

Rapport

R99:1978

Ofrivillig ventilation

Industriväggars täthet

Lars J E Andersson

Byggforskningen

INNEHALL	Sid.
FÖRORD	5
BETECKNINGAR	6
1. INLEDNING	7
1.1 Bakgrund	7
1.2 Betydelsen av industriväggars täthet	8
1.3 Vägghkonstruktioner	9
1.4 Forskningsprojektets målsättning	10
2. BERÄKNING AV LUFTLÄCKAGE	12
2.1 Allmänt	12
2.2 Tidigare utförda strömningsstudier i laboratorium	12
2.3 Inom projektet utförda strömningsstudier	13
2.3.1 Skarvning av pappklädda isoleringsskivor	13
2.3.2 Omlottskarvad plastfolie mellan plåtskikt och isoleringsskikt	13
2.3.3 Omlottskarvad plastfolie mellan två isoleringsskikt	14
2.3.4 Plastfolieanslutning vid fönster	14
2.3.5 Plastfolieanslutning vid port	14
2.3.6 Lättbetongvägg av liggande element	14
2.4 Beräkningsmodell	15
2.5 Förenklad täthetsberäkning för standardhall. Exempel	17
2.5.1 Planförutsättningar	17
2.5.2 Klimatförutsättningar	17
2.5.3 Inverkan av klimat. Temperatur och vind	18
2.5.4 Plåtvägg. Byggnadsförutsättningar och beräkning	20
2.5.5 Lättbetongvägg. Byggnadsförutsättningar och beräkning	22
2.6 Kommentarer till beräkningsresultat	23
3. PROVNINGAR	27
3.1 Laboratorium	27
3.2 Provningsprogram	27
3.2.1 Befintliga konstruktionstyper	27
3.2.2 Nya konstruktioner	27
3.3 Provningsutrustning	28
3.3.1 Provlåda och provningsanordning	28
3.3.2 Mätutrustning	29
3.4 Plåtvägg. Provningsgenomförande och resultat	30
3.4.1 Skarvning av pappklädda isoleringsskivor	30

	Sid.
3.4.2 Omlottskarvad plastfolie mellan plåtskikt och isoleringsskikt	30
3.4.3 Omlottskarvad plastfolie mellan två isoleringsskikt	32
3.4.4 Plastfolieanslutning mot träregel klämd med spikad slätplåt	33
3.4.5 Plastfolieanslutning mot plåt klämd av lätt isolering	33
3.4.6 Fogtätningssystem vid montage av gipsskivor för vindskyddande beklädnad	33
3.5 Lättbetongvägg. Provningsgenomförande och resultat	34
3.5.1 Horisontella fogar mellan liggande lättbetongelement	34
3.5.2 Vertikala fogar mellan liggande väggelement och anslutning mot tak	35
3.5.3 Anslutningar mot fönster och portar	36
3.6 Resultatsammanfattning	36
4. TÄTHETSUNDERSÖKNING, BYGGSCHEDE OCH FÄRDIG BYGGNAD	104
4.1 Studieobjekt	104
4.2 Undersökningsmetodik	104
4.3 Undersökningsresultat	104
4.4 Förslag till åtgärder	106
5. FÖRSLAG TILL ÅTGÄRDER	108
5.1 Utgångsläge	108
5.1.1 Normsituation	108
5.1.2 Konstruktionshandlingar	108
5.1.3 Arbetsutförande	109
5.1.4 Industribyggnadernas täthet	109
5.2 Konstruktionsutveckling	110
5.2.1 De nya förutsättningarna	110
5.2.2 Betydelsen av en tät vägg	110
5.2.3 Nybyggnad	111
5.2.4 Ombyggnad	113
5.3 Konstruktionsredovisning. Exempel	114
5.4 Kostnadsbedömningar	114
6. FORTSÄTTA STUDIERS INRIKTNING	128
Litteraturreferenser	129
SAMMANFATTNING	131-132

FÖRORD

Föreliggande rapport innehåller en redogörelse för studier av industriväggars täthet. Två väggtyper har studerats huvudsakligen genom laboratoriestudier.

Projektet har tillkommit på initiativ av professor Arne Johnson inom programarbetet "Ofrivillig ventilation. Förutsättningar och betydelse för byggnaders värmebalans" (R 34:1978).

Arbetet har utförts vid Tekn. dr ARNE JOHNSON Ingenjörbyrå ab och vid Institutionen för Konstruktionslära vid Kungl. Tekniska Högskolan i Stockholm.

Statens Råd för Byggnadsforskning har genom anslag 760792-5 möjliggjort projektets genomförande.

Materialtillverkare har välvilligt ställt material till förfogande och anvisat byggnadsobjekt för fältstudier.

Civilingenjör Arne Sahlström, Institutionen för Konstruktionslära, KTH har haft ansvar för provningsgenomförande och utformat resultatredovisningen jämte exempel på konstruktionsredovisning.

Till medverkande personal inom Institutionen för Konstruktionslära, KTH och Tekn. dr ARNE JOHNSON Ingenjörbyrå ab riktar jag ett tack.

Stockholm i augusti 1978

Lars Andersson

BETECKNINGAR

A	area	m^2
b	spaltvidd, springbredd	m
B_0	permeabilitet	m^2
B	permeans	m
d	bredd, djup, tjocklek	m
h	höjd	m
L_0	medelströmningsväg	m
L	skarvlängd	m
Δp	tryckskillnad	Pa
Q	luftflöde	m^3/h
ΔT	temperaturdifferens	K ($^{\circ}C$)
v	hastighet	m/s
Δx	strömningslängd	m
η	dynamisk viskositet	Ns/m^2
ρ	densitet	kg/m^3

1. INLEDNING

1.1 Bakgrund

Undersökningar avseende läckage igenom väggkonstruktioner har hittills i huvudsak utförts i byggnader tillhörande bostadskategorin.

Läckage igenom och i industriväggar har emellertid uppmärksamats i samband med byggande av speciella industrier. Genomförda undersökningar har i regel initierats genom olägenheter eller av ej uppfyllda funktionskrav hos byggnadskonstruktionerna.

Genom att krav på funktion och driftförhållanden är mycket olika inom olika industrier kan ett stort antal konstruktions typer och utföranden accepteras. Andelen industribyggnader med krav på klimatstyrning inomhus ökar emellertid i takt med krav på bättre arbetsmiljö men också med hänsyn till ekonomiska aspekter avseende energianvändning.

Klart är att ett stort antal industribyggnader projekterats med förutsättningar om en mycket billig energi för driften av byggnaden. Detta har inneburit att värmeisolering och täthet fått stå tillbaka jämfört med andra drift- och funktionskrav.

Statens Planverk föreskriver i kapitel 33:3 att "byggnadsdelar som avgränsar lokal som avses hållas uppvärmd och anslutningar mellan sådana byggnadsdelar anordnas så att de förhindrar oläglig luftläckning."

Som råd och anvisningar anges krav för byggnadsdelar som avgränsar lokaler som avses att uppvärmas till minst $+10^{\circ}\text{C}$.

Sådana lokaler är vanliga inom industribyggnadskategorin.

Kraven har formulerats som mått på luftläckning ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$) vid viss tryckskillnad över konstruktionen.

Luftläckningen igenom samtliga lokalbegränsande byggnadsdelar är ett mått på den okontrollerade eller ofrivilliga ventilationen. Denna luftläckning innebär att uppvärmd luft byts mot uteluft och mäts ofta i enheten luftomsättningar per timme (luftoms/h).

För att bestämma energiåtgång på grund av luftutbyte måste vissa parametrar vara kända: luftomsättning per timma, uppvärmningsbehov i antal gradtimmar per år, värmeinnehåll i luften.

Krav på luftomsättning i lokal finns ofta. Detta beror av hygieniska krav eller processtekniska krav. Den kontrollerade luftomsättningen styrs i regel av ett ventilationssystem. Utan att gå in på detta område kan konstateras att betydelsen av täta byggnadskonstruktioner ökar då värmeinnehållet i lokalens luftvolym tenderar att återanvändas i allt större omfattning.

Industriväggar omfattas av ett stort antal konstruktionstyper beträffande material och kvaliteter. Under 1960- och 1970-talet har emellertid två typer varit volymmässigt dominerande: plåtväggen och lättbetongväggen.

Med plåtvägg avses då en konstruktion med stålregelstomme och bärande stålpelare som inom stålregelns bredd innesluter ett isoleringsskikt mellan två ytbärverk av profilerad plåt. I isolerskiktet inräknas då vindskyddsskikt och skikt för hindrande av diffusion. Dessa skikt spelar en avgörande roll beträffande väggens täthet mot genomblåsning av luft.

Lättbetongväggen består av homogena element som fogtätas och ytbehandlas. Väggens lufttäthet beror i huvudsak av fogarnas täthet. Luftgenomsläppligheten i lättbetongmaterialet är intressant vid studium av läckvägar i anslutning till tätningslister.

1.2 Betydelsen av industriväggars täthet

Luftomsättning på grund av okontrollerat läckage igenom byggnadskonstruktioner har ej angivits kvantitativt utom i något enskilda fall i landet. Kvalitativt har med hjälp av termograferingsutrustning konstaterats att läckagen kan vara betydande. Distinkta läckage har också konstaterats med hjälp av varmtrådsanemometer. Mätningarna som utförts måste också relateras till yttre vindbelastning och till temperaturdifferensen mellan klimat ute och inne. Detta innebär ytterligare arbetsvolym innan en tidsbunden mätning kan omräknas till värden avseende luftläckage under ett år.

I en dansk undersökning "Boligers luftskifte" [7] redovisas resultat från 81 mätningar avseende bostadshus. Spärgasmätningar, som utförts vid atmosfärstryck och med medelvindstyrka 4 m/s och temperaturdifferens 17°C, gav ett medelvärde på 0,63 luftomsättningar per timma med standardavvikelse 0,3.

I brist på undersökningar för industribyggnader får värden antagas. Att värdena ligger betydligt högre än för bostadshus torde vara odiskutabelt.

Studera en industrihall med planmått 20 x 60 m² och höjd 6 m. Byggnadsvolymen är 7200 m³, väggarean 960 m² och total omslutande area (vägg + tak) 2160 m². Antag att man genom en förbättrad väggkonstruktion kan minska luftomsättningen på grund av läckage från 1,5 till 1,2 luftomsättningar per timma. Ligger hallen i mellansverige krävs en uppvärmning av uteluften motsvarande 96000 gradtimmar per år vid 20°C innetemperatur. Värmeinnehåll i luft är ca 1220 WS/m³g vid 50 % luftfuktighet och 20°C.

Energibehov för att uppvärma den omsatta luftvolymen $2160 \text{ m}^3/\text{h}$ ($0,3 \times 7200$) är enligt ovanstående förutsättningar ca $70000 \text{ kWh}/\text{år}$. Med hänsyn till möjligheten att sänka temperaturen utom arbetstid kan tillskottet i energibehovet reduceras till ca $50000 \text{ kWh}/\text{år}$.

Uppvärmningskostnaden kan alltså reduceras med ca $5500 \text{ kr}/\text{år}$ ($11 \text{ öre}/\text{kWh}$) om luftomsättningen reduceras med $0,3$ luftomsättningar per timma. Denna årliga kostnad motsvarar, utan hänsyn till energiprisförändringar, en engångsinvestering på ca $35 \text{ kr}/\text{m}^2$ väggarea vid 10% kalkylränta och 10 års avskrivningstid.

Beräkningsexemplet med antagna läckagemängder ger vid handen att området är intressant att penetrera. Jämfört med täthetskrav som framställs i SBN 1975 vid provning av byggnadsdelar är ett krav på sänkning med $0,3$ luftoms/h till $1,2$ luftoms/h för hela byggnaden rimligt.

1.3 Väggkonstruktioner

De studerade konstruktionerna beskrivs i FIG 5.1:1-FIG 5.1:9. De två väggtyperna är helt olika vad beträffar de komponenter som bestämmer väggens täthet mot genomblåsning. Anslutning av stomkompletteringar sker också på olikartat sätt varför redovisningen indelas efter respektive väggtyp.

1.31 Plåtvägg (plåt-isolering-plåt)

Vid studium av "plåt"-väggars täthet mot genomblåsning koncentreras undersökningen naturligt till två skikt: vindskydd och ångspärr. Dessa båda skikt är orienterade i väggens plan.

Vindskyddet i denna konstruktion kan bestå av olika material: vindpapp eller fiberboard och i vissa fall av gipsskiva.

Ångspärren består av plastfolie av polyeten. Skikttjocklek anges i byggnadshandling medan kvalitetskrav sällan ställs.

Vindskydd

Beträffande vindskydd ingår i provningsprogrammet provning av pappklädda mineralullsskivor där två skivor tryckes mot varandra med ökande överlapp av pappskiktet.

Utanför detta projekt har förberedande provningar genomförts med gipsskivor (GYPROC GNU) som vindskydd. Dessa har provats avseende tre olika fogtätningssystem. Fogtätningssystemen baseras på tre olika material: fogmassa av elastiskt material, pappremsa och H-list av plastmaterial. Provningarna visar att det är möjligt att uppnå god täthet också i vindskyddsskiktet.

Angspärr

Detta materialskikt består av plastfolie med en tjocklek av 0,10 - 0,15 mm. En slät genomskinlig kvalitet har provats. Plastfolien levereras i rullar med en bredd av ca 2 m. Materialets luftgenomsläpplighet är mycket låg. Emellertid utgör omlottskarvar eller "överlapp" mellan plastfoliens olika våder en osäkerhet vad beträffar totala skiktets täthet sett över hela väggytan.

Anslutningar mot angränsande konstruktioner och stomkompletteringar påverkar också skiktets täthet. Detaljutformning har varierats och provats i laboratorieskala med en skarv- eller anslutningslängd av ca 1 m. Hänsyn har tagits till de utförandeformer som förekommer i industribyggnader.

Vid förstudier har synpunkter inkommit på vissa foliers åldringsegenskaper. Direkt exponering för solljus under några soliga dagar kan åstadkomma en starkt accelererad åldring hos folien. Dessutom är folien känslig för förhöjda temperaturer t.ex. i vägg bakom radiator.

Beträffande sammanfogning av folievåder med tape har konstaterats att lämpliga materialkombinationer ej finns i marknaden. Osäkerheten är stor beträffande långtidsegenskaperna hos fogen.

1.32 Lättbetongvägg (liggande element)

Lättbetongens täthetsberoende beträffande genomblåsning är till skillnad från plåtväggen orienterat i plan vinkelrätt mot väggplanet. Lättbetongelementet upptar hela vägg tjockleken. Fogar och anslutningar bildas därigenom som springor och spalter. Dessa är genomgående i väggen. Tätning av dessa springor och spalter sker oftast ej utefter väggens hela bredd utan begränsat i anslutning till väggens in- och utsida.

Tätningmetoder för lättbetongväggar är i flera fall gemensamma med de som är aktuella i träbaserat byggande. Fogmassor, fogskum och drevningsmaterial kan användas i stor utsträckning. Speciella förhållanden föreligger vid portar och anslutningar till tyngre stomkompletteringar.

1.4 Forskningsprojektets målsättning

Projektet avser att leda fram till delresultat beträffande bestämning av täthet mot genomblåsning hos plåt- och lättbetongväggar. Inom detta begränsade projekt koncentreras undersökningarna till modellstudier i laboratorium och beräkningsarbete. Vissa begränsade studier utförs i samband med byggande av ett par industribyggnader. Förslag till alternativa konstruktionslösningar med kostnadsbedömning genomföres.

Resultat av provningar kan ligga till grund för bedömningar av väggkonstruktioners täthet. Direkta konstruktionsförslag kan också ges utifrån utförda provningar.

Energibesparande åtgärder är aktuella främst inom bostadssektorn. En viktig fråga är huruvida en investering inom energisparområdet insatt på en industribyggnad ger större besparing än motsvarande investering inom bostadssektorn. Täthetsaspekten måste då tagas med i en sådan bedömning.

2 BERÄKNING AV LUFTLÄCKAGE

2.1 Allmänt

Luftläckage uppkommer då otätheter i form av sprickor, springor, hål eller porositet i material finns i väggens skikt samtidigt som lufttrycket är olika på väggens båda sidor.

Otätheterna ger upphov till en luftström vars storlek beror av otäthetens area, form och differenstrycket över konstruktionsdelen.

Drivkraften för luftläckaget är differenstrycket över konstruktionen. Detta differenstryck kan uppstå av flera orsaker. Vanligast är vindpåverkan och differens-temperatur mellan byggnadens inneluft och uteklimatet.

Otätheterna är beroende av materialval och konstruktionsval. Inom detta projekt kommer två typer av industribyggnadsväggar att behandlas: vägg av plåt-isolering-plåt och lättbetongvägg.

Luftströmning igenom springor, fogar eller överlapp mellan material och igenom luftgenomsläppliga material beräknas i regel utifrån empiriska samband som uppställts efter provning av konstruktioner i laboratorium.

De empiriska sambanden har ofta den allmänna formen

$$Q = v \cdot A = \alpha \cdot \Delta p^\gamma$$

där α och γ hämtas från laboratorieprov.

2.2 Tidigare utförda strömningssstudier i laboratorium

Strömning genom öppningar i en tunn skiva beskrivs ofta med hjälp av sambandet

$$Q = 0,827 \cdot A \cdot \Delta p^{0,5} \quad \text{enligt [1].}$$

Strömning igenom skarvar mellan tunna skivor som skarvas över regel med vissa fästpunkter beskrivs för halvhård skiva spikad till träregel av sambandet

$$Q = \alpha_1 \cdot L \cdot \Delta p^{0,75} \quad \text{där } \alpha_1 \text{ beror av spikavstånd} \\ \text{enligt [2].}$$

Strömning igenom överlappade och klämda skarvar kan för höga differenstryck (ca 500 Pa) beskrivas approximativt av sambandet

$$Q = 2 \cdot 10^{-7} \cdot L \cdot \Delta p \quad \text{enligt [3].}$$

Vid provningar inom detta projekt har konstaterats att större flöden än i formeln ovan beräknade kan förekomma vid differenstryck upp till 150 Pa för överlappade fogar (plastfolie mot plastfolie). Provningsresultat redovisas i kapitel 3.

Strömning genom fönsterspringor har behandlats bland annat i tyska undersökningar och beskrivs i ett fall av sambandet

$$Q = \alpha \cdot S^{0,9} \cdot b^{-1,6} \cdot \Delta p^{0,67} \quad \text{enligt [5]}$$

där S är spaltens tjocklek

b är luftströmningsvägens längd.

Strömning igenom material som har viss luftgenomsläpplighet kan beskrivas enligt nedan hämtat från Darcy's samband

$$Q = \frac{A}{\eta} \cdot \frac{B_0}{d} \cdot \Delta p \quad \text{enligt [4]}$$

där A är betraktad area

η är dynamisk viskositetsfaktor

B_0 är materialets permeabilitet

d är tjocklek

2.3 Inom projektet utförda strömningssstudier

2.3.1 Skarvning av pappklädda isoleringsskivor.

Strömning igenom skarven mellan två pappklädda isolerskivor (RW 231) har undersökts för olika sammanpressningsmått. Genomströmningen i skarven kan approximativt beskrivas genom formeln

$$Q = 2 \cdot 10^{-4} \cdot L \cdot \Delta p^{0,5} \quad \text{för } \Delta p \leq 30 \text{ Pa}$$

Provningsresultat redovisas i kapitel 3.

2.3.2 Omlottskarvad plastfolie mellan plåtskikt och isoleringsskikt.

Beroende på omlottskarvningens bredd och anliggningsytornas antal och bredd räknat på denna kan approximativa formler för luftflöde uppställas. Redovisade formler kan ej användas generellt utan måste relateras till de speciella provningar som redovisas i kapitel 3.

Provningar som genomförts med 200 mm omlottskarvning och två anliggande 50 mm breda flänsar kan schematiskt beskrivas genom formeln

$$Q = 6 \cdot 10^{-6} \cdot L \cdot \Delta p^{0,7} \quad \text{för } \Delta p \leq 150 \text{ Pa}$$

Provningar som genomförts med 200 mm omlottskarvning och en anliggande 50 mm bred fläns kan schematiskt beskrivas genom formeln

$$Q = 1,5 \cdot 10^{-5} \cdot L \cdot \Delta p^{0,6} \quad \text{för } \Delta p \leq 150 \text{ Pa}$$

Provningar som genomförts med 100 mm omlottskarvning och minimal anliggande bredd (ca 25 mm) kan schematiskt beskrivas genom formeln

$$\begin{cases} Q = 2,8 \cdot 10^{-5} \cdot L \cdot \Delta p & \text{för } \Delta p \leq 5 \text{ Pa} \\ Q = (1,4 \cdot 10^{-4} + 2,7 \cdot 10^{-7} \cdot \Delta p) L & \text{för } 5 < \Delta p \leq 150 \text{ Pa} \end{cases}$$

2.3.3 Omlottskarvad plastfolie mellan två isoleringsskikt

Denna konstruktionslösning återfinns i flera förslag till nya plåtväggskonstruktioner. I felfritt utförande bedöms konstruktionen vara bättre än tidigare förslag men vid felaktigt utförande, som veck i eller vinkeländringar av plastfolien, kan konstruktionslösningen medföra större luftläckage än vid konstruktioner enligt 2.3.2.

De provningar som hittills utförts är för få för att ge någon entydig bild av luftflödesförhållandena. Detta beror också på den stora spridningen i resultat.

2.3.4 Plastfolieanslutning vid fönster

En anslutningstyp som undersökts är plastfoliens fastklämning mot en träregel genom att en slätplåt spikas mot träregeln och klämmer plastfolien på ca 50 mm:s bredd. Resultatet av genomförda prov kan schematiskt beskrivas genom formeln

$$\begin{cases} Q = 8,4 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta p \cdot L & \text{för } \Delta p \leq 5 \text{ Pa} \\ Q = (5,5 \cdot 10^{-5} + 3,5 \cdot 10^{-7} \cdot \Delta p) L & \text{för } 5 < \Delta p \leq 200 \text{ Pa} \end{cases}$$

2.3.5 Plastfolieanslutning vid port.

En anslutningstyp som undersökts är plastfoliens fastklämning mot en portkarmprofil genom att isolerskiktet med sitt anliggningsstryck håller plastfolien på plats. Anliggningsbredden som provats i modellen är 50 mm. Resultatet av genomförda prov kan schematiskt beskrivas genom formeln

$$Q = 5,6 \cdot 10^{-6} \Delta p \cdot L \text{ för } \Delta p \leq 100 \text{ Pa}$$

2.3.6 Lättbetongvägg av liggande element.

Väggar av lättbetongelement tätas mellan elementen i horisontalfogar med skumplastremsor och i vertikalfogar med glasullsdrevning. Enligt utförandeanvisningar skall en tätare fogremsa läggas längs elementet på insidan av spontningen medan en mera luftgenomsläpplig kvalitet lägges på utsidan. Båda kvaliteterna har provats men separat. Den lokala genomströmningen bestäms av den inre fogremsans medan den yttre fogremsans täthet kan inverka på vertikalfogens täthet.

Strömning igenom horisontella fogar mellan liggande väggelement av lättbetong har undersökts för olika sammanpressningstryck och typ av fogtätningsskikt. Den horisontella fogens täthet kan approximativt beskrivas genom formeln

$$Q = 4,2 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta p^{0,7} \cdot L \text{ för } \Delta p \leq 150 \text{ Pa}$$

Strömningen igenom vertikala fogar har undersökts för olika fogbredder och olika drevningsmängd och drevningstyper.

Vid glasfiberdrevning utan hölje av polyetenplast var provningsresultatet starkt beroende av mängden drevningsmassa i fogen. En 1,5 cm bred fog som fyllts med $7 \times 15 \text{ cm}^2$ okomprimerad glasull på ca 20 cm djup kan avseende täthet approximativt beskrivas genom formeln

$$Q = 2,3 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta p \cdot L \text{ för } \Delta p \leq 150 \text{ Pa}$$

Väljs en tätfiber, alltså en fogfiber med hölje av polyetenplast, kan en 1,5 cm bred fogs täthet approximativt beskrivas genom formeln

$$Q = 9 \cdot 10^{-8} \cdot \Delta p \cdot L \text{ för } \Delta p \leq 150 \text{ Pa}$$

Fogtätningen är här så effektiv att luftläckage genom lättbetongen och i skarvning av tätfibern blir bestämmande för fogens totaltäthet. Läckage genom lättbetongen förbi en tät fogtätning som är 25 mm djup kan approximativt beskrivas genom formeln

$$Q = 3,7 \cdot 10^{-7} \cdot \Delta p \cdot L \text{ för } \Delta p \leq 150 \text{ Pa}$$

2.4 Beräkningsmodell

Strömningen av luft genom väggen kan nu beskrivas genom att teckna strömningsmotstånden för de olika materialskikten i väggen. För varje materialskikt erhålles en ekvation som principiellt är uppbyggd av följande delar (enligt [6] kap 5.1):

$$\frac{B_0}{d} \frac{A}{\eta} \cdot \Delta p_1 + k_1 \cdot L_1 \cdot \Delta p_1^{\alpha_1} + k_2 \cdot A_1 \cdot \Delta p_1^{\alpha_2} = Q_1$$

där första termen är ett homogent material med tjockleken d , andra termen en fog eller skarv och tredje termen är ett hål eller en koncentrerad läckagepunkt. Δp är tryckskillnaden över materialskiktet och Q är den genomströmmande luftmängden per tidsenhet.

För varje materialskikt i väggen kan luftströmningen beskrivas enligt ekvationen ovan. För väggen totalt gäller då att luftströmningen genom varje luftskikt är lika:

$$Q_A = Q_B = Q_C$$

Strömningsmotstånd vid genomblåsning av en industrivägg av regelkonstruktionstyp kan schematiseras enligt FIG 2.4:1.

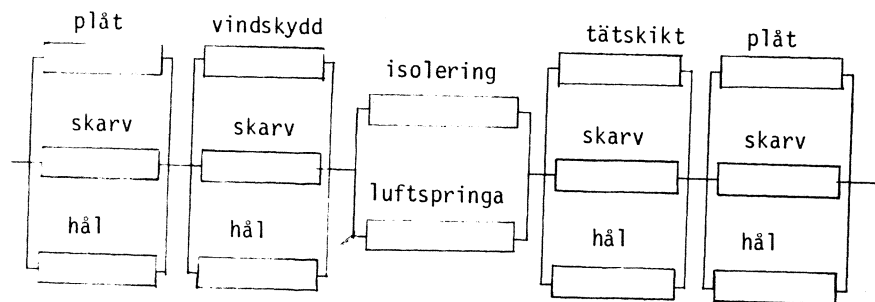


FIG 2.4:1 Modell av strömningsmotstånd vid genomblåsning. Plåtvägg.

Då en industrivägg med normal-standard enligt hittillsvarande utseende studeras är plastfolieskiktets kvalitet avgörande för väggens tätande funktion. Luftgenomsläpplighetsmotståndet för materialskiktet som benämns "ångspärr" är helt dominerande jämfört med övriga materialskiktets motstånd vid studier av redan byggda väggar.

Nya system för vindskydd håller på att utvecklas. Dessa innebär att väggen kan komma att innehålla två relativt lufttäta skikt. I följande exempel tecknas väggens täthet med termer för "ångspärrens" täthet.

En industrivägg av lättbetongblock med fogtätning kan schematiseras beträffande strömningsmotstånd enligt FIG 2.4:2.

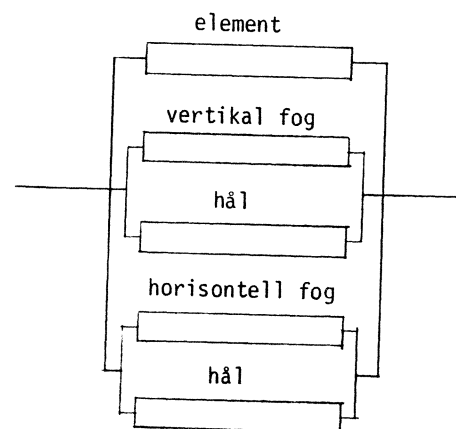


FIG 2.4:2 Modell av strömningsmotstånd vid genomblåsning. Lättbetongvägg.

2.5 Förenklad täthetsberäkning för standardhall. Exempel

2.5.1 Planförutsättningar

Planmått	20 x 60 m ²
Vägghöjd	6 m
Port	3 x 3 m ²
Fönster	1,0 x 60 m ²

Betongsockel och betongplatta förutsättes.

2.5.2 Klimatförutsättningar

Klimatförutsättningar varierar starkt vid jämförelse mellan olika lägen för en industrihall. Skillnaderna beror på geografisk belägenhet, läge i topografin, meteorologiska förhållanden, omkringliggande bebyggelse m.m.

Meteorologiska uppgifter finns för ett antal stationer i landet. I ett exempel är det lämpligt att välja någon av dessa för att enkelt få statistiska data.

I [12] kan data över vindförhållanden erhållas för t.ex. Västerås. Den procentuella frekvensen av olika vindstyrkor återges som kumulativa frekvenser av observerade vindstyrkor. I TABELL 2.1 anges procentuell medelfrekvens, uttryckt i procent, av totala antalet observationer under hela året för Västerås. Mätperioden omfattar åren 1931 - 1960. Motsvarande statistik redovisas också månadsvis.

TABELL 2.1 Vindstyrka. Procentuell medelfrekvens (%) under året. Västerås.

Vindstyrka, m/s	Procentuell medelfrekvens %
~ 0	6
0,3 - 1,5	94
1,6 - 3,3	60
3,4 - 5,4	36
5,5 - 7,9	20
8,0 - 10,7	10
10,8 - 13,8	3,0
13,9 - 17,1	1,0
17,2 - 20,7	0,34
20,8 - 24,4	0,08
24,5 - 28,4	0,02

Data över temperaturförhållanden finns på motsvarande sätt i [12].

Månadsmedelvärden redovisas för Västerås i TABELL 2.2.

Relativa frekvenser av samtliga värden på lufttemperatur och vindhastighet redovisas också i [12]. Uppgifter om vind- och temperaturförhållanden finns alltså för en detaljerad analys. Problem uppstår när uppgifterna för viss mätstation skall överföras till annan plats som kan vara aktuell för en analys.

TABELL 2.2 Medelvärde lufttemperatur, Västerås.

Månad	Medeltemperatur (°C)
Januari	- 4,1
Februari	- 4,1
Mars	- 1,4
April	4,1
Maj	10,1
Juni	14,6
Juli	17,2
Augusti	15,8
September	11,3
Oktober	6,3
November	1,9
December	- 1,0
Aret	5,9 °C

2.5.3 Inverkan av klimat. Temperatur och vind

Temperaturdifferens

Enligt [8] kan differenstrycket av temperaturskillnaden tecknas:

$$P_T = C \cdot P \cdot h \left(\frac{1}{T_U} - \frac{1}{T_i} \right)$$

där C är en konstant
P är absolut lufttryck
h är avstånd till neutrala zonen
 T_i och T_U luftens temperatur inne respektive ute.

Enligt [9] kan differenstrycket för en 6 m hög vägg bestämmas till värden redovisade i DIAGRAM 2.4:1. Medeltemperaturen + 5,9°C ger alltså medeldifferenstryck av ca 2 Pa.

Vindpåverkan

Klimatdata gäller för en mätpunkt som är belägen på relativt hög höjd över markytan. Vinduppgifter måste alltså relateras till byggnadens läge i terrängen.

Differenstryck av vind kan enligt [8] tecknas

$$P_v = C_p \cdot \frac{v^2}{1,6} \quad (\text{Pa})$$

där C_p är tryckkoefficient
v är vindens hastighet.

Vindtrycket relativt vindhastigheten hämtas från [13] och redovisas i DIAGRAM 2.4:2. Osäkerhet råder om storleken på tryckkoefficienten C_p . C_p beror av anblåsningsförhållanden men också av vindstyrkan. Mätning av vindkrafter har utförts och redovisas i [10].

Vindtrycksfördelningen för en byggnad med plant tak har undersökts i vindtunnel och genom mätningar på en provbyggnad.

Byggnaden som studerats är 3 m hög. De redovisade formfaktorerna visar att på sugsidan är formfaktorn negativ med relativt jämn fördelning medan trycksidan uppvisar en övergång från positiv till negativ formfaktor på översta halva metern av vägghöjden. Denna övergång är språngartad. Vindtrycksfördelningen redovisas schematiskt i FIG 2.4:3.

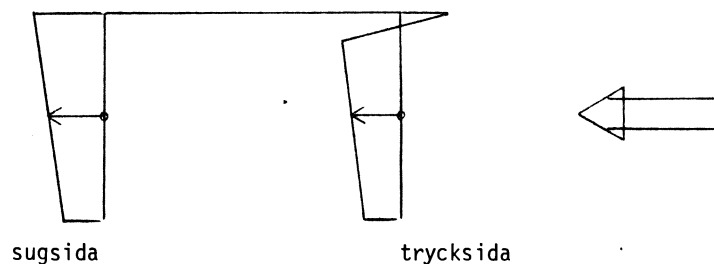


FIG 2.4:3. Vindtrycksfördelning över vägghöjden.

För väggar är formfaktorerna vid tryck 0,7 - 1,0 och vid sug ungefär 1,0 vid normala vindhastigheter. I exempel sättes formfaktorer till 1,0.

TABELL 2.1 ger en medelvindhastighet av ca 4,1 m/s vilket i DIAGRAM 2.4:2 motsvarar vindtrycket 10 Pa.

2.5.4 Plåtvägg. Byggnadsförutsättningar och beräkning

Byggnadskomponenter

Antal meter skarv eller fog mellan material i samma skikt uttryckes i m/m^2 väggyta.

	format	m/m^2
inre väggplåt	1000 x 6000	1,33
plastfolie	2000 x 6000	0,83
isoleringsskivor	600 x 1500	4,66
vindpapp (klistrad på min.ull)		4,66
yttre väggplåt	900 x 6000	1,44
sockelanslutning	157 m	0,164
takanslutning	100 m	0,104
fönsterband	122 m	0,127
portanslutning	30 m	0,031
total väggyta	960 m^2	
portens yta	15 m^2 inkl. 3 dörrar	
fönsteryta	60 m^2	

Beräkningsförutsättningar

Av förutsättningarna beträffande ingående material och skarvningsförhållanden framgår att plastfolien med överlapp och anslutningar mot övriga konstruktioner spelar en avgörande roll för bestämning av genomläckande luftmängder.

Först vid stora differenstryck (100 - 200 Pa) eller snabba tryckförändringar kan luftflödet begränsas i nämnvärd utsträckning genom motstånd i vindskyddsskarvar av papp eller tätningsskikt i plåtändar. Undantaget är det fall då vindtätningsskiktet utgöres av tätt skivmaterial med fogtätningssystem.

Beräkningen nedan tar endast hänsyn till ett standardmässigt utförande. Genomföringar eller håltagningar i väggen medräknas ej. Syftet med beräkningen är att visa om konstruktionsutförande enligt nu vanligen förekommande konstruktionshandlingar är tillräcklig ur täthetssynpunkt.

Klimatförutsättningarna förenklas till medelvärden under året. Tillgänglig statistik ger möjlighet till en omfattande numerisk behandling av klimatdata i kombination med luftflödessamband för skilda konstruktionstyper. En sådan numerisk analys ryms dock ej inom detta projekt. I exempel nedan räknas med differenstrycket 12 Pa.

Situationen beträffande inverkan av ventilationsanläggning och dess användning i byggnaden är svårbedömd. Ett system med frånluftfläktar kan medföra stora undertryck i byggnaden. Även balanserad ventilation medför ofta differenstryck på grund av otillräcklig inreglering. Dessa differenstryck bedöms vara av samma

storleksordning som differenstryck av medelvind och medeltemperatur. I denna beräkning togs ej hänsyn till ventilationssystem.

Beräkning

Beräkning utföres för de olika byggnadsdelarna separat. Byggnadsdelarnas luftläckage kan sedan adderas och kombineras för att ge ett begrepp om olika väggtypers täthet.

Ur energisynpunkt är det intressant att studera luftläckage vid verkliga differenstryck. Beräkningarna nedan är starkt förenklade genom val av medelvärden. En analys baserad på datoranvändning är dock nödvändig för en mera detaljerad analys.

Ur normsynpunkt är det intressant att studera luftläckaget vid 50 Pa differenstryck. Provningsresultaten visar vid detta differenstryck en betydligt större spridning än vid låga differenstryck. Beräkningarna nedan måste alltså ses som grova instrument för att bedöma olika konstruktionslösningars kvalitet gentemot rekommenderade täthetsvärden i SBN 1975.

Luftläckage i medeltal under året

Luftströmning i omlottskarvad plastfolie klämd mellan isoleringsskikt och en plåtfläns (enligt 2.3.2).

$$Q_1 = 1,5 \cdot 10^{-5} \cdot 0,83 \cdot 960 \cdot 12^{0,6} = 191 \text{ m}^3/\text{h}$$

Tillägg för plastfoliens punktering vid regelinfästningar bör göras.

Luftströmning vid fönsteranslutning (enligt 2.3.4)

$$Q_2 = (5,5 \cdot 10^{-5} + 3,5 \cdot 10^{-7} \cdot 12) \cdot 122 = 27 \text{ m}^3/\text{h}$$

Luftströmning vid sockelanslutning, takanslutning och vid portar och dörrar (enligt 2.3.5)

$$Q_3 = 5,6 \cdot 10^{-6} \cdot 287 \cdot 12 = 69 \text{ m}^3/\text{h}$$

Summerat luftläckage $287 \text{ m}^3/\text{h}$ motsvarar luftomsättningen 0,04 luftomsättningar per timma räknat för vindhastighet 4,1 m/s och temperaturen + 5,9°C. Till detta läckage skall adderas läckage i fönster, i portar, vid håltagningar och installationer i ytterväggar.

Lufttäthetskrav enligt SBN 1975

Kontroll av luftströmning vid 50 Pa ger

$$Q_1 = 1,5 \cdot 10^{-5} \cdot 0,83 \cdot 960 \cdot 50^{0,6} = 450 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_2 = (5,5 \cdot 10^{-5} + 3,5 \cdot 10^{-7} \cdot 50) \cdot 122 = 32 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_3 = 5,6 \cdot 10^{-6} \cdot 287 \cdot 50 = 287 \text{ m}^3/\text{h}$$

Total luftströmning genom studerad väggyta är $0,80 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ vilket överstiger godtagan luftläckning enligt SBN 1975 med 100 %.

Vid val av konstruktion som medför att plastfolien har två anliggande flänsar vid omlottskarvning samtidigt som sockelanslutning, takanslutning och anslutning till dörrar och portar ordnas med fastklämning av plastfolie mellan profiler erhålles luftströmningen

$$Q_1 = 6 \cdot 10^{-6} \cdot 0,83 \cdot 960 \cdot 50^{0,7} = 266 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_2 + Q_3 = (5,5 \cdot 10^{-5} + 3,5 \cdot 10^{-7} \cdot 50) \cdot 409 = 107 \text{ m}^3/\text{h}$$

Total luftströmning genom väggen $0,39 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ vilket uppfyller rekommendationer i SBN 1975.

2.5.5 Lättbetongvägg. Byggnadsförutsättningar och beräkning

Byggnadskomponenter

Väggen betraktas som en en-skiktsvägg ur täthetssynpunkt.

Väggelement $0,6 \times 6,0 \text{ m}$ väljes för långsidor medan $0,6 \times 5,0 \text{ m}$ väljes för gavlar.

Antal meter horisontell fog inklusive sockelanslutningsfog är 1405 m.

Antal meter vertikal fog och takanslutningsfog är 330 m.

Antalet fogmeter per väggytenhet är ca $1,8 \text{ m/m}^2$.

Beräkningsförutsättningar

I princip gäller förutsättningar enligt 2.5.4. Lättbetongelementen i sig betraktas som täta. Horisontella fogar förutsättes vara tryckta motsvarande ca 15 kPa räknat på hela väggens bredd. Vertikala fogar antages vara ca 15 mm breda. Klimatförutsättningar antages lika som vid beräkning för plåtväggen i 2.5.4.

Beräkning

I princip utföres beräkningarna enligt 2.5.4. Beträffande horisontella fogars täthet uppvisar provningsresultaten relativt liten spridning. Detta gäller ej för studierna av tätningsmetoder för vertikala fogar. Utförande enligt hittillsvarande praxis uppvisar stor spridning medan metoder under utveckling ger ett mera entydigt besked om fogens täthet.

Luftläckage i medeltal under året

Luftströmning i horisontella fogar

$$Q_1 = 4,2 \cdot 10^{-6} \cdot 12^{0,7} \cdot 1405 = 121 \text{ m}^3/\text{h}$$

Luftströmning i vertikala fogar och takanslutningsfog

$$Q_2 = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 12 \cdot 330 = 71 \text{ m}^3/\text{h}$$

Luftströmning vid port- och fönsteranslutningar vid antagande om flödet $0,013 \text{ m}^3/\text{h}$ vid 12 Pa differenstryck

$$Q_3 = 0,013 \cdot 152 = 2 \text{ m}^3/\text{h}$$

Summerat luftläckage $194 \text{ m}^3/\text{h}$ motsvarar luftomsättningen 0,03 luftomsättningar per timma räknat för vindhastighet $4,1 \text{ m/s}$ och temperaturen $+5,9^\circ\text{C}$. Till detta läckage skall adderas läckage i fönster, i portar, vid håltagningar och installationer i ytterväggar.

Lufttäthetskrav enligt SBN 1975

Kontroll av luftströmning vid 50 Pa ger

$$Q_1 = 4,2 \cdot 10^{-6} \cdot 50^{0,7} \cdot 1405 = 329 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_2 = 2,3 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot 330 = 137 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_3 = 0,05 \cdot 152 = 8 \text{ m}^3/\text{h}$$

Total luftströmning genom studerad väggyta är $0,50 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ vilket överstiger godtaget luftläckage enligt SBN 1975 med ca 24 %.

Vid val av konstruktion som har annat fogtätningsmaterial i vertikala fogar t.ex. drevningsmaterial i plastslang eller fogskum erhålles luftströmningen

$$Q_1 = 4,2 \cdot 10^{-6} \cdot 50^{0,7} \cdot 1405 = 329 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_2 = 3,7 \cdot 10^{-7} \cdot 50 \cdot 330 = 22 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_3 = 0,05 \cdot 152 = 8 \text{ m}^3/\text{h}$$

Total luftströmning genom väggen $0,38 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ vilket uppfyller rekommendationer i SBN 1975.

2.6 Kommentarer till beräkningsresultat

Laboratorieundersökningarna, som ligger till grund för de i detta kapitel presenterade ekvationerna, är naturligtvis anpassade så att väggens egenskaper i stort kan redovisas. En färdig byggnad uppvisar ett flertal väggavsnitt där en speciell täthetsundersökning är av intresse. Sådana väggavsnitt kan innehålla konstruktionslösningar som medför betydande punktläckage.

Av beräkningarna enligt ovan framgår emellertid att de studerade konstruktionerna efter modifiering av vissa anslutnings- och fogutformningar kan betraktas som acceptabla även med hänsyn till rekommendationer i SBN 1975.

I denna teoretiska och laboratoriemässiga bedömning måste läggas värderingar beträffande möjlighet att uppnå konstruktionsutförandet på byggnadsplatsen under där rådande förhållanden. Här måste kontroll och utvärdering under byggnadstid och vid färdigställandet genomföras och redovisas.

Ur energisynpunkt uppvisar de studerade väggkonstruktionerna goda täthetsegenskaper. En jämförelse mellan plåt- och lättbetongväggen visar att utförandevariationer inverkar positivt alternativt negativt i mycket större utsträckning beträffande plåtväggen: dels kan ett större antal meter tätande "fog" påverkas (omlotts skarvning av plastfolie), dels innebär variationerna i utförande större variation i luftflöde. Plåtväggen är alltså mera känslig för störningar under uppförandetiden men väggen kan utföras med en täthet som motsvarar de krav som normalt kommer att ställas på en industrivägg.

De redovisade beräkningarna tar ej hänsyn till förhållanden vid höga differenstryck. Mycket höga differenstryck kan uppkomma vid stark vindbelastning eller öppnande av större portar. Ytterligare grundstudier beträffande lokala vindförhållanden och tryck och flödesförhållande i väggen och väggens närhet är här angelägna. Osäkerheten gäller främst beträffande plåtväggens täthetsegenskaper på grund av att flera skikt medverkar.

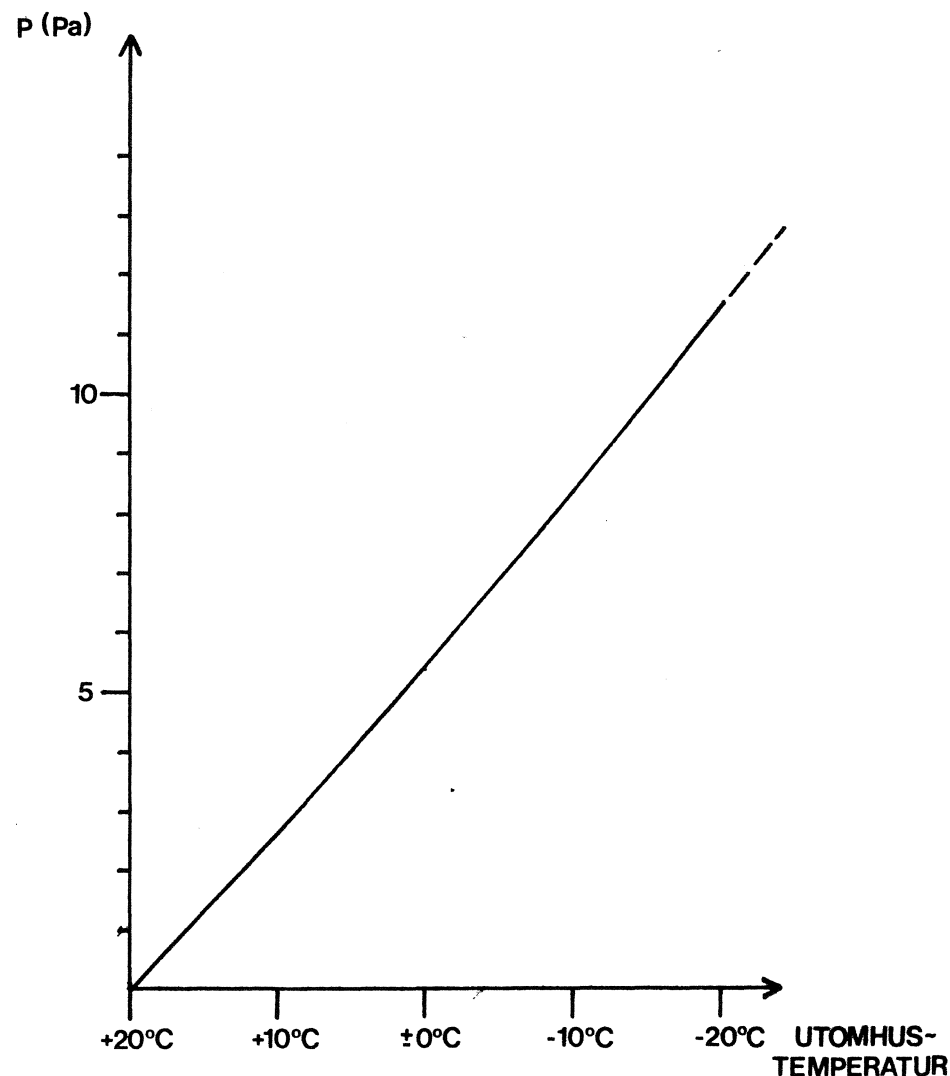


DIAGRAM 2.4:1. Differenstryck på grund av temperaturskillnad för en 6 m hög vägg.

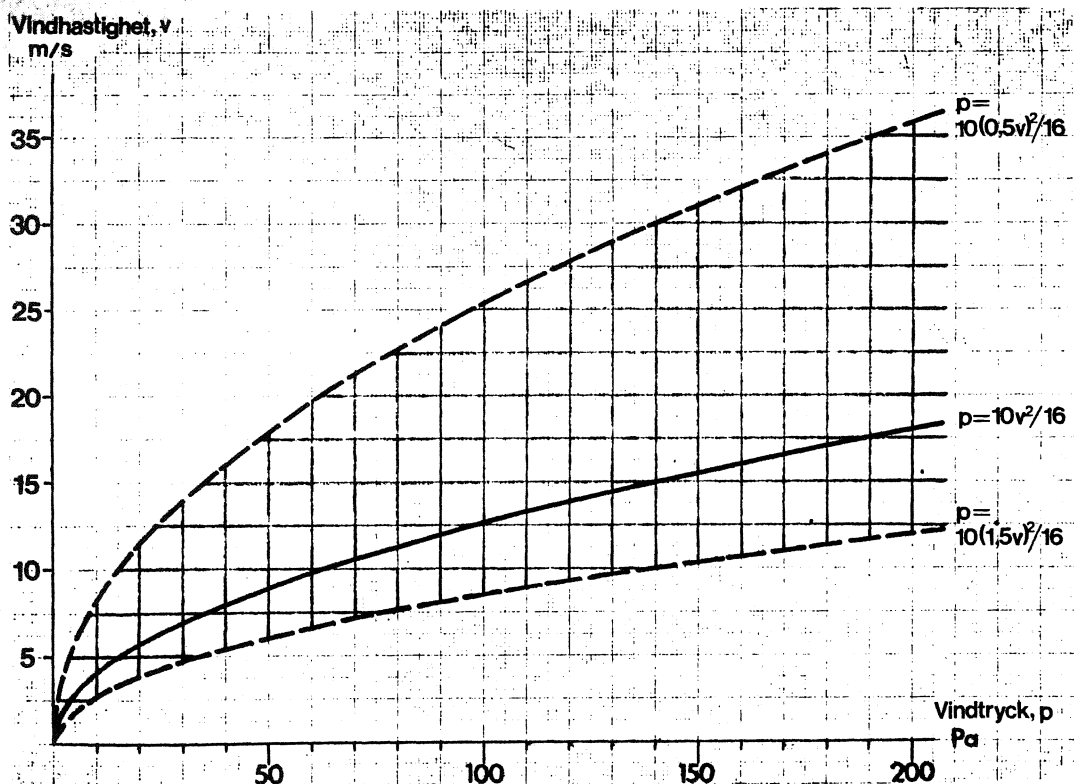


DIAGRAM 2.4:2. Samband mellan vindhastighet och vindtryck på en plan yta vinkelrätt mot vindriktningen. Vindhastigheten är genomsnittshastigheten över en period av 10 minuter. Momentanvärdet avviker ofta med $\pm 50\%$ från medelvärdena. Enligt [13].

3.1 Laboratorium

Provingarna har utförts i laboratorium tillhörande Institutionen för Konstruktionslära, Kungl. Tekniska Högskolan, Stockholm.

Institutionen har ställt personal och utrustning till förfogande. Institutionen har också tidigare genomfört projekt avseende byggnadskonstruktioners lufttätethet. Bland annat finns omfattande erfarenhet av provtryckning och luftflödesmätningar både i laboratorieskala och från fältundersökningar. Provningsutrustning för luftflödesmätningar inom olika mätområden finns tillgänglig.

3.2 Provningsprogram

3.2.1 Befintliga konstruktionstyper

Ett antal av de vanligast förekommande konstruktionerna har valts ut för studium.

Hos plåtväggarna har undersökningarna koncentrerats till plastfoliens omlottskarvning och anslutningar. Befintliga konstruktioner har plastfolien klämd mellan ett isoleringsskikt och ett skikt av profilerad tunnplåt. Inverkan av omlottskarvningens överlappslängd, dess sträckning, dess läge i förhållande till plåtflänsar och vinkeländrade plastfolievåder har undersökts. Anslutningar med fri anliggning av plastfolie mot stålprofil och klämd plastfolie mellan tunnplåt och träregel redovisas. Studerade anslutningstyper redovisas i FIG 3.2:1 och FIG 3.2:2.

Pappklädda mineralullsskivor har provats avseende täthet i skarv mellan två skivor. Se FIG 3.2:3. Provingen bör ses som en referens för att belysa vilka väggsnitt som har den lufttätande funktionen i befintliga konstruktioner.

Lättbetongväggar har undersökts avseende läckage i horisontella och vertikala fogar. Hänsyn har tagits till sammanpressningskraft och tillhörande rörelser mellan elementen. Två typer av tätningslistor har studerats. Se FIG 3.2:4. Dessa används för närvarande i industriväggar med liggande väggelement. Dessutom har en tät list använts för att undersöka luftströmningen igenom lättbetongmaterialet lokalt runt tätlisten.

3.2.2 Nya konstruktioner

Plåtväggar

Genom studium av klämda anslutningar där plastfolien låses mellan plana skikt av trä eller stål har en överblick erhållits över tätheten hos kommande detaljlösningar.

Omlottskarvningens betydelse har studerats när plastfolien läggs mellan två mineralullsskikt. Vinkeländrad våd utfördes enl. FIG 3.2:5.

I ett parallellt projekt har möjligheterna att utforma ett tätt vindskyddsskikt undersökts. Gipsskivor med olika fogtätningsystem (GYPROC) har undersökts avseende lufttätande egenskaper.

Lättbetongväggar

Inverkan av "tät" foglist har undersökts. Nuvarande konstruktioner har granskats avseende läckagevägar och nytt läge och material för tätning av vertikalfogar föreslås.

3.3 Provningsutrustning

3.3.1 Provlåda och provningsanordning

Provlådan har mått som anpassats till de olika delementens storlekar. Innermått: 1120 x 900 mm². Djup: 128 mm. Innerarea: 1,052 m². Provlådan är uppbyggd av spånskivor med träkarm. Eftersom spånskivan icke har tillfredsställande täthet har innerytan lackerats så att en rimlig täthet erhållits. Provlådan provades avseende täthet successivt för att kontrollera och redovisa dess inverkan på provningsresultaten. Provlådans täthetsvärde kontra differenstryck redovisas i DIAGRAM 3.3:1.

Två provlådor har tillverkats: en för plåtväggsprov och en för provning av lättbetongvägg. Se FIG 3.3:1 och FIG 3.3:7.

Provlåda för plåtväggsprov har utformats så att anliggning mot provad konstruktion utgörs av en naturgummilist 25 x 25 mm².

För att underlätta provning av plåtväggskonstruktioner har plåtprofilernas flänsar simulerats med motsvarande lister utförda i plywood. Dessa lister har lagts i provlådan. Utbudet av profilerade plåttyper är stort. Inom projektet har efter förberedande försök framkommit att en minimering av den mot plastfolien anliggande plåtytan bör undersökas för att få ett mått på läckage igenom plastfoliens omlottskarv. I nedanstående tabell redovisas några vanliga plåttyper. (TABELL 3.3:1.)

I FIG 3.3:1 t.o.m. FIG 3.3:6 visas provningsutrustningen.

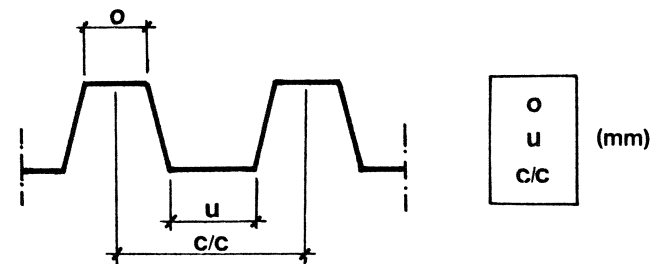
Provlåda för lättbetongprov visas i FIG 3.3:7 och FIG 3.3:8. Provlådan har pressats mot de lättbetongelement som provats. Även denna låda har provats successivt för att kontrollera läckage genom lådans konstruktion.

Anordning för ihoptryckning av lättbetongelement redovisas i FIG 3.3:9 t.o.m. FIG 3.3:11.

Registrering av tryck och flöden utfördes enligt principer visade i FIG 3.3:6.

Profilhöjd mm	20	35	40	45	
Produkttyp					
DOMNARVET	25	100		60	0 mm
	50	30		30	u mm
	100	150		150	c/c mm
GRANGES ALUMINIUM	23		30		0 mm
	23		30		u mm
	75		100		c/c mm
PLANNJA	35	104		60	0 mm
	35	30		30	u mm
	100	150		150	c/c mm

TABELL 3.3:1. Inre plåtbeklädnad. Några vanliga profiltyper.



Tät fogremsa och fogmassa anskaffades för att kunna bestämma Tuftflöde i Tättbetongen lokalt omkring fogremsa. Se FIG 3.3:12. Ett speciellt prov genomfördes där enbart detta lokala luftflöde undersöktes. Se FIG 3.3:13.

3.3.2 Mätutrustning

Mätning av differenstryck

Differenstrycket uppmättes genom anslutning av plaströr mellan provlåda och manometer typ Veab. Mät noggrannheten är $\pm 0,5$ Pa inom mätområdet 0 - 200 Pa.

Manometern anbringades med konstant lutning varför mätområdet under försöken begränsades till maximivärdet 200 Pa.

Mätning av luftflöde

Erforderliga luftmängder hämtades från tryckluftsystemet i laboratorielokalerna. Lufttrycket reducerades i en reduceringsventil av typ A Schrader's son No T 3564. Luftflödet registrerades i flödesmätare av typ Fischer & Porter med precisionsmättrör för olika mätområden.

Flödesmätarna har kalibrerats vid Statens Provningsanstalt i Stockholm. Kompensation för mottryck i provningsanordningen har gjorts vid resultatutvärderingen.

Mätning av sammanpressningskraft vid provning av lättbetong-element

Kraften som åtgick för att pressa tillsammans elementen registrerades med hjälp av en lastcell som åstadkommer en elektrisk signal. Denna signal omvandlas i en elektronisk enhet som är sammankopplad med en skrivarenhet. Skrivaren registrerar kraften kontinuerligt i tiden under provningens gång.

I ett för-försök bestämdes den friktionskraft som åtgick för att förflytta elementen på de utlagda träsyllarna. Denna kraft subtraherades från totala kraften vid bestämning av ihoptryckningskraften.

Mätning av rörelser vid provning av lättbetongelement

Lättbetongelementens individuella rörelser i två punkter per element registrerades med hjälp av mätlockor. Mätlockornas placering framgår av FIG 3.3:10 och FIG 3.3:11.

Vid uppförande av väggar med liggande väggelement uppnås betydande sammanpressningskrafter. Egenvikten är $1,65 \text{ kN/m}^2$ väggtyta vid väggstjockleken 0,25 m. Sammanpressningstrycket ökar alltså med 6,6 kPa per meter vägg höjd.

3.4 Plåtvägg. Provningsgenomförande och resultat

3.4.1 Skarvning av pappklädda isoleringsskivor

FIG 3.2:3 redovisar uppläggning av skivor av typ RW 231. De två skivorna placerades i provlådan enligt FIG 3.3:5. En trapetsprofilerad plåt lades mot pappskiktets ovansida.

Differenstrycket över konstruktionen lades på successivt tills att luftflödesmätarens mätområde begränsade vidare studium (ca $3 \text{ m}^3/\text{h}$).

Provningsgenomförandet för olika sammanpressningsskivor varvid pappskiktet överlappade varandra i motsvarande grad.

Resultat redovisas i FIG 3.4:1. Stora luftmängder passerar skarven redan vid låga differenstryck. Sammanpressningsgraden eller pappskiktets omlottskarvning inverkar endast i liten utsträckning.

3.4.2 Omlottskarvad plastfolie mellan plåtskikt och isoleringsskikt

Vid provning användes plywoodstrimlor för att simulera de plåtflänsar som provlådan anbringades mot. 30 mm breda strimlor med c/c-avstånd 150 mm anbringades i provningsanordningen.

Isoleringsmaterial utgjordes av 100 mm glasfiberskivor kvalitet 3024 (Gullfiber). Se FIG 3.3:3.

Plastfolien var av byggkvalitet 0,1 mm. Plastfolien applicerades dels med normal ansträckning och dels sträckt. Prov med sträckt plastfolie anges.

Anliggningsstrycket på plastfolien vid obelastat prov utgjordes av isolerskivornas egenvikt (ca 23 N/m^2).

En provserie om 20 prov genomfördes med omlottskarvningsbredd 200 mm respektive 100 mm. De anliggande plåtflänsarnas läge har varierats.

Prov 1 - 5 genomfördes med 200 mm omlottskarvning över två plåtflänsar. Prov 5 genomfördes med sträckt plastfolie. Resultat redovisas i FIG 3.4:2 - 3.4:7. FIG 3.4:7 är en sammanställning av prov 1 - 5. Resultatet visar en stor spridning. Detta beror till viss del på plastfoliens ansträckning men också på lokala fenomen såsom plastfolievådernas anliggnings- och varierande sammanpressningstryck. Vid högre differenstryck begränsas läckageökningen (jfr [3]). En sträckt folie medför små luftflöden vid låga differenstryck (< ca 50 Pa) medan luftflödet ökar språngartat vid övergång till högre differenstryck. Plastfolievåderna har också en tendens att påverkas vid differenstryckets uppbyggnad så att läckaget är större när sedan differenstrycket minskar igen. Detta beror på lokala sträckningskrafter i plastfolievåderna. De lokala sträckningskrafternas variation minskar med ökat sammanpressningstryck. I denna provserie har dock ej sammanpressningstrycket varierats.

Prov 6 - 10 genomfördes med 200 mm omlottskarvning. Plåtflänsarna placerades så att plastfolievåden mot "läsidan" avslutades mitt över en fläns. Prov 10 genomfördes med vinkeländrad plastfolie. Resultat redovisas i FIG 3.4:8 - 3.4:13. FIG 3.4:13 är en sammanställning av prov 6 - 10. Prov 7 genomfördes när plastfolievåderna fått ligga an omlottskarvade ca 15h. Detta innebar att adhesionskrafter höll samman plastfolievåderna under provningen. FIG 3.4:13 visar att luftläckaget för prov 6 - 10 är mindre jämfört med prov 1 - 5 vid låga differenstryck (0 - 40 Pa).

Prov 11 - 12 genomfördes med 200 mm omlottskarvning. Plåtflänsarna placerades så att plastfolievåden mot "trycksidan" avslutades mitt över en fläns. Resultat redovisas i FIG 3.4:14 - 3.4:16. FIG 3.4:16 är en sammanställning av prov 11 och 12. Resultat ansluter väl till resultat i prov 6 - 10.

Prov 13 - 17 genomfördes med 200 mm omlottskarvning. Plåtflänsarna placerades så att omlottlagda bredden endast hölls på plats av en plåtfläns. Prov 13 - 14 genomfördes med kortare fri plastfolievåd på trycksidan jämfört med prov 15 - 17. Sammanställningsfigurerna FIG 3.4:19 och FIG 3.4:23 visar att denna skillnad inverkar.

Prov 18 - 19 genomfördes med 100 mm omlottskarvning mitt över en plåtfläns. Resultat redovisas i FIG 3.4:24 - 3.4:26.

Prov 20 - 21 genomfördes med 100 mm omlottskarvning. Plåtflänsen placērades så att plastfolievåden mot "trycksidan" avslutades mitt över flänsen. Resultat redovisas i FIG 3.4:27 - 3.4:29. Ett jämförelsevis högre luftflöde erhöles redan vid mycket låga tryck.

Den genomförda provseriens resultat uppvisar en betydande spridning vad avser luftflöde vid omlottskarvning. Spridningen är dock begränsad vid differenstryck mindre än ca 50 Pa. Provningsresultatens spridning bör ses relativt resultat erhållna vid provning av övriga konstruktionstyper.

Resultaten visar att omlottskarvningsbredden i sig har mindre betydelse jämfört med antalet flänsar som ger upphov till anliggning och deras läge relativt omlottskarvningsbredden. En plåt med mindre centrumavstånd mellan profilflänsar medför alltså att en mindre omlottskarvningsbredd kan väljas.

Vid höga differenstryck (100 - 150 Pa) är omlottskarvens täthet svårbedömd. Differenstrycket inverkar då på plastfolievådernas lokala läge. Detta kan medföra att plastfolien lokalt utsättes för sträckningskrafter och därmed öppnas skarven lokalt vilket medger starkt ökade luftflöden genom omlottskarven.

3.4.3 Omlottskarvad plastfolie mellan två isoleringsskikt

Provningarna genomfördes på samma sätt som tidigare redovisade provningar. Genom provningsutrustningens utformning kunde plåtflänsarna sänkas ner i provlådan och ett isolerskikt på 20 mm läggas mot plåtflänsarna. Plastfolien lades med omlottskarvning mellan detta isolerskikt och ett ytterligare isoleringsskikt med tjockleken 100 mm. Isoleringsmaterialet utgjordes av glasfiberskivor kvalitet 3024 (Gullfiber). Se FIG 3.3:4. Anliggningstrycket på plastfolien vid obelastat prov motsvarade egenvikten av 100 mm isolerskiva (ca 23 N/m^2).

Två prov genomfördes med 200 mm omlottskarvning. Resultat redovisas i FIG 3.4:30. Ett av proven genomfördes med vinkeländring av en plastfolievåd enligt FIG 3.2:5.

Ytterligare två prov genomfördes på samma sätt men med 100 mm omlottskarvning. Resultat redovisas i FIG 3.4:31.

Provningsresultaten pekar mot en ökad betydelse för omlottskarvningens bredd. Ett noggrant montage utan felaktigheter i utförandet visar att denna konstruktionstyp är tätare än tidigare undersökta konstruktionsutformningar. Till konstruktions- typens nackdel måste dess känslighet för felaktigt utförande framhållas.

En kompletterande provning utfördes där isoleringsskikten sammanpressades 15 mm för att stucera inverkan av presstryck på en vinkeländrad plastfolievåd (enligt tidigare prov). Resultatet blev ett luftflöde av samma storleksordning som de redovisade i FIG 3.4:30 och FIG 3.4:31.

3.4.4 Plastfolieanslutning mot träregel klämd med spikad slätplåt.

Anslutning av plastfolie mot fönster och vissa andra stomkompletteringar sker genom att plastfolien klämmas mot en regel med hjälp av en plåtprofil.

Provningarna genomfördes med en 50 mm bred träregel där plastfolien lades omlott på hela bredden. Slätplåten utgjorde sedan det täta skiktet i övriga delen av provningsanordningen. Slätplåten spikades i träregeln med pappspik. Tre prov genomfördes med spikavstånd c 100 vilkas resultat redovisas i FIG 3.4:32 - 3.4:35 varav sista figuren är en sammanställningsfigur. Två prov genomfördes med spikavstånd c 200 vilkas resultat redovisas i FIG 3.4:36 - 3.4:38.

Resultaten ansluter väl till tidigare utförda provningar som dock genomförts för betydligt högre differenstryck. Betecknande är dock att för denna "tätgjorda" skarvningsmetod uppträder svårdefinierade egenskaper redan vid små differenstryck. Luftflödena hålles dock på en låg nivå under hela differenstryckupbyggnaden.

3.4.5 Plastfolieanslutning mot plåt klämd av lätt isolering.

Anslutning av plastfolie mot portkarm eller andra grova profiler sker ofta genom att plastfolien endast lägges an mot profilytan och pressas på plats av en lätt antryckning från isolerskiktet.

Två provningar genomfördes med 50 mm anliggningsbredd hos plastfolien. Som profil användes ett plattstål 100 x 10 vilken tätades av med en plastfolie tejpad till profilen. Resultat redovisas i FIG 3.4:39 och FIG 3.4:40. Provningsresultatet antyder att denna anslutningsform bör förbättras. Jämfört med provningsresultat från prov med klämda plastfolieanslutningar kan ett betydande luftflöde konstateras redan vid låga differenstryck. Detta flöde ökar linjärt inom differenstryckintervallet 0 till 100 Pa.

3.4.6 Fogtätningssystem vid montage av gipsskivor för vindskyddande beklädnad

Inledande provning med pappklädda isolerskivor visar att detta materialskikt är otillräckligt för att uppnå rimlig lufttätethet i väggen om inte ytterligare lufttäta skikt anordnas i väggkonstruktionen.

För att undersöka huruvida gipsskivor med lämpligt fogtätningssystem är möjligt att använda som lufttätt skikt har genom AB GYPROC:s försorg förberedande undersökningar genomförts. Resultaten redovisas i "GYPROC VINDSKYDD 78-06-30".

Provningarna visar att byggsystem som framtagna och provats av GYPROC:s montageavdelningar med relativt enkla insatser kan förbättras avseende lufttätetheten i väggkonstruktionen. Några resultat redovisas i FIG 3.4:41.

3.5 Lättbetongvägg. Provningsgenomförande och resultat

3.5.1 Horisontella fogar mellan liggande lättbetongelement

För att klargöra luftflödet genom lättbetongelementens horisontella fogar krävdes, på grund av provningsanordningen, en serie förprovningar och beräkningar. Detta för att separera luftflödet i provningsanordningens gränser från det luftflöde som går genom konstruktionen. Det speciella provningsutförandet visas i FIG 3.3:12 och FIG 3.3:13. I förprovningarna registrerades luftflödet genom provlåda (q_p) och i provlådans anliggningsyta (q_{pR}) mot lättbetongelementen. Se FIG 3.5:1. Figuren visar läckaget förbi den 25 mm breda naturgummilisten som med god anliggning tätar utefter en sträcka på 3,8 m. Andelen läckage genom provlådan är liten. Även luftflödet igenom provningsanordningens plan i väggens djupled registrerades. Se FIG 3.5:2. Luftflödet förbi en tät foglist (q_{gR}) och förbi en tätningsmassa (q_{TMR}) registrerades. Här registrerades ett luftflöde som går i två anliggningsytor, alltså på båda sidor om list respektive tätningsmassa. Dessa resultat möjliggjorde vidare undersökningar med visad provningsanordning.

Provningsarna genomfördes med två uppsättningar element: ELEMENT 1-2-3 respektive ELEMENT 4-5-6. Triangulära foglister för tätning av liggfogar provades i tre fall och rektangulär foglist i ett fall. Provningsanordningen redovisas i FIG 3.3:7 - 3.3:11. Sammanpressningstrycket mellan elementen varierades. Trycket anges på resultatfigurer. Fullständig anliggning mellan elementen förutsattes vid det högsta provade sammanpressningstrycket (35 kPa). Utifrån detta läge hos elementen kunde rörelserna i elementfogarna avläsas. I TABELL 3.5:1 redovisas medelvärden på fogbredd relativt det sammanpressade elementets fogbredd.

Resultat från luftflödesmätningarna redovisas i FIG 3.5:3 - FIG 3.5:6. Sammanpressningstrycket 35 kPa motsvarar ungefär vägghöjden 6 m.

Provningsarna visar att sammanpressning av elementen klart inverkar på luftflödet igenom fogarna. Redan vid ett tryck som motsvarar vägghöjden 2 m har i stort sett "sluttätheten" uppnåtts. Den rektangulära foglisten uppvisar en större luftgenomsläpplighet på grund av sin högre porositet.

Fogtätningssystemet innebär att luftflöden kan uppkomma mellan foglisterna med strömningsriktning parallellt med dessa. Detta kan inverka negativt på lufttätheten hos väggen men positivt om väggen är utsatt för fuktbelastning som skall ventileras bort.

	TRYCK	ELEMENTFOG (mm)	
	kPa	EL1 - EL2	EL2 - EL3
L1	0	+ 1,03	+ 2,38
	15	- 0,38	+ 0,29
	25	0	0
L2	0	+ 0,27	+ 1,35
	15	+ 0,09	+ 0,05
	25	+ 0,05	- 0,01
	35	0	0
L3	0	+ 2,18	+ 2,76
	15	+ 0,03	+ 0,69
	25	+ 0,03	+ 0,40
	35	0	0
L4	0		
	15	+ 0,16	- 0,32
	25	+ 0,07	- 0,04
	35	0	0

TABELL 3.5:1 Fogbredd

3.5.2 Vertikala fogar mellan liggande väggelement och anslutning mot tak

För studium av befintliga lättbetongbyggnaders täthet genomfördes prov med fiberremсор av glasull. Denna fibertyp är relativt öppen.

Vid montage av lättbetongväggar kan fogbredden mellan elementens ändar variera från infästningsbultens diameter 12 mm till 20 ä 25 mm. Fogbredderna 10, 15 och 20 mm har studerats för olika antal drevningsomgångar med "öppen" fiberremsa. Resultat redovisas i FIG 3.5:7 och FIG 3.5:8. FIG 3.5:7 visar detaljerat luftflödet med antal drevningsomgångar och fogbredd angivet. FIG 3.5:8 utgöres av samma kurvor i skala för direkt jämförelse med övriga prov. Här redovisas också luftflödet förbi en tätfiber (se nedan).

Provningsarna visar att denna konstruktionslösning bör ersättas och att betydligt tätare foglist eller drevning anbringas.

För studium av nya konstruktionslösningar genomfördes prov med tätfiber. Tätfiber är en glasullsremsa som ligger i en "slang" av polyeten. Nuvarande användningsområde är syllisolering och som fogtätning mellan väggelement. Teoretiskt skall en fogtäthet som

motsvarar FIG 3.5:9 kunna uppnås med hänsyn till luftflöde genom lättbetongen. Fogremsan måste emellertid "punkteras" vid elementens infästning till pelare. Resultat för opunkterad remsa redovisas också i FIG 3.5:9. Tätfibern kan också användas vid anslutning till tak.

Ett ytterligare tätande skikt erhålles vid ytputsning av elementen. Härvid intränger bruk i fogarna. Inverkan av detta skikt bör studeras för olika brukstyper.

Skillnaden mellan en inklädd fiberremsa och en fiberremsa utan hölje är markant. Detta område har studerats för bostadsbyggnadssektorn och bland annat redovisats i [14].

Provningarna visar att de vertikala fogarna kan medge mycket stora luftflöden vid drevning med låg komprimering av fiberrem-sorna. Även omsorgsfull drevning med fiberremсор innebär betydande luftflöden jämfört med en fog tätad med tätfiber eller fogskum.

3.5.3 Anslutningar mot fönster och portar

Anslutningarna drevas och tätas mot in- och utsida med elastisk fogmassa. Luftläckaget kan därmed sägas motsvara läckaget genom lättbetongen som för omålad yta redovisas i FIG 3.5:9.

3.6 Resultatsammanfattning

Plåtvägg

Plastfoliens omlottskarvningsbredd bör väljas så att anliggning sker längs minst två av inre plåtens flänsar.

Anliggningstryck måste säkerställas genom val av rätt tjocklek på isoleringsskikt contra avstånd mellan inre och yttre plåtskikt.

Plastfoliens anslutning mot angränsande tätskikt bör ske genom klämning eller permanent tejping.

Regel mot sockel av betong bör ha tätning av tätfiber (mineralull innesluten i plastfolie).

Tejping av plastfoliens omlottskarvar kan ej rekommenderas utom i speciella fall där mycket höga krav på täthet finns. Däremot kan tejp vara ett bra montagehjälpmedel för att hålla plastfolievåderna på plats under montageskedet.

Plastfolie monterad mellan två isoleringsskikt medför att ett mycket tätt skikt erhålles vid omsorgsfullt utförande.

Genombrytningar av plastfolie vid regel- och plåtinfastningar skall tättejpas.

Lättbetongvägg

Horisontella fogens lufttäthet är tillfredsställande.

Vertikala fogen bör drevas med tätfiber. Tätfiberns dimensioner bör utprovas med hänsyn till montage vid infästningsskruvar. Alternativt kan fogskum kompletterat med drevning användas.

Anslutningsfogen mot tak bör ha samma tätningsmetod som den vertikala fogen.

I FIG 3.6:1 redovisas några karaktäristiska luftflöden för olika fog- och skarvlösningar. Redovisningen omfattar enbart låga differenstryck: 0 - 30 Pa.

Kurva 1 visar luftflöde genom skarv mellan två pappklädda isoleringsskivor (enligt 3.4.1).

Kurva 2 visar luftflöde genom en 15 mm bred fog som tätas med 1 omgång fiberremsa (30 x 50 mm). Alternativt visar kurva 2 luftflöde genom skarv mellan två gipsskivor (GNU).

Kurva 3 visar luftflöde vid omlottskarvning av plastfolie (200 mm) med anliggning mot en plåtfläns (enligt 3.4.2 prov 15-17). Alternativt visar kurva 3 luftflöde genom en 15 mm bred fog som tätats med 4 omgångar fiberremsa.

Kurva 4 visar luftflöde genom en 15 mm bred fog som tätats med 7 omgångar fiberremsa.

Kurva 4 och kurva 5 anger det område som karakteriserar luftflöde vid omlottskarvning av plastfolie (200 mm) med anliggning mot två plåtflänsar.

Kurva 5 visar luftflöde genom horisontell fog mellan två lättbetongelement.

Kurva 6 visar luftflöde genom skarv mellan två gipsskivor som tätats med värmetejpad skarvremsa.

Kurva 7 visar luftflöde "genom" tätfiber. Alternativt visar kurva 7 luftflöde genom omlottskarvad plastfolie mellan två isoleringsskikt vid felfritt utförande.

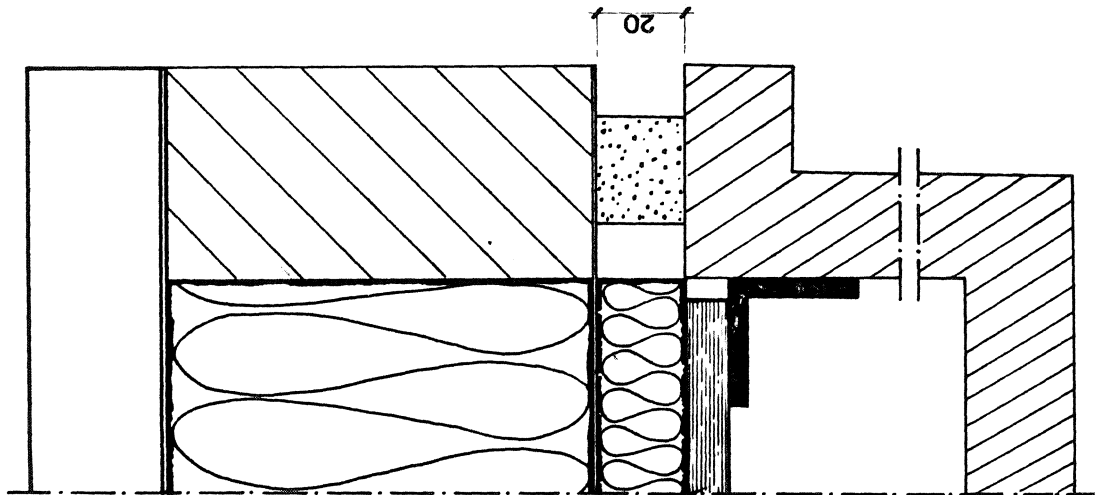


FIG 3.3:4. Provningsanordning vid prov av omlottskarvad plastfolie mellan två isolerskikt.

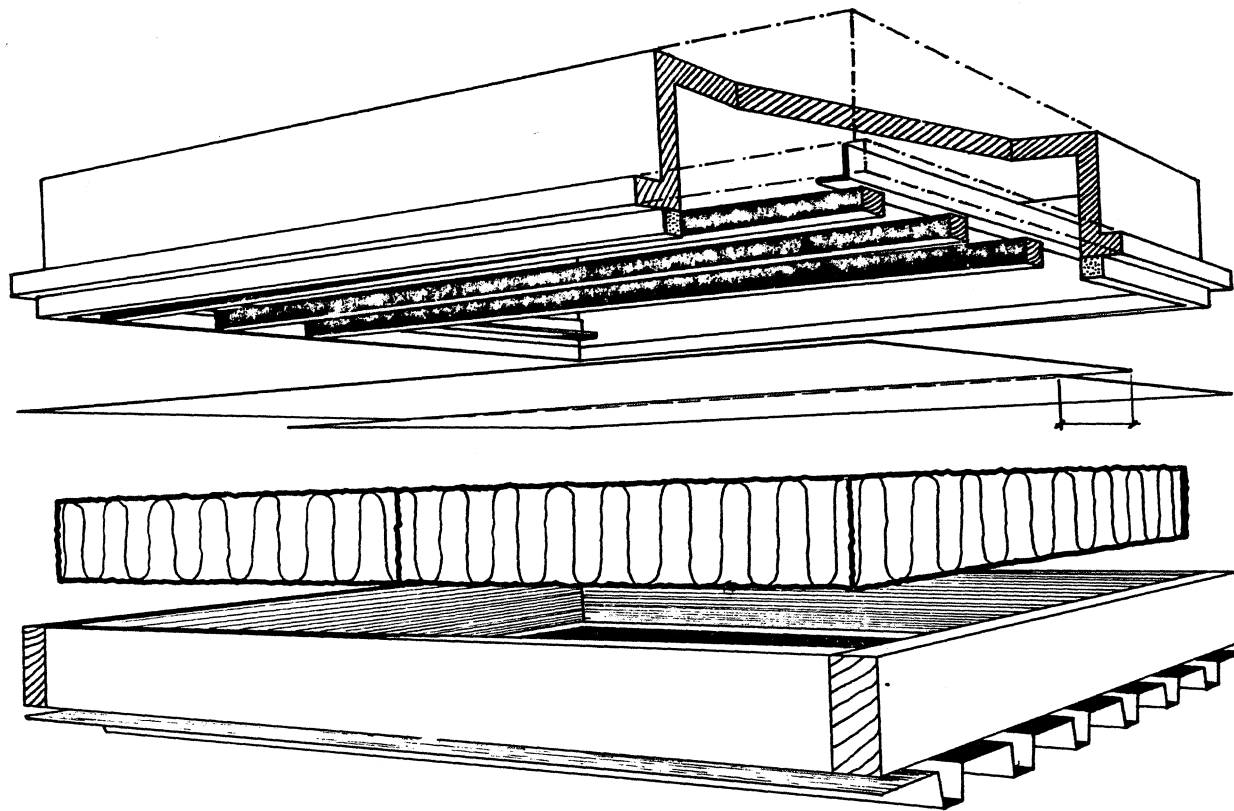


FIG 3.3:5. Provningsanordning vid undersökning av omlottskarvad plastfolie mellan isolerskikt och plåttänsar.

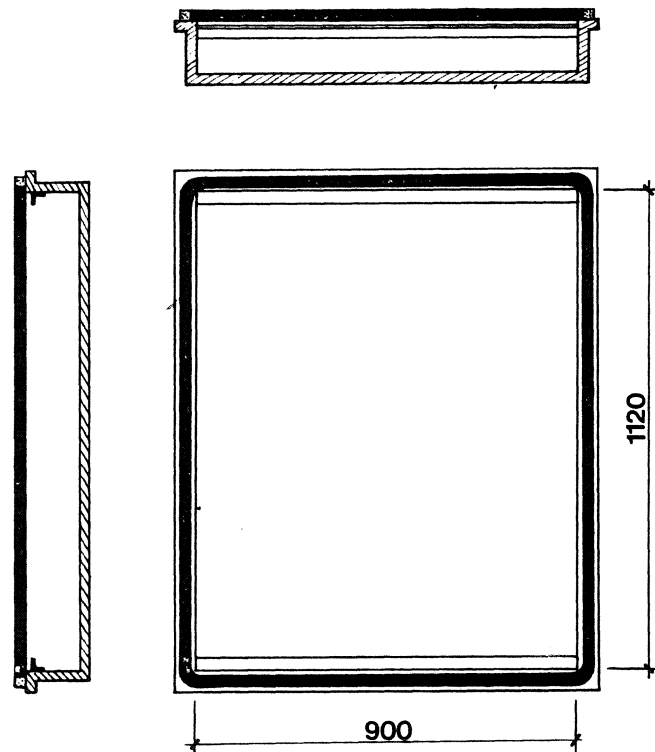


FIG 3.3:1 Provlåda för undersökning av plåtvägg.

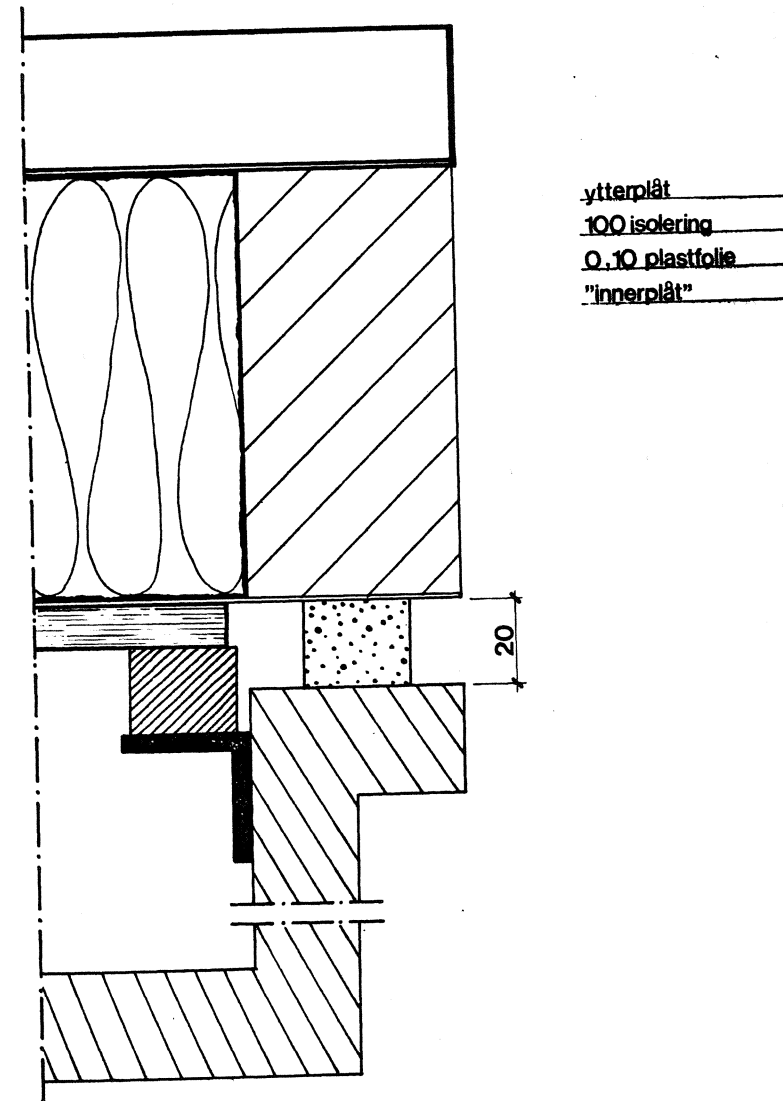
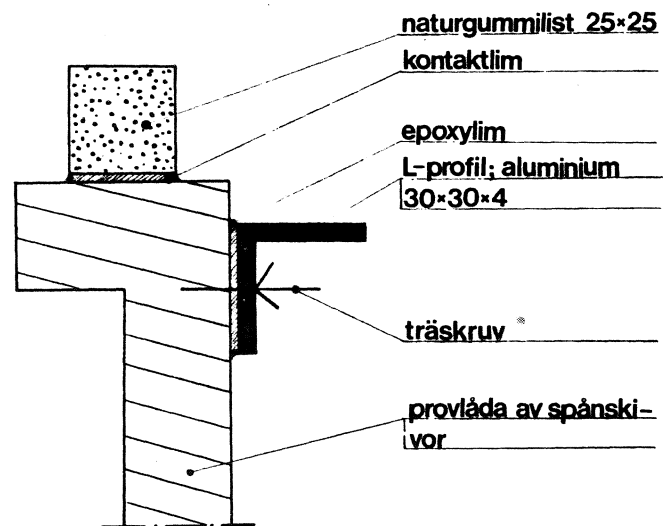


FIG 3.3:3. Provningsanordning vid prov av omlottskarvad plastfolie mellan plåtflänsar och isolerskikt.

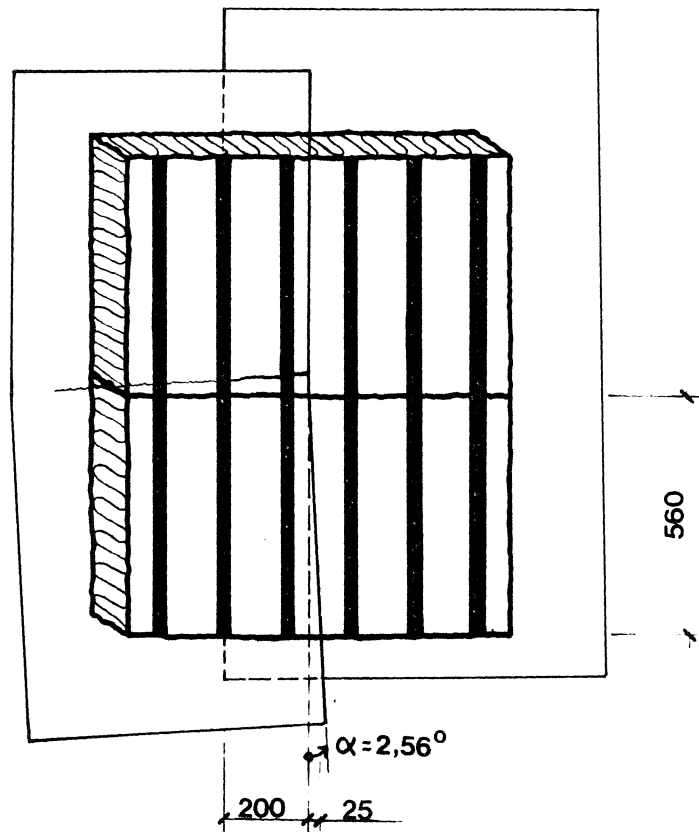


FIG 3.2:5. Vinkeländrad plastfolievåd anordnad i Prov 10, Prov 31 och Prov 32.

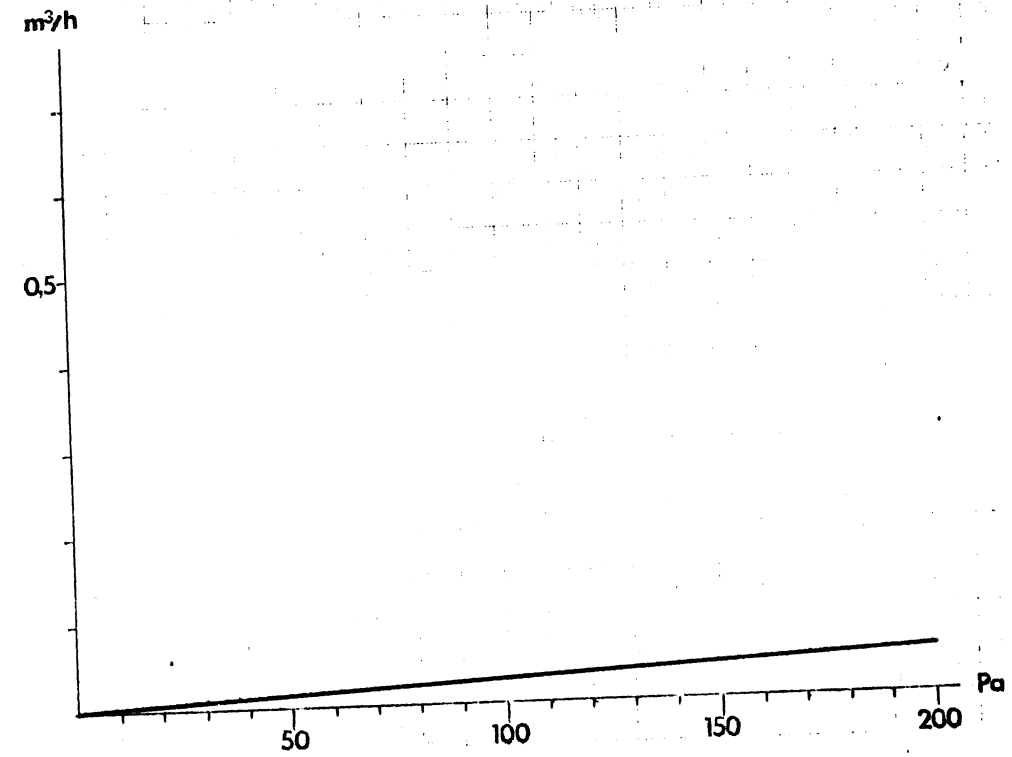


DIAGRAM 3.3:1. Läckage igenom provlådans väggar och tätlist.

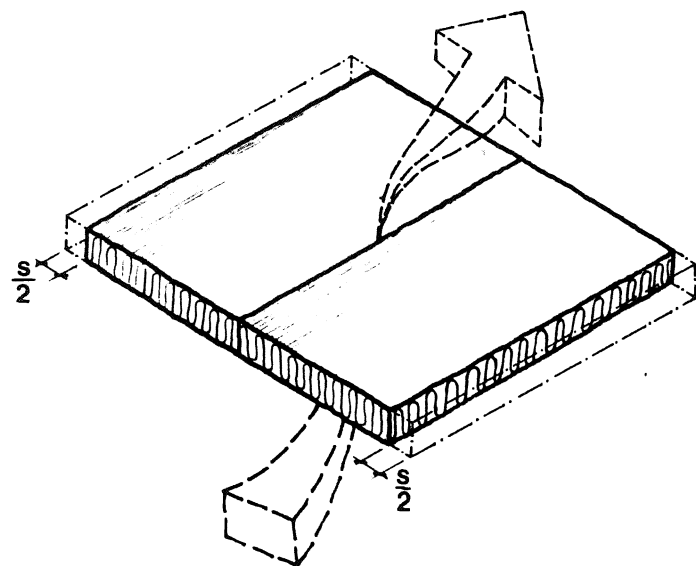
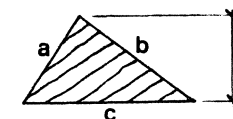
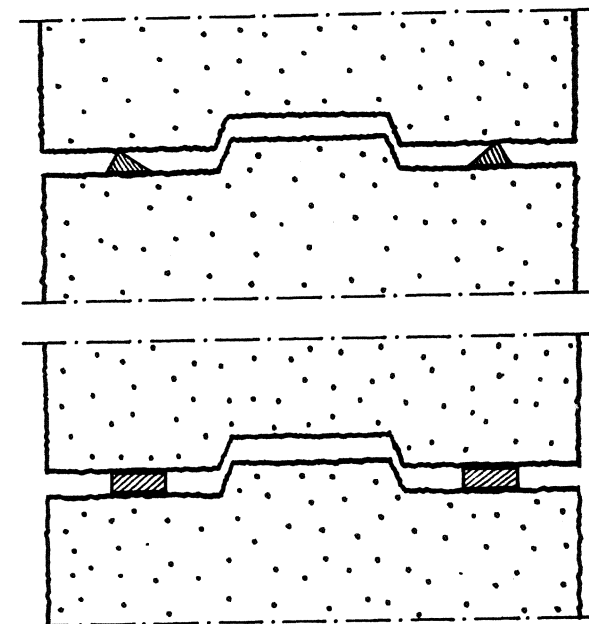
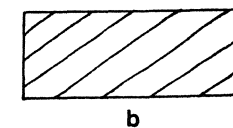


FIG 3.2:3. Pappklädda isolerskivor (typ RW 231).
Luftflöde genom skarv undersökes för olika sammanpressning
 S (mm).



triangulär foglist FT
 $a \times b \times c: 12 \times 17 \times 20; h: 10$ (mm)



rektangulär foglist FR
 $b \times h: 25 \times 10$ (mm)

FIG 3.2:4. Tätningslister mellan liggande väggelement
av lättbetong.

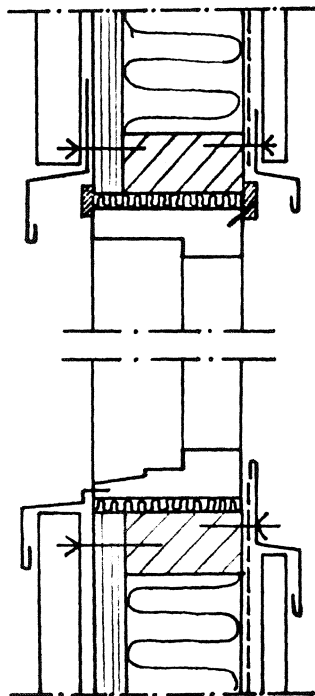
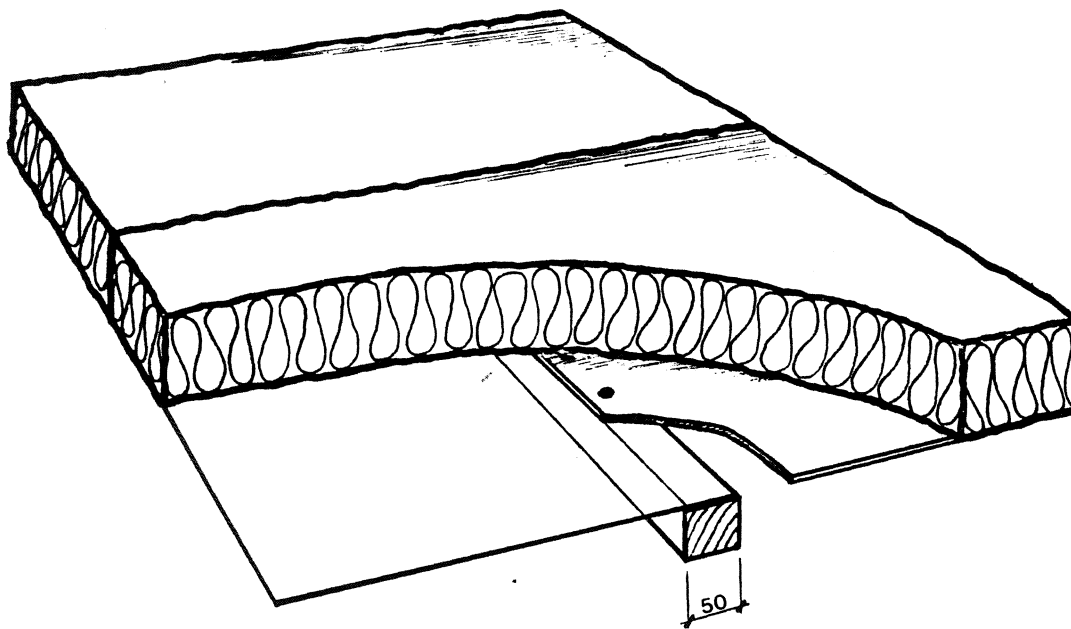


FIG 3.2:1. Anslutning vid fönster.
Plastfolie klämd mellan slätplåt och träregel.

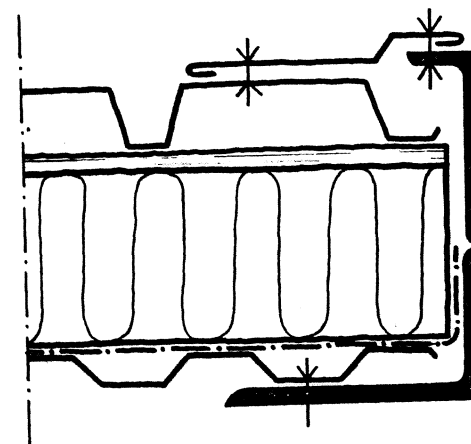
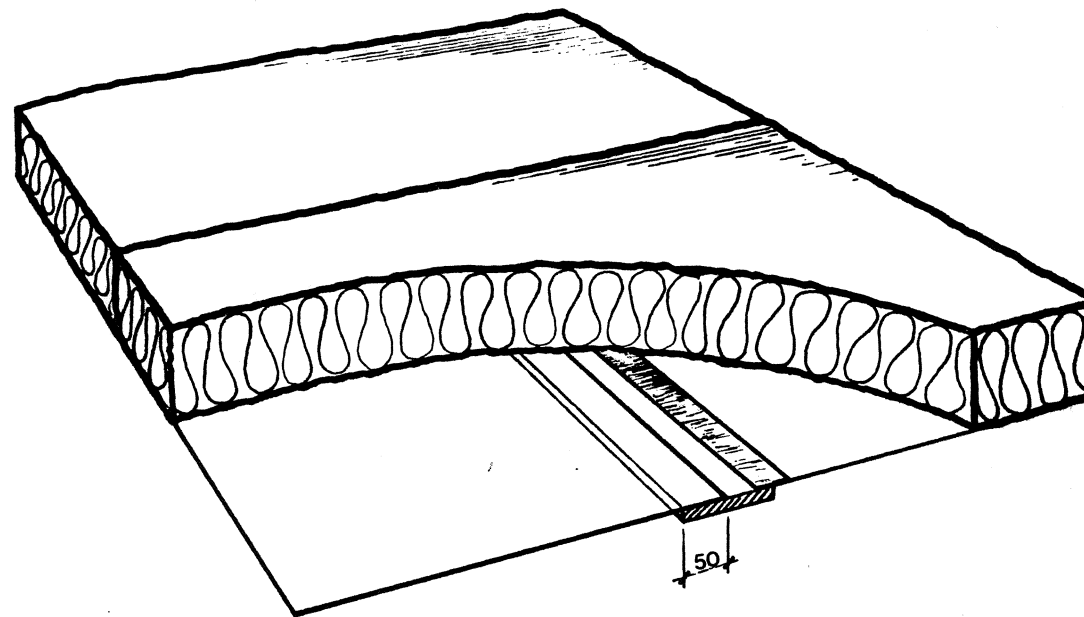


FIG 3.2:2. Anslutning vid port.
Plastfolie klämd mellan lätt isolering och kantprofil.

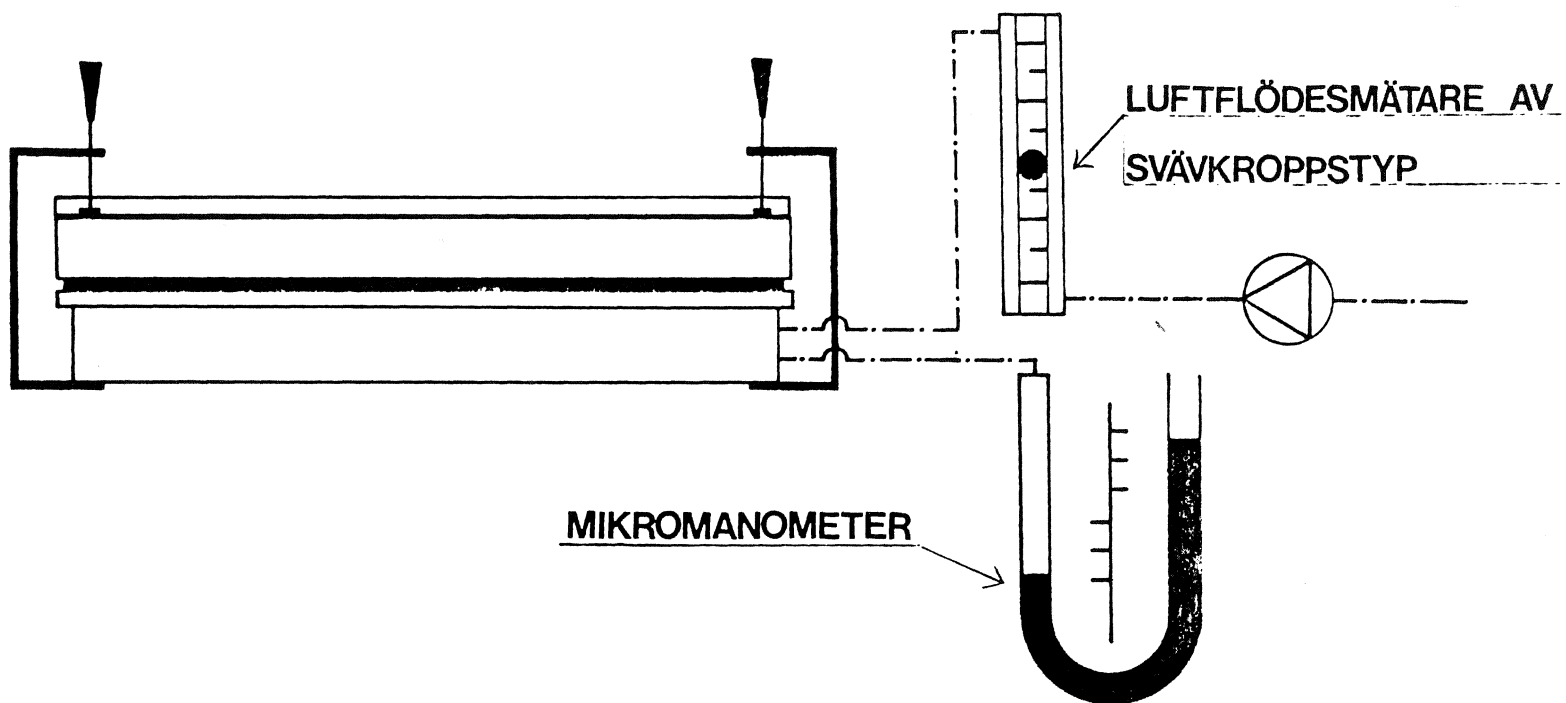


FIG. 3.3:6. Utrustning för registrering av differenstryck och luftflöde vid provning.

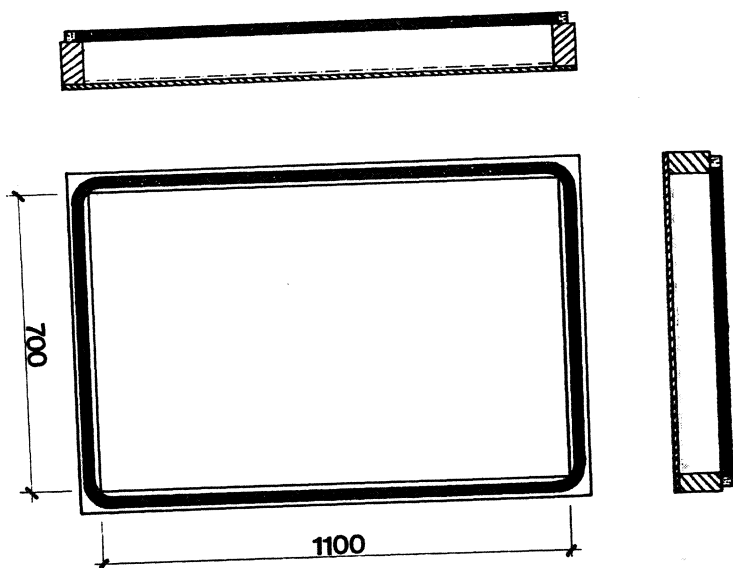


FIG 3.3:7. Provlåda för undersökning av lättbetongvägg.

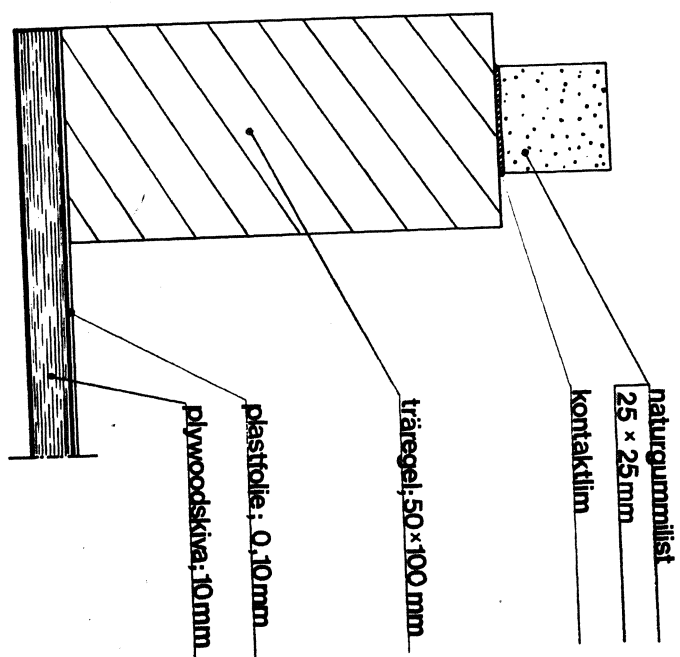


FIG 3.3:8. Detalj av provlåda.

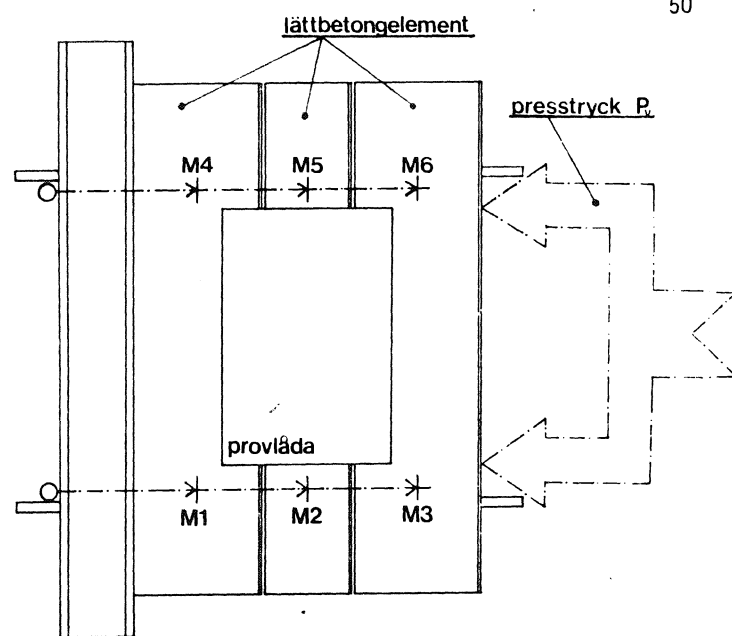


FIG 3.3:9. Provningsanordning vid undersökning av horisontella fogar mellan väggelement av lättbetong.

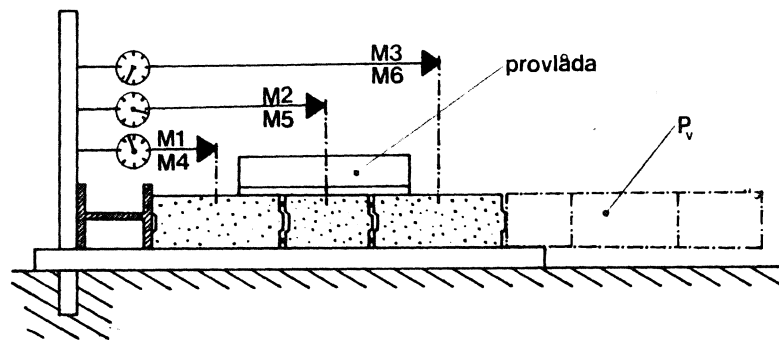


FIG 3.3:10. Se FIG 3.3:9.

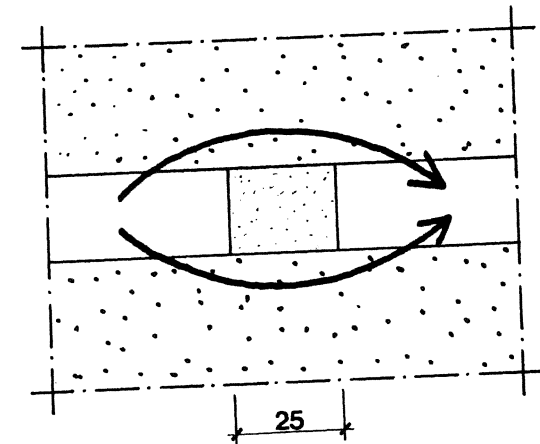
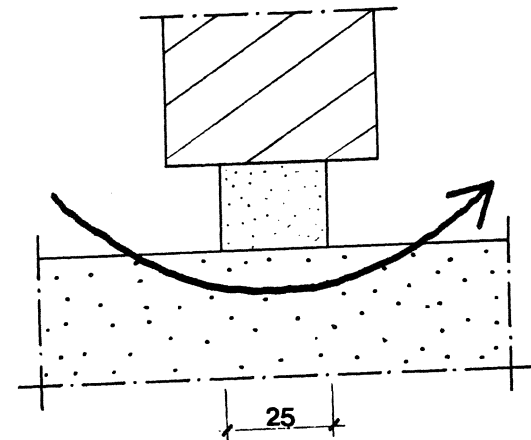
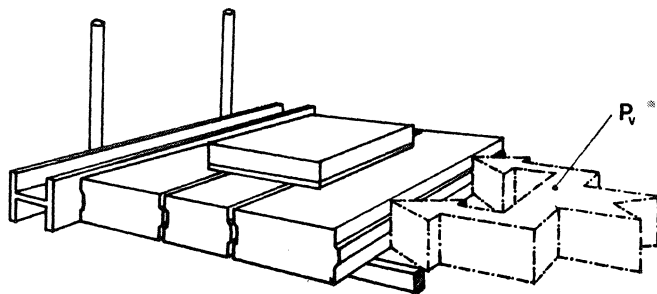


FIG 3.3:12. Lokalt luftflöde i lättbetongmaterial.

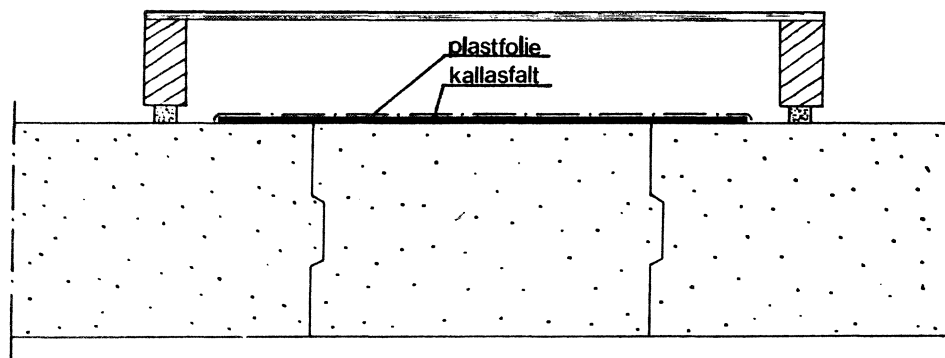


FIG 3.3:13. Provningsanordning vid undersökning av lokalt luftflöde.

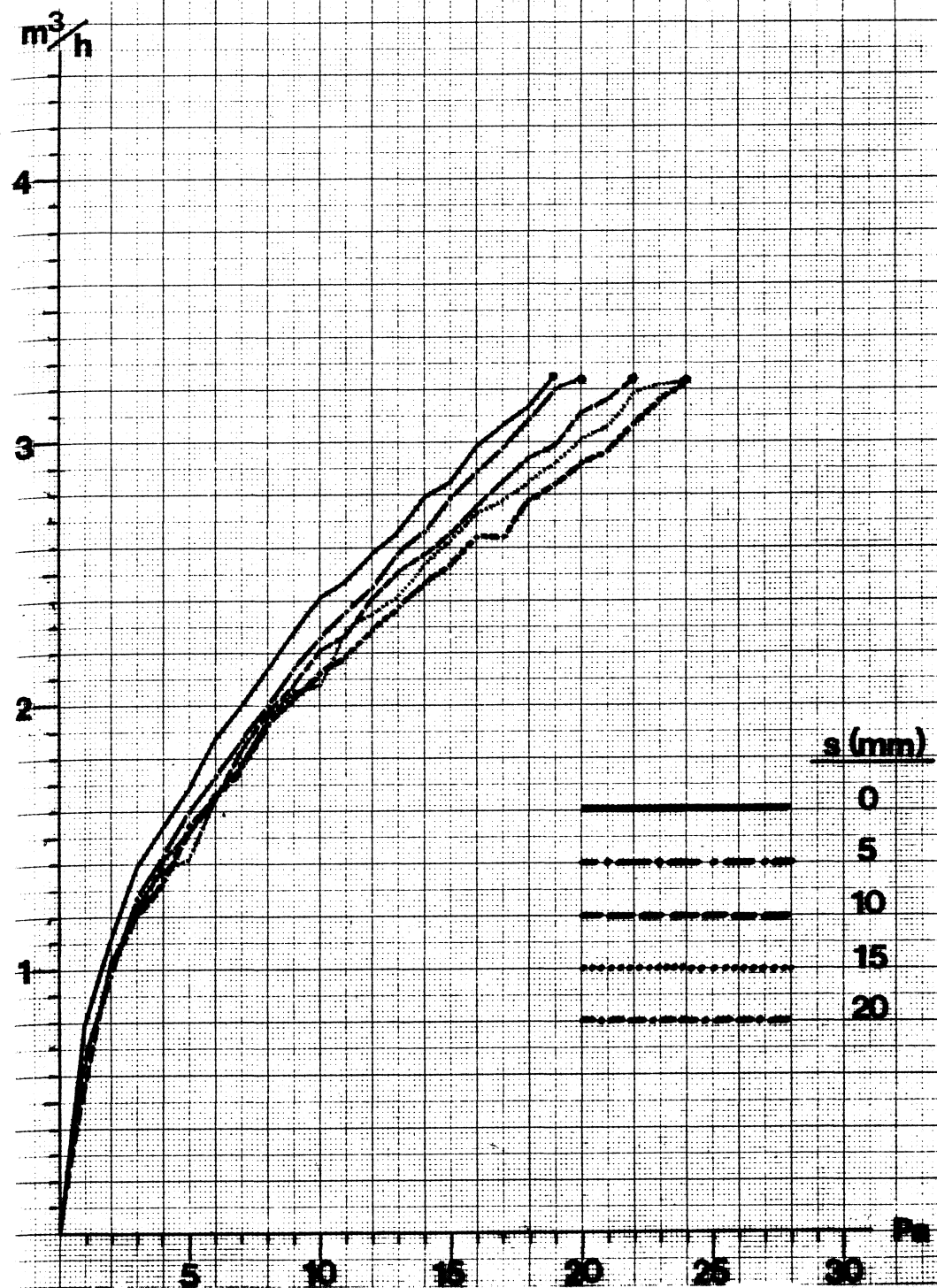


FIG 3.4:1 Skarvning av pappklädda isoleringsskivor (RW 231)

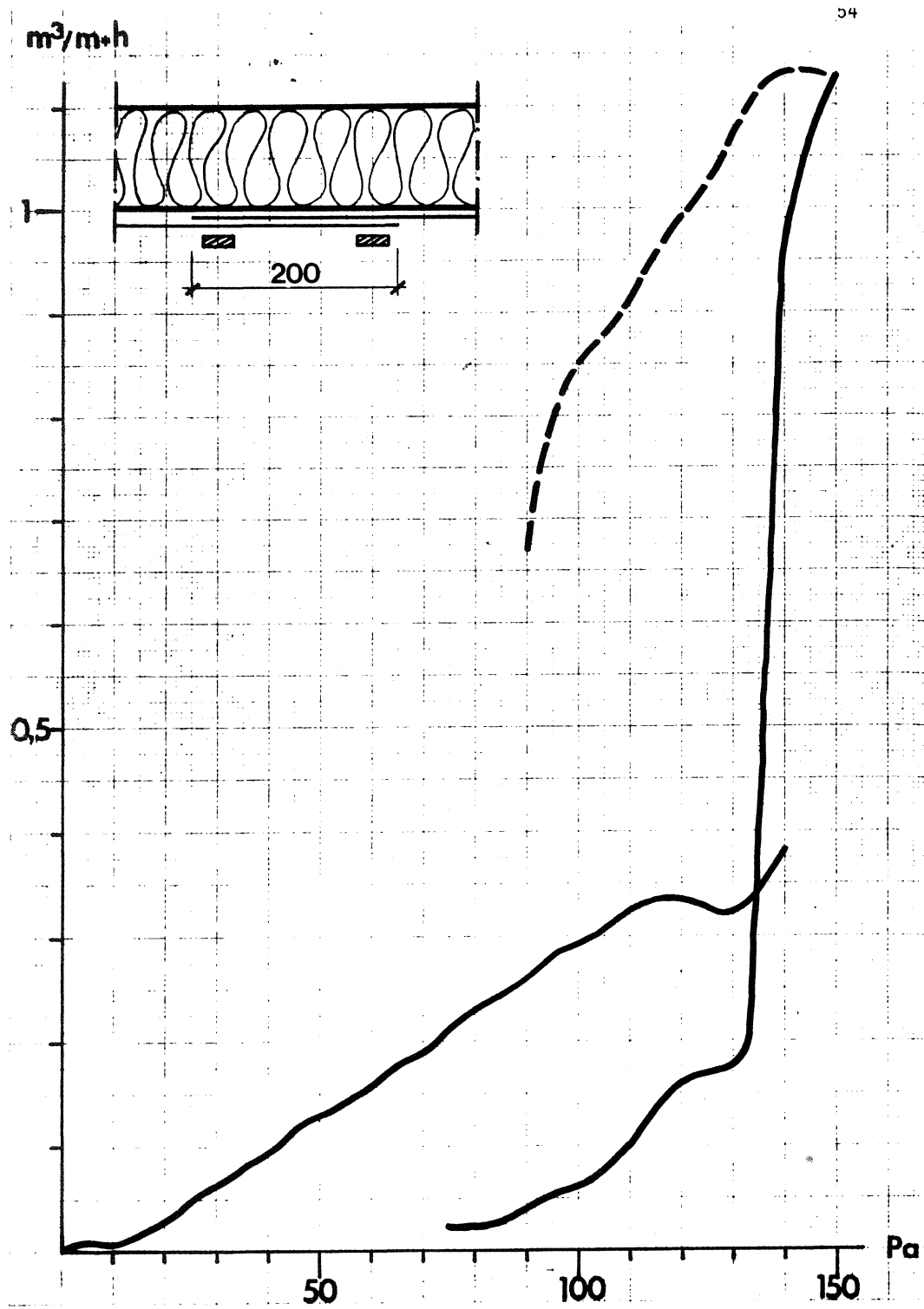


FIG 3.4:2 Omlottskarvad plastfolie mellan plåt- och isoleringsskikt.

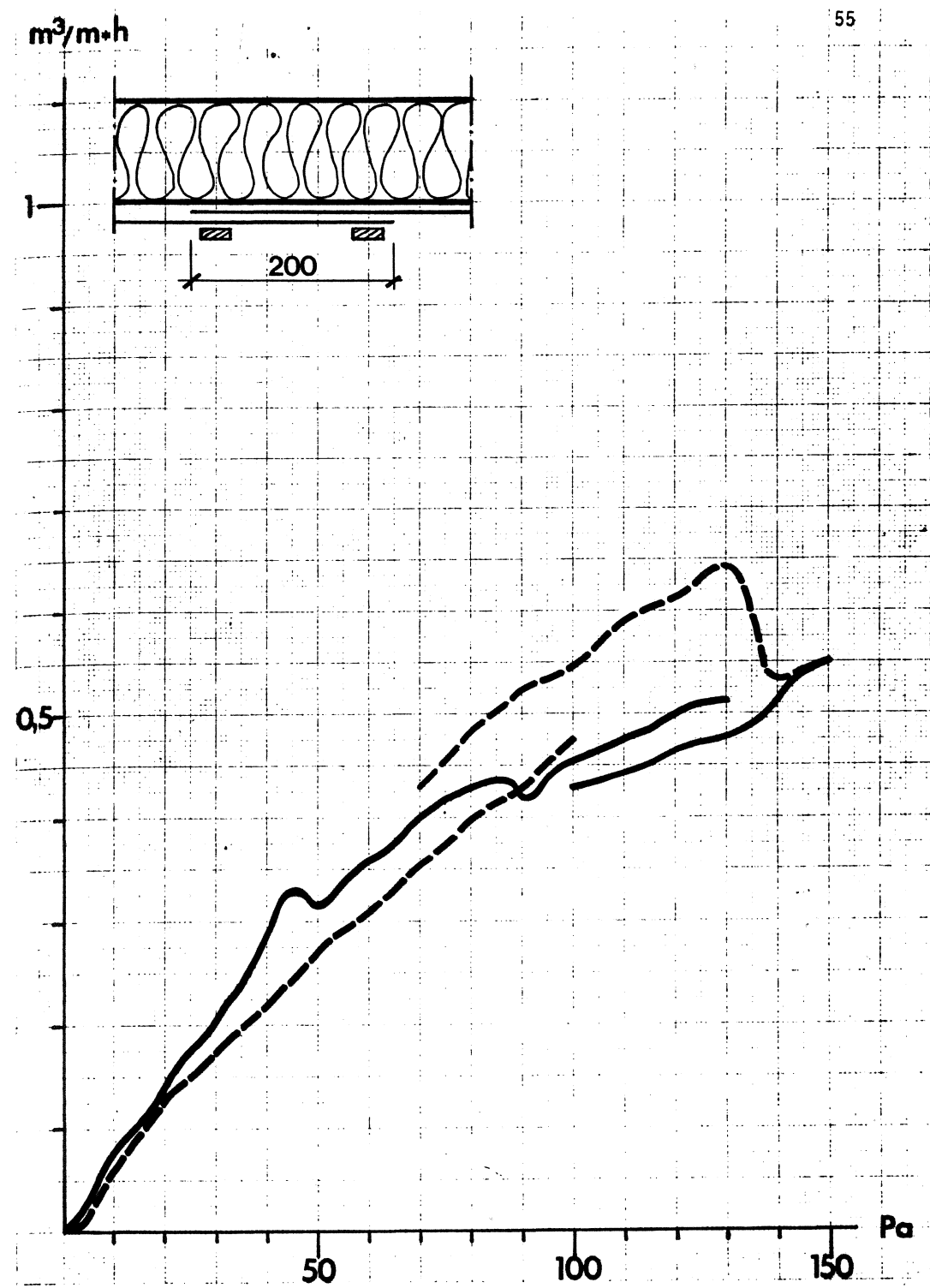


FIG 3.4:3 Prov 2

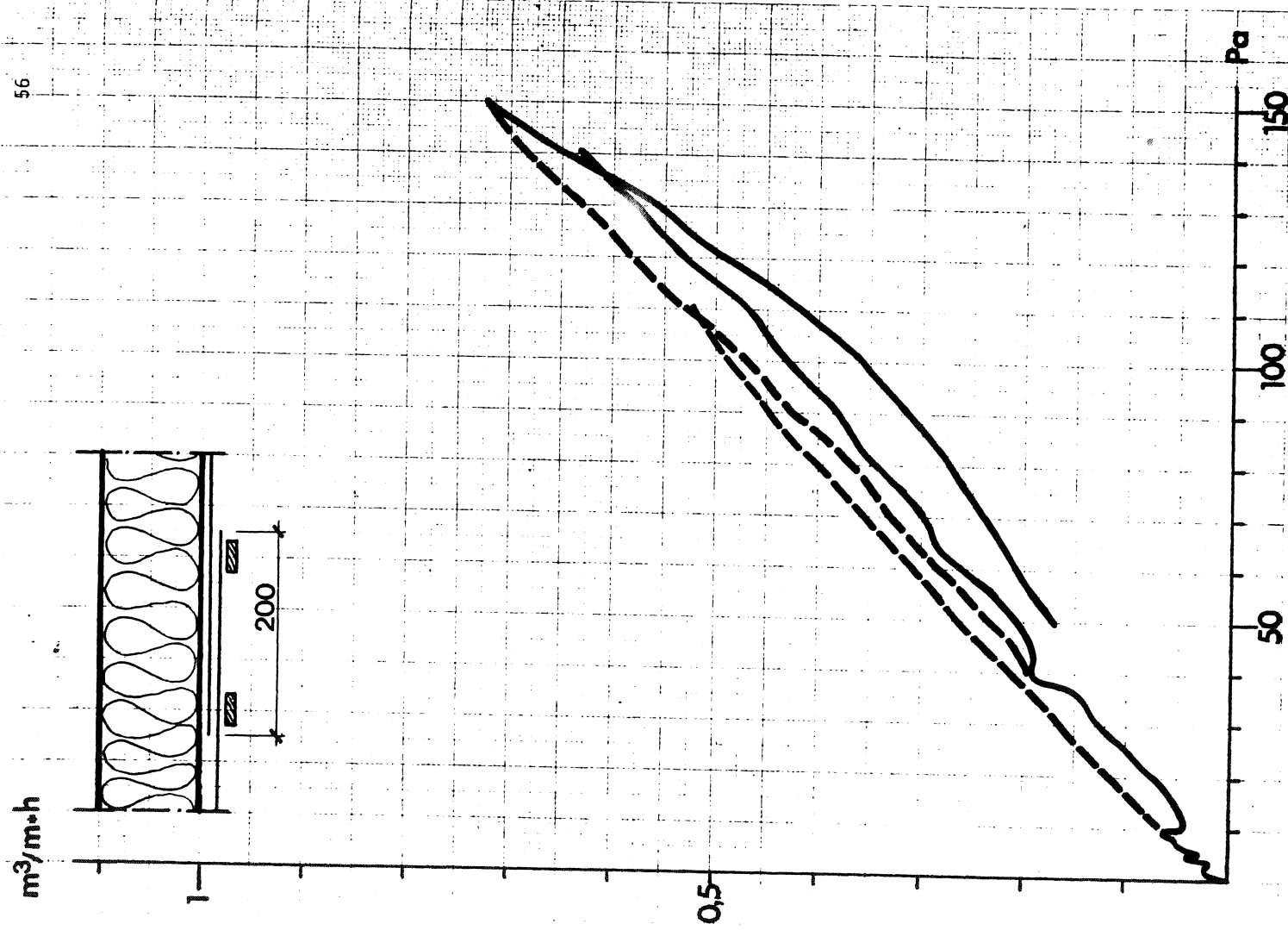


FIG 3.4:4 Prov 3

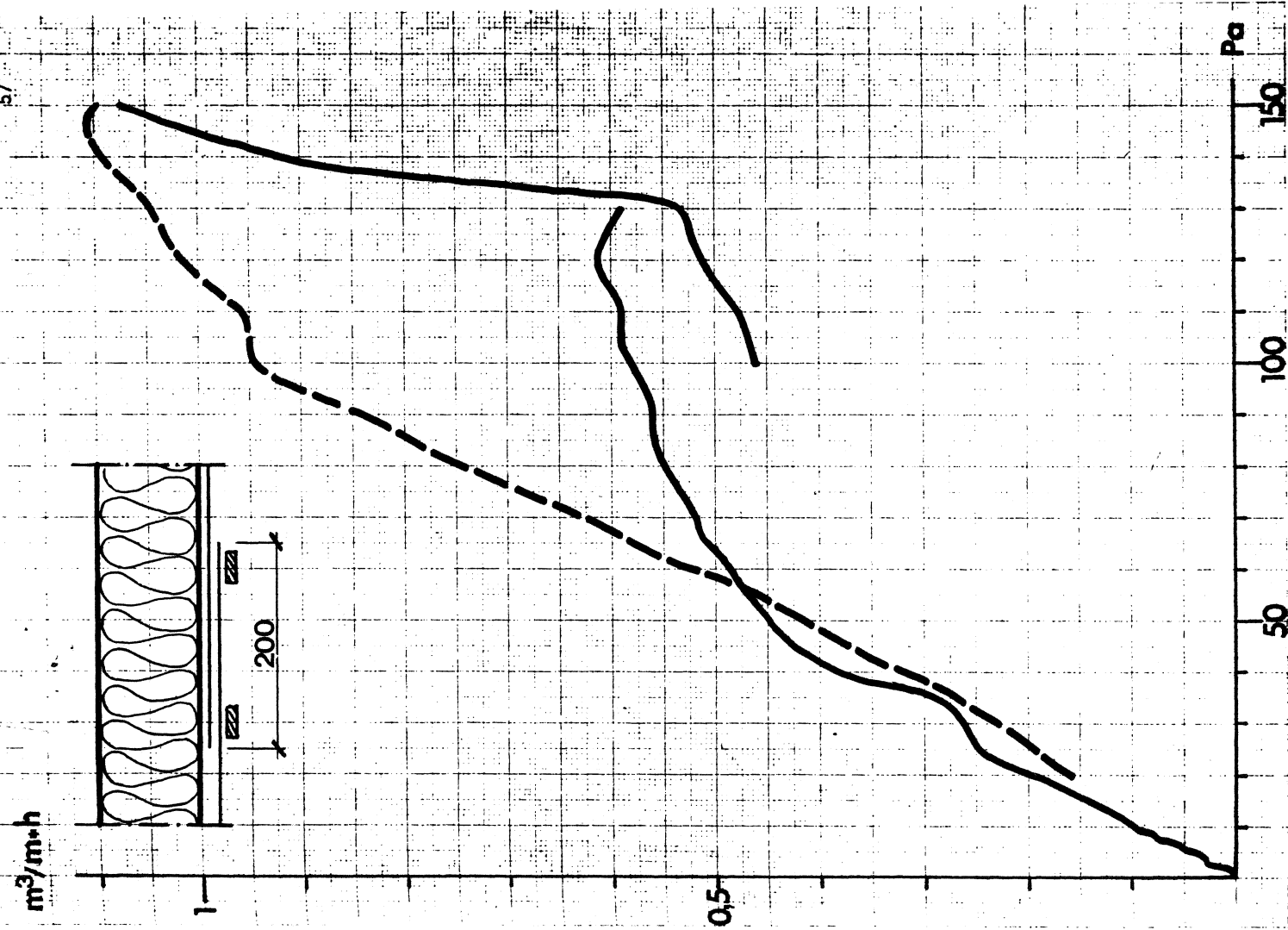


FIG 3.4:5 Prov 4

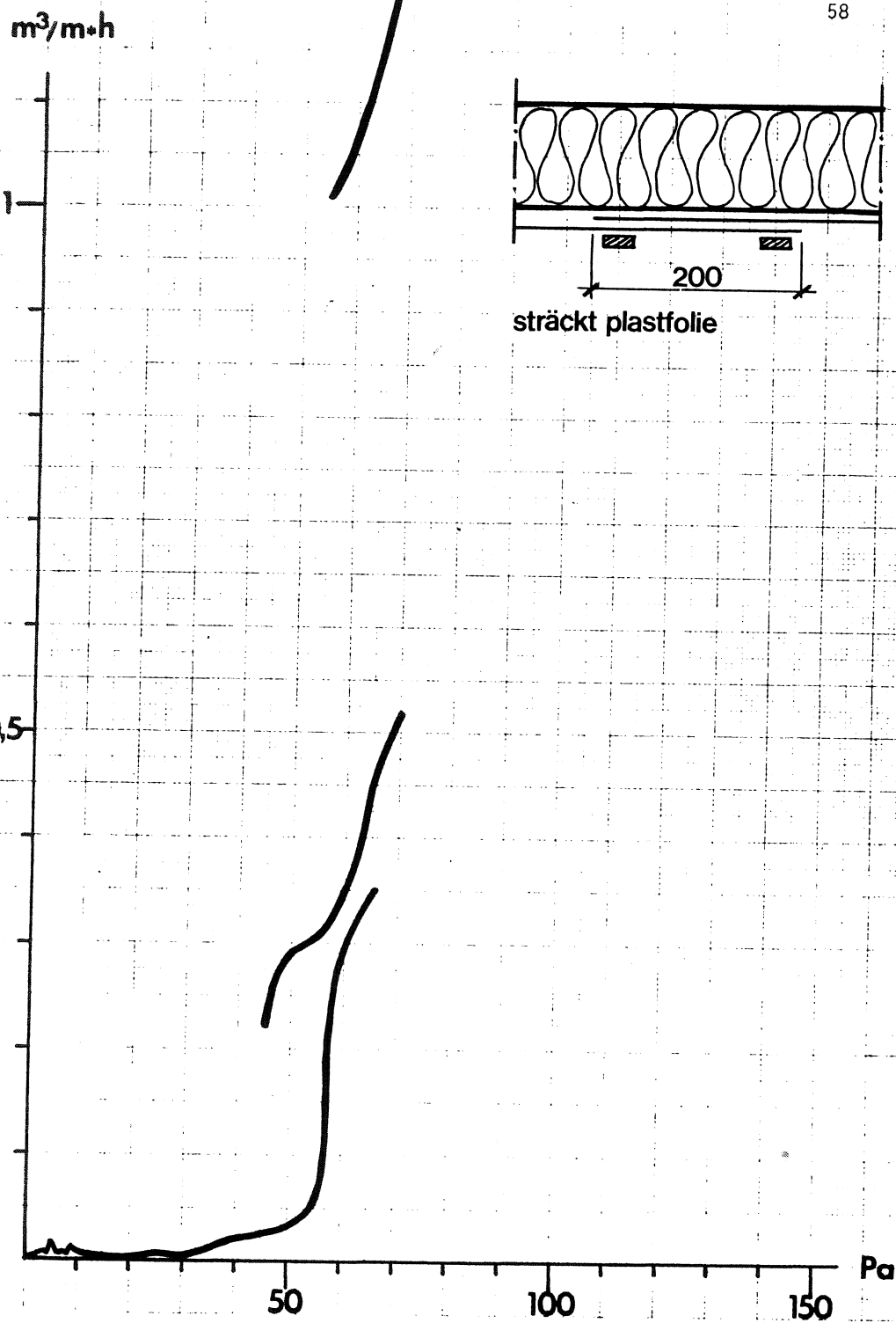


FIG 3.4:6 Prov 5

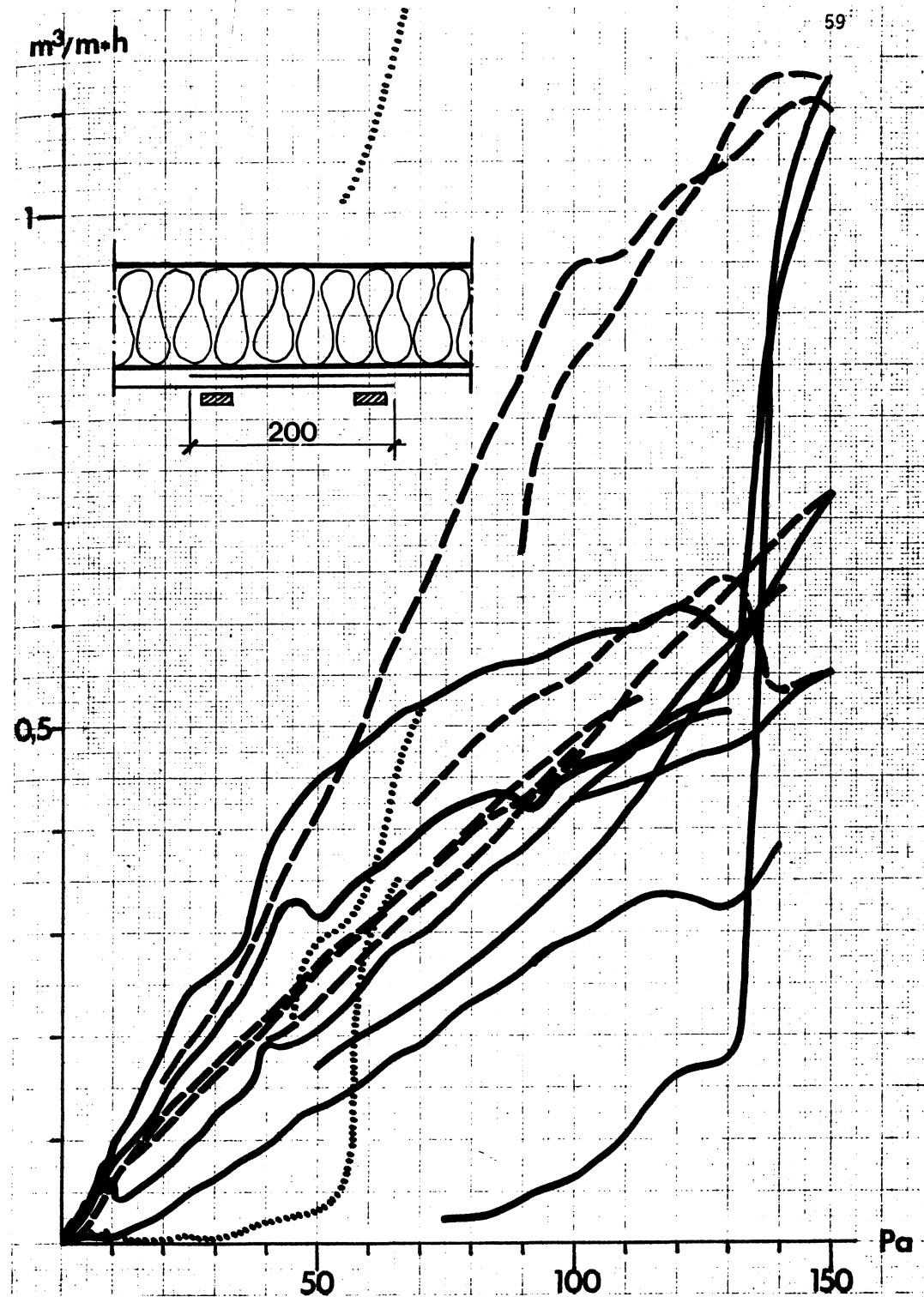


FIG 3.4:7 Sammanställning Prov 1 - 5

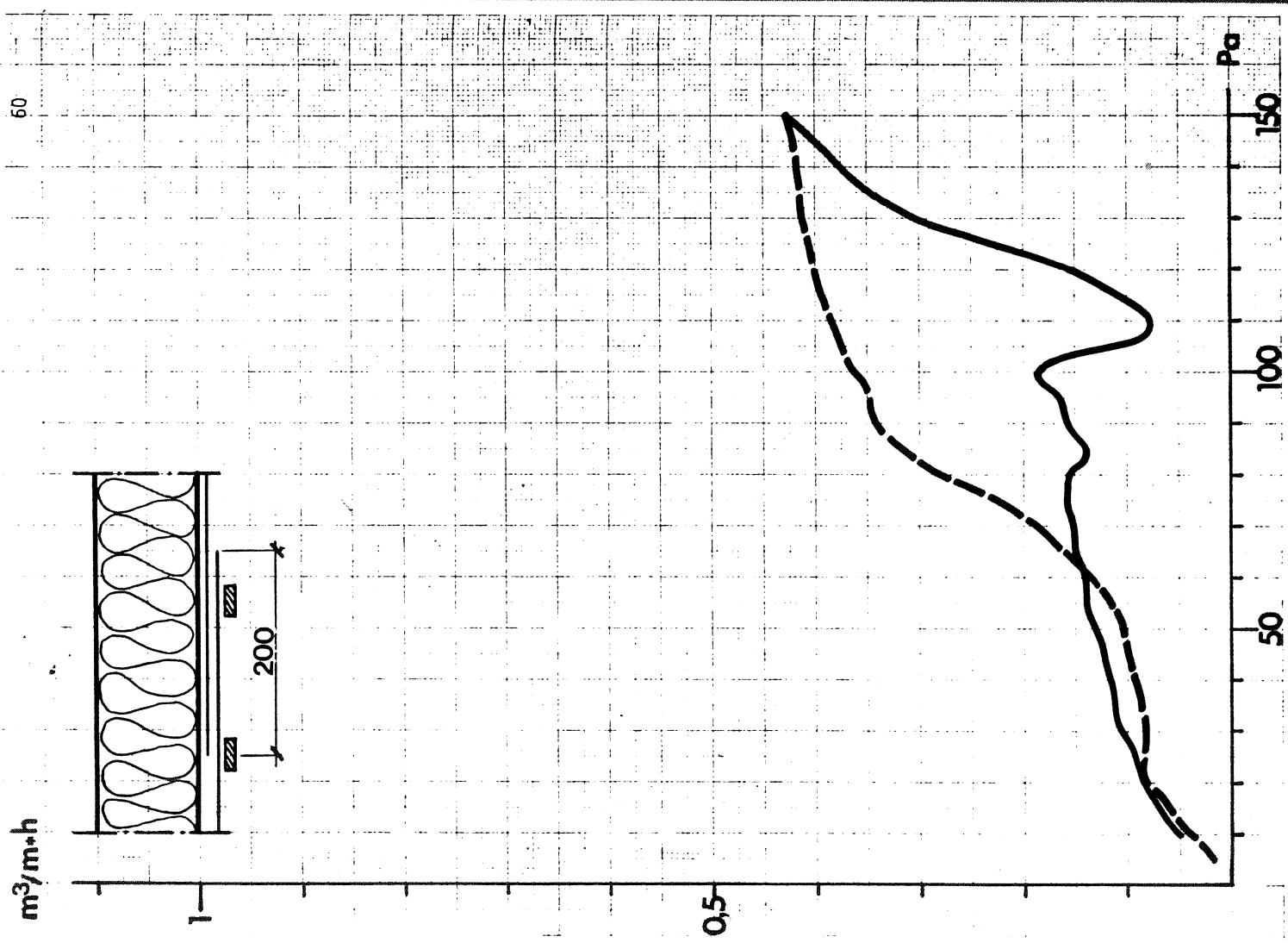


FIG 3.4:8 Prov 6

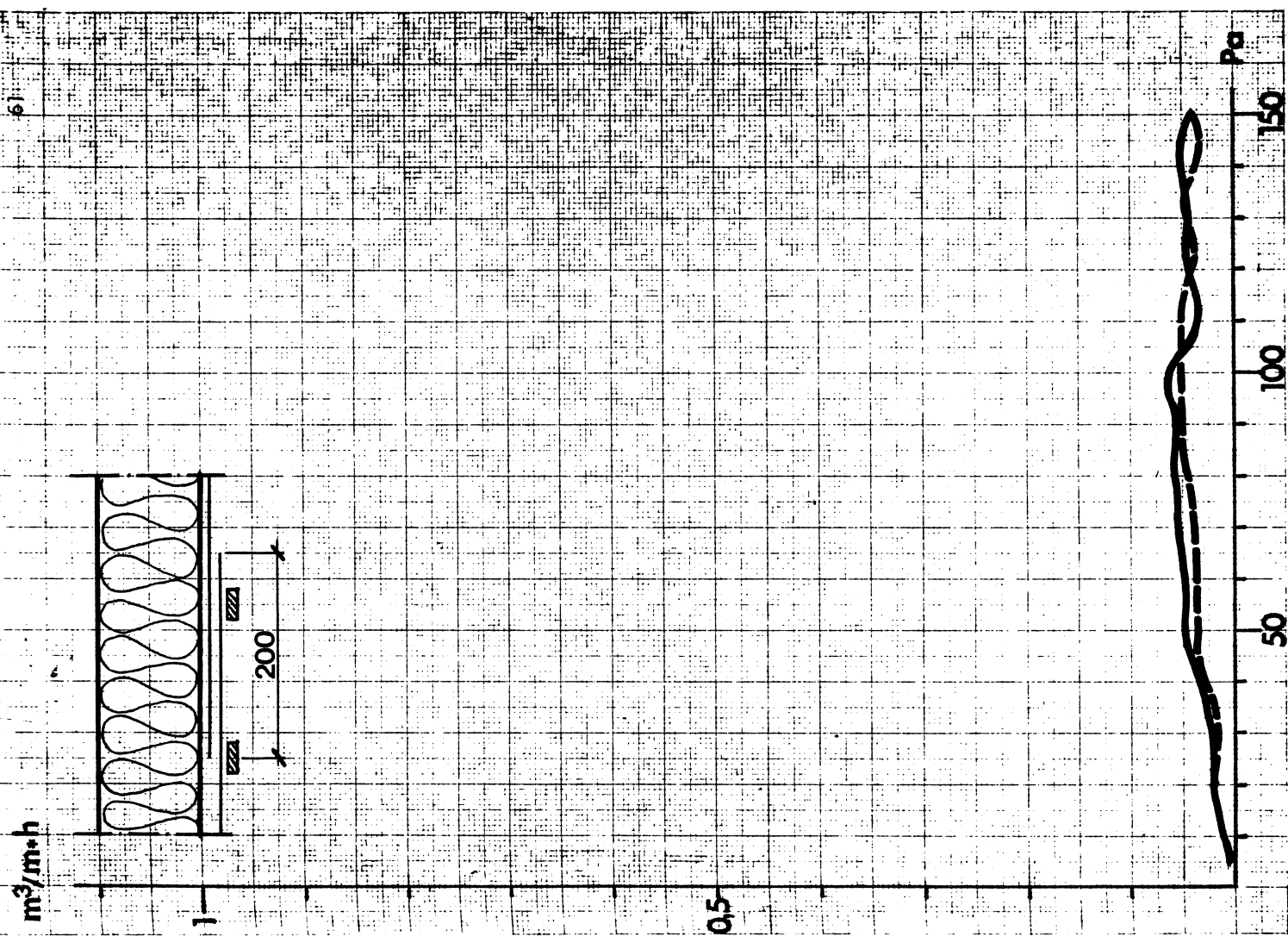
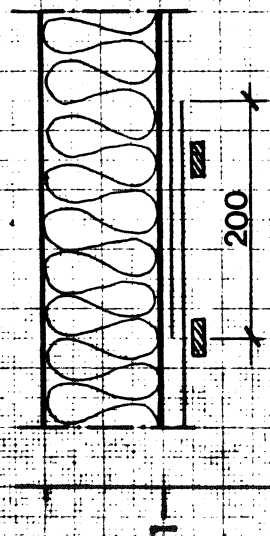


FIG 3.4:9 Prov 7

62

 $\text{m}^3/\text{m}\cdot\text{h}$ 

1

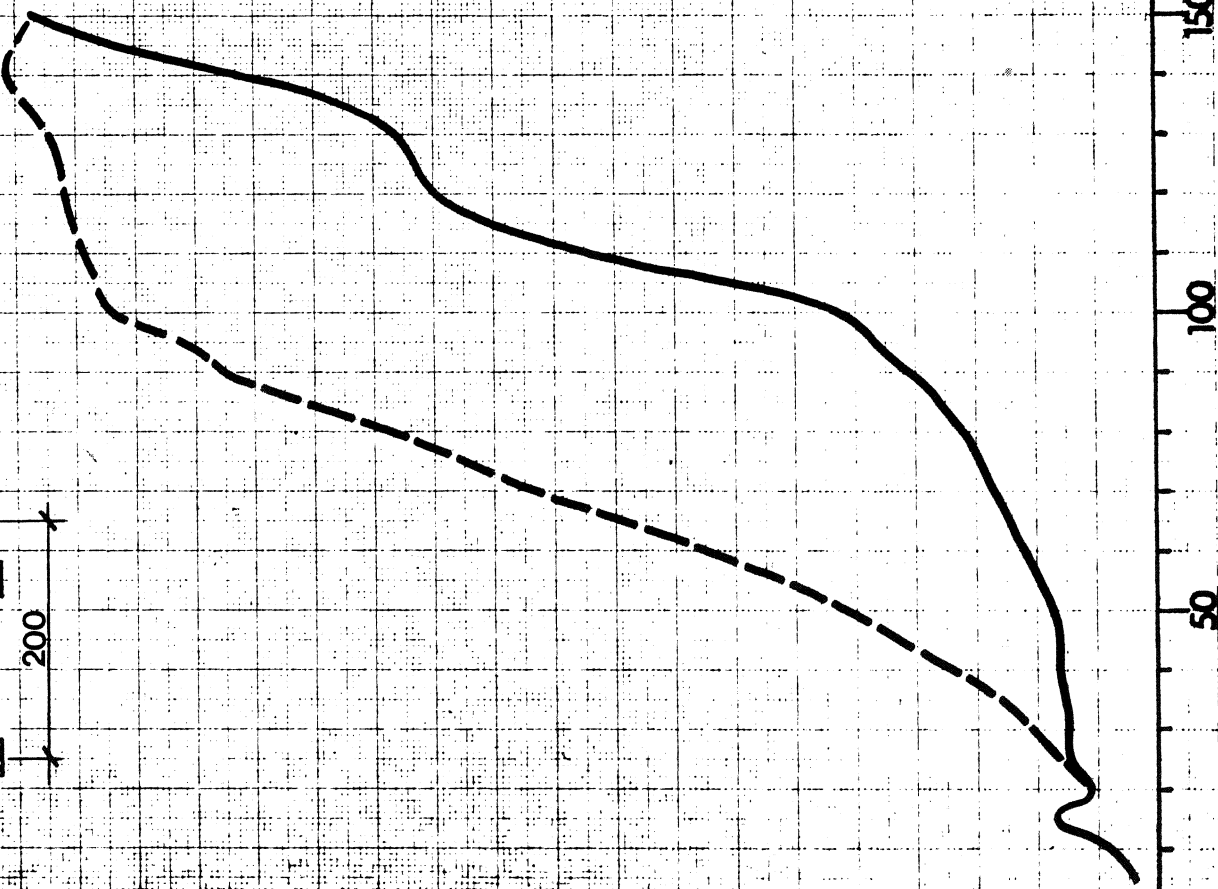
0.5

Pa

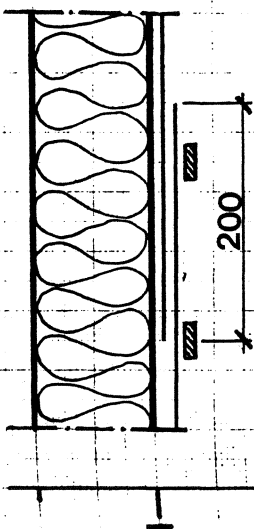
150

100

50



63

 $\text{m}^3/\text{m}\cdot\text{h}$ 

1

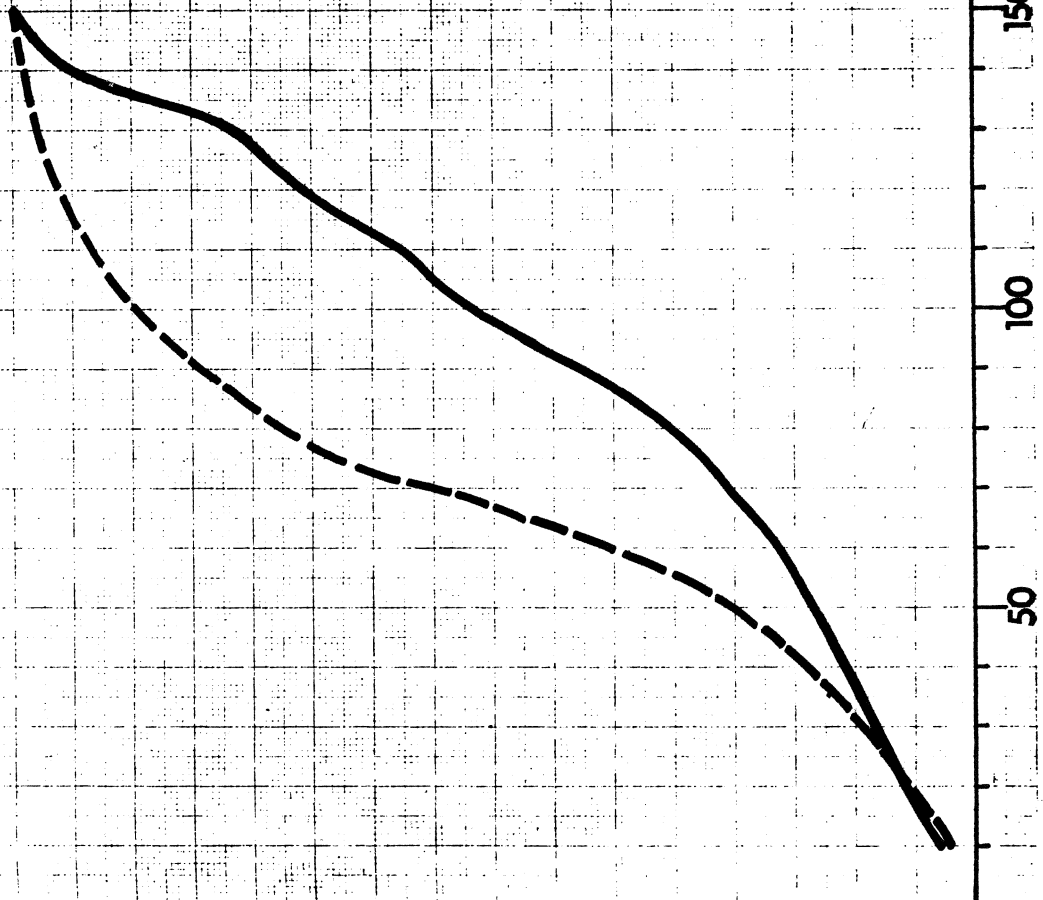
0.5

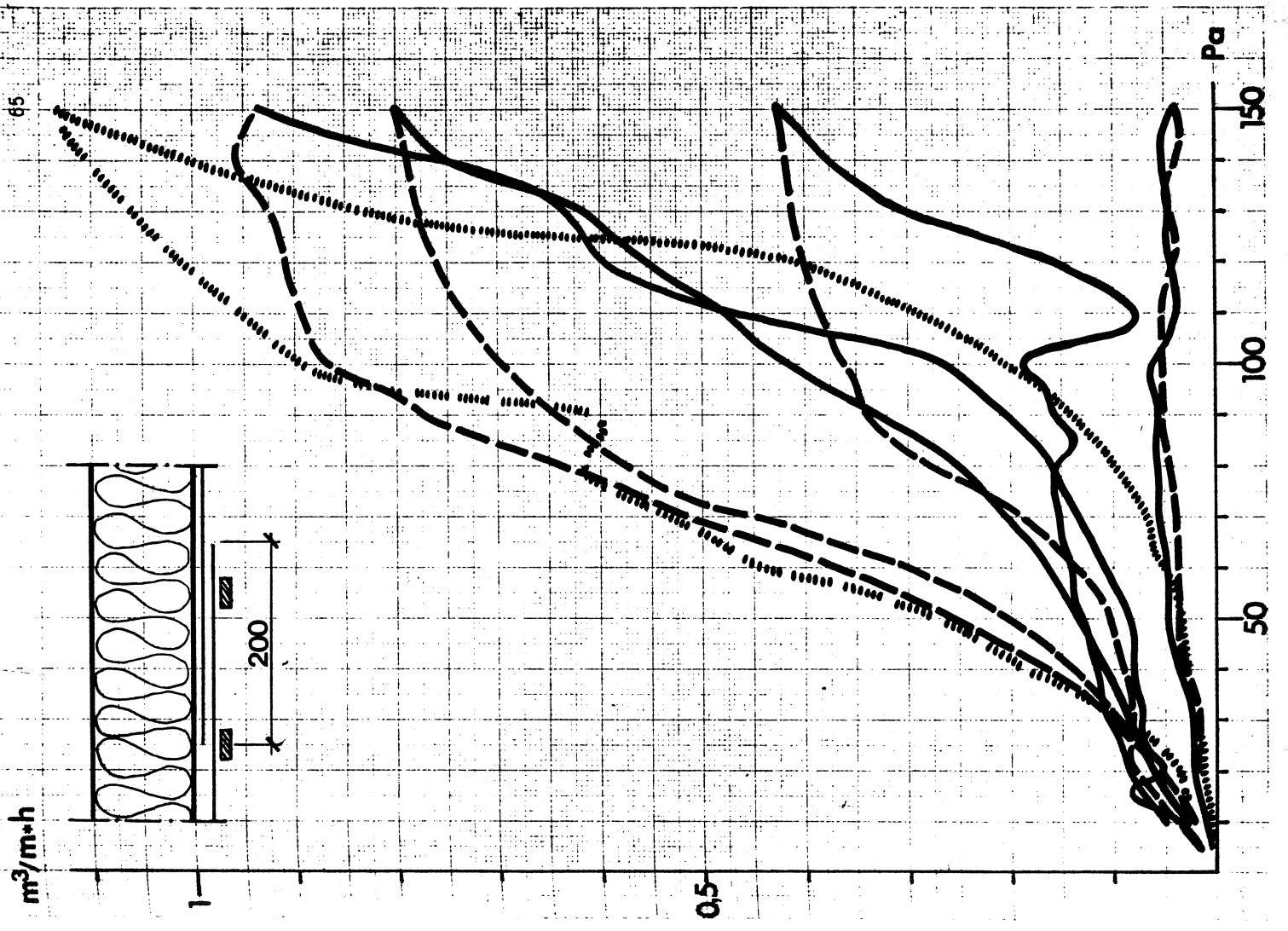
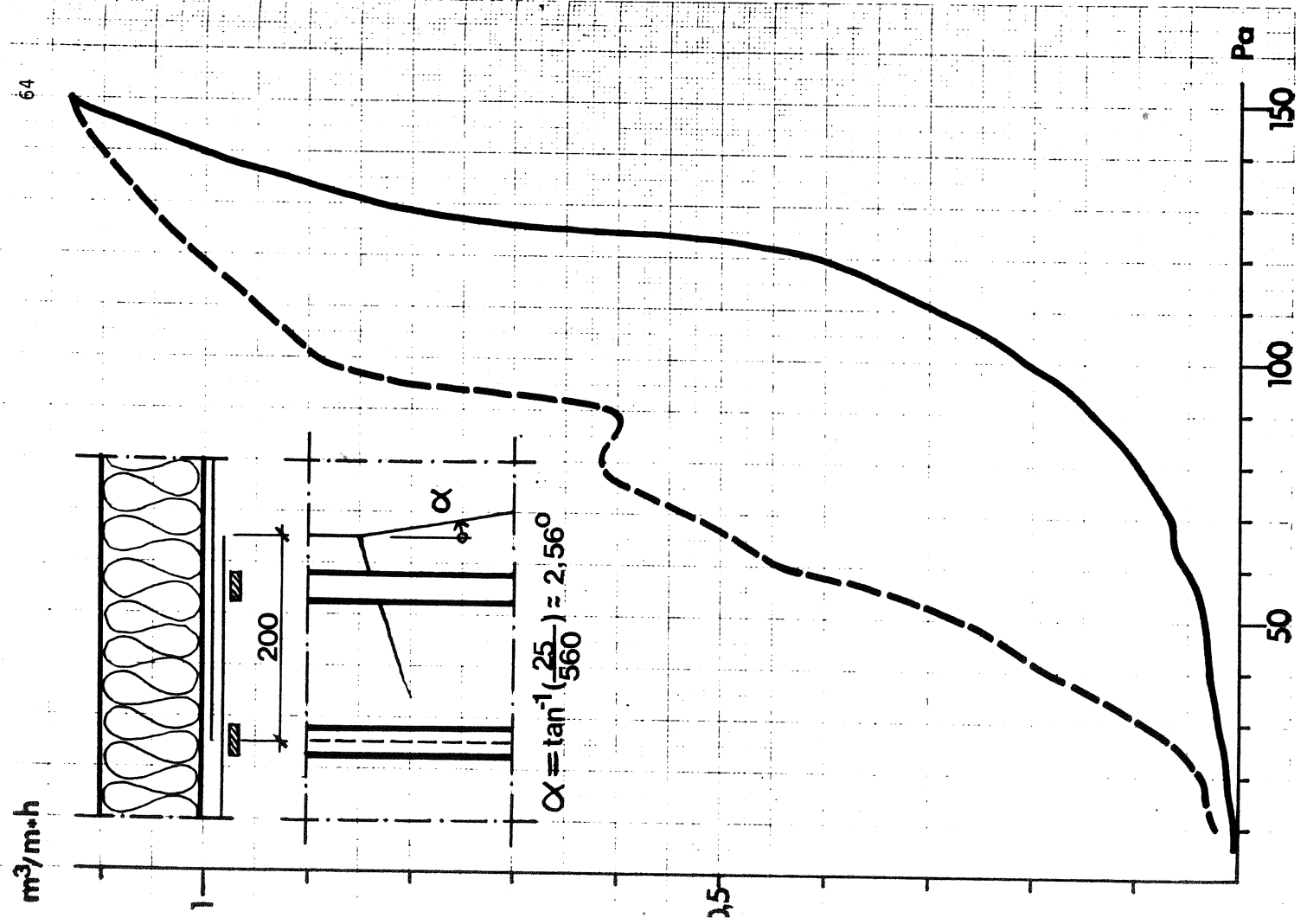
Pa

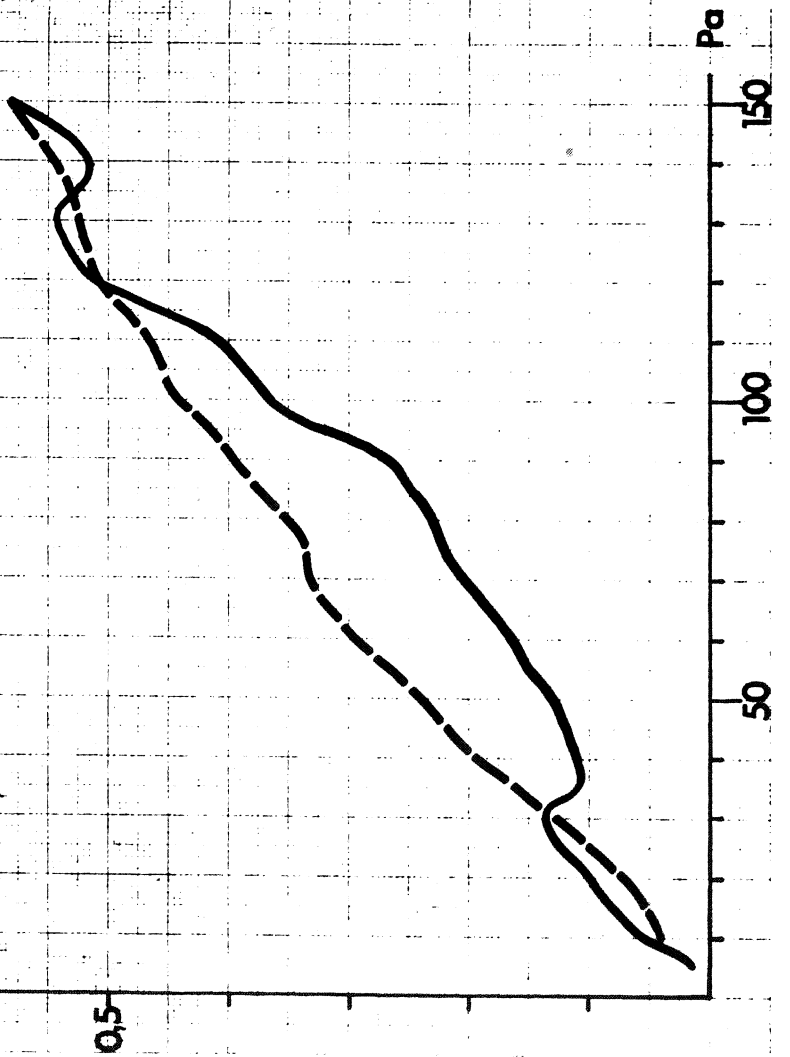
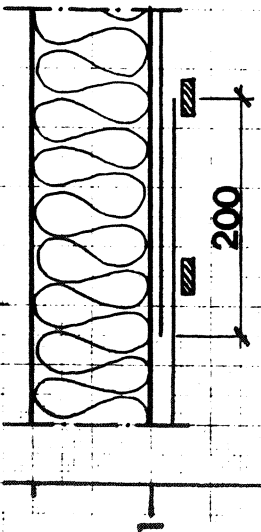
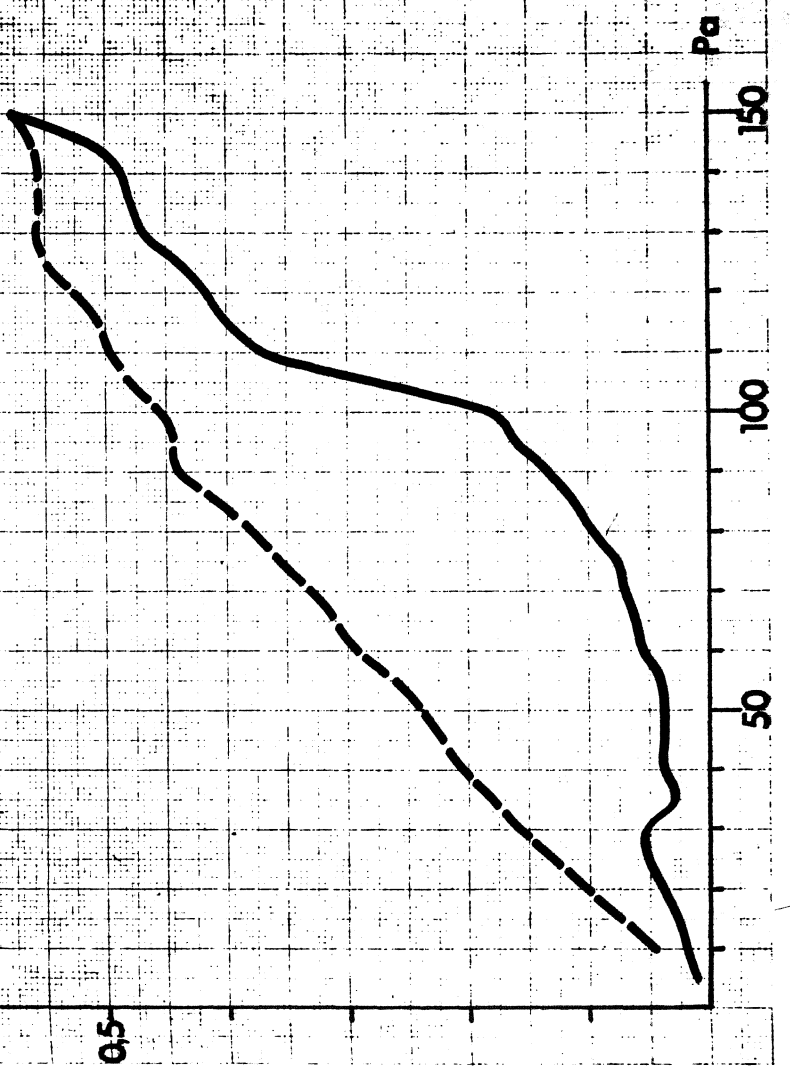
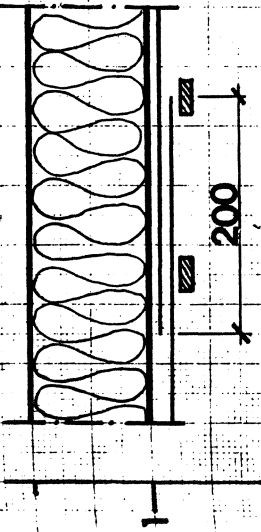
150

100

50





$m^3/m \cdot h$  $m^3/m \cdot h$ 

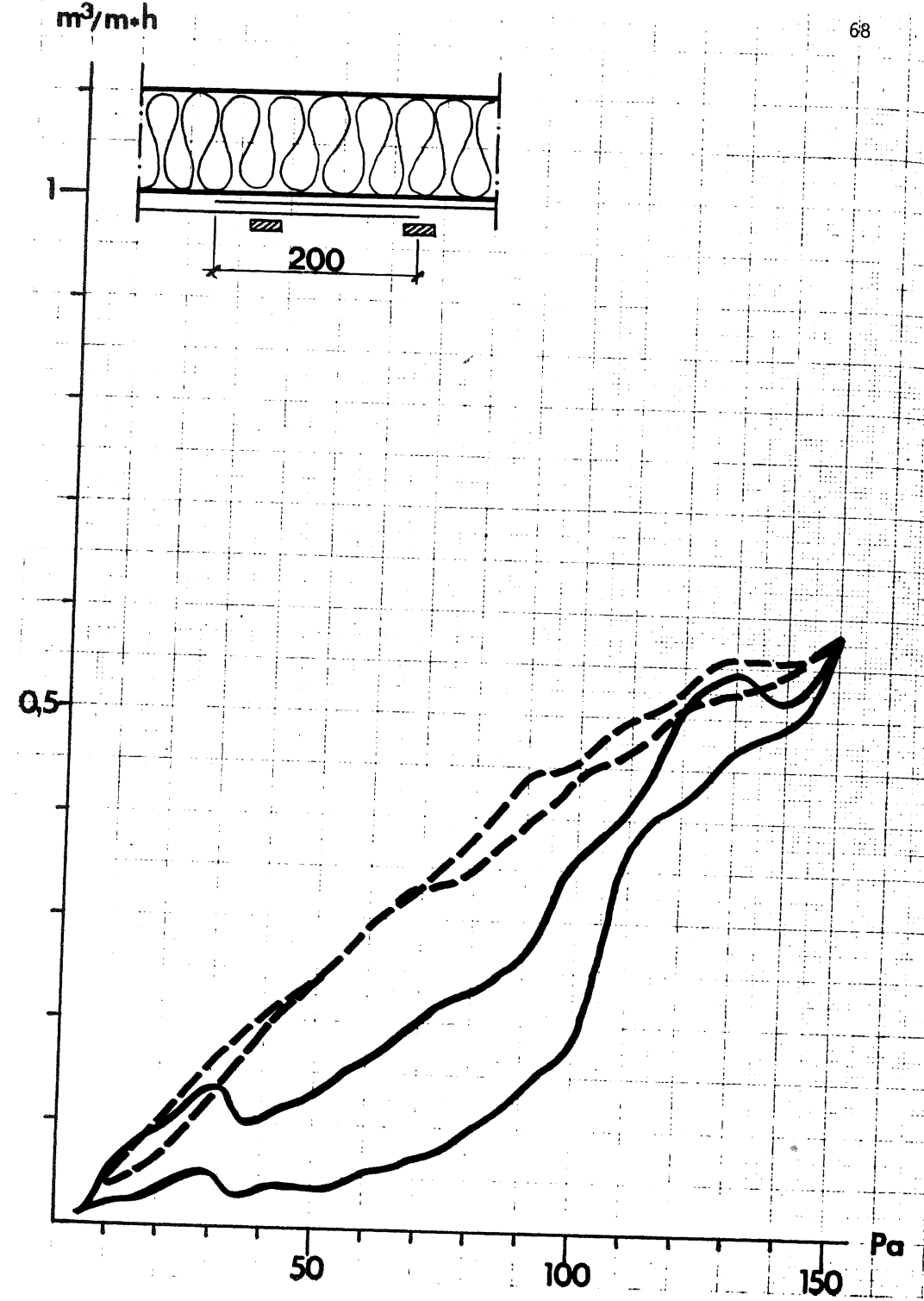


FIG 3.4:16 Sammanställning Prov 11 - 12

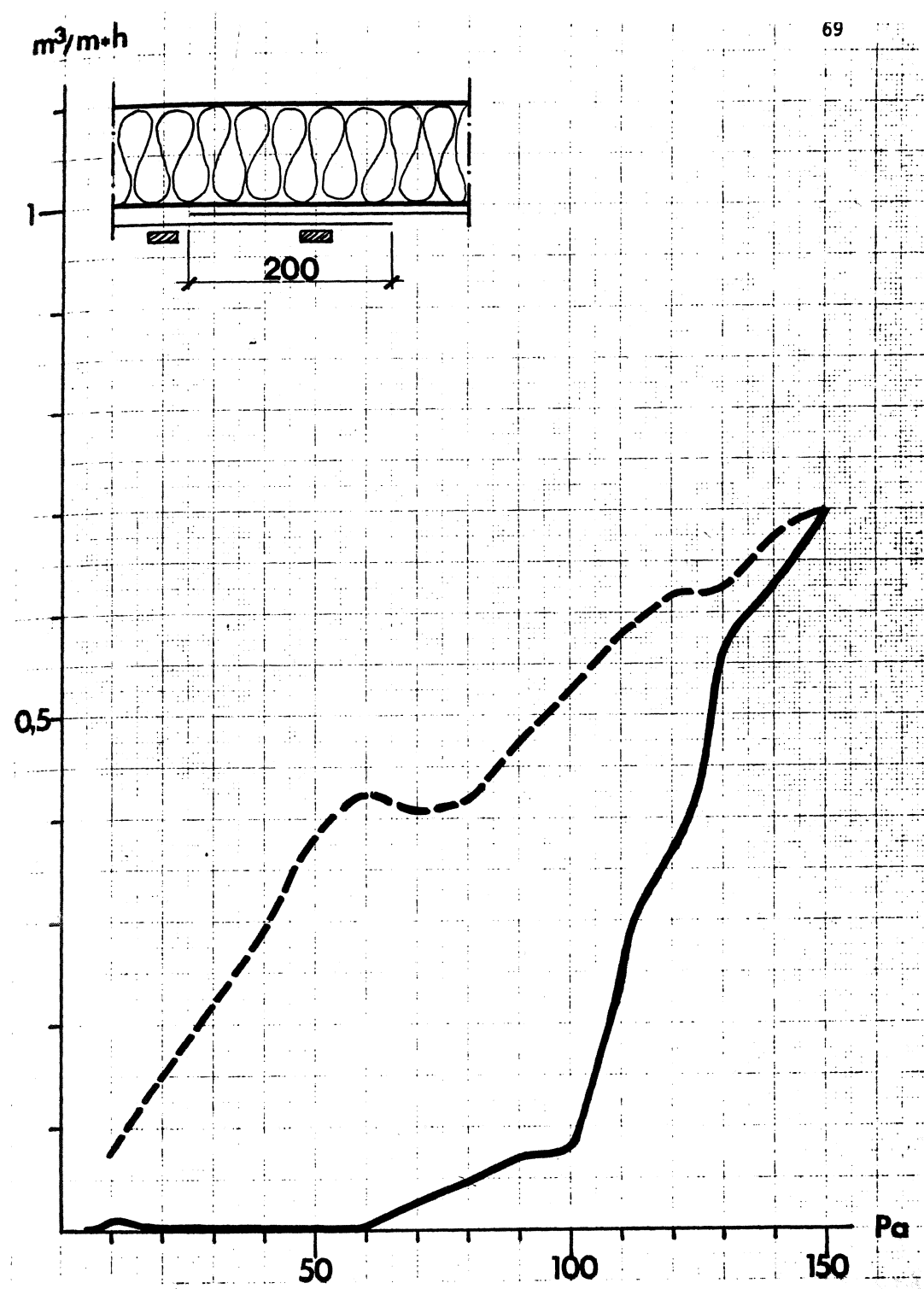


FIG 3.4:17 Prov 13

$\text{m}^3/\text{m}\cdot\text{h}$

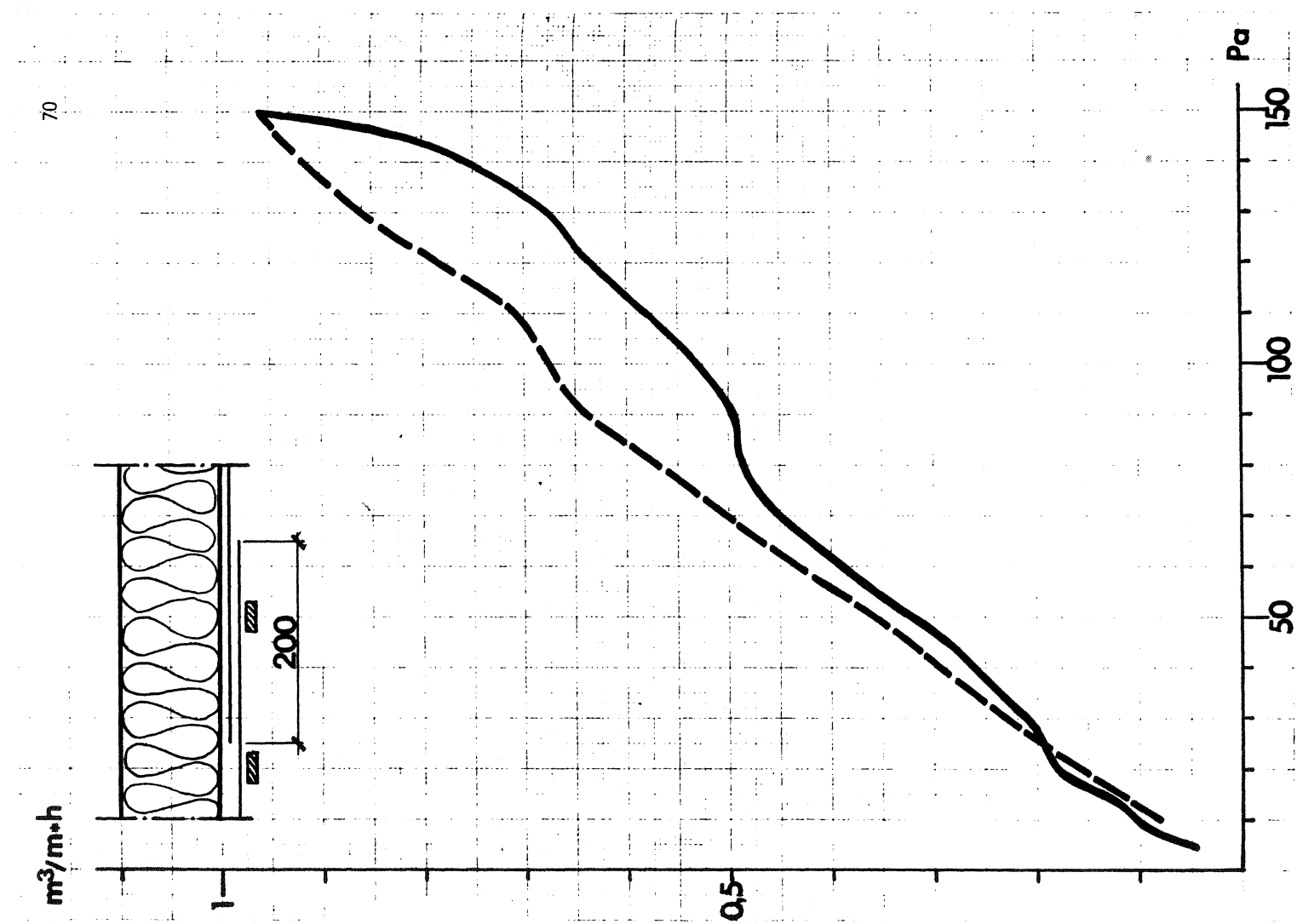
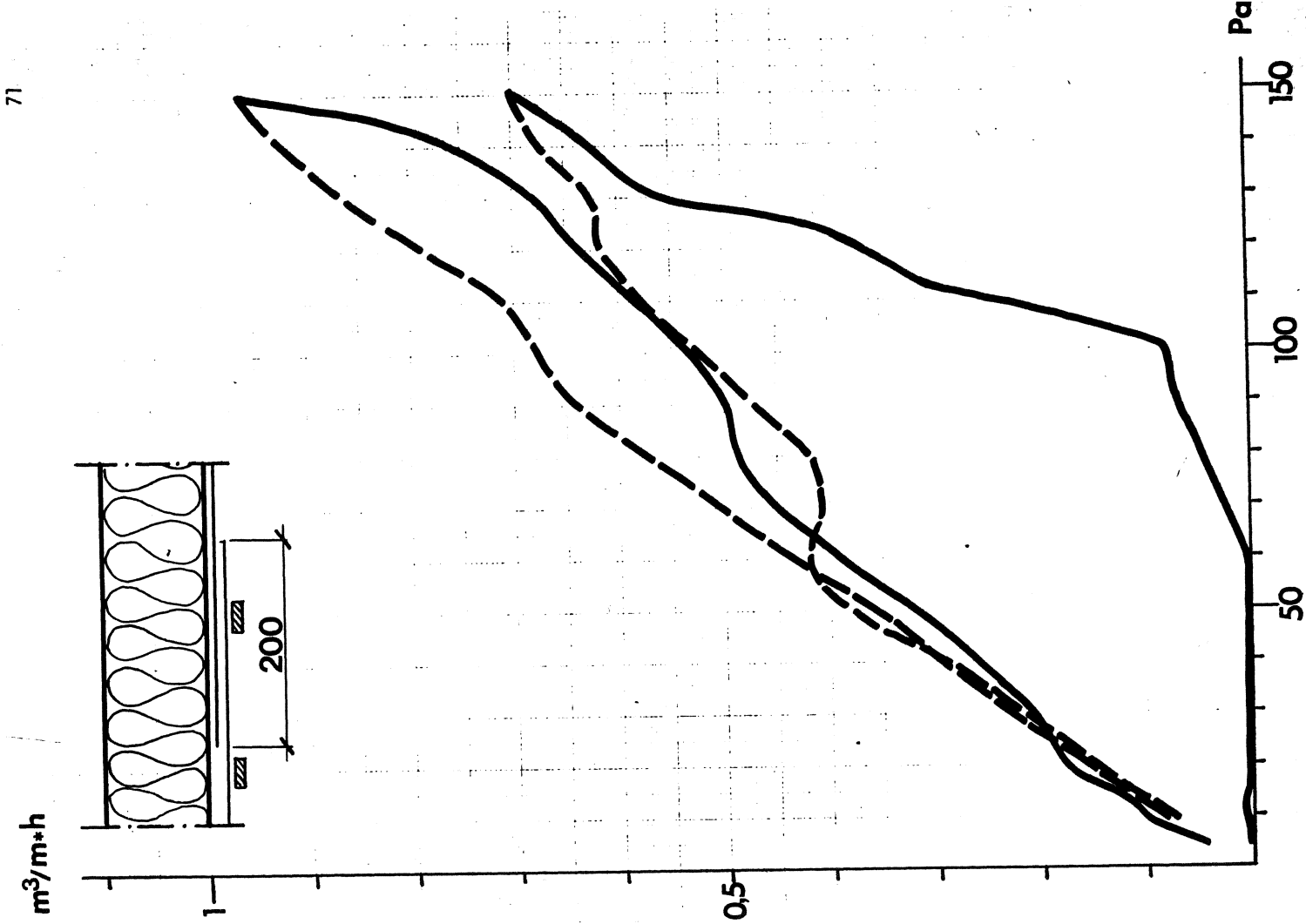
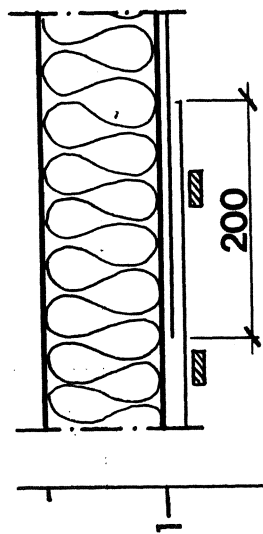
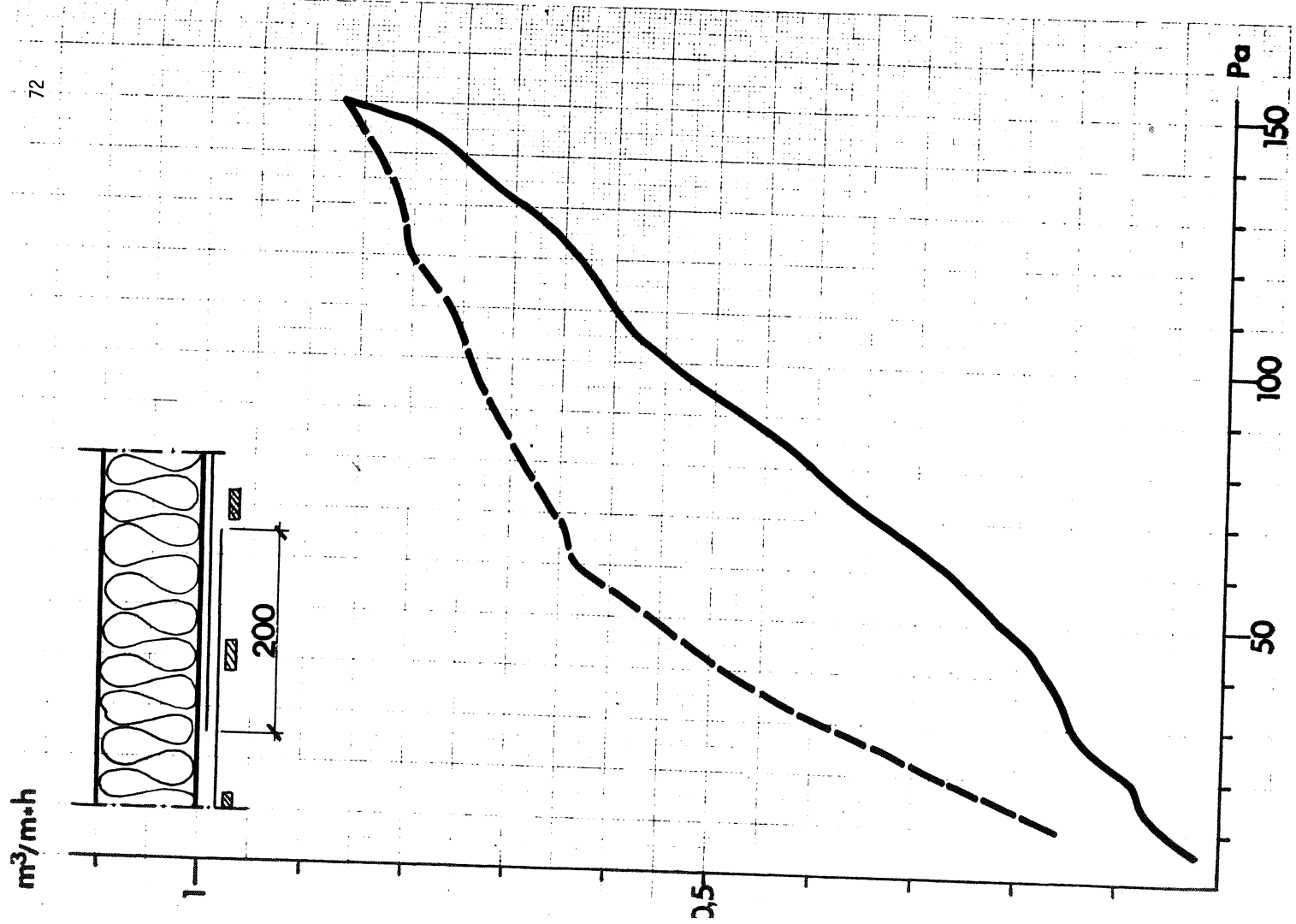


FIG 3.4.19 Sammanställning Prov 13 - 14

72

 $\text{m}^3/\text{m}\cdot\text{h}$

0,5

200

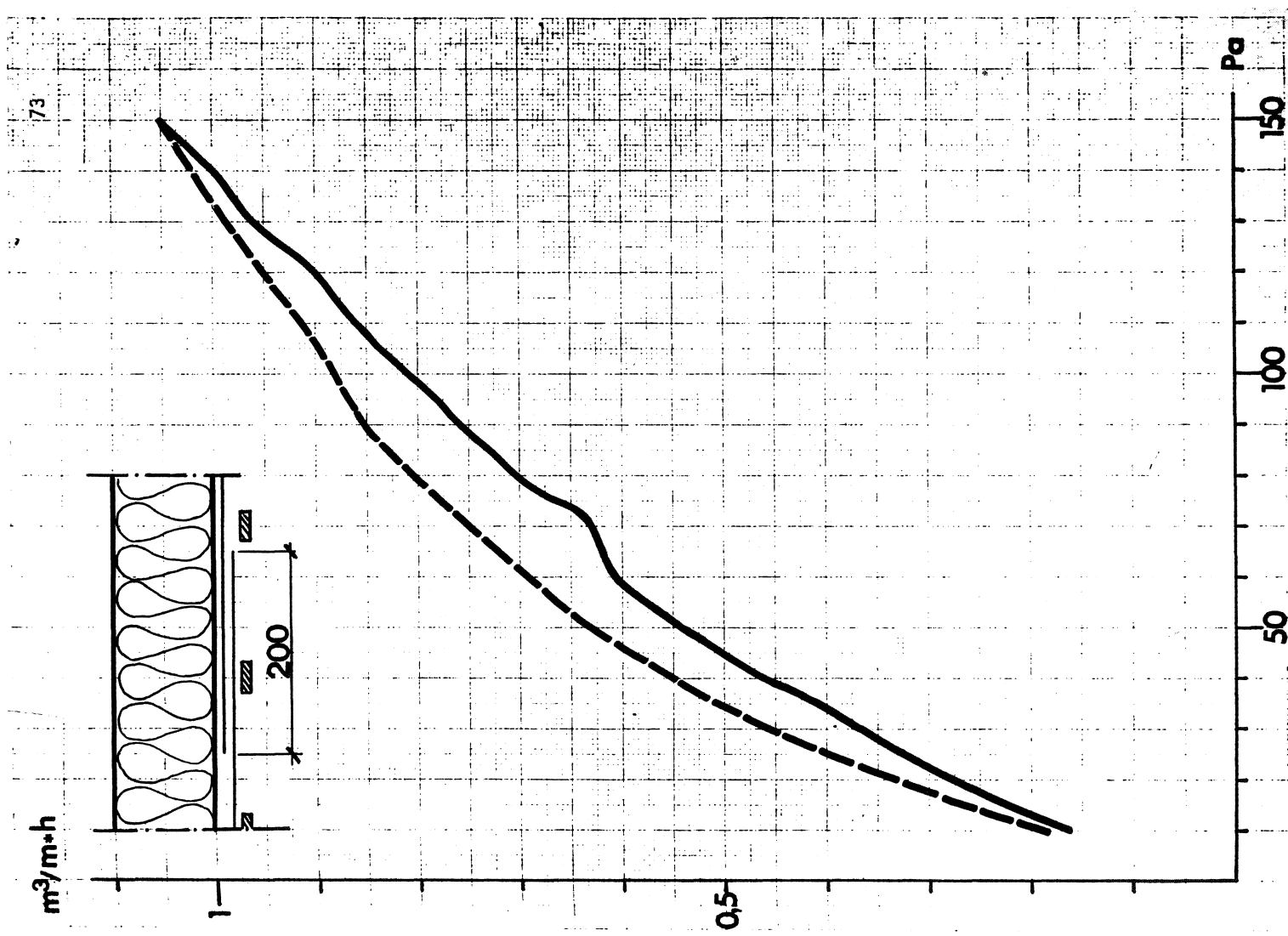
Pa

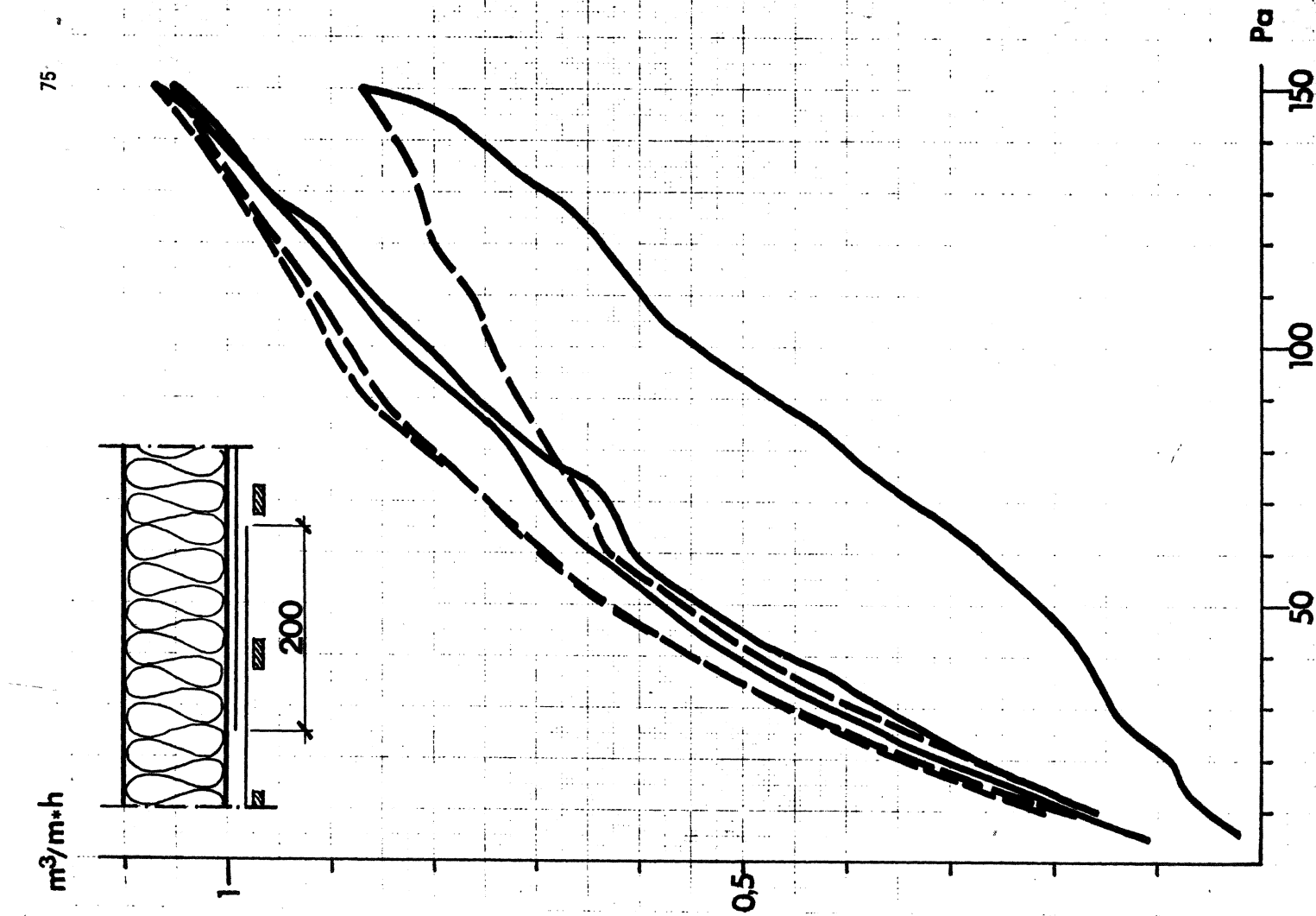
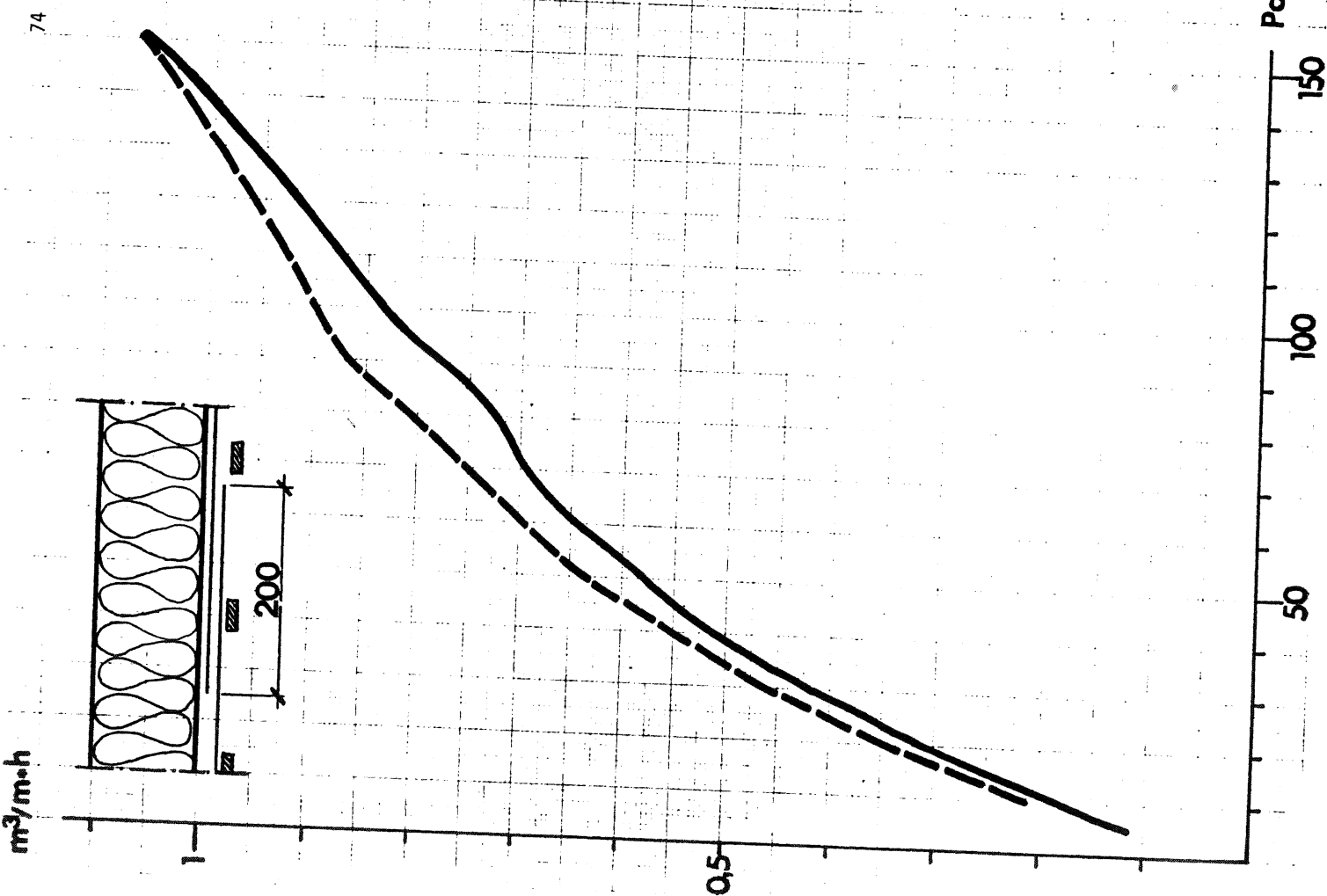
100

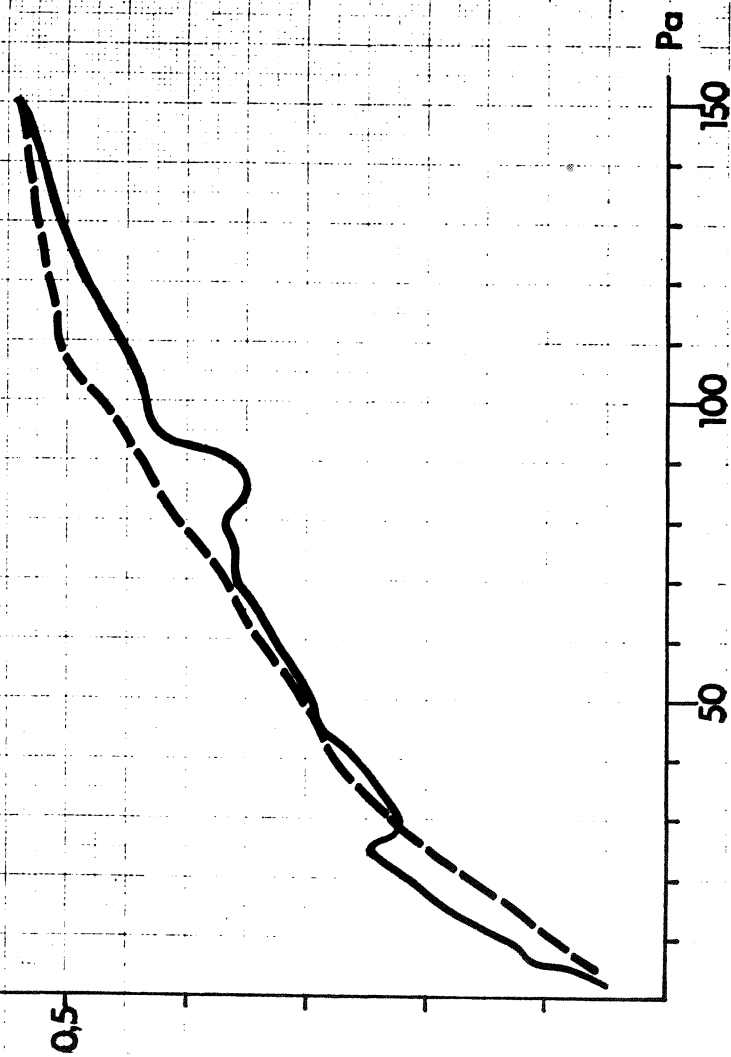
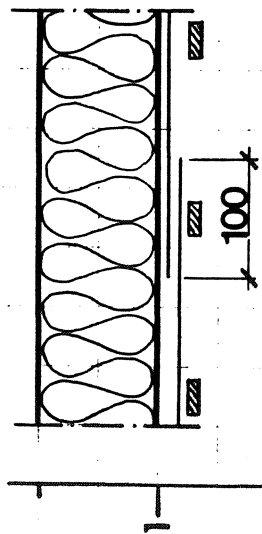
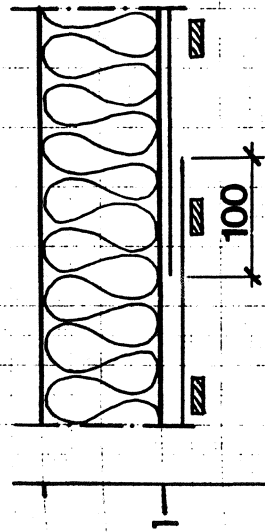
50

150

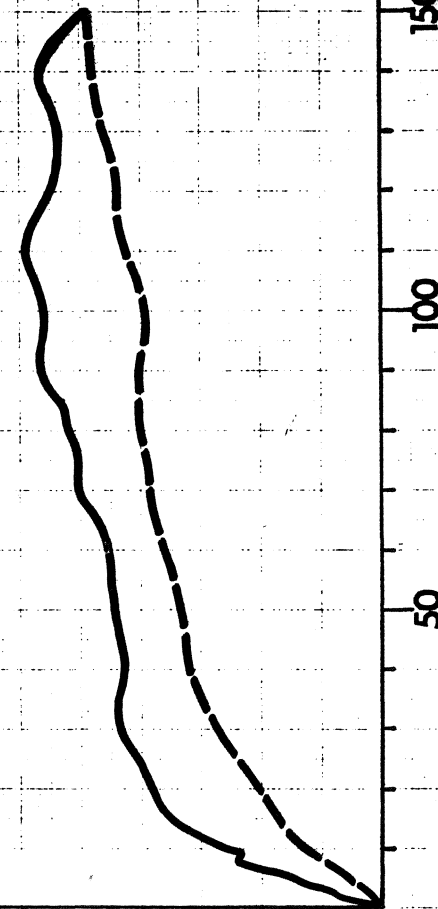
73





$m^3/m \cdot h$  $m^3/m \cdot h$ 

0,5



$m^3/m \cdot h$

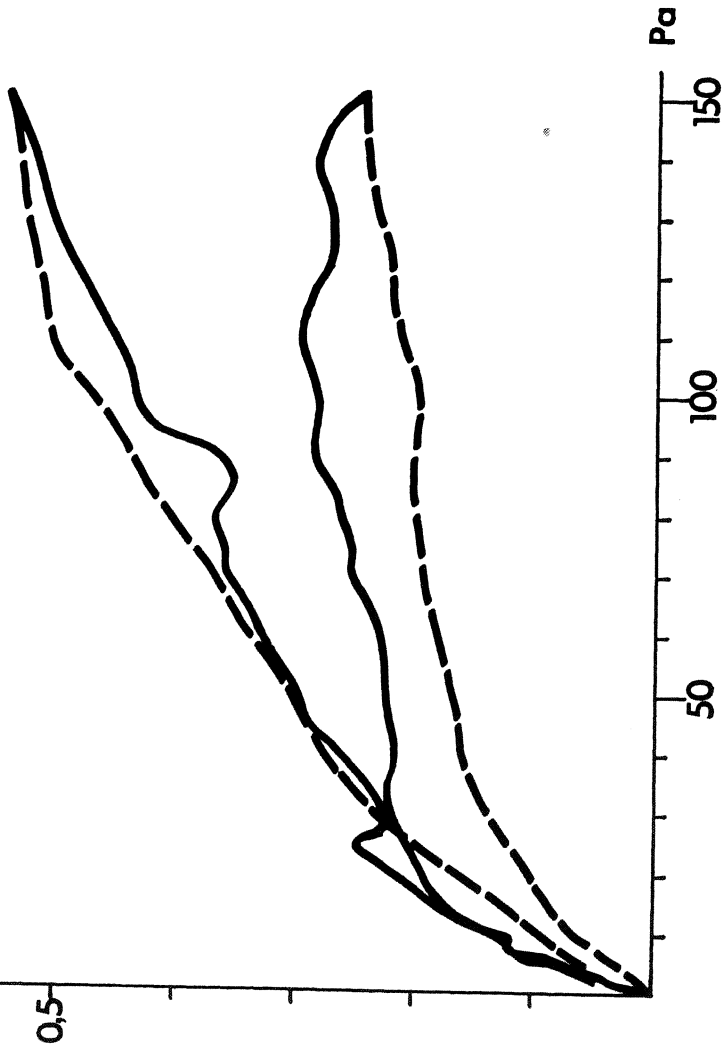
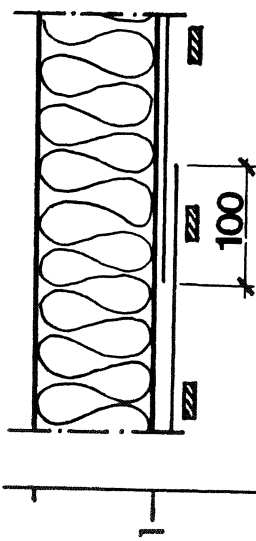


FIG 3.4:26 Sammanställninga Prov 18 - 19

$m^3/m \cdot h$

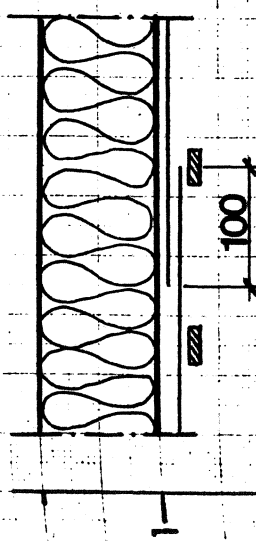


FIG 3.4:27 Prov 20

$m^3/m \cdot h$

80

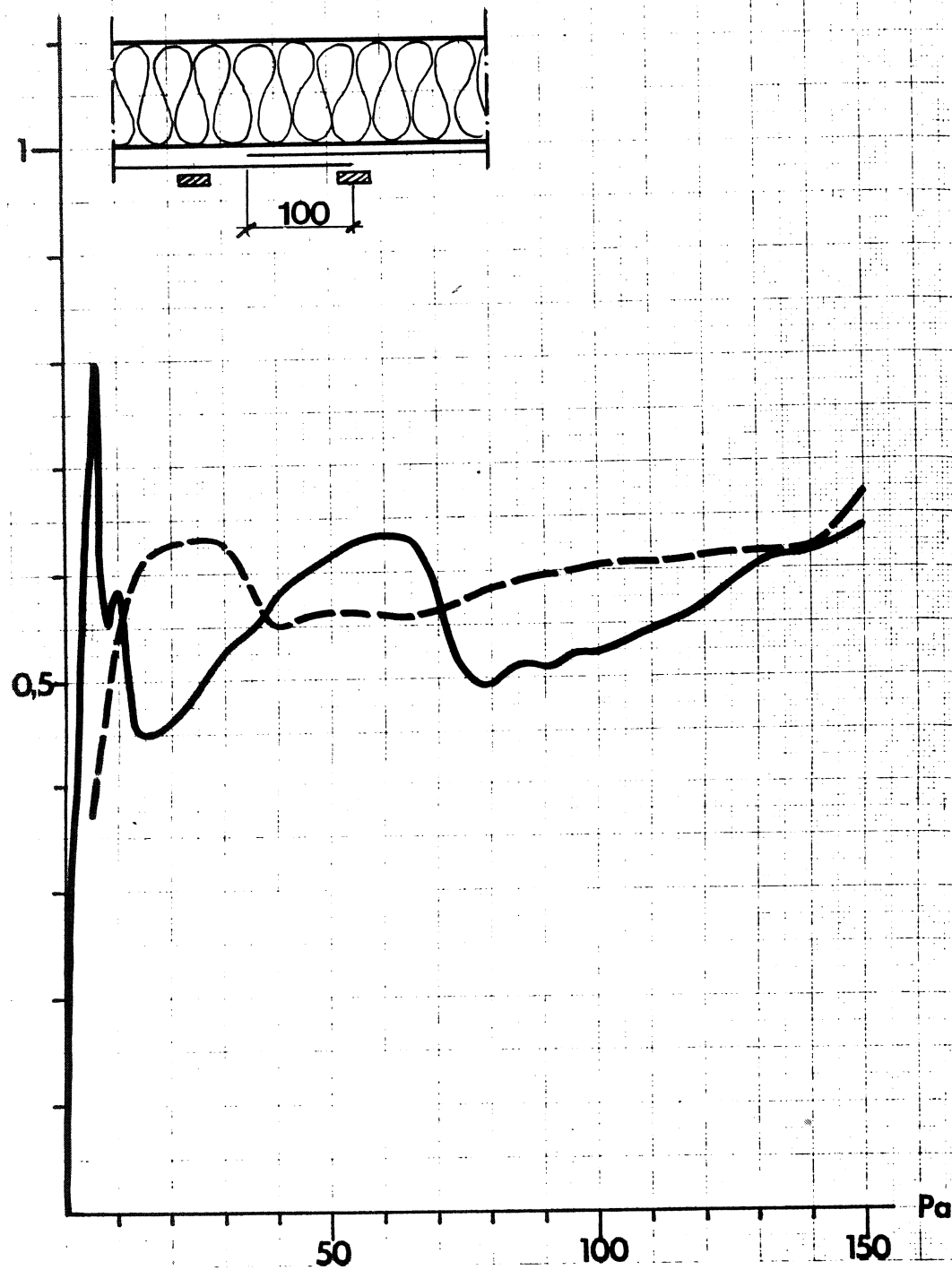


FIG 3.4:28 Proov 21

 $m^3/m \cdot h$

81

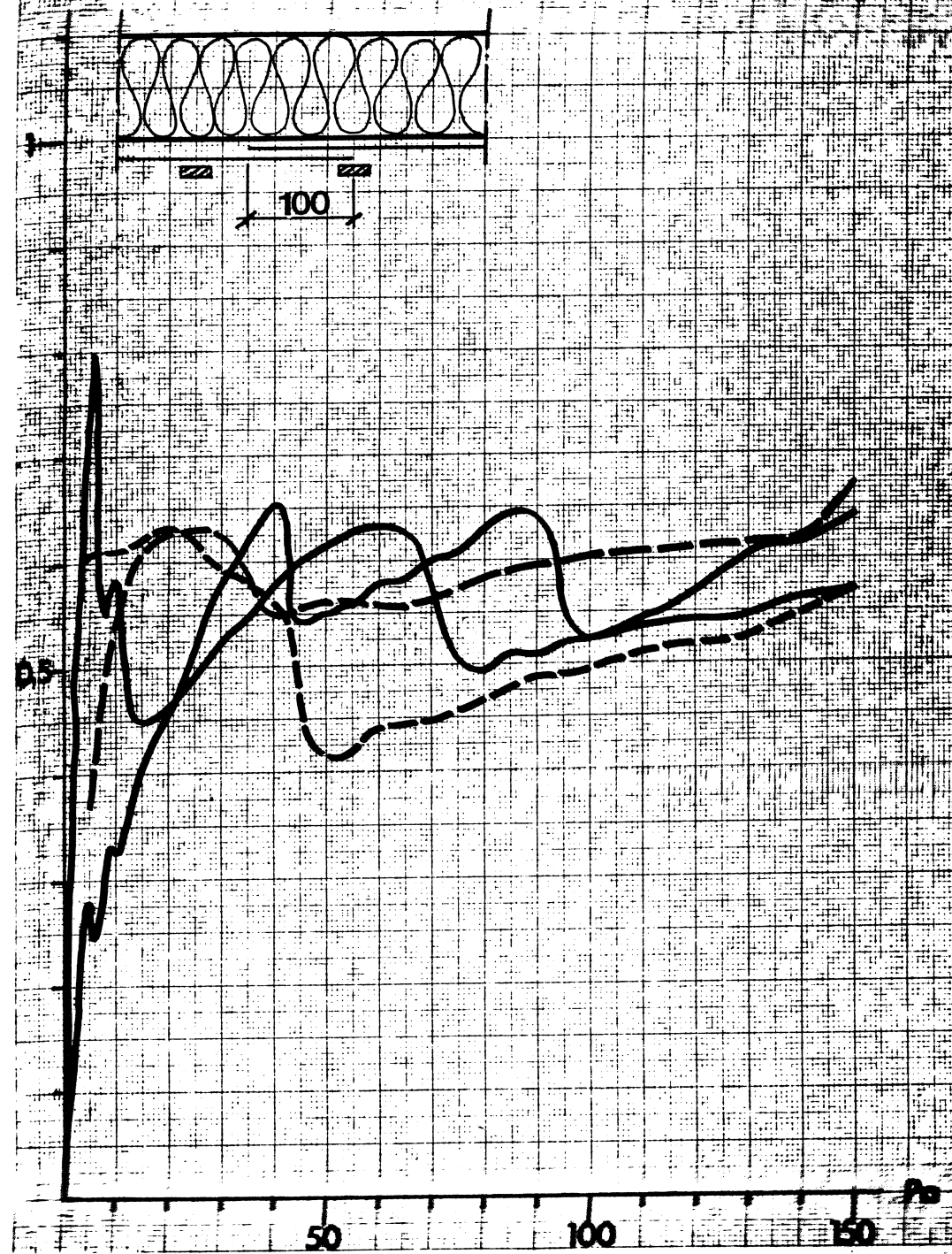


FIG 3.4:29 Sammanställning Proov 20 - 21

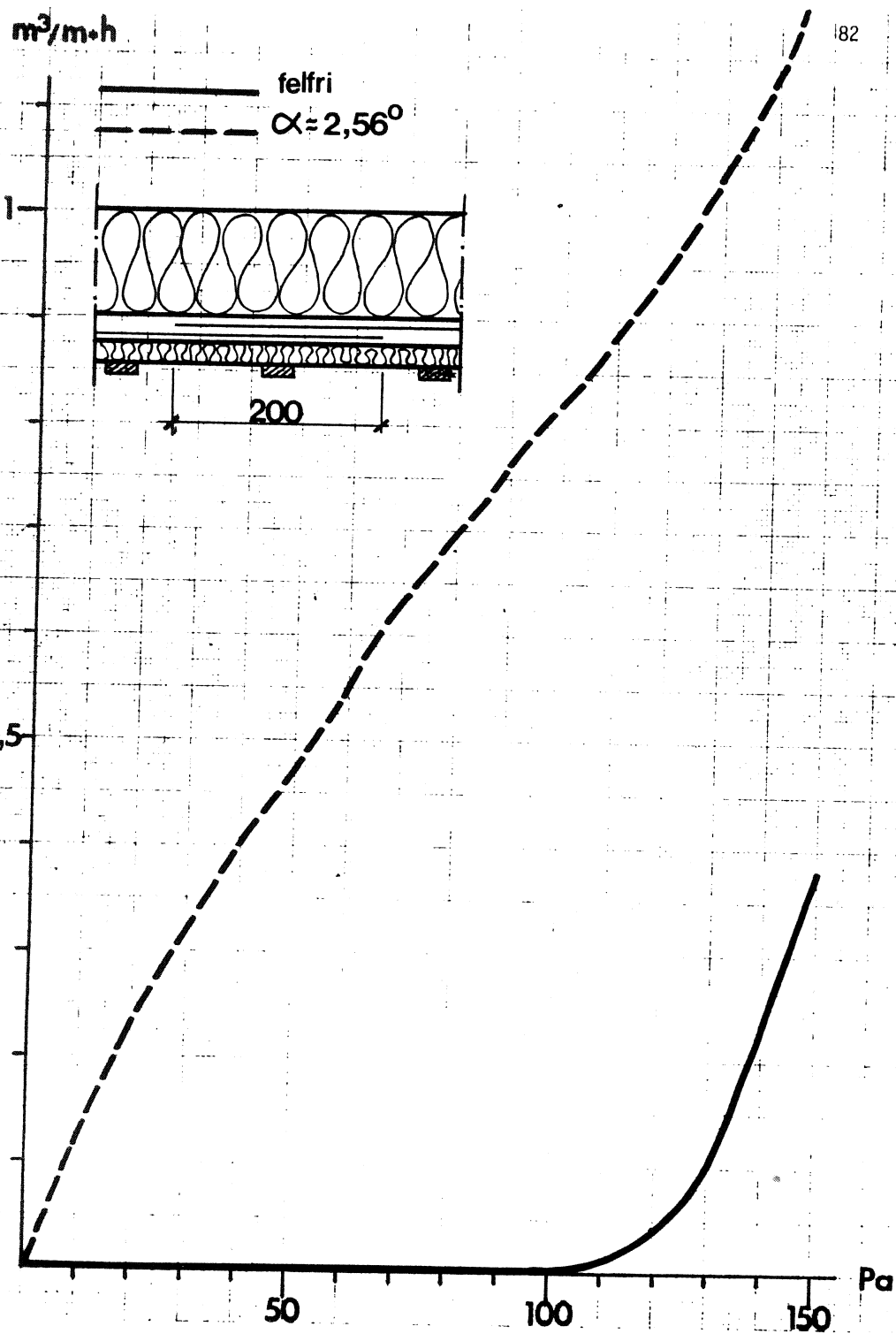


FIG 3.4:30 Omlottskarvad plastfolie mellan två isoleringsskikt.

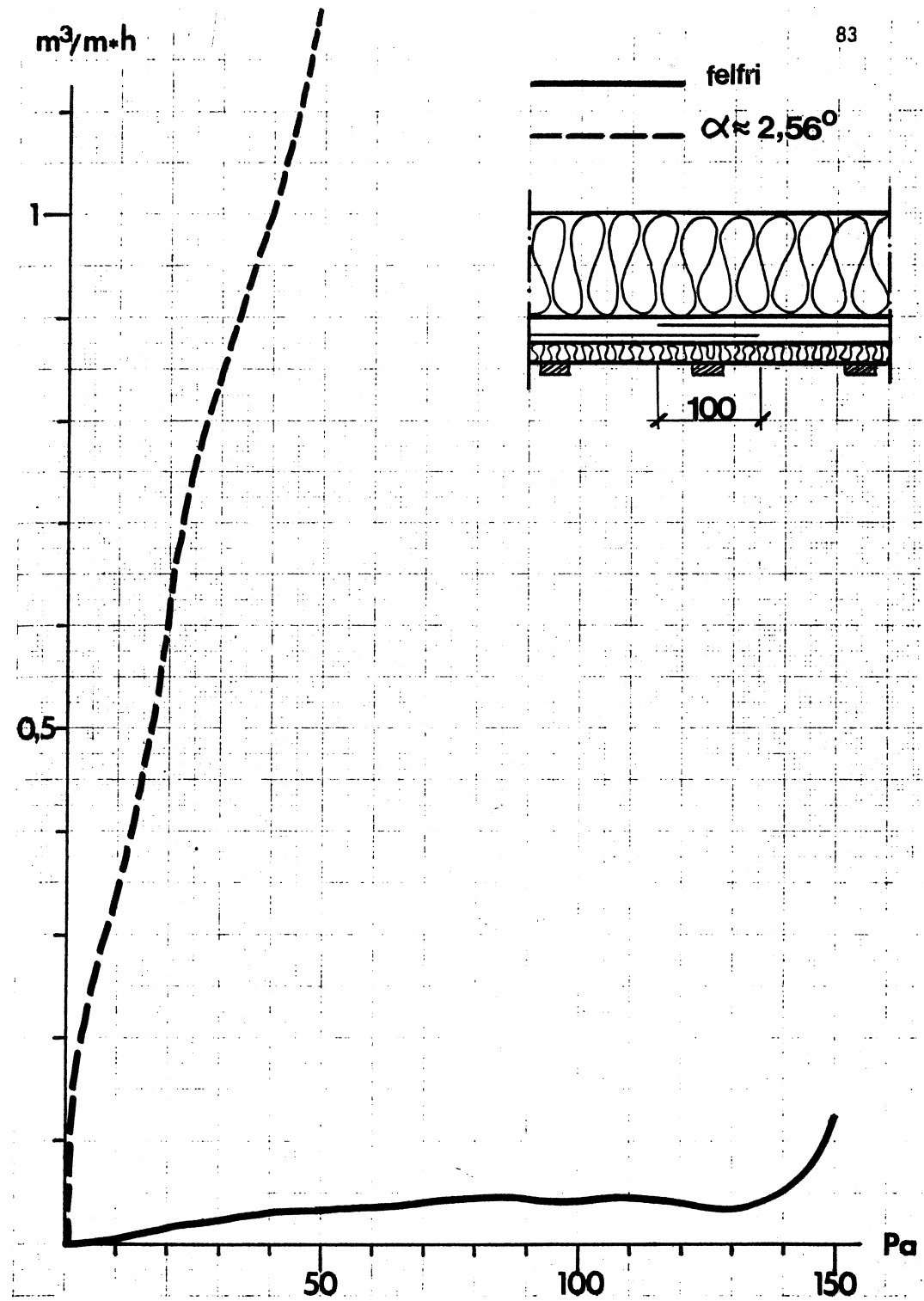


FIG 3.4:31 Prov 32

FIG 3.4:32 Plastfolieanslutning mot träregel klämd med spikad slätplåt.

FIG 3.4:33 Prov 42

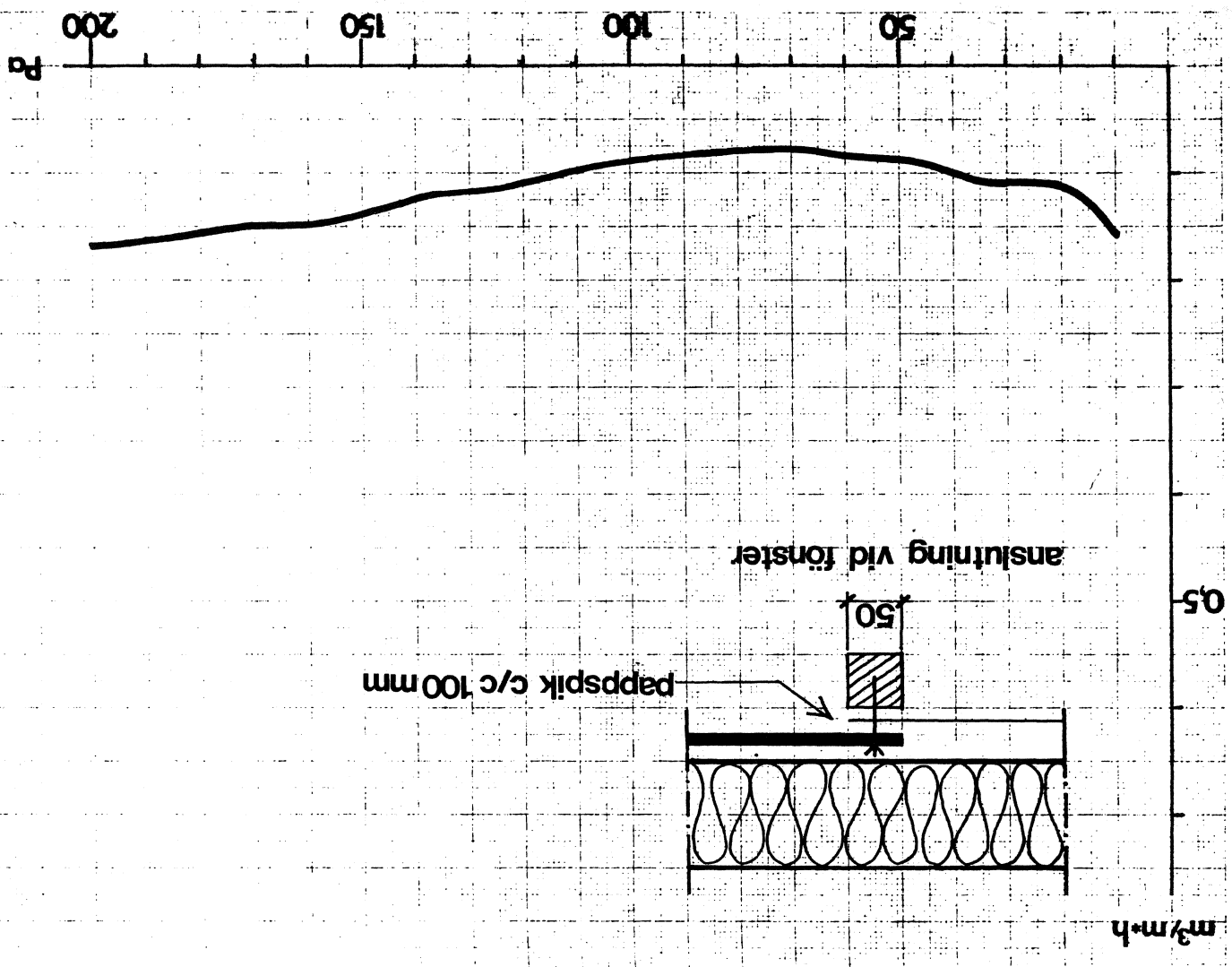
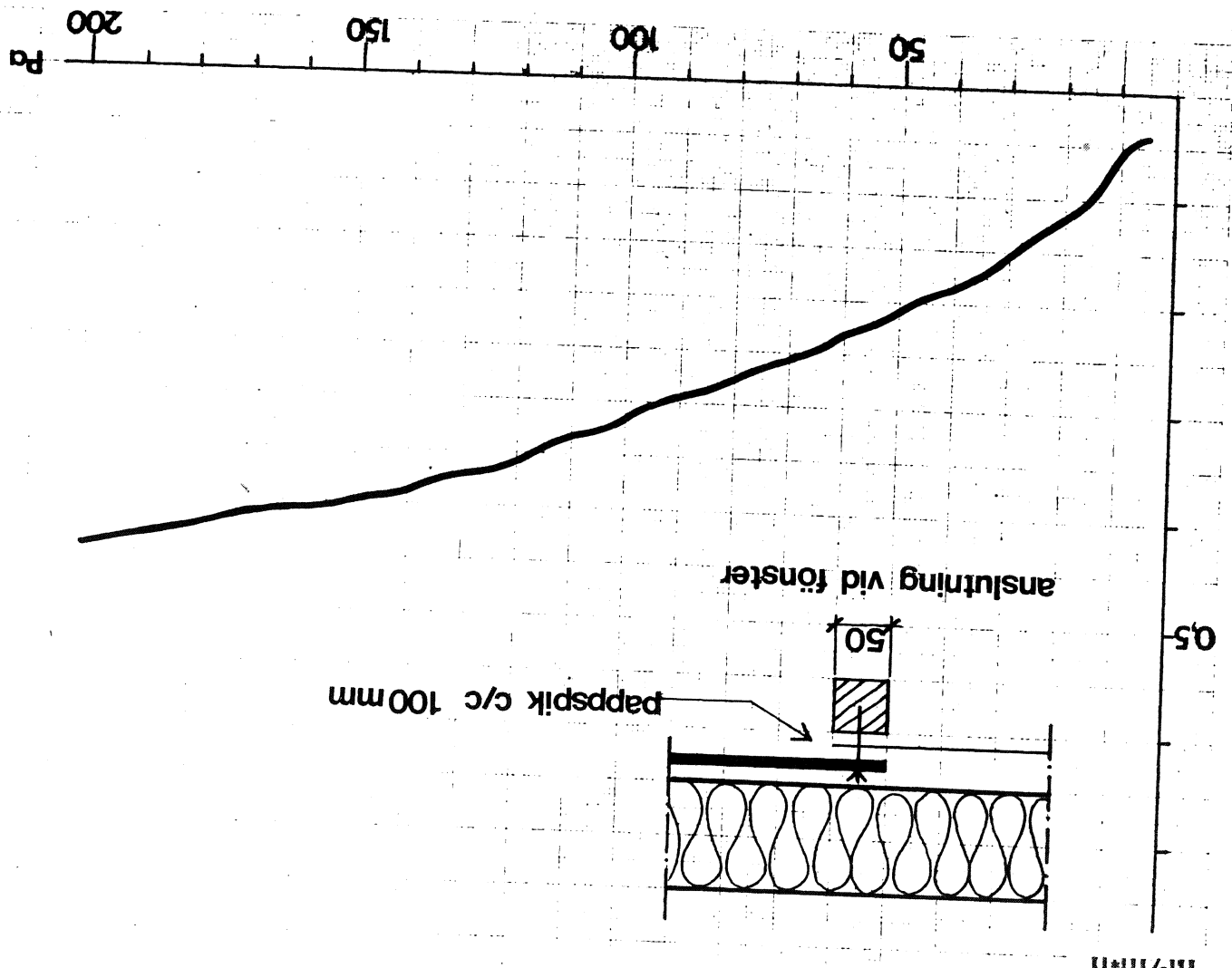


FIG 3.4:34 Prov 43

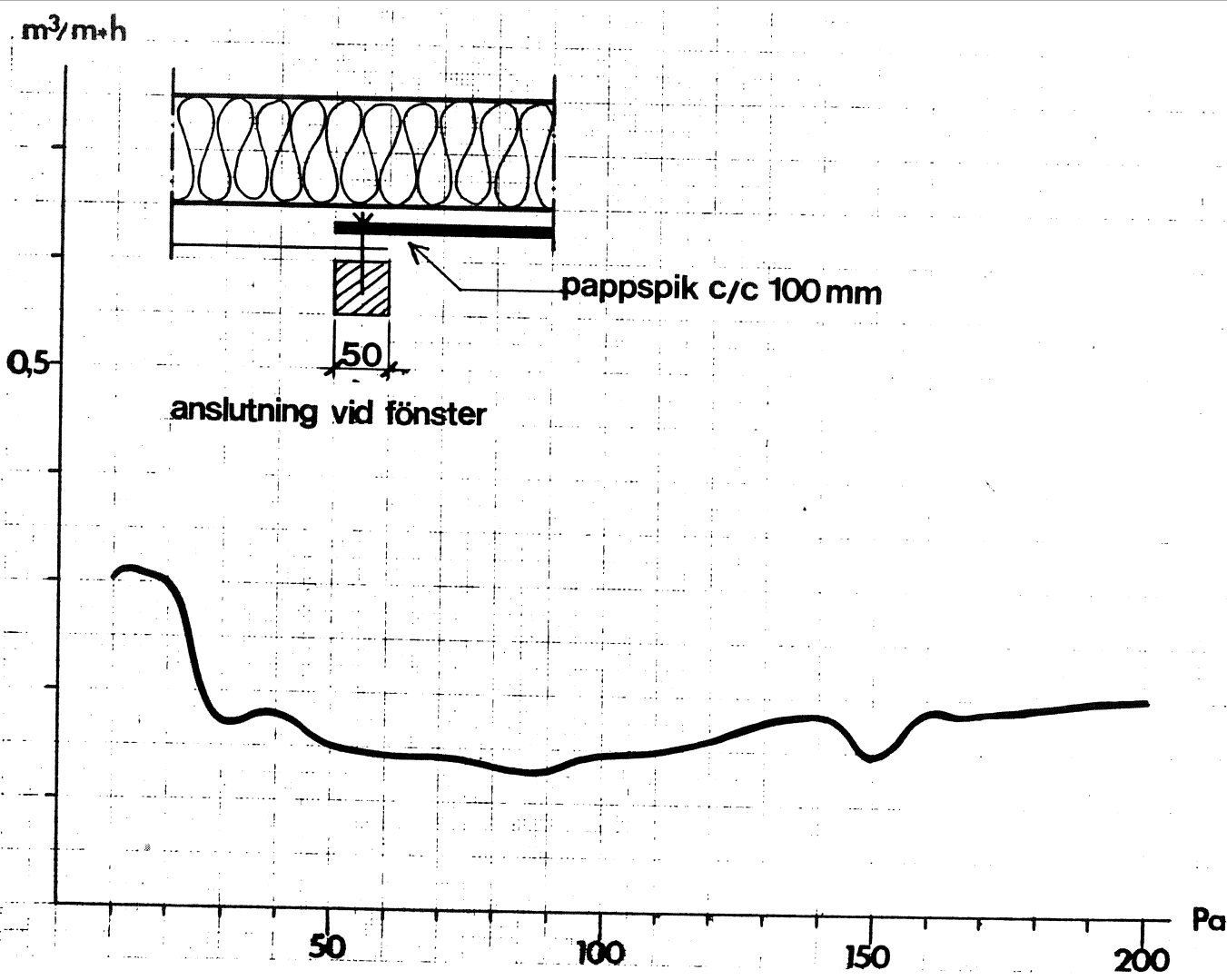


FIG 3.4:35 Sammanställning Prov 41 - 43

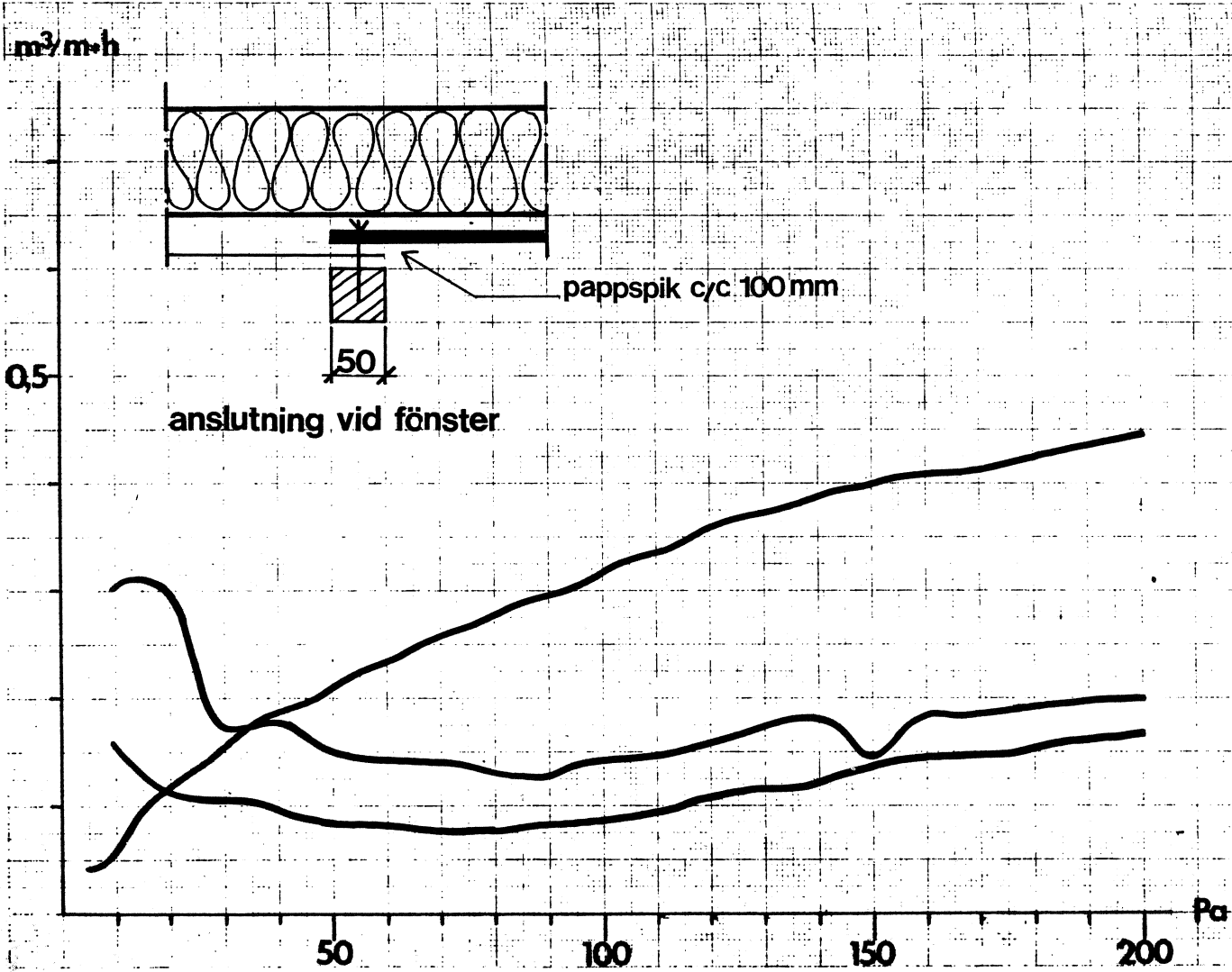


FIG 3.4:36 Prov 44

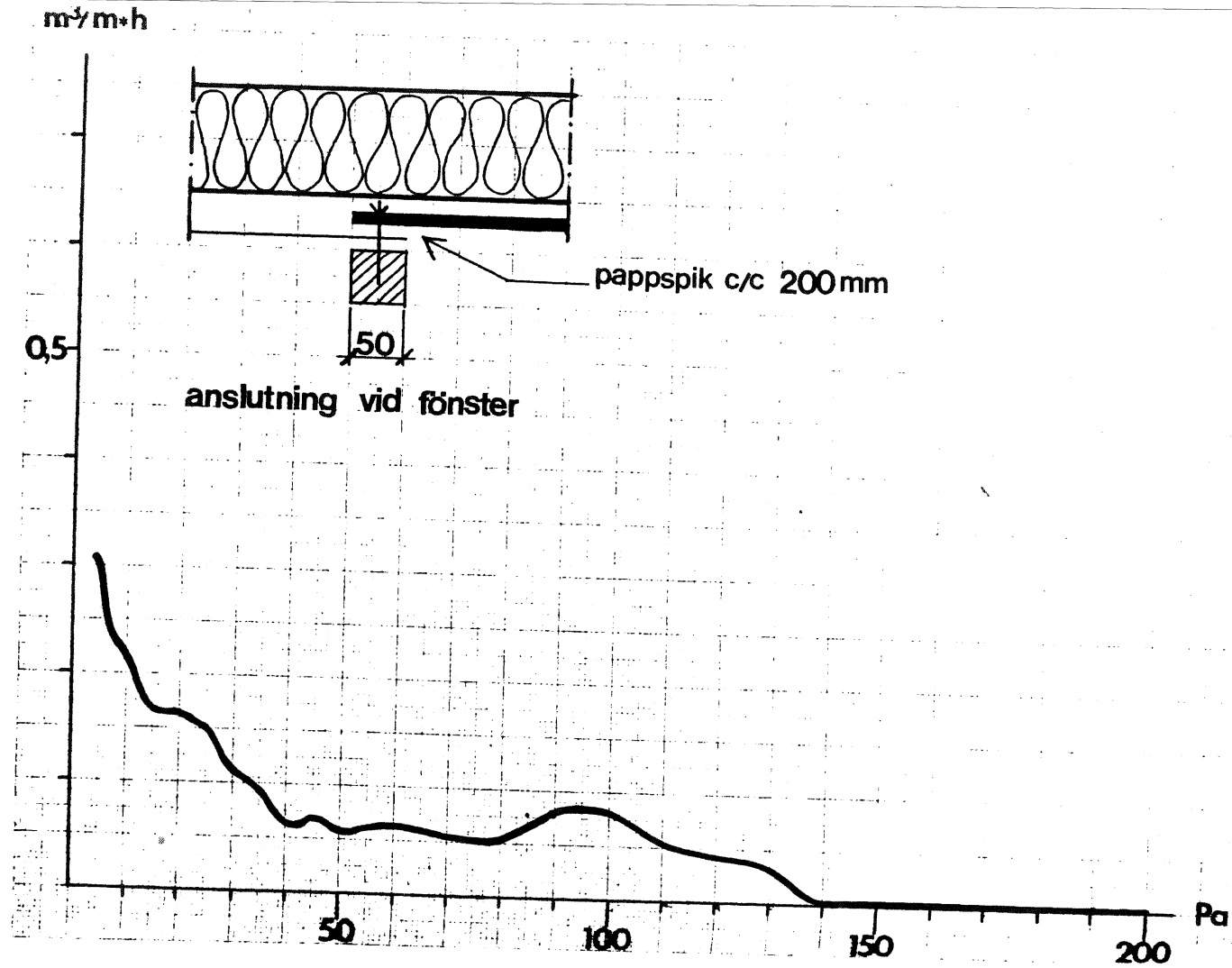
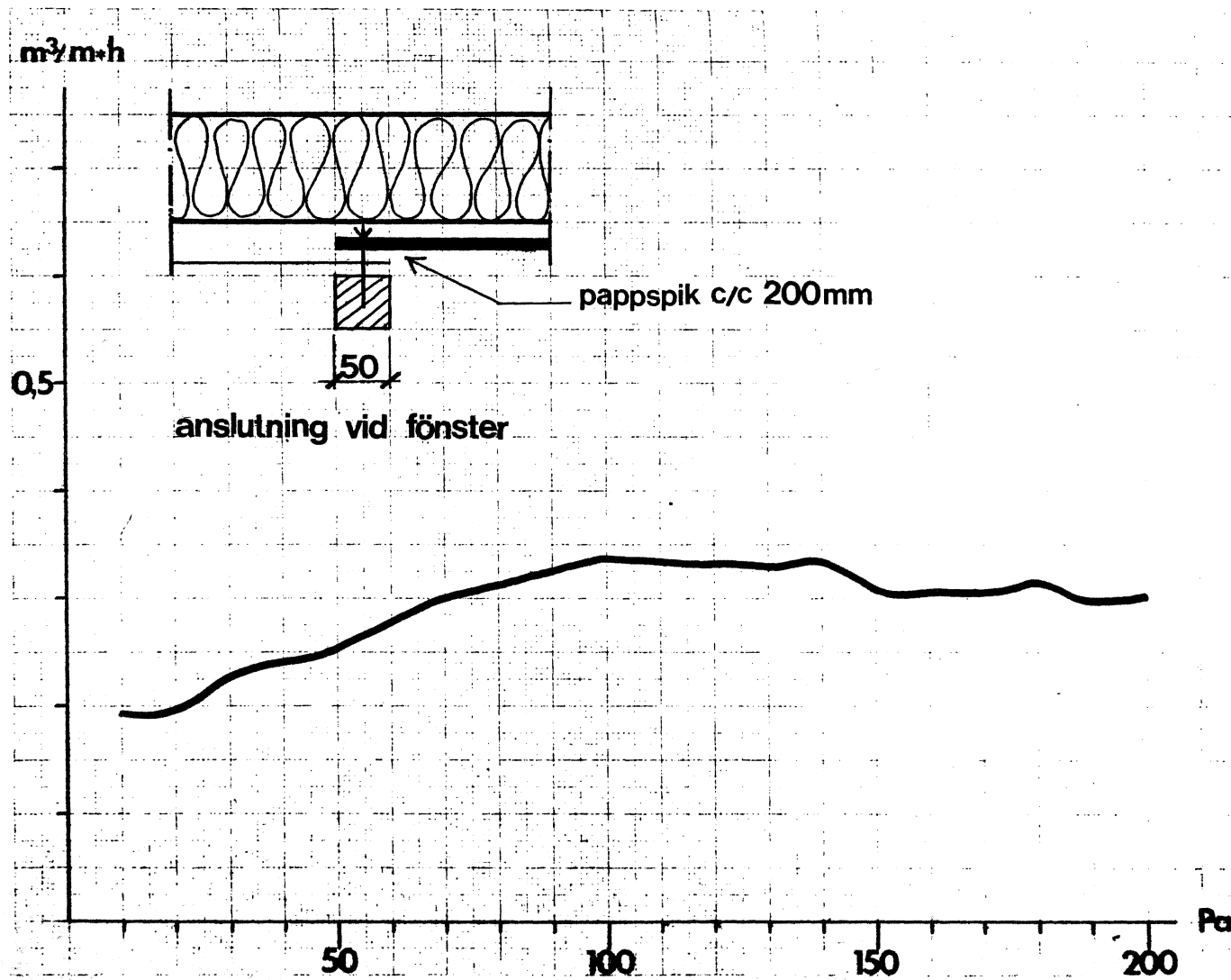


FIG 3.4:37 Prov 45



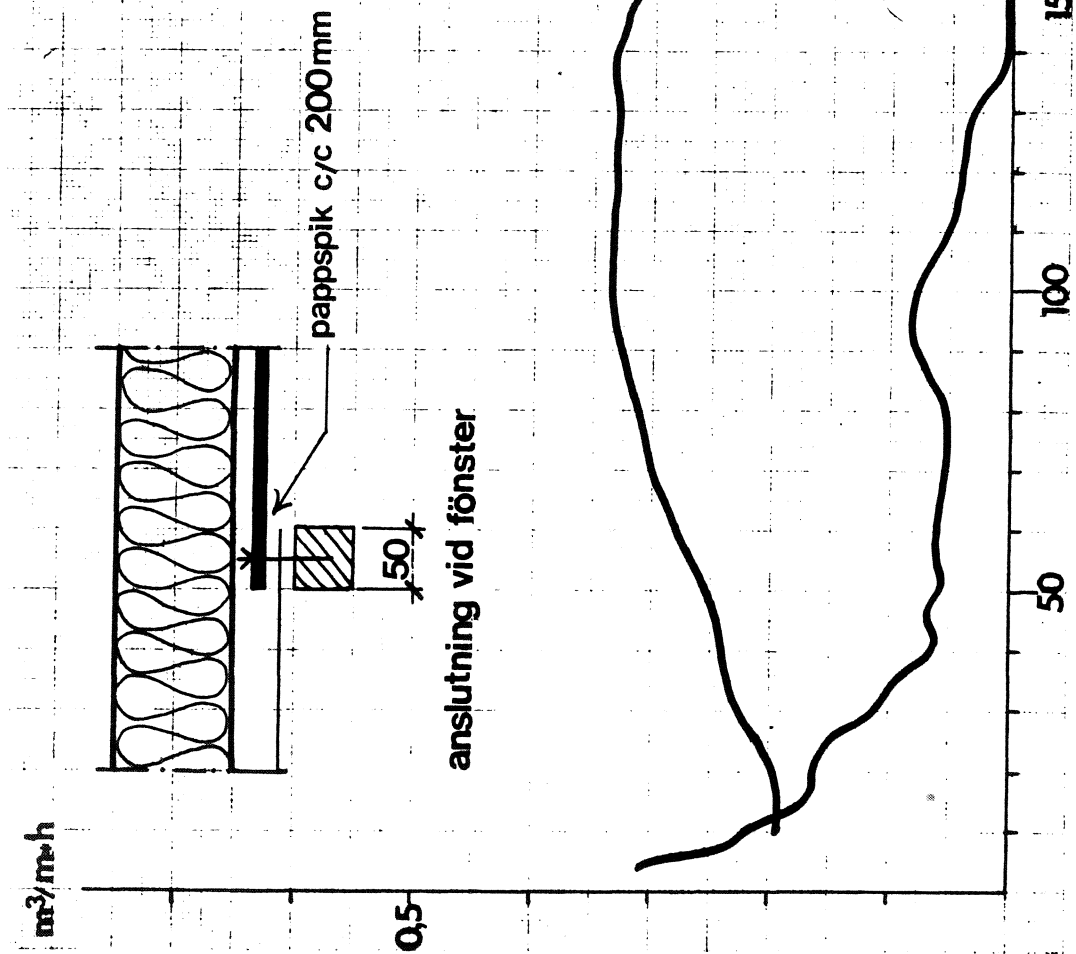


FIG 3.4:38 Sammanställning Prov 44 - 45

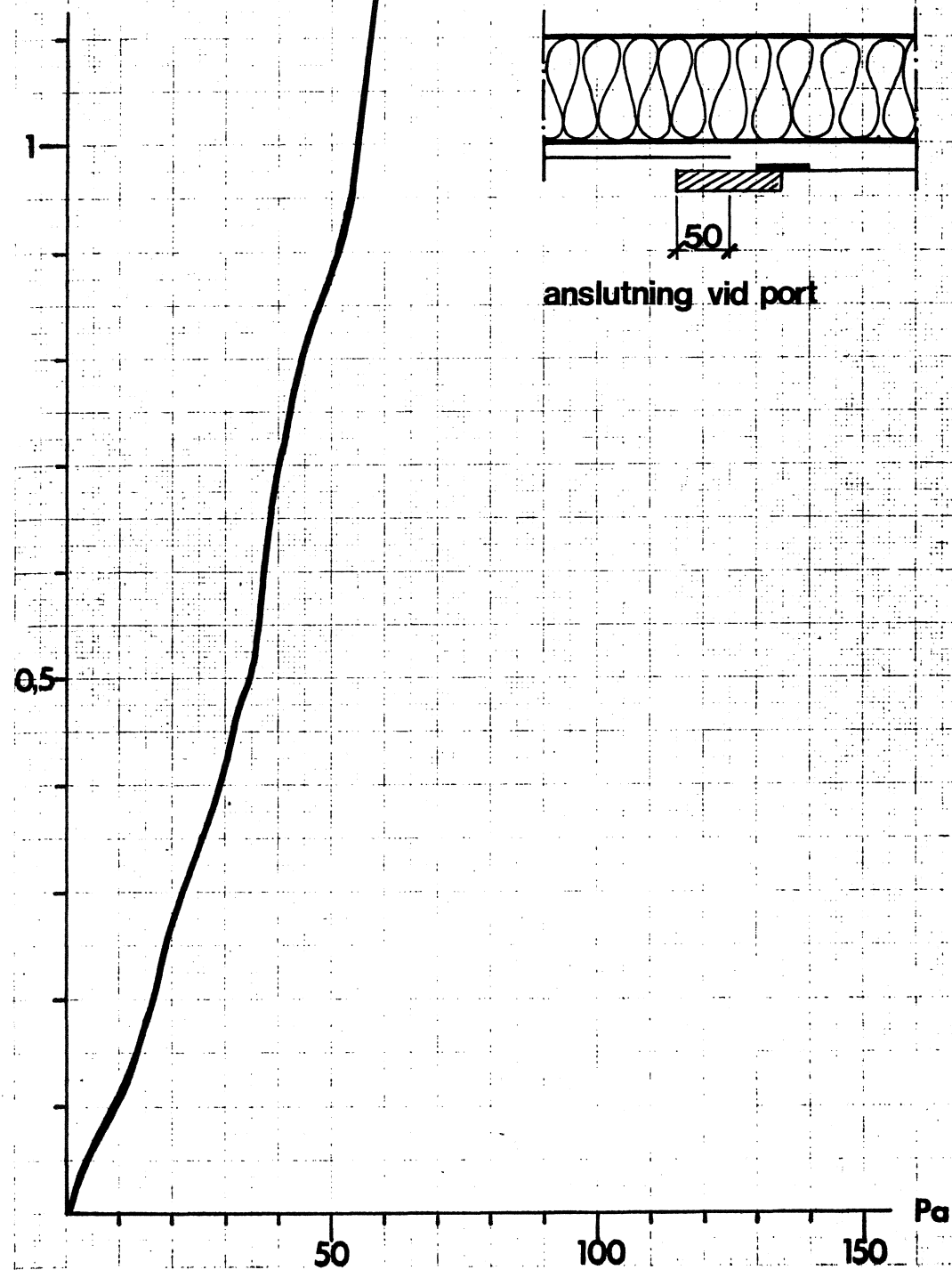


FIG 3.4:39 Plastfolieanslutning mot plåt klämd av lätt isolering.

$m^3/m \cdot h$

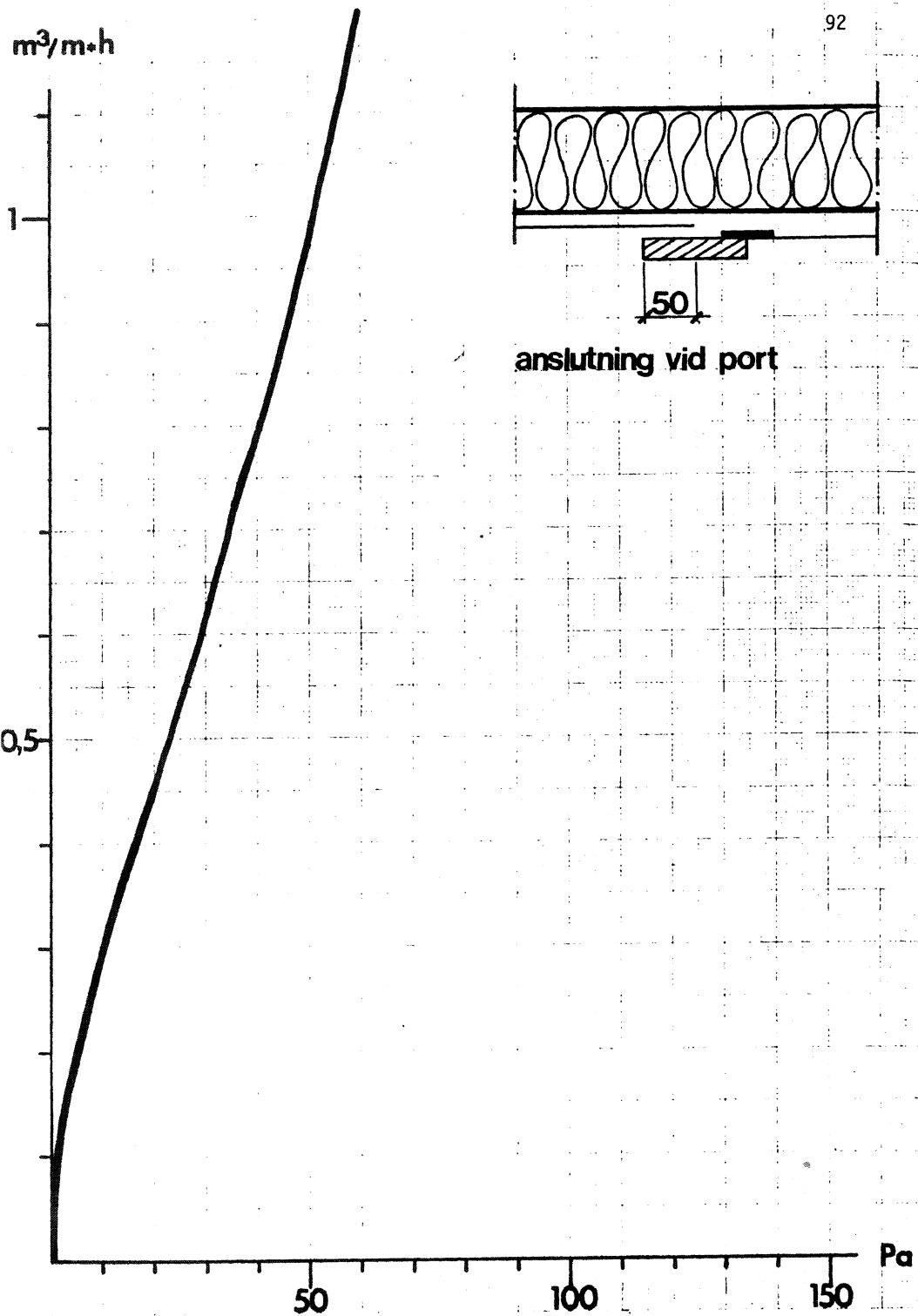


FIG 3.4:40. Prov 52

$m^3/m \cdot h$

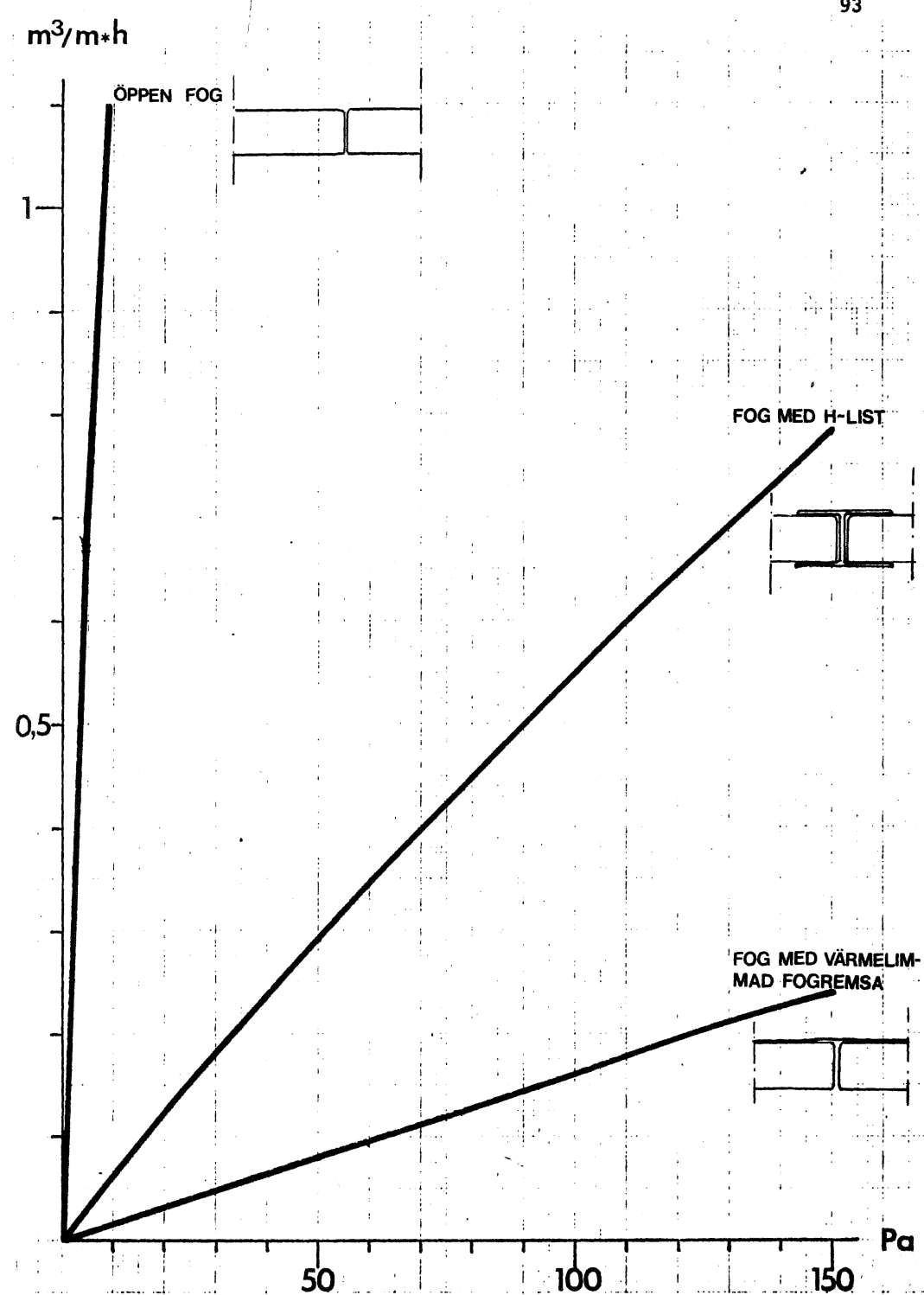


FIG 3.4:41. Vindskyddande beklädnad av dinsskivor (GNII) utan och med

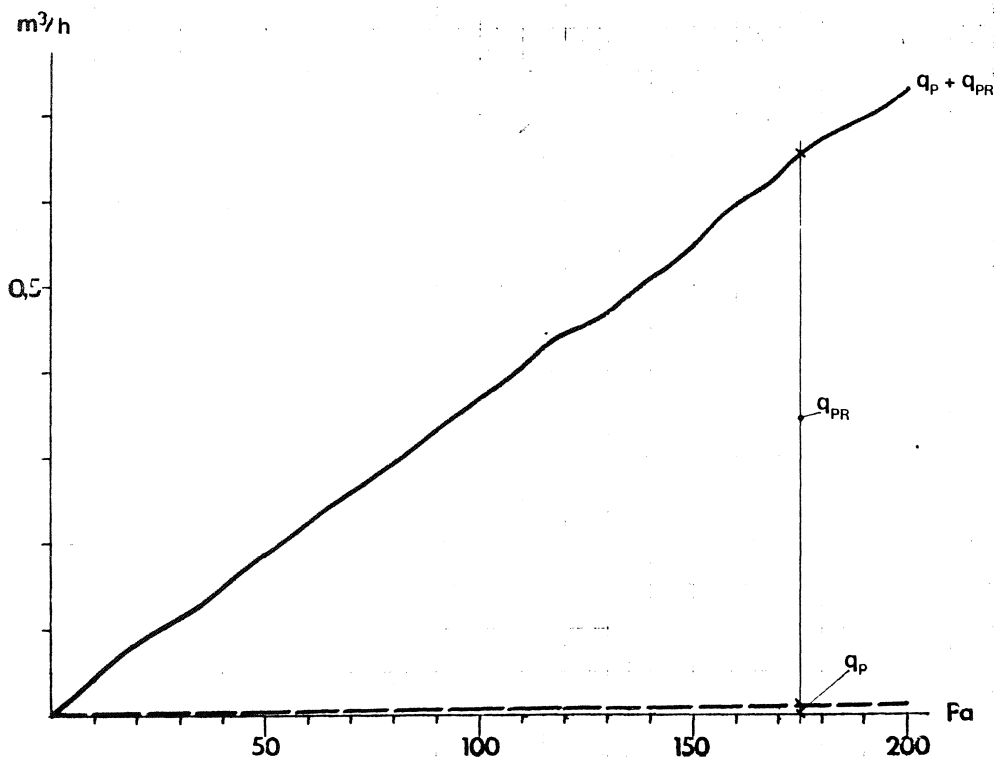


FIG 3.5:1 Luftflöde genom provlåda (q_p) och vid provlådans anliggningsyta q_{PR} . Vid anliggning mot lättbetongelement.

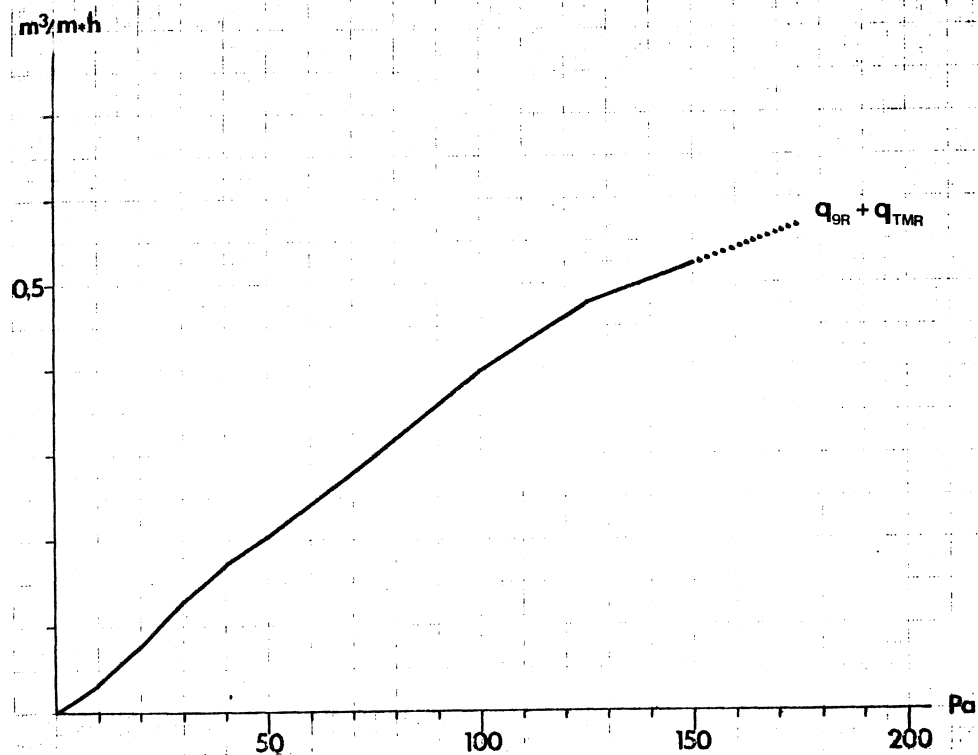


FIG 3.5:2 Luftflöde förbi tätningslist (typ 9) och tätningsmassa mellan två lättbetongelement. Tätningsens bredd: 14 mm.

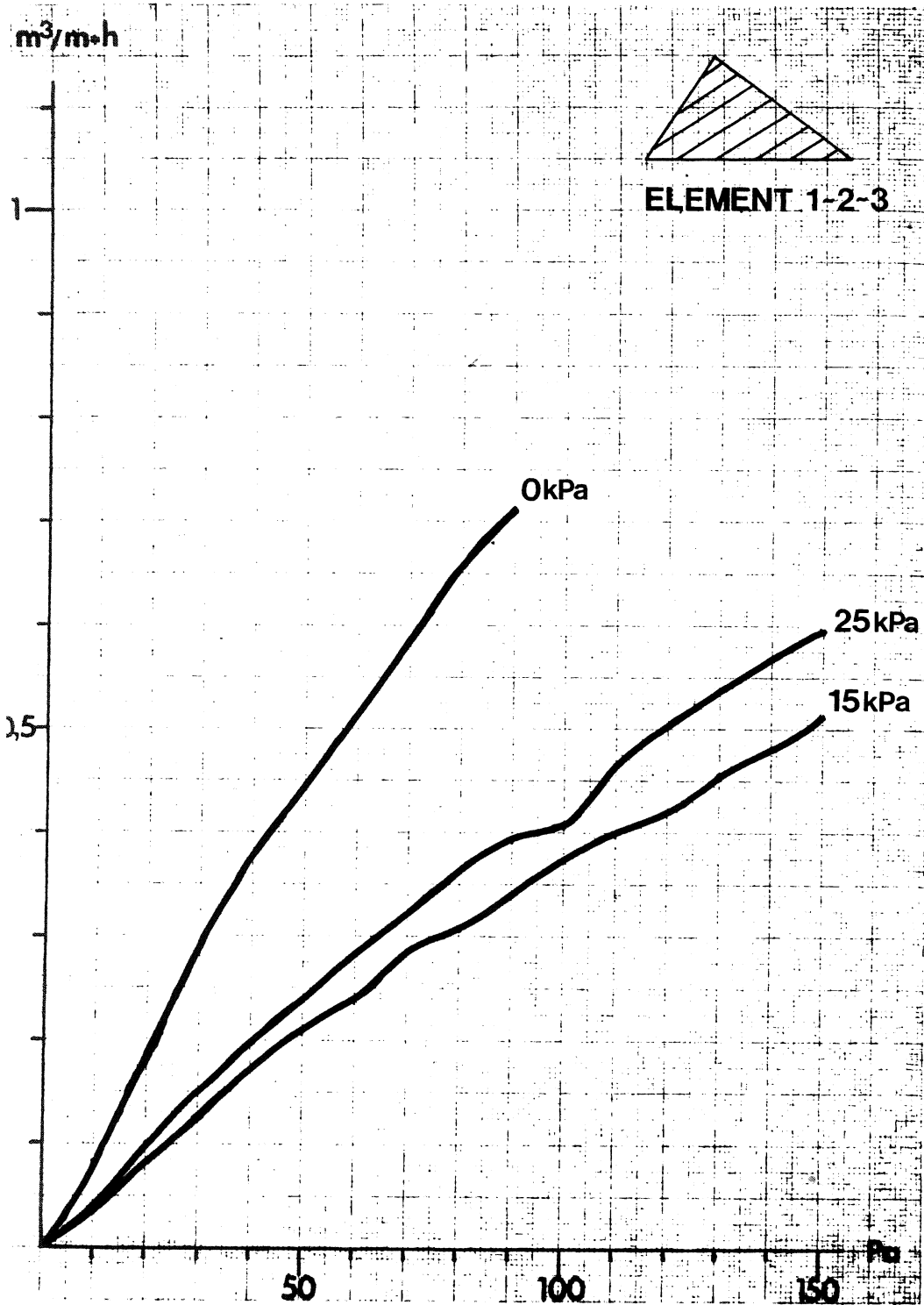


FIG 3.5:3 Horisontella fogar mellan liggande väggelement av lättbetong. Presstryck mätt på lättbetongtvärsnittet.

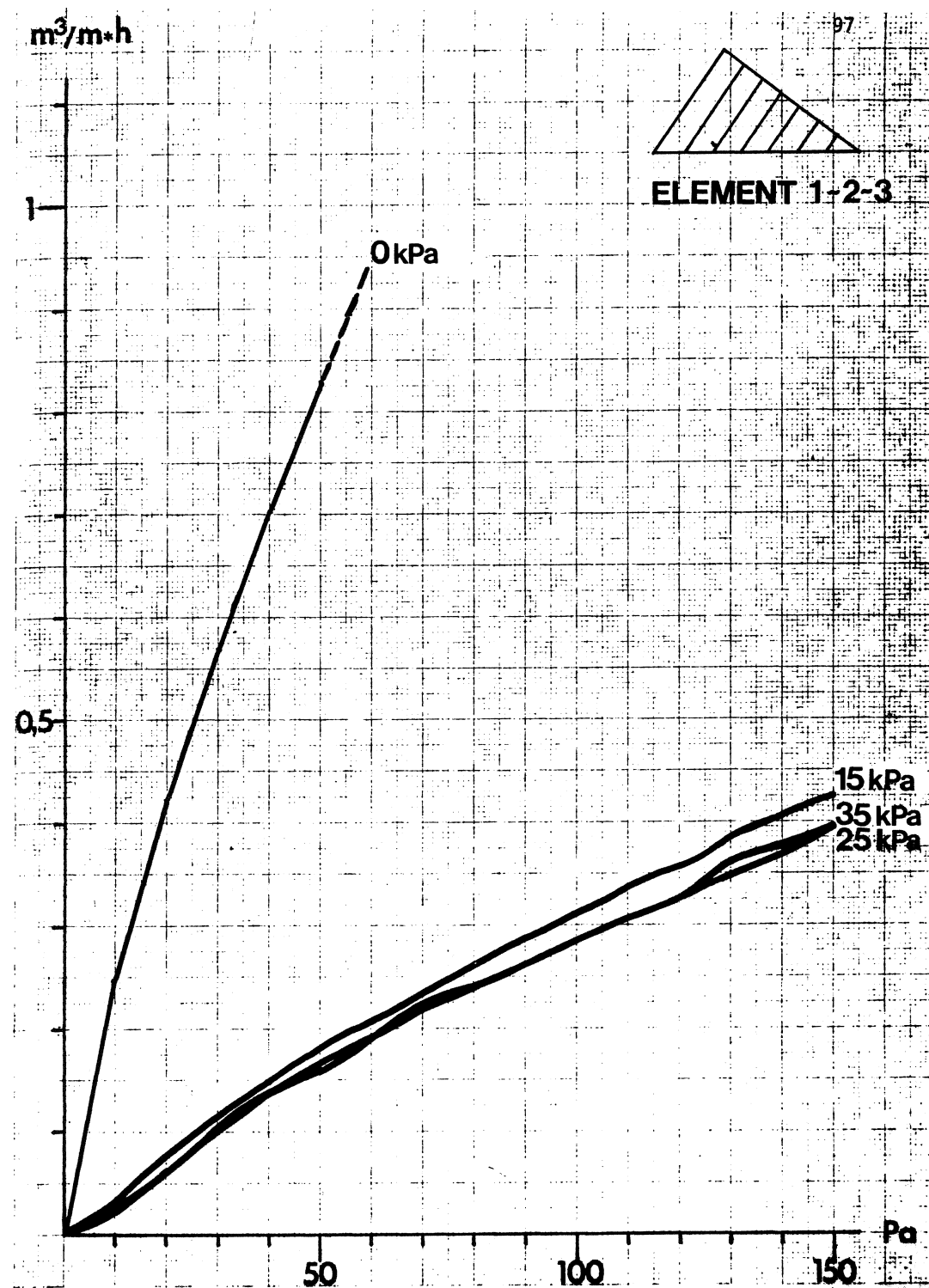


FIG 3.5:4 Prov L2.

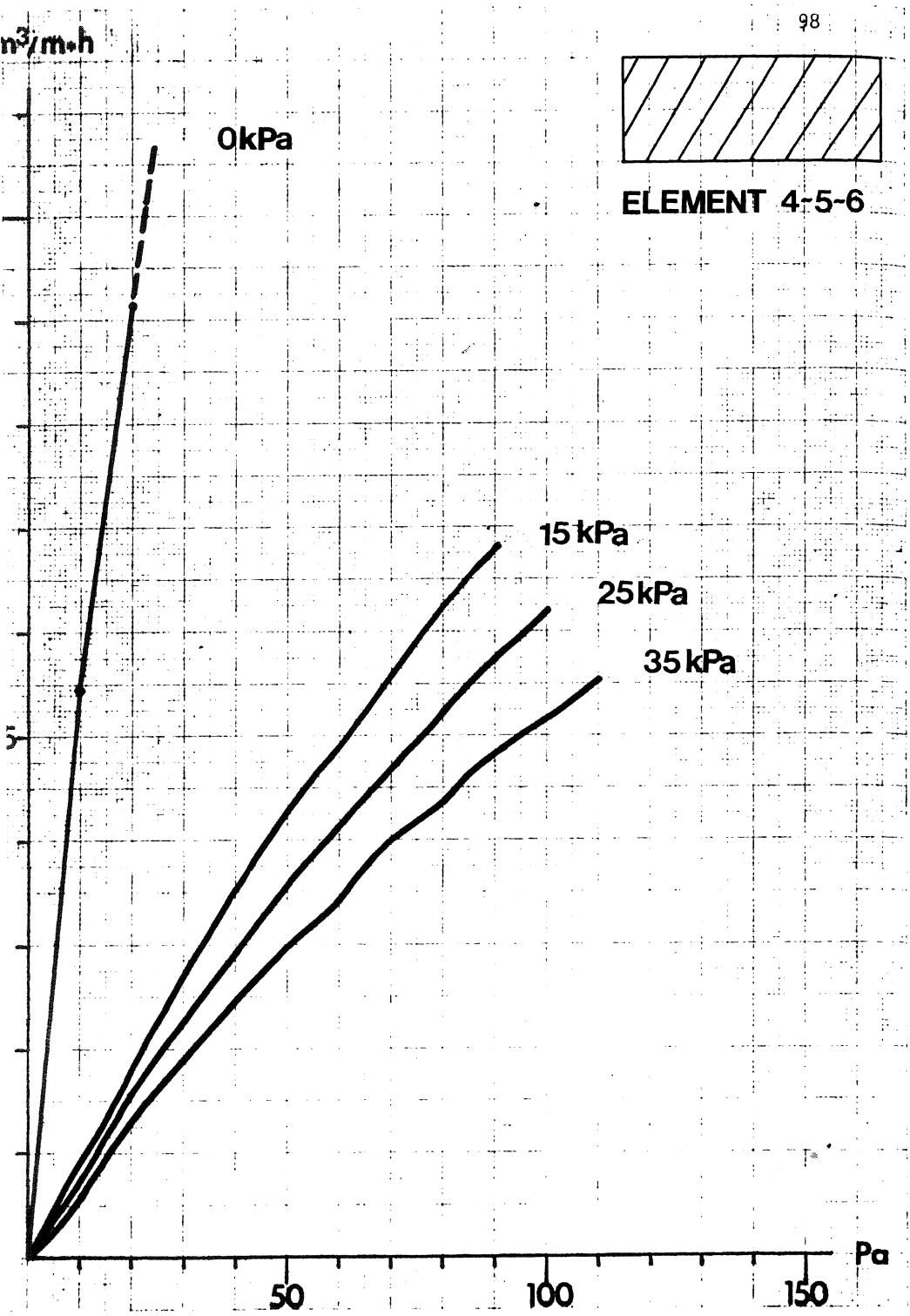


FIG. 2.5-5 Page 12

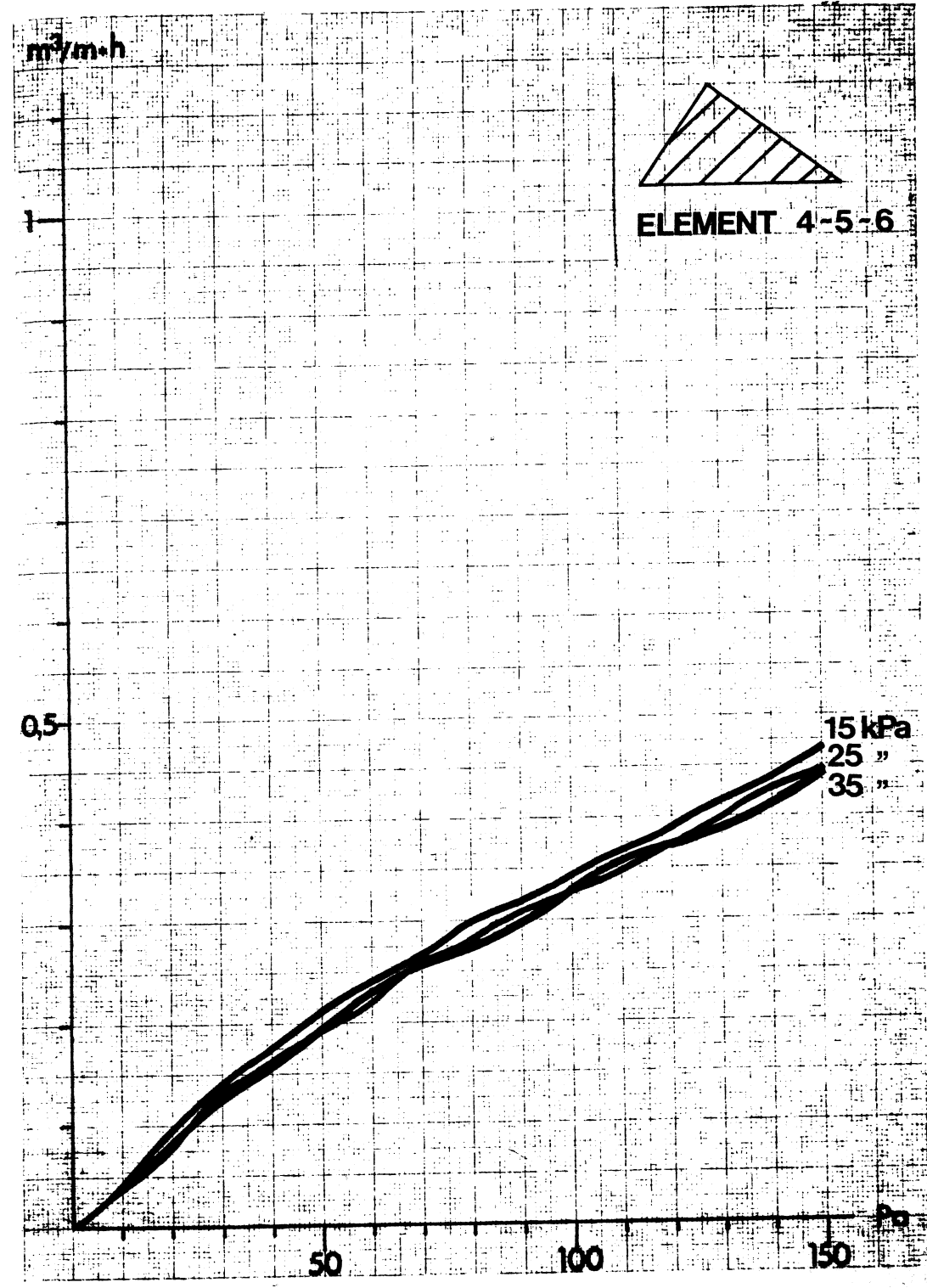


FIG. 2.5-6 Page 14

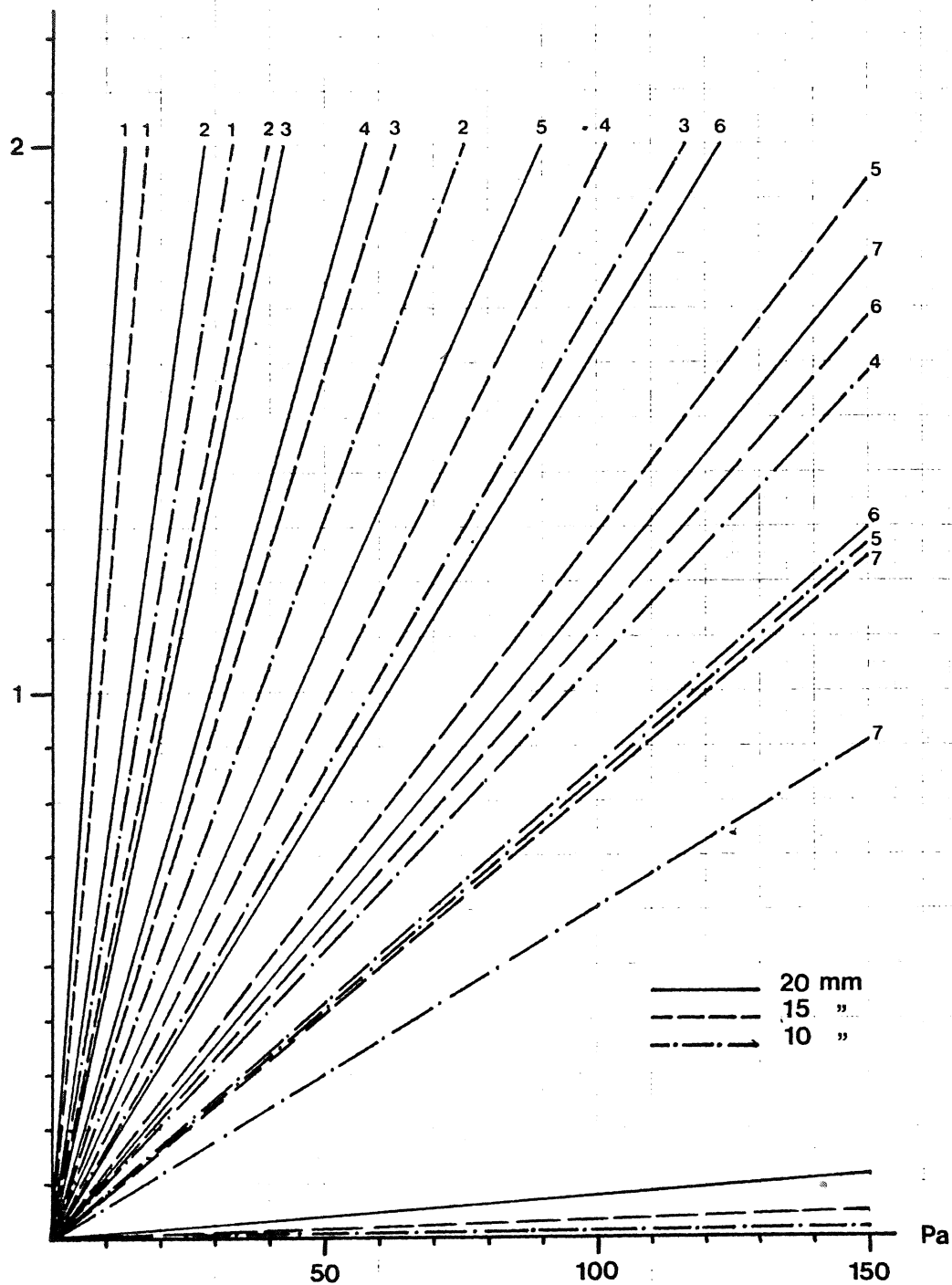


FIG 3.5:7. Fibermassor (30 x 50 glasull) i fog mellan täta väggar. Siffror anger antal remсор. Nedre kurvor anger 1 omg. tätfiber (Gullfiber 1651).

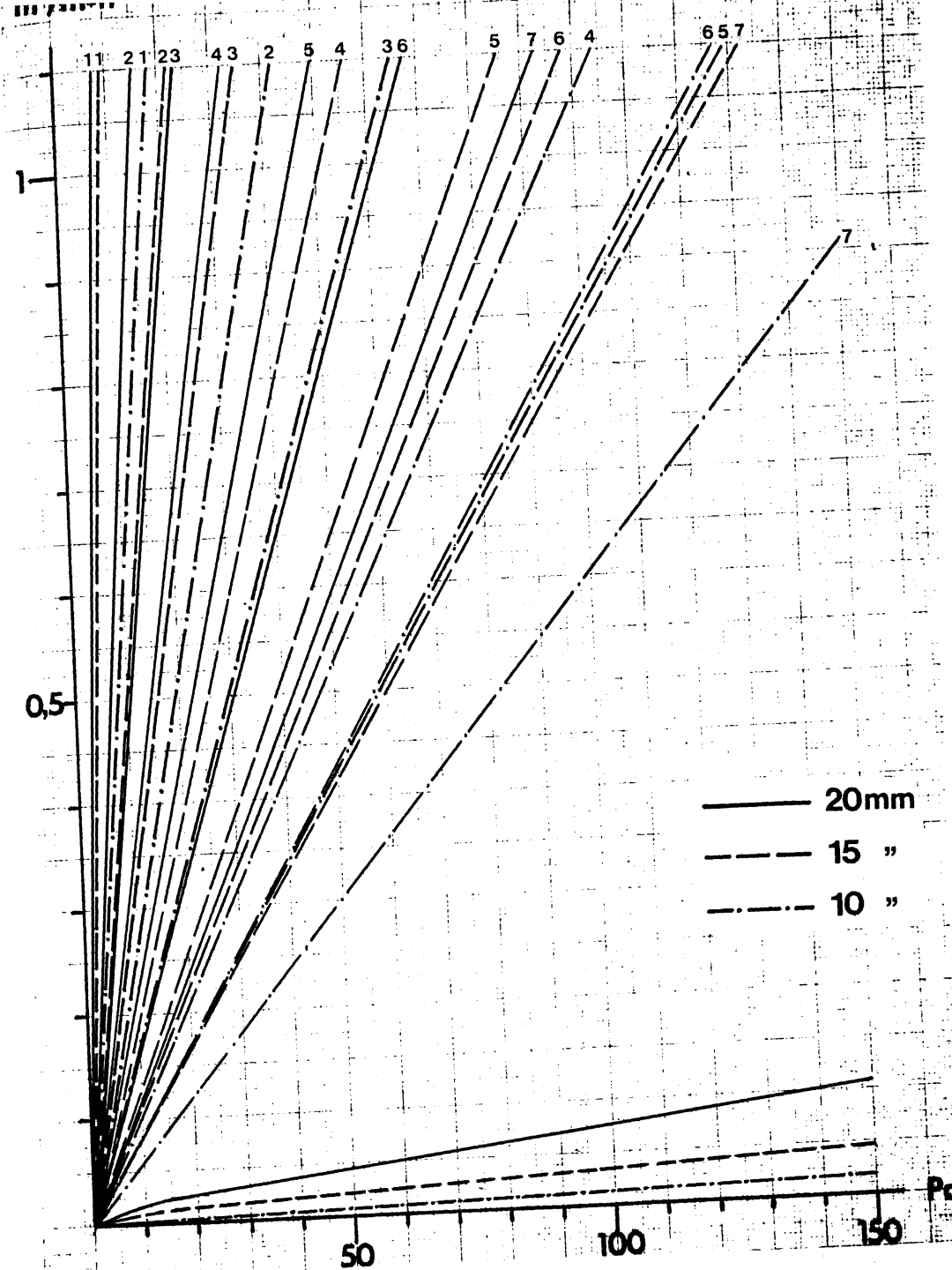


FIG 3.5:8. Fiberremсор (30 x 50 glasull) i fog mellan täta väggar. Siffror anger antal remсор. Nedre kurvor anger 1 omg. tätfiber (Gullfiber 1651).

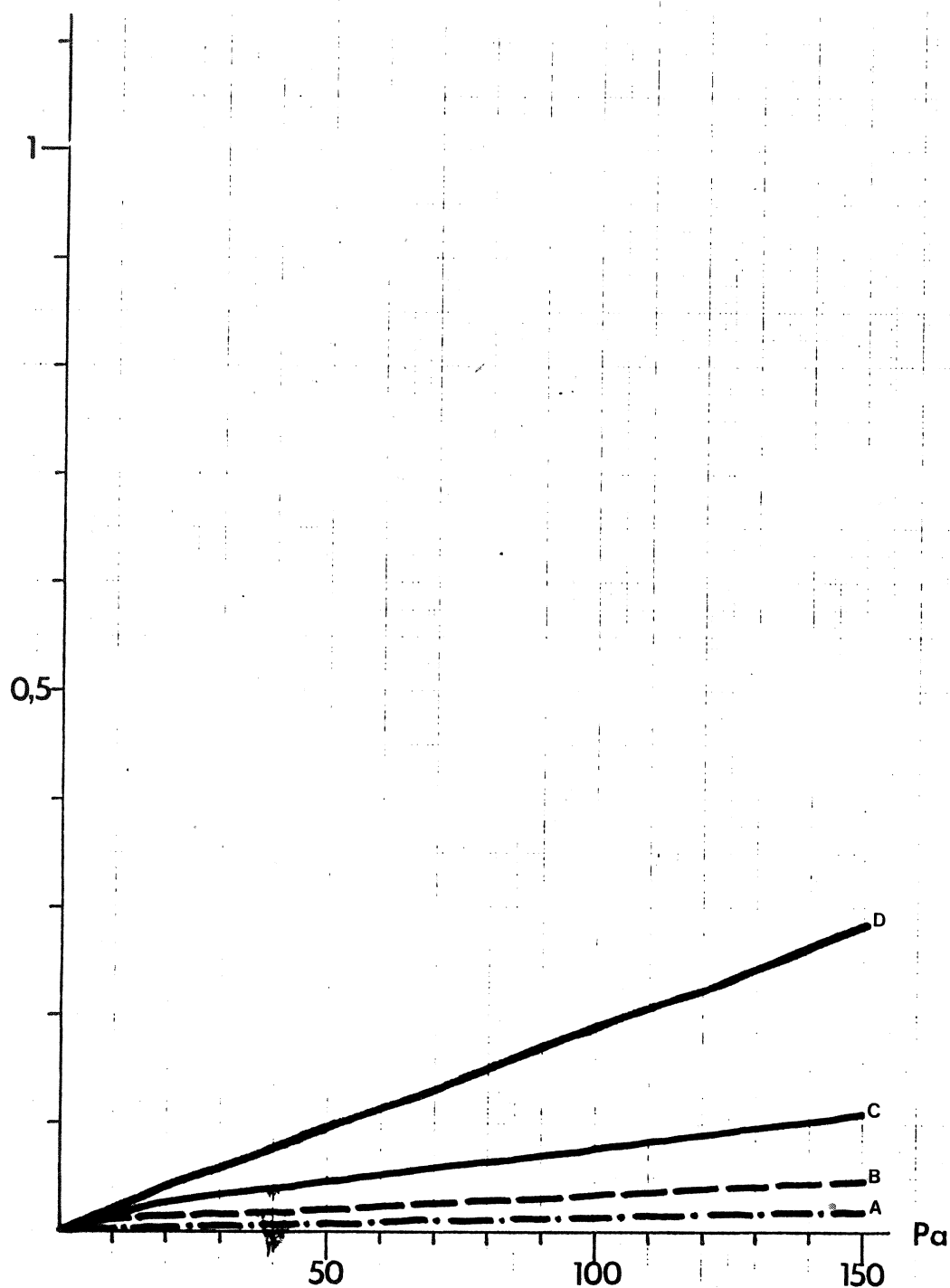


FIG 3.5:9. Luftflöde förbi tätfiber drevad mellan täta ytor (kurvorna A, B, C) och förbi tät list (d = 25 mm) mellan två lättbetongytor (kurva D).

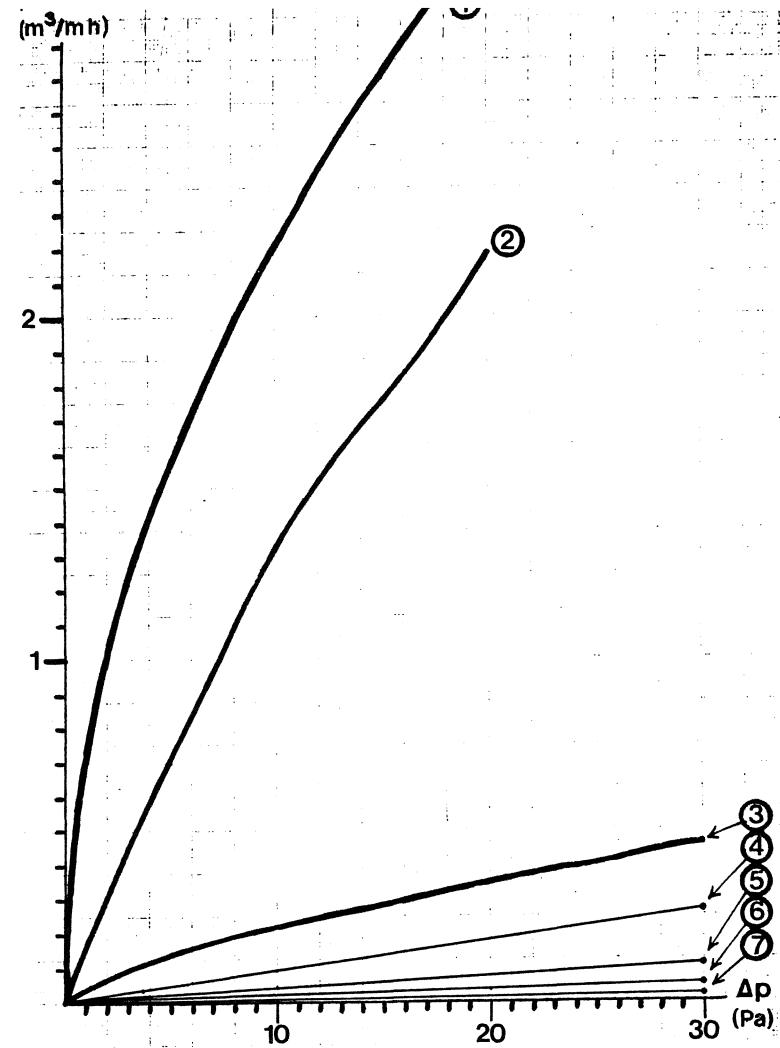


FIG 3.6:1. Karaktäristiska luftflödeskurvor. Se beskrivning i 3.6.

- 1 Skarv mellan pappklädda isoleringsskivor
 - 2 Skarv mellan gipsskivor (GNU) alt. drevad 15 mm fog med 1 omg. fiberremsa.
 - 3 Omlottskarvad plastfolie över en fläns alt. drevad 15 mm fog med 4 omg. fiberremsa.
 - 4 Drevad 15 mm fog med 7 omg. fogfiber
 - 5 Horisontell fog mellan lättbetongelement
 - 6 Skarv mellan gipsskivor (GNU) värmetejp.
 - 7 Omlottskarvad plastfolie mellan två isolerskikt alt. drevad
- } omlottskarvad plastfolie över två flänsar

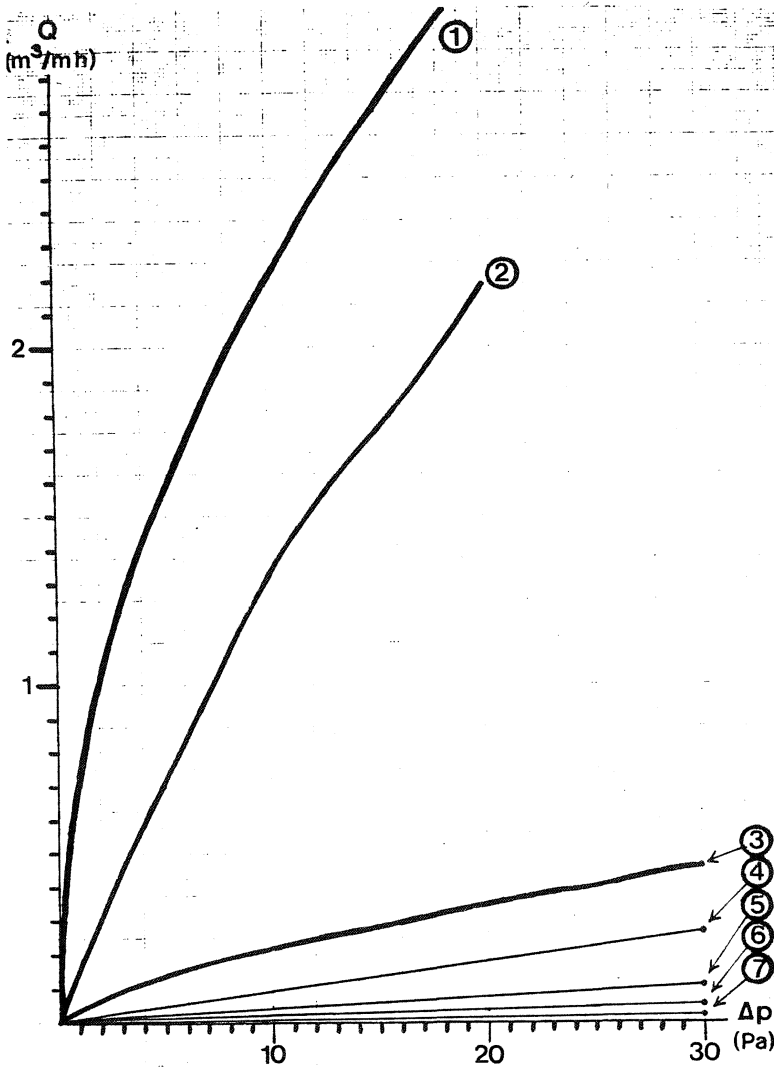


FIG 3.6:1. Karaktäristiska luftflödeskurvor.
Se beskrivning i 3.6.

- 1 Skarv mellan pappklädda isoleringsskivor
 - 2 Skarv mellan gipsskivor (GNU) alt. drevad 15 mm fog med 1 omg. fiberremsa.
 - 3 Omlottskarvad plastfolie över en fläns alt. drevad 15 mm fog med 4 omg. fiberremsa.
 - 4 Drevad 15 mm fog med 7 omg. fogfiber
 - 5 Horisontell fog mellan lättbetongelement
 - 6 Skarv mellan gipsskivor (GNU) värmetejpad.
 - 7 Omlottskarvad plastfolie mellan två isolerskikt alt. drevad 15 mm fog med 1 omg. tätfiber och 7 omg. fiberremsa.
- } omlottskarvad plastfolie över två flänsar

4. TÄTHETSUNDERSÖKNING, BYGGSKEDE OCH FÄRDIG BYGGNAD

4.1 Studieobjekt

Inom projektet har den fältmässiga delen begränsats till två objekt. Erfarenheter har främst inhämtats från industrihallstillsverkare genom kontakt med personer inom projektering, konstruktion och byggande. Kontakt har tagits med projektledare och montagechefer för att få in synpunkter på praktiskt utförande.

De två objekten som studerats har varit en bilservicehall, byggd i plåt på stålstomme, och ett höglager byggt i lättbetong på betongstomme. Båda objekten uppfördes under våren och sommaren 1976.

Den färdiga byggnadens täthet påverkas i stor utsträckning av arbetsresultatet under uppförandet. För att bevaka vad som hände under uppförandet besöktes objekten medan arbeten med väggar pågick. Den beskrivning som följer angående arbetsutförande får dock ej ses som en besiktning av objekten.

Objekten är tyvärr ej lämpade för vidare energistudier. Båda objekten är präglade av verksamhet med stark trafik och därmed störningar av energibalansen i vissa delar av byggnaderna.

Målsättningen med undersökningarna är att granska byggnadernas standard beträffande täthet och söka efter möjligheter att med enkla medel förbättra konstruktionerna.

4.2 Undersökningsmetodik

Under byggnadsskedet har platsbesök genomförts med dokumentation genom fotografering och noteringar. Provtagning av foglistor, plastfolie m.m. har gjorts.

Den färdiga byggnaden har granskats och samtal med ansvarig byggleddare har förts. Personal som arbetar i byggnaden har tillfrågats om synpunkter på lokalklimat. Vid granskningen har undersökning med varmtrådsanemometer genomförts och okulär besiktning av fogar och anslutningar skett.

4.3 Undersökningsresultat

Objekt med plåtvägg

Plåtväggen utfördes på sådant sätt att plastfolien exponerades för solljus. Den exakta exponeringstiden och plastfoliens temperatur är ej känd men enligt uppgifter från plastfolietillverkande företag bör exponering för solljus undvikas. För ej stabiliserad polyetenfolie kan en accelererad åldring och försprödning uppkomma vid exponering i ultraviolett ljus och vid för höga temperaturer.

Anslutningar vid sockel utfördes enligt konstruktionsanvisning. Se FIG. 5.1:1. Plastfolien klämdes under en syll an mot betong-

sockelelementet. Tätheten blir här beroende av sockelelementets jämnhet och kvaliteten på drevningsutförandet mellan sockelelement och syll.

Plastfoliens vertikala omlottskarvar var 150 till 200 mm mellan våderna. Den monterades samtidigt med de horisontella reglarna. Detta innebär att vindkrafter kan få tag i folien innan isolerskikt och ytterplåt monterats. Montagesättet kan innebära extra arbete med att lägga folien till rätta före applicering av isolerskikt. Risk finns att omlottskarvningen minskar så att ett ökat läckage uppstår.

Anslutningar mot tak karakteriserades av att en krönbalk monterats. Krönbalken innebär att anslutning av tätskikt underlättades. Plastfolien klämdes mot plåten med hjälp av en plåtprofil. Utförandet redovisas i FIG. 5.3:3.

Denna konstruktion bedöms vara tätare än det standardutförande som redovisas för konstruktioner av detta slag. Se FIG. 5.1:5.

Infästning av fönsterkarmar utfördes med tråkilar mot träreglar. Mellan karm och regler tätades med drevning av mineralullsremsor.

Portomfattningar utfördes med stålprofiler. Anslutning av tätskikt utfördes enligt konstruktionsanvisningar. Se FIG. 5.1:4.

Den färdiga byggnaden fungerade enligt beställarens byggleddare tillfredsställande ur täthetssynpunkt. Personal, verksam i byggnaden, har ej upplevt dragproblem eller olägenheter på grund av felaktigheter i väggkonstruktionen.

Objekt med lättbetongvägg

Vid granskning under byggnadsskedet studerades främst arbeten med foglistor och drevning med mineralullsremsor. Uppförandet av lättbetongväggen karaktäriseras av enkla arbetsmoment. Varje element som läggs på plats och inpassas i väggkonstruktionen är av sådan storlek att utförandemomenten kan överblickas.

Ur täthetssynpunkt tilldrar sig konstruktionslösningen vid hörn särskilt intresse. Här är andelen vertikala fogar jämfört med väggen i övrigt tre gånger så stor. Vid varje pelare finns en vertikal fog där de liggande väggelementen skarvas. Vid hörnpelare förekom i detta fall tre vertikala fogar. Toleranser i byggnadens längd upptoges i de vertikala fogarna varför de kan ha varierande bredd. Fogarna drevades med mineralullsremsor (densitet 24 kg/m³). Drevningens packningsgrad varierade med fogens bredd. Totalt sett var packningsgraden låg.

Anslutningar mot sockel eller bottenplatta och mot tak utfördes enligt konstruktionsanvisningar. Se FIG. 5.1:6 och FIG 5.1:9.

Infästning av fönsterkarmar utfördes med tråkilar mot lättbetongytan. Mellan karm och lättbetong tätades med drevning av mineralullsremsor och fogmassa.

Portomfattningar utfördes med stålprofiler. Tätning med drevning och fogmassa var utförd även här.

Vid montage uppstod skador på vissa element. Dessa skador ilagades med bruk.

Den färdiga byggnaden fungerar enligt beställarens byggledare tillfredsställande ur täthetssynpunkt. Personal verksam i byggnaden har ej upplevt dragproblem eller olägenheter på grund av felaktigheter i väggkonstruktionen.

Vid undersökning med varmtrådsanemometer konstaterades läckage vid pelare. Läckaget var koncentrerat till horisontella fogens anslutning till pelaren. Lufthastigheter mellan 0,5 - 1,2 m/s uppmättes vid en samtidig yttre vindhastighet på 3 - 5 m/s. Horisontella fogar var däremot så täta att inget flöde kunde konstateras.

Inga tecken på läckage i övrigt kunde uppmärksammas på väggytorna.

Vibrerande installationer fanns monterade i lättbetongstommen. Sådana komponenter kan påverka väggens täthet på sikt genom att fogremsor "äts upp" och att lättbetongmaterialet lokalt påverkas.

4.4 Förslag till åtgärder

Undersökningsmaterialet (två objekt) är naturligtvis alltför begränsat för att ge tungt vägande skäl till förändringar. Förslagen bör ses som en utvidgning av de ideer som normalt penetreras i samband med industribyggnadsprojekt.

Plåtvägg.

En bättre plastfoliekvalitet bör föreskrivas om risk finns att den kommer att exponeras för solljus eller utsätts för värme.

Plastfolien bör avslutas klämd mot en anslutande tät konstruktion. Risken för rörelser under arbetets utförande och därmed risk för läckage bör minimeras om inte ett ytterligare lufttätt skikt är avsett att monteras.

Ett mera klimatoberoende montagesätt är av värde då risk för felaktigt utförande starkt ökar vid otjänligt klimat.

Lättbetongvägg

Lättbetongväggen bedöms som tät med undantag för de vertikala fogarna. Drevningen av dessa fogar innebär att tillfredsställande resultat beträffande lokalklimat uppnås. Det merarbete som en fogmassasträng innebär skall vägas mot insparad energi i form av ytterligare minskad okontrollerad luftomsättning.

107
Med en förbättrad täthet hos de vertikala fogarna bedöms lättbetongväggen utgöra en tillfredsställande klimatskärm ur täthetssynpunkt.

Det putsskikt som normalt lägges på väggens ytteryta bidrar också till väggens täthet. De horisontella fogarna får ett tätande skikt medan de vertikala fogarna i regel är så breda och djupa att endast en nedstänkning av mineralulldrevningen sker.

5. FÖRSLAG TILL ÅTGÄRDER

5.1 Utgångsläge

5.1.1 Normsituationen

Statens Planverks införande av SBN 1975 innebär att de nya industriväggarna måste projekteras på annat sätt jämfört med industriväggar enligt tidigare bestämmelser. Det tidigare utförandet kännetecknas av konstruktionslösningar som har optimerats m.h.t. rådande energipriser och framtidsutsikter beträffande tillgång på billig energi. Ett flertal av dessa industribyggnader används och kommer att användas under lång tid. Därför bör dessa byggnadstyper penetreras och förslag till förbättringar bör presenteras utifrån de nya förutsättningarna beträffande energianvändning, åtminstone i samband med ombyggnad eller ändring av verksamhet.

Först i och med tillkomsten av SBN 1975 skärptes kraven på täthet för olika byggnadsdelar. Tidigare har täthetskrav endast specificerats för speciella industribyggnader.

5.1.2 Konstruktionshandlingar

Plåtvägg

Några vanliga konstruktionslösningar presenteras i FIG 5.1:1 - FIG 5.1:5. Denna typ av ritningsdetaljer har utgjort underlag för konstruktören och hänvisning till dessa har gjorts i många fall i projekteringshandlingar.

Beträffande tätande skikt och ytor som vindsydd och ångspärr anges dessa på standarddetaljer. Däremot saknas ofta uppgifter om detaljutförande som erforderlig omlottskarvningsbredd, centrumavstånd för infästningar eller anslutningslösningar. Praxis för entreprenör och/eller kontrollerande organ har varit bestämmande för väggens täthet.

Väggens kvalitet beträffande täthet har också varit starkt avhängig av personalens erfarenhet och förståelse för betydelsen av ett noggrant utförande. Relationen mellan tätskiktets åskådlighet på ritningen och dess betydelse relativt andra skikt kan ha inverkat på totalresultatet beträffande väggens täthet.

Lättbetongvägg

Några vanliga konstruktionslösningar presenteras i FIG 5.1:6 - FIG 5.1:9. Industribyggnader av lättbetong har i regel utformats beträffande detaljer på ett likartat sätt genom byggnadskonstruktionens egenart: block med full väggtjocklek. "Lättbetonghandboken" har använts i stor utsträckning de senaste åren. Vid väggar uppförda av liggande väggelement tätas horisontella fogar med remsor av skumplast. Fogar kring fönster drevas och tätas med elastisk fogmassa. De vertikala fogarna mellan väggelement och pelare tätas med skumplastremsor medan utrymmet mellan elementens kortändar tätas med mineralull. Packningsgrad för denna tätning anges ej.

Väggens kvalitet beträffande täthet har varit starkt avhängig resultatet av drevningsarbetet i de vertikala fogarna. Fogremsan mellan element och pelare förlorar sin funktion vid kantfasade element. Detta medför att drevningsarbetet bestämmer konstruktionens täthet.

5.1.3 Arbetsutförande

Plåtvägg

Plåtväggens täthet "grundlägges" vid arbetsmomenten då innerbeklädnad (plåtskikt) och ångspärr (plastfolie) monteras tillsammans med de horisontella väggreglarna. Omlottskarvningen och anslutning vid sockel utföres samtidigt med plåtmontage och utgör tillsammans ett krävande arbetspass särskilt vid ogynnsamma väderförutsättningar. Detta kan innebära att plastfolien avslutas fritt i underkant och att omlottskarvningens bredd varierar starkt. Dessutom penetreras plastfolien vid reglarnas infästning till pelare.

Genom att kravet på isoleringsförmåga (k-värde) har varit mycket lågt kan utformningar där isolerskiktet bygger mindre än väggreglarna i väggens tjockleksriktning ha förekommit. En sådan utformning medför en starkt försämrad täthet i plastfoliens omlottskarvning genom att plastfolievädrarna ej pressas samman.

Lättbetongvägg

Sättet att uppföra lättbetongväggen innebär att arbetsmomenten som bestämmer täthetsegenskaperna kan delas upp så att kontroll av horisontella fogar sker vid inlyftning av element medan kontroll av vertikala fogar sker vid senare arbetsmoment. Jämfört med plåtväggen är utsikterna större att åstadkomma en tät väggkonstruktion. Horisontella fogens täthet bestäms av fogremsor och elementens egenvikt medan arbetsutförandet direkt avgör de vertikala fogarnas täthet. Ett ytterligare tätande skikt erhålles vid ytputsning av fasaden.

5.1.4 Industribyggnadernas täthet

Industribyggnader uppförda enligt SBN 67 kan uppvisa mycket varierande kvalitet beträffande täthet. Fältundersökningar har utförts i mycket liten utsträckning varför endast antaganden kan göras. Konstruktionslösningar som kan ha använts har studerats översiktligt inom detta projekt och redovisas i kapitel 3. Dessa undersökningar är begränsade till laboratorieskala. Resultaten kan användas för att bedöma inverkan av bristfälligt utförande av någon konstruktionsdel med täthetsfunktion.

5.2 Konstruktionsutveckling

5.2.1 De nya förutsättningarna

Ekonomi

Kostnaden för att upprätthålla ett visst inomhusklimat i en byggnad är en funktion av bland annat kostnaden för klimatskärmen och kostnaden för det energiflöde som åstadkommes genom denna. Vid en ändring av energikostnaden (ev. förväntad) ändras relationen mellan kostnad för klimatskärm contra kostnad för energiflöde. Detta medför att projekteringsförutsättningar för nyproduktion ändras medan befintliga byggnader kan bli föremål för s.k. energibesparande åtgärder. Krav beroende av process, verksamhet eller personal kan också innebära övervägande om kostnader för energiflöde skall ökas eller en besparingsåtgärd skall sättas in. Myndigheter kan också gå in och påverka dessa överväganden genom lån, bidrag eller bestämmelser. Underhåll av byggnaden eller andra driftingrepp kan också medföra att tid finns tillgänglig för översyn av byggnadens totala klimatskärm. Vid en sådan tidpunkt är det viktigt att ha kunskap om vad varje åtgärd innebär ur kostnadssynpunkt och ur besparingssynpunkt.

Byggnadsteknik

Utveckling av byggnadskomponenter och konstruktionsutveckling har fört fram bättre byggnadstyper. Denna utveckling kommer främst nyproducerade byggnader till del t.ex. skivbeklädnad med fogtätningssystem, värme- och åldersstabiliserad plastfolie, foglister och fogskum. Vissa komponenter är även användbara vid ombyggnadstillfällen. Medvetenhet om att håltagning och ledningsdragning i ytterväggar är starkt negativ för väggens täthet har också ökat. Vad provningsresultat i detta projekt styrker är att en noggrann ritningsredovisning och ett rätt arbetsutförande är nödvändiga för att ett tillfredsställande resultat beträffande byggnadsfunktion skall nås.

5.2.2 Betydelsen av en tät vägg

Väggens täthet inverkar direkt på antalet luftomsättningar i byggnaden och därmed energiförbrukningen.

Vid öppning av portar kan speciellt höga vindtryck uppstå i byggnaden. Härvid får väggarnas täthet en ökad betydelse. Detta område är relativt outrett men efter bestämning av differenstryck genom mätningar i fält kan provningsresultat från detta projekt vara till hjälp för att bedöma denna inverkan.

Installation av ventilationssystem innebär att luftflödena i byggnaden styrs enligt antagna förutsättningar. Byggnadens täthet inverkar på så sätt att större okontrollerad luftströmning av otätheter medför större ventilationsanläggningar och högre driftkostnader för att kunna styra klimatet i byggnaden. Vid övergång till värmeåtervinning från utgående luft får byggnadens täthet en ytterligare ökad betydelse.

Väggens täthet sammanhänger också med väggens isoleringsförmåga. För lättbetongväggen kan ett luftläckage ut genom fogar ge upphov till kondensation av vattenånga och därmed en ökad fuktbelastning i lättbetongen-materialet. Detta innebär högre värmeomgångstal för materialet. För plåtväggen syns inverkan vara större vid motsvarande läckage. Framför allt vid vindskydd av normalt utförande utan fogtätningssystem. Värmemotståndet i väggen sjunker då markant vid otätheter i plastfolieskiktet enligt undersökningar redovisade av Bankvall i [6].

5.2.3 Nybyggnad

Vid kontakt med ett flertal företag som marknadsför industriväggar i plåt framgår att de nuvarande konstruktionerna utvecklats på ett flertal punkter under det senaste året. De nya byggnadsbestämmelserna innebär att utvecklingen av produkter och anvisningar för deras montage pågår. Därför är det inte rättvisande att diskutera enskilda fabrikanter lösningar inom detta projekt.

Företag som marknadsför industriväggar av lättbetong har i sitt utvecklingsarbete också utfört provtryckning av färdiga industrihallar. Dessa mätningar har varit vägledande vid framtagande av nya produkter för fogtätning.

Synpunkter och förslag till förbättring av konstruktioner och montage redovisas nedan för respektive väggtyp.

Förslag till åtgärder för att förbättra plåtväggen

Plastfolie

Utföres montage av plastfolie på sådant sätt att den kan komma att utsättas för solbestrålning bör en värme- och strålningsstabiliserad kvalitet väljas.

Utföres montage av plastfolie på sådant sätt att den utsättes för vindkrafter bör tejpnings användas som montagehjälpmedel för att hålla folien på plats tills isolerskikt och ytterplåt låser dess läge.

Plastfoliens omlottskarvning bör anordnas så att omlottskarvningens våder har anliggning mot två eller tre av innerplåtens flänsar. Vid plastfolie mellan två isolerskikt bör överlappsbredden vara ca 200 mm. Plastfolien skall monteras med jämn anliggning utan veck eller andra skador.

Plastfolien bör tejpas tät vid de ställen där den genombrutits. Genomföringar utförda i efterhand kan tätas med fogskum.

Plastfoliens anslutningar vid sockel, fönster, portar, tak och dylikt bör utföras med fastklämning av folien mellan lister eller plåtar av plåt eller hyvlat trä. Dessa profiler skall i sin tur ha täta anslutningar.

Vid speciellt höga krav på täthet kan tejpnings av omlottskarven tillgripas.

Isoleringsskiktets tjocklek skall väljas så att anliggningsstryck från isoleringsskikt mot plastfolie erhålles efter montage av båda plåtskikten. Detta innebär att isoleringsskiktets tjocklek skall vara 5 - 10 mm större än väggregelns och köldbryggebrytarens sammanlagda tjocklek. Installationer som innebär penetrering av plastfolie bör undvikas om täthetskrav finns uppställda för väggen.

Vindskydd

Ett mera lufttätt vindskyddsskikt i form av skivor med fogtätningssystem kan vara fördelaktigt ur flera synpunkter. Detta vindskyddsskikt förbättrar sannolikt väggens isolerförmåga samtidigt som det medför en lägre luftläckning genom väggen vid genombrytningar av plastfolien.

Konstruktion

Konstruktion bör utformas så att montage kan utföras i enkla och relativt oberoende arbetsmoment med minimering av klimatberoende tidsåtgång.

Konstruktionsredovisning

Konstruktionshandlingar skall vara utformade efter montagepersonalens behov. Väsentliga konstruktionsdetaljer bör redovisas separat på sådant sätt att montagepersonal lägger vikt vid utförandet av dessa detaljer.

Beträffande konstruktioner och konstruktionshandlingar bör några system provas. Detta är en process där tillverkare, montageansvariga och konstruktörer bör samverka.

Förslag till åtgärder för att förbättra lättbetongväggen

Fogtätningmaterial

Horisontella fogar bör kunna utföras med två täta foglister. Ventilation av fogen mellan foglisterna sker i elementens längsriktning ut till de vertikala fogarna. Den vertikala fogen bör då tätas vid insida vägg med tätfiber eller expanderande fogskum och drevas till ytterkant.

Ett ytskikt av KC-baserad puts inverkar också gynnsamt på fogtätheten framför allt i horisontella fogar.

Vid takanslutning och vertikala fogar bör tätfiber eller expanderande fogskum användas.

Beträffande konstruktion och konstruktionsredovisning gäller ovanstående förslag (se plåtvägg).

5.2.4 Ombyggnad

En ombyggnad eller en mera begränsad byggnadsteknisk åtgärd kan bli aktuell i vissa fall för en industrivägg. Detta kan vara motiverat av skäl som hög energiåtgång i byggnaden eller ny verksamhet med nya byggnadsfunktionskrav. Speciella låne- eller bidragsmöjligheter med statlig finansiering kan också föranleda åtgärder inte bara på processområdet utan också på byggnadsområdet. Statens Industriverk har här möjligheter att delfinansiera s.k. energibesparande åtgärder.

Åtgärder för förbättring av industriväggars täthet i befintliga industribyggnader utförs för närvarande i liten utsträckning. Arbetet kräver ingående kunskap om den befintliga konstruktionens beskaffenhet. Byggnadsfunktionskrav och användningstid för byggnaden inverkar också starkt vid beslutsfattande.

Förslag till åtgärder för att förbättra plåtväggen

Plastfolie

Vägg utan plastfolie kan tätas inifrån genom att ett materialskikt fästes mot den inre plåtbeklädnaden (avser trapetsprofilrad plåt, ej lådprofiler). Materialskiktet kan utgöras av skivor av t.ex. gips som tätas i fogar enligt utprovad metod.

Ovan nämnda metod kan också kompletteras med tilläggsisolering.

Vid åtgärder som primärt avser ljuddämpning kan en samtidig tätning bakom ett skikt av absorbentskivor övervägas.

Nya anslutningslösningar mot pelare, stomkompletteringar, sockel och tak erfordras i samtliga alternativ.

Vägg mot plastfolie, där plastfolieskiktet uppenbart ej fyller sin avsedda funktion på grund av otillräcklig omlottskarvningsbredd, kan åtgärdas enligt ovan.

Vid otillräcklig anliggning mellan plastfoliens väder vid omlottskarvningen måste åtgärd föreslås med hänsyn till yttre plåtskiktets infästning och typ av vindskyddande beklädnad. I något fall kan vindpappklädda isoleringsskivor pressas in mot plastfolien men för att erhålla avsedd effekt kan väggen behöva demonteras. Detta innebär stora kostnader vilket fordrar en omprövning av samtliga krav som väggen skall uppfylla.

Sammanfattningsvis kan konstateras att nedlagda kostnader för tätande åtgärder endast i speciella fall kan täckas av energibesparingseffekten. Däremot är tätande åtgärder viktiga om tilläggsisolering av väggar skall utföras.

Förslag till åtgärder för att förbättra lättbetongväggen

Vertikala fogar och takanslutning

En besiktning av drevningsutförandet i fogarna kan ge beslutsunderlag för åtgärd. Vid bristfällig drevning kan täcklistor demonteras och en tätning med fogskum genomföras.

5.3 Konstruktionsredovisning. Exempel

Plåtvägg

Konstruktionsredovisningen beträffande detaljutförande grundar sig i regel på plåtfabrikantens typritningar som ofta redovisas på A4-blad. Dessa blad visar den färdiga konstruktionen med samtliga materialskikt markerade. Detta gör att flera detaljer kan vara svåröverskådliga för den personal som ej är van vid "ritningsläsning". Framför allt är det svårt att rita och beskriva plana skikt. Dessa får en mindre betydelse jämfört med plåt- och isoleringsskikt.

Har då utförandet av plastfoliemontaget någon betydelse? Här behövs motivation för att montagearbetet skall gå friktionsfritt. En sådan motivering kan kanske framläggas på det sätt som FIG 5.3:1 visar.

Konstruktionsredovisningen bör läggas upp så att etapper genomförs vid byggandet. Varje etapp kan beskrivas och redovisas så att genomförande och kontroll underlättas. Som exempel bör en etapp avslutas när plastfolien är monterad. Detta kan då visas på ritningsdetaljer. Ett exempel redovisas i FIG 5.3:2. Vikten av att erhålla täta anslutningar och erforderlig omlottskarvning har alltså betonats.

Förmågan att tolka en perspektivbild är olika beroende på träning och färdighet. Perspektivbilden kan dock vara stimulerande att arbeta efter och bör i större utsträckning användas som komplement till plansnitt och elevationer i vår konstruktionsredovisning. Se FIG 5.3:3 och FIG 5.3:4.

5.4 Kostnadsbedömningar

Nybyggnad

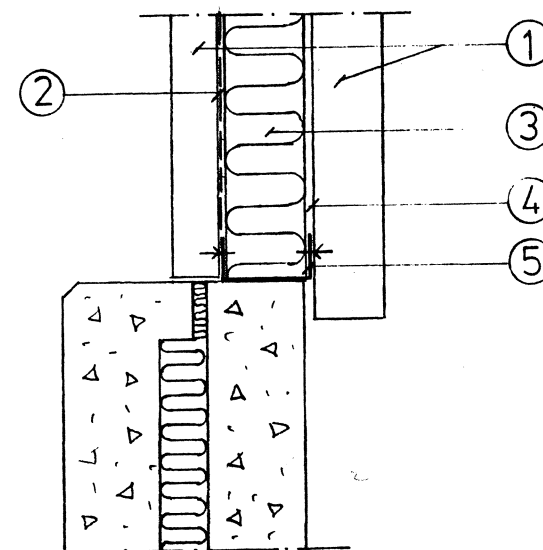
De åtgärder som föreslagits under punkt 5.2.3 påverkar kostnaden för väggen räknat i kr/m² i liten utsträckning. Detta innebär att de bör rekommenderas för byggnader med uppvärmningsbehov motsvarande inomhustemperatur >+10°C.

Ombyggnad

De åtgärder som föreslagits under punkt 5.2.4 innebär för plåtväggen betydande kostnader. Dessa kostnader kan endast försvaras vid en ombyggnad som också innebär vinster beträffande isoleringsgrad, arbetsmiljö sett över byggnadens totala funktion.

För lättbetongväggen är insatsen betydligt mindre och kan utföras störningsfritt. Studier enligt kapitel 2 visar att åtgärder är ekonomiska endast vid mycket otillfredsställande utförande.

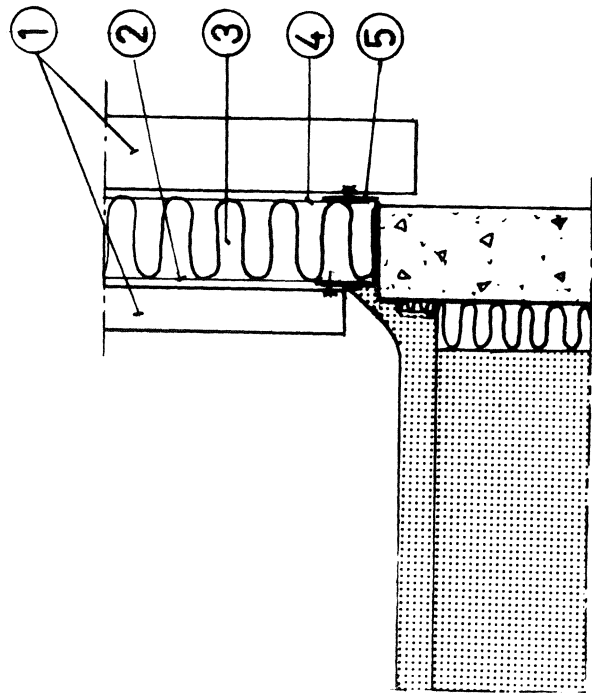
Sammanfattningsvis kan konstateras att åtgärder för en ökad täthet inom nuvarande konstruktionssystem bör koncentreras till nybyggnadssektorn.



- ① PROFILERAD PLAT (VERT. MONTAGE)
- ② ANGSPÄRR
- ③ ISOLERING
- ④ VINDSKYDDANDE PAPP
- ⑤ PLATPROFIL

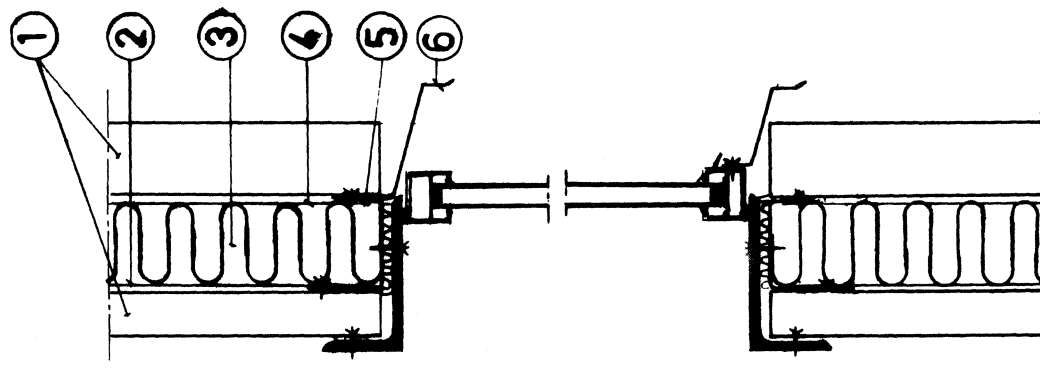
FIG 5.1:1

ANSLUTNING PLATVÄGG TILL BETONGSOCKEL

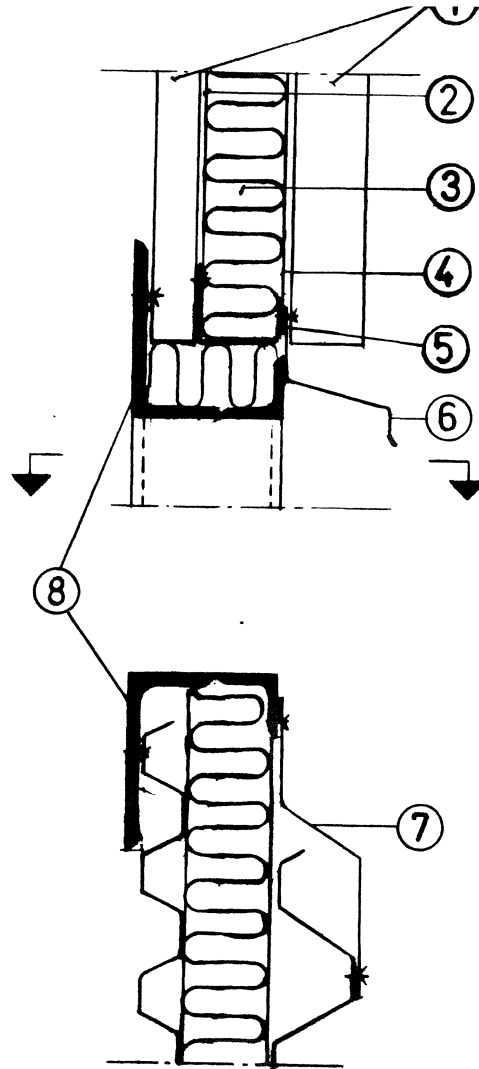


- ① PROFILERAD PLAT (VERT. MONTAGE)
- ② ANGSPÄRR
- ③ ISOLERING
- ④ VINDSKYDDANDE PAPP
- ⑤ PLATPROFIL

FIG 5.1:2 ANSLUTNING PLATVÄGG TILL SOCKEL OCH GÖLV

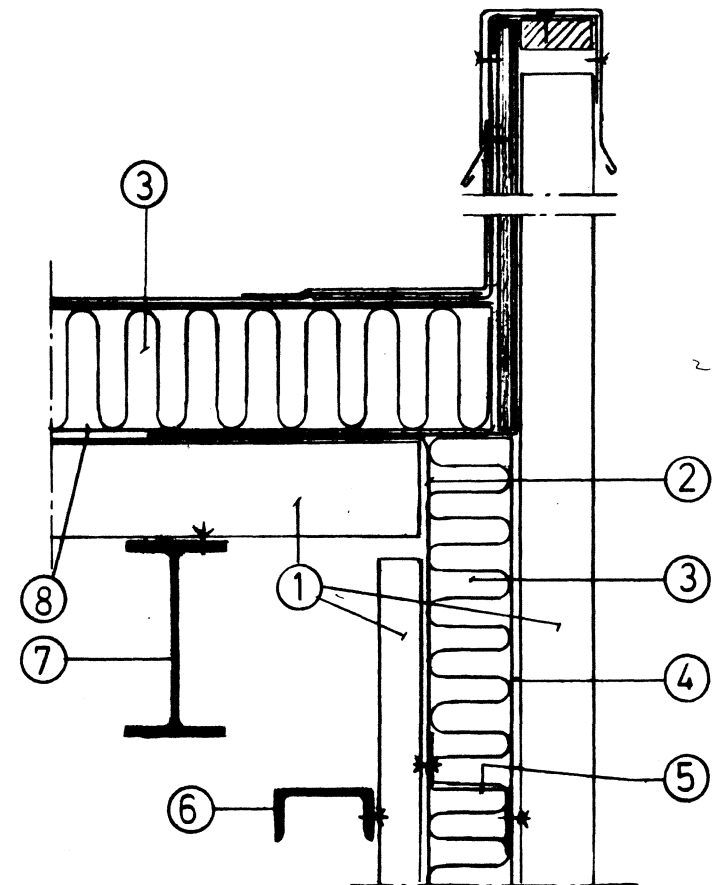


- ① PROFILERAD PLAT
- ② ANGSPÄRR
- ③ ISOLERING
- ④ VINDSKYDD
- ⑤ PLATREGEL



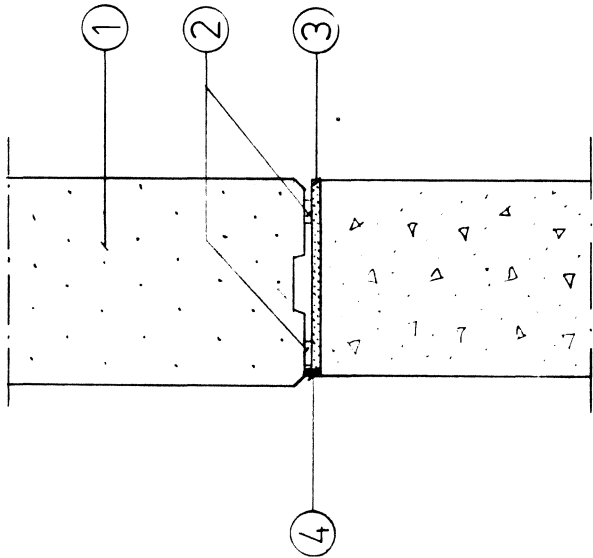
- ① PROFILERAD PLAT
- ② ÅNGSPÄRR
- ③ ISOLERING
- ④ VINDSKYDDANDE PAPP
- ⑤ PLATPROFIL
- ⑥ DROPPBLECK
- ⑦ BESLAG
- ⑧ STALKARM

FIG 5.1:4 ANSLUTNING VID RÄNN



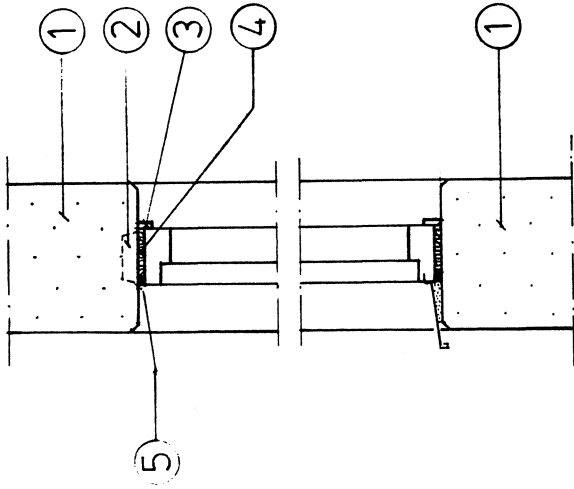
- ① PROFILERAD PLAT
- ② ÅNGSPÄRR
- ③ ISOLERING
- ④ VINDSKYDD
- ⑤ VÄGGREGEL
- ⑥ U-STÅL (VÄGGREGEL)
- ⑦ ÅSBALK
- ⑧ EV. ÅNGSPÄRR

FIG 5.1:5 ANSLUTNINGAR VID TAKKRÖN



- ① LIGGANDE VÄGGELEMENT AV LÄTTBETONG
- ② FÖGREMSOR
- ③ AVJÄMNING
- ④ FÖGSTYRKNING ELLER FÖGMASSA

FIG 5.1.1:6 SOCKELDETALJ



- ① LIGGANDE VÄGGELEMENT
- ② ELASTISK FÖGMASSA
- ③ LIST
- ④ DREVNING
- ⑤ NOT ILAGAS

FIG 5.1.1:7 FÖNSTERANSLUTNING

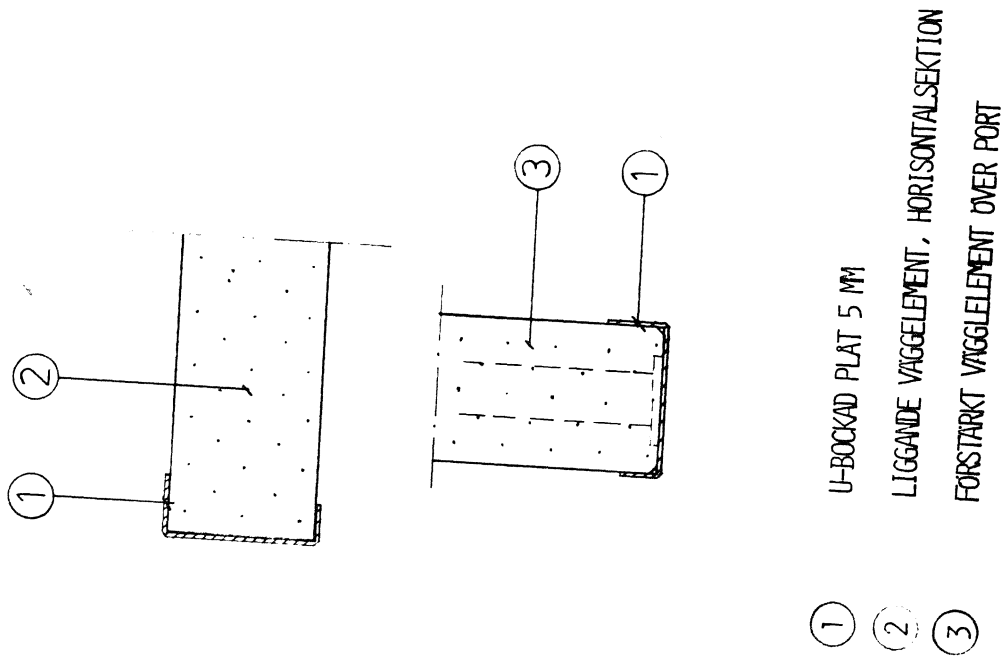


FIG 5.1.8 PORTOFATTNING

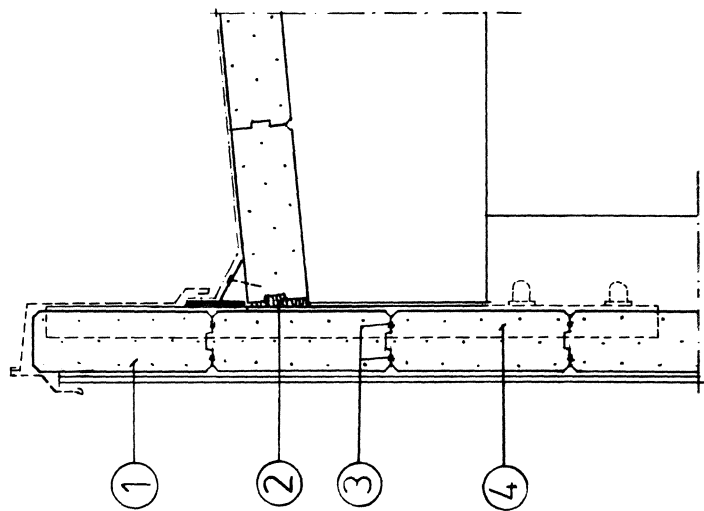
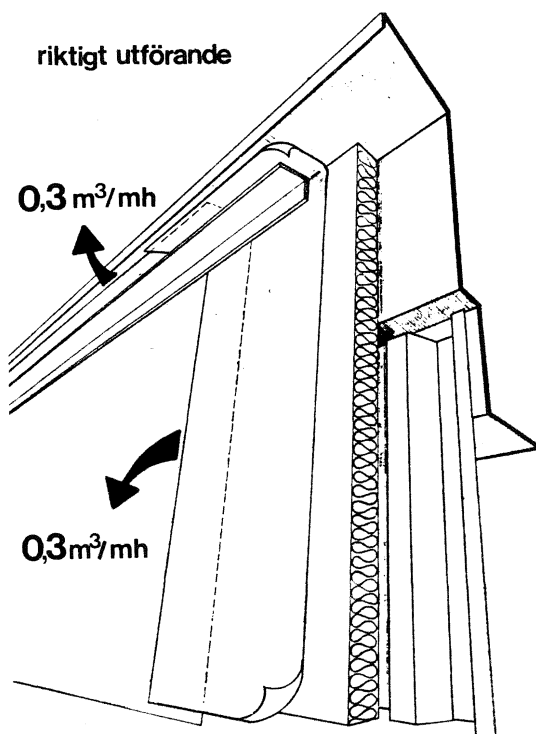
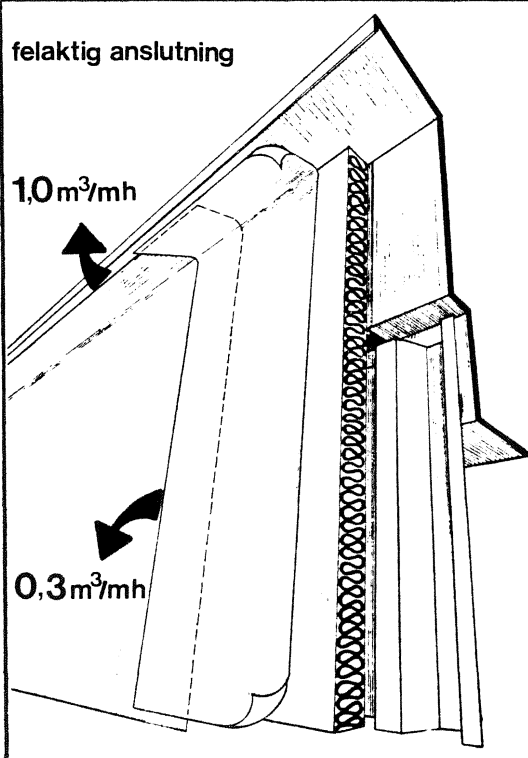


FIG 5.1.9 ANSLUTNING VID TAKKRON

riktigt utförande



felaktig anslutning



felaktig plastfolie

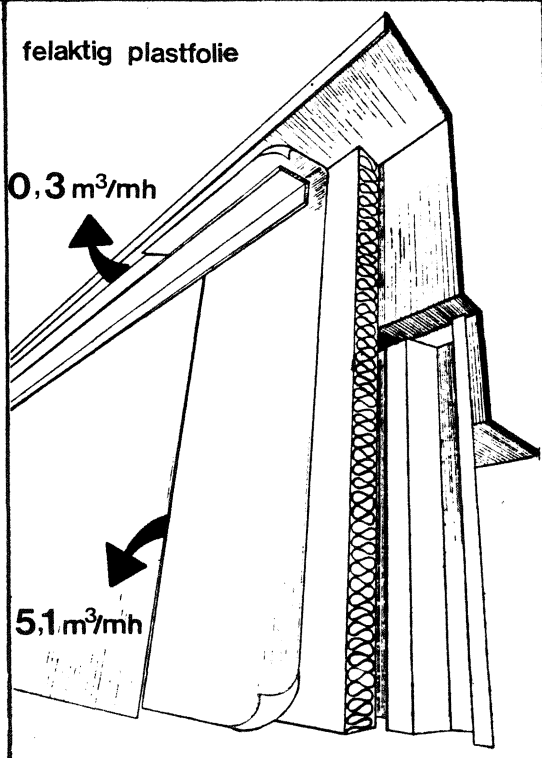


FIG 5.3:1. Motivation för ett noggrant utförande.
Exempel på luftläckage vid 50 Pa differenstryck.

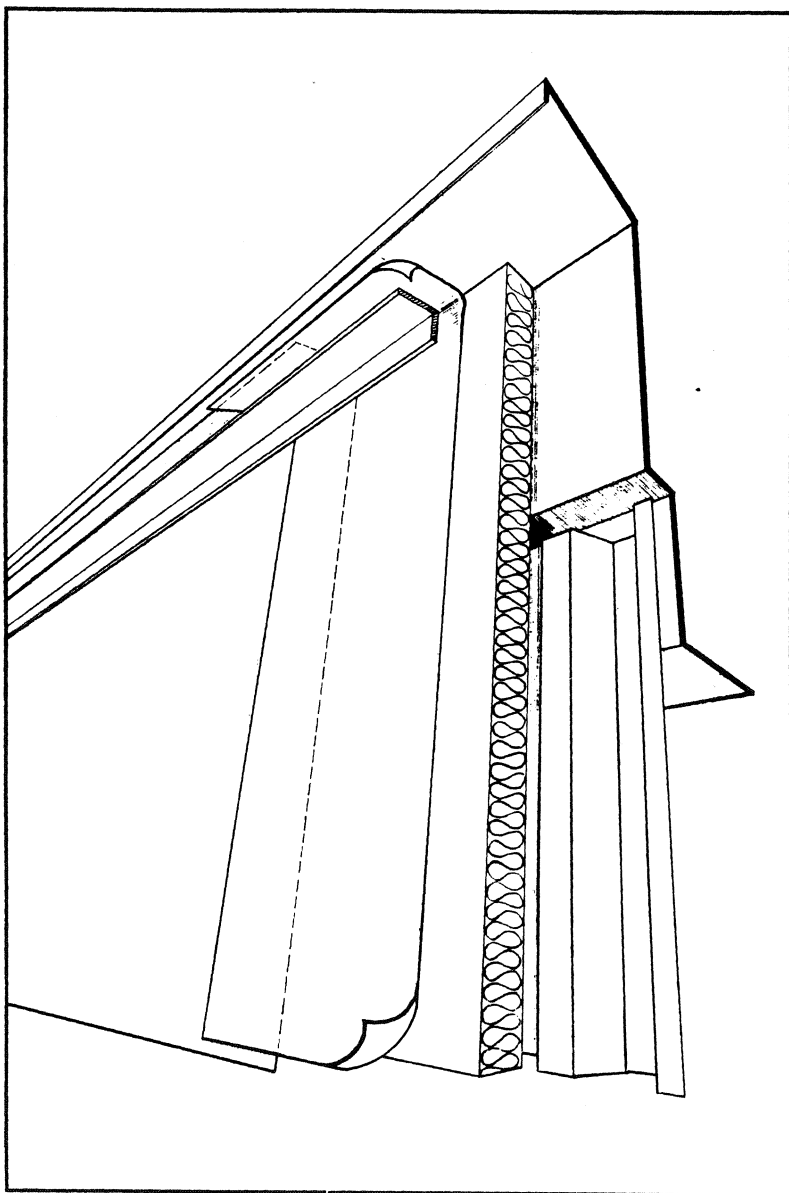


FIG 5.3:2. Takanslutning. Plastfolie monterad. Figuren visar väsentliga detaljer avseende väggens täthet.

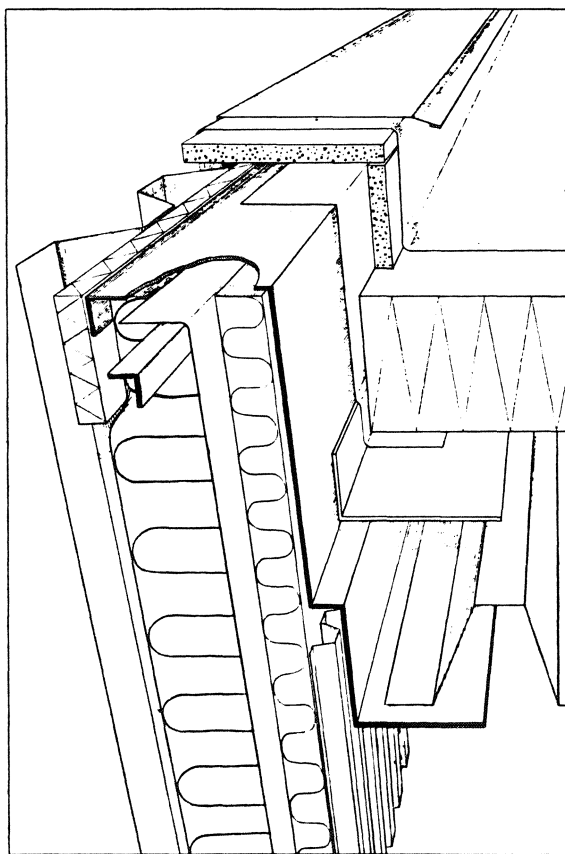
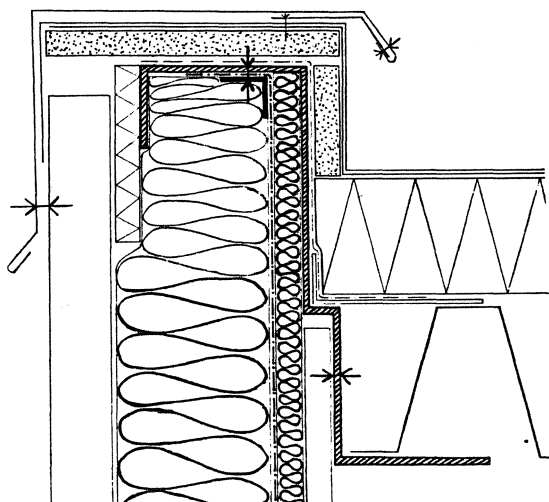


FIG 5.3:3. Takanslutning. Samtliga komponenter monterade.
Plan- och perspektivskiss.

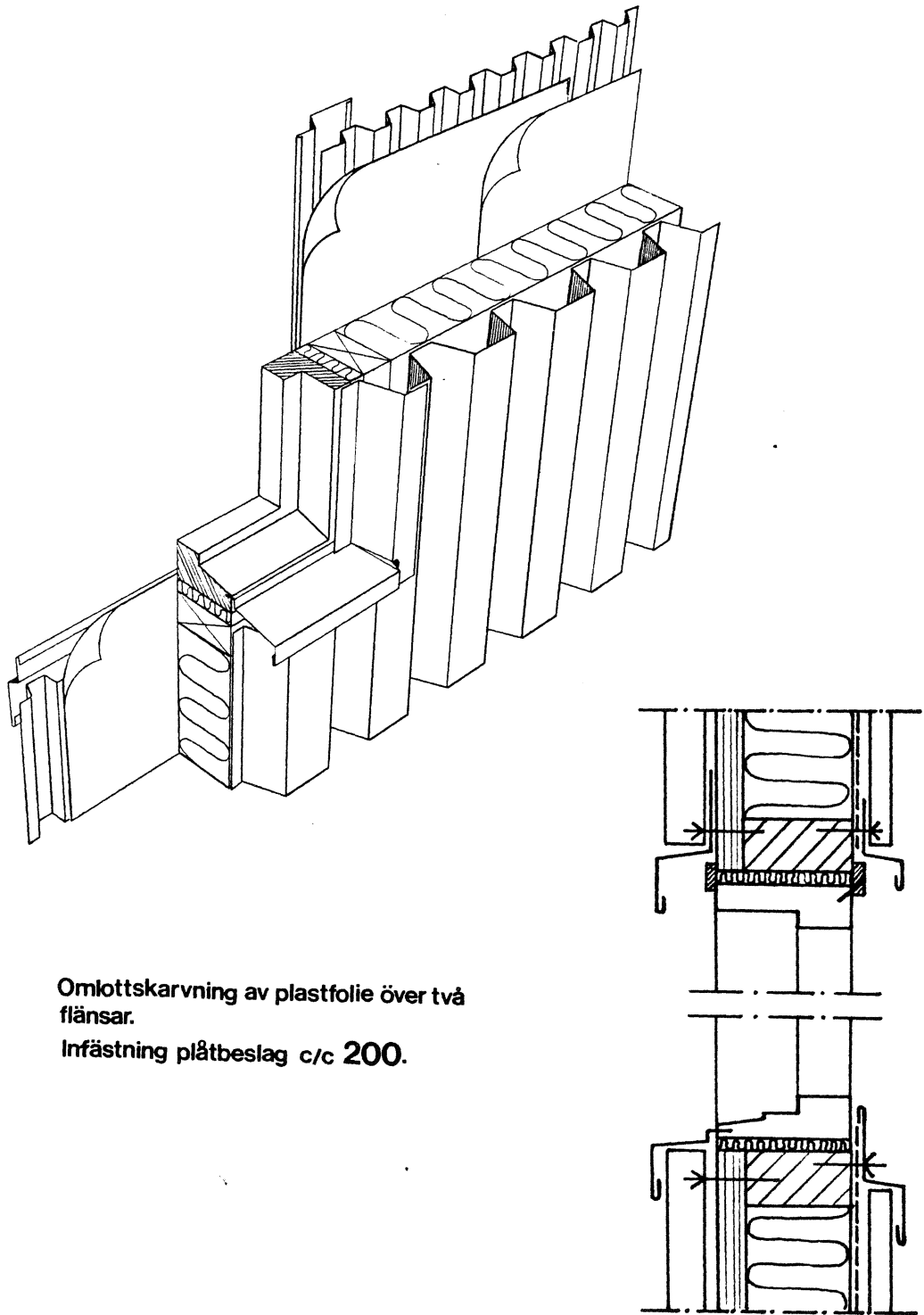


FIG 5.3:4. Fönsteranslutning. Plastfoliens anslutning mellan plåtbeslag och träregel. Plan- och perspektivskiss.

6. FORTSATTA STUDIERS INRIKTNING

Under projektets genomförande har synpunkter insamlats beträffande fortsatta studiers inriktning. Dessa synpunkter redovisas nedan områdesvis.

Material

Plastfolien bör studeras avseende långtidsegenskaper för att säkerställa funktionen under byggnadens livslängd.

Alternativa fogtätningssystem bör undersökas som minskar risken för felaktigt utförande.

Fogskumningstekniken bör utvecklas beträffande material och applicering.

Konstruktion

Vindtrycksfördelning lokalt vid väggar bör studeras för olika väggutförande.

Tryck- och flödesförhållande i industriväggar bör studeras med hänsyn till isolering och täthet.

Plåtväggskonstruktionen bör undersökas med hänsyn till höga vindtrycks inverkan på tätheten.

Montage

Byggnadsproduktionsstudier bör genomföras med inriktning att uppnå ett förenklat montage som innefattar höga kvalitetskrav. Detta kan ge upphov till ytterligare konstruktionsutveckling av komponenter och byggnadselement.

Byggnaden

Metoder för luftläckagemätningar i färdig byggnad bör studeras. Tryckdifferensmätningar är ofta svåra att genomföra varför en spårgasmetod kan vara intressant att studera.

Byggnadens samverkan med installerade system och processer bör studeras för att relevanta krav skall kunna ställas på de olika byggnadsdelarna.

Energiåtgång

Vilka typer av industribyggnader är intressanta vid insatser av energibesparande åtgärder?

Hur inverkar vindtrycksvariation och temperaturvariation på energiförbrukningen? Studie av icke linjära förlopp med hjälp av dator.

Vilka byggnadstekniska åtgärder bör vidtagas vid energibesparande åtgärder insatta inom luftbehandlings- eller processområdet?

Litteraturreferenser

- [1] IHVE Guide Book A 1970, The Institution of Heating and Ventilation Engineers, London 1971.
- [2] Nylund, P O, "Vindtäthet hos flerskiktsväggar", Byggmästaren, nr 11 1966.
- [3] Granum, H, Svendsen, Tveit, A, Lette treveggers vindtetthet, NBI Rapport nr 7, Oslo 1954.
- [4] Bankvall, C G, Natural convective heat transfer in insulated structures, Lund Institute of Technology, Building Technology, Rapport 38, 1972.
- [5] Cammerer, JS, Hirschbold, FX, "Der Einfluss der Fensterbauart auf den Luftdurchgang". (Gesundheits Ingenieur) 61, Heft 29, p. 393 - 399.
- [6] Bankvall, C G, Påtvingad konvektion. Praktisk värmeisoleringsförmåga under inverkan av vind och arbetsutförande, Statens Provningsanstalt, Rapport 1977:21, Borås 1977.
- [7] Collet, P F et al, Boligers luftskifte, Byggeteknik, Teknologisk Institutt, Danmark, 1976.
- [8] Elmroth, A, Höglund, I. Värmebalans i småhus, 1973, BFR Rapport R7, Stockholm.
- [9] Andersson, L-O, Begränsningar av luftskador i yttervägg etc., 1973, BFR Rapport R29, Stockholm.
- [10] Thuresson, S, Mätning av vindkrafter på en byggnads väggar och tak. Studier på fältstation samt jämförelser med modellförsök, 1977, BFR Rapport R29, Stockholm.
- [11] Eriksson, B, "Lätta industribyggnader i tunnplåt - lufttäta och välisolerade. Resultat av fältmätning". Väg- och Vattenbyggaren nr 5, 1978.
- [12] Taesler, R, Klimatdata för Sverige, 1972.
- [13] Birkeland, Wigen, Fuge mellom karm og vegg, NBI Rapport nr. 15, 1955.
- [14] Lundin, R, "Fogtätningssystem för ytterväggar", Byggmästaren 12, 1970.

SAMMANFATTNING

Nya byggnadsbestämmelser, SBN 1975, innebär att byggnadskonstruktioners utformning omprövas för att uppfylla nya krav och rekommendationer beträffande energihushållning. Detta gäller också byggnadsdelarnas täthet och bestämmelserna innefattar samtliga lokaler som avses hållas uppvärmda med en inomhustemperatur högre än $+10^{\circ}\text{C}$. En stor del av industrins lokaler är alltså föremål för dessa byggnadsbestämmelser.

Projektets syfte är att öka kunskaperna om industriväggars täthet. Genom i första hand laboratorieprovningar har nuvarande konstruktionslösningar hos plåtväggen och lättbetongväggen studerats. Resultat från provningarna har sedan legat till grund för översiktliga beräkningar avseende luftflöden igenom väggkonstruktionerna. Vissa nya konstruktionslösningar har också studerats genom laboratorieprovningar. Parallellt med dessa provningar har två byggnadsobjekt följts upp avseende arbetsutförande under montageskede och resultat efter färdigställandet.

Resultatet från laboratorieprovningarna indikerar att nuvarande konstruktionstyper med modifierade anslutnings- och fogutformningar kan uppnå en täthet som godtas enligt Svensk Byggnorms skrivning i kapitel 33:3. Beträffande byggnadernas täthet mätt på färdig byggnad är få studier genomförda. Undersökningar i fält indikerar att uppförda byggnader uppvisar stor spridning beträffande antal luftomsättningar per timma i byggnaden på grund av lackage genom bland annat väggar. Ytterligare undersökningar är angelägna för att kunna bestämma byggnadernas täthetsstatus.

Provningsresultaten medför att vissa konstruktionslösningar kan "dömas ut". Det gäller t.ex. fri anslutning av plastfolie utan fastklämning av plastfolievåden mot anslutande tät konstruktion. Nya konstruktionslösningar föreslås som vid provningar uppvisar tillfredsställande resultat.

Projektet redovisar täthetskaraktäristiska för några olika konstruktionstyper. Dessa redovisas sammanfattningsvis i FIG 3.6:1 (sid 103). Här har beträffande omlottskarvningen av plastfolie förutsatts att ett visst anliggningsstryck (ca 20 N/m^2) från isolerskiva mot plastfolie och plåtyta föreligger.

Provningsresultaten ger underlag för en teoretisk behandling av väggarnas täthet. Schematiskt kan väggens täthet beskrivas i form av ett läckageflöde Q , som är en funktion av differenstryck Δp , strömningskaraktär γ och en faktor α , med formen

$$Q = \alpha \cdot \Delta p^{\gamma}$$