna del ofta försummas. Om extremt god fördelning i kombination med lågt tryckfall över isoleringen önskas kan renodlad laminär strömning vid rätlinjig fördelning med fördel användas.

Turbulent strömning vid rätlinjig fördelning

På liknande sätt som ovan kan friktionstryckfallet och den statistiska tryckskillnaden mellan punkterna 1 och 2 för turbulent strömning skrivas som

$$\Delta P_{f\ 1-2} = f_1 \cdot \rho \cdot \frac{1}{2a} \cdot \left(\frac{q_{iso}}{a}\right)^2 \cdot (L_{tot}^2 (L_2 - L_1) + \frac{1}{3} (L_2^3 - L_1^3) - L_{tot} (L_2^2 - L_1^2)) \quad (3.1.1.4)$$

$$\Delta P_{sSf\ 1-2} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \left(\frac{q_{iso}}{a}\right)^2 \cdot L^2 \cdot \left(\frac{f_1}{3a} \cdot L - 1\right) \quad (3.1.1.5)$$

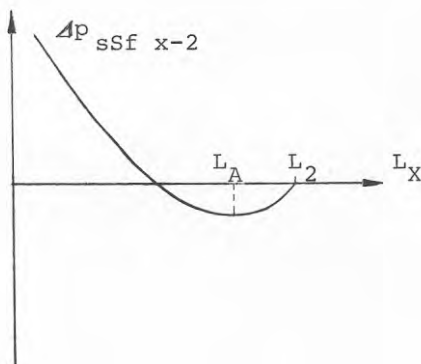


Fig 3.1.1.2 Den principiella variationen av  $\Delta P_{sSf\ x-2}$  vid rätlinjig fördelning och turbulent strömning.

Genom derivering av ekv 3.1.1.5 erhålls minimivärdet av  $\Delta P_{sSf\ 1-2}$  då  $L=L_A = 2\frac{a}{f_1}$ . Maximal statistisk tryckskillnad i spalten mellan punkten 1 och 2,  $\Delta P_{sSf\ 1-2\ max}$ , föreligger ej alltid mellan ändpunkterna.

$\Delta P_{sSf\ 1-2\ max}$  kan erhållas genom att beräkna

1	$\Delta P_{sSf\ 1-2} (L)$	}	enl ekv (3.1.1.5)
2	$\Delta P_{sSf\ 1-2} (L_A)$ då $L > L_A$		

Om alternativ 1 och 2 ej har samma tecken är skillnaden mellan alternativ 1 och 2 lika med  $\Delta p_{\text{SSf } 1-2 \text{ max}}$ . I annat fall är det alternativ som har det största absolutbeloppet lika med  $\Delta p_{\text{SSf } 1-2 \text{ max}}$ .

### Bland laminär och turbulent strömning vid rätlinjig fördelning.

Ofta är strömningen i början av spalten turbulent för att senare övergå till laminär strömning. Övergången antas ske vid ett visst Re-värde, vilket gör det möjligt att beräkna ett korresponderande längdvärde,  $L_{x0}$ .

För att kunna beräkna den maximala statistiska tryckskillnaden i spalten,  $\Delta p_{\text{SSf } 1-2 \text{ max}}$ , beräknas

$$\begin{array}{l}
 1 \quad \Delta p_{\text{SSf } 1-2} (L_{x0}) \quad \text{enl ekv (3.1.1.3)} \\
 2 \quad \Delta p_{\text{SSf } 1-2} (L_{x0}) \\
 3 \quad \Delta p_{\text{SSf } 1-2} (L_A) \quad \text{då } L_{x0} < L_A < L \text{ enl ekv (3.1.1.5)} \\
 4 \quad \Delta p_{\text{SSf } 1-2} (L)
 \end{array}$$

Om ej alla alternativ har samma tecken är skillnaden mellan största och minskta värde lika med  $\Delta p_{\text{SSf } 1-2 \text{ max}}$ . I annat fall är det alternativ som har det största absolutbeloppet lika med  $\Delta p_{\text{SSf } 1-2 \text{ max}}$ .

### 3.1.2. Radiell fördelning

Approximationen om jämnt fördelat flöde genom isoleringen leder till att hastigheten i spalten vid rationell fördelning kan skrivas som

$$w_x = \frac{q_{\text{iso}}}{2a} \left( \frac{r_{\text{tot}}^2 - r_x^2}{r_x} \right) \quad (3.1.2.1)$$

$q_{\text{iso}}$  = Flödet per  $\text{m}^2$  genom isoleringen

$a$  = Spalthöjden

$r_{\text{tot}}$  = Spaltens totala radie

$r_x$  = Radiens längd vid punkten  $x$

$w_x$  = Hastigheten vid punkten  $x$

Laminär strömning vid radiell fördelning

Friktionstryckfallet vid radiell fördelning och laminär strömning mellan punkten 1 och 2 kan efter integrering beräknas enligt nedan.

$$\Delta p_{f \ 1-2} = k \cdot \frac{q_{iso}}{3} \cdot (r_{tot}^2 \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} - \frac{1}{2} \cdot (r_2^2 - r_1^2))$$

(3.1.2.2)

Med  $r = r_2 = r_{tot}$  och  $r_1 = \frac{1}{x} \cdot r_2$  kan den statistiska tryckskillnaden mellan punkten 1 och 2 skrivas som

$$\Delta p_{sSf \ 1-2} = \frac{q_{iso}}{2} \cdot r^2 \cdot \left( \frac{k}{a} (\ln |x| - \frac{1}{2} (1 - \frac{1}{x})) - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{q_{iso}}{2} \cdot (x - \frac{1}{x})^2 \right)$$

(3.1.2.3)

Beroende på  $r_1$ -värde, och därmed även  $x$ -värde, kommer

$\Delta p_{sSf \ 1-2}$  att variera.

Det statistiska trycket i spalten kommer m a o att variera som en funktion av radien.

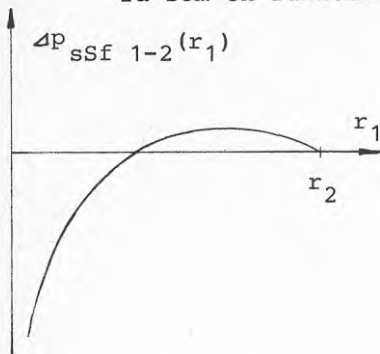


Fig 3.1.2.1 Den principiella variationen av  $\Delta p_{sSf}$  som funktion av radien  $r_1$ .

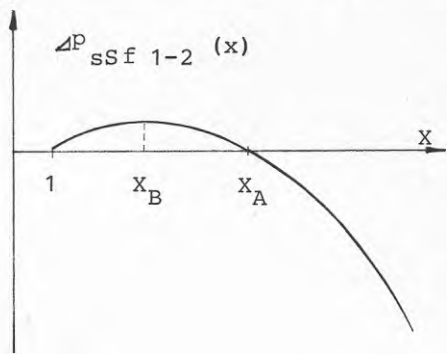


Fig 3.1.2.2 Den principiella variation av  $\Delta p_{sSf}$  som funktion av  $x$

Vi söker nu  $x$ -värdet,  $x_A$ , sådant att  $\Delta p_{sSf \ 1-2}(x_A) = 0$ .

$$A(x) = \frac{1}{4} \frac{(x - \frac{1}{x})^2}{\ln/x - \frac{1}{2}(1 - \frac{1}{x})}$$

finns uppritad i fig 3.1.2.3.

Ekv  $\frac{k}{a \cdot \rho \cdot q_{iso}} = A(x_A)$  ger det efterfrågade  $x$ -värdet,  $x_A$ .

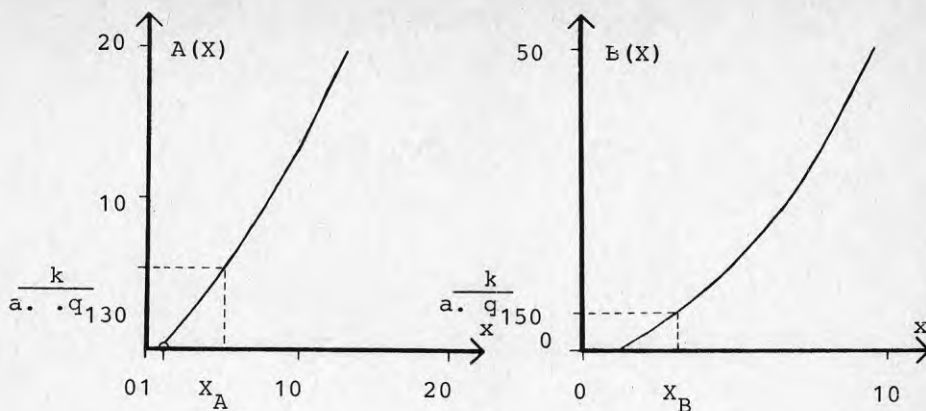


Fig 3.1.2.3 Värdet av funktionen

$$A(x) = \frac{1}{4} \frac{(x - \frac{1}{x})^2}{\ln|x| - \frac{1}{2} (1 - \frac{1}{x})}$$

Fig 3.1.2.4 Värdet av funktionen

$$B(x) = \frac{1}{2} \frac{x^4 - 1}{x(x - \frac{1}{2})}$$

Divideras nu  $\Delta p_{SSf 1-2}(x)$  och värdet av derivatan sätts lika med noll erhålls  $x$ -värdet  $x_B$ . I fig 3.1.2.4 finns hjälpfunktionen  $X(x)$  uppritad.

$\frac{k}{a \cdot p \cdot q_{iso}} = B(x)$  ger  $x_B$  vilket insatt i ekv 3.1.2.3 ger det maximalt positiva värdet av  $\Delta p_{SSf 1-2}(x)$ .

Beräkna nu

$$\left. \begin{array}{l} 1 \quad \Delta p_{SSf 1-2}(x) \\ 2 \quad \Delta p_{SSf 1-2}(x_B) \text{ då } x_B < x \end{array} \right\} \text{enl ekv (3.1.2.3)}$$

Om alt 1 och 2 har samma tecken är skillnaden mellan alt 1 och 2 lika med den största statistiska tryckskillnaden i spalten,  $\Delta p_{SSf 1-2}^{max}$ . I annat fall är det alternativ som har det största absoluta beloppet lika med  $\Delta p_{SSf 1-2}^{max}$ .

Turbulent strömning vid radiell fördelning

Friktionstryckfallet och den statiska tryckskillnaden för turbulent strömning vid radiell fördelning har med samma resonemang som ovan beräknats till

$$\Delta p_{f\ 1-2} = f_1 \cdot 3 \cdot \frac{1}{2a} \cdot \frac{(q_{iso})^2}{2a} (-r_{tot}^4 (\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}) + \frac{1}{3} (r_2^3 - r_1^3) - 2r_{tot}^2 (r_2 - r_1)) \quad (3.1.2.7)$$

$$\Delta p_{sSf\ 1-2} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \left(\frac{q_{iso}}{2a}\right)^2 \cdot r^2 \cdot \left(\frac{f_1}{a} \cdot \left(x - \frac{1}{3 \cdot x^3} + 2 \cdot \frac{1}{x} - \frac{8}{3}\right) \cdot r - \left(x - \frac{1}{x}\right)^2\right) \quad (3.1.2.8)$$

Valet av  $r_1$ -värde påverkar här i ännu större utsträckning än vid laminär strömning storleken av tryckskillnaderna.

Den statiska tryckskillnaden varierar i det turbulenta fallet något annorlunda än i det laminära. Den principiella variationen för det turbulenta fallet visas i fig 3.1.2.4 och 3.1.2.5.

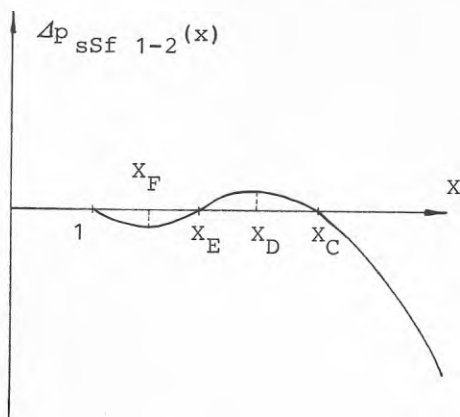
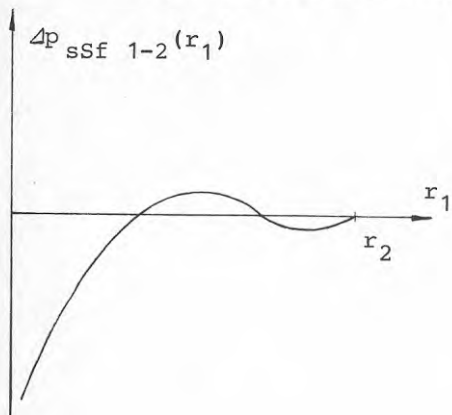


Fig 3.1.2.4 Den principiella variationen av  $\Delta p_{sSf}$  som funktion av radien  $r_1$ .

Fig 3.1.2.5 Den principiella variationen av  $\Delta p_{sSf}$  som funktion av  $x$ .



På liknande sätt som vid laminär strömning konstrueras en funktion,  $CE(x)$ , för att lättare finna funktionens nollställen.

Om  $CE(x) = \frac{f_1}{a}r$  erhålles  $x_C$  och  $x_E$ . Se fig 3.1.2.5 och 3.1.2.6.

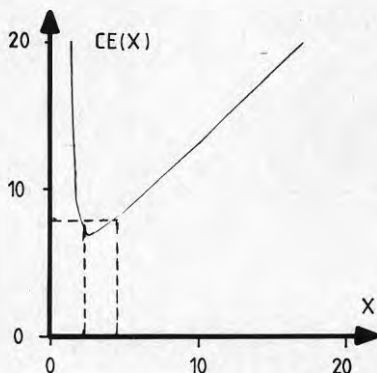


Fig 3.1.2.6 Värdet av funktionen

$$CE(x) = \frac{(x - \frac{1}{x})^2}{x - \frac{1}{3x} + 2 \frac{1}{x} - \frac{8}{3}}$$

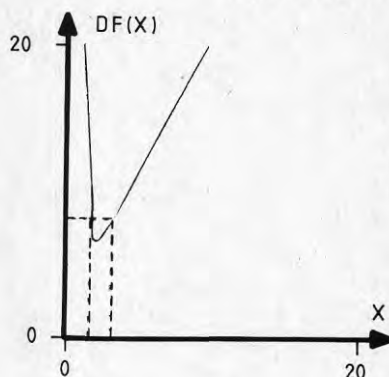


Fig 3.1.2.7 Värdet av funktionen

$$DF(x) = \frac{2x(x^2 + 1)}{x^2 - 1}$$

För att erhålla värdet av  $x_F$  och  $x_D$  sätts  $DF(x) = \frac{f_1}{a}r$ .

Se fig 3.1.2.5 och 3.1.2.7.

Den maximala statistiska tryckskillnaden,  $p_{SSf1-2max}$ , kan nu beräknas genom att beräkna

$$\left. \begin{array}{l} 1 \quad 4p_{SSf1-2}(x) \\ 2 \quad 4p_{SSf1-2}(x_D) \quad \text{då } x_D < x \\ 3 \quad 4p_{SSf1-2}(x_F) \quad \text{då } x_F < x \end{array} \right\} \text{enl ekv (3.1.2.8)}$$

Om alt 1,2 och 3 ej har samma tecken är skillnaden mellan det största och det minsta värdet i alternativen lika med  $4p_{SSf1-2max}$ .

Då alla alternativ har samma tecken, är alternativet som till absolutbeloppet har det största värdet lika med

$$\Delta p_{\text{SSf } 1-2} \max. \text{ I de fall } \frac{f_1}{a} r < DF(x) \min = 6,6 \text{ är}$$

självklart  $\Delta p_{\text{SSf } 1-2} \max = \Delta p_{\text{SSf } 1-2}(x)$  eftersom

$x_C, x_D, x_E$  och  $x_F$  då ej existerar.

### Blandad laminär och turbulent strömning vid radiell fördelning

För att fastställa vid vilket Re-värde omslaget från turbulent till laminär strömning sker används ekv.

(3.1.2.1) och definitioner av Reynolds tal varvid radien  $r_{x_0}$  där omslaget sker beräknas enligt nedan.

Motsvarande x-värde blir då  $x_{x_0} = \frac{r}{r_{x_0}}$  där  $r = r_2 = r_{\text{tot}}$  och  $x = \frac{r}{r_1}$ .

Den maximala statistiska tryckskillnaden,  $\Delta p_{\text{SSf } 1-2} \max'$  kan nu beräknas genom att beräkna

$$\left. \begin{array}{l} 1 \quad \Delta p_{\text{SSf } 1-2}(x_B) \quad \text{då } x_B < x_{0x} \\ 2 \quad \Delta p_{\text{SSf } 1-2}(x_{0x}) \end{array} \right\} \text{enl ekv (3.1.2.3)}$$

$$3 \quad \Delta p_{\text{SSf } 1-2}(x) \quad \text{enl ekv (3.1.2.8)}$$

I de fall  $\frac{f_1}{a} r < CE(x) \min$  beräknas även

$$\left. \begin{array}{l} 4 \quad \Delta p_{\text{SSf } 1-2}(x_{0x}) \\ 5 \quad \Delta p_{\text{SSf } 1-2}(x_D) \quad \text{då } x_{0x} < x_D < x \\ 6 \quad \Delta p_{\text{SSf } 1-2}(x_F) \quad \text{då } x_{0x} < x_F < x \end{array} \right\} \text{enl ekv (3.1.2.8)}$$

Skillnaden mellan största och minsta värde i alternativen 1-6 är lika med  $\Delta p_{\text{SSf } 1-2} \max'$ . Enda undantaget

är då alla alternativen har samma tecken. Alternativet som till absolutbeloppet har största värdet är då lika med  $\Delta p_{Ssf} 1-2 \max'$

### 3.2 Termiska tryckvariationer i fördelningsspalten

Temperaturen i spalten vid koordinaten  $x$ ,  $T_{Sx}$  kan variera beroende på om luften kyls resp värms under sin väg genom spalten. Detta beror i sin tur på klimatet i den omgivning som begränsar spalten. Temperaturen i spalten uttrycks som en funktion av spaltlängden,  $T_{Sx}(L_n)$ . Temperaturen i mellanrummet  $T_{Sm}$  kan då skrivas.

$$T_{Sm} = \frac{\int_1^2 T_{Sn}(L_n) dL - T_1 (L_2 - L_1)}{(T_2 - T_1) (L_2 - L_1)} \quad (3.2.1)$$

Den statistiska tryckskillnaden mellan punkten 1 och 2 beroende på termiska krafter i spalten,  $\Delta p_{SS,Te} 1-2'$  kan nu med hjälp av  $T_{Sm}$  uttryckas som

$$\Delta p_{SS,Te} 1-2 = -0,04 (T_1 - T_{Sm}) (Z_1 - Z_2) \quad (3.2.2)$$

### 3.3 Läckage i fördelningsspalten

Läckflödet mellan fördelningsspalten och omgivningen kan tecknas enl ekv (2.3.1.3). Till följd av detta läckflöde kommer hastighetsprofilen i spalten att ändras. Eftersom hastighetsvariationen i spalten är direkt beroende för beräkningarna av friktionstryckfallet och därmed det dynamiska och statiska trycket i spalten kommer beräkningarna enl avsnittet 3.1 att behöva kompletteras med en komponent orsakad av läckaget.

Hastighetsvariationen till följd av läckaget är naturligtvis helt beroende av tryckbilden och läckflödets fördelning. Hastighetsändringen,  $\Delta w_x$ , uttrycks med kännedom om dessa förhållanden som en funktion av spaltlängden  $L_x$ .  $\Delta w_x = f(L_x)$

Denna hastighetsskillnad adderad till hastigheten  $w_x$  i avsnittet 3.1 leder till beräkandet av statisk tryckskillnad orsakad av friktionsförluster och ändrat dynamiskt tryck till följd av läckage mellan spalten och omgivningen. Tryckskillnaden kan därmed skrivas som en funktion av  $w_x$  och  $\Delta w_x$ .

$$\Delta p_{SSfL} 1-2 = f(w_x, \Delta w_x)$$

## 3.4 Tryckvariationer på rumssidan

Inverkan på det statiska trycket av rumsluftens hastighet  $w_x$  i punkten  $x$  på insidan av isoleringen kan skrivas

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_{p_x} \cdot w_x^2$$

$C_{p_x}$  = formfaktorn vid punkten  $x$

De termiska krafternas inverkan för samma punkt kan skrivas

$$-0,04 \cdot (T_R - T_{Sm\ x}) \cdot (Z_1 - Z_x)$$

Den totala statiska tryckvariationen mellan punkt 1 och 2 på rumssidan kan nu skrivas som

$$\Delta p_{sR\ 1-2} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (C_{pR1} \cdot w_{R1}^2 - C_{pR2} \cdot w_{R2}^2) - 0,04 \cdot (T_R - T_{Sm}) \cdot (Z_1 - Z_2)$$

## 3.5 Total flödesvariation

Med den inledande förutsättningen att tryckfallskarakteristiken är lika i alla punkter av den dynamiska isoleringen kan flödet i en punkt  $x$  skrivas som

$$q_{iso\ x} = \text{konstant} - \Delta p_{iso\ x} \cdot b_{iso}$$

Med hjälp av avsnitt 3.1, 3.2, 3.3 och 3.4 kan nu förhållandet mellan flödet i punkt 1 och 2 beräknas enligt

$$\frac{q_{iso}}{q_{iso1}} = (1 - \frac{\Delta p_{sSf\ 1-2} + \Delta p_{sS,Te\ 1-2} + \Delta p_{sSfl\ 1-2}}{P_{sS1} - P_{sR1}} -$$

$$\frac{\Delta p_{sR\ 1-2}}{P_{sS1} - P_{sR1}}) \cdot b_{iso}$$

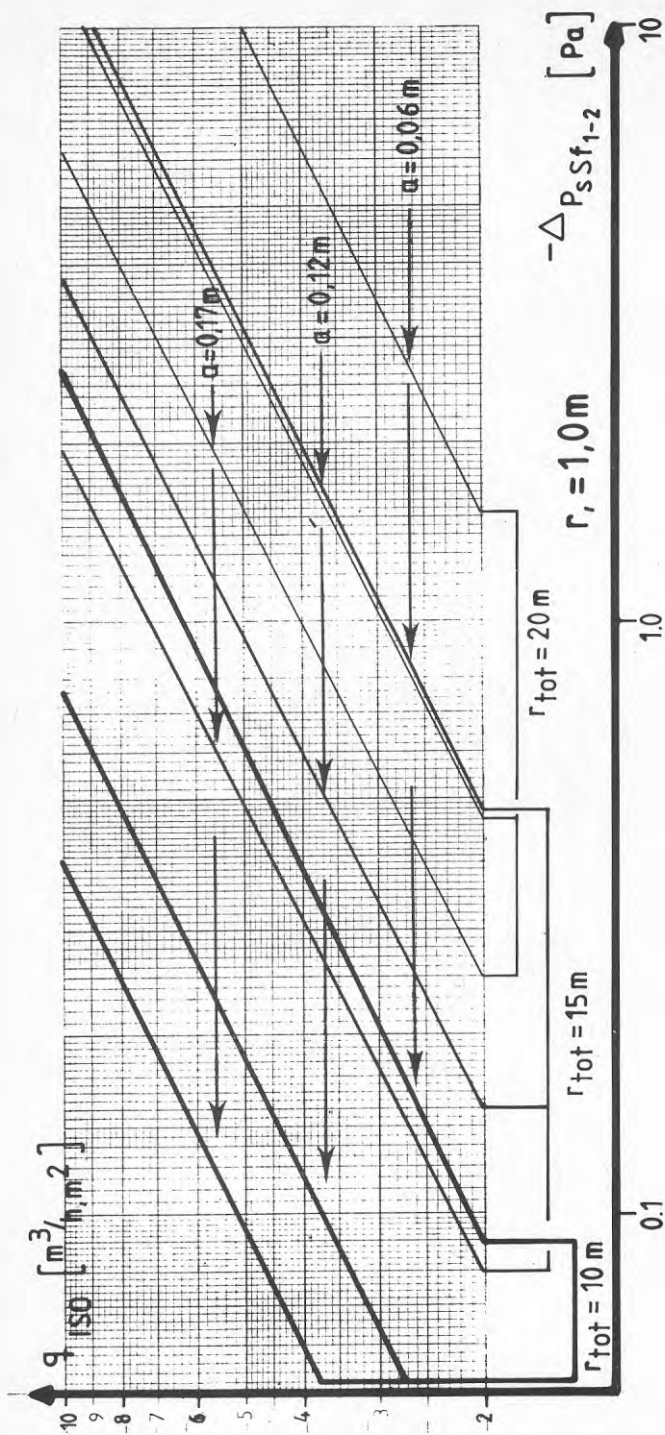
### 3.6 Beräkningar och diskussion av lokala flödesvariationer

Vid beräkning av friktionstryckfall i luftspalt över dynamisk isolering är omslaget från turbulent till laminär strömning en osäker faktor. I praktiska sammanhang brukar man räkna med en omslagszon då  $2000 < Re < 4000$ . Inom omslagszonen är friktionsfaktorn emellertid omöjlig att fastställa med någon säkerhet. Ett sätt att erhålla värden som rimligtvis ej ligger i underkant är att anta turbulent strömning ner till  $Re=2000$  och först därefter räkna med laminär strömning. Den relativa ytråheten kan också vara svår att fastställa rätt storleksordning på när okända material används.

Förutom relativ ytråhet varierar friktionsfaktorn även med  $Re$ -värdet. Dessa faktorer gör att beräkningar av friktionstryckfallet skall behandlas med stor försiktighet. En positiv faktor med tanke på osäkerheten av friktionstryckfallet är att det statiska trycket i spalten ofta påverkas mer av det dynamiska tryckets ändring än av friktionstryckfallets variation.

En negativ effekt av ett förhållandevis stort dynamiskt tryck i början av spalten är att påverkan av flödesriktningens omlänkning kan bli betydande. Detta innebär att ytor och hinder i spalten närmast fläkten bör konstrueras med omsorg. De statiska tryckskillnaderna i fördelningsspalten blir lätt större vid radiell än vid rätlinjig fördelning.

Den statiska tryckskillnaden i fördelningsspalten minskar visserligen snabbt då  $r_1$  ökar och  $r_{tot}$  minskar vilket gör att skillnaderna kan hållas inom önskad nivå. Av ekonomiska skäl vill man dock inte helt oväntat helst bygga på det ur statiska tryckskillnader minst fördelaktiga sättet. Av diagr 3.6.1 framgår att de statiska tryckskillnader vid radiell fördelning relativt lätt kan hållas inom en rimlig nivå. Vad som menas med rimlig nivå beror naturligtvis på vilket tryckfall den dynamiska isoleringen är dimensionerad för, ev inverkan av termiska krafter, läckage till omgivningen från spalten samt tryckvariationer i rummet. Flera olika tekniska möjligheter finns dessutom att betjäna arean innanför radien  $r_1$  vilken möjliggör att  $r_1$  kan öka utan olägenhet för funktionen av den dynamiska isoleringen.



Diagr. 3.6.1 Värdet av  $\Delta p_{ssf}$  1-2 för radiell fördelning vid olika totala radier,  $r_{tot}$ , spalthöjder,  $a$  och flöden.  $q_{iso}$ . Omslaget till laminär strömning antas ske vid  $Re=2000$  och  $f_1$ -värdet har hållits konstant vid  $f_1=0,02$ .



Vad gäller tryckvariationer orsakade av termisk påverkan i fördelningsspalten framgår inte oväntat att dessa helt beror på uppvärmningen respektive avkylningen av luften i spalten samt höjdkoordinaternas utsträckning. Att ange storlekar generellt är alltid vanskligt. Nedan nämnda storlekar bör endast användas för att ge en grov uppfattning av storleksordningar. Med nämnda reservationer kan för fallet då luften kyls ett max-värde för  $T_1 - T_{Sm}$  sättas till  $7^\circ\text{C}$ . För fallet då luften värms ligger max-värdet lätt på det dubbla, vilket i sin tur innebär att  $\Delta p_{SS,Te 1-2 \text{ max}}$  kan variera från  $-0,28 \text{ Pa}$  till  $+0,56 \text{ Pa}$  per meter höjdskillnad.

Maximalt läckage mellan fördelningsspalt och omgivning, avsnitt 3.3, är av naturliga skäl mycket svårt att uppskatta. Ännu svårare blir det när maximalt ogynnsam fördelning av läckaget skall fastställas. En teknik för att erhålla rimliga värden beskrivs nedan. Den dimensionerande tryckfallet över isoleringen antas råda även mellan spalten och omgivningen. Med  $F=2$ ,  $K_t=K_v=5$ ,

$\Delta p_{d.iso} = 10 \text{ Pa}$  och  $q_{d.iso} = 2 \text{ m}^3/\text{h m}^2$ , se fig 2.6.7 i avsnitt 2, ger ett läckage från spalten till omgivningen,  $q_{ks}$  av  $-3.4 \text{ m}^3/\text{h m}^2$ . Då läckaget ökar pga vindpåkänningar, antas flödet genom isoleringen minska i motsvarande grad. Antas vidare läckaget vara jämnt fördelat kan ökningen av den statiska tryckskillnaden beräknas genom att ta skillnaden av erhållna värden i diag. 3.6.1 med ingångsvärdet  $2 \text{ m}^3/\text{h m}^2$  och  $5,6 \text{ m}^3/\text{h m}^2$ . Vad gäller den kvarvarande delen av avsnitt 3.4, som behandlar påverkan på rumssidan av isoleringen beroende på luftrörelser i rummet, finns ej mycket mer att säga än att maximalt ogynnsamt värde på formfaktorn, om några specialfall förbises, torde vara 1. D v s att tryckskillnaden ökar med  $0,6 \text{ Pa}$  för varje  $\text{m/s}$  rumsluftens rörelser ökar. Än en gång upprepas att storlekarna som nämnts måste behandlas med stor försiktighet. Om någon garanti för en god funktion skall ges bör varje enskilt fall bedömas var för sig.

#### 4. Fukt vid motflödesisolering

Som alltid vid byggande måste stor hänsyn tas till fuktfrågor. Fuktproblematiken kan uppdelas i två avdelningar. Den första och vanligaste i byggnader behandlade frågeställningen gäller fukt som innifrån byggnaden söker diffundera ut. Det andra och i byggsammanhang ofta förbisedda fenomenet orsakas av att det yttre yt-skiktet avkyls under daggpunktstemperatur. Orsaker till avkylningen är utstrålning mot rymden och temperaturtröghet. Temperaturtrögheten beror oftast på kvarstående snömassor. Uteluftens fuktutfällning sker i regel såväl innanför som utanpå ytterskiktet.

##### 4.1 Diffusionsfukt.

Statiskt isolerade ytor fungerar på samma sätt som dynamiskt isolerade. En skillnad är att luftflödets storlek och riktning varierar okontrollerat vid statisk isolering. Eftersom tekniken med dynamisk isolering bygger på att upprätthålla ett kontrollerat flöde genom isoleringen är det ofta praktiskt att låta flödet fördela sig jämnt över ytan vid inträdet till rummet. Detta förutsätter en isolering med jämnt fördelade håligheter som luften kan passera. Ångspärr av traditionell modell kan därför inte användas i detta fall.

I publikationen (1) och i nästa delarbete av detta BFR-projekt behandlas teorin för fukttransport genom en dynamisk isolering. Det framgår av (1) att relativt små flöden erfordras för att skapa en effektiv diffusionsspärr.

Vid bedömningen av erforderligt flöde är givetvis varaktigheten över året av stort intresse. Av stort intresse för bedömningen av dimensionerande tryckfall över isoleringen är storleken av lokala flödesvariationer. I de flesta fall kan det visa sig nödvändigt att använda sig av ett separat tryckhöjande skikt, ett skikt av reglerskikt, speciellt vid låga flöden. Flödet kan då tillåtas sjunka praktiskt taget till noll utan att ångdiffusion mot flödet förekommer. Att på detta sätt hindra fukten från att diffundera ut i isoleringen mot luftflödet, innebär även att eventuell fukt utifrån till isoleringen lättare kan återförångas. Jämför avsnittet nedan. I de fall luften uppsamlas i en spalt innan den tillförs rummet ökar även här i allmänhet luftens hastighet långt över diffusionens hastighet. Förutsatt att de speciella förhållandena vid dynamisk isolering beaktas, kan konstruktioner med dynamisk isolering, som har lämpligt reglerskikt ofta lättare göras säkra mot innifrån kommande fukt än statiskt isolerade konstruktioner.

#### 4.2 Uteluftens fukt

Som bekant varierar uteluftens fuktighet markant både över dygnet och över året. Periodvis kan, till följd av det negativa strålningsutbytet med rymden, kondens uppstå såväl innanför som utanpå klimathöljets ytter-skikt. Vattentaket är även här mer utsatt än väggarnas ytterytter. Kondensatet kommer i detta fall från uteluften. Ytterskiktets temperatursänkning beror bl a på strålningsförhållandena, vilka i sin tur vid klar väderlek beror på mängden koldioxid och vattenånga i atmosfären.

Problemet är i viss mån självreglerande. Dels minskar utstrålningen när vatteninnehållet i atmosfären ökar, dels orsakar klar himmel upptorkning genom soluppvärmning under dagtid. Normalt sjunker vid klara dagar även den relativa fuktigheten kraftigt under dagtid. Genomsnittligt är slutligen sol- och himmelstrålning mot horisontella ytor positiv under årets alla månader.

Snö som ligger på yttertaket kan periodvis vara kallare än uteluftens dagpunkt. Under sådana förhållanden kan uteluftens fukt kondensera både i snön och under vattentaktets ytskikt. Jämfört med kondenseringen p g a utstrålningen mot rymden, som är dygnsberoende, kan det här röra sig om längre tidsperioder. En ökad lufttillförsel, tex vid ventilation av taket vid statisk isolering, ökar kondenseringsmängderna.

Ett effektivt sätt att motverka denna typ av fuktutfällning är att konstruera taken på sådant sätt att snön lätt kan glida av taket. Dynamisk isolering stimulerar i allmänhet detta, eftersom snön på sådana tak i högre utsträckning smälts underifrån när uteluftens temperatur överstiger noll. Vattentaket förutsetts då ej vara värmeisolerat.

Horisontella ytor är mer utsatta än vertikala, varför dessa problem oftast uppträder i takkonstruktioner. Fenomenet är inte specifikt för dynamisk isolering, utan uppträder i hög grad även vid statisk isolering. Skillnaden är närmast att såväl utfällning som uttorkning kan bli mer accentuerad vid tillämpning av vissa typer av dynamisk isolering.

De vägar som kan tillgripas för att bemästra problemet är bl a att

- hindra utfällningen
- underlätta återförångningen
- dränera bort kondensatet
- minska luftflödet

Vi tänker oss följande tak med dynamisk isolering. Ett tätt ej värmeisolerat vattentaksmaterial, en luftfördelningsspalt, en mineralullsisolering och ett lämpligt reglerskikt.

Att hindra kondenseringen är energimässigt det bästa men i de flesta fall opraktiskt och dyrt. De sparade energimängderna är dessutom små. Statiskt isolerade tak med självdragsventilation tillförs oftast betydligt mer luft och därmed fukt än de dynamiskt isolerade taken.

Om vi accepterar kondens under vattentaksytan måste vi se till att kondensatet antingen lätt kan återförångas eller snabbt dräneras bort. Fuktutfällningen sker ju endast under kortare perioder. Ett naturligt sätt är då att binda fukten direkt under vattentaket, så att den inte kan rinna iväg, ansamlas och koncentreras till droppa ned i underliggande isolering och därigenom eventuellt orsaka problem. Ytan under vattentaket kan t ex behandlas till ökad fuktbufferingskapacitet eller att rinnande kondensat hindras att från upplag o d rinna ned i isoleringen. Då fukten samlas i direkt anslutning till vattentaket får den lättare värmetillskott från den positiva himmelsstrålningen dagtid och kan på så sätt snabbare torka ut.

Ytterligare ett annat sätt är att låta kondensatet direkt droppa ned i isoleringen. Fördelningen måste då vara någorlunda jämn. Vid plana tak kan detta lätt ordnas. Isoleringen och reglerskikt fördelar sedan fukten varefter den i det dynamiska luftflödet återförångas en bit in i isoleringen. Luften som förs in genom isoleringen får en stigande temperatur och därmed en sjunkande relativ fuktighet vilket möjliggör återförångningen. I de fall vindpåkänningen är så kraftig att flödesriktningen genom isoleringen ej kan upprätthållas torde risken för denna typ av kondens vara minimal, se beräkningsdiagram i avsnitt 4.4 nedan. Kraftig vind på ovansidan vattenskiktet ökar nämligen värmeutbytet med luften på ovansidan så kraftigt att dagpunkten ej underskrids.

Användning av reglerskikt har flera andra positiva effekter. Dels motverkas effektivt diffusion från rummet, dels motverkas flödesminskningen till följd av klimatpåkänningar speciellt gäller det lokala variationer, dels breder skiktet ut eventuell fukt utifrån över en större yta och möjliggör därmed en god återförångning. I de fall åtgärder att hindra ansamling av kondensat till vissa punkter skulle misslyckas erhålls på så sätt en extra säkerhet genom reglerskiktet. Vattnet har dessutom mycket svårt att p g a ytspänningen tränga genom avsedda reglerskikt.

Vintertid kan kondensutfällningen på undersidan av yttertaket ske i form av frost. Frostbeläggningen i sig utgör en isolering, vilket bidrar till att minska fortsatt utfällning. Dessutom återförångas frostbeläggningar på samma sätt som vattnet under dagperioder. Det gäller här att inte förväxla frost från uteluften med frost från inneluften.

Att fördela eventuellt kondensdropp jämnt över isoleringen är lättare vid plana tak, medan avledning av

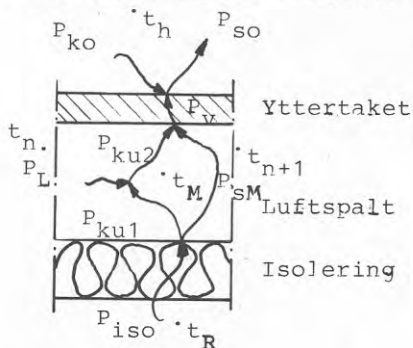
kondensatet är lättare att utföra vid stora taklutningar. Då kondensatet vid avledningsförfarandet måste rinna på undersidan av vattentaket måste taket, förutom att ha en stor lutning, även var relativt slätt och utan tvärgående kanter som kan utgöra droppanvisningar. Konstruktioner av detta slag är i regel svåra att göra, varför en viss försiktighet med denna typ av lösning rekommenderas. Vintertid kan dessutom problem lätt uppstå med igenfrysning av eventuell dränering.

Då problemet med kondensation av fukt från uteluften i regel är större i statiskt isolerade tak, och problem därav ändå visat sig ovanliga, kan väl konstruerade dynamiskt isolerade tak med reglerskikt anses befriade från problemet.



### 4.3 Beräkningsmodell för beräkning av kondensmänder under vattentaket

Till grund för beräkningarna ligger följande ekvationer:



$$\text{Ekv 1: } P_{ko} + P_v - P_{so} = 0$$

$$\text{Ekv 2: } P_{ku2} + P_{SM} - P_v = 0$$

$$\text{Ekv 3: } P_L + P_{ku1} - P_{ku2} = 0$$

$$\text{Ekv 4: } P_{iso} - P_{ku1} - P_{SM} = 0$$

$$P_{ko} = \alpha_{ko} \cdot \Delta A \cdot (t_o - t_{v1})$$

$$P_v = \frac{1}{m_v} \cdot \Delta A \cdot (t_{v2} - t_{v1})$$

$$P_{so} = \alpha_{so} \cdot \Delta A \cdot (t_{v1} - t_h)$$

$$P_{ku2} = \alpha_{ku2} \cdot \Delta A \cdot (t_M - t_{v2})$$

$$P_{SM} = \alpha_{SM} \cdot \Delta A \cdot (t_i - t_{p2})$$

$$P_L = \frac{\dot{V}_x}{3} \cdot (t_n - t_{n+1})$$

$$P_{ku1} = \alpha_{ku1} \cdot \Delta A \cdot (t_i - t_M)$$

$$\alpha_{ko} = \alpha_{kwo} + \alpha_{kdo}$$

$$\alpha_{kwo} = 5,8 + 4 \cdot v$$

$$\alpha_{kdo} = 0,0152 \cdot \frac{P_{v1} - P_o}{t_{v1} - t_o} \cdot \alpha_{kwo}$$

då  $\alpha_{kdo} > 0$

annars  $\alpha_{kdo} = 0$

$$\alpha_{ku2} = \alpha_{kwu2} + \alpha_{kdu2}$$

$$\alpha_{kwu2} = \begin{cases} 0,09 \cdot \frac{1}{a} & \text{då } Re < 2300 \\ w \cdot \rho \cdot C_p \cdot \frac{f_1}{4} & \text{då } Re > 2300 \end{cases}$$



$$f_1 = 0,0012 + 0,09 \cdot \text{Re}^{-0,237}$$

$$\alpha_{Kdu2} = 0,0152 \frac{p_{v2}'' - p_m}{t_{v2} - t_m} \cdot \alpha_{kwu2}$$

då  $\alpha_{kdu2} < 0$

annars  $\alpha_{kdo} = 0$

$$\alpha_{Ku1} = 1000$$

$$K_{dyn} = 0,05$$

$$a = 0,17$$

$$t_R = 20$$

$$\alpha_{so} = 5,4 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{T_{v1}^4 - T_h^4}{T_{v1} - T_h}$$

$$\alpha_{sM} = 4,6 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{T_i^4 - T_{v2}^4}{T_i - T_{v2}}$$

$t_h$ ( $T_h$ )	$^{\circ}\text{C}$ (K)	Himmelens strålningstemperatur
$t_o$ ( $T_o$ )	$^{\circ}\text{C}$ (K)	Omgivningens lufttemperatur
$t_{v1}$ ( $T_{v1}$ )	$^{\circ}\text{C}$ (K)	Temp. på ovansidan av yttertak
$t_{v2}$ ( $T_{v2}$ )	$^{\circ}\text{C}$ (K)	Temp. på undersidan av yttertak
$t_M$ ( $T_M$ )	$^{\circ}\text{C}$ (K)	Medeltemp. i luftspalten
$t_i$ ( $T_i$ )	$^{\circ}\text{C}$ (K)	Temp. på ovansidan av isoleringen
$t_R$ ( $T_R$ )	$^{\circ}\text{C}$ (K)	Rumsluftens temperatur
$t_n$	$^{\circ}\text{C}$	Lufttemp. i spalten vid början av delsträcka
$t_{n+1}$	$^{\circ}\text{C}$	Lufttemp. i spalten vid slutet av delsträcka
$\Delta A$	$\text{m}^2$	Delsträckans area
$m_v$	$\text{m}^2, ^{\circ}\text{C}/\text{W}$	Yttertakets värmemotstånd
$\dot{V}_x$	$\text{m}^3/\text{h}$	Medelluftflödet i spalten
$\alpha_{kwo}$	$\text{W}/\text{m}^2, ^{\circ}\text{C}$	Konvektivt värmeövergångstal för ovansida av yttertak
$\alpha_{kdo}$	$\text{W}/\text{m}^2, ^{\circ}\text{C}$	Värmeövergångstalet p g a kondensation på ovansidan av yttertak
$\alpha_{kwu2}$	$\text{W}/\text{m}^2, ^{\circ}\text{C}$	Konvektivt värmeövergångstal för undersidan av yttertak
$\alpha_{kdu2}$	$\text{W}/\text{m}^2, ^{\circ}\text{C}$	Värmeövergångstalet p g a kondensation på undersidan av yttertak
$\alpha_{ku1}$	$\text{W}/\text{m}^2, ^{\circ}\text{C}$	Värmeövergångstalet mellan luften i spalten och isoleringen
$v$	$\text{m}/\text{s}$	Vindhastighet ovan taket
$w$	$\text{m}/\text{s}$	Lufthastighet i spalten
$p_{v1}''$	$\text{Pa}$	Vattenångans mättnadstryck vid temp. $t_{v1}$
$p_o$	$\text{Pa}$	Vattenångans tryck i omgivningens luft
$p_{v2}''$	$\text{Pa}$	Vattenångans mättnadstryck vid temp. $t_{v2}$
$p_M$	$\text{Pa}$	Vattenångans tryck i luftspalten
$a$	$\text{m}$	spalttjocklek
$\rho$	$\text{kg}/\text{m}^3$	Luftens densitet

$C_p$	$\text{kJ/kg}$	Luftens värmekapacitet
$f_1$		Friktionsfaktor
$Re$		Reynolds tal
$\alpha_{so}$	$\text{W/m}^2, ^\circ\text{C}$	Värmeövergångstalet p g a strålningsutbytet mellan yttertakets och himmeln
$\alpha_{sm}$	$\text{W/m}^2, ^\circ\text{C}$	Värmeövergångstalet p g a strålningsutbytet mellan yttertakets och isoleringen.
$RF_o$	%	Omgivningens relativa fuktighet
$r_{tot}$	m	Takareans radie
$q_{iso}$	$\text{m}^3/\text{h}, \text{m}^2$	Flödet genom isoleringen
$k_{dyn}$	$\text{W/m}^2, ^\circ\text{C}$	Isoleringens dynamiska k-värde
$X$	$\text{g/m}^2, \text{h}$	Fuktutfällningen under vattentaket

#### 4.4 Resultat och diskussion av kondensmängdsberäkningar under vattentaket

Beräkningarna är gjorda för fall med radiell fördelning. Att tak sällan har cirkulär utbredning saknar här praktisk betydelse eftersom skillnaden mellan kvadratisk form och radiell fördelning är marginell. Förutsättningen är naturligtvis att fläkten placeras i ytans centrum. Vid rätlinjig fördelning minskar fuktutfällningens toppvärden något. Utfällningen sker i båda fallen endast periodvis och vid ogynnsamma förhållanden.

Till ingångsvärden för kurva 1 har valts det ogynnsammaste fall som överhuvudtaget kan tänkas inträffa. Dessa ingångsvärden är:

$$RF_o = 100\% \quad t_o = 20\% \quad Q_{iso} = 4 \text{ m}^3/\text{h}, \text{m}^2$$

$$m_v = 0,0001 \text{ m}^2, ^\circ\text{C}/\text{W} \quad V = 0 \text{ m/s}$$

$$t_h = 6^\circ\text{C} \quad r_{tot} = 20\text{m}$$

Ändringar i förhållande till dessa värden är markerade i de olika diagrammen. Samtliga ändringar resulterar i minskad fuktutfällning. Redan vid normala förhållanden som representerar kurvorna 23 och 24 är utfällningen så liten att det med hjälp av klimatdata är lätt att påvisa den korta tid av året utfällning kan ske. Varje  $\text{g}/\text{m}^2$  utfällning motsvarar endast  $1/4$  m tjockt vattenskikt. De förhållanden som representeras av kurva 23 och 24 måste man pågå många timmar innan utfällningen kan iakttas med blotta ögat. I praktiska sammanhang kan utfällningar av denna storleksordning därmed försummas. Det är dock svårt att alltid helt eliminera utfällning, varför en vettig planering för lämplig hantering av eventuellt erhållen utfällning alltid är att rekommendera.

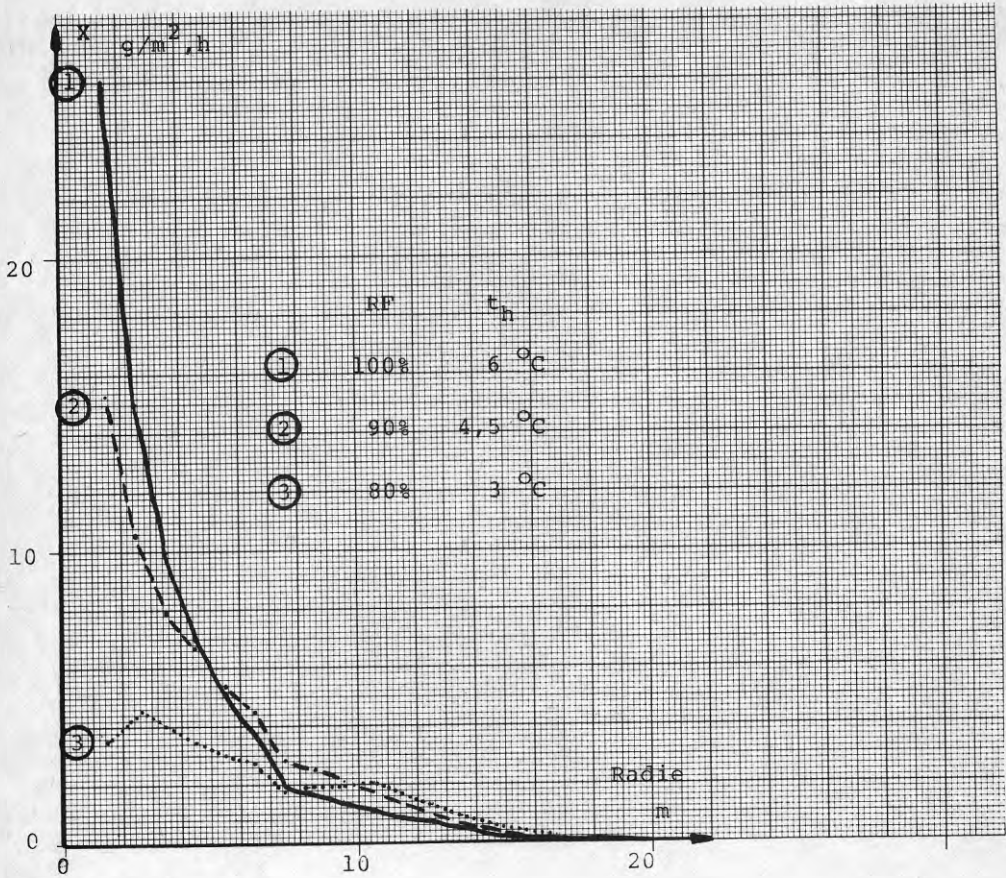


Fig 4.4.1

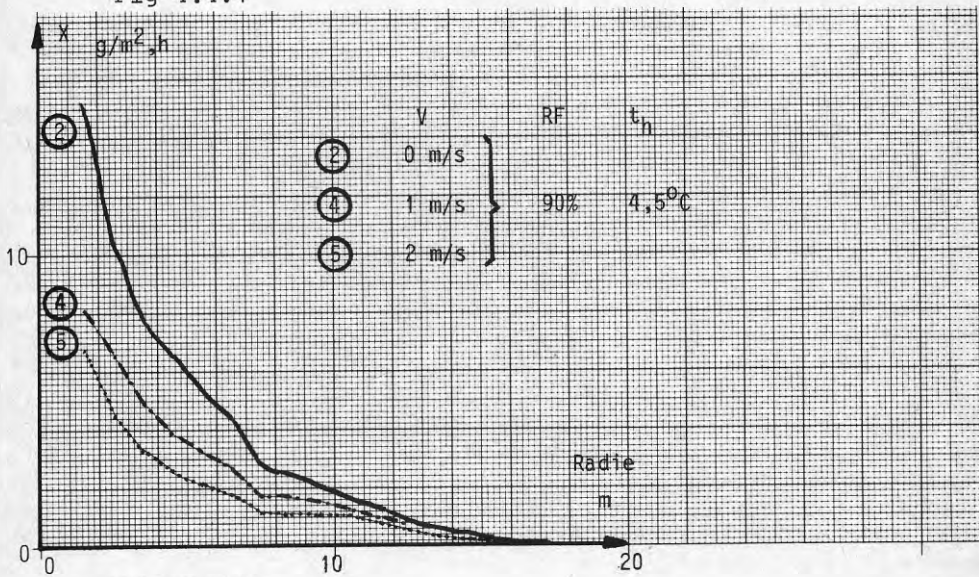


Fig 4.4.2



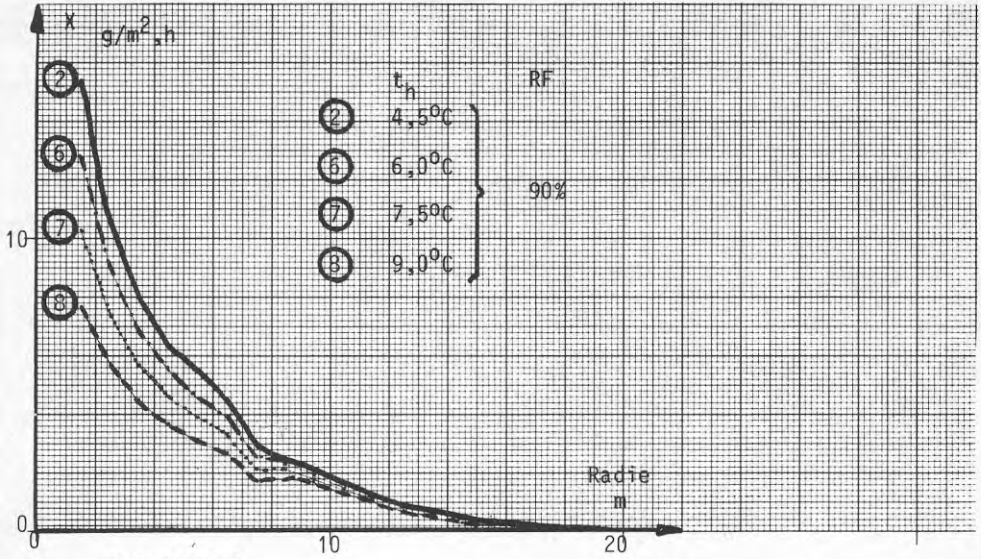


Fig 4.4.3

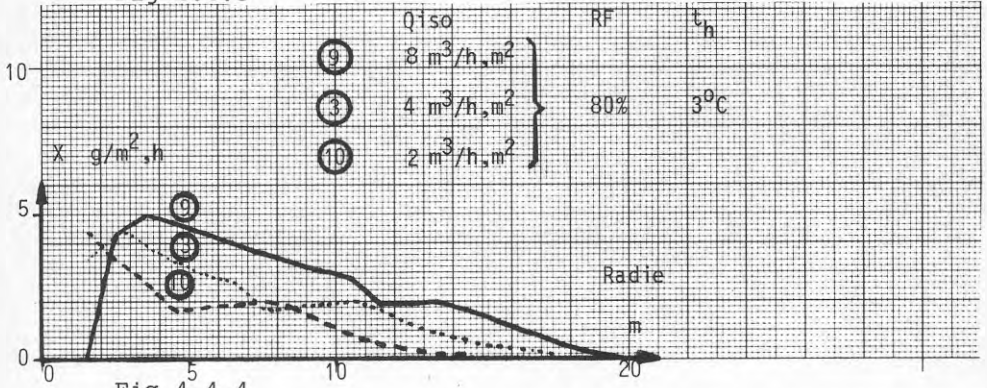


Fig 4.4.4

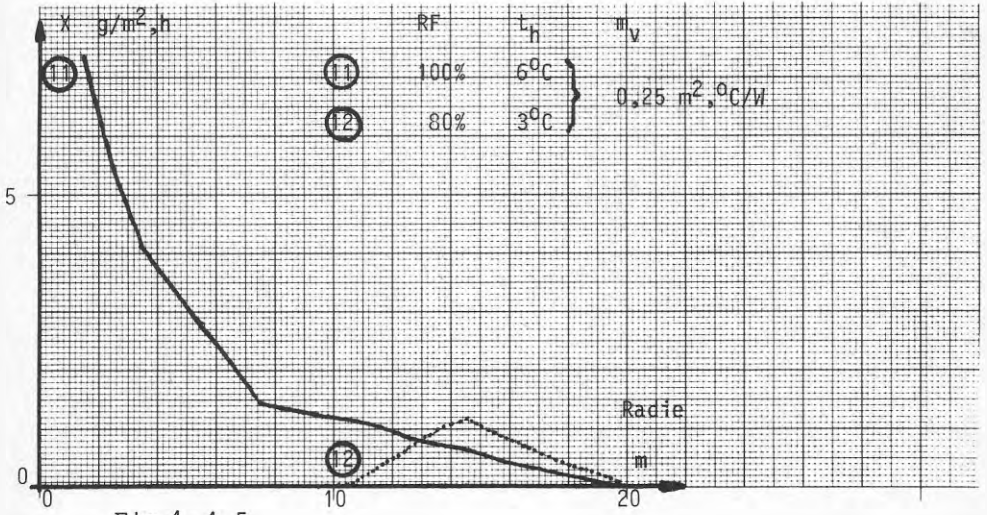


Fig 4.4.5



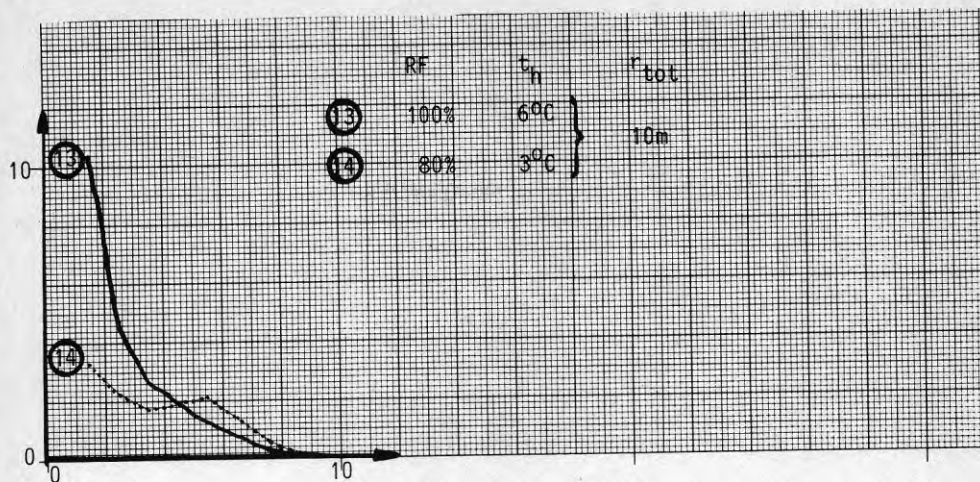


Fig 4.4.6

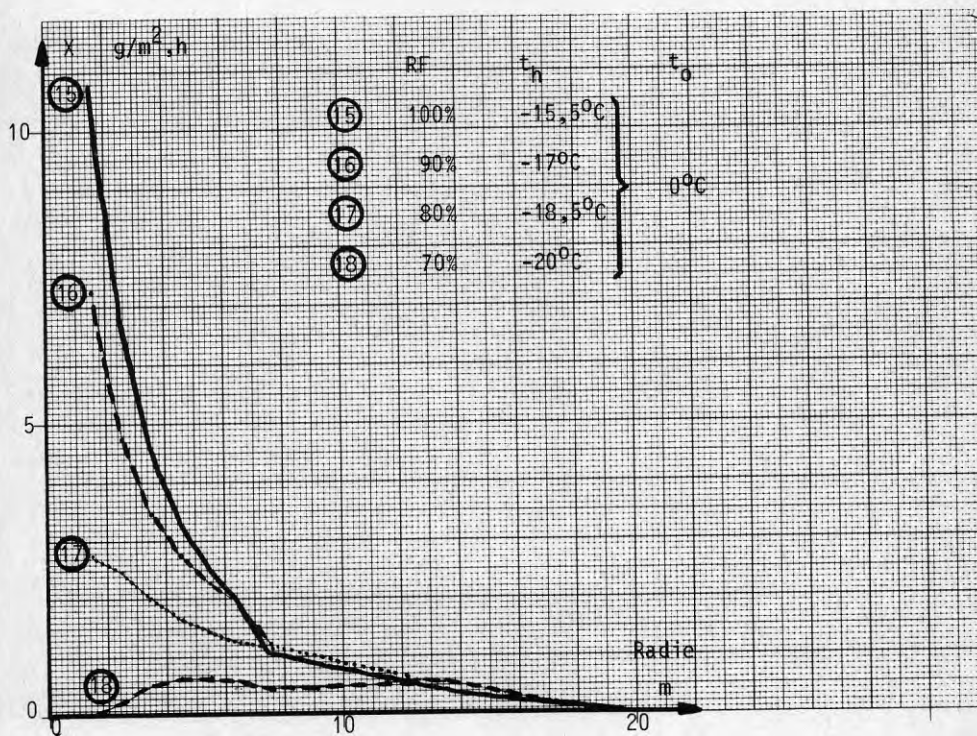
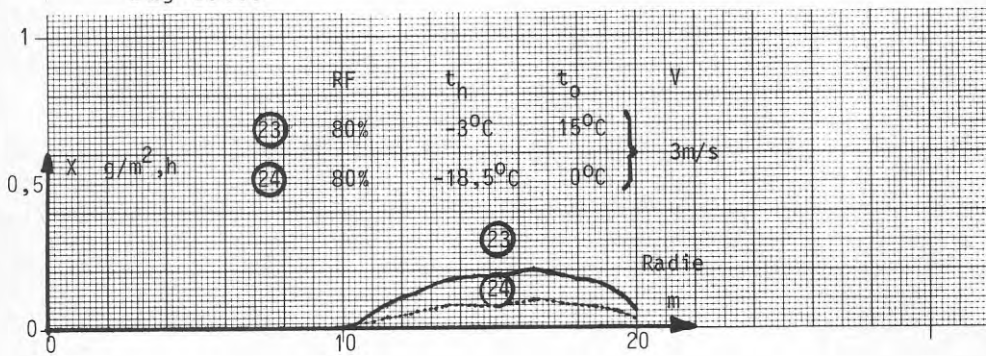
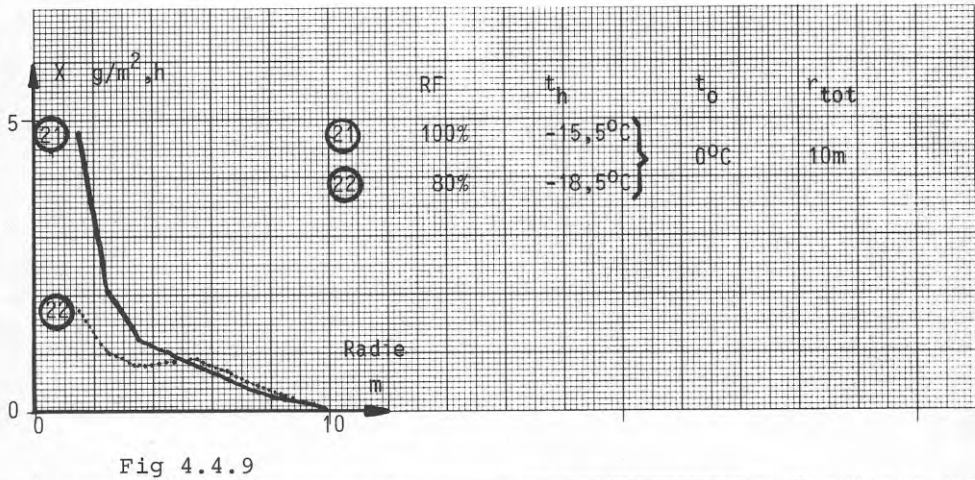
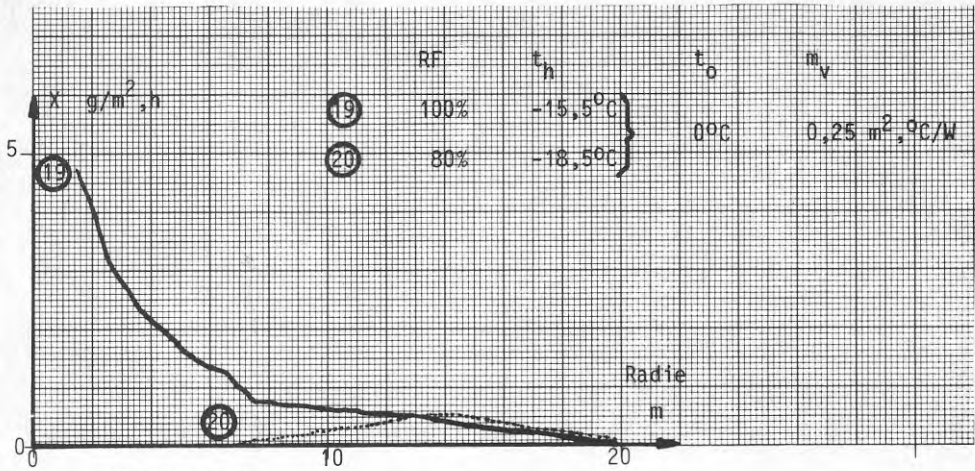


Fig 4.4.7



Av diagrammet framgår att fuktutfällningen oftast är störst närmast fläkten. En isolering av vattentaket sänker drastiskt fuktutfällningen närmast fläkten. En sådan eventuell isolering bör bestå av ett icke fuktabsorberande material, eller på annat sätt skyddas mot fukten. Isolereffekten avtar annars snabbt då materialet fuktas.

Jämfört med vid  $t = 20^{\circ}\text{C}$  kan utfällningen grovt uttryckt sägas halveras då  $t$  sjunker till  $0^{\circ}\text{C}$ .

Vid  $t = 0^{\circ}\text{C}$  och under sker utfällningen i form av frost som skapar ett isolerande skikt såväl ovan som under yttertaksytan.

Utfällningen är i allmänhet mycket större ovan än under yttertaket. Vintertid ligger ofta ett snölager som effektivt hindrar vattenskiktets strålningsutbyte med himlen. Störst fuktutfällning sker troligtvis under den varma och fuktiga sensommaren samt under snösmältningsperioden om mycket snö ligger kvar på taken. Använda värden på  $t_h$ , utom i-kurvorna 6,7,8 och 23, gäller vid klart väder och hänsyn endast tagen till långvågig strålning. Vid mulen väderlek ökar himlens strålningstemperatur och utfällningen minskar i motsvarande grad. Dagtid erhålls normalt stora tillskott i form av strålning från solen, varför yttertakets temperatur stiger över omgivningens lufttemperatur. Eventuell kondensation upphör då samtidigt som uttorkningen börjar. Samma relativa fuktighet som i luften vid marknivå har vid beräkningarna antagits råda i överliggande luftlager.

Variationen i och varaktigheten av den relativa fuktigheten är svårt att få goda statistiska uppgifter om. Vid klart väder då utstrålningen mot himlen är som störst varierar lufttemperaturen över dygnet kraftigt. Normalt varierar den absoluta fuktigheten inte speciellt mycket vilket då leder till en kraftig variation av den relativa fuktigheten. När  $RF = 100\%$  råder vid  $t_{\min} = 0^{\circ}\text{C}$  och temperaturen stiger till  $t_{\max} = 10^{\circ}\text{C}$  under dygnet har den relativa fuktigheten sjunkit till under 50%. Den absoluta fuktigheten antas vara konstant.

Det vanligast torde dock vara att den absoluta fuktigheten stiger något under dagtid. Väderleken är som vi alla vet sällan normal varför under kortare tider nästan alla kombinationer kan uppträda. Med tanke på beräkningsresultaten bör fuktutfällning under vattentaket normalt ej ske mer än några timmar nattetid.

## LITTERATUR

Anderlind, G, Johansson, B, Dynamisk isolering. Teori för värmeisolering som genomströmmas av gas eller vätska. Byggforskningsrådet, R162:1980.

Arbetskyddsstyrelsen, Arbetsmedicinska avdelningen, Uppdragsrapport D:NR 4598/80, Uppdragsgivare: Paul Petersson Konstruktionsbyrå AB, Stockholm 1981.

Boman, C-A, Matsson, M, Provhus med dynamisk isolering, Mätningar. Byggforskningsrådet R142:1981.

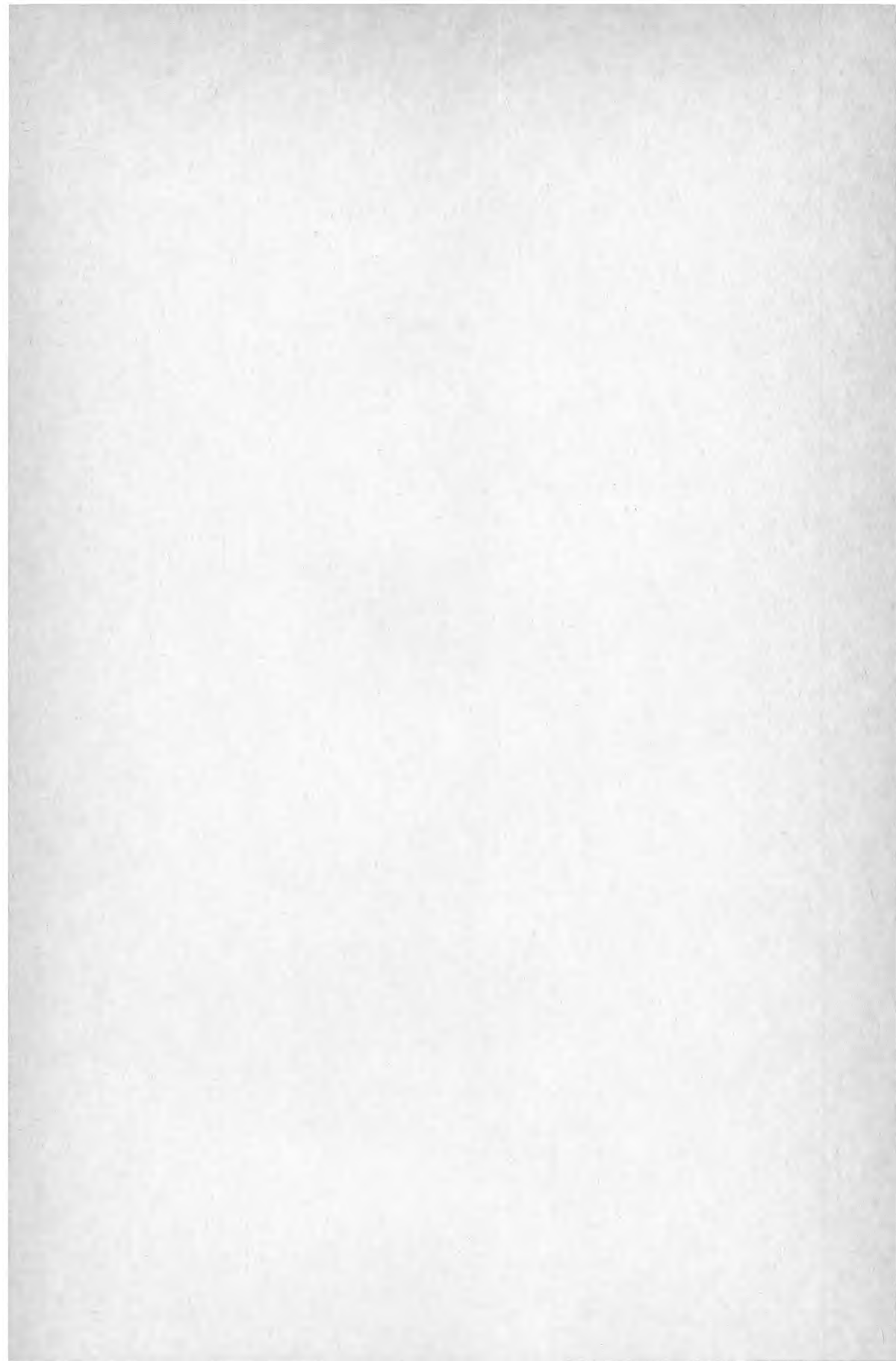
Handa, K, Kärrholm, G, Lindqvist, T, Mikroklimat och Luftväxling. Byggforskningsrådet T3:1979.

Nylund, P, O, Tjuvdrag och ventilation. Byggforskningsrådet T4:1979.

Petersen, E, 1966, Solinfald gennem vinduer, Akademisk forlag, Danmarks tekniska högskola, Laboratoriet för värmeisolering, Meddelande nr 13.

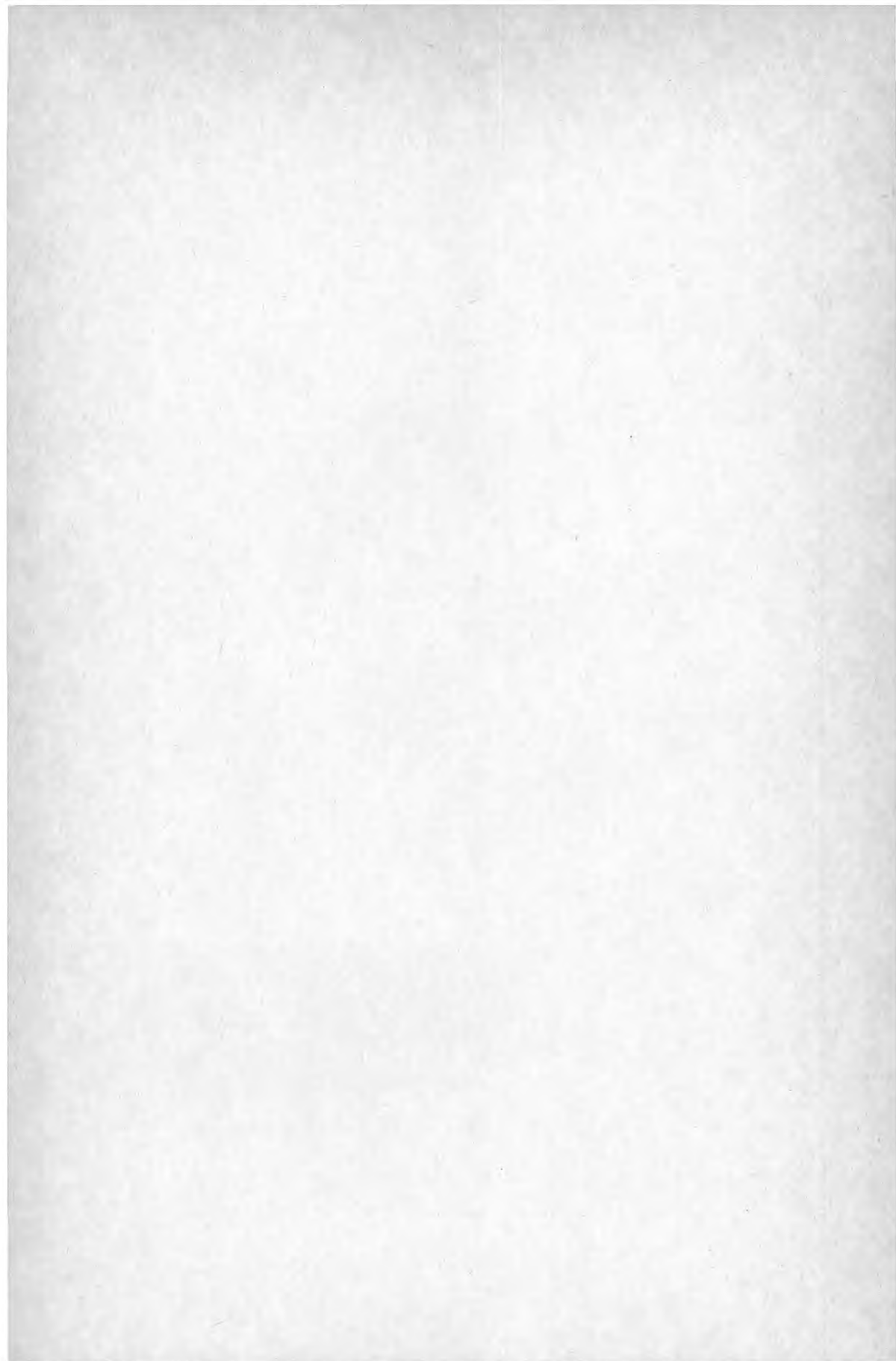
Taesler, R, 1972, Klimatdataboken, Byggforskningsrådet, Stockholm.

Thorén, T, 1978, Dynamisk isolering. Styrelsen för teknisk utveckling, Information nr 76.

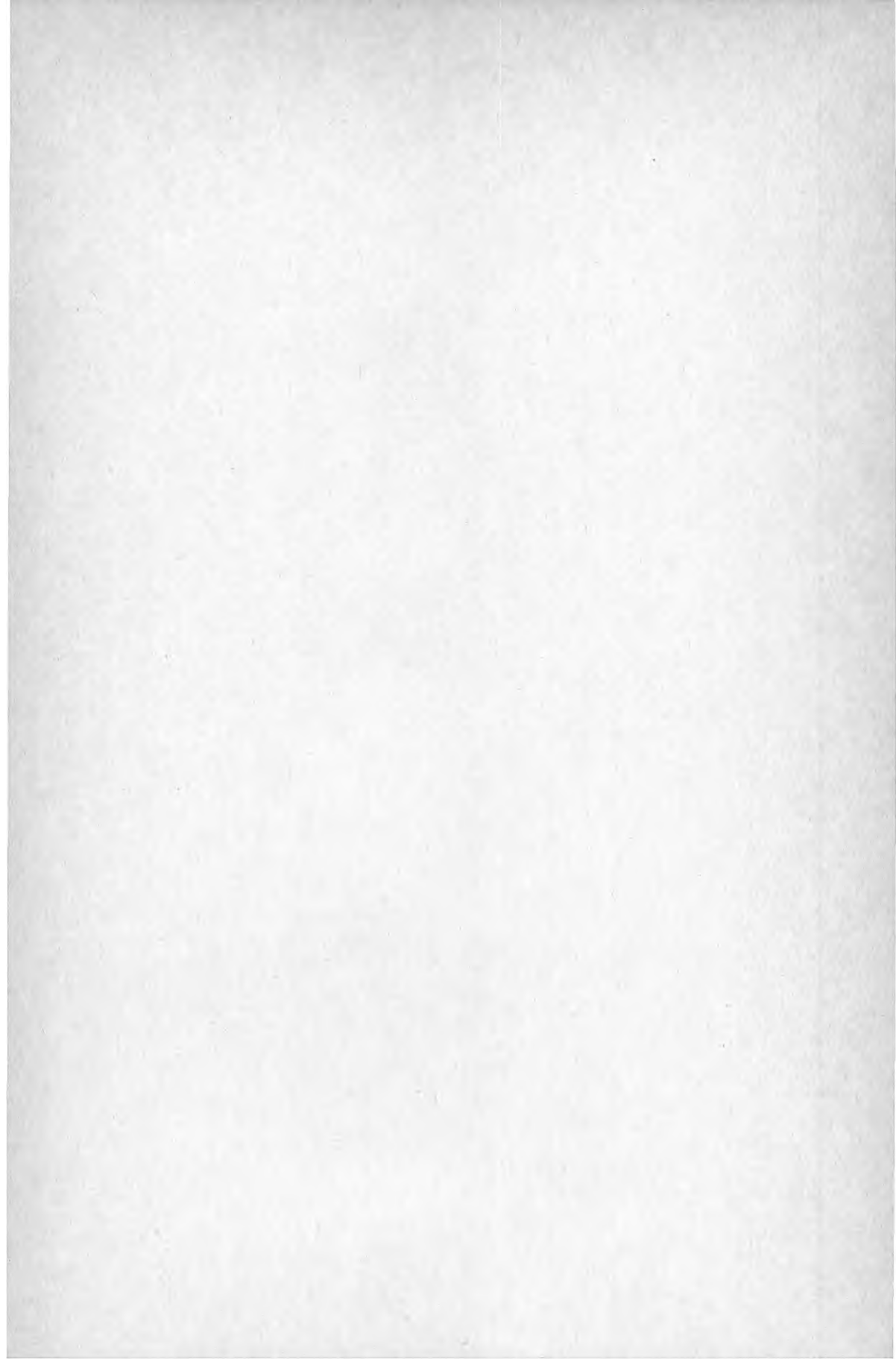














**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
790146-5 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Paul Petersson Konstruktionsbyrå AB,  
Stockholm.**

**R34: 1984**

**ISBN 91-540-4099-X**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6704034**

**Abonnemangsgrupp:  
Z. Konstruktioner  
och material**

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

**Cirka pris: 35 kr exkl moms**