



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

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



**Rapport**

**R132:1979**

**Fogar mellan  
byggnadskomponenter i  
ytterväggar**

**Luftläckning genom  
fasadfogar med tätningsslister**

**Alf Jergling**

**Byggforskningen**

TEKNISKA HÖGSKOLAN I LUND  
SEKTIONEN FÖR VÄG- OCH VATTEN  
BIBLIOTEKET

R132:1979

FOGAR MELLAN BYGGNADSKOMPONENTER I YTTERVÄGGAR  
Luftläckning genom fasadfogar med tätningslister

Alf Jergling

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 771217-9  
från Statens råd för byggnadsforskning till Avdelningen  
för byggnadskonstruktion, Chalmers tekniska högskola,  
Göteborg.

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

R132;1979

ISBN 91-540-3136-2

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1979 958108



## FÖRORD

Föreliggande rapport rörande luftläckning i fogar tätade med gummilister har utarbetats vid avdelningen för Byggnadskonstruktion, Chalmers Tekniska Högskola.

Undersökningen har möjliggjorts genom anslag från Statens råd för Byggnadsforskning.

Värdefulla synpunkter beträffande polymermaterials åldring har lämnats av, tekn.dr. Bengt Stenberg, och beträffande strömningsteknik av universitetslektor Bo Appelqvist. Intressanta diskussioner har förts med professor Gunnar Kärrholm. Materialtillverkare har välvilligt ställt provningsmaterial till förfogande. Till dessa personer, företag och samtliga inom avdelningen som medverkat i undersökningens genomförande vill jag framföra ett varmt tack.

Göteborg i juli 1979

Alf Jergling

## INNEHÅLL

SAMMANFATTNING.....	5	
SUMMARY.....	7	
1	INLEDNING.....	9
2	TIDIGARE UNDERSÖKNINGAR RÖRANDE FOGARS TÄTHET.....	9
3	EXPERIMENTELL UNDERSÖKNING.....	11
3.1	Inledning.....	11
3.2	Tätningstester.....	11
3.2.1	Listmaterial.....	11
3.2.2	Listtyper.....	12
3.3	Provning av luftläckning.....	13
3.3.1	Provningssätt.....	13
3.3.2	Luftläckning vid rak fog med T-list.....	17
3.3.3	Luftläckning vid rak fog med slang- list (P-list).....	36
3.3.4	Luftläckning vid rak fog med syllist.....	46
3.3.5	Luftläckning vid rak fog med OV-list.....	48
3.3.6	Luftläckning vid hörn.....	49
4	TÄTNINGSLISTERS LÅNGTIDSEGENSKAPER.....	51
4.1	Befintliga provningssätt.....	51
4.2	Använd provningssätt.....	53
4.3	Tätningseffektivitet hos värmeåldrande lister....	55
4.4	Sättningseffektivitet hos åldrande lister.....	59
4.5	Deformationsmotstånd hos lister.....	61
4.6	Förslag till bestämning av tätningstester listers långtidseffektivitet.....	64
5	ANALYTISK BESTÄMNING AV LUFTLÄCKNING GENOM FOGAR.....	65
5.1	Grundläggande teori.....	65
5.2	Empiriska samband för luftläckning.....	68
6	LUFTHASTIGHET I FOG.....	70
6.1	Grundläggande teori.....	70
6.2	Jämförelse mellan beräknade och uppmätta strömningshastigheter.....	73
LITTERATURFÖRTECKNING.....	74	

## SAMMANFATTNING

En teoretisk bestämning av luftomsättningen i en byggnad fordrar kännedom om olika fogtypers kvaliteter. Denna rapport omfattar studium av olika faktorer som påverkar luftläckningen genom fog tätade med gummilister. I den experimentella undersökningen har följande faktorer antagits påverka luftläckningens storlek och studerats:

- Fogutformningen
  - Inverkan av fogsidornas ytstruktur
  - Inverkan av fogbredd
  - Inverkan av fogprofil
- Tätningslistan
  - Inverkan av listprofil
  - Inverkan av listens materialegenskaper före och efter accelererad åldring och långtidsbelastning
- Arbetsteknik
  - Inverkan av monteringsmetod
  - Inverkan av skarvmetod och hörnutformning

De undersökta tätningslisterna har bestått av gummi-material typ EPDM och kloropren formade till olika tvärsnitt.

Luftläckningen genom fogarna har bestämts med en provningsutrustning, i vilken lufttrycket har varierats mellan 0 till  $\pm$  700 Pa. Tätningslisterna har monterats raka mellan olika typer av fogsidor vid luftläckningsmätningen, vilken kompletterats med bestämning av läckning i skarvar, vid olika hörnutformning och vid oregelbundenheter i fogsidan. Fogsidorna har utförts av slät aluminium, hyvlat virke, finsågat virke, grovsågat virke, sandpapper och betong.

Luftläckningen i fogar med släta sidor är mycket liten. Vid aluminiumsidor uppmättes  $< 1$  l/mh vid 700 Pa och fogbredder inom listens angivna funk-

tionsområde. Ökad ytojämnhet medför ökad luftläckning, t ex vid T-list i fog med sidor av sågat virke erhöles  $5 \text{ m}^3/\text{mh}$ . Luftläckningen synes icke öka med ökad fogbredd (inom listens funktionsområde) vid fogsidor med grövre ytstruktur utan större luftläckning erhöles ibland vid mindre fogbredder jämfört med vid större bredder. Redan mycket små oregelbundenheter gav stor ökning av läckaget. Vid t ex fog med sidor av slät aluminium och en tråd med 1 mm diameter placerad tvärs listen uppmättes  $1,1 \text{ m}^3/\text{h}$  vid 700 Pa.

Undersökningen visade att omsorgsfullt utförda listskarvar medför en ökning av luftläckningen av måttlig storlek. Vid hörnutformning enligt normal praxis erhöles stor luftläckning.

Tätninglisters materialegenskaper ändras med listens ålder. Av intresse för tätningförmågan är långtidsegenskaperna beträffande listens elasticitet och förmåga att utöva tillräckligt tryck mot fogsidan. Följande standardprovningar av gummilister föreslås:

1. Bestämning av listens sättningsegenskaper
2. Bestämning av listens deformationsmotstånd vid sammanpressning
3. Bestämning av luftläckning i fogar med tätninglist.

Provningarna utföres på icke åldrade och värmeåldrade lister för olika fogbredder, så att listens funktionsområde kan fastställas med angivande av möjlig cyklisk fogbreddsvariation.

Rapporten avslutas med teoretisk beräkning av luftflödens genom fogar storlek och hastighet.

## SUMMARY

Evaluation of the rate of air change in a building requires knowledge of the qualities of different kind of joints. This report deals with the study of factors concerning the air leakage through joints sealed with rubber gaskets. The following factors have been assumed to influence the magnitude of the air flow:

## Shape of the joint

- Influence of the surface of the joint walls

- Influence of the joint width

- Influence of the joint profile

## Gasket

- Influence of the profile of the gasket

- Influence of the properties of the gasket before and after accelerated ageing

## Working technique

- Influence of the method of erecting

- Influence of splices and corners

The gaskets used in the investigation were made of rubber.

The air flow through the joints has been determined by means of an apparatus, in which the air pressure was varied between 0 to  $\pm 700$  Pa. The gaskets were fixed during the test in a straight line between different types of joint walls. The investigation was completed by considering the amount of air leakage in the splices, corners and other irregular disturbances in the joint walls. The walls of the joint were made of aluminium, wood and concrete.

The air leakage through the joints with smooth surfaces was insignificant, e.g. at aluminium  $< 1$  l/mh at 700 Pa. On the other hand the air leakage through joints with rough surfaces was considerable, e.g. at sawn wood  $5$  m<sup>3</sup>/mh.

The air leakage did not appear to be a function of the width of the joint but was dependent on the roughness properties of the joint. It was also observed that small external disturbances in the joint can cause large increase in the air flow, e.g. at a joint with smooth walls and a thread of  $\varnothing 1$  mm between wall and gasket the air leakage was  $1,1$  m<sup>3</sup>/h at 700 Pa.

The investigation showed that splices in the gasket only cause a small increase of the air flow provided if the the gasket was correctly erected.

The properties of a gasket are changed by the age, which means that the air flow through the joint will change. Following standard tests are recommended:

1. Determination of the compression set for the gasket
2. Determination of the elasticity of the gasket
3. Determination of the air leakage through joints with the actual gasket.

The tests should be done with new and accelerated aged materials.

The report also contains a description of the theoretical calculations for the rate and the speed of air leakage through joints.



## 1 INLEDNING

I Svensk Byggnorm [1] ställes krav på byggnaders täthet genom angivande av största tillåtna luftomsättning i byggnader. Beträffande byggnadskomponenter anges enbart maximala värden på tillåten luftläckning utan närmare precisering av komponentens uppbyggnad. Värden anges för vägg, fönster, dörr, tak och bärlag mot fria inklusive i byggnadsdelen förekommande fogar. Några krav på fogars täthet anges ej, vilket kan medföra en olämplig fogutformning. En teoretisk bestämning av luftomsättningen i en byggnad är omöjlig att utföra utan kännedom om olika fogtypers kvaliteter. Denna undersökning omfattar studium av olika faktorer som påverkar luftläckningen genom fog tätade med gummilister. Studien är i huvudsak experimentell.

## 2 TIDIGARE UNDERSÖKNINGAR RÖRANDE FOGARS TÄTHET

Antalet kända undersökningar rörande faktorer som påverkar luftläckningen genom fogar tätade med gummilister är litet. I rapporten "Funktionsprovning av tätningslist" [2] behandlas rak planparallell fog innehållande gummilist typ T-list. Av denna rapport framgår nödvändigheten av angivande av tätningslisters funktionsområde och lämplig monterings teknik, speciellt vid hörn och skarvar. Ett examensarbete vid KTH [3] behandlar tätningslistor till fönster och dörrar. Ett stort antal undersökningar finns publicerade som behandlar luftgenomgång i öppna fogar och spalter, varav några exempel kan nämnas. Cammerer och Hirschbold [4] anger ekvationer för läckflöden genom fogar i fönsterkonstruktioner. Honma [5] redovisar en undersökning av luftflöden genom springor med stort strömningsmotstånd. Nylund [6] anger metod för bestämning av läckflöde genom fog sammansatt av olika utformade delar. Andersson LJE [7] har studerat fogars inverkan vid bedömning av industriväggars tät-

het. För ytterligare litteraturhänvisningar se  
BFR:s programskrift "Ofrivillig ventilation" [8]  
samt Kärrholm et al "Mikroklimat och luftutbyte" [9].



### 3 EXPERIMENTELL UNDERSÖKNING

#### 3.1 Inledning

Den experimentella undersökningen omfattar bestämning av luftläckningen i fogar tätade med olika typer av tätningslister. De faktorer som antagits påverka luftläckningens storlek och studerats är

- Fogutformningen:  
Inverkan av fogsidornas ytstruktur  
Inverkan av fogbredd  
Inverkan av fogprofil
  
- Tätningslistan:  
Inverkan av listprofil  
Inverkan av listans materialegenskaper före och efter accelererad åldring och långtidsbelastning
  
- Arbetsteknik:  
Inverkan av monteringsmetod  
Inverkan av skarvmetod och hörnutformning

#### 3.2 Tätningslister

##### 3.2.1 Listmaterial

De i denna undersökning använda tätningslistmaterialen har begränsats till gummi material typ EPDM och kloropen då tidigare studier tyder på att dessa material är överlägsna andra listmaterial. I Svensk Standard, SIS 162810, anges krav på gummi material för strängsprutade tätningslister rörande hårdhet, draghållfasthet, rivhållfasthet, sättning, värmeåldring, missfärgning från gummi, vätskors inverkan på gummi, kvarstående töjning, inverkan av ozon, elastisk återgång och brandmotstånd. Listmaterial indelas enligt SIS i två grupper A och B.

De provade listerna tillhör materialgrupp A, med höga krav på köld- och ozonbeständighet och är av både

massiv- och cellgummityp. Enligt Höjfors, Palmgren [10] är EPDM (etenpropengummi) en sampolymer av vanligen ca 55 % eten med propen och vanligen med 2-10% av en tredje monomer, t ex 1,4-hexadien eller etylidennorbornen. Lämpliga användningstemperaturer för EPDM massivgummi uppges ligga mellan  $-60^{\circ}\text{C}$  och  $+140^{\circ}\text{C}$ . Dess kemiska beständighet mot väder, ozon, varmvatten, vattenånga, svaga syror och alkali är utmärkt. Mot oxiderande ämnen och syror är beständigheten god, men dålig mot bensin och kolväteoljor. Kloroprengummi (CR, Neoprene) är en sampolymer av 20-40% akrylnitril och 60-80% butadien. Användningstemperaturen för CR massivgummi anges till  $-50^{\circ}\text{C}$  till  $+130^{\circ}\text{C}$ . Dess kemiska beständighet är god mot väder och ozon, utmärkt mot varmvatten etc samt mindre god mot oxiderande ämnen, syror, bensin och kolväteoljor. I båda gummimaterialen finns även fyllmedel och mjukningsmedel av varierande mängd.

### 3.2.2 Listtyper

De på marknaden f.n. förekommande listtyperna redovisas i Svensk Byggekatalog, häfte 17, [11]. Lister för tätning mellan dörrblad och karm samt mellan fönsterbåge och karm utformas ofta som slang- eller V-list. Fogar mellan t ex karm och vägg kräver större listprofiler av typ slang-, T- eller LV-list. Denna undersökning syftar icke till att bestämma samtliga listtyperns karakteristika utan till att studera faktorer som påverkar tätningsförmågan. De listtyper som penetrerats är T-list, slanglist, en typ av V-list samt LV-list (syllist). De olika listernas utseende framgår av Fig 1.

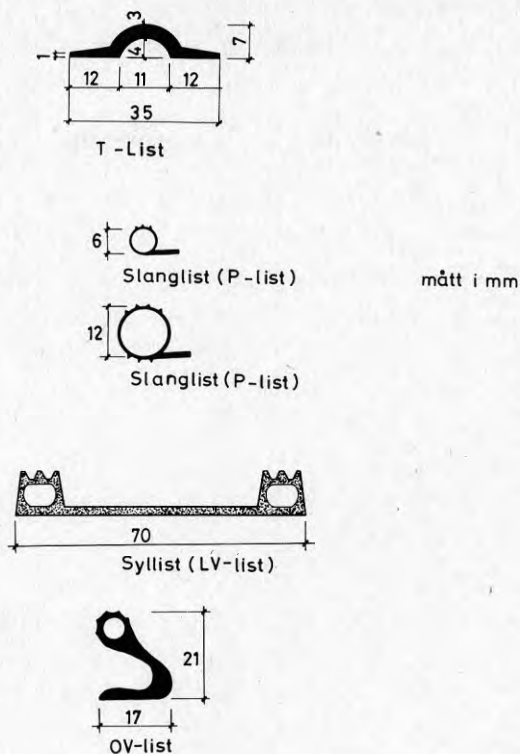


Fig. 1 Listprofiler.

### 3.3 Provning av luftläckning

#### 3.3.1 Provningsmetod

F.n föreligger ej någon av myndighet fastställd metod för bestämning av luftläckning genom fog försedd med tätningslist, men förslag till provningsmetod för tätningslister till fönster och dörrar har framlagts av BST. Metoden anger att ett 1 m långt provstycke av tätningslisten skall monteras i en rektangel över en tryckbehållare. Utrymmet inom rektangeln är anslutet till tryckbehållaren vari trycket varierar mellan 0 till  $\pm 700$  Pa. Provningsen ut-

föres dels med öppna och dels med tätade listhörn. Provningsmetoden beskriver ej listens tätningsförmåga på ett odiskutabelt sätt. P.g.a veckbildning i hörn kommer stor läckning att erhållas, som på intet sätt är signifikant för en rak lists tätningsförmåga. De begränsade yttermått 75 x 425 mm omöjliggör undersökning av lister med större dimensioner såsom T- eller syllist. Hörnutformningen blir för T-listen ej heller relevant för i praktiken använd hörnmontering. P.g.a dessa svagheter i undersökningsmetodik, som omöjliggör studium av olika faktorerers inverkan på luftläckningens storlek, har denna metod ej använts vid denna undersökning. I stället har en 0,5 m provlist placerats i rät linje mellan sidoytor av aluminium, trä etc, Fig 2a. Liständarna har anpassats till gavlar av plexiglas eller aluminium varigenom listen dragits. Anslutningen mellan list och gavlar har tätats med silikonkitt, Fig 2b.

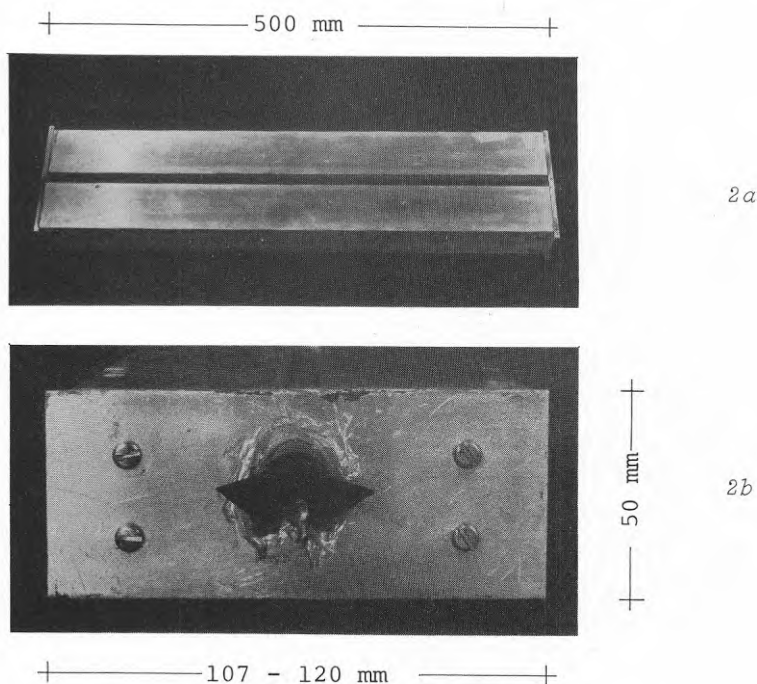
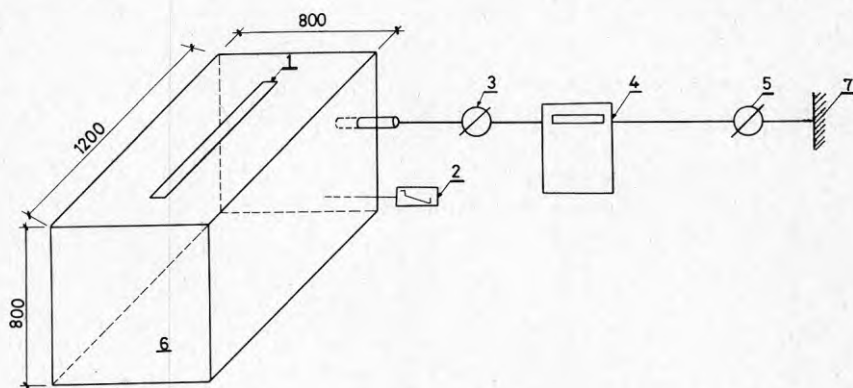


Fig. 2a Provkassett.

Fig. 2b Tätning av listände mot kassettgavel.

Monterad provlist har placerats över en springa i en tryckbehållare, Fig 3. Genom påföring med vatten vid gavlar och anslutning mot tryckbehållare har kontrollerats att anslutningar varit täta och oönskat läckage ej uppstått. Uppmätta värden anger luftläckning vid rak list. Provningsen har kompletterats med bestämning av luftläckning vid hörn och skarvar, där monteringen utförts enligt listtillverkarens rekommendationer eller normal praxis.



- 1 Springa, inkl. fästordning för provkasset
- 2 Mikromanometer
- 3 Tryckregulator
- 4 Volyummätare (gasmätare)
- 5 Tryckregulator inställd på 1000 Pa
- 6 Tryckbehållare
- 7 Anslutning till tryckluftsutrustning

Fig. 3 Provningsanordning.

Övertrycket i tryckbehållaren har erhållits genom anslutning till det allmänna tryckluftsanläggningsnätet. Mätningar har utförts vid trycken  $\pm 25, 50, 100, 200, 300, 500, 700$  Pa. Läckflödet har bestämts med gasmätare med angiven mätonoggrannhet  $\pm 2\%$ . Gas-mätaren har kontrollerats genom jämförelse med flödesmätare före och efter mätserien. Vid  $0,300 \text{ m}^3/\text{h}$  erhöles absolut överensstämmelse och vid  $3 \text{ m}^3/\text{h}$  ett mätfel av  $-1,7\%$  m.a.o har tillfredsställande mätnoggrannhet erhållits. Beaktas inverkan av olika temperatur på i tryckbehållaren in- och utgående luft



samt inverkan av tryckskillnad 0 till 700 Pa erhålles en ökning av uppmätta värden på max 3%. Mätanordningens volymfel torde därför vara < 3%.

Jämförelse har utförts mellan mätningar enligt BST:s metod och den av förf. använda. I Fig 4 anges resultat från provning av OV-list med båda metoderna. Studeras värden för t ex 8 mm fogbredd konstateras att BST:s metod för list med tätade hörn ger  $1,45 \text{ m}^3/\text{mh}$  vid 700 Pa medan i undersökningen använd metod ger  $0,2 \text{ m}^3/\text{mh}$ . Skillnaden i mätresultat kan förklaras av den stora inverkan av små oregelbundenheter. Se avsnitt 3.3.2 och 3.3.3 betr. inverkan av punktläckage.

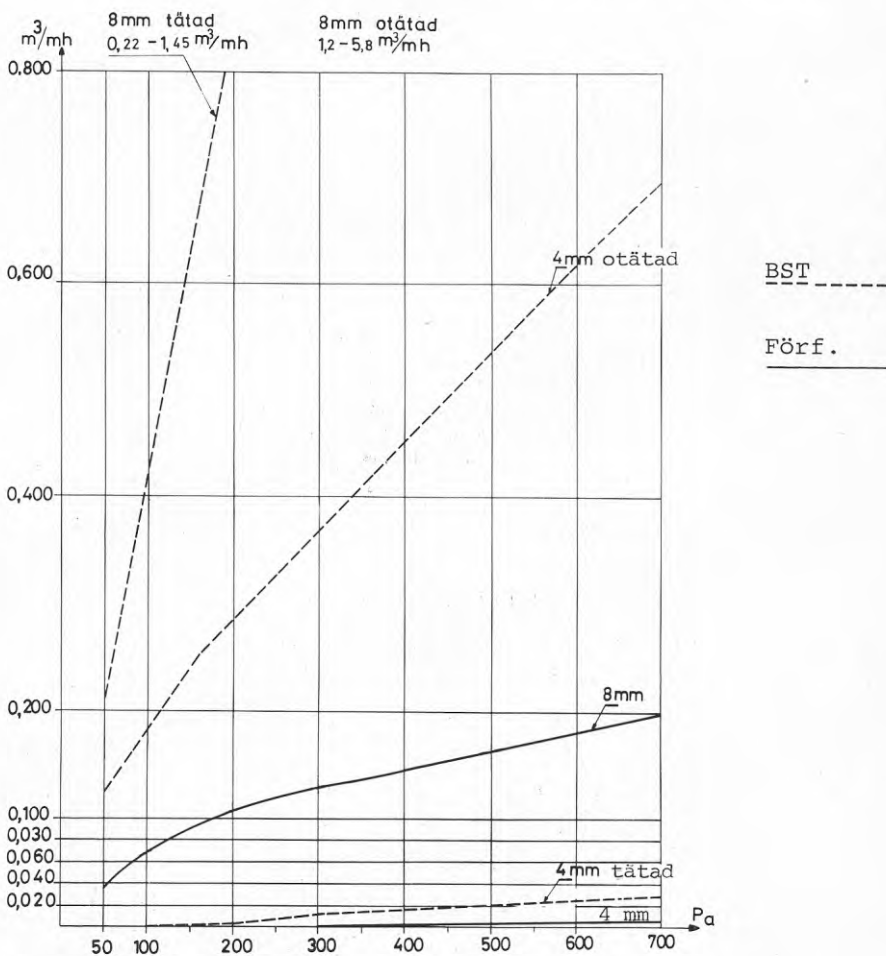


Fig. 4 Jämförelse mellan mätresultat vid provning enligt BST (utförd av SP) och författarens metod.

### 3.3.2 Luftläckning vid rak fog med T-list

Redovisning i detta avsnitt avser icke värmeåldrad list.

#### Fog med sidor av aluminium

En T-list av EPDM placerades mellan två hålprofiler 50 x 50 mm av aluminium, Fig 5, monterade på konstant avstånd från varandra. Mätningarna utfördes vid fogbredderna 7, 10, 12, 15 och 20 mm. Luftläckningen bestämdes vid varje deltryck mellan 50 och 700 Pa för en tidsperiod av minst 15 min. Den största läckmängden som uppmättes var 0,8 l/mh. Mätningarna upprepades ett antal gånger med olika listdelar. Undersökningen visar att vid släta sidoytor och icke åldrad list luftläckningen genom fogen är  $< 1$  l/mh ( $0,001 \text{ m}^3/\text{mh}$ ) oberoende av fogbreddsvariation inom listens rekommenderade användningsområde 7 - 20 mm.

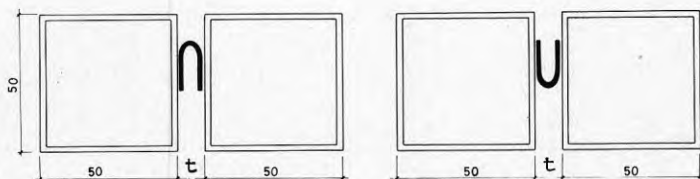


Fig. 5 T-list i provkassett.

#### Fog med sidor av hyvlat virke

Luftläckningen bestämdes vid fog med T-list där fogsidorna utgjordes av hyvlat trävirke 35 x 40 mm. De fogbredder som har studerats är 7, 10, 13,5, 15 och 20 mm. Antalet provade fogar är 2 x 10 st. Maximala luftläckningsvärdena varierade mellan  $< 1$  l/mh och  $< 32$  l/mh, Fig 6. Som framgår av diagrammet i Fig 7 är luftläckningen icke proportionell mot fogbredden. Större läckage kunde konstateras vid en smalare spalt än vid en bredare inom området 7 - 20 mm.

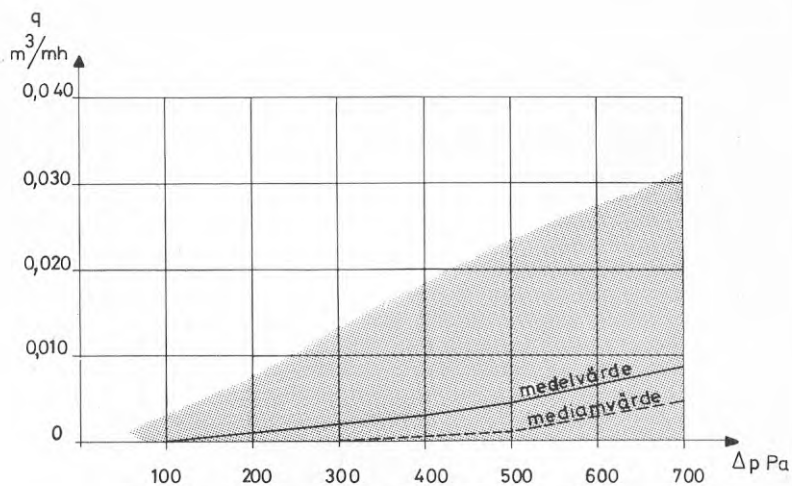


Fig. 6 Luftläckning vid fog med T-list. Fogsidor av hyvlat trä. Medelvärden för båda anblåsningensriktningarna.

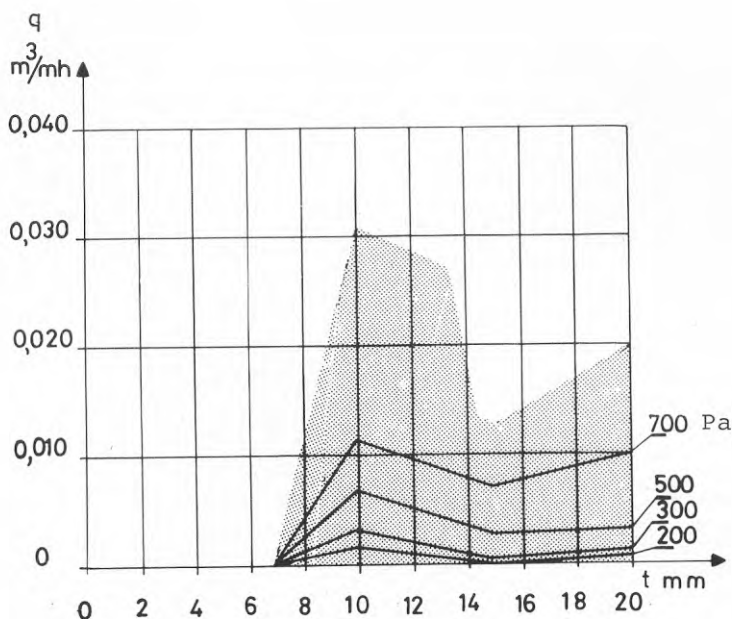
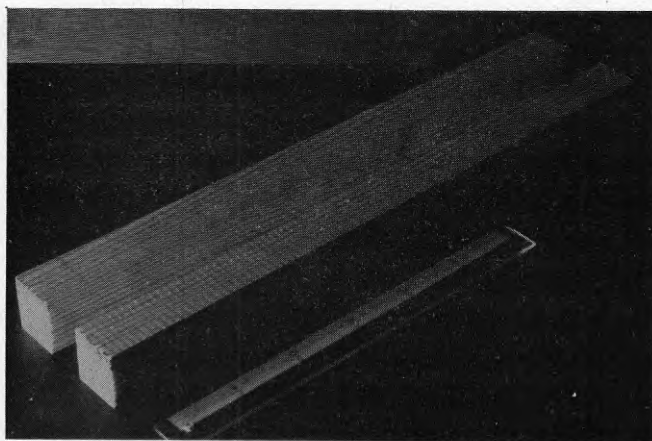


Fig. 7 Luftläckningens variation med fogbredd, T-list, fogsidor av hyvlat trä. Medelvärden för båda anblåsningensriktningarna.



Förloppet kan förklaras av att även släthyvlat träyta, Fig 8, uppvisar oregelbundenheter och ibland även kvistar som har olika lägen relativt listen vid de olika fogbredderna. I Fig 6 är inlagt kurvor för medelvärde, medianvärde och spridningsmått. Luftläckningens fördelning är i det närmaste linjär.



*Fig. 8 Fogsidor av hyvlat virke, fotograferade i släpljus.*

#### Fog med sidor av finsågat virke

Luftläckningen bestämdes vid fog med T-list där fogsidorna utgjordes av finsågat virke 35 x 45 mm, Fig 9. De fogbredder som studerats är 7, 10, 15 och 20 mm. Antalet provade fogar är 16 st. Maximala luftläckningsvärdet var 75 l/mh, Fig 10. Jämföres med värden vid fogsida av hyvlat virke framgår att läckaget har ung. fördubblats. Även i detta fallet kunde konstateras att luftläckningen ej ökade i proportion till fogbredden, Fig 11. Läckmängden var i allmänhet något större vid anblåsning in i det av T-listen bildade U-profilen jämfört med anblåsning ut från U-formen (U).

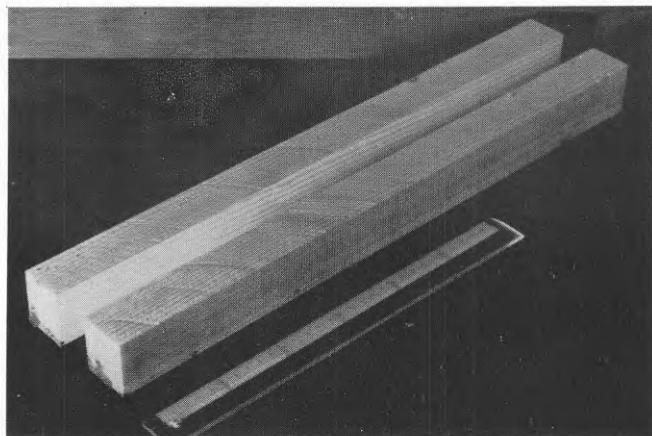


Fig. 9 Fogsidor av finsågat virke, fotograferade i släpljus.

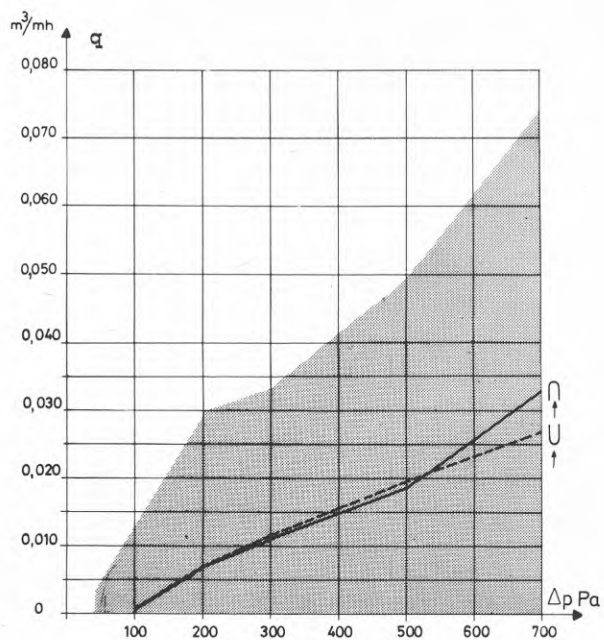


Fig. 10 Luftläckning vid fog med T-list, fogsidor av finsågat virke. Kurvorna anger medelvärden.

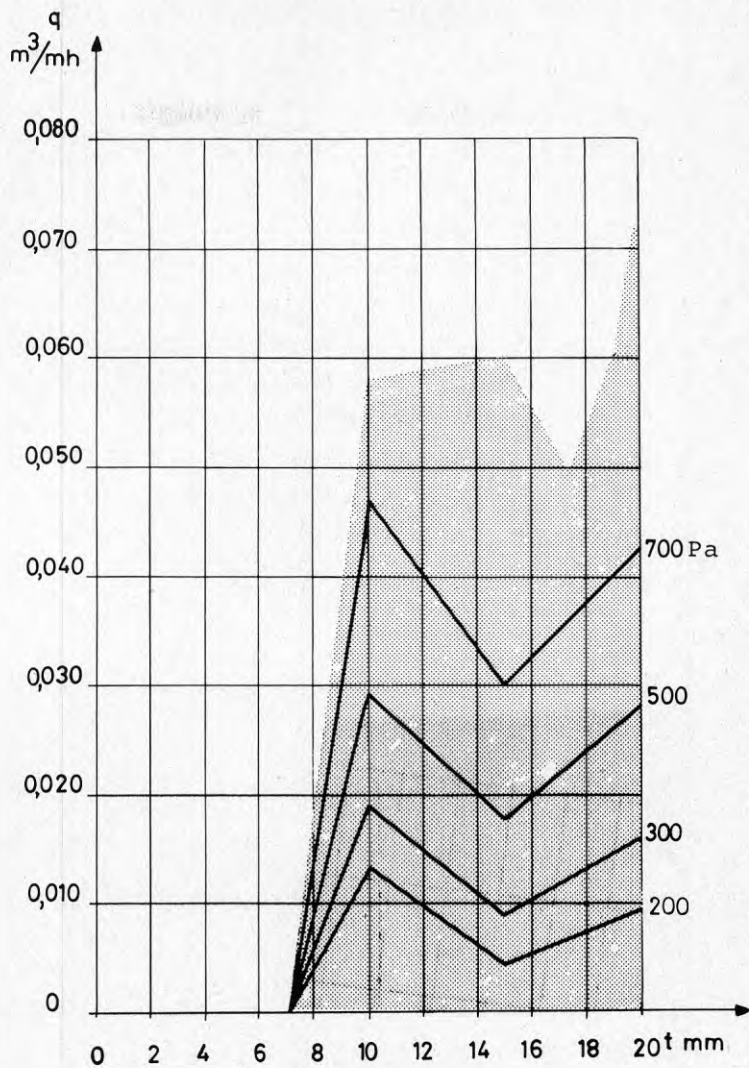
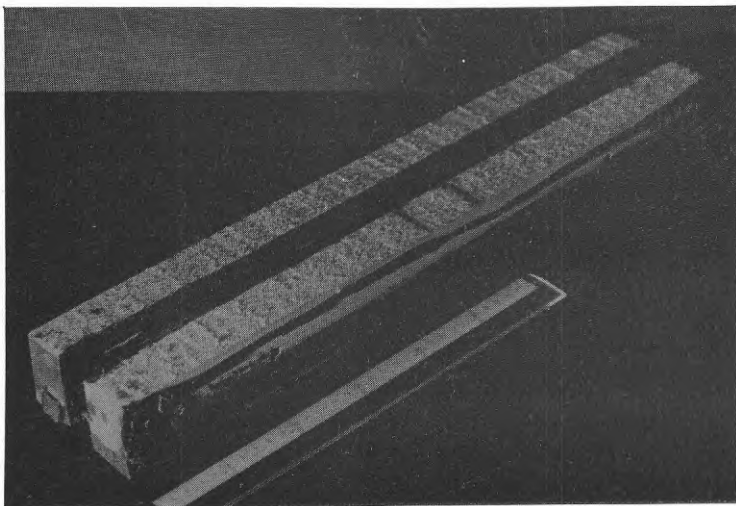


Fig. 11 Luftläckningens variation med fogbredd. T-list, fogsidor av finsågat virke. Kurvor för medelvärden och spridning gäller båda anblåsriktningarna.

Fog med sidor av grovsågat virke

Luftläckningen bestämdes vid fog med T-list där fogsidorna utgjordes av grovsågat trä 35 x 45 mm, Fig 12. De fogbredder som studerades var 7, 10, 12, 15, 20 mm. Antalet provade fogar är 13 st med två olika fogtyper sågade med olika grovlek. Den största uppmätta luftläckningen var  $3,7 \text{ m}^3/\text{mh}$  vid 300 Pa, vilket motsvarar max. kapacitet på provningsutrustningen, Fig 13, 14. Även vid fog med grovsågat virke ökar ej läckningen proportionellt mot fogbredden, Fig 15 och 16. Läckmängden var vid båda fogtyperna störst vid anblåsning in i den av T-listen bildade U-profilen. Provningsen visar att fogsidans ytstruktur kraftigt påverkar luftläckningens storlek.



*Fig. 12a Fogsidor av grovsågat virke, typ 1, fotograferade i släpljus.*

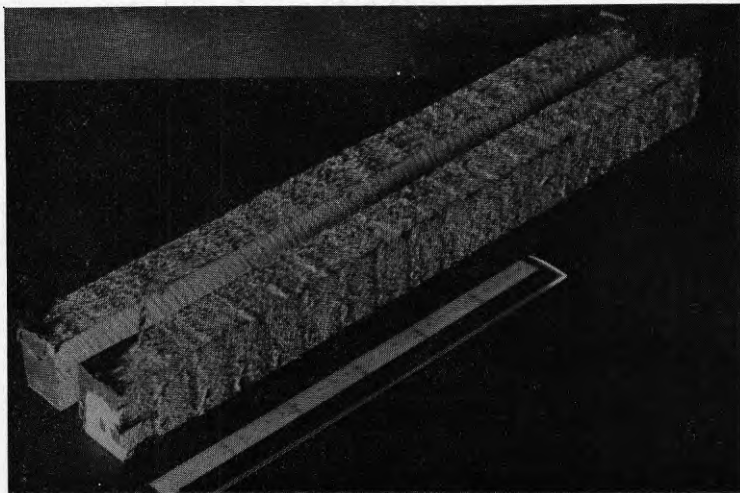


Fig. 12b Fogsidor av grovsågat virke, typ 2, fotograferade i släpljus.

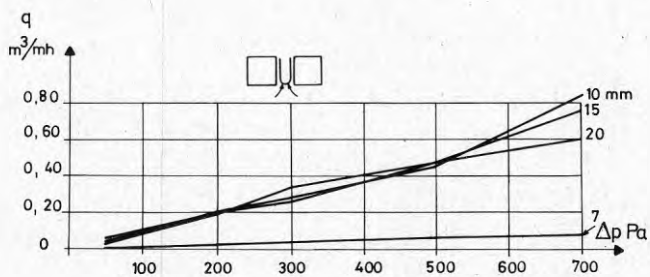


Fig. 13 Luftläckning vid fog med T-list. Fogsidor av grovsågat virke typ 1.

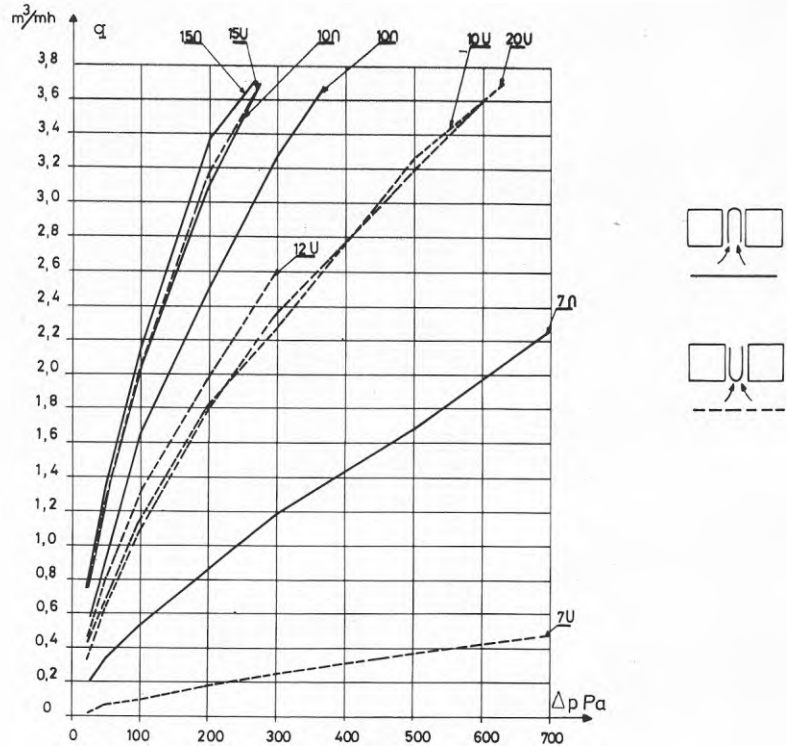


Fig. 14 Luftläckning vid fog med T-list. Fog-sidor av grovsågat virke typ 2.

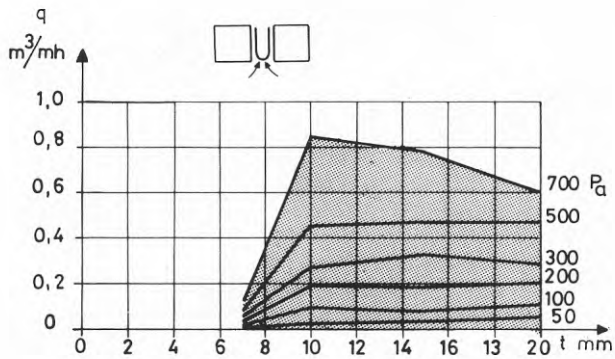


Fig. 15 Luftläckningens variation med fogbredd, T-list, fogsidor av grovsågat virke typ 1.



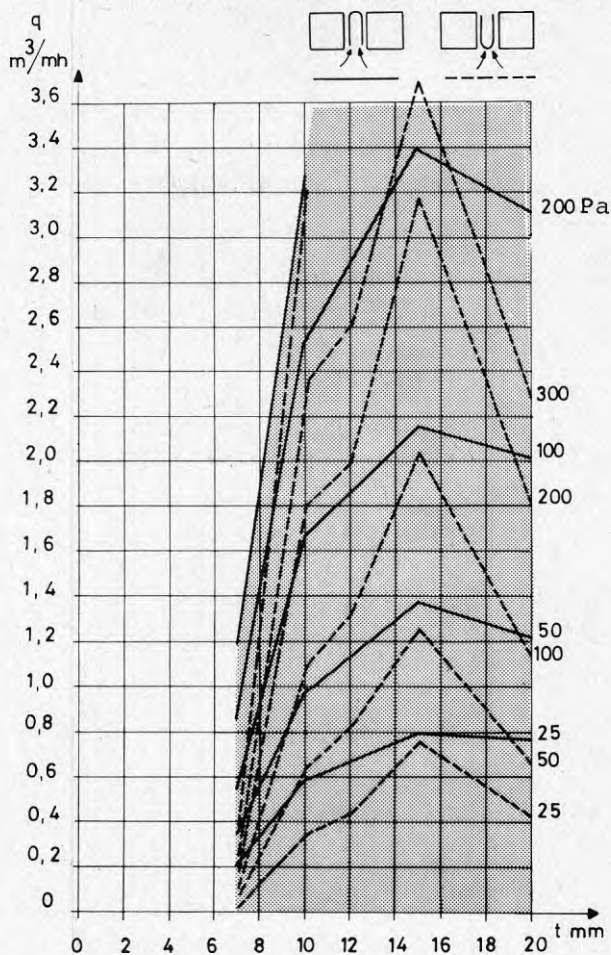


Fig 16 Luftläckningens variation med fogbredd, T-list, fogsidor av grovsågat virke typ 2.

#### Fog med sidor belagda med sandpapper

Undersökningen av luftläckaget genom fogar med fog-sidor av naturmaterialen trä visar att läckaget ökar med ökad grovhet på ytstrukturen. Trävirke uppvisar i allmänhet ej någon regelbunden ytstruktur, vilket försvårar överföring av luftläckningsvärden till godtycklig träyta. En skattning kan enbart göras. För att erhålla en mera klart definierad ytstruktur har luftläckaget bestämts genom fog med T-list där fog-

sidorna har varit beklädda med sandpapper nr 0 och nr 1. Luftläckaget vid sandpapper nr 0, Fig 17 och 18, ökar med ökad fogbredd med ett maximivärde  $1,7 \text{ m}^3/\text{mh}$  vid 700 Pa. Ändring av ytstrukturen till sandpapper nr 1 medför en avsevärd ökning av luftläckaget. Trycket 700 Pa kunde ej uppnås för samtliga fogbredder utan enbart för 7 och 10 mm fog, Fig 19 och 20. Maximalt uppmätta luftläckaget var  $3,1 \text{ m}^3/\text{mh}$  för 10 mm fog vid 700 Pa. En provningsutrustning med större kapacitet hade kanske givit värden  $> 5 - 6 \text{ m}^3/\text{mh}$  (extrapolerat värde) vid 20 mm fog och 700 Pa. Vid ytstruktur sandpapper 0 erhålles något större läckage vid anblåsning in i den av T-listen bildade U-profilen medan vid sandpapper nr 1 den farligaste anblåsningsriktningen varierar med relativt små skillnader i läckmängd.

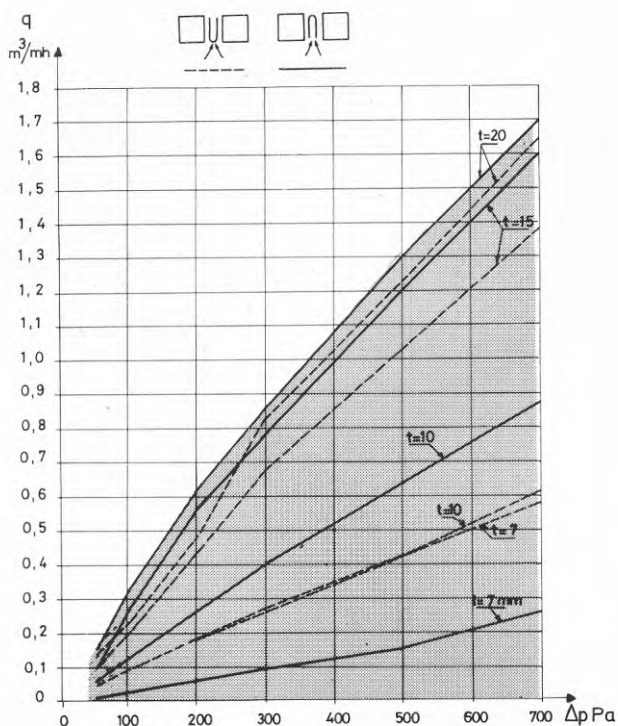


Fig. 17 Luftläckning vid fog med T-list. Fogsidor belagda med sandpapper nr 0.



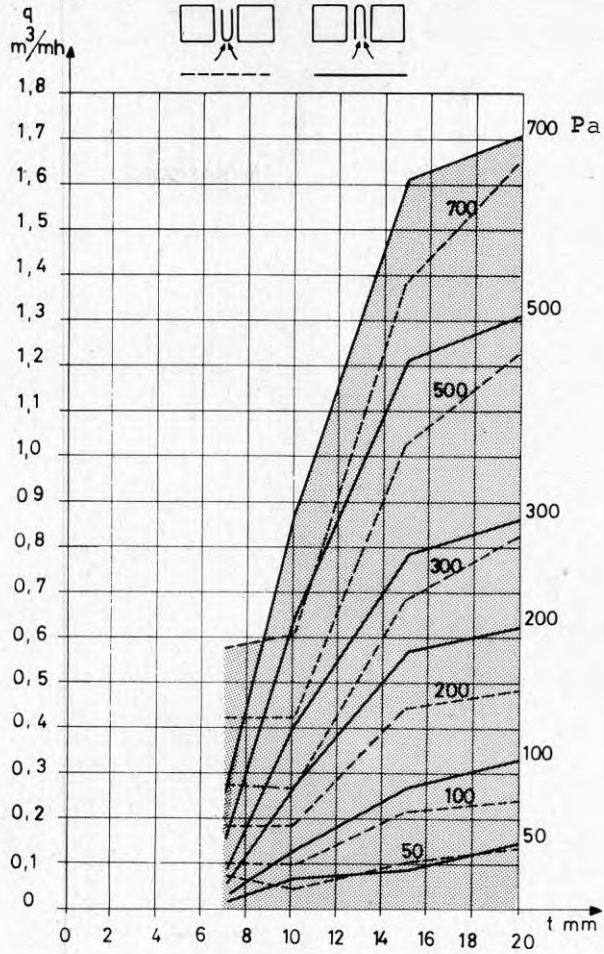


Fig. 18 Luftläckningens variation med fogbredd, T-list, fogsidor belagda med sandpapper nr 0.

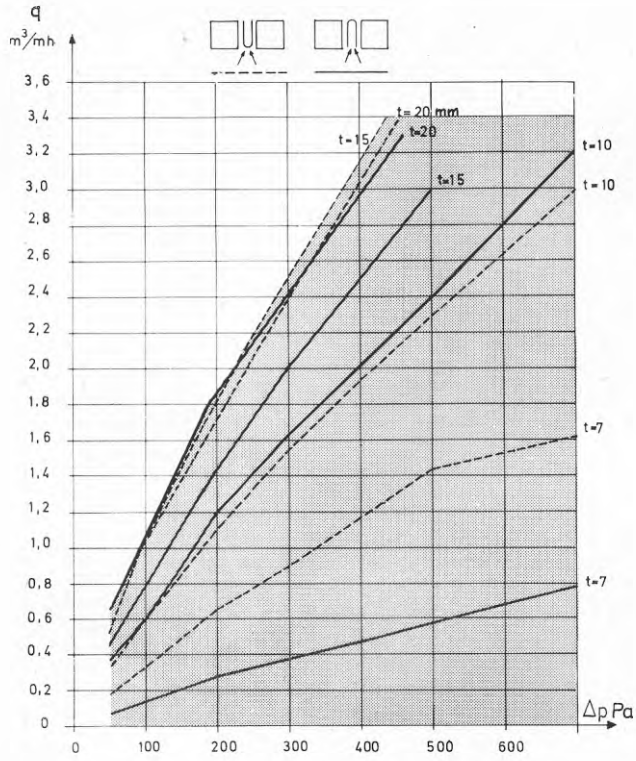


Fig. 19 Luftläckning vid fog med T-list. Fog-sidor belagda med sandpapper nr 1.

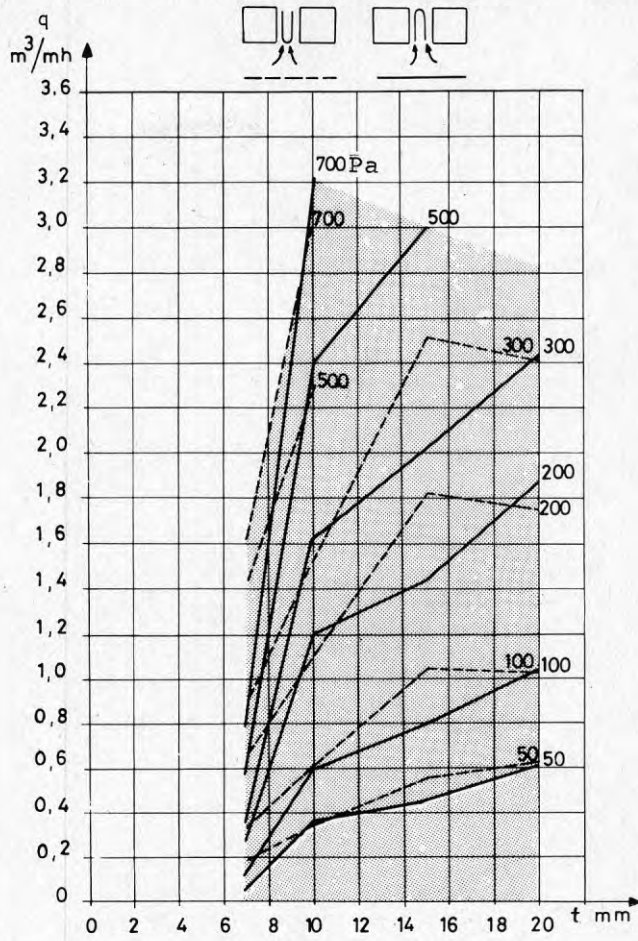


Fig. 20 Luftläckningens variation med fogbredd, T-list, fogsidor belagda med sandpapper nr 1.

## Fog med sidor av betong

De i föregående avsnitt redovisade mätningarna visar att läckaget är starkt beroende av ytstrukturen. Vid fog med sidor av betong studerade därför olika ytstrukturer, dels betong gjuten mot formplywood, dels träskurad betong. I båda fallen innehöll ytorna icke några gjutblåsor. Vid slät betongyta var läckaget litet,  $< 30$  l/mh vid 700 Pa, Fig 21, och ökade till  $0,36$  m<sup>3</sup>/mh, Fig 22, vid träskurad yta. Noteras bör dock att ytorna i båda fallen var plana, vilket inte alltid är fallet i praktiken.

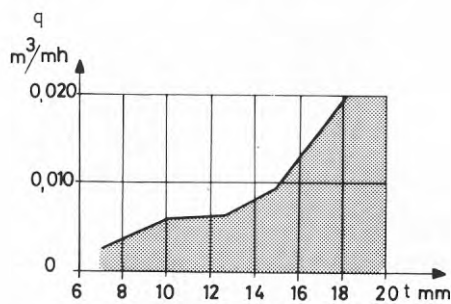


Fig. 21 Luftläckning vid fog med T-list. Fogsidor av slät betong.

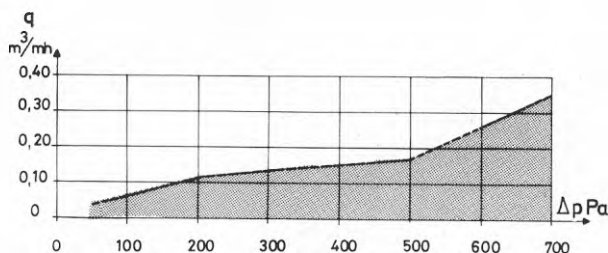


Fig. 22 Luftläckning vid fog med T-list. Fogsidor av träskurad betong.

### Fog med sidor av aluminium och punktläckage

Den stora inverkan på luftläckningens storlek av små oregelbundenheter har tidigare påtalats. För att närmare studera detta placerades T-lister mellan fogsidor av aluminium där en tråd med  $\phi 0,35$  mm till  $\phi 1$  mm infördes mellan listen och fogsidan. Fogbredden var 12 mm. Jämförelsevis stora läckmängder erhöles. Vid  $\phi 0,35$  mm uppmättes  $0,110 \text{ m}^3/\text{h}$ , vid  $\phi 0,65$  mm  $0,490 \text{ m}^3/\text{h}$  och vid  $\phi 1,0$  mm  $1,1 \text{ m}^3/\text{h}$ , Fig 23. Som framgår av tidigare avsnitt blev läckningen  $< 0,001 \text{ m}^3/\text{mh}$  vid T-list placerad mellan aluminiumsidor, vilket visar på nödvändigheten av omsorgsfull montering och borttagande av oregelbundenheter så att helt släta fogsidor erhålles.

Mätningen påvisar också olämpligheten i att bedöma en lists tätningsförmåga med provlist placerad i rektangelform. Användes mätvärden enligt Fig 4 visar sig hörnläckaget uppgå till  $(1,45 - 0,2) \times 1/4 = 0,313 \text{ m}^3/\text{h}$ , vilket motsvarar veck med c:a 0,5 mm diameter i varje hörn.

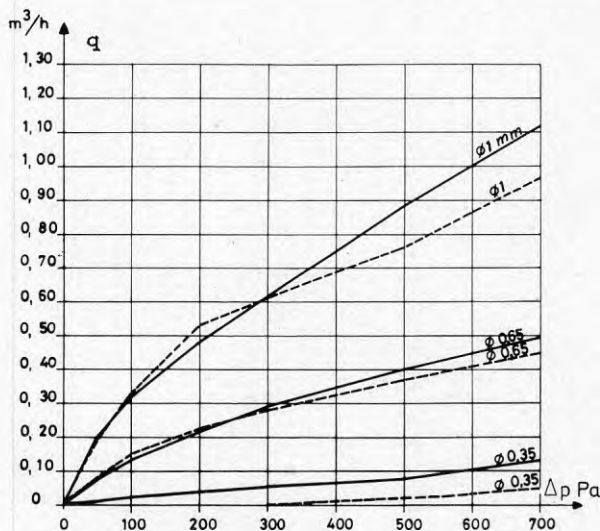


Fig. 23 Inverkan av störning på luftläckning vid fog med T-list och fogsida av slät aluminium.

### Fog med varierande bredd

För att undersöka om luftläckningen ändras vid fog med varierande bredd jämfört med fog med konstant bredd placerades T-listen mellan fogsidor av aluminium monterade så att en sned spalt bildades. Fogbredden valdes till 7 mm och 20 mm i vardera änden av mätsträckan 0,5 m. Maximalt uppmätta luftläckningen blev  $< 1$  l/mh vid 700 Pa. Vid slät fogsida inverkar således ej en jämn fogbreddsvariation,  $< 1/76$ , inom listens funktionsområde på tätningsförmågan.

### Fog med skarvad list

För att undersöka inverkan av en skarv placerades två T-lister med ändarna väl mot varandra mellan fogsidor av aluminium, varvid monteringen underlättades genom att listdelarna förenades med tape. Vid 7 mm fog uppmättes en luftläckning  $< 7$  l/h och vid 20 mm fog  $< 43$  l/h vid 700 Pa, Fig 24. Jämförelse med övriga provade skarvade lister (slanglist och syllist) visar att läckaget är större vid T-list, men av måttlig storlek vid omsorgsfull montering.

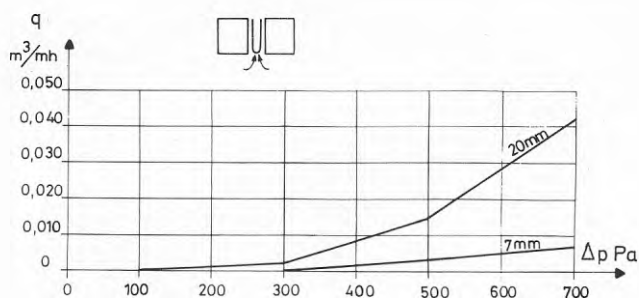


Fig. 24 Luftläckning vid fog med skarvad T-list.



### Sammanfattande slutsatser om T-listens funktion

T-listens tätningsfunktion har studerats genom att bestämma luftläckningens storlek genom fogar där T-list utgjort det tätande mediet. Fogsidornas ytstruktur har varit av varierande beskaffenhet: slät aluminium, hyvlat trävirke, finsågat trävirke, grovsågat trävirke (två typer), sandpapper (nr 0 och nr 1) och betong. Inverkan av störningar som givit punktläckage samt skarvar har studerats.

Inverkan av ytstrukturens finhet (grovhet) belyses av Fig 25. Vid mycket jämn yta (slät aluminium) var luftläckningen  $< 1$  l/mh vid 700 Pa oberoende av fogbreddsvariationen inom listens rekommenderade användningsområde 7 - 20 mm. Vid fogsida av hyvlat trä ökade luftläckningen något. Maximala värdet,  $< 32$  l/mh, erhöles ej vid största fogbredd utan vid 10 mm fog. Detta kan förklaras av att listens läge relativt ojämnheter i fogytan var olika vid de olika fogbredderna. Ökades grovheten hos fogsidan ytterligare till finsågat trä ökade medelläckningen 3 å 4 ggr jämfört med hyvlat virke. Vid finsågat virke framträdde ej någon entydig skillnad mellan de båda anblåsningsriktningarna.

Vid grovsågat trä användes två olika typer av fogsidor. Vid yta typ 1 uppmättes 20 - 30 ggr större luftläckning än vid hyvlat trä, med ett maximalt uppmätt värde  $0,83 \text{ m}^3/\text{mh}$ . Vid grovsågat virke typ 2 erhöles ca  $5 \text{ m}^3/\text{mh}$  (extrapolerat värde), Fig 26, vilket motsvarar 150 - 200 ggr större läckning än vid hyvlat trä. Vid grovsågat virke var läckaget störst vid anblåsning in i den av T-listen bildade U-formen.

Vid fogar mellan betongytor erhöles motsvarande förhållande. Släta fogsidor medförde liten luftläckning, vilken ökade med ytstrukturens ökade grovhet.

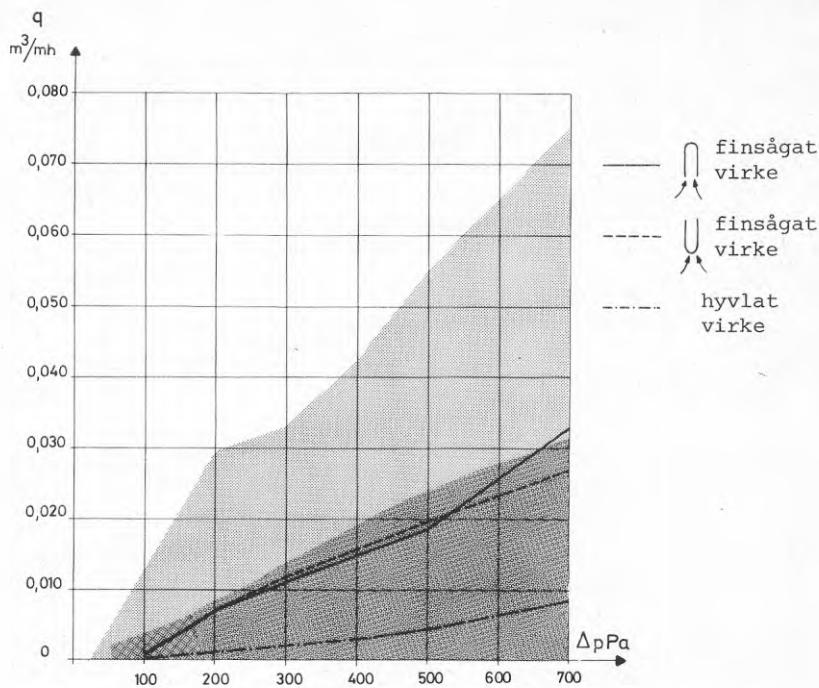


Fig. 25. Luftläckning vid fog med T-list. Jämförelse mellan resultat vid fogsidor av hyvlat och finsågat virke.

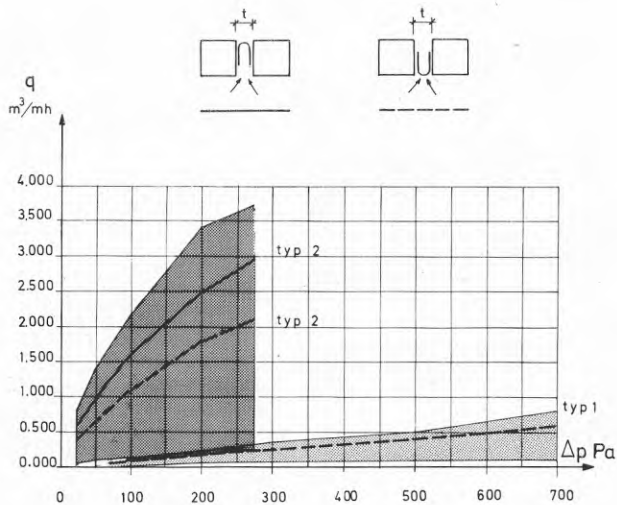


Fig. 26 Luftläckning vid fog med T-list. Jämförelse mellan resultat vid fogsidor av grovsågat virke typ 1 och 2.



För att studera inverkan av störningar såsom spik, fibrer etc undersöktes luftläckningens storlek vid punktläckage orsakat av en genomgående tråd mellan list och fogsida av aluminium. Vid en  $\phi 0,35$  mm tråd erhöles  $0,110 \text{ m}^3/\text{h}$ , vid  $\phi 0,65$  mm  $0,490 \text{ m}^3/\text{h}$  och vid  $\phi 1,0$  mm  $1,1 \text{ m}^3/\text{h}$  vid 700 Pa vilket är en betydande luftläckning.

Undersökningen visar att fogar som man önskar vara lufttäta skall utföras med hyvlat trävirke alt. slät betong. Vid träkonstruktioner innebär det att kvistar etc måste behandlas. Motsvarande gäller vid betong där ytan ej får innehålla gjutblåsor etc.

Monteringen måste utföras så att fästdon för listen ej bildar genomgående spalter. Listskarvar ger vid omsorgsfull montering små tillskott till luftläckningen. Undersökningen visar att läckningen i en skarv ungefär motsvarar läckningen per m list om fogsidan är av släthyvlat virke. Jämna fogbreddsvariationer (ca 1/80) inom listens funktionsområde påverkar ej luftläckningens storlek vid släta fogsidor.

### 3.3.3 Luftläckning vid rak fog med slanglist (P-list)

Redovisning i detta avsnitt avser icke värmeåldrad list. Två olika listmaterial EPDM och kloropren samt två listdimensioner  $\phi 6$  mm och  $\phi 12$  mm har studerats.

#### Fog med sidor av aluminium

Vid slanglist  $\phi 6$  mm av EPDM placerad i en 3 mm fog erhöles icke något läckage för tryck mellan 0 och  $\pm 700$  Pa. Vid slanglist  $\phi 6$  mm av kloropren och 3 mm fog erhöles  $< 1$  l/mh, m.a.o synes ej någon skillnad föreligga mellan de båda listmaterialen. Fogbredden varierades icke vid denna fogtyp, då sannolikt luftläckningen vid slanglist ej är större än vid T-list, vilket innebär att slanglist placerad i fog med släta aluminiumsidor förmår täta helt inom dess fogbreddsområde.

#### Fog med sidor av hyvlat virke

Slanglist  $\phi 6$  mm av EPDM resp. kloropren placerades i fog med sidor av hyvlat trä, varvid fogbredderna 1, 3 och 5 mm studerades. Som framgår av Fig 27 och 28 var den uppmätta läckagemängden  $< 1$  l/mh vid 1 mm fog och  $< 3$  l/mh vid 3 mm fog för båda materialtyperna. Vid 5 mm fog erhöles  $< 11$  l/mh för EPDM-list och 45 l/mh för kloroprenlist. Skillnaden i mätvärden behöver icke bero på materialet utan kan bero på träytans varierande ytstruktur. Vid  $\phi 12$  (EPDM) erhöles en motsvarande bild, Fig 29. Vid 4 och 8 mm fog uppmättes icke något läckage och vid 11 mm fog  $< 108$  l/mh vid 700 Pa. De slutsatser som kan dras av mätningarna är att listmaterialet ej synes påverka täthetsförmågan vid icke åldrade lister, samt att det är möjligt att erhålla tät fog om fogbredden är lämpligt avpassad till listdimension.

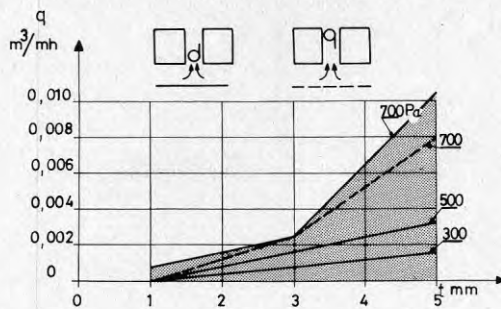


Fig. 27 Luftläckning vid fog med  $\phi 6$  mm. Slanglist av EPDM. Fogsidor av hyvlat virke.

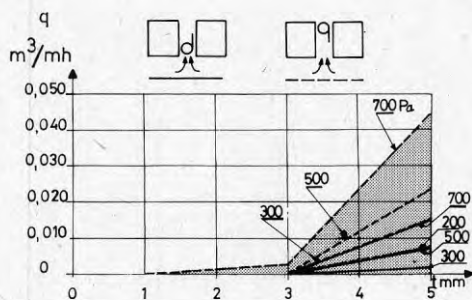


Fig. 28 Luftläckning vid fog med  $\phi 6$  mm. Slanglist av kloropren. Fogsidor av hyvlat virke.

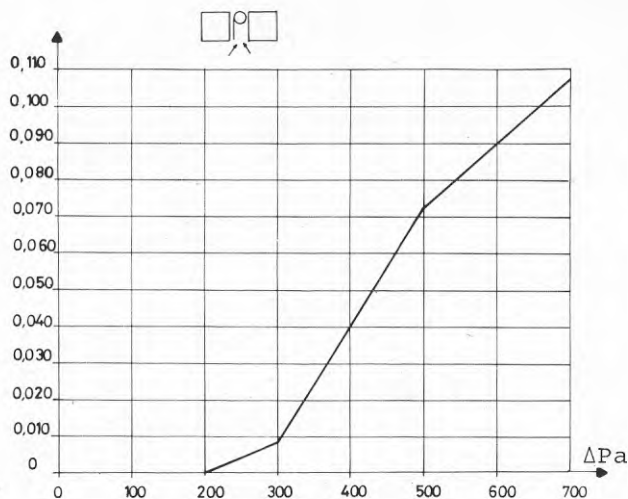


Fig. 29 Luftläckning vid fog med  $\phi 12$  mm slanglist.  
Fogsidor av hyvlat virke, fogbredd 11 mm.

#### Fog med sidor av finsågat virke

Vid slanglist  $\phi 6$  mm (EPDM) studerades fogbredderna 1, 3 och 5 mm där fogsidorna utgjorde finsågat trä. Som framgår av Fig 30 är den uppmätta läckagemängden < 3 l/mh vid 1 mm fog, < 26 l/mh vid 3 mm fog och < 136 l/mh vid 5 mm fog.

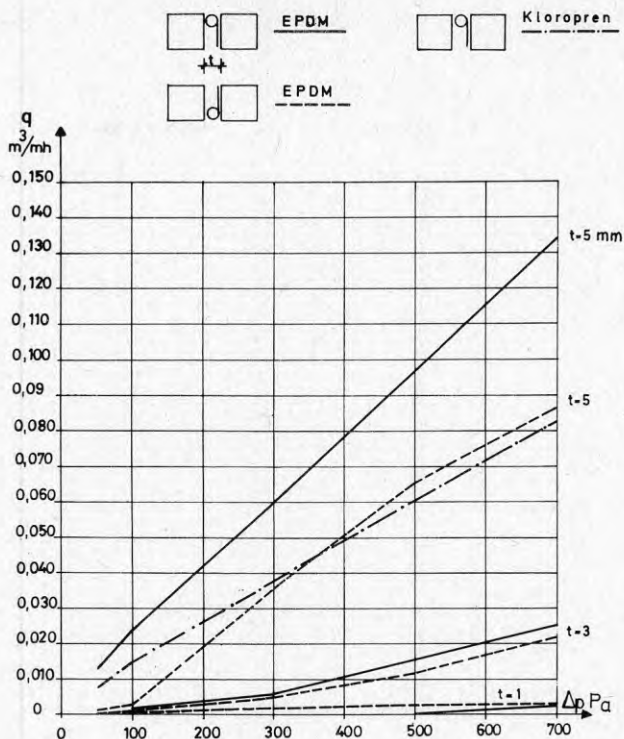


Fig. 30 Luftläckning vid fog med  $\phi 6$  mm slanglist. Fogsidor av finsågat trä.

Antalet mätningar med kloroprenlist begränsades till att enbart omfatta 5 mm fog med slanglisten placerad med skänkeln mot anblåsriktningen, varvid uppmättes 83 l/mh vid 700 Pa. Provingarna med fogsidor av aluminium resp. hyvlat trä antyder att någon egen-skapsskillnad ej föreligger mellan EPDM- och kloroprenlist, utan skillnaden kan förklaras av olika list-lägen relativt oregelbundenheter i träytan. Vid  $\phi 12$  mm list erhålls < 4 l/mh vid 4 mm fog, < 51 l/mh vid 8 mm fog och < 170 vid 11 mm fog, Fig 31.

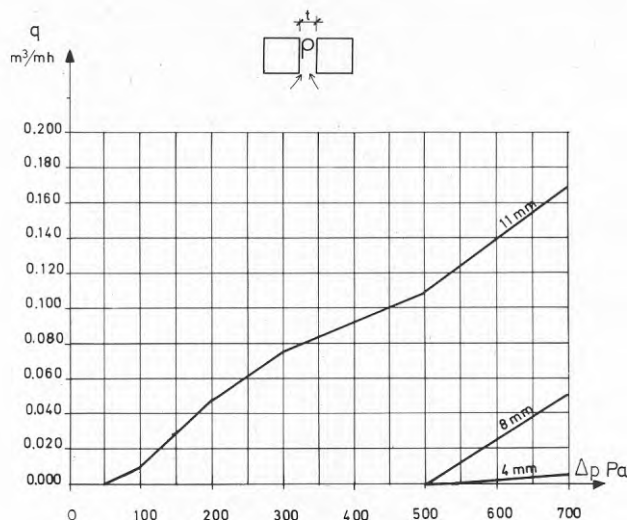


Fig. 31 Luftläckning vid fog med  $\phi 12$  mm slanglist. Fogsidor av finsågat trä.

#### Fog med sidor belagda med sandpapper

Med stöd av erfarenhet från mätningarna enligt föregående avsnitt, begränsades undersökningen till lister tillverkade av EPDM. Vid  $\phi 6$  mm slanglist erhöles luftläckning  $< 1,85$  m<sup>3</sup>/mh vid 4 mm fog och 700 Pa, Fig 32. Vid ytor beklädda med sandpapper nr 1 ökade läckaget till  $3,2$  m<sup>3</sup>/mh vid 3 mm fog, Fig 32. (Vid sandpapper nr 0 erhöles  $1,3$  m<sup>3</sup>/mh). Vid  $\phi 12$  mm slanglist erhöles  $< 0,56$  m<sup>3</sup>/mh vid 4 mm fog,  $< 0,60$  m<sup>3</sup>/mh vid 8 mm fog och  $< 3,0$  m<sup>3</sup>/mh vid 11 mm fog, Fig 33. Undersökningen antyder nödvändigheten av att föreskriva ett begränsat fogbreddsområde för en listdimension.



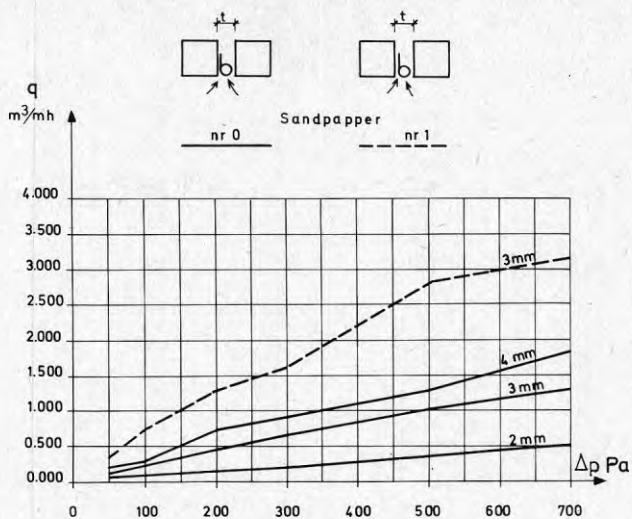


Fig. 32 Luftläckning vid fog med  $\phi 6$  mm slanglist. Fogsidor belagda med sandpapper.

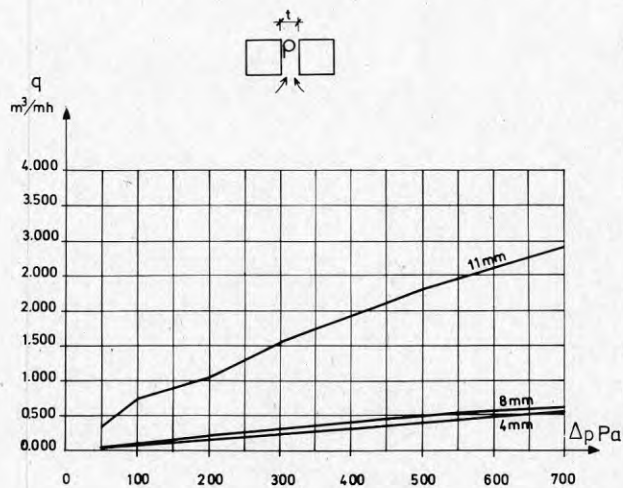


Fig. 33 Luftläckning vid fog med  $\phi 12$  mm slanglist. Fogsidor belagda med sandpapper nr 0.

### Fog med sidor av betong

Av slanglistor användes  $\phi 12$  mm list mellan t ex karm och betongelement. Vid 8 mm fog uppmättes små läckage vid slät betongyta,  $< 0,020 \text{ m}^3/\text{mh}$  vid 700 Pa. Tendensen var i överensstämmelse med provningarna med T-list, vilket innebär ett ökat läckage vid träskurad betongyta.

### Fog med varierande bredd

För att undersöka om läckaget ändras vid fog med varierande bredd jämfört med fog med konstant bredd placerades  $\phi 6$  mm slanglist mellan fogsidor av aluminium resp. finsågat trä, där fogsidorna monterades så att en sned spalt bildades.

Fogbredden valdes till 2 mm och 4 mm i vardera änden av mätsträckan 0,5 m. Vid fogsidor av aluminium konstaterades ingen luftläckning. Vid finsågat trä erhöles maximalt 32 l/mh vid 700 Pa, Fig 34, vilket värde kan jämföras med 26 l/mh vid 3 mm jämbred fog, Fig 30. Slanglist synes därför fungera väl även vid måttlig snedställning (1/500) av fogsidorna.

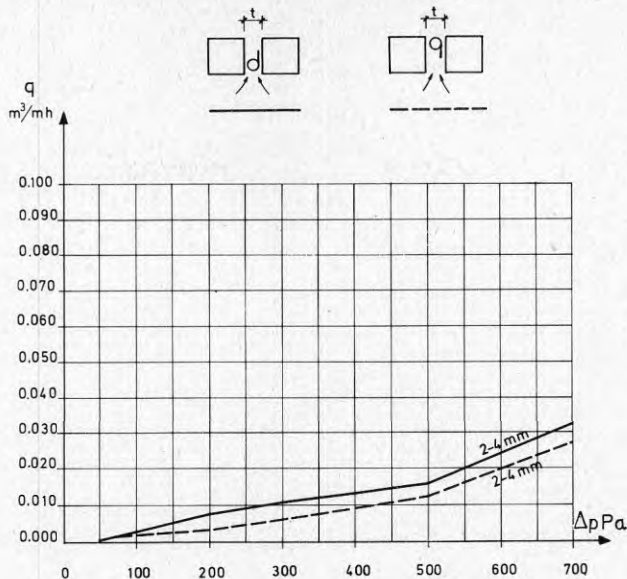


Fig. 34 Luftläckning vid fog med  $\phi 6$  mm slanglist. Fogbredden varierar rätlinjigt mellan 2 och 4 mm på mätsträcka 0,5 mm. Fogsidor av finsågat virke.

#### Fog med sidor av trä och fastmonterad list

De i tidigare avsnitt redovisade mätningarna avser löst monterade foglister. I praktiken fästes slanglist med häftklammer, varför inverkan av fast montering undersöktes.  $\phi 6$  mm slanglist fästes med 6 st klammer på mätsträcka 0,5 mm. Fogsidan valdes till finsågat trä och fogbredden 3 mm och 5 mm studerades. Vid 3 mm fog uppmättes  $< 16$  l/mh vid 700 Pa och vid 5 mm fog  $< 250$  l/mh, Fig 35. Jämföres värden för fast monterad list med löst monterad framgår att luftläckningen minskat vid 3 mm fog, men ökat vid 5 mm fog. Orsaken härtill är att listen vid fasthäftningen ej blev absolut rak utan något krökt mellan fästpunkterna i vilket även torde vara fallet vid montering i praktiken. Slutsatsen blir att listens funktionsområde ytterligare begränsas och rekommenderat fogbreddsområde måste minskas. För  $\phi 6$  mm slanglist borde maximal fogbredd vara  $< 4$  mm. Häftklammer bör utföras i icke

korrosivt material för att luftläckningen ej skall öka med tiden.

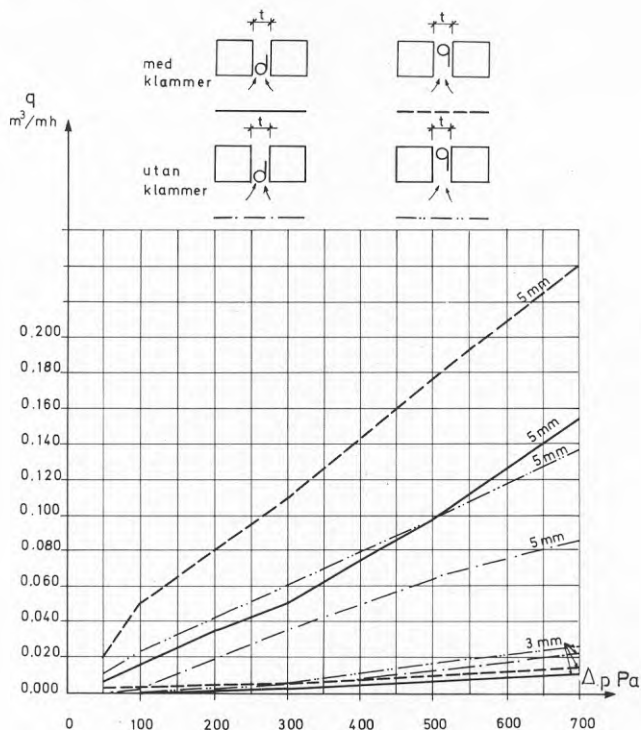


Fig. 35 Luftläckning vid fog med  $\phi 6$  mm slanglist fast monterad med klamrar. Fogsidor av finsågat trä.

#### Fog med skarvad list

I en rak fog är det ofta nödvändigt att skarva tätningsslistan. För att undersöka inverkan av skarven på tätningens förmåga placerades två slanglister med ändarna väl mot varandra mellan fogsidor av aluminium. Vid  $\phi 6$  mm list valdes 5 mm fog och vid  $\phi 12$  mm list 10 mm fog. De uppmätta läckagen blev 21 l/h resp. 91 l/h vid 700 Pa, Fig 36, vilket kan anses gälla läckaget i skarven. Vid omsorgsfull passning av liständarna är det således möjligt att få en skarv med liten luftläckning.

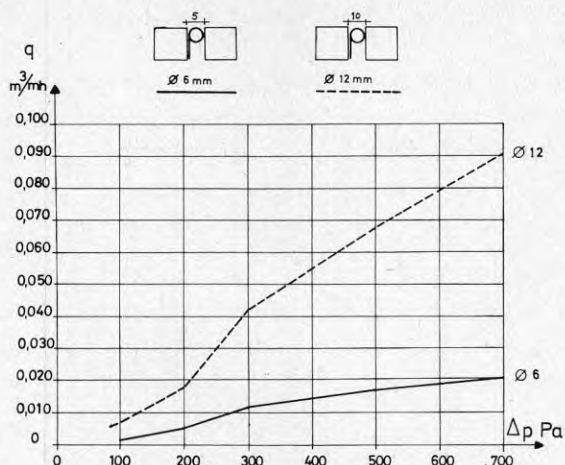


Fig. 36 Luftläckning vid fog med skarvad slanglist.

#### Fog med sidor av aluminium och punktläckage

Små oregelbundenheter inverkar, som tidigare nämnts, väsentligt på luftläckningens storlek. En slanglist  $\phi 6$  mm placerades i en 3 mm fog med sidor av aluminium, där ett punktläckage arrangerades med tråd av olika diameter. Vid  $\phi 0,35$  mm tråd erhöles  $0,114 \text{ m}^3/\text{h}$  vid 700 Pa, vid  $\phi 0,65$  mm  $0,182 \text{ m}^3/\text{h}$  och vid  $\phi 1$  mm  $0,429 \text{ m}^3/\text{h}$ , m.a.o luftläckning av betydande storlek, Fig 37. Vid 3 mm fog utan punktläckage uppgick det uppmätta läckaget till  $< 1 \text{ l}/\text{mh}$ .

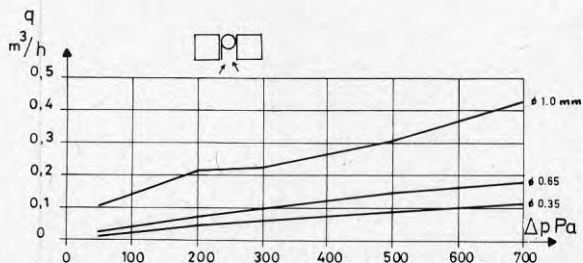


Fig. 37 Inverkan av störning på luftläckning vid fog med  $\phi 6$  mm slanglist. Fogbredd 3 mm.

### Sammanfattande slutsatser om slanglistens funktion

Slanglistens tätningfunktion har studerats på samma sätt som vid T-list. De undersökta fogarna har haft fogsidor av aluminium, hyvlat trä, finsågat trä, sandpapper resp. betong. Resultatet är även vid denna listtyp entydigt. Vid släta fogsidor erhöles små luftläckningsvärden om fogbredden var minst 1 mm mindre än slangdiametern vid  $\phi 6$  mm och minst 2 mm vid  $\phi 12$  mm. Luftläckningen ökade vid finsågat virke jämfört med hyvlat virke. Samma tendens erhöles vid olika grova betongytter. Undersökningen visar att den rekommendation som tidigare givits för fogar med T-list även gäller fogar med slanglist. Detta innebär att om lufttät fog önskas skall fogsidan göras slät. Jämn fogbreddsvariation ( $< 1/500$ ) synes ej ge ändrad funktion. En listskarv medförde ett läckage vid 700 Pa om c:a 20 l/h vid  $\phi 6$  mm och c:a 90 l/h vid  $\phi 12$  mm list under förutsättning att skarven monterats omsorgsfullt.

Monteringen av slanglist med häftklammer skall göras så att listen ej bildar en bågform mellan fästpunkterna. Häftklammer medför att listens övre funktionsområdes gräns minskar och blir  $< 4$  mm vid  $\phi 6$  mm list och  $< 10$  mm vid  $\phi 12$  mm om monteringen utförs omsorgsfullt.

#### 3.3.4 Luftläckning vid rak fog med syllist

Redovisning i nedanstående avsnitt avser icke värmeåldrad list.

##### Fog med sidor av aluminium

En 70 mm syllist (LV-list) placerades mellan två fogsidor av aluminium. Vid 3 mm och 7 mm fog uppmättes  $< 2$  l/mh vid 700 Pa. Vid övriga tryck kunde inget läckage påvisas.



### Fog med sidor av betong

En 70 mm syllist placerades mellan två fogsidor av träskurad betong. Vid 3 mm fog uppmättes 6 l/mh vid 700 Pa och vid 7 mm fog 114 l/mh, Fig 38. Det bör observeras att betongytan ej innehöll gjutblåsor eller tvärgående dragränder.

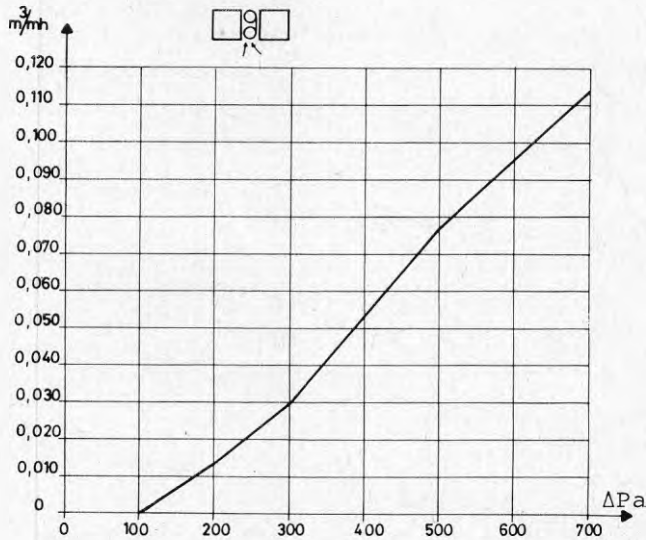


Fig. 38 Luftläckning vid fog med syllist.  
Fogsidor av träskurad betong, fogbredd 7 mm.

### Fog med skarvad list

För att undersöka inverkan av en skarv på luftläckningens storlek placerades två syllister med ändarna väl mot varandra mellan fogsidor av aluminium. Monteringen underlättades genom att listdelarna förenades med en smal tape-remsa tvärs över skarven. Vid 3 mm fog uppmättes  $< 3$  l/mh och vid 7 mm fog  $< 5$  l/mh vid 700 Pa. En omsorgsfullt monterad skarv medför således icke en väsentligt ökad luftläckning.

### 3.3.5 Luftläckning vid rak fog med OV-list

De i tidigare avsnitt redovisade undersökningarna visar att ytstrukturen har en avgörande inverkan på luftläckningens storlek. OV-listens användningsområde anges av tillverkaren till fönster och dörrar, varför studien av denna list begränsats till fogar med fogsidor av målat hyvlat virke. Listen har monterats med klammer i ena fogsidan. Listprover placerades mellan två planparallella sidor på avståndet 3 mm respektive 8 mm samt i en sned fog där fogbredden var 3 mm i ena änden och 8 mm i andra änden av mätlängden 0,5 m. Provningsen visade att luftläckningen var praktiskt taget noll vid 3 mm springbredd (uppmätt max. värde 5 l/mh) samt varierade mellan 0,013 m<sup>3</sup>/mh vid 50 Pa och 0,212 m<sup>3</sup>/mh vid 700 Pa vid 8 mm fog, Fig 39. Vid den sneda fogen erhöles maximalt 0,112 m<sup>3</sup>/mh. En viss skillnad på läckagets storlek erhöles vid de två olika anblåsriktningarna. Jämföres denna listtyp med  $\phi 6$  mm slanglist synes den ha samma tätande funktion vid 3 mm springbredd. Vid 8 mm fog tätar en  $\phi 12$  mm slanglist bättre. OV-listen har ej samma funktionsområde som båda dessa slanglist, vilket innebär att listerna ej är fullt jämförbara.

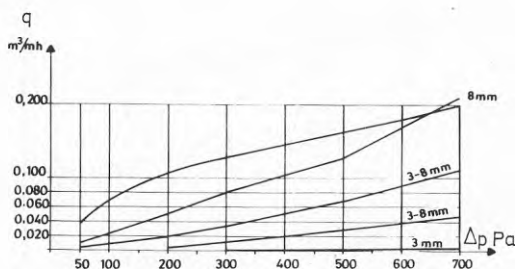


Fig. 39 Luftläckning vid fog med OV-list.  
Fogsidor av målat hyvlat virke.

### 3.3.6 Luftläckning vid hörn

Tätningsslister måste böjas eller placeras i rätt vinkel mot varandra vid anslutningar mellan vertikala och horisontella fogar. Två principiellt olika hörnutformningar förekommer. Den ena typen förekommer vid fogar mellan t ex fönsterkarm och byggnadsstomme och den andra vid t ex anliggning dörrblad - dörrkarm.

Den förstnämnda typen av hörn utföres i praktiken antingen med listskarv i hörn eller med listen böjd runt hörn. I båda fallen erhålles stora springor mellan listdelar eller mellan list och byggnadsdel, vilket medför stor luftläckning. Försök att i laboratoriet studera sådana hörnutformningar gav till resultat att stora läckage kunde uppmätas vid små tryckskillnader ( $< 50$  Pa). Slutsatsen blir att tätningen måste kompletteras med insprutning av lämplig fogmassa i hörn vid denna typ.

Den andra hörnutformningen undersöktes enbart med slanglist. Vid 5 mm fog och  $\phi 6$  mm slanglist erhöles ett läckage  $< 4$  l/h vid 700 Pa vid omsorgsfull montering och fogsida av slät aluminium. Vid 10 mm fog och  $\phi 12$  mm slanglist erhöles en luftläckning  $0,300 \text{ m}^3/\text{h}$  vid fogsida av slät betong, Fig 40. Undersökningen visar att det överflödiga listmaterialet bildar veck i hörn redan vid en fogbredd som är c:a 2 mm mindre än slanglistens diameter. Om en tät hörnutformning önskas måste listen monteras så att veck ej bildas. För närvarande finns icke någon hörnutformning som ger ett tätt hörn för alla fogbredder inom en lists funktionsområde.

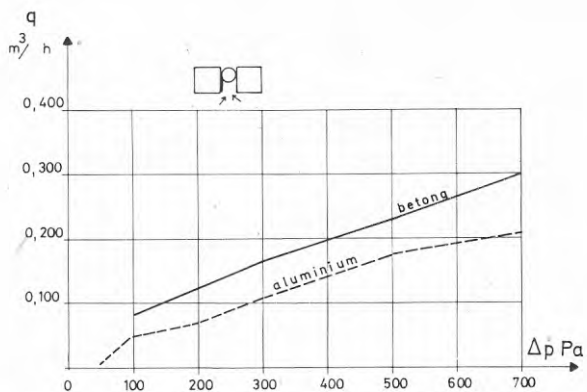


Fig. 40 Luftläckning vid fog med  $\phi 12$  mm slanglist lagd i  $90^\circ$ -böj. Fogsidor av aluminium och slät betong. Fogbredd 10 mm.

## 4 TÄTNINGSLISTERS LÅNGTIDSEGENSKAPER

### 4.1 Befintliga provningsmetoder

De standardiserade provningsmetoder angående gummi-materials egenskaper som för närvarande förekommer anges i SIS 162810: Gummimaterial för strängsprutade tätningsslister. De egenskaper som kontrolleras och som anses vara av intresse för att bedöma materialets långtidsegenskaper är hårdhetsökning, dragbrottgränsminskning och brottöjningsminskning vid värmeåldring i 168 h vid temperaturen  $100^{\circ}\text{C}$ , samt sättning hos åldrad list efter 168 h i  $70^{\circ}\text{C}$ . I SIS 162810 anges även krav. Enligt upplysningar från svensk gummiindustri förekommer icke några andra bedömningar av listers långtidsegenskaper. Någon möjlighet att direkt överföra provningsresultat till angivande av listegenskaper vid naturlig åldring föreligger f.n. ej. Provningsmetoderna kan därför sägas vara indirekta. För byggnadsindustrin har Nordtestgruppen framlagt förslag till provningsmetoder för bestämning av väderbeständighet hos byggnadsmaterial med tonvikt på polymerer. Byggstandardiseringen (BST) har framlagt ett förslag till metod (BST 600) för bestämning av åldringsbeständighet hos tätningsslister till fönster och dörrar. Metoden överensstämmer i huvudsak med det norska tillvägagångssättet, vilket innebär att listan placeras i en provningsapparat, vari den cykliskt utsättes för fyra olika klimattyper. Dessa är bestrålning med s k solljuslampor och samtidig uppvärmning till  $70^{\circ}\text{C}$ , befuktning med finfördelat vatten vid c:a  $23^{\circ}\text{C}$ , nedkylning till  $-20^{\circ}\text{C}$  och upptining till rumstemperatur c:a  $23^{\circ}\text{C}$ . Varje moment pågår en timme och förfarandet upprepas under 56 dygn, varefter listens tätningsfunktion bestäms. Detta provningsförfarande, liksom föregående, möjliggör enbart en bestämning av listfunktionen vid ett tillfälle efter en bestämd påverkan. Någon överföring till noggrann beskrivning av listegenskaper efter ett bestämt antal år är ej möjlig. Även denna metod måste därför betecknas som indirekt.

Vid RAPRA, England, har jämförande provning mellan naturlig åldring i olika klimattyper och enligt olika standardtestmetoder pågått kontinuerligt i 15 år. Resultatet efter 15 år har beskrivits av Moakes [12] som bl a anger att standardtestmetoder (70°C i 3 - 7 dygn) ej är relevanta för att förutsäga gummimaterials långtidsegenskaper och anger att åldring vid 70°C måste försigå mycket längre än 10 dagar.

Inom andra delar av industrin än byggnadsindustrin har tätningsslister av gummi stor användning. Kravet på livslängd inom t ex bilindustrin är 10 - 15 år. Kvalitetsbestämning av listers långtidsegenskaper görs huvudsakligen genom sättningsbestämning enligt SIS 162810, där sättning definieras enligt uttrycket

$$s = \frac{h_0 - h_2}{h_0 - h_1} \cdot 100\%$$

där  $h_0$  = listens ursprungliga höjd

$h_1$  = listens höjd, vanligen 0,5  $h_0$ , under provningstiden

$h_2$  = listens höjd efter återhämtning, vanligen efter 30 minuter.

Listen skall förvaras sammantryckt vid föreskriven temperatur (-20°C, 0°C, 70°C) under 7 dygn. Följande klasser anges:

Sättning 0 - 25%	mycket bra
25 - 50%	bra
50 - 75%	acceptabelt
> 75%	mindre bra

Som jämförelse kan nämnas att SIS anger max 60%. Klassindelningen har skett genom långtidserfarenhet.

För byggnadsindustrin är den önskade livslängden ofta längre än 10 - 15 år. För tätningsslister där utbyte med lätthet kan ske, som t ex vid lämpligt konstruerade fönster och dörrar, är livslängden 10 år dock tillräcklig. Livslängden för lister som place-



ras i fogar mellan byggnadsdelar där ett utbyte medför stora kostnader bör däremot väljas väsentligt längre, kanske 40 - 50 år. Det är därför av stor betydelse att ha relevanta provningsmetoder. Internationella förfrågningar tyder på avsaknad av lämplig teknik (f.n.).

#### 4.2 Använd provningsmetod

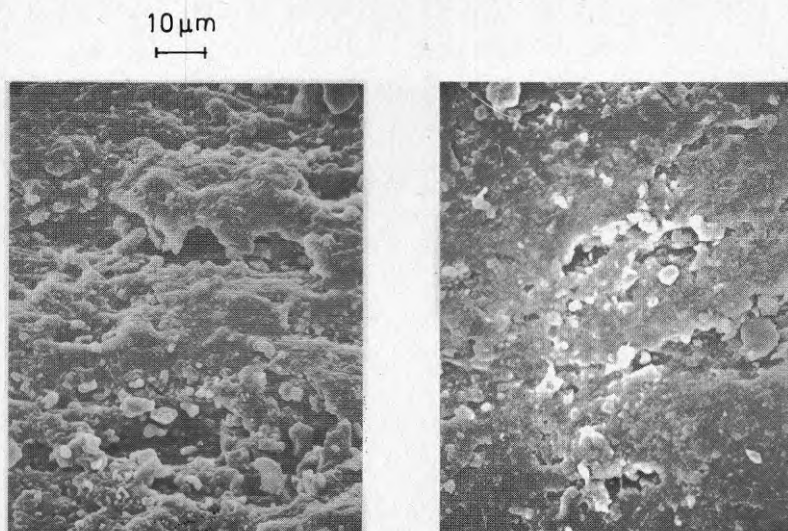
En provningsmetod bör ge värden på listens och listmaterialets långtidsegenskaper. Tätningslist utsätts för temperaturvariationer (kyla-värme), solljus (UV-strålning), regn, mekaniska och kemiska påfrestningar. Listmaterialet får ej brytas ned, vilket innebär att listmaterialet måste ha sådana kvaliteter att det ej påverkas nämnvärt av UV-ljus, ozon, svaveloxid, nitrösa gaser, alkalier eller målningsfärger. Dessa påverkningar orsakar nedbrytningsprocesser av kemisk natur, vilka enligt uppgift från tillverkare är möjliga att praktiskt taget eliminera.

I min undersökning har jag förutsatt att listmaterialet har erforderlig beständighet mot ovannämnda påfrestningar. I detta sammanhang bör även påpekas att EPDM ej är ett entydigt material då det består av olika delmaterial i varierande proportioner och därigenom erhåller varierande egenskaper. En slutsats av detta är att fortlöpande kontroll krävs. Ur byggnadsteknisk synpunkt är listens elasticitet en mycket viktig egenskap. Ett gummimaterial förändras kontinuerligt vid förhöjd temperatur (värmeåldring). Valet av temperatur måste anpassas till gummitypen. Lister av cellgummi (ex. syllister) får, för att icke cellerna skall skadas, icke värmeåldras vid högre temperatur än  $70^{\circ}\text{C}$ . Massivgummi kan värmeåldras vid temperaturer  $\leq 110^{\circ}\text{C}$ . Maximitemperaturen bestäms av risken för kemiska eller fysikaliska förändringar. Ju högre temperatur desto snabbare går åldringsförloppet. På grund av risker för obedömbara strukturomvandlingar rekommenderas dock en lämplig temperatur  $70^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$ ,

där vanligen  $70^{\circ}\text{C}$  väljes. Vid temperaturer  $\leq 50^{\circ}\text{C}$  påskyndas åldringsförloppet ej nämnvärt utan kan jämföras med naturlig åldring. En tumregel inom kemin är att livslängdskurvan har en lutning motsvarande ungefär en halvering av livslängden för varje  $10^{\circ}\text{C}$  temperaturhöjning. Detta kan tolkas så att en tätningsslist som har en årsmedeltemperatur av  $10^{\circ}\text{C}$  och värmeåldras vid  $70^{\circ}\text{C}$ , åldras med en hastighet av c:a 2 mån/dygn eller 1 år/6 dygn. Lämplig värmeåldringstid bör därför överstiga 60 dygn (10 år). BST:s metod har en total värmeåldringstid av 14 dygn.

Vid värmeåldringen kommer en viss eftervulkanisering att ske och listytan bli jämnare. Fig 41 visar listyta av T-list i c:a 1000 ggr förstoring dels före, dels efter värmeåldring vid  $110^{\circ}\text{C}$  i 24 dygn. Den ökade ytjämnheten kan bero på en vandring av vaxer (stearinsyra) till ytskiktet.

Lufttätningförmågan hos T- och slanglister har undersökts på lister som värmeåldrats i sammanpressat tillstånd och i spänningsslöst tillstånd. Vidare har listmaterialets sättning bestämts för olika åldrings-temperaturer. Egenskaperna hos värmeåldrade lister har studerats i syfte att undersöka möjligheten att bestämma listers långtidsegenskaper.



*före värmeåldring*

*efter värmeåldring*

*Fig. 41 Jämförelse mellan ytstrukturer hos T-lister före och efter värmeåldring i 24 dygn vid 110°C.*

#### 4.3 Tätningförmåga hos värmeåldrade lister

Ett antal T-lister och slanglister har värmeåldrats vid temperaturen 110°C. Vid värmeåldringen var listerna antingen deformerade genom att listan placerats i aluminiumkassetter eller odeformerade. Vid studium av läckning vid fogsidor av trä placerades listerna i fogar efter värmeåldringen, då den höga åldringstemperaturen kan medföra förändringar i träet, vilket försvårar studiet av listens egenskaper.

Luftläckaget i fogar med aluminiumsidor och tätade med T-lister som värmeåldrats i spänningslöst tillstånd vid 110°C i 9 dygn förändrades ej. Vid icke åldrat prov erhöles en luftläckning < 1 l/mh, vilket värde icke förändrades vid läckningsmätning efter 1, 6 eller 9 dygn.

Vid fogsidor av trä studerades dels hyvlat virke,

dels finsågat virke. Luftläckagets storlek vid fog-sidor av hyvlat virke, Fig 42, 43 synes ej ha påverkats av värmeåldringen upp till 33 dygn i 110°C. Den minskande luftläckningen kan bero på en ökad ytjämnhet och mjukhet i gummiytan. Ytterligare prover erfordras dock för att förklara orsakssammanhanget. Vid sågat virke visade provningen samma tendens.

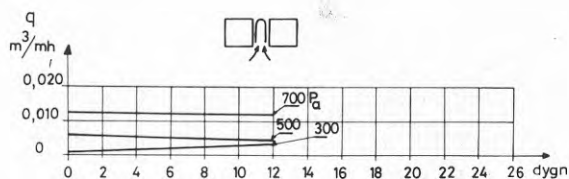


Fig. 42 Luftläckning vid fog med värmeåldrad T-list. Värmeåldring i spänningslöst tillstånd.

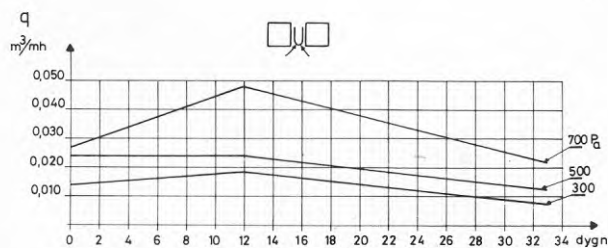


Fig. 43 Luftläckning vid fog med värmeåldrad T-list. Värmeåldring i spänningslöst tillstånd.



För att studera värmeåldringens effekt på lister i spänningstillstånd monterades T-lister och slanglister i fogar med sidor av aluminium, varefter hela kassetten placerades i värmeskåp. I fogar med värmeåldrade T-lister noterades ett något större luftläckage än vid fogar med icke åldrade lister. Ökningen var dock begränsad, storlek  $< 15$  l/mh, Fig 44.

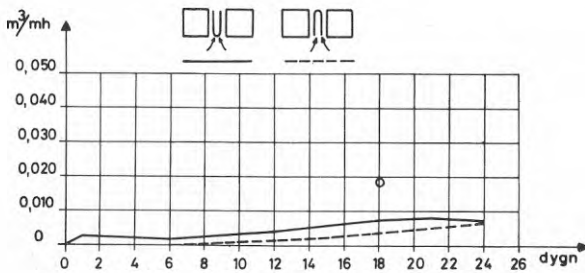


Fig. 44 Luftläckning vid fog med värmeåldrad T-list. Tätningslisten värmeåldrad i monterat tillstånd.

Vid slanglister av kloropren, var tätningsförmågan oförändrad,  $< 3$  l/mh vid 700 Pa, upp till 12 dygns värmeåldring vid  $110^{\circ}\text{C}$ . Efter 26 dygn uppmättes däremot stora läckage,  $0,42$  m<sup>3</sup>/mh vid 700 Pa. Vid slanglister av EPDM förändrades däremot luftläckningen obetydligt,  $< 4$  l/mh vid 700 Pa. Trots det begränsade antalet prover visar undersökningen att listernas tätningsförmåga måste bestämmas på vid värmeåldringen belastade (deformerade) lister. Under belastningen bryts molekylbindningen ned samtidigt som nya byggs upp för att bibehålla listformen i det nya läget. Som exempel kan nämnas att en T-list placerad i en 12 mm fog och värmeåldrad i 24 dygn vid  $110^{\circ}\text{C}$  erhöill en U-form med skänkelavståndet 15,5 mm efter avlastning, vilket avstånd har ökat till 18 mm efter 1 års förvaring i rumstemperatur.



Värmeåldringen bör pågå under lång tid med mätning av tätningsförmågan efter 6, 12, 18, 24, 30 och 60 dygn. Temperaturen bör väljas till  $70^{\circ}\text{C}$ , mätning av luftläckning bör ske vid  $23^{\circ}\text{C}$ . Fogbredden bör motsvara översta och nedersta gränsen för listens funktionsområde. Listens tvärmått mätes efter 30 min. avlastning.

#### 4.4 Sättningsegenskaper hos åldrade lister

En förutsättning för att en list skall täta mot en fogsida är att den kan utöva tillräckligt tryck mot densamma. Tryckkraften måste överstiga den kraft som lufttryckskillnader över fogen åstadkommer och som vill öka springan mellan fogsida och list. Listen måste under hela sin livslängd ha en sådan elasticitet att dess tvärmått följer fogbreddens variationer. En metod att bedöma listens elastiska egenskaper är att bestämma sättningen.

Sättningsbestämning är en indirekt metod för bedömning av listers långtidsegenskaper. Metoden användes inom bl a bilindustrin, där klassningen av lister efter sättningsvärden baseras på empirisk erfarenhet. Motsvarande bakgrund saknas inom byggnadsindustrin.

I denna undersökning har sättningen bestämts för de olika listerna, vilka åldrats vid temperaturerna  $30^{\circ}\text{C}$ ,  $70^{\circ}\text{C}$  och  $110^{\circ}\text{C}$ . T-listen har placerats i en fog med 12 mm springa, övriga lister har sammanpressats till halva ursprungshöjden. Uppritas sambandet sättning - - tid erhålles kurvor enligt Fig 45, vilka kurvor blir rätlinjiga om log-log-skala väljes.

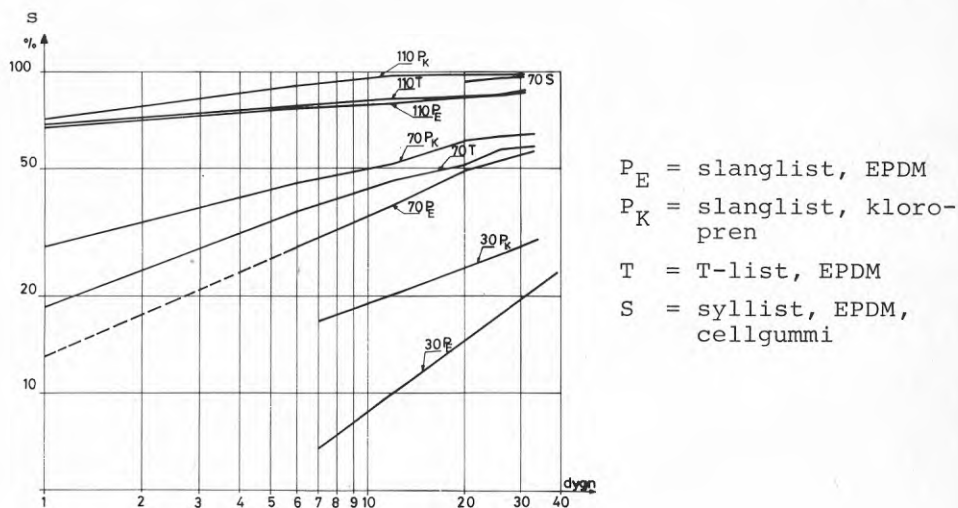


Fig. 45 Sättningsegenskaper hos olika lister efter värmeåldring vid olika temperaturer.

Jämför även Friberg [13] och Andersson R [14]. Som tidigare nämnts finns icke någon känd korrelation mellan värmeåldrade och naturligt åldrade material. Fortsatta jämförande studier mellan värmeåldrade och naturligt åldrade listers egenskaper erfordras.

De krav på listmaterialets sättning som skall ställas är beroende av byggnadsutformningen. Klingberg & Kärrholm [15] anger som exempel på fogbreddsvariationen i tiden hos fogar i betongelementhus värden mellan 1 till 2,5 mm, vilket motsvarar c:a 10% av fogbredden. Några mätningar av fogbreddsvariationer i trähus är icke kända. Ett krav på en största sättning, t ex 50%, innebär att listens funktionsområde uppåt begränsas av värdet  $h_o/2 + h_o/4 = 3h_o/4$  och vid 60% sättning av  $0,7 h_o$ . En ökning av fogbredden kan medföra kraftigt ökat luftläckage om listdimensionen ej anpassats till fogbredden. Valet av listdimension påverkas förutom av element- och stomdeformationer även av produktionstoleranser.

#### 4.5 Deformationsmotstånd hos lister

Enligt avsnitt 4.4 är förutsättningen för god tätning att listen utövar ett tillräckligt tryck mot fogsidan. Kännedom om enbart listens sättningsegenskaper är icke tillfyllest, utan måste kompletteras med bestämning av listens motstånd mot tryckkrafter. Enligt förslag till standard SS 367110, BST 600/17 skall stängningstrycket bestämmas för icke åldrade tätninglistor till fönster och dörrar. Bestämningen sker genom samtidig mätning av belastning (N/m) och springbredd (mm). Stängningstryckets storlek begränsas och därmed även möjlig tätning av kravet att stängning skall kunna utföras av barn, äldre och handikappade. Tryckfallet över fogen orsakar en sammanpressning av listen. Beräknas tryckvariationerna tvärs fogen fås att maximala sidokraften på listen vid 700 Pa blir < 4,2 N/m vid  $\phi 6$  mm list, < 8,4 N/m vid  $\phi 12$  mm list och < 10,5 N/m vid T-list. Sidomotståndet (stängningstrycket) för de olika listerna framgår av Fig. 46-49 vid icke åldrade prover. Jämföres de av tryckfallet över fogen erhållna sidokrafterna med listens motstånd är differensen avsevärd. Konar [16] har angivit stängningstryck för icke åldrade lister samt åldrade lister vid  $100^{\circ}\text{C}$  i 72 h respektive 168 h i materialen kloropren och EPDM, varvid någon större differens ej synes föreligga mellan icke åldrade och åldrade lister. I enlighet med Moakes' iakttagelser är åldringstiden troligen för kort. Deformationsmotståndet hos T-list värmeåldrad vid  $110^{\circ}\text{C}$  i 24 dygn synes vara betydligt lägre än för icke åldrad, Fig 49.

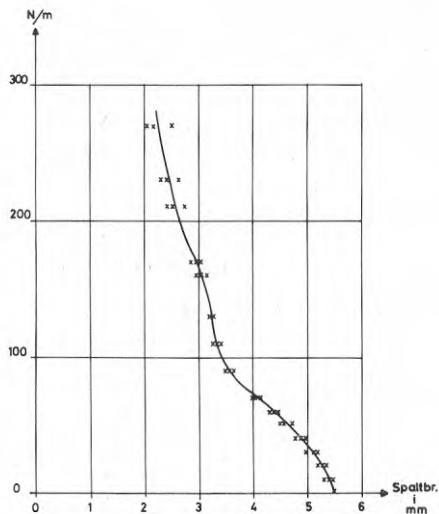


Fig. 46 Deformationsmotstånd vid  $\phi 6$  mm slanglist av EPDM.

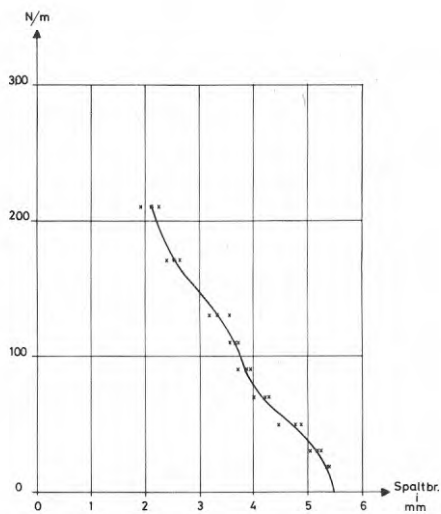


Fig. 47 Deformationsmotstånd vid  $\phi 6$  mm slanglist av kloropren.

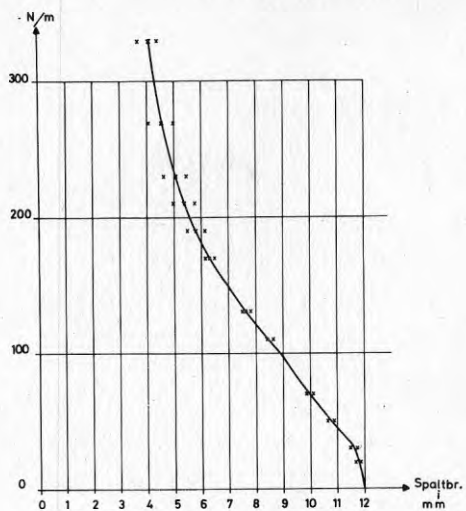


Fig. 48 Deformationsmotstånd vid  $\phi 12$  mm slanglist av EPDM.

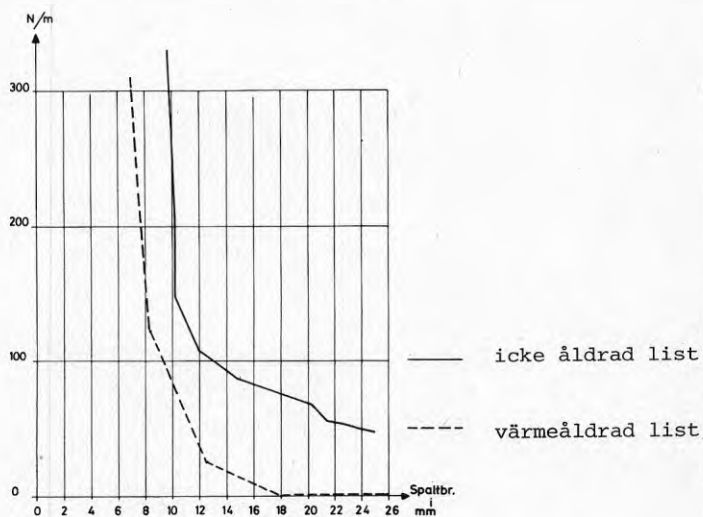


Fig. 49 Deformationsmotstånd hos T-list.

#### 4.6 Förslag till bestämning av tätningsslister långtidsegenskaper

Enligt föregående avsnitt är de egenskaper som är av intresse för tätningens förmåga listens elasticitet och förmåga att utöva tillräckligt tryck mot fogsidan. I nuvarande läge kan följande provningar föreslås på icke åldrade samt i sammanpressat tillstånd värmeåldrade lister vid 70°C efter 6, 12, 18, 24, 30 och 60 dygn.

- 1) Bestämning av listens sättningsegenskaper.
- 2) Bestämning av listens deformationsmotstånd vid sammanpressning.
- 3) Bestämning av luftläckning i fogar med tätningsslist. (Denna punkt kan slopas för lister i massivt gummi-material.)

Provningarna skall utföras för olika fogbredder så att listens funktionsområde kan fastställas med ar givande av möjlig cyklisk fogbreddsvariation.



## 5 ANALYTISK BESTÄMNING AV LUFTLÄCKNING GENOM FOGAR

### 5.1 Grundläggande teori

Luftflödets storlek genom springor och spalter beräknas i regel ur det empiriska sambandet

$$Q = q L = k (\Delta p)^\beta \quad (1)$$

där

$Q, q$  = luftflöde,  $m^3/h, m^3/mh$

$L$  = foglängd,  $m$

$k, \beta$  är empiriskt bestämda konstanter

Konstanten  $\beta$  antar värden mellan 0,5-1,0 där 0,5 motsvarar turbulent och 1,0 laminär strömning, se Andersson [7] och Kärrholm et al [9].

Mätningarna angav att luftströmningen i de flesta av de undersökta fogarna var laminär, vilket beaktas i det följande.

Ekvation (1) förutsätter att övergången från rektangulär hastighetsfördelning vid spaltmynningen till parabelformad, vilket innebär laminär strömning, sker på en relativt kort sträcka i förhållande till totala spaltdjupet. Betraktas en över fogen tvärgående spalt blir tryckskillanden över spalten

$$\Delta p = k_1 Q^2 + k_2 Q + k_3 Q^{1/\beta} \quad (2)$$

där

$k_1 Q^2$  motsvarar tryckförlust vid inlopp- och utlopp

$k_2 Q$  motsvarar friktionsförlusten då laminär strömning är fullt utbildad (parabelformad hastighetsfördelning)

$k_3 Q^{1/\beta}$  motsvarar friktionsförlust i inloppssträckan

Ur ekvation (2) kan flödet genom spalten bestämmas

$$Q = \Delta p / (1 + k_1 Q/k_2 + k_3 Q^{1/\beta-1}/k_2) k_2 \quad (3)$$

Förutsättes de båda sista termerna inom parentesens << 1 fås flödesekvationen

$$Q = \Delta p (1 - k_1 Q/k_2 - k_3 Q^{1/\beta-1}/k_2) / k_2 \quad (4)$$

En bestämning av delkonstanterna fordrar kännedom om den längd efter vilken laminär strömning utbildats.

Enligt Schlichting [17] är inloppssträckan

$$L_i = 0,03 d Re \quad \text{vid rör} \quad (5)$$

och

$$L_i = 0,04 d Re \quad \text{vid rektangulära spalter} \quad (6)$$

I jämförelse med totala strömningslängden är inverkan av inloppssträckan icke försumbar i de undersökta fogarna.

Jämföres ekvation (4) med ekvation (1) kan konstateras att ett enkelt samband enligt ekvation (1) endast ger en approximativ bild av strömningen. Om man t ex förutsätter  $\beta = \text{konstant}$  blir konstanten  $k$  geometriberoende och erhåller icke samma värde för olika tryckskillnader över fogen. Allmänt skulle  $k$  kunna tecknas

$$k = f(y, r, b/t, \Delta p/s, Q) \quad (7)$$

där

$y$  = parameter som karaktäriserar listens ytmjukhet,

$r$  = fogsidans råhet,

$b/t$  = förhållande mellan listdimension och fogbredd,

$\Delta p$  = tryckskillnad över fogen,

$s$  = listens deformationsmotstånd.

Ett enkelt samband av typen ekvation (1) ger därför enbart approximativ bestämning av flödets storlek.

Luftläckningen genom de studerade fogarna var icke jämnt fördelad utan koncentrerad till ett fåtal ställen längs listen. Antalet läckställen varierade från fall till fall beroende på fogsidans ytstruktur och listens elastiska egenskaper.

Ur ekvationen för flödesmängden

$$Q = dlv$$

där

$$d = \text{spaltbredd}$$

$$l = \text{spaltlängd}$$

$$v = \text{luftströmmens hastighet}$$

samt uttrycket för Reynolds tal

$$Re = vd/\nu$$

där  $\nu$  = luftens kinematiska viskositet

fås

$$Re = Q/l\nu$$

(8)

Ekvation (8) kan användas för bestämning av övergången mellan laminär och turbulent strömning, vilket ofta anses ske vid  $Re \approx 2000$ .

Vid fogsidor av trä med mycket grov ytstruktur uppmättes ett maximalt luftflöde  $0,0005 \text{ m}^3/\text{ms}$  vilket ger  $Re = 32,9/l$ . Vid en antagen spaltlängd lika med foglängden erhålles  $Re = 32,9$ , vilket värde antyder laminär strömning. Som tidigare nämnts skedde luftläckningen endast på vissa ställen. En spaltlängd motsvarande 1,6% av foglängden ger  $Re = 2000$ . Denna längd ger dock orealistiska strömningshastigheter. Vid en resulterande spaltlängd motsvarande 10% av foglängden fås värdena  $v = 5 \text{ m/s}$  och  $Re = 329$  om spaltbredden  $d$  antages vara 1 mm, vilken spaltbredd får anses vara rimlig vid grovsågat trä typ 2. Motsvarande inloppssträckor är

$$L_1 \leq (0,03 - 0,04) \times l \times 10^{-3} \times 329 \times 10^3 = \\ = 10 \text{ till } 13 \text{ mm,}$$

vilket innebär att jämn laminär strömning ej har erhållits vid grovsågat trä, typ 2, eftersom inloppssträckan överstiger spaltdjupet.

Vid övriga ytstrukturer erhöles betydligt mindre läckflöden t ex för T-list vid hyvlat trä  $0,000004 \text{ m}^3/\text{ms}$ , vid finsågat trä  $0,00001 \text{ m}^3/\text{ms}$  och vid grovsågat trä, typ 1,  $0,0001 \text{ m}^3/\text{ms}$ . Slutsatsen

blir att laminär strömning har utbildats vid de undersökta fogarna med ytstrukturer jämnare än sandpapper nr 1. Vid de grövre ytstrukturerna som undersökts är strömningen troligen delvis turbulent. (Mätningar visar att turbulensgraden är låg.) Ytterligare mätserier för dessa typer erfordras dock för att bekräfta hypotesen. Dessa har icke utförts då mycket grova fogsidor bör undvikas, varför en undersökning i detta sammanhang är mindre intressant.

## 5.2 Empiriska samband för luftläckning

Som ledning för bestämning av luftläckningen genom fogar tätade med gummilister kan följande samband användas. Det bör dock observeras att ekvationerna grundas på ett begränsat antal mätningar med relativt stor spridning.

Fogar tätade med T-list:

fogsidor av slät aluminium

$$Q = 0 \text{ m}^3/\text{h}$$

fogsidor av hyvlat virke

$$Q = 12 \cdot 10^{-6} L\Delta p \text{ m}^3/\text{h}$$

fogsidor av finsågat virke

$$Q = 52 \cdot 10^{-6} L\Delta p \text{ m}^3/\text{h} \quad 10 \leq t \leq 20 \text{ mm}$$

$$Q = 10^{-6} \cdot L\Delta p \quad t = 7 \text{ mm}$$

fogsidor av sågat virke

$$Q = 950 \cdot 10^{-6} L\Delta p \text{ m}^3/\text{h} \quad 10 \leq t \leq 20 \text{ mm}$$

$$Q = 140 \cdot 10^{-6} L\Delta p \text{ m}^3/\text{h} \quad t = 7 \text{ mm}$$

fogsidor av sandpapper nr 0

$$Q = 2700 \cdot 10^{-6} L\Delta p \quad 15 \leq t \leq 20 \text{ mm}$$

$$Q = 1330 \cdot 10^{-6} L\Delta p \quad t = 10 \text{ mm}$$

$$Q = 300 \cdot 10^{-6} L\Delta p \quad t = 7 \text{ mm}$$

Fogar tätade med  $\phi 6$  mm slanglist (utan klammer):

fogsidor av slät aluminium

$$Q \approx 0 \text{ m}^3/\text{h}$$

fogsidor av hyvlat virke

$$Q = 6 \cdot 10^{-6} L\Delta p \text{ m}^3/\text{h}$$

fogsidor av finsågat virke

$$Q = 219 \cdot 10^{-6} \text{ L}\Delta\text{p m}^3/\text{h} \quad t = 5 \text{ mm}$$

$$Q = 27 \cdot 10^{-6} \text{ L}\Delta\text{p m}^3/\text{h} \quad t = 3 \text{ mm}$$

$$Q = 6 \cdot 10^{-6} \text{ L}\Delta\text{p m}^3/\text{h} \quad t = 1 \text{ mm}$$

fogsidor av sandpapper nr 0

$$Q = 3220 \cdot 10^{-6} \text{ L}\Delta\text{p m}^3/\text{h} \quad t = 5 \text{ mm}$$

$$Q = 2153 \cdot 10^{-6} \text{ L}\Delta\text{p m}^3/\text{h} \quad t = 3 \text{ mm}$$

$$Q = 660 \cdot 10^{-6} \text{ L}\Delta\text{p m}^3/\text{h} \quad t = 2 \text{ mm}$$

Fogar tätade med  $\phi 12$  mm slanglist:

fogar av hyvlat virke

$$Q = 108 \cdot 10^{-6} \text{ L}\Delta\text{p m}^3/\text{h} \quad t = 11 \text{ mm}$$

$$Q = 0 \quad t \leq 8 \text{ mm}$$

fogsidor av finsågat trä

$$Q = 193 \cdot 10^{-6} \text{ L}\Delta\text{p m}^3/\text{h} \quad t = 11 \text{ mm}$$

$$Q = 72 \cdot 10^{-6} \text{ L}\Delta\text{p m}^3/\text{h} \quad t = 8 \text{ mm}$$

$$Q \approx 0 \quad t \leq 8 \text{ mm}$$

fogsidor av sandpapper nr 0

$$Q = 5632 \cdot 10^{-6} \text{ L}\Delta\text{p m}^3/\text{h} \quad t = 11 \text{ mm}$$

$$Q = 915 \cdot 10^{-6} \text{ L}\Delta\text{p m}^3/\text{h} \quad 4 \leq t \leq 8 \text{ mm}$$

Fogar tätade med syllist:

fogsidor av aluminium

$$Q = 0 \text{ m}^3/\text{h} \quad t \leq 7 \text{ mm}$$

fogsidor av träskurad betong

$$Q = 121 \cdot 10^{-6} \text{ L}\Delta\text{p m}^3/\text{h} \quad t = 7 \text{ mm}$$

$$Q = 9 \cdot 10^{-6} \text{ L}\Delta\text{p m}^3/\text{h} \quad t = 3, \Delta\text{p} = 700 \text{ Pa}$$

(t = fogbredd)

## 6 LUFTHASTIGHET I FOG

6.1 Grundläggande teori

Luftströmmens genom spalten mellan fogsida och list hastighet kan bestämmas ur samband för tryckdifferenser och flöden, vilka samband även kan användas för bestämning av tryckfördelningen i spalten.

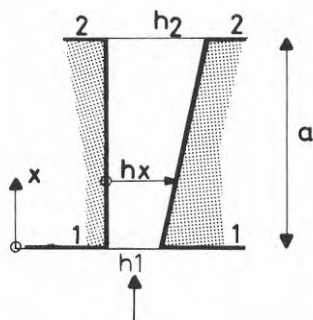


Fig. 50 Antagen spalt mellan fogsida och tätninglist vid T-list.

Enligt elementär strömningslära kan följande ekvationer uppställas om inverkan av övergångszonen försummas (beteckningar enligt Fig. 50). Spalten antas vara rektangulär eller kilformad (spaltväggens lutning är liten):

$$\text{Tryckdifferens: } p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} \alpha = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} \alpha + \Delta p_{f(1-2)} \quad (9)$$

$$\text{med friktionsförlusten } \Delta p_{f(1-2)} = \int_0^a \lambda \frac{dx}{h_x} \frac{\rho \cdot v^2}{2}$$

$$\text{Flöde: } Q = h_x l v \quad (10)$$

$$\text{med spalthöjden: } h_x = h_1 + cx$$

där  $\alpha$  = faktor för korrigerig av skillnaden mellan integralen av lokala hastighetskvadraten och medelhastigheten i kvadrat

$\rho$  = luftens densitet

$a$  = spaltdjup

$v$  = hastighet

$\nu$  = kinematisk viskositet

$l$  = spaltlängd

$\lambda = 48\nu/vh$

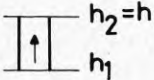
$h$  = spaltbredd



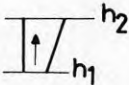
Förenklas ekvationerna (9) och (10) fås

$$p_1 - p_2 = \frac{12 \nu \rho Q}{l c h_1^2} \left[ 1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{ca}{h_1}\right)^2} \right] + \frac{\rho Q^2 \alpha}{2l^2 h_2^2} \quad (11)$$

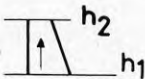
Insättes  $\alpha = 2$ ,  $l = 1 \text{ m}$ ;  $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ ,  $\nu = 15,2 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$  erhålles:

jämbred spalt 

$$h^3 - 1,2 \frac{Q^2}{p_1 - p_2} h - 437,76 \frac{Qa}{p_1 - p_2} 10^{-6} = 0 \quad (12)$$

kilformad spalt 

$$h_2^3 - 1,2 \frac{Q^2 h_2}{p_1 - p_2} - 820,8 \frac{Qa}{p_1 - p_2} 10^{-6} = 0 \quad (13)$$

kilformad spalt 

$$h_2^3 - 1,2 \frac{Q_2 h_2}{p_1 - p_2} - 243,2 \frac{Qa}{p_1 - p_2} 10^{-6} = 0 \quad (14)$$

För slanglist kan spalten antas vara begränsad av rätta linjer och cirkelbågar enligt Fig 51.

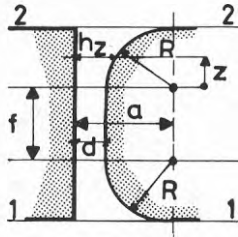


Fig. 51 Antagen spalt mellan fogsida och tätningsslist vid slanglist.

Följande samband erhålles

$$p_1 - p_2 = \frac{\alpha \rho Q 48 u}{21} \left[ \int_{-R}^R \frac{dz}{h_z^3} + \frac{f}{(a-R)^3} \right] + \frac{\alpha \rho Q^2}{21^2 h_2^2} \quad (15)$$

eller

$$p_1 - p_2 = 0,875 \frac{Q}{l} 10^{-3} \left[ \int_{-R}^R \frac{dz}{(a - \sqrt{R^2 - z^2})^3} \right] + \frac{1,2 Q^2}{1^2 h_2^2} \quad (16)$$

Om  $d \ll R$  fås

$$t \approx 0,096 \sqrt[3]{\frac{Qf}{p_1 - p_2}} \quad (17)$$

för  $f = 0$

$$t \approx 0,026 \sqrt[3]{\frac{Q}{p_1 - p_2}} \quad (18)$$

varefter spaltbredd eller luftströmmens hastighet i fogen kan bestämmas.

## 6.2 Jämförelse mellan beräknade och uppmätta strömningshastigheter

Luftströmmens hastighet uppmättes med hjälp av varmtrådsanemometer. Vid fog med T-list, där fogsidan var belagd med sandpapper nr 0, uppmättes 0,695 m/s vid 700 Pa, vilket värde kan jämföras med det teoretiskt beräknade 1,205 m/s vid antagande om kilformad spalt och 1,05 m/s vid rektangulär spalt. Vid fogsida belagd med sandpapper nr 1 uppmättes 1,50 m/s vid 700 Pa jämfört med det teoretiska värdet 2,66 m/s vid kilformad spalt. De teoretiskt beräknade värdena är justerade till att gälla en punkt motsvarande varmtrådsanemometerns läge under mätningen, varvid hastighetsfördelningen har beräknats enligt uttrycket för jetström enligt Pai [18].

$$v = 0,4543 \frac{(v_0 d)^{2/3}}{(ux)^{1/3}} \quad (19)$$

där  $x = x_0 + g$

$$x_0 = 6168,76 v_0 d^2$$

$g$  = avstånd från spaltmynning till mätställe

Överensstämmelsen mellan beräknade och uppmätta strömningshastigheter är inte god, vilket antyder att ekvationerna (12)-(14) resp (17), (18) bör användas med försiktighet. (Avvikelsen beror förmodligen på att inverkan av inloppssträckan försumrats i ekvationerna (12)-(16)).

De beräknade strömningshastigheterna vid fogsidor med slät ytstruktur är betydligt lägre än ovannämnda hastigheter vid grov yta. Vid hyvlat virke erhöles t ex  $v \leq 0,24$  m/s (700 Pa) vid T-list. Vid slanglist mot finsågat trä erhöles en beräknad strömningshastighet 0,27 m/s i inre delen av spalten och 0,01 m/s vid spaltmynningen.

## LITTERATURFÖRTECKNING

1. Svensk Byggnorm, 1975, Statens Planverk  
Stockholm
2. Jergling A, 1977. Funktionsprovning av tät-  
ningslist, Byggnadskonstruktion 1977:6, CTH
3. Andberger M, Trepp P, Wånggren B, 1977.  
Tätningsslistor i fönster och dörrar,  
Examensarbete, Byggnadsteknik, KTH, Stockholm
4. Cammerer J.S och Hirschbold F.X, 1938.  
Der Einfluss der Fensterbanart den Luft-  
durchgang, Gesundheits-ingenieur hf 29, 1938
5. Honma H, 1975. Ventilation of dwellings and  
its disturbances, Inst. för uppvärmnings-  
och ventilationsteknik, KTH, Stockholm
6. Nylund P.O, 1967. Vindtätthet hos flerskikts-  
väggar, BFR R3:1967, - Stockholm
7. Andersson LJE, 1978. Industriväggars tätthet,  
BFR R99:1978, Stockholm
8. Ofrivillig ventilation, Programskrift BFR  
R34:1978, Stockholm
9. Kärrholm et al, 1979. Mikroklimat och luft-  
växling, BFR, Täthetsgruppen, Stockholm
10. Höjfors R och Palmgren H, 1977. Polymer-  
teknik - materiallära, Ingenjör förlaget,  
Stockholm
11. Svensk Byggekatalog, 1979, häfte 17, Svensk  
Byggtjänst, Stockholm

12. Moakes R.C, 1975. Long term natural ageing, RAPRA members Journal, England  
  
Moakes R.C, 1978. Long term ageing of rubbers, Journal of the society of enviromental engineers, England
13. Friberg G, 1973. Gummistandard som konstruktionsinstrument, Volvo, Göteborg
14. Andersson R, 1978. Tätningslister av gummi, långtidsegenskaper och livslängdsberäkning, Rydaholms gummifabrik, Rydaholm
15. Kärrholm G och Klingberg L, 1973. Fogbredder i betongelementfasader, Byggnadskonstruktion 1973:27, CTH, Göteborg
16. Konar E, 1978. Provning av gummilister, Trelleborgs Gummifabrik, Trelleborg
17. Schlichting H, 1968. Boundary layer theory, Pergamon press Ltd, London
18. Pai, 1954. Fluid dynamics of jets, D.Van Nostrand Company, inc. NY, USA













**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 771217-9 från  
Statens råd för byggnadsforskning till Avdelningen för  
byggnadskonstruktion, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.**

**R132: 1979**

**ISBN 91-540-3136-2**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6700032**

**Abonnemangsgrupp:  
Z. Konstruktioner och material**

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

**Cirkapris: 30 kr exkl moms**