Rapport R7:1983

Tätning av ventilationskanaler i byggnader

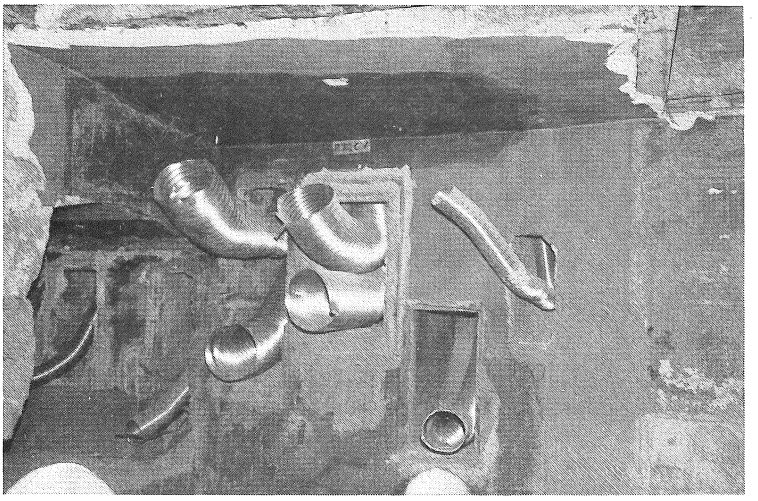
Göran Karlsson
Sören Lindgren

Byggforskningsrådet

R7:1983

TÄTNING AV VENTILATIONSKANALER I BYGGNADER

Göran Karlsson
Sören Lindgren



Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 810092-3
från Statens råd för byggnadsforskning till Wahlings
Installationsutveckling AB, Danderyd.

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

R7:1983

ISBN 91-540-3862-6
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1983

INNEHÅLL

1	FÖRORD	5
2	SAMMANFATTNING	7
3	KANALSYSTEM I BYGGNADER	11
3.1	Ventilationsprinciper	11
3.1.1	Självdragssystem	12
3.1.2	F-system	13
3.1.3	FT-system	14
3.2	Material i kanaler	15
3.2.1	Murade kanaler	15
3.2.2	Prefabricerade asbestcementkanaler	16
3.2.3	Gjutna kanaler	16
3.2.4	Plåtkanaler	17
3.3	Anvisningar och krav angående ventilationskanalers utförande	21
3.3.1	Godtagen täthet	21
3.3.2	Täthetsprovning	22
3.3.3	Brand	22
3.3.4	Rensbarhet	23
3.3.5	Beständighet	23
3.4	Ventilationskanalers täthet	23
4	ÅRLIGA ENERGIKOSTNADER VID OTÄTA VENTILATIONS-KANALER	37
4.1	FT-system	37
4.2	Ombyggnad av självdragssystem till F-system	41
4.3	Slutsatser	42
5	NUVARANDE TÄTNINGSMETODER	45
5.1	Tätning av plåtkanaler	45
5.1.1	Ventilationskitt	45
5.1.2	Ventilationstape	47
5.1.3	Krympbara skarvband	48
5.1.4	Pyroteknisk skarvtätning	49
5.2	Tätning av murade och gjutna kanaler	50
5.2.1	Böjbara metallrör	50
5.2.2	Murning av sprickor	53
5.2.3	Schädlermetoden	53
5.2.4	Invändig sprutning med asfaltgummimassa	55
6	FÖRSLAG TILL NYA TÄTNINGSMETODER	57
6.1	Tätning med rök, pulver eller fibrer	57
6.2	Injusteringslåda	57
6.3	Spiralförstärkta slangar	58
6.4	Invändig tätning med flexibelt foder	59
7	PROJEKTERINGSANVISNINGAR FÖR TÄTNING AV KANALER I BYGGNADER	61
7.1	Allmänt	61
7.2	Undersökning av otätheternas storlek och läge	62
7.2.1	Täthetsprovning	62
7.2.2	Okulär besiktning	62
7.2.2.1	Utvändig okulärbesiktning	63
7.2.2.2	Invändig okulärbesiktning	63
7.3	Val av tätningsmetod	63
7.3.1	Tätning av plåtkanaler	64

7.3.1.1 Tätning med ventilationskitt 64
7.3.1.2 Tätning med ventilationstape 64
7.3.1.3 Tätning med krympbara skarvband 64
7.3.1.4 Tätning med pyroteknisk tätningsskarv 64
7.3.2 Tätning av murade och gjutna kanaler 65
7.3.2.1 Tätning med insatsrör 65
7.3.2.2 Tätning med Schädlermetoden 66
7.3.3 Översikt över tätningsmetoder 66
7.4 Bedömning av energibesparing vid tätning 68

8 FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE 71
8.1 Tätning med rök, pulver eller fibrer 71
8.2 Injusteringslådor 71
8.3 Tätning genom målning 71
8.4 Prov på anläggningar 71
8.5 Metoder och instrument för okulärbesiktning av befintliga kanaler 71
8.6 Spiralförstärkta slangar. 75
8.7 Tätning av fläktar m fl komponenter 75
8.8 Invändig tätning med flexibelt foder. 75
8.9 Läckflödesmätare med stor kapacitet 75

9 TÄTNING AV RÖKKANALER 73

10 LITTERATUR 75

BILAGA 1 PROVNING AV PULVERTÄTNING
BILAGA 2 BERÄKNINGSEXEMPEL
BILAGA 3 BERÄKNING AV ENERGIBESPARING VID TÄTNING

1 FÖRORD

Inom ventilationsområdet har under de senaste decennierna en utveckling skett från de tidigare så gott som helt dominerande självdragssystemen mot mer avancerade systemlösningar med mekanisk ventilation. I de äldre självdragssystemen utgörs ventilationskanalerna normalt av byggnadsmaterial med en täthet som inte på långt när uppfyller de krav som idag ställs på system med fläkt. Motsvarande gäller för plåtkanaler av äldre datum.

Kravet på tätare kanalsystem aktualiseras bl a vid ombyggnader och är betingat av dels de nya fläktinstallationerna, dels de ökande kraven på energisnål drift samt skärpta bestämmelserna beträffande spridning av hälsofarliga ämnen m m.

Syftet med detta projekt har varit att göra en inventering av idag förekommande metoder för tätning av ventilationskanaler i befintliga byggnader samt att utarbeta förslag till och underlag för nya tekniska lösningar. Arbetet har omfattat:

- Analys av problemen genom litteraturstudier, intervjuer, tekniska beräkningar, anläggningsbesök m m

- Insamling av erfarenheter beträffande olika tätningsmetoder som tillämpas idag t ex tätningsmassor, krympbara skarvband, flexibla slangar m fl

- Utvärdering av nuvarande tätningsmetoder med hänsyn till kraven på ventilationskanaler i Svensk Byggnorm, möjliga tillämpningar och kostnader m m.

- Utarbetande av förslag till nya tekniska lösningar respektive underlag för fortsatt produktutveckling.

Utredningsarbetet har koncentrerats till kanalsystemen och dess tätningsmetoder vilket bl a innebär att eventuella konsekvenser vad gäller luftkvalitet och komfort m m samt hygieniska aspekter ej behandlats. Däremot belyses de driftskostnadsmässiga konsekvenserna av otäta kanalsystem genom några räkneexempel.

På basis av utredningsresultaten har riktlinjer utarbetats för projektering och utförande av kanaltätningar.

En ny tätningsmetod, "pulvertätning", har arbetats fram inom projektet och genom enkla funktionsprov har metodens tillämpbarhet testats. Resultaten redovisas i bilaga 1.

I projektet har även ingått att undersöka forskningsbehovet beträffande tätning av rökkanaler.

Utredningsarbetet har bedrivits vid Wahlings Installationsutveckling AB med civilingenjör Sören Lindgren som projektledare och civilingenjör Göran Karlsson som utredningsman.

Till projektet har knutits en referensgrupp med följande medlemmar:

Skorstensfejarmästare Lars-Gunnar Börjesson	Sveriges Skorstensfejarmästares Riksförbund

Forskningsingenjör Bengt E Eriksson	SIB, Statens Institut för Byggnadsforskning, Gävle
Civilingenjör Hans Ohlson	Statens Planverk
Forskningsingenjör Knut G Olsson	Tekniska Högskolan, Institutionen för Polymerteknologi, Stockholm
Civilingenjör Leif Tegman	Statens Planverk

Referensgruppen har under projektets gång lämnat synpunkter på de olika delresultaten samt framfört och diskuterat förslag till nya tätningsmetoder m m.

2 SAMMANFATTNING

Bakgrund

Inom ventilationsområdet har under de senaste decennierna en utveckling skett från de tidigare så gott som helt dominerade självdragssystemen mot mer avancerade systemlösningar med mekanisk ventilation. I dessa självdragssystem utgörs ventilationskanalerna normalt av byggnadsmaterial med en täthet som inte på långt när uppfyller de krav som idag ställs på system med fläkt. Detsamma gäller plåtkanaler i äldre ventilationssystem.

Kravet på tätare kanalsystem aktualiseras bl a vid ombyggnader och är betingat av dels de nya fläktinstallationerna, dels de ökade kraven på energisnål drift samt skärpta bestämmelserna beträffande spridning av hälsofarliga ämnen m m.

Syfte

Syftet med projektet har varit att göra en inventering av idag förekommande metoder för tätning av ventilationskanaler i befintliga byggnader samt att utarbeta förslag till och underlag för nya tekniska lösningar.

Metod

Arbetet har omfattat:

- Analys av problemen genom litteraturstudier, intervjuer, tekniska beräkningar, anläggningsbesök m m

- Insamling av erfarenheter beträffande olika tätningsmetoder som tillämpas idag t ex tätningsmassor, krympbara skarvband, flexibla slangar m fl

- Utvärdering av nuvarande tätningsmetoder med hänsyn till kraven på ventilationskanaler i Svensk Byggnorm, möjliga tillämpningar och kostnader m m

- Utarbetande av förslag till nya tekniska lösningar respektive underlag för fortsatt produktutveckling.

På basis av utredningsresultaten har riktlinjer utarbetats för projektering och utförande av kanaltätningar.

En ny tätningsmetod, "pulvertätning", har arbetats fram inom projektet och genom enkla funktionsprov har metodens tillämpbarhet testats.

I projektet har även ingått att undersöka forskningsbehovet beträffande tätning av rökkanaler.

Resultat

Av de litteraturstudier som gjorts framgår att äldre ventilationskanaler är mycket otäta. Kanaler av murade betongblock uppvisar ca 3-10 gånger större läckluftflöden än vad som svarar mot täthetsklass A. Däremot svarar glidformsgjutna kanalers täthet

någorlunda mot täthetsklass A. Kanaler av lättbetong har ca 10-25 gånger större läckluftflöden än vad som svarar mot täthetsklass A. Putsar man dessa kanaler minskar läckningen till en femtedel, d v s 2-5 gånger större läckluftflöden än motsvarande täthetsklass A. Kanaler av tegel eller asbestcement har ca 10-15 gånger större läckluftflöden än motsvarande täthetsklass A. Läckningen för plåtkanaler från före ca 1960 är 2-10 gånger större än motsvarande kanaler med täthetsklass A.

Täthetsprov från slutet av 1960-talet på plåtkanaler visar en minskning när det gäller läckluftflödena. Man har för rektangulära kanaler uppmätt läckluftflöden på ca 0,5-3 gånger motsvarande täthetskraven för täthetsklass A medan cirkulära kanaler har uppmätta läckluftflöden på ca 0,25-2 gånger motsvarande kraven för täthetsklass A.

Under 1970-talet har tätheten för spiralfalsade plåtkanaler ökat så kraftigt att en ny täthetsklass C kan vara befogad att införa.

Kostnaden för värmning av läckluftflödet har beräknats för ett FT-system med plåtkanaler och uppgår till storleksordningen ca 50 kr/m skarv och år beroende på typ av kanal och tryckdifferens. För FTX-system blir kostnaden mindre. För att kunna erhålla maximal energibesparing bör normalt både tillufts- och frånluftskanaler tätas.

Vid ombyggnad av självdragssystem till F-system blir läckluftflödena stora om kanalerna ej tätas. För en otätad självdragskanal i ett bostadshus av tegel kan den årliga kostnaden för värmning av läckluftflödet efter ombyggnad uppgå till ca 80 kr per meter kanal.

Förslag till nya produkter

Det finns idag på markanden ett flertal olika metoder för tätning av befintliga kanaler i anläggningar. Plåtkanaler kan t ex tätas med ventilationstape, krympband, kitt eller med pyrotekniska tätningsskarvar. Tätning av murade och gjutna kanaler kan ske genom att tätningsmassa appliceras inifrån eller genom att de befintliga kanalerna förses med insatsrör.

De nuvarande tätningsmetoderna har dock begränsningar framför allt när det gäller krav på åtkomlighet. Dagens tätningsmetoder innebär också höga kostnader eftersom stora ingrepp krävs i de befintliga kanalerna. Detta gäller i synnerhet vid murverkskanaler. Man har därför inom projektet utarbetat förslag till kompletterande tätningsmetoder varav den s k "pulvertätningsmetoden" respektive "injusteringslåda" är de intressantaste.

Pulvertätningsmetoden innebär att ett tätningsmedel i pulverform blåses in i kanalsystemet med hjälp av fläkt. Pulvret alstrar rök som genom övertryck pressas ut i kanalernas otätheter och klibbar fast där. En av fördelarna med en sådan metod är bl a att den blir självreglerande d v s efter hand som de små otätheterna fylls igen styrs luftströmmen med tätningsmedlet mot de större otätheterna. Det krävs ej heller åtkomlighet hos kanalerna i den utsträckning som t ex vid utvändiga tätningar typ krympband eller kitt och befintlig kanalisolering behöver ej demonteras. De utförda funktionsproven visar att metoden är tillämpbar. Me-

toden förutsätter dock att speciella tätningsmedel, som exempelvis kan vara någon typ av epoxiplast med härdare, utvecklas.

När det gäller frånluftssystem av självdragstyp, som skall förses med fläkt, finns en möjlighet att kringgå problemet med otäta kanaler. Genom att installera centralt placerade strypspjäll i kanalerna t ex på vinden, i stället för konventionella kontrollventiler i lägenheterna som idag, kan kanaltrycken hållas kvar på samma låga nivå som vid självdragssystem. Därigenom medför fläktinstallationen ingen ökad luftläckning i stigarkanalerna och befintliga frånluftsdon i lägenheterna kan behållas. Strypspjällen placeras lämpligen i speciella prefabricerade injusteringslådor. Sådana finns idag på marknaden. Vad som här krävs är en produktanpassning av injusteringslådorna till ombyggnadshusens kanalsystem samt komplettering med forceringsfunktion för tidvis ökade luftflöden från kök och badrum.

3 KANALSYSTEM I BYGGNADER

3.1 Ventilationsprinciper

Kanalsystemens uppbyggnad är bl a avhängig vilken typ av ventilationssystem (S, F, FT) det är frågan om. Självdragssystem, S-system, bygger på principen att densitetsskillnaden mellan uteluft och inneluft orsakar termiska stigkrafter hos luften, som utnyttjas för att evakuera luften via vertikala frånluftskanaler. Ventilationskanalens höjd har härvid stor betydelse för stigkraftens storlek. Mekaniska ventilationssystem byggs som frånluftssystem med fläkt, s k F-system eller som system med både tilluftsfläkt och frånluftsfläkt, FT-system. Genom att komplettera FT-systemen med en värmeväxlare mellan tilluften och frånluften erhålls s k FTX-system.

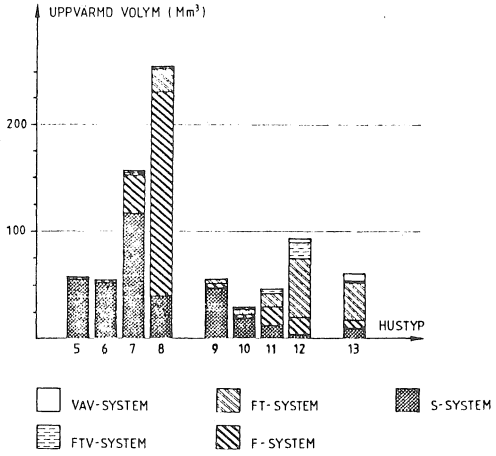
I Sverige finns totalt ca 150.000 byggnader av typ flerbostadshus, kontor, affärer, skolor och vårdbyggnader m m. I tabell 3.1 visas byggnadernas inbördes fördelning på byggnadsår.

Tabell 3.1 Skattat antal fastigheter i Sverige fördelade på byggnadsår (Hammarsten S, Erikson B E, 1979)

Hustyp	Byggnadsår	Uppskattat totalt antal fastigheter
5 Flerbostadshus	-20	13.000
6 - " -	21-40	17.000
7 - " -	41-60	26.000
8 - " -	61-75	12.000
9 Hus med lokaler (kontor och affärer)	-20	33.000
10 - " -	21-40	12.000
11 - " -	41-60	9.000
12 - " -	61-75	13.000
13 Hus med lokaler (vård, undervisn. m m)	-75	11.000

Figur 3.1 visar omfattningen av respektive ventilationssystem. S-systemen svarar för ventilationen i totalt ca 360 Mm^3 byggnadsvolym medan F-systemen svarar för totalt ca 280 Mm^3. FTX-systemet svarar endast för ca 10 Mm^3.

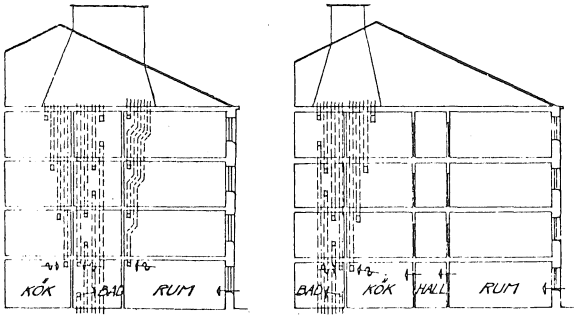
Antalet småhus byggda före 1975 uppgår till 1,2 milj. Större delen av dessa har S-system (Hammarsten S, Erikson B E, 1979).



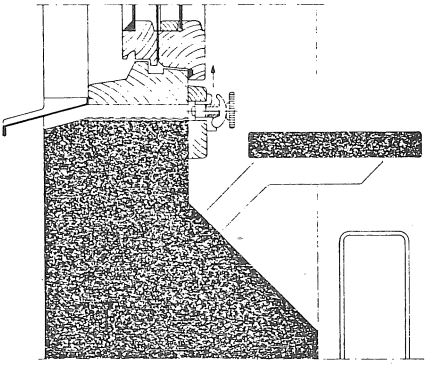
Figur 3.1 Fördelningen av den totala uppvärmda byggnadsvolymen efter hustyp och ventilationssystem. (Hammarsten S, Erikson B E, 1979). Siffrorna under staplarna hänför sig till hustyperna i tabell 3.1.

3.1.1 Självdragssystem

Den vanligaste ventilationsprincipen i äldre flerbostadshus är självdragsventilationen. Man skiljer mellan två principiellt olika typer av system, dels det centraliserade systemet där flera rum ventileras med en gemensam frånluftskanal, exempelvis från köken, dels det decentraliserade systemet där varje rum försetts med evakueringskanal (figur 3.2). Det centraliserade systemet som är det modernare har vanligen justerbara springventiler under fönstren, figur 3.3.



Figur 3.2 Centraliserat självdragssystem tv och decentraliserat självdragssystem th. (Rydberg J, 1965)

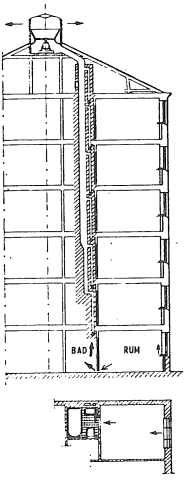


Figur 3.3 Springventiler under fönster för utelufttillförsel (VVS-handboken)

Omslutande kanalinnerarea är normalt stor i förhållande till luftflödet, vilket inverkar negativt på läckluftflödet. Självdragssystemen arbetar dock med små tryckdifferenser, från ca 0 till 10 à 15 Pa, varför läckluftflödena ändå blir acceptabla. Murverkskanaler användes i stor utsträckning men även gjutna betongkanaler och asbestcementkanaler förekommer.

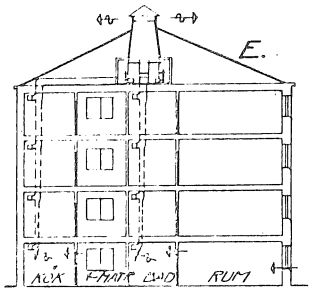
3.1.2 F-system

De första fläktventilationssystemen för bostadshus introducerades i början av 30-talet. Axialfläktar installerades i dessa system. Likheterna med det centraliserade självdragssystemet är stor eftersom man i båda fallen har centraliserad utsugning från flera rum samt springventiler för tilluft under fönstren. Utrymmesbehovet för kanalinstallationerna är dock mindre än vid självdragssystem. Frånluftsdonen är via bikanaler anslutna till huvudkanalen i ovanförliggande våningsplan. I figur 3.4 visas schematiskt hur denna typ av system ser ut.



Figur 3.4 F-system med bikanaler (VVS-handboken)

Genom tillkomsten av en ny typ av frånluftsdon s k kontrollventiler blev det möjligt att låta donen ta ett större tryckfall utan ljudproblem. Kontrollventilerna medför att ventilationssystemet blir lättare att inreglera och okänsligare för variationer på grund av termiska stigkrafter m m än system med bikanaler.



Figur 3.5 Ventilationssystem med kontrollventiler (Rydberg J, 1965)

System med axialfläktar arbetar vanligen med tryckdifferenser mellan kanal och omgivning på ca 50 Pa medan kontrollventilationssystem, som normalt har radialfläktar, arbetar med tryckdifferenser på upp till ca 150 Pa i ventilationssystem för bostäder.

De högre tryckdifferenserna i F-systemen, speciellt vid kontrollventiler, innebär ökad läckning varför kanalernas täthet får större inverkan än vid självdragssystem. Förhållandet mellan omslutande kanalinnerarea och luftflöde är dock ofta mindre för F-system än för självdragssystem, varför tryckdifferensens negativa inverkan reduceras.

Gjutna kanaler så kallade ductubekanaler, vilka är väsentligt tätare än murade kanaler, finns i stor utsträckning i äldre kontrollventilationssystem.

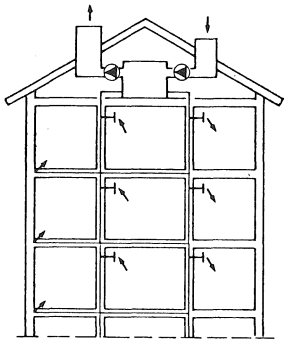
3.1.3 FT-ventilation

Vid FT-system tas uteluften in i ett centralaggregat där den filtreras och värms. Med hjälp av en fläkt distribueras luften via kanalerna ut till de olika lokalerna. Ofta tillförs luften bakom en radiator eller via ett tilluftsdon i tak vid ytter- eller innervägg. Evakueringen sker vanligen via kökets och badrummets frånluftsdon i bostadshus och via korridorer och schakt i kontorshus m fl.

En fördel från energisynpunkt är att FT-systemet kan förses med energiåtervinningssystem t ex värmeväxlare mellan tilluft och frånluft.

Plåtkanaler utgör den vanligaste kanaltypen i FT-systemen. Man har här normalt tryckdifferenser från ca 100 till 500 Pa i kanalerna men i vissa fall kan trycken uppgå till ca 1000 Pa. I FT-system med kanaler av täthetsklass A kan luftläckningen bli ända

upp till 50 % enligt (Gilberg J, 1978).



Figur 3.6 FT-system (SBN 1980)

3.2 Material i kanaler

Före mitten av 1950-talet utfördes de flesta ventilationskanalerna i murverk men även andra utföranden, exempelvis prefabricerade asbestcement- eller gipskanaler samt gjutna betongkanaler förekom.

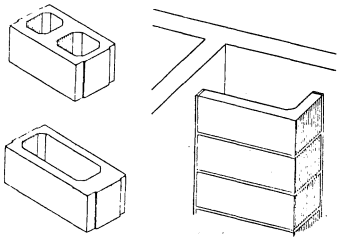
I början av 1960-talet introducerades de cirkulära spiralfalsade stålplåtskanalerna och sedan dess har man nästan helt gått över till kanaler av plåt. Plåtkanaler utförs också med rektangulära respektive flatovala tvärsnitt.

3.2.1 Murade kanaler

Det vanligast förekommande materialet i murade kanaler är tegel men även betong- och lättbetongblock har använts.

Prefabricerade kanaler av betong förekommer i form av betongelement eller s k BZ-block vilka finns både som hel- eller halvprofiler, jfr figur 3.7.

Gipselement, invändigt belagda med asbestcement, användes förr i relativt stor utsträckning. Dessa s k Johannessonelement, som kunde utföras självbärande, nyttjades bl a som samlingskanaler på vindarna vid mekaniska frånluftssystem. På vindar och i källare användes även kanaler tillverkade av s k slaggplattor samt rabitz- och monierkanaler. Slaggplattorna tillverkades av koksslagg med bruk som bindemedel. Rabitzkanalerna och monierkanalerna tillverkades av byggnadsmaterial. Rabitzkanalerna var armerade med ett galvaniserat trådnät på vilket bruk sammansatt av sand, kalk, gips och limvatten applicerades.



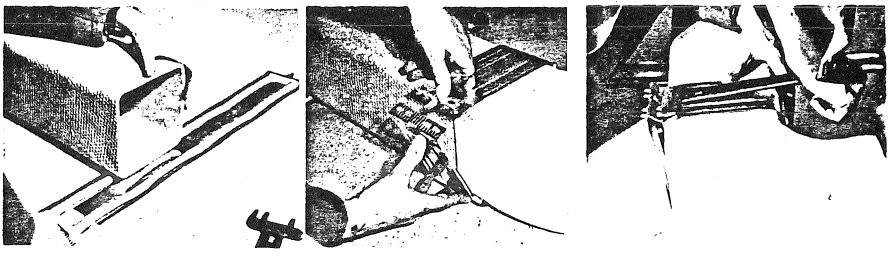
Figur 3.7 Prefabricerade betongelement.

3.2.2 Prefabricerade asbestcementkanaler

Ventilationskanaler av asbestcement har tidigare använts i alla förekommande typer av ventilationssystem. Det mest utbredda användningsområdet är bostadsventilation.

Asbestcementkanaler är av hygieniska skäl förbjudna att installera idag.

I figur 3.8 visas exempel på asbestcementkanaler. Dessa skarvades antingen genom att kanaldelar stacks in i varandra eller enligt nedan.



Figur 3.8 Skarvning av kanaldelar tillverkade av asbestcement

3.2.3 Gjutna kanaler

Genom att gjuta kanaler i betong erhålls en skarvfri kanal och därmed reducerad luftläckning.

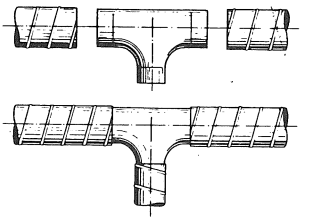
S k ductubekanaler användes där större krav ställdes på kanalernas täthet, t ex i äldre kontrollventilationssystem. Dessa kanaler tillverkas genom betonggjutning med uppblåsbar gummislang som kärna.

Gjutna kanaler kan även tillverkas genom s k glidformsgjutning.

3.2.4 Plåtkanaler

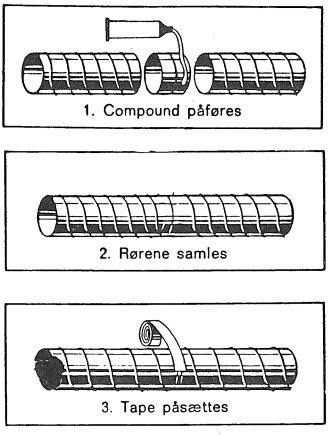
Kanaler av plåt är idag den klart dominerande kanaltypen i bostäder, kontor, industrilokaler m fl.

Cirkulära stålplåtkanaler tillverkas genom spiralfalsning och skarvas med s k skarvnipplar eller genom att olika kanaldelar skjuts in i varandra, se figur 3.9. Cirkulära kanaler i längsfalsade utföranden förekommer endast sparsamt.



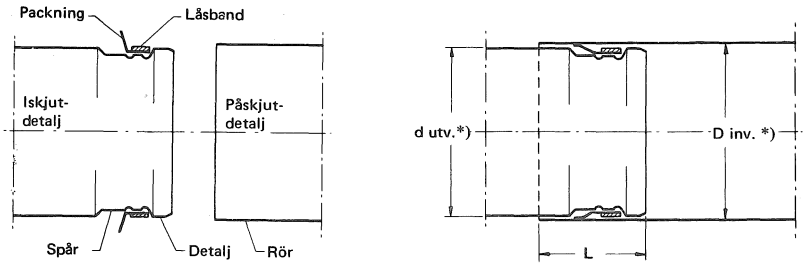
Figur 3.9 Skarvning av cirkulära plåtkanaler

Plåtkanalernas skarvar tätas med tätningsmassor eller genom att fettbindor eller tape lindas runt, se figur 3.10.



Figur 3.10 Tätning av plåtkanaler med tätningsmassa och tape

För att få rationellare montage av kanalerna har fabriksmonterade tätningar på kanaldelarna framtagits. Det finns en mängd olika typer av fabriksmonterade tätningar på marknaden av vilka bara en typ exemplifieras här, se figur 3.11.



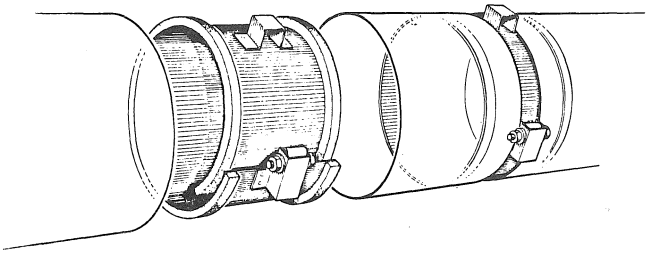
Figur 3.11 Montage av kanaler med fabriksmonterade tätningar (fabrikat Bahco)

Kanaler med fabriksmonterade gummitätningar uppfyller normalt kraven i SBN 1980 enligt täthetsklass B. Tätningarna är också mer åldringsbeständiga än tätningsmassor eller tape som kan lossna efter en tid.

Förskjutningar i skarvarna ger med fabriksmonterade tätningslister mindre läckningsrisker än med tape och tätningsmassa.

Eftersom mått och toleranser för olika kanaldelar skall följa SIS 827206, passar kanaldetaljer av olika fabrikat i samma kanalsystem.

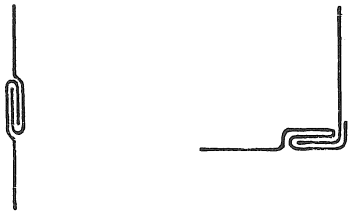
I vissa fall används även mera sofistikerade skarvningsanordningar såsom expanderande skarvdon, se figur 3.12. Dessa är utformade som ett uppskuret rör med utvändiga tätningslister runt ändarna. Donen expanderas med hjälp av en skruvanordning och tätar utan extra åtgärder.



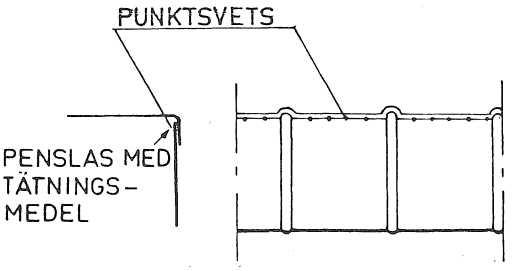
Figur 3.12 Expanderande skarvdon (fabrikat Bahco)

Rektangulära kanaler tillverkas med en längsgående skarv. Den vanligaste typen av längsskarvar är den s k Pittsburgsskarven men även punktsvetsade skarvar förekommer.

I figur 3.13-14 visas exempel på rektangulära kanalers längdskarvar.

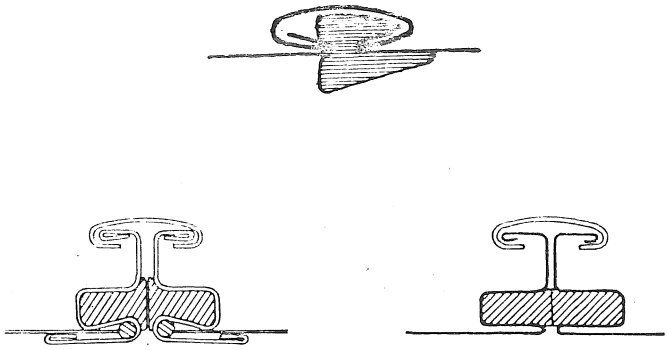


Figur 3.13 Pittsburgsskarvar (Erikson BE,1979)



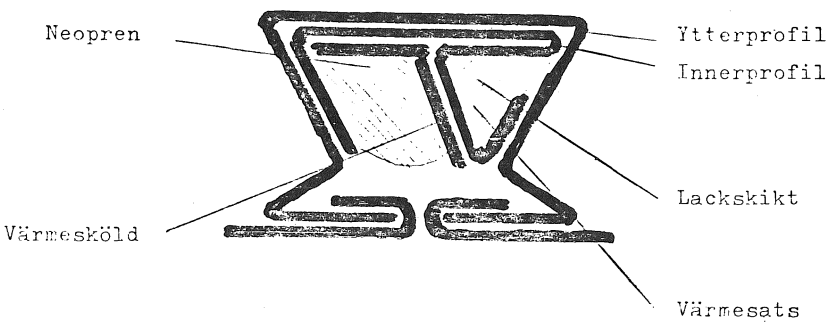
Figur 3.14 Punktsvetsade skarvar (Erikson BE,1979)

För att skarva rektangulära kanaldelar används s k gejdskarvar med särskilda tätningslister av gummi. Dessa är inte lika lätta att få täta som de cirkulära kanalernas skarvar. I figur 3.15 visas exempel på gejdskarvar. Det är väsentligt att skarvningen görs noggrannt och att hela gejden skjuts på för att erhålla god täthet. Det förekommer ibland att gejder bara skjuts på "en liten bit" eller att gejder saknas på kanalernas ovansida. Detta medför onödig och kostsam luftläckning. Felaktigt montage kan också medföra att gummipackningar pressas ur skarven och in i kanalen när gejden skjuts på. Detta är vanligast i kanalernas hörn.



Figur 3.15 Gejdskarvar för rektangulära kanaler (Erikson BE,1969)

För skarvning av rektangulära kanaler finns även en pyroteknisk skarvnings- och tätningsmetod utvecklad. Man använder sig av en "gejd" se figur 3.16, som skjuts på kanalen. Gejden innehåller neoprengummi och en värmesats. Neoprengummit innehåller ett jäsmedel som vid ca 100°C temperatur ger en kraftig volymökning.



Figur 3.16 Pyroteknisk skarvtätning (fabrikat Vinab)

Då en kanalsektion är monterad tänds värmesatsen och neoprengummit expanderar. Först efter ca 70 timmar är det expanderade neoprengummit vulkat men provtryckning kan ske redan efter 5-6 timmar.

Tändningen sker lämpligast med en spetsig propangaslåda eller med svets.

Skarven är godkänd av Statens Planverk och Statens Brandinspektion.

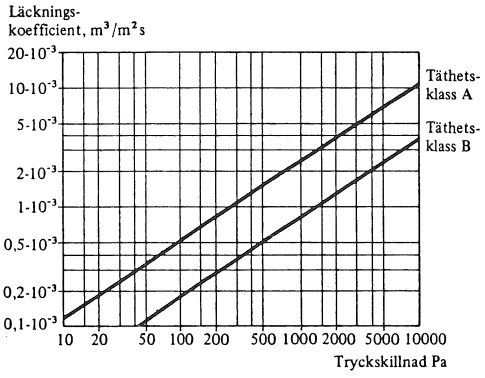
3.3 Anvisningar och krav angående ventilationskanalers utförande

Förutom krav på täthet och täthetsprovning gäller för ventilationskanaler även krav på brandsäkerhet, rensbarhet, beständighet m m.

3.3.1 Godtagen täthet

För att ange ventilationskanalers täthet används i SBN 1980 begreppet läckningskoefficient, vilken anges i enheten kubikmeter luft per kvadratmeter kanalinneryta och sekund. Läckningskoefficienten beräknas på kanalsystemets totala inre isolerade yta. I denna inräknas även omslutningsarean för tillhörande apparater, don m m. För vissa apparater av ur läckningssynpunkt svårbemästrad karaktär räknas apparaten som en ekvivalent kanalomslutningsyta i m^2, vars storlek avgörs med hänsyn till apparatens konstruktion och användning. Godtagna täthetsklasser för inomhusförlagda kanaler är enligt SBN 1980 täthetsklass A med högsta läckningskoefficient $1{,}32 \times 10^{-3}$ m^3/m^2s vid 400 Pa övertryck samt täthetsklass B med högsta läckningskofficient $0{,}44 \times 10^{-3} m^3/m^2s$ vid 400 Pa övertryck.

Beträffande godtagen täthet anges i SBN 1980 kap 52:21 bl a att inomhus förlagd kanal avsedd för transport av hälsofarlig, brandfarlig eller explosiv gas godtas anordnad så, att kanalen håller undertryck mot omgivande utrymmen i vilka personer vistas mer än tillfälligt. Sådan kanal godtas utförd i täthetsklass B enligt figur 3.17.



Figur 3.17 Täthetsklasser för ventilationssystem (SBN 1980)

Vidare sägs att övriga installationer godtas utförda i täthetsklass A enligt figur 3.17. Vid värmeåtervinning förutsätts dock kanalsystemet utfört i täthetsklass B.

RA 78 VVS ger följande rekommendationer:

"Valet av täthetsklass är i de flesta fall grundat på ekonomiska ställningstaganden. En analys av kanalsystem med avseende på ekonomiska faktorer ger vid handen följande:

- Kanalsystem med största flöde 3 m^3/s bör alltid utföras enligt täthetsklass A.

- Anläggningar utan särskild behandling av luften, eller endast värmning av luften, bör utföras enligt täthetsklass A. En drifttid av mer än 8 h/dag kan motivera utförande enligt täthetsklass B.

- Alla frånluftsinstallationer bör utföras enligt täthetsklass A.

- Täthetskraven ökar med graden av luftbehandling. Sålunda motiverar kylning, noggrann filtrering, fuktning, avfuktning eller värmning ett utförande enligt täthetsklass B."

3.3.2 Täthetsprovning

Täthetsprovning av inomhusförlagda ventilationskanaler krävs alltid om de transporterade hälso-, brandfarlig- eller explosiv gas. Övriga kanaler som är utförda i viss täthetsklass täthetsprovas stickprovsvis.

3.3.3 Brand

Från brandsäkerhetssynpunkt måste kraven i Svensk Byggnorm uppfyllas. Dessa varierar beroende på systemets utformning, användningsområde m m.

Enligt SBN 1980 gäller följande:

-"En luftbehandlingsinstallation skall anordnas så, att den inte medför ökad risk för uppkomst och spridning av brand inom en brandcell.

- En installation som genombryter en brandcellsskiljande byggnadsdel skall anordnas så, att byggnadsdelens brandavskiljande funktion upprätthålls.

- En installation som betjänar flera brandceller skall anordnas så, att ett tillräckligt skydd mot spridning av brandgas erhålls mellan brandcellerna, via installationen.

- En installation som genombryter ett yttertak skall anordnas så, att ett tillräckligt skydd mot antändning av taktäckningsmaterial erhålls."

För att specificera kraven används i Svensk Byggnorm en brandteknisk klassindelning där material klassificieras med hänsyn till brandtekniska egenskaper.

Klassbeteckningen för kanalsystem består av en bokstav A, B eller F, och ett tal.

Klassbeteckningens bokstav A innebär att byggnadsdelen praktiskt taget helt består av obrännbart material, B att byggnadsdelen består av brännbart material i en omfattning som inte är försumbar från brandteknisk synpunkt och F att byggnadsdelen inte uppfyller krav beträffande maximal temperaturökning på den från branden vända sidan.

Klassbeteckningens tal anger i minuter den tid för upphettning under vilken byggnadsdelen uppfyller sin bärande och/eller avskiljande funktion. Exempel på brandtekniska klassbeteckningar är A30, A15 m fl.

3.3.4 Rensbarhet

Enligt SBN 1980, 52:1 gäller som allmänt krav för luftbehandlingsinstallationer att: "Installationen skall anordnas på ett sådant sätt att igensättning av damm, fett o d inte varaktigt kan nedsätta den avsedda funktionen. En rensningspliktig kanal enligt definitionen i brandlagstiftningen liksom en frånluftskanal som måste rensas för att den skall fungera på avsett sätt, skall anordnas så att den kan rensas."

3.3.5 Beständighet

Enligt SBN 1980 skall en luftbehandlingsinstallation i en byggnad utföras av sådana material och anordnas så att den kan fungera på avsett sätt under en tidsrymd som är avpassad till byggnadens beräknade livslängd eller till installationens utbytbarhet.

3.4 Ventilationskanalers täthet

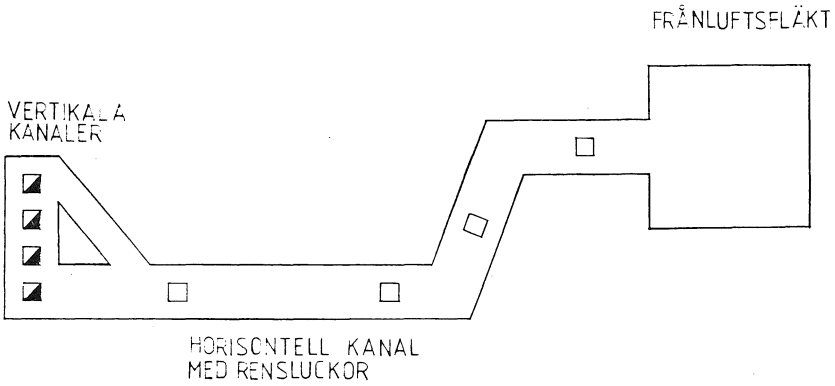
Ventilationskanalerna i våra befintliga byggnader har mycket varierande standard. Äldre ventilationskanaler och i synnerhet murade kanaler uppvisar ofta betydligt större läckluftflöden än vad som svarar mot täthetsklass A.

Orsaken till läckning kan vara:

- Otillfredsställande skarvnings- och fogningsmetoder
- Äldrade tätningsmaterial
- Sprickbildning i murade och gjutna kanaler
- Transportskador och skador av kanaldelar på byggplatsen
- Felaktigt montage
- Otäta kanalmaterial

En undersökning utförd av (Erikson BE, Olsson S, 1962) antyder att läckningen i första hand sker i fogar och sprickor. Laboratorieprov på provbitar av tegel, lättbetong och betong visar att dessa material är mycket tätare än kanaler av motsvarande material.

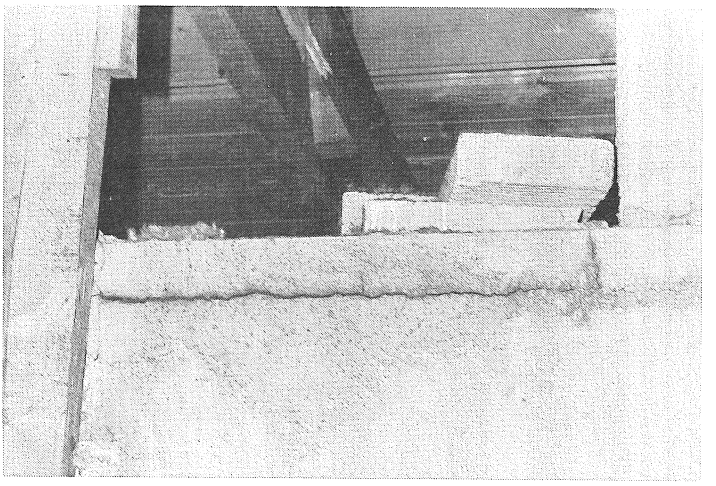
Figur 3.18 visar ett exempel på ventilationssystem med åldringsskador som lett till kraftigt ökad läckning.



Figur 3.18 Samlingskanal på vind för F-system (Börjesson L-G, 1981)

Sprickor kunde konstateras vid samtliga blockskarvar och vid kanalinfästningen i fläkthuset samt i själva fläkthuset. Exempel på sprickor visas i figur 3.19 och 3.20.

Figur 3.19 Spricka som förorsakar luftläckning vid infästningen av murad betongblockskanal vid fläkt



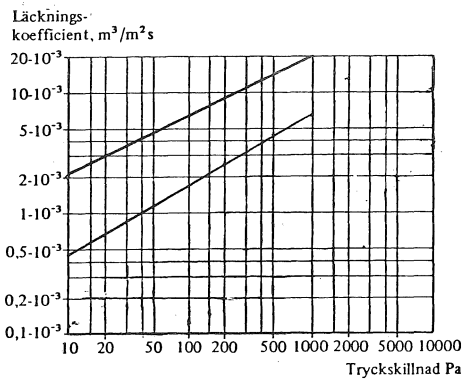
Figur 3.20 Spricka i fläkthuset

De moderna cirkulära kanalerna (spirorören) ger god täthet bl a tack vare de fabriksmonterade skarvtätningarna. För rektangulära kanaler har man utvecklat tvärskarvar (gejdskarvar) med särskilda tätningslister, vilka dock ej ger lika stor täthet som de cirkulära kanalernas skarvar.

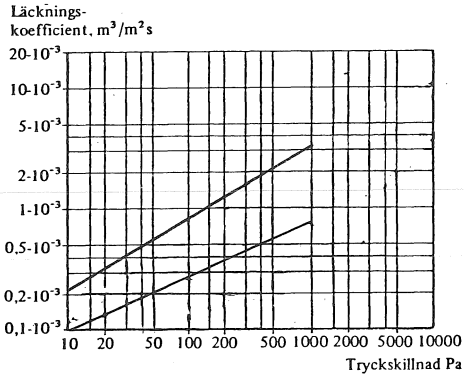
Problem med otätheter i skarvarna föreligger således idag endast vid äldre kanalsystem.

I nedanstående figurer redovisas material hämtat från tidigare undersökningar av ventilationskanalers täthet. Undersökningarna omfattar dels laboratorieprov, dels fältmätningar. En bearbetning av resultaten har här skett för att få enhetlig redovisningsform.

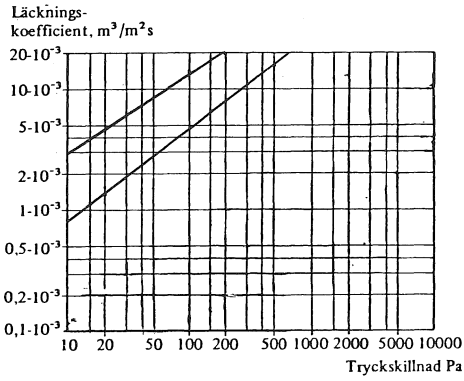
De flesta figurer innehåller en övre och en undre kurva. De två kurvorna i figurerna begränsar provens utfallsområde.



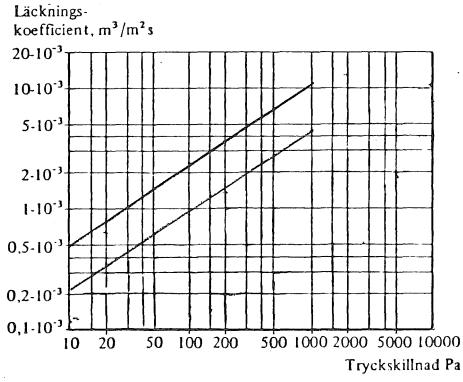
Figur 3.21 Läckning i kanaler av murade betongblock. Fältprov (Erikson BE, Olsson S, 1962)



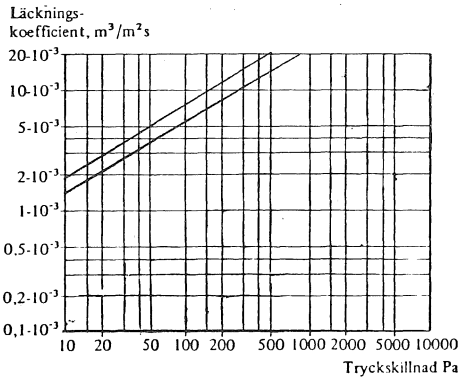
Figur 3.22 Läckning i glidformsgjutna betongkanaler. Fältprov (Erikson BE, Olsson S, 1962)



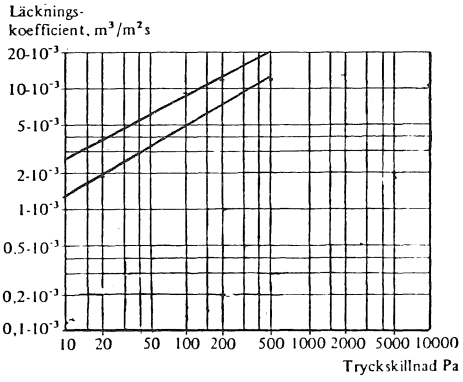
Figur 3.23 Läckning i kanaler av oputsad lättbetong. Fältprov (Erikson BE, Olsson S, 1962)



Figur 3.24 Läckning i kanaler av putsad lättbetong. Fältprov (Erikson BE, Olsson S, 1962)



Figur 3.25 Läckning i kanaler av tegel. Fältprov (Erikson BE, Olsson S, 1962)



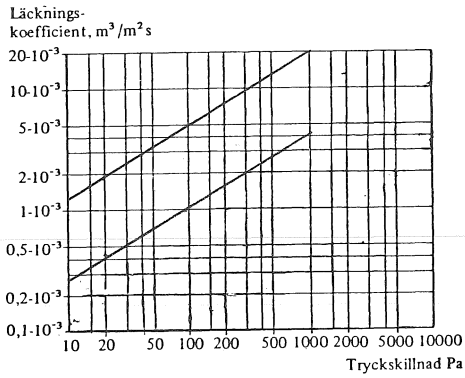
Figur 3.26 Läckning i kanaler av asbestcement. Fältprov (Eriksson BE, Olsson S, 1962)

Kanaler av murade betongblock uppvisar ca 3-10 gånger större läckluftmängder än vad som svarar mot täthetsklass A. Däremot svarar glidformsgjutna kanalers täthet någorlunda mot täthetsklass A.

Kanaler av lättbetong har ca 10-25 gånger större luftläckmängder än vad som svarar mot täthetsklass A. Putsar man dessa kanaler minskar läckningen till en femtedel, d v s 2-5 gånger större läckluftmängder än motsvarande täthetsklass A.

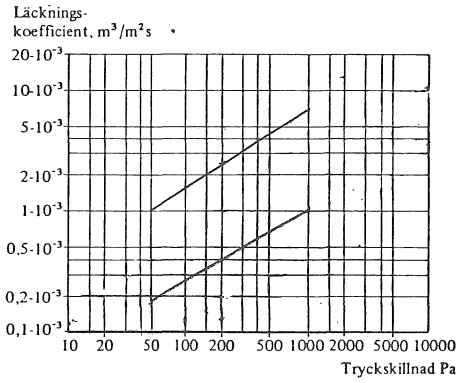
Kanaler av tegel eller asbestcement har ca 10-15 gånger större läckluftmängder än motsvarande täthetsklass A.

I figur 3.27 visas läckningskofficienter för plåtkanaler installerade före ca 1960. Läckningen är här 2-10 gånger större än motsvarande kanaler med täthetsklass A.

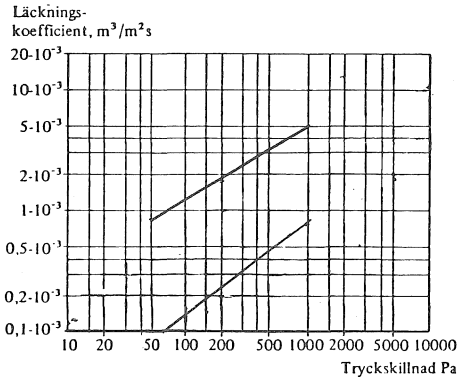


Figur 3.27 Läckning i plåtkanaler. Fältprov (Eriksson BE, Olsson S, 1962)

Senare täthetsprov på plåtkanaler utförda av (Eriksson BE, 1969) visar relativt stor spridning när det gäller läckluftflödenas storlek. Man har för rektangulära kanaler uppmätt läckluftflöden på ca 0,5-3 gånger motsvarande täthetskraven för täthetsklass A medan cirkulära kanaler har uppmätta läckluftflöden på ca 0,25-2 gånger motsvarande kraven för täthetsklass A se figur 3.28-3.29. En kontinuerlig utveckling mot allt tätare kanaler har således skett under de senaste decennierna.

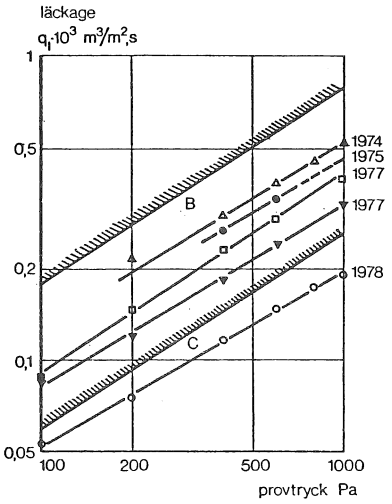


Figur 3.28 Läckning i rektangulära plåtkanaler. Fältprov (Erikson BE, 1969)



Figur 3.29 Läckning i cirkulära plåtkanaler. Fältprov (Erikson BE, 1969)

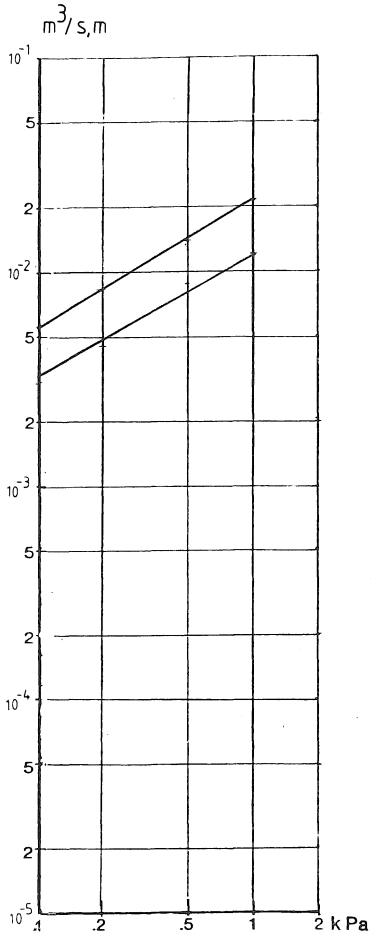
Under senare år har tätheten för spiralfalsade kanaler förbättrats ytterligare varför en ny täthetsklass C_3 kan vara befogad att införa. Man har diskuterat ca 0,15 x 10^{-3} m^3/m^2s vid 400 Pa övertryck. I figur 3.30 visas täthetsprov på cirkulära kanaler från 1974-1978.



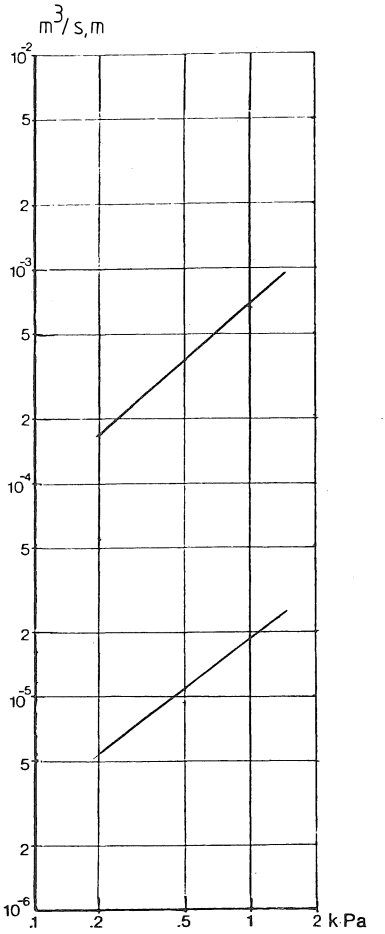
Figur 3.30 Läckning i cirkulära plåtkanaler
(Peterson F, 1979)

Prov på rektangulära plåtkanaler har även utförts utomlands (Hemzal K, 1981) och dessa ger läckningskofficienter i ungefär samma storlek som enligt ovan.

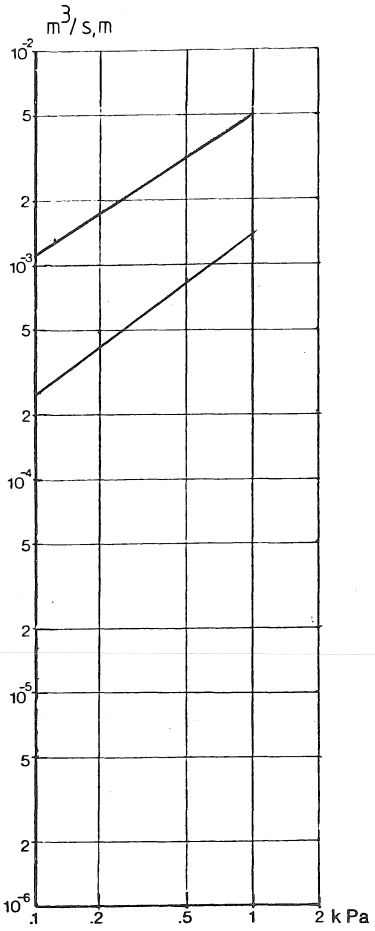
Tätheten i ett kanalsystem är starkt beroende av skarvarnas täthet. Den största skarvläckningen uppvisar vanligen rektangulära plåtkanaler, vilket visas i figur 3.31-35. I figur 3.36-3.39 redovisas skarvläckning i cirkulära kanaler.



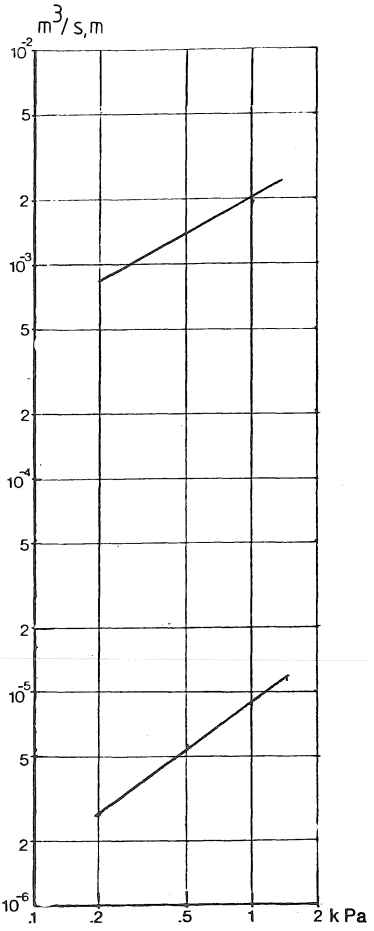
Figur 3.31 Läckning i gejdskarvar, angivet per meter skarv. Fältprov (Erikson BE, Olsson S, 1962)



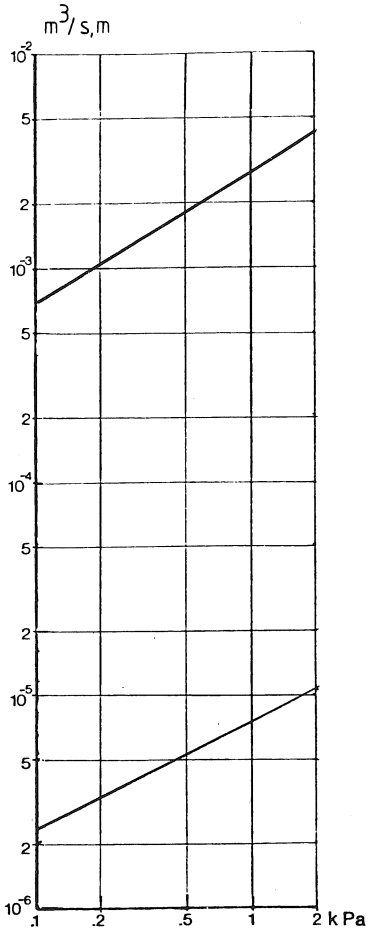
Figur 3.32 Läckning i rektangulära kanalers gejdskarvar, angivet per meter skarv. Laboratorieprov (Erikson BE, 1969)



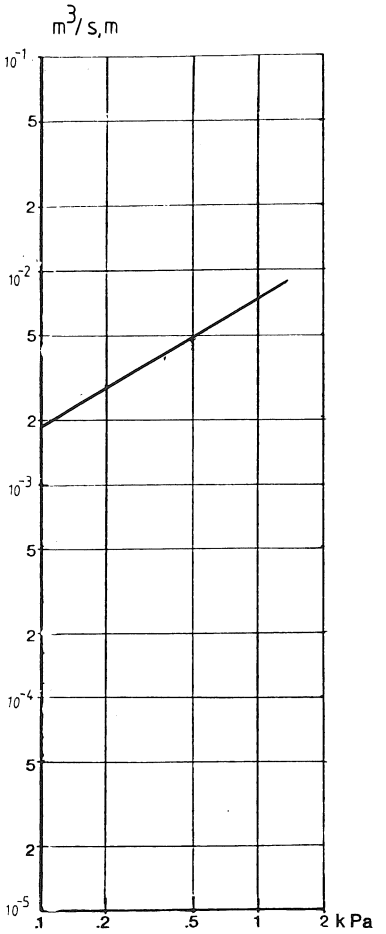
Figur 3.33 Läckning i rektangulära kanalers flänsskarvar, angivet per meter skarv. Fältprov (Erikson BE, Olsson S, 1962)



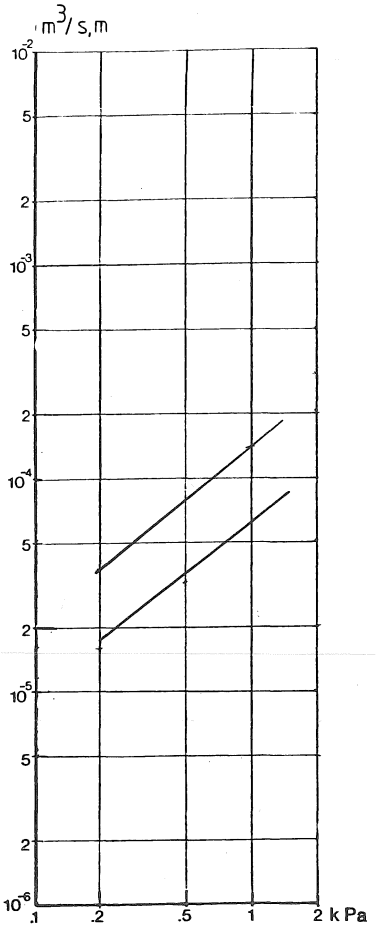
Figur 3.34 Läckning i rektangulära kanalers längdskarvar, angivet per meter skarv. Laboratorieprov (Erikson BE, 1969)



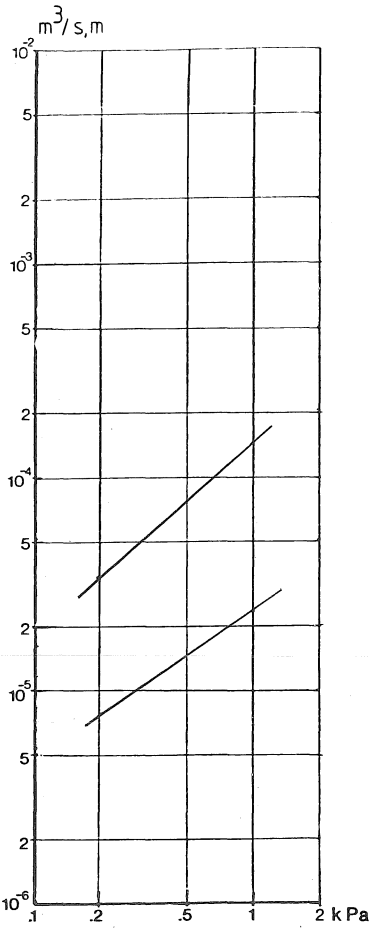
Figur 3.35 Läckning i rektangulära kanalers längdskarvar, angivet per meter skarv. Laboratorieprov (Wallin O, 1979)



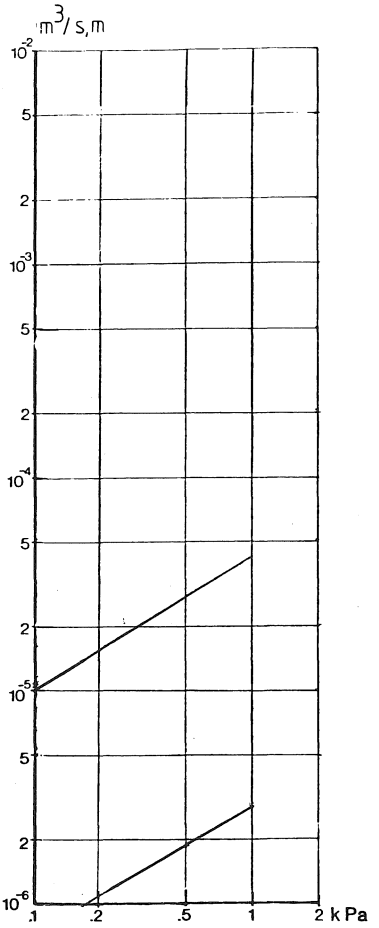
Figur 3.36 Läckning i cirkulära kanalers tvärskarvar, angivet per meter skarv. Otätade skarvar. Beräknat på basis av uppgifter av (Wallin O, 1979)



Figur 3.37 Läckning i cirkulära kanalers tvärskarvar, angivet per meter skarv. Skarvarna tätade med tape eller fettbinda. Laboratorieprov (Erikson BE, 1969)



Figur 3.38 Läckning i cirkulära kanalers tvärskarvar, angivet per meter skarv. Skarvarna tätade med fettbinda eller tätningsmassa. Laboratorieprov (Wallin O, 1979)



Figur 3.39 Läckning i cirkulära kanalers spiralfals, angivet per meter fals. Fältprov (Erikson BE, Olsson S, 1962)

Som framgår av figur 3.31-3.39 kan skarvläckningen variera inom ett brett intervall. De kanaltyper som har störst skarvläckning är gamla rektangulära kanaler från början av 1960-talet och tidigare, se figur 3.31. Man bör även se upp med cirkulära plåtkanaler som endast tätats med ventilationstape. När tapen torkat och lossnat kan läckningen i värsta fall vara lika stor som enligt figur 3.36.

4 ÅRLIGA ENERGIKOSTNADER VID OTÄTA KANALER

Ett otätt kanalsystem ger högre energiförbrukning och därmed ökade driftkostnader jämfört med ett tätt eftersom större luftflöden än vad som nyttiggörs måste tillföras byggnaden. Luftbehandlingen omfattar oftast uppvärmning och filtrering men även kylning och ev befuktning förekommer i vissa typer av anläggningar. Vidare ökar energiförbrukningen för fläktarna med ökade läckluftflöden. Även installationskostnaden ökar till följd av att fläktar och luftbehandlingsapparater måste dimensioneras för att klara av både det erforderliga ventilationsflödet och läckluftflödet.

Genom räkneexempel studeras hur läckningen i kanalerna inverkar på energibehovet i ett FT-system och F-system. För FT-system undersöks också konsekvenserna av att tillufts- och frånluftskanalerna har olika läckningskofficienter. Eftersom många FT-system idag kompletteras med värmeåtervinning undersöks även hur värmeåtervinningens verkningsgrad påverkar behovet av tätare kanaler.

Energiförbrukningen för att värma läckluften i ett ventilationssystem beror på systemets driftstid och på den temperaturhöjning luften ges vid värmningen, d v s skillnaden mellan utetemperatur och innetemperatur. Vidare påverkar värmeåtervinning eller återluft energiförbrukningen.

4.1 FT-system

Ventilationssystemet i en byggnad antas ha ett nominellt tillufts- respektive frånluftsflöde av 9,2 m^3/s. I figur 4.1 visas en schematisk skiss av ventilationssystemet, som är försett med en värmeväxlare vars verkningsgrad kan varieras mellan 0 och 100 %. Energiförbrukningen för uppvärmning av läckluftflödet beräknas för tre fall och redovisas som funktion av värmeåtervinningens verkningsgrad.

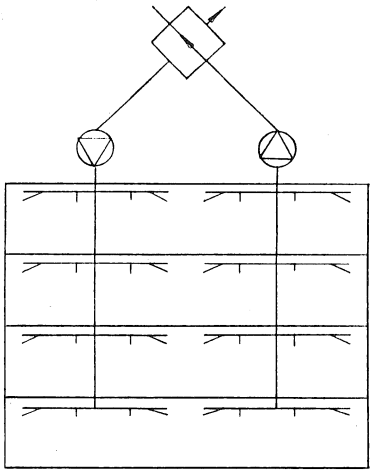
Fall 1: Hela ventilationssystemet har täthetsklass A.

Fall 2: Tilluftssystemet har täthetsklass B, frånluftssystemet har täthetsklass A.

Fall 3: Hela ventilationssystemet har täthetsklass B (krav enligt SBN 1980 vid värmeåtervinning).

Läcknings- och tryckfallsberäkning:

I bilaga 2 redovisas data för tilluftssystemet samt det beräknade läckluftflödet vid täthetsklass A respektive B. Frånluftssystemet antas vara identiskt med tilluftssystemet frånsett filter och luftvärmare i tilluftssystemet varför beräkningsresultatet gäller även för frånluftssystemet. Tabell 4.1 sammanfattar beräkningsresultaten från bilaga 2.



Figur 4.1 Ventilationssystem med värmeåtervinning

Tabell 4.1 Resultaten av tryckfalls- och läckningsberäkning för respektive tillufts- och frånluftssystem enligt bilaga 2

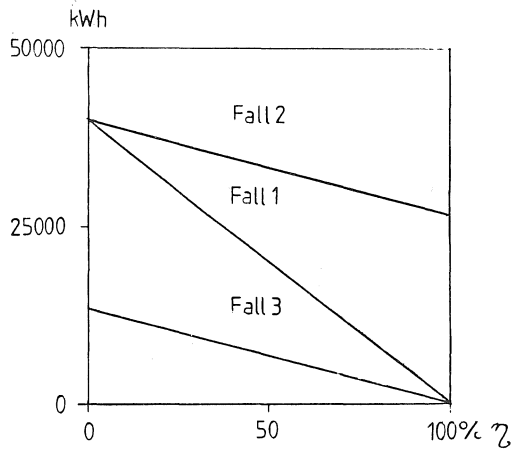
	Flöde (m^3/s)	Läckning (m^3/s)
System med täthetsklass A	9,83	0,63
System med täthetsklass B	9,41	0,21

Förutsättningar för beräkning av energibehovet för läckluftflödet:

- Beräkningen sker i enlighet med projekteringsanvisningarna i Bilaga 3.
- Hela kanalsystemet ligger inom byggnadens värmda del.
- Tilluftstemperatur och frånluftstemperatur förutsätts vara lika vid frånluftsdonen som vid tilluftsdonen. Från störningar p g a termiska stigkrafter och vindtryck bortses.
- Värmeåtervinningens verkningsgrad förutsätts ej påverkas av läckluftflödenas storlek.
- Drifttid 09-21.
- Innetemperatur +20°C.
- Normaltemperatur definierad enligt vvs-handboken är +7°C.

Ventilationssystemet antas i de tre beräkningsfallen vara inreglerat så att flödena genom donen är de avsedda oberoende av täthetsklass.

Det framräknade energibehovet för läckluftflödet redovisas som funktion av värmeåtervinningens verkningsgrad i figur 4.2.



Figur 4.2 Årligt energibehov kWh för värmning av läckluftflödet som funktion av värmeåtervinningens verkningsgrad:

Fall 1 = Hela ventilationssystemet har täthetsklass A
Fall 2 = Tilluftssystemet har täthetsklass B, frånluftssystemet har täthetsklass A
Fall 3 = Hela ventilationssystemet har täthetsklass B

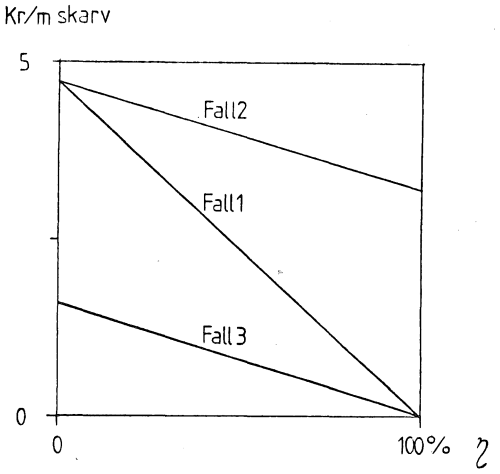
Resultat:

Vid täthetsklass B i tilluftssystemet och täthetsklass A i frånluftssystemet kan läckningen i frånluftssystemet överstiga läckningen i tilluftssystemet. Den obalans som härvid uppstår i ventilationen leder till att luft tas in via otätheter i byggnaden. För system med värmeåtervinning har detta stor betydelse då värmeåtervinningens kapacitet ej kan utnyttjas för denna form av tilluft. Tätning av tilluftssystem kan därför i sådana fall öka energibehovet.

Tätning av både tillufts- och frånluftssystemet leder normalt alltid till minskad energiförbrukning. Betydelsen av tätningen avtar dock med ökad grad av värmeåtervinning.

Kostnader för luftläckning:

Kanalsystemet enligt ovan har ca 90 m rektangulära skarvar och ca 1600 m cirkulära skarvar i vardera tillufts- och frånluftssystemet. Som förenkling antas att den huvudsakliga läckningen sker i skarvarna. De genomsnittliga kostnaderna för luftläckningen redovisas i figur 4.3 för de 3 fallen. Kostnaderna anges per meter skarv i tilluftssystemet.

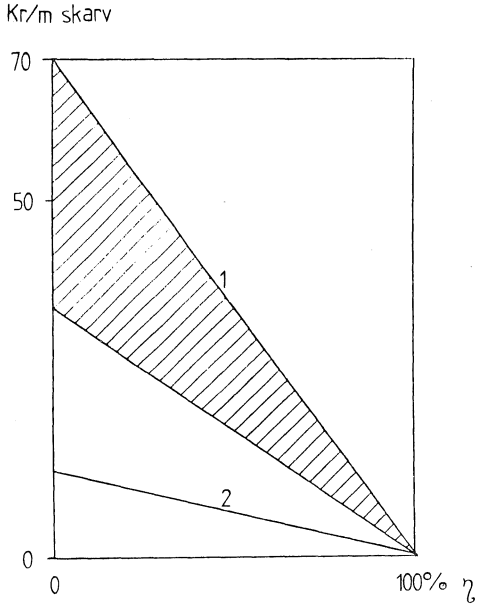


Figur 4.3 Årlig genomsnittlig energikostnad för luftläckning som funktion av värmeåtervinningens verkningsgrad vid värmning av tilluften (Fall 1-3 enligt figur 4.2)

Kanaler enligt beräkningsexemplet

Tilluftstemperatur	+20°C
Drifttid	12 tim/dygn 365 dygn/år
Normaltemperatur	+ 7°C
Energipris	0,2 kr/kWh

För äldre ventilationssystem är det osannolikt att kraven enligt täthetsklass A eller B uppfylls. Kostnaderna för läckning i sådana system blir normalt väsentligt högre än enligt figur 4.3. För att belysa detta antas att läckning enligt figur 3.31 råder i de rektangulära kanalerna och läckning enligt figur 3.36 i de cirkulära kanalerna i det aktuella ventilationssystemet. Tryckdifferensen i de rektangulära kanalerna är ca 350 Pa och i de cirkulära ca 35 Pa. Kostnaderna för värmning av läckluftflödet redovisas i figur 4.4.



Figur 4.4 Årlig energikostnad för luftläckning som funktion av värmeåtervinningens verkningsgrad vid värmning av tilluften. Streckat område anger spridningsområdet vid rektangulära kanaler av äldre typ

1 Rektangulära kanaler, Δ p = 350 Pa

2 Cirkulära kanaler utan någon form av skarvtätning, Δp = 35 Pa

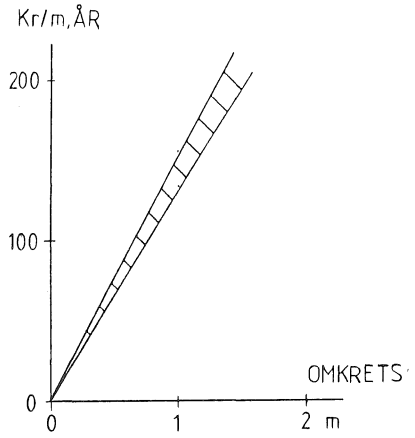
Tilluftstemperatur	+20°C
Drifttid	12 tim/dygn 365 dygn/år
Normaltemperatur	+ 7°C
Energipris	0,2 kr/kWh

4.2 Ombyggnad av självdragssystem till F-system

Vid ombyggnad av självdragssystem till frånluftssystem med fläktar i bostäder erhålls normalt en trycksänkning i ventilationskanalerna från ca 0-15 Pa undertryck till 50 ä 150 Pa undertryck, som leder till ökad läckning. Eftersom självdragskanaler dessutom har stor omslutningsarea i förhållande till transporterat luftflöde kommer läckningen att bli omfattande i förhållande till nominella flödet.

I kap 3.4 redovisas uppmätt läckning för några olika typer av murade kanaler. Vid tryckdifferenser på ca 75 Pa erhålls för kanaler av tegel ett läckluftsflöde på ca 0,0064 m^3/m^2,s. I figur 4.5 redovisas beräknad energikostnad för läckningen per meter kanal som funktion av kanalens inre omkrets efter ombyggnad till

F-system och otätad kanal. Energiförbrukningen grundas på att läckluftflödet är onödig ventilation, d v s ventilationsbehovet före tätning täcks av den luft som bortförs via donen och läckluften tas från värmda utrymmen.



Figur 4.5 Årlig energikostnad för läckningen i F-system per meter kanal som funktion av kanalens inre omkrets, vid värmning av tilluften

Kanaler av murat tegel	
Tilluftstemperatur	+20°C
Drifttid	hela dygnet
Normaltemperatur	+ 7°C
Tryckskillnad	75 Pa
Energipris	0,2 kr/kWh

4.3 Slutsatser

Eftersom beräkningarna utgår från givna exempel är resultatets numeriska värde inte generellt tillämpbart på andra ventilationssystem men är dock användbart för att påvisa vissa tendenser.

Av beräkningsresultatet i kap 4.1 framgår att de ökade driftkostnaderna p g a kanalläckning kan vara så stora att tätning av befintliga FT- och FTX-system kan vara befogad. Genom att täta från täthetsklass A till B kan man i ett konventionellt FT-system enligt beräkningsexemplet spara ca 2 à 3 kr per meter skarv i tilluftssystemet. Om systemet varit av äldre typ skulle kostnadsbesparingen kunna uppgå till ca 40 à 65 kr per meter och år.

För att man skall erhålla minimal energiförbrukning bör läckluftflödena i tillufts- och frånluftskanalerna vara lika stora. Detta är speciellt viktigt i FTX-system där täthetsklass B i tilluftssystemet och täthetsklass A i frånluftssystemet t o m kan ge högre energiförbrukning än täthetsklass A i både tillufts- och frånluftssystemet p g a ofrivillig luftinfiltration genom otätheter i byggnaden. Vid tätning av äldre ventilationssystem bör man därför täta både tillufts- och frånluftskanaler för att få maximal

energibesparing. Normalt erhålls störst energibesparing vid tätning om ventilationssystemet saknar värmeåtervinning. Det kan därför vara motiverat att införa krav på täthetsklass B även för FT-system utan värmeåtervinning.

Vid ombyggnad av självdragssystem till system med fläkt blir läckluftflödena ofta stora. För en otätad självdragskanal i ett bostadshus kan den årliga kostnaden för värmning av läckluftflödet efter ombyggnad uppgå till ca 80 kr per meter kanal. Denna typ av kanaler bör således tätas av funktions- och driftkostnadsskäl.

5 NUVARANDE TÄTNINGSMETODER

Man har hittills prövat ett flertal olika metoder för tätning av befintliga kanaler i anläggningar. Plåtkanalernas skarvar kan t ex tätas med ventilationstape, krympband, kitt eller med pyrotekniska tätningsskarvar. Tätning av murade och gjutna kanaler kan göras genom att tätningsmassa appliceras inifrån eller genom att de befintliga kanalerna förses med insatsrör. Nedan redovisas de olika metodernas utförande med exempel på tillämpningar. Vidare redovisas hur kraven på täthet, brand, rensbarhet och beständighet uppfylls av de beskrivna tätningsmetoderna.

5.1 Tätning av plåtkanaler

5.1.1 Ventilationskitt - tätningsmassa

En vanlig metod att täta skarvar i ventilationssystem är kittning. Kittning av skarvar kan ske från kanalens ut- eller insida varvid man använder en kittpistol med kitt i tuber.

Det går snabbast att utföra tätningen från utsidan om man kan komma åt alla sidor. Vid dålig åtkomlighet eller om kanalen är isolerad på utsidan går det fortast att kitta från insidan av kanalen.

Vid invändig kittning krävs att ett hål tas upp i kanalen. För att metoden skall kunna användas krävs att kanalerna är åtkomliga för tätningsverktyget. Kanaler förlagda i vertikala schakt är således svåra att täta. Enklast är att täta horisontella kanaler förlagda på vindar eller mellan undertak och bjälklag.

Metoden kräver visst förarbete i form av demontering av undertak, belysningsarmaturer mm samt rengöring av kanalerna. Själva kittningen tar ca 20 min per skarv.

Metoden är lämplig för tätning av rektangulära kanalers tvärskarvar men kan även användas att täta cirkulära kanaler. Hur täta skarvarna blir beror på hur noggrannt arbetet utförs. I gynnsamma fall kan täthetsklass A respektive B uppnås.

Figur 5.1 Ventilationskitt för tätning av plåtkanaler (R.E. Christenson AB)

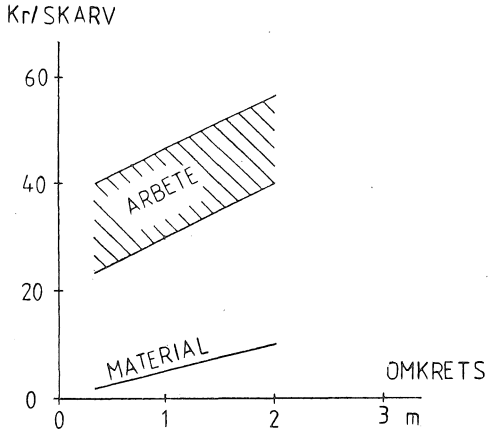
Från brandsäkerhetssynpunkt vållar denna metod knappast några problem.

Invändig kittning orsakar inga problem vid rensning.

Beständigheten bedöms som god. Livslängdsnedsättande faktorer som mögel, röta, nedbrytning m m är oftast försumbar. Däremot kan feta ångor från matlagning m m orsaka att kittets vidhäftningsförmåga minskar.

Kitt av bra kvalitet kan köpas för ca 50-60 kr/kg.

Kostnaden för tätning inklusive ställtid varierar mellan ca 50-400 kr/skarv beroende på framförallt förarbetet med att ta ned undertak, armaturer m m. I figur 5.2 visas ungefärliga kostnader för kittning av skarvar exklusive demontering av undertak m m.



Figur 5.2 Uppskattade minimikostnader för kittning av skarvar exklusive ev ställtid respektive undertaksarbete o dyl

Målning av längsgående kanalskarvar med tätningsmassa är en metod som ibland tillämpas på äldre rektangulära ventilationskanaler. Oklarheter beträffande tätningsresultat och beständighet föreligger varför metoden bör följas upp med provningar.

5.1.2 Ventilationstape

Ventilationstape används för att täta cirkulära kanaler.

För att tätning skall kunna ske på ett enkelt sätt bör rören vara lättåtkomliga och oisolerade.

Ventilationstape ger relativt god täthet. Täthetsklass A eller B kan uppnås i gynnsamma fall. Metoden ger obetydlig ökning av brandbelastningen.

Rensbarheten påverkas inte. Beständigheten mot åldring är svårbedömd. Tidigare installationer har dock visat att åldringsbeständigheten för ventilationstape varit mindre god. Efter några år har limmet torkat varefter tapen börjat lossna. En viss utveckling mot bättre tape har dock skett.

Kostnaden för tätning med ventilationstape exklusive kringarbeten uppgår till storleksordningen ca 10 kr/skarv.

Tabell 5.1 Materialegenskaper för ventilationstape (Fabrikat R.E. Christenson AB)

Material:	Polypropylenbelagd bomullsväv
Tjocklek:	0,33 mm
Draghållfasthet:	17,0 Kp/25 mm bredd
Häftförmåga:	1,1 Kp/25 mm bredd

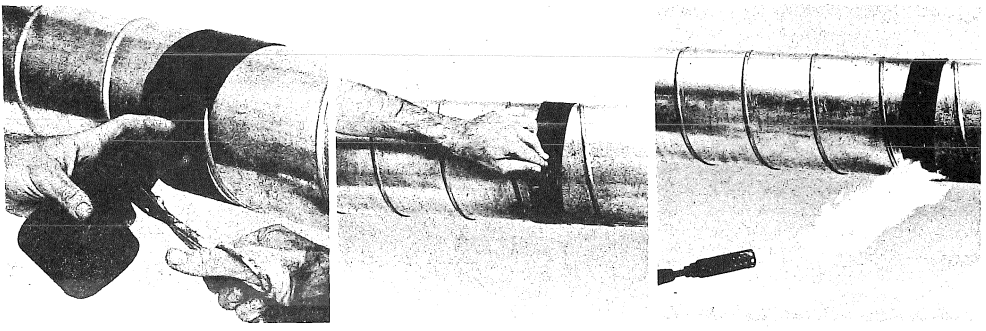
Temperaturtålighet:	-50°-$+100^{o}C$
Färg:	Silvergrå
Diffusion:	35 g/m^2 under 24 timmar vid $+40^{o}C$

5.1.3 Krympbara skarvband

För att täta befintliga plåtkanaler i ventilationssystem kan man använda s k krympbara skarvband utförda av polyeten och belagda med ett smältlim.

Tätningen går till så att krympbandet lindas runt kanalen över den skarv som skall tätas så att en viss överlappning sker. Bandet fästes med en liten bit värmetålig tape. Genom värmning med öppen låga t ex med gasolbrännare krymper bandet samtidigt som limmet smälter och pressas in i ojämnheter och fäster mot underlaget. Den värmetåliga tapen som håller ihop bandet under värmningen kan sedan avlägsnas. Eftersom man använder öppen låga föreligger risk för brand vid montaget. Varmluftsfläkt bör användas vid brandfara.

Tätning av spirorör med krympbara skarvband utförs enligt figur 5.3



Figur 5.3 Montering av krympbara skarvband (fabrikat Raychem)

Metoden är endast lämpad för cirkulära kanaler eftersom rektangulära kanaler är svåra att få täta i hörnen.

För att metoden skall kunna användas krävs att kanalerna är åtkomliga. Montaget försvåras om kanalen t ex ligger nära taket.

Den största delen av arbetstiden åtgår ofta för kringarbetena såsom demontering av undertak och belysningsarmaturer m m.

Uppgifter från utförda provningar av fabrikanten pekar på att läckningen efter tätning uppgår till mindre än 1 % av den ursprungliga läckningen för kanaler med täthetsklass B.

Krympband ger obetydlig ökning av brandbelastningen.

Metoden ger inga problem i samband med rensning.

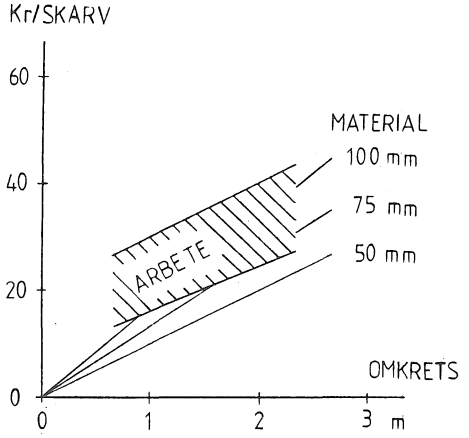
Beständigheten bedöms vara god.

Nedan visas typiska materialegenskaper och dimensioner.

Tabell 5.2 Materialegenskaper för krympbara skarvband (fabrikat Raychem)

Temperaturområde	$-30^{o}C$ till $+70^{o}$
Max trycktålighet	$0,5\ kg/cm^2$
Slagtålighet i kyla	under $-30^{o}C$
Brottöjning	450 %
Draghållfasthet	vid 100 mm bredd 120 kg

Kostnaderna för denna tätningsmetod inklusive ev ställtid respektive undertaksarbete o d varierar mellan ca 50-200 kr/ skarv. Kostnader för tätning exklusive kringarbeten redovisas i figur 5.4.



Figur 5.4 Uppskattade minimikostnader för tätning med krympband exklusive kringkostnader

5.1.4 Pyroteknisk skarvtätning

I kapitel 3.2.4 beskrivs en pyroteknisk skarvningsmetod för rektangulära kanaler i ventilationssystem. Denna metod kan även användas för att täta befintliga rektangulära kanaler.

Möjligheterna att använda metoden begränsas av åtkomligheten. Avståndet mellan kanal och vägg eller tak måste vara minst 2 cm för att skenan skall få plats.

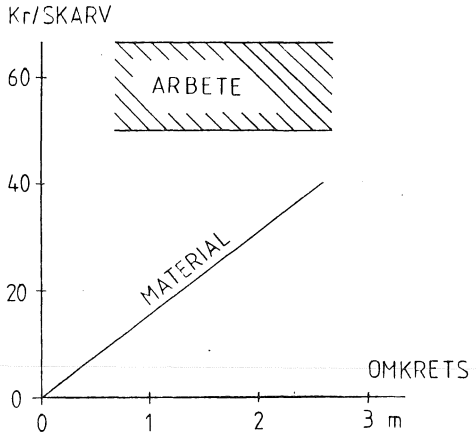
Metoden ger en mycket tät skarv. Om längsskarvarna är täta uppnås normalt bättre täthet än täthetsklass B. Från brandskyddssynpunkt vållar metoden inga problem.

Metoden påverkar ej rensbarheten.

Beständigheten bedöms som god med hänsyn till neoprengummits goda åldringsegenskaper och motståndskraft mot kemikalier.

Priset för materialet är ca 12-13 kr/m skarv.

I figur 5.5 redovisas kostnaden för montage av pyroteknisk tätningsskena exklusive kringkostnader. Man har då förutsatt att de pyrotekniska gejderna monterats på befintliga falsar. Detta är dock endast möjligt om kanalerna är utförda med enkla falsar.



Figur 5.5 Uppskattade minimikostnader för tätning med pyroteknisk tätningsmetod exklusive kringkostnader

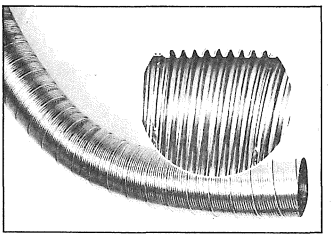
5.2 Tätning av murade och gjutna kanaler

5.2.1 Böjbara metallrör

En vanlig tätningsmetod idag är insatsrör som monteras i befintliga kanaler. Metoden används ofta vid tätning av äldre självdragssystem i samband med installation av fläktventilation.

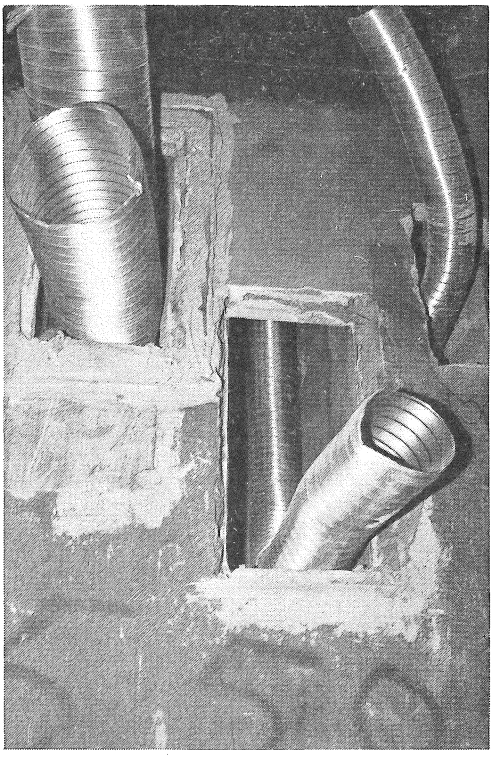
Som insatsrör i ventilationskanaler används böjliga metallrör, som finns i olika material såsom aluminium, galvaniserat- och rostfritt stål.

Skarvning av vertikala insatsrör sker med skarvnipplar i vilka insatsrören skruvas fast. Tätning av skarven sker med ventilationskitt. För att skarvningen skall hålla bör den också kompletteras med slangklämmor.

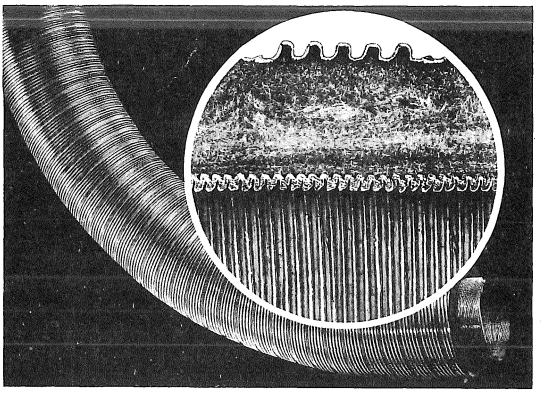


Figur 5.6 Böjbart metallrör (Fabrikat Ohler)

Metallrören finns för temperaturer upp till 600°C. Isolerade böjliga metallrör finns för temperaturer upp till 200°C.



Figur 5.7 Tätning av självdragskanaler med böjbara insatsrör (Riksbyggnaderna i Stockholm, 1981)



Figur 5.8 Isolerade böjbara metallrör (Fabrikat Ohler)

Innan man monterar insatsröret måste man försäkra sig om att det får plats. Man drar en tolk bestående av en rörbit som är minst 2,5 m lång genom den murade kanalen. Fastnar provbiten undersöks orsaken genom okulär besiktning. En orsak till att provbiten kan fastna är att kanalen gör en tvär sidoförskjutning. Andra orsaker kan vara att någon tegelsten eller dyligt sticker ut i kanalen. För att minska risken att insatsröret fastnar när det förs genom den murade kanalen bör det förses med en kon.

Installationstekniskt sett är metoden relativt enkel om befintlig kanal är rak och saknar påstick. För att kunna montera påstick krävs att ett hål tas upp i den befintliga kanalen så att man kommer åt att montera grenkanalen. Vid skarpa krökar kan det också bli nödvändigt att öppna kanalväggen så att insatsröret kan föras igenom kanalen utan att fastna.

I och med att man installerar insatsrör minskar kanalens tvärsnittsarea och detta betyder högre strömningshastigheter vilket vanligtvis ger större tryckfall.

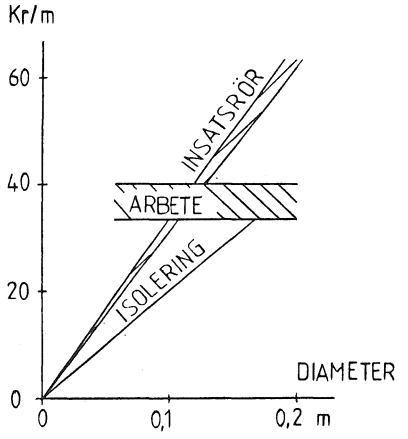
Kanaler med insatsrör blir som regel mycket täta. Normalt uppnås täthetsklass B, om insatsrören inte skadas eller monteras felaktigt. Största fördelen med insatsrör är att tätningsresultatet inte blir beroende av de befintliga kanalernas täthet.

De brandtekniska kraven går oftast att tillfredsställa eftersom insatsrör i detta fall är typgodkända för en viss brandteknisk klass.

Med insatsrör kan rensningsbehovet öka därför att dessa p g a klenare dimensioner och räffling sätter igen snabbare än befintliga kanaler. För att undvika onödiga skador orsakade av rensningen bör kanalernas utformning alltid anpassas till rensningsförfarandet.

Beständigheten bedöms som god.

I figur 5.9 redovisas uppskattade kostnader för metoden.



Figur 5.9 Uppskattade kostnader exklusive moms för installation av böjbart insatsrör av aluminium

5.2.2 Murning av sprickor

Att täta sprickor genom att mura utifrån ger ofta dåligt resultat. Om sprickan är mycket bred kan en förbättring erhållas men det är ofta mycket svårt att få sprickorna helt täta med denna metod. Bättre resultat erhålls om sprickan lagas inifrån vilket i de flesta fall är svårt. Denna metod är endast lämplig som komplettering till vissa andra tätningsmetoder.

Man kan ej garantera att kanalen blir tät med denna metod.

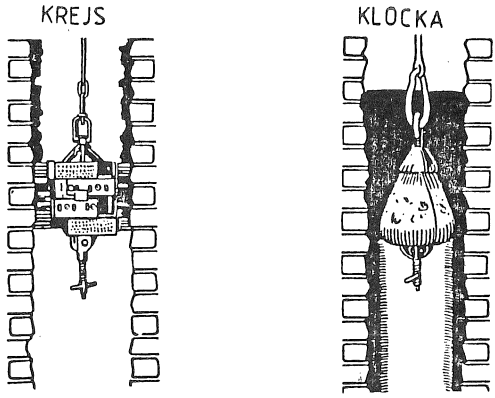
Brandbelastningen förblir oförändrad.

Rensbarheten påverkas ej.

Kostnaderna för metoden påverkas av många faktorer varför det är svårt att göra generella kostnadsuppskattningar.

5.2.3 Schädlermetoden

En metod för invändig tätning av murade och gjutna kanaler är den s k Schädlermetoden. Kanalen rengörs först noggrannt vilket sker med ett speciellt lösningsmedel och en styv krejs. Efter rengöringen läggs sedan det patenterade specialbruket på en något fuktig kanalyta. För att få bruket inpressat i fogar och sprickor används en s k klocka, vars storlek kan anpassas efter kanalens area. Klockan fastkopplas vid kanalens nedre del i en lina och dras långsamt uppåt samtidigt som bruket hälls på uppifrån. Denna dragning med bruk upprepas flera gånger tills man får önskad tjocklek på beläggningen.



Figur 5.10 Rengöring av murad kanal tv och tätning enligt Schädlermetoden th. (Nordström E, 1958)

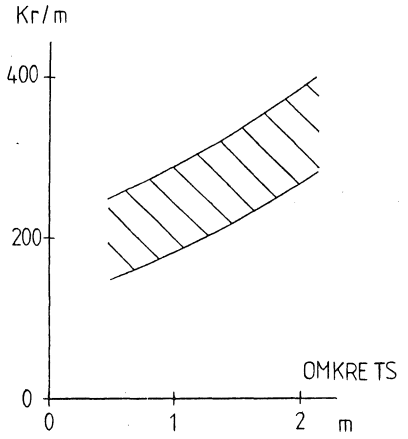
Försök har gjorts med att spruta på massan. Resultatet har dock varit dåligt.

Massan tätar även mellan stål och tegel och tar upp rörelserna mellan materialen väl.

Metoden är avsedd för murade imkanaler från kök, rökkanaler från kakelugnar och öppna spisar m m. Man kan även täta sopnedkast och asbestcementkanaler m fl.

Kanalerna får enligt generalagenten en täthet som väl svarar mot täthetsklass A. Tätningsmassan är icke brännbar. Kanalernas rensbarhet kommer inte att påverkas av denna metod. Beständigheten bedöms här som god. På denna typ av tätning lämnas 5-10 års garanti.

Kostnaderna för denna metod ligger för t ex imkanaler normalt i storleksordningen 150-200 kr/m totalt. I besvärligare fall kan kostnaden ligga på upp till 300 kr/m eller ännu mer. Metoden är typgodkänd av Statens Planverk.



Figur 5.11 Uppskattade kostnader för tätning med Schädlermetoden

5.2.4 Invändig sprutning med asfaltgummimassa

En metod där man invändigt sprutar murade kanaler med asfaltgummimassa har använts vid ombyggnad. Metoden är dock mycket ovanlig.

Sprututrustningen består av en högtryckspump för matning av sprutmassa samt en tryckluftskompressor och ett specialmunstycke. Massan pumpas fram till munstycket och med hjälp av spår i munstycket sättes detta i rotation. Tryckluften sönderdelar massan som via den radiella spalten på munstycket sprids 360°.

Munstycket sänks till botten av kanalen och dras upp ca 10 cm innan sprutningen påbörjas. Munstycket förs sedan uppåt med en hastighet av ca 1 m/min, medelskikttjockleken blir 1-3 mm.

Mynningarna upptill och nedtill handmålas med massa.

Massan som användes i de här beskrivna försöken är av typ Foster 82-08 ytmassa, som är en vattenbaserad asfaltgummiemulsion. Massan är svart och stelnar långsamt. För att förhindra torkning vid spalten på munstycket tillsätts en liten mängd glykol. Under torkningen avger massan lukt men är sedan helt luktfri.

Denna metod är installationstekniskt mera komplicerad än exempelvis metoden med insatsrör. Här krävs dessutom mycket utrustning. Kanalerna måste också före behandlingen rensas noggrannt.

I de tillämpningar som metoden hittills använts har inte någon väsentlig förbättring av kanalernas täthet erhållits. Resultatet av sprutbehandling vid en större mycket otät anläggning blev att tätheten ökade med ca 5-15 %.

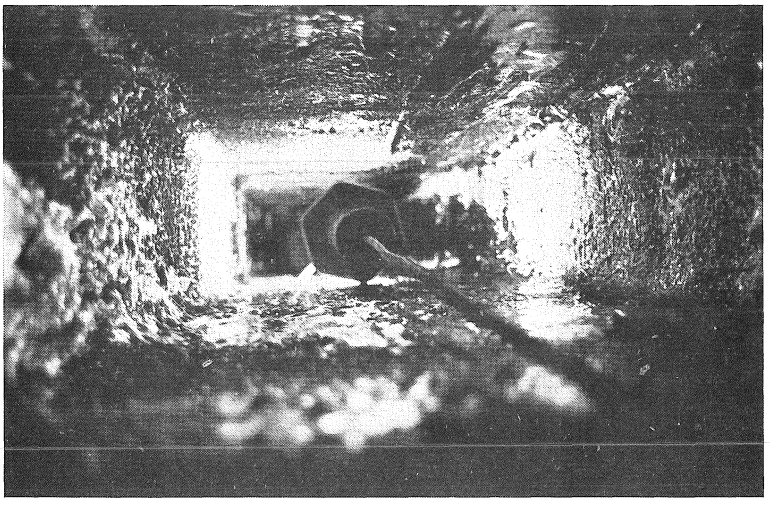
När det gäller de brandtekniska kraven finns inget centralt godkännande beträffande avsteg från obrännbarhetskravet varför dis-

pens måste sökas i varje enskilt fall.

Man kan räkna med att rensbarheten förblir oförändrad.

Problem med korrosion, mögel, röta, nedbrytning, anses små.

Idag torde kostnaden för denna metod vara ca 400-500 kr/m kanal.



Figur 5.12 Invändig sprutning med asfaltgummimassa

6 FÖRSLAG TILL NYA TÄTNINGSMETODER

Som framgår av föregående kapitel finns idag ingen tätningsmetod som kan tillämpas generellt. Inom projektet har därför utarbetats några förslag till kompletterande tätningsmetoder vilka presenteras nedan.

6.1 Tätning med rök, pulver eller fibrer

Det har vid laboratorieprov (Wallin O, 1979) visat sig att plåtkanalers täthet ökar om man kokar av fett i kanaler eftersom fettet kondenserar i otätheterna. Denna metod skulle kunna vidareutvecklas om man hittar för ändamålet lämpliga ämnen. Metoden bedöms vara lämplig för t ex murade kanaler där man genom att höja trycket i kanalen åstadkommer att det förångade tätningsmedlet t ex asfalt pressas ut i otätheterna.

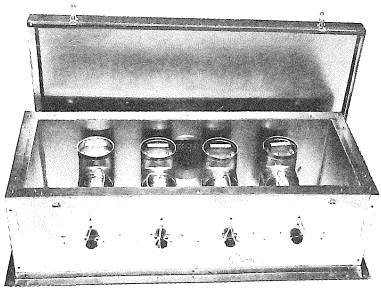
En något enklare teknisk lösning kan vara inblåsning av ett tätningsmedel i pulverform i kanalsystemet. Pulvret alstrar rök som genom övertryck pressas ut i kanalernas otätheter och klibbar fast där. En av fördelarna med en sådan metod är bl a att den blir självreglerande d v s efter hand som de små otätheterna fylls igen styrs luftströmmen med tätningsmedlet mot de större otätheterna. Det krävs ej heller åtkomlighet hos kanalerna i den utsträckning som t ex vid utvändiga tätningar typ krympband eller kitt och befintlig kanalisolering behöver ej demonteras. Metoden ställer däremot speciella krav på tätningsmedlet som exempelvis kan vara någon typ av epoxiplast med härdare.

En annan variant är att använda tätningsmaterial i form av fibrer som kan bringas att fastna i kanalernas otätheter.

6.2 Injusteringslåda

När det gäller frånluftssystem av självdragstyp, som skall förses med fläkt, finns en möjlighet att kringgå problemet med otäta kanaler. Genom att installera centralt placerade strypspjäll i kanalerna t ex på vinden, i stället för konventionella kontrollventiler i lägenheterna som idag, kan kanaltrycken hållas kvar på samma låga nivå som vid självdragssystem. Därigenom medför fläktinstallationen ingen ökad luftläckning i stigarkanalerna och befintliga frånluftsdon i lägenheterna kan behållas. Strypspjällen placeras lämpligen i speciella prefabricerade injusteringslådor. Sådana finns idag på marknaden. Vad som här krävs är en produktanpassning av injusteringslådorna till ombyggnadshusens kanalsystem samt komplettering med forceringsfunktion för tidvis ökade luftflöden från kök och badrum.

I figur 6.1 visas en injusteringslåda för nyproducerade ventilationssystem utan forceringsfunktion.

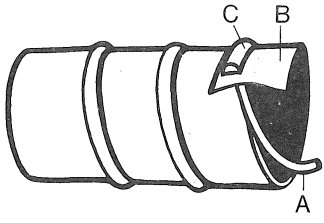


Figur 6.1 Konventionell injusteringslåda avsedd för nyproduktion (fabrikat Stifab)

6.3 Spiralförstärkta slangar

Flexibla insatsrör finns förutom av metall i material som glasfiberväv eller terylenväv impregnerad med neopren eller silikon. Vävmaterialet sys över en stålspiral.

Dessa spiralförstärkta slangar används för utsugning av rök, gaser, ångor, damm, utsugning från slip- och putsmaskiner, transport av varmluft, lätta material etc. Genom sin stora böjlighet borde dessa kunna vara lämpliga att använda som t ex insatsrör där metallrören är för stela.



Figur 6.2 Spiralförstärkt slang (R.E. Christenson AB):

A	Spiral:	galvaniserat fjäderstål (helinbäddad)
B	Täckbeklädnad:	glasfiberväv belagd på båda sidor med kloropren
C	Plastskoning:	polyetenplast

Slangarna kan böjas i alla riktningar även i skarpa böjar upp till 180°C utan att förlora formen. Detta innebär att de lätt kan dras fram i trånga och krokiga passager. De är dock olämpliga att använda vid påstick eftersom schaktväggen måste tas upp ordentligt så att man kan montera anslutande kanal.

Genom sin låga vikt är slangarna mycket lätthanterliga.

Slangarna är hoptryckbara, en slang på 7,5 m kan tryckas ihop till en meter.

De spiralförstärkta slangarna levereras med manschetter eller kopplingsringar i ändarna samt upphängningsringar för snabb och enkel montering. Slangarna ansluts med manschetter till plåtrör eller stosar. Kopplingsringar används när flera slangar skall kopplas samman.

Denna typ av slangar är av lågtryckstyp men kan användas för tryckdifferenser upp till 850 mm vp.

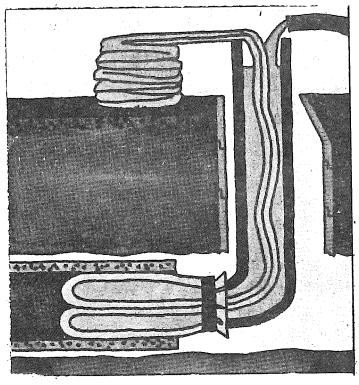
Vissa typer är flamsäkra och det finns slangar som tål temperaturer upp till +300°C. Slangarna är dock inte godkända av Statens Planverk som ventilationskanaler i byggnader. För att slangarna skall bli godkända som ventilationskanaler krävs att de kan göras brandsäkra.

6.4 Invändig tätning med flexibelt foder

En ny tätningsmetod för avloppsledningar finns idag på marknaden. Den bygger på att man med vattentryck applicerar ett foder i det skadade avloppsröret.

Principen bör provas även för ventilationskanaler som är svåråtkomliga för dagens tätningsmetoder.

För att denna typ av tätning skall kunna användas krävs att materialet är svårantändligt.



Figur 6.3 Tätning av avloppsrör med flexibelt foder (BPA Byggproduktion AB)

7 PROJEKTERINGSANVISNINGAR FÖR TÄTNING AV KANALER I BYGGNADER

7.1 Allmänt

Tätning av befintliga ventilationskanaler i byggnader kan bli aktuell i följande fall:

- Då ett befintligt självdragssystem byggs om för fläktventilation. Tryckdifferenserna över kanalväggarna blir då avsevärt större vilket medför att otätheterna ger större läckning.

- Otätheter i befintliga fläktventilationssystem kan omöjliggöra en acceptabel luftfördelning i byggnaden.

- Otätheter i befintliga fläkventilationskanaler medför att uteluft ofrivilligt tillförs byggnaden och uppvärms. Detta kan vara oacceptabelt av energihushållningsskäl.

Indikationer på att en ventilationsanläggning är otät kan vara:

- Försmutsning runt ventilationskanaler

- Svårigheter att erhålla rätt luftflöde i donen

- Blåsljud från otätheter

- Klagomål på dålig ventilation, lukt m m.

Vid Statens Institut för Byggnadsforskning i Gävle har man genomfört provningar beträffande ventilationskanalers täthet. Tabell 7.1 visar resultat från dessa undersökningar. Där framgår hur många gånger större läckning olika typer av kanaler har i förhållande till motsvarande kanalsystem utfört enligt täthetsklass A.

Tabell 7.1 Läckning i befintliga ventilationskanaler relaterat till täthetsklass A (Eriksson BE, Olsson S, 1962) (Eriksson BE, 1969)

Kanaler av murade betongblock:	ca 3-10 ggr	klass A
Kanaler av gjuten betong:	ca 1 ggr	klass A
Kanaler av murad lättbetong:	ca 10-25 ggr	klass A
Kanaler av murad tegel:	ca 10-15 ggr	klass A
Kanaler av asbestcement:	ca 10-15 ggr	klass A
Plåtkanaler (före 1962):	ca 2-10 ggr	klass A
Cirkulära plåtkanaler (1969):	ca 0,25-2 ggr	klass A
Rektangulära plåtkanaler (1969):	ca 0,5-3 ggr	klass A

Erfarenhetsmässigt vet man att läckningen i kanaler av lättbetong med utvändig puts endast är ca en femtedel av läckningen i motsvarande oputsade kanal.

Av tabellen framgår att murade oputsade lättbetongkanaler, murade tegelkanaler samt kanaler av asbestcement är de som har den sämsta tätheten. Det är således i första hand sådana kanaler som måste åtgärdas. Men även andra kanaltyper kan till följd av dåligt montage, sprickbildningar, åldring, åverkan m m ha otätheter som motiverar åtgärder.

Ett alternativ till tätning vid ombyggnad av självdragssystem till F-system är att använda s k stryplåda på vinden. Denna reducerar de höga kanaltrycken till samma nivå som vid självdrag. Stryplådor för detta ändamål finns ej idag men inom en snar framtid förväntas de komma ut på marknaden.

7.2 Undersökning av otätheternas storlek och läge

Innan man vidtar några tätningsåtgärder måste man undersöka hur stor läckningen är och var otätheterna finns. Detta sker genom täthetsprovning respektive okulärbesiktning eventuellt med hjälp av rök.

7.2.1 Täthetsprovning

Genom att täthetsprova delar av kanalsystemet kan man kartlägga läckningens omfattning.

Godtagna metoder för täthetsprovning redovisas i SIB:s informationsblad B4:1977 "Metoder för mätning av luftflöden i ventilationsinstallationer". Där uppges att mätning av läckluftflödet skall ske vid ett tryck av 400 Pa. Det uppmätta läckluftflödet (m^3/s) divideras med kanalernas omslutningsarea (m^2) varvid de s k läckningskoefficienten ($m^3/m^3,s$) erhålls. Mätning bör ske på kanaldel med minsta omslutningsarea av 10 m^2. Största omslutningsarea bör inte överstiga 100 m^2 vid täthetsklass A och 300 m^2 vid täthetsklass B.

Vid täthetsprovning av äldre kanaler, där man kan befara stor läckning, bör man begränsa den omslutande innerkanalarean vid provningarna till under ovan angivna värden såvida man inte har en läckflödesmätare med speciellt stor kapacitet. Detta medför att provningen blir mer tidskrävande men man får samtidigt en bättre kartläggning av lokala läckor genom uppdelningen av systemet i mindre delar.

7.2.2 Okulärbesiktning

Genom okulärbesiktning av ventilationskanalerna, som kan ske antingen utifrån eller inifrån, kan man upptäcka större otätheter som uppkommit genom skador, byggfel m m. Som regel är det dock svårt att göra en grundlig okulärbesiktning eftersom kanalerna ofta är dolda och isolerade.

Om provtryckningen indikerar att vissa kanaldelar är otätare än andra bör dessa kontrolleras extra noga. Det kan kräva visst rivningsarbete för att blottlägga misstänkta kanalsträckor. Kostnaderna för detta är dock motiverade om man på så sätt kommer åt stora otätheter vilka enkelt kan tätas i stället för att genomföra en kostnadskrävande tätning av hela ventilationssystemet.

7.2.2.1 Utvändig okulärbesiktning

Vid besiktning utifrån kontrolleras särskilt skarvar, anslutningar till don, apparatrum m m. Vid skarvar i plåtkanaler förekommer att packningen lossnat gejder saknas och att ventilationstejp har lossnat och fallit bort. Vid anslutningar till don kan konstateras glipor på upp till någon centimeter. Genom att kontrollera några don som kan ha varit särskilt svåra att montera får man en uppfattning om hur anslutningarna ser ut i anläggningen. I murade kanaler kan sprickor till följd av sättningar, sprängningsarbeten m m lokaliseras främst genom att försmutsning normalt uppstår vid otätheterna. I fläktventilationssystem kan läckor lokaliseras genom att de orsakar blåsljud.

Vid utvändig besiktning kan det vara lämpligt att, i den mån det är möjligt, föra in en lampa i kanalen för att upptäcka otätheter genom att iaktta utläckande ljus. Man kan också i samband med provtryckningen tillföra rök i kanalsystemet och okulärt konstatera var otätheterna finns.

Det enklaste hjälpmedlet vid utvändig besiktning är rökampuller i en plastflaska. Genom att "puffa" ut rök mot kanalväggarna kan man lätt konstatera på rökslingorna om lokala otätheter finns.

7.2.2.2 Invändig okulärbesiktning

Den enklaste formen av invändig okulärbesiktning tillgår så att man eventuellt med hjälp av spegelarrangemang (periskop, endoskop, spegelljussond) tittar in i kanalerna och ser om ljus läcker in.

Om det är aktuellt att täta murade eller gjutna kanaler måste man först kontrollera hur dessa ser ut invändigt. Utstickande stenar måste lokaliseras och eventuellt tas bort före tätning. Genom att lysa in i kanalerna kan man direkt eller med hjälp av speglar konstatera den invändiga konditionen. Läckning mellan murade kanaler är vanligt. Hela tegelstenar kan ha fallit bort. Detta kan undersökas genom att man för in en lampa i den ena kanalen och kontrollerar ljusläckning in i den andra kanalen.

Mer avancerade metoder för invändig okulärbesiktning kan ibland vara motiverade. Exempel är fotografering med hjälp av kameror som förs in i kanalerna. Nya metoder bör kunna utvecklas varvid exempelvis fiberoptik kan användas.

7.3 Val av tätningsmetod

Genom täthetsprovningen och okulärbesiktningen har man fått en uppfattning om ventilationssystemets status. Om man bedömer att tätning erfordras gäller det att välja den metod som är lämpligast för den aktuella anläggningen. Det är främst kanaltyp, åtkomlighet, krav på beständighet och kostnader som avgör valet av tätningsmetod.

I det följande redovisas de metoder som för närvarande används vid tätning av ventilationskanaler. Utvecklingsarbete pågår inom området varför nya metoder kan förväntas inom några år.

7.3.1 Tätning av plåtkanaler

Plåtkanaler läcker främst i tvärskarvarna mellan kanalsträckorna, varvid skarvar mellan rektangulära kanaler normalt är otätare än motsvarande skarvar mellan cirkulära kanaler. Längsskarvarna är normalt tätare än tvärskarvarna. De spiralfalsade kanalerna har obetydlig läckning i längsskarvarna om de behandlats varsamt vid transporten och på byggplatsen.

Plåtkanaler kan tätas med ventilationskitt, ventilationstape, krympbara skarvband och med pyroteknisk tätningsskarv.

7.3.1.1 Tätning med ventilationskitt

Metoden är lämplig för tätning av rektangulära plåtkanalers tvärskarvar men kan även användas att täta cirkulära plåtkanalers tvärskarvar. Om arbetet utförs riktigt erhålls en skarv med godtagbar täthet.

Feta ångor från matlagning m m kan orsaka att kittets vidhäftningsförmåga minskar.

Tätning med kitt kan ske både från kanalens utsida och insida. Vid tätning från insidan måste tas hål upp i kanalen. Genom att täta inifrån kommer man åt att täta rektangulära kanaler som ligger mot tak eller vägg, som är oåtkomliga för tätning utifrån.

Längsskarvar i rektangulära plåtkanaler kan målas utifrån med tätningsmassa. Metoden är dock ovanlig och man vet idag inte tillräckligt om dess egenskaper.

7.3.1.2 Tätning med ventilationstape

Ventilationstape uppfyller inte de krav på beständighet som man kan kräva. Vid provisoriska lagningar på enstaka lättåtkomliga ställen kan man rekommendera metoden. Som tätningsmetod på svåråtkomliga ställen, där kostnader för kringarbeten t ex arbeten med undertak m m svarar för en stor del av tätningskostnaderna, är metoden däremot olämplig.

7.3.1.3 Tätning med krympbara skarvband

Tätning med krympbara skarvband är lämpligt vid cirkulära plåtkanaler. Metoden ger god täthet i skarvarna. Eftersom skarvbanden tål feta ångor från matlagning kan även frånluftskanaler från kök o d tätas.

Normalt används öppen låga vid monteringen men vid brandfara bör istället varmluftsfläkt användas. Kanalerna kan inte demonteras utan att tätningen förstörs.

7.3.1.4 Tätning med pyroteknisk tätningsskarv

Den pyrotekniska tätningsskarven består av en gejd som innehåller tätningsmassa och en värmesats. Den befintliga gejden byts ut mot den pyrotekniska gejden. Tätning sker genom att värmesatsen

antänds. Härmed expanderar tätningsmassan.

Pyrotekniska tätningsskarvar kan endast användas för att täta rektangulära plåtkanaler. För att metoden skall vara enkel att tillämpa bör kanalerna ha gejdskarvar med enkla falsar. Man kan då ta bort befintliga gejder och ersätta dessa med pyrotekniska gejder.

Vid andra typer av skarvar eller falsar måste dessa tas bort varefter kanalerna förses med enkla falsar vilket kan göra arbetet mer kostsamt.

Metoden kräver relativt god plats mellan kanalen och taket eftersom gejden är ca 18 mm hög.

Ett annat problem är att man måste använda öppen låga för att tända värmesatsen och aktivera tätningen. Vid risk för brandfara kan man således inte använda denna metod. Kanalerna kan inte demonteras utan att skarvarna förstörs.

7.3.2 Tätning av murade och gjutna kanaler

Murade och gjutna kanaler läcker främst i sprickor orsakade av sättningar, sprängningsarbeten m m. I murade tegelstenskanaler förekommer det att tegelstenar har fallit bort varvid stora läckage uppstått mellan kanaler i samma schakt och mellan kanal och omgivande lokaler.

Två metoder används allmänt idag för tätning av murade och gjutna kanaler, tätning med flexibla insatsrör och den s k Schädlermetoden. Man har även vid ombyggnad försökt spruta murverkskanaler invändigt med asfaltgummimassa utan större framgång. Dessutom förekommer att man lagar sprickor genom ilagning med murbruk. Detta ger också normalt dåligt resultat.

7.3.2.1 Tätning med insatsrör

Lämpliga användningsområden är tätning av murade kanaler i samband med ombyggnad av självdragssystem till system med fläkt. Normalt används insatsrör av aluminium. För att metoden skall vara enkel att tillämpa bör kanalerna vara någorlunda raka. Om skarpa sidodragningar m m förekommer krävs att man tar hål i den murade kanalen för montering av böjar m m. Motsvarande gäller för avgreningar och påstick.

Vid dragning av insatsrör i vertikala renspliktiga kanaler bör dessa utföras med de nedre böjarna i stålplåt. Annars kan insatsröret skadas vid rensning.

Aluminiumkanaler med invändiga räfflor är känsliga för igensättning.

Insatsrör kan fixeras i den befintliga kanalen genom att utrymmet mellan kanalväggarna fylls ut med Leca-kulor. Detta kan vara nödvändigt vid långa kanaler eftersom insatsrören kan komma att röra sig och slå mot väggarna.

7.3.2.2 Tätning med Schädlermetoden

Schäldermetoden är ett alternativ till tätning med insatsrör och kan användas vid ombyggnad av självdragssystem till mekanisk ventilation. Metoden, som i princip innebär att ett specialbruk läggs på kanalens insida, är användbar för murverkskanaler och asbestcementkanaler. I kanaler där rensningsbehovet är stort kan denna metod vara att föredra framför insatsrör men den används sällan för ventilationskanaler då kostnaderna normalt är höga.

7.3.3 Översikt över tätningsmetoder

Tabellen 7.2 - 7.4 innehåller en översikt över de ovan behandlade tätningsmetoderna där dess specifika egenskaper framgår. Underlaget för tabelluppgifterna har erhållits från fabrikanter, skorstensfejarmästare m m.

De kostnadsuppgifter som anges omfattar för plåtkanaler endast själva tätningsarbetet på kanalerna utan kringkostnader (demontering av undertak och belysningsarmaturer m m) samt materialkostnader. Beträffande murverkskanaler anges totala kostnader. I samtliga fall gäller kanalomkretsen ca 1 m.

Tabell 7.2 Översikt över tätningsmetoder för plåtkanaler

	Tätning med ventilationskitt	Tätning med ventilationstape
Användningsområde		
Cirkulära kanaler	används idag	används idag
Rektangulära	används idag	används idag
Egenskaper		
Täthet	tät skarv	tät skarv
Brandbelastning	ökar obetydligt	ökar obetydligt
Rensningsbehov	oförändrat	oförändrat
Rensbarhet	påverkas ej	påverkas ej
Beständighet	god	mindre god
Kostnader	30-50 kr/skarv	10 kr/skarv

Tabell 7.2 Översikt över tätningsmetoder för plåtkanaler (forts)

	Tätning med krympbara skarvband	Tätning med pyroteknisk skarvtätning
Användningsområde		
Cirkulära	används idag	-
Rektangulära	-	används idag
Egenskaper		
Täthet	tät skarv	tät skarv
Brandbelastning	ökar obetydligt	ökar obetydligt
Rensningsbehov	oförändrat	oförändrat
Rensbarhet	påverkas ej	påverkas ej
Beständighet	god	god
Kostnader	30-50 kr/skarv	70-80 kr/skarv

Tabell 7.3 Översikt över tätningsmetoder för murverkskanaler

	Tätning med insatsrör	Tätning med Schädlermetoden
Användningsområde		
Murverkskanaler	används idag	används idag
Asbestcement-kanaler	används idag	används idag
Egenskaper		
Täthet	god	god
Brandbelastning	ökar obetydligt	oförändrat
Rensningsbehov	ökar	oförändrat
Rensbarhet	försämras något	påverkas obetydligt
Beständighet	god	god
Kostnader	70-80 kr/m	150-300 kr/m

7.4 Bedömning av energibesparing vid tätning

Tätning av ventilationskanaler medför normalt energibesparing oavsett om detta varit den primära anledningen till tätningen eller inte. I bilaga 3 redovisas beräkningsmetoder för att bestämma hur stor besparingen blir i olika fall.

I nedanstående tabeller redovisas som exempel en sammanställning av energiförbrukningen för läckluften i olika FT-, FTX- och F-system.

Tabellerna är i första hand avsedda för att göra grova uppskattningar av energiförbrukningen för läckluftflödet utan att behöva provtrycka ventilationssystemet eller göra en noggrann okulärbesiktning.

Som framgår av tabellerna kan läckningen och därmed energiförbrukningen för en given kanaltyp variera inom ett stort intervall. Det kan därför vara svårt att avgöra hur stor läckningen är i det aktuella ventilationssystemet med hjälp av tabellerna men man ser dock vissa tendenser. De ger en uppfattning om hur viktigt det är att i olika fall undersöka tätningsbehovet närmare. Energisparpotentialen får jämföras med beräknade besparingar genom andra energisparåtgärder. Man behöver då kännedom om totala kanalareorna, aktuella tryckdifferenserna samt möjligheter att utföra eventuella tätningsåtgärder. Om man t ex har ett kanalsystem som på grund av förläggningssättet är svåråtkomligt år sannolikt tätning en energisparåtgärd av låg prioritet även om energiförbrukningen på grund av läckningen är stor enligt tabellerna. Detta gäller speciellt om den totala inre anslutningsytan är måttlig.

Tabell 7.4 Energiförbrukning kWh/m^2 kanalinnerarea och år vid läckning i FT-system. Årsmedeltemperatur +6°C. Drifttid 09-21 hela året

	Kanaltryck 200 Pa	400 Pa	600 Pa
Plåtkanaler (före 1962)	116-580	182-910	236-1180
Cirkulära plåtkanaler (1969)	15-116	23-182	30-236
Rektangulära plåtkanaler (1969)	29-174	46-273	59-354
Kanaler med täthetsklass A	58	91	118
Kanaler med täthetsklass B	19	30	39

Tabell 7.5 Energiförbrukning kWh/m^2 kanalinnerarea vid läckning i FTX-system. Årsmedeltemperatur +6°C. Drifttid 09-21 hela året. Värmeåtervinningens verkningsgrad är 60 %

	Kanaltryck 200 Pa	400 Pa	600 Pa
Plåtkanaler (före 1962)	46-230	72-360	94-470
Cirkulära plåtkanaler (1969)	6-46	9-72	12-94
Rektangulära plåtkanaler (1969)	12-69	18-108	24-141
Kanaler med täthetsklass A	23	36	47
Kanaler med täthetsklass B	8	12	16

Energiförbrukningen hänförs till kanalinnerarean i det kanalsystem (F eller T) som har det största totala läckluftflödet. För att uppnå maximal energibesparing måste både tillufts- och frånluftssystemet tätas.

Tabell 7.6 Energiförbrukning kW/m^2 kanalinnerarea och år p g a läckning i F-system. Årsmedeltemperatur +6°C. Kontinuerlig drift hela året.

	Kanaltryck 50 Pa	100 Pa	150 Pa
Kanaler av murade betongblock	150-500	237-790	309-1030
Kanaler av gjuten betong	50	79	103
Kanaler av murad lättbetong	500-1000	790-1580	1030-2060
Kanaler av murad tegel	500-750	790-1185	1030-1545
Kanaler av asbestcement	500-750	790-1185	1030-1545
Kanaler med täthetsklass A	50	79	103
Kanaler med täthetsklass B	17	26	34

8 FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE

8.1 Tätning med pulver, rök eller fibrer

Denna tätningsmetod har provats inom projektet och resultaten redovisas i Bilaga 1.

Metoden bedöms kunna tillämpas för alla typer av kanaler. Det fortsatta utvecklingsarbetet bör inriktas på att ta fram lämpliga tätningsmaterial för kommersiell tillämpning. Tätningsmaterialet skall bl a ha nedanstående egenskaper:

Förutom krav på transportbarhet och vidhäftning i otätheter krävs att materialet ej är hälsofarligt eller avger lukt. Byggnormens krav på täthet, brand, beständighet och rensbarhet måste också uppfyllas.

I ventilationssystem av plåt sker normalt en viss rörelse orsakad av t ex temperaturutvidgning. Detta kräver att tätningsmaterialet bör kunna ta upp denna rörelse varför även viss elasticitet krävs.

Tätningsmetoden bör utformas så att spridning utanför kanalsystemet förhindras. Önskvärt är att kanalerna inte behöver rengöras före tätning.

8.2 Injusteringslådor

Prefabricerade injusteringslådor finns idag på marknaden. Vad som här krävs är en produktanpassning av injusteringslådorna till ombyggnadshusens kanalsystem samt en komplettering med forceringsfunktion för tidvis ökade luftflöden från kök och badrum.

8.3 Tätning genom målning

Genom att måla äldre plåtkanalers längdskarvar med tätningsmassa erhålls en tätare skarv. Man vet idag inte hur täta skarvarna blir efter målning eller hur beständig denna metod är. Metoden bör provas på en anläggning med äldre rektangulära kanaler där längsskarvarna normalt är otäta.

8.4 Prov på anläggningar

En praktiskt uppföljning av olika tätningsmetoder bör ske för att kartlägga vilka funktionsförbättringar m m som kan erhållas vid tätning av ventilationskanalerna samt möjlig energibesparing.

8.5 Metoder och instrument för okulärbesiktning av befintliga kanaler

Rationella metoder för besiktning av befintliga ventilationskanaler i byggnader bör utvecklas baserade på moderna tekniska hjälpmedel såsom TV-kameror, fiberoptik m m.

8.6 Spiralförstärkta slangar

Spiralförstärkta slangar är på grund av sin stora böjlighet lämpliga som insatsrör i befintliga kanaler där insatsrör av metall är för stela. Fortsatt utvecklingsarbete krävs för att få fram brandsäkra material.

8.7 Tätning av fläktar m fl komponenter

Tätningsbehovet beträffande fläktar, tilluftsaggregat, samlingslådor m fl komponenter bör undersökas genom fältprov. Vidare bör nya tätningsmetoder för sådana komponenter utvecklas och provas.

8.8 Invändig tätning med flexibelt foder

Det bör undersökas om den i kap 6.4 beskrivna tätningsmetoden även kan utvecklas för att passa ventilationskanaler. Detta innebär att man använder luft istället för vatten.

Om denna typ av tätning skall kunna godkännas av Planverket krävs att materialet är svårantändligt. För att utröna om ett material är svårantändligt utförs provning enligt SIS 65 00 82, då materialets tjocklek är mindre än 3 mm och enligt SIS 02 48 21, då materialet är tjockare än 3 mm.

8.9 Läckflödesmätare med stor kapacitet

För att möjliggöra effektiv provning av mycket otäta kanalsystem behövs läckflödesmätare med större kapacitet än vad dagens läckflödesmätare har.

9 TÄTNING AV RÖKKANALER

Tätningsbehovet för rökkanaler är idag svårt att överblicka på grund av att motsvarande dokumenterade mätresultat som finns för ventilationskanaler praktiskt taget saknas här. Det är därför angeläget att fältmätningar görs i form av tryckprovningar.

Tätning av otäta murade rökkanaler kan ske med Schädlermetoden. Man kan också använda stela stålrör som insatsrör. En ny metod, Duct Tube, där man applicerar ett specialbruk med hjälp av en uppblåsbar gummislang är under utveckling. En teknisk utvärdering av metoderna bör utföras.

För s k flerskiktselementskorstenar har konstaterats att sprickor kan uppkomma i manteldelen vid höga temperaturer Några reparationsmetoder finns ej idag, varför ytterligare utvecklingsarbete krävs.

10 LITTERATUR

Allhammar G, Keife J, Udd B, 1981, Funktionskontroll av ventilationsanläggningar (Rapporten finns hos Arbetarskyddsstyrelsen för tryckning) Stockholm 1981.

Andersson G, Jansson I, 1965, Murad skorsten för småhus. (Statens institut för byggnadsforskning) SfB (56), Blad 1965:13 2 sid. Uppsala.

Berndtsson L, Grandstrand L, Gunnarsson L, Lindgren S 1980, Installationer i flerbostadshus byggda 1930-1955. (Statens råd för byggnadsforskning) Rapport R59:1980, 113 sid. Stockholm.

Borgstrøm A W 1970, Byggandet, skorstenen och oljeeldningen (AB Svenska ISO-KAERN) Särtryck ur Skorstensfejarmestaren, 1970 nr 1, 7 sid.

Börjesson L-G, 1981, Provtryckning av samlingskanaler för öppna spisar, Kevingeringen 15-19 (Skorstensfejarmästare Lars-Gunnar Börjesson, Täby sotningsdistrikt).

Erikson BE, Olsson S, 1962, Ventilationskanalers täthet. (Statens institut för byggnadsforskning) Byggforskningens informationsblad, Blad 1962:7, 4 sid.

Erikson BE, 1969, Läckage i ventilationskanaler av plåt. (Statens råd för byggnadsforskning) Rapport 40:1969, 47 sid. Stockholm.

Erikson BE, Boman CA, Nyblom L, Swedjemark, 1980, Radon i våra bostäder (Statens institut för byggnadsforskning) Meddelande M80:12, 89 sid. Gävle.

Erikson BE, 1962, Bostadsventilation. Fältundersökning av bostadsventilationens funktion och ventilationskanalers täthet. (Statens råd för byggnadsforskning) 1962, Rapport 77, 21 sid. Stockholm.

Gilberg J, 1978, The Consequenses of Air Leakage from Ducts on Operating Economy. (The Australian Refrigeration, Air Conditioning and Heating), Maj 1979, sid 45-51.

Hammarsten S, Erikson BE, 1979, Undersökning av husbeståndet från energisynpunkt. (Statens institut för byggnadsforskning). Meddelande/bullentin M79:20, 16 sid. Gävle.

Hemzal K, 1981, Air Leakage from Rectangular Ventilation Ducts. (Inst. för Uppvärmnings- och Ventilationsteknik, KTH) Tekniskt meddelande nr 208, 1981:4 sid 33-45, Stockholm.

Hemzal K, 1982, Contribution to Calculation of Untightness in Ventilation Ducts. (Inst. för Uppvärmnings- och Ventilationsteknik, KTH). Tekniskt meddelande nr 227, 1982:1, sid 29-40, Stockholm.

Höij H, 1982, Leakage of Ventilation Ducts. (Inst. för Uppvärmnings- och Ventilationsteknik, KTH). Tekniskt meddelande nr 229, 1982:1, sid 41-42, Stockholm.

Informationsdag i Karskrona den 21 mars 1980. (Sveriges Skorstensfejarmästares riksförbund) Stockholm 1980. 10 sid.

Isolering av skorsteiner i bestående bygg, 1960. (Norges byggforskningsinstitutt, Blindern) NBI (56).111 15 sid. Oslo.

Kronvall I, 1980, Airtightness - Measurements and Measurement Methods. (Statens råd för byggnadsforskning) Rapport D8:1980, 64 sid. Stockholm.

Nordström E, 1958, Invändig tätning av skorstenar. (Sveriges Skorstensfejarmästares Riksförbund). Svenske Skorstensfejaren 1958 N:o 9-10, 6 sid. Stockholm.

Norell T, 1962, Kondens i småhusets skorsten vid oljeeldning. (Statens institut för byggnadsforskning) SfB (56) Blad 1962:19 2 sid. Stockholm.

Nylund PO, 1981, Energisparande - huvudvärk för både byggare och installatörer, VVS 1981 nr 7/8, sid 33-35.

Olsson H, 1981, Fabriksmonterade tätningar på ventilationskanaler. (Hugo Theorells Ingenjörsbyrå AB) Byggnadskonst. 1981 nr 6-7, sid 42-44.

Peterson F, Värmeanläggningar, Kompendium 1:3. (Inst. för Uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH) Stockholm, 75 sid.

Peterson F, 1976, Kondensproblem i skorstenar 1976. Föredrag vid konferensen Skorstenen i fokus, Stockholm 1976, 8 sid.

Peterson F, 1979, Behövs en ändrad täthetsnorm för ventilationssystem? (Inst. för Uppvärmnings- och Ventilationsteknik, KTH), Tekniskt meddelande 164. 1979:4, sid 21-35. Stockholm.

Peterson F, Wallin O, 1979, Läckage vid apparater i ventilationssystem. (Inst. för Uppvärmnings- och Ventilationsteknik, KTH), Tekniskt meddelande 165, 1979:4, sid 36-44. Stockholm.

Rydberg J, 1965, Kompendium i uppvärmnings- och ventilationsteknik del 1 och del 2. (Tekniska Högskolans Studentkår) Stockholm 1965, 150 sid + 156 sid.

Wallin O, 1977, Avtätning av spiralfalsade ventilationskanaler vid täthetsprovning. (Inst. för Uppvärmnings- och Ventilationsteknik, KTH). Tekniskt meddelande 114, 1977:4,5, sid 5-14, Stockholm.

Wallin O, 1979, Täthetsförändringar hos ventilationskanaler. (Inst. för Uppvärmnings- och Ventilationsteknik, KTH). Tekniskt meddelande 139. 1979:1, 180 sid. Stockholm.

Ventilationskontroll 1967. (Sveriges Skorstensfejarmästares riksförbund). Särtryck ur Skorstensfejarmästaren nr 2 1967, 19 sid. Stockholm.

Åström E, 1972, Kondensproblem i rökkanaler och åtgärder. Särtryck ur Skorstensfejarmästaren 1972 nr 6, Stockholm, 7 sid.

TÄTNING AV VENTILATIONS-KANALER I BYGGNADER

PROVNING AV PULVERTÄTNING

INNEHÅLL

Inledning

Syfte

Krav på tätningsmetoden - begränsningar

Försöksutrustning

Mätmetoder och instrument

Provens genomförande

Utvärdering

Resultat

Inledning

Ett av de förslag till nya tätningsmetoder som utarbetats inom projektet är "pulvertätningsmetoden". Pulvertätning bygger på principen att tätningsmaterial i form av pulver eller fibrer blåses in med en fläkt i kanalsystemet. Genom det övertryck som uppstår i kanalerna kommer pulvret eller fibrerna att följa med läckluften in i otätheterna och förhoppningsvis fastna och täta till dessa. Eventuellt krävs att ett härdande ämne tillförs efteråt på samma sätt i form av fördelade vätskedroppar, vilket binder tätningsmaterialet permanent.

Pulvertätning finns inte på marknaden idag varför principen hittills varit oprövad.

Syfte

Syftet med arbetet har varit att genom enkla prov undersöka om det är möjligt att utnyttja någon form av pulvertätning i kanalsystem. Provningarna har ej avsett att ge en utvärdering av lämpliga tätningsmaterial och ev. härdare utan har endast varit en test av tätningsprincipen som sådan.

Krav på tätningsmetoden - begränsningar

För att det skall vara möjligt att täta kanaler med "pulvertätningsmetoden" krävs att:

- det är möjligt att transportera tätningsmedlet till läcknings-stället

- tätningsmedlet skall fastna i kanalernas otätheter

Möjligheterna till att transportera tätningsmedlet begränsas dels av luftens strömningshastighet i kanalerna, dels av tätningsmaterialets förmåga att hålla sig svävande.

Om täthetsmaterialet består av grova partiklar eller fibrer fastnar detta genom silverkan. Mindre partiklar kan bringas att fastna på grund av tröghetsverkan, vidröring, diffusion eller sedimentation. Tröghetsverkan och vidröring har störst inverkan vid grova partiklar medan diffusionen har störst inverkan vid små partiklar.

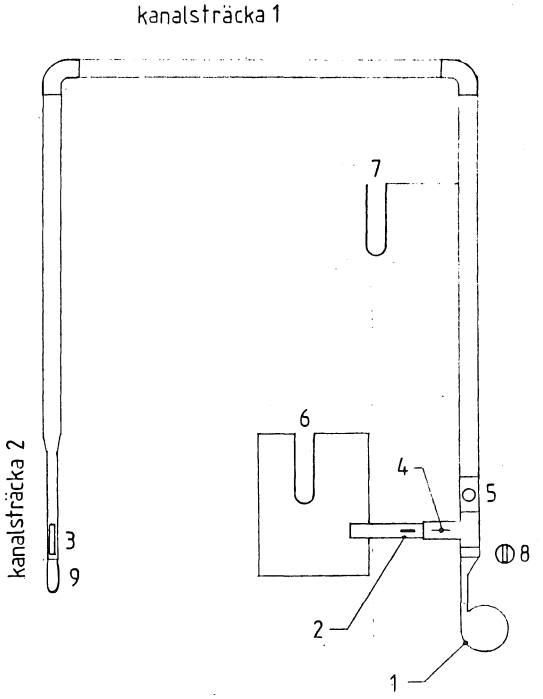
Försöksutrustning

Den provutrustning som användes vid provningarna av pulvertätningsmetoden omfattande en horisontellt förlagd kanalsträcka av spirorör, en verkstadsfläkt för inblåsning av tätningsmaterial, spjäll samt mätutrustning. Kanalsystemets huvuddimensioner framgår av tabell 1. Försöksutrustningen framgår schematiskt av figur 1.

Tabell 1 Kanalsystemets huvuddimensioner

	Kanalsträcka 1	Kanalsträcka 2
Längd (m)	11,2	1,3
Innerdiameter (mm)	200	160
Omslutande kanal-innerarea (m^2)	7,04	0,65
Läckspalternas samman-lagda längd (m)	7,53	1,51

För att erhålla ett otätt kanalsystem användes spiralfalsade kanaler med prefabricerade tätningar där gummitätningarna tagits bort. Läckspalternas bredd varierade mellan 0-3 mm.



Figur 1 Planskiss över försöksuppställningen

1. Verkstadsfläkt för inblåsning av pulver
2. ABBA Läckflödesmätare
3. Fönster
4. Spjäll
5. Lock för påfyllning av pulver
6. U-rörsmanometer för mätning av tryckfall över strypfläns
7. U-rörsmanometer för mätning av statiskt tryck i kanalsystemet
8. Lock för avtätning av kanalsystemet vid läckflödes-mätning
9. Dammsugarpåse

Mätmetoder och instrument

Mätningar skedde i enlighet med SIB:s informationsblad B4:1977 "Metoder för mätning av luftflöden i ventilationsinstallationer". Kanalsystemet uppfyller dock ej kraven på minsta omslutande kanalinnerarea av 10 m^2. Detta torde dock inte ha väsentlig betydelse för resultatet.

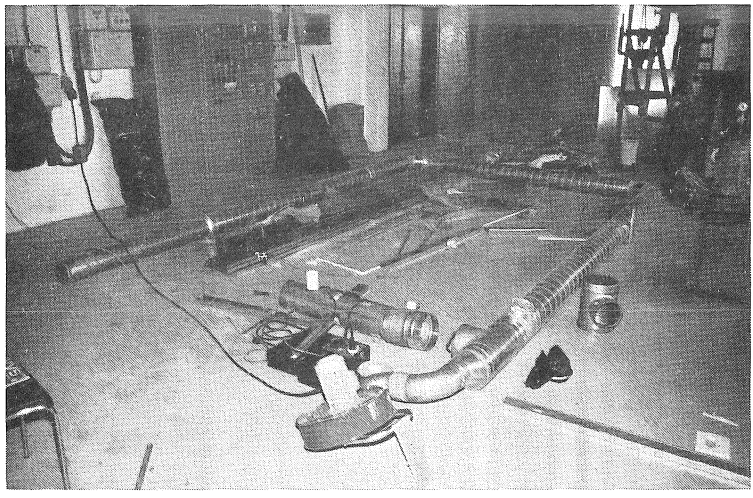
Mätning av kanalens läckluftflöde skedde med hjälp av en läckflödesmätare av fabrikat Fläkt typ ABBA. Tryckfallet över strypflänsen liksom kanalsystemets statiska tryck mättes med spritfyllda U-rörsmanometrar.

Provens genomförande

Varje provserie inleddes med att kanalsystemet provtrycktes. Detta gjordes med tidigare nämnda mätinstrument. Verkstadsfläkten monterades då bort och kanalsystemets ände tätades med ett lock. Med läckflödesmätarens fläkt höjdes trycket i kanalen till önskad nivå. Fläktens varvtal styrdes med en vridtransformator. När trycket var stabilt avlästes tryckfallet över strypflänsen och kanalens statiska tryck med U-rörsmanometer.

När provtryckningen var klar togs locket bort. Verkstadsfläkten monteras på varefter spjället stängdes. Tätningsmaterial fylldes på i luckan eller genom fläkten. Trycket i kanalsystemet höjdes med verkstadsfläkten till ca 1500 Pa, vilket ger en strömningshastighet av ca 5 m/s i kanalens inlopp. Inblåsning av pulver pågick under 15 minuter varefter verkstadsfläkten stängdes av och demonteras. Tätningslocket monterades åter varefter förnyad provtryckning utfördes.

Innan ny provning gjordes monterades kanalerna isär och rengjordes.



Figur 2 Försöksuppställning för provning

Utvärdering

Genom att mäta tryckfallet över strypflänsen kunde läckluftflödet avläsas i tillhörande kalibreringsdiagram.

Läckningskoefficienten f vid 400 Pa beräknades enligt:

$$f = \frac{q}{A}$$

q = läckluftflöde vid 400 Pa

A = omslutande kanalinnerarea

En mätning är alltid behäftad med mätfel. Mätfelen uppskattas enligt nedan.

Avläsningsfel: ± 0,2 skaldelar = ± 2 Pa

Instrumentfel: ± 1 %

Metodfel: ± 2 %

Prov 1:
Tätning med bomullsfibrer

Genom att fördela bomull i små delar erhålls ett tätningsmaterial som är lätt att transportera i kanalsystemet. Ca 50 g bomull, som finfördelats manuellt, användes. Tätningsmaterialet tillfördes via lucka 5.

Provtryckningen för tätningen visade att kanalsystemet hade en läckningskoefficient motsvarande ca 9 ggr täthetsklass A. Efter tätning reducerades läggningskoefficienten till ca 75 % av ursprungligt värde.

När kanalsystemet demonterades och rensades kunde man konstatera att bomullsfibrerna huvudsakligen flockades på insidan av kanalerna vid skarvarna och inte i skarvarna.

Prov 2:
Tätning med vetemjöl

I detta prov användes 2 dl vetemjöl. Vetemjöl är relativt tungt och svårt att transportera i kanalsystemet. Tätningsmaterialet tillfördes via lucka 5.

Provtryckningen före tätning visade att kanalsystemet hade en läckingskoefficient motsvarande ca 7 ggr täthetsklass A. Att kanalsystemet är tätare före tätning vid detta prov jämfört med föregående beror på att kanalsystemet varit nedmonterat och förmodligen har små förändringar i skarvarna skett vid hopmonteringen. Efter tätning kunde ingen täthetsförbättring konstateras. Man kunde också se att mjölet blåste rakt igenom skarvarna. Det mjöl som fyllts på i luckan hade brett ut sig som en sträng efter kanalens botten i den första raka kanalsträckan men en stor del låg kvar där den lagts från början.

Prov 3:
Tätning med rökpatroner

Den rök som bildas när rökpatroner brinner är mycket lätt och kan utan svårigheter transporteras genom kanalsystem. Fyra små rökpatroner av fabrikat Regin användes. I detta prov tillfördes röken genom fläktens inloppsöppning.

Före provtryckning var läckningskoefficienten ca 7 ggr läckningskoefficienten vid täthetsklass A. Vid provtryckning efter tätning kunde man konstatera att läckningskoefficienten reducerats till ca 80 % av det ursprungliga värdet.

Prov 4:
Tätning med glasfiber

I detta prov användes en typ av förfördelat glasfibermaterial i form av s k flock. Ca 0,1 kg tätningsmaterial användes och tillfördes genom fläkten. Före tätning var läckningskoefficienten ca 6 gånger täthetsklass A. Proven visade ingen täthetsförbättring.

Prov 5
Tätning med mineralfibrer

I detta prov användes mineralfibrer med en längd av ca 3 mm och en diameter av ca 1,5 mm. Vidhäftningsförmågan mot plåt var relativt god och ett tunt skikt lade sig på kanalens insida.

Vid provtryckningen före tätning hade kanalsystemet en läckningskoefficient motsvarande ca 7 ggr täthetsklass A. Efter att ca 0,5 kg tätningsmaterial under 15 minuter tillförts genom fläkten minskade läckningskoefficienten till ca 70 % av det ursprungliga värdet.

Prov 6
Tätning med mineralfibrer

Vid de tidigare proven visade det sig svårt att transportera tätningsmaterialet genom hela kanalsträckan. För att förbättra detta anslöts en dammsugarpåse i kanalens bortre ända. Ca 0,5 kg tätningsmaterial av samma typ som vid prov 5 tillfördes under 15 min. Före tätningen var läckningskoefficienten ca 6,5 gånger täthetsklass A. Läckningen efter tätning var ca 60 % av värdet före tätning.

Tabell 2 Resultat från provtryckningen

	Provtryck Pa	Läckluftflöde vid provtryck m^3/s	Läckluftflöde vid 400 Pa m^3/s	Läcknings-kofficient vid 400 Pa m^3/m^2s
Prov 1				
före tätning	160	0,044	0,083	0,0108
efter tätning	160	0,033	0,062	0,0081
Prov 2				
före tätning	400	0,068	0,067	0,0087
efter tätning	400	0,067	0,066	0,0086
Prov 3				
före tätning	400	0,066	0,066	0,0086
efter tätning	400	0,052	0,052	0,0068
Prov 4				
före tätning	400	0,061	0,061	0,0079
efter tätning	400	0,061	0,061	0,0079
Prov 5				
före tätning	400	0,072	0,072	0,0094
efter tätning	400	0,051	0,051	0,0066
Prov 6				
före tätning	400	0,065	0,065	0,0085
efter tätning	400	0,038	0,038	0,0049

Resultat

Av försöken framgår att man kan erhålla en viss täthetsförbättring om man blåser in finfördelad bomull i kanalsystemet. Bomullsfibrerna fastnar främst genom s k silverkan i kanalernas otätheter. Allteftersom fibrerna fastnar sker en flockning på otätheterna vid kanalens insida så att stora tussar samlas på insidan. En rensning av kanalen krävs således efter tätning.

Genom att tillföra finfördelade mineralfibrer erhålls en täthetsförbättring och i synnerhet när öppen kanalände användes uppnåddes väsentlig täthetsförbättring. Däremot gav fibrer av glasfibermaterial inte någon täthetsförbättring. Med mineralullsfibrer erhålls inte samma flockning på insidan vid kanalernas otätheter utan ett fint lager av fibrer samlade sig i spalten. Där spalterna var som bredast fastnade dock inga fibrer vilket tyder på att turbulent strömning troligtvis rådde där. I mycket smala spalter tenderade dock tätningsmaterialet att fastna. I likhet med proven med bomullsfibrer samlades en stor mängd tätningsmaterial på kanalens botten varför rensning av kanalerna krävs efter tätning. Vid öppen kanalände reducerades rensningsbehovet kraftigt.

Genom att blåsa in ett relativt grovt pulver (mjöl) i kanalsystemet erhölls ingen täthetsförbättring. Materialet var svårt att transportera och hade dålig vidhälftningsförmåga mot kanalmaterialet.

Rökpatroner av den typ som används vid provtryckning av venti-

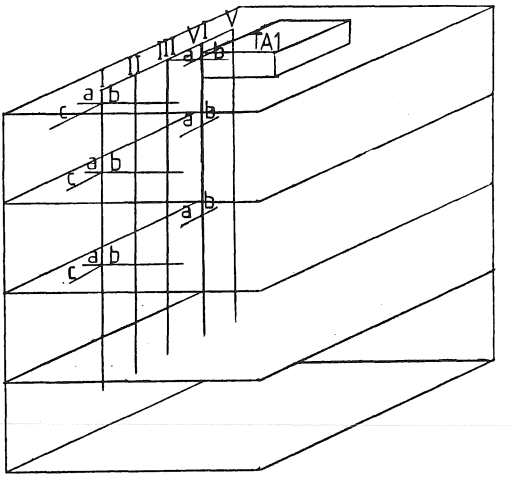
lationssystem ger en kraftig rökutveckling. Eftersom rök är enkelt att transportera kan denna metod användas även i mera vidsträckta ventilationssystem. Rökpartiklarna är också mycket små varför dessa tränger in i även de minsta otätheterna.

De enkla funktionsprov som genomförts i detta projekt antyder således att pulvertätning kan vara en möjlig metod för kanalsystem. Lämpliga typer av tätningsmaterial bör därför tas fram.

För att få bästa resultat måste man utforma metoden så att luften cirkulerar genom hela systemdelen ifråga, t ex medelst recirkulation. För att upprätthålla kanaltrycket krävs vid cirkulation att återföringen förses med strypning samt luftintag för kompensation av läckluftflödet.

BERÄKNINGSEXEMPEL

I detta avsnitt beräknas läckluftflödet för ett tilluftssystem i ett sjukhus. Nedanstående figur redovisar det principiella utförandet av ventilationssystemet. I efterföljande tabeller redovisas den framräknade läckningen för ventilationssystemet.



Figur 1 Principskiss över aktuellt tilluftssystem. Beteckningarna i figuren hänför sig till motsvarande beteckningar i efterföljande tabeller.

Exempel på luftläckning vid täthetsklass A i ett tilluftssystem utfört enligt VVS AMA 72

Kanalsträcka	Nominellt flöde	Kanalinner-area	Tryck-differens	Läckutflöde
PLAN 8:	m^3/s	m^2	Pa	1/s
Ia	0,83	52,9	42,1	18
Ib	0,28	19,6	68,6	9
Ic	0,28	31,4	23,6	6
I från spjäll till plan 5	1,39	29,3	310	36
II	0,51	50,7 + 3,5	42,6	18
II från spjäll till plan 5	0,51	22,0	310	27
IVa	0,33	30	30	6
IVb	0,28	30	30	6
IV från spjäll till plan 5	0,61	29	310	36
V	0,51	50,7 + 3,5	42,6	18
V från spjäll till plan 5	0,51	22,0	310	27
PLAN 7:				
Ia	0,83	52,9	42,1	18
Ib	0,28	19,6	68,6	9
Ic	0,28	31,4	23,6	6
I från spjäll till plan 5	1,39	23,8	310	30
II	1,51	50,7 + 3,5	42,6	18
II från spjäll till plan 5	0,51	17,5	310	21
IVa	0,33	30	30	6
IVb	0,28	30	30	6
IV från spjäll till plan 5	0,61	29	310	30

forts

V	0,51	50,7 + 3,5	42,6	18
V från spjäll till plan 5	0,51	22,0	310	21
PLAN 6:				
Ia	0,83	52,9	42,1	18
Ib	0,28	19,6	68,6	9
Ic	0,28	31,4	23,6	6
I från spjäll till plan 5	1,39	18,2	310	24
IVa	0,33	30	30	6
IVb	0,28	30	30	6
IV från spjäll till plan 5	0,61	18,2	310	24
V	0,51	50,7 + 3,5	42,6	18
V från spjäll till plan 5	0,51	13,5	310	18
PLAN 5:				
III	0,62	55	43	18
Från schakt I, II, III till TA1	5,84	34 (rekt)	92	44
Från schakt IV, V till TA1	3,36	34 (rekt)	392	44
Från TA1	9,20	1118		625

Exempel på luftläckning vid täthetsklass B i ett tilluftssystem utfört enligt VVS AMA 72- beräkningsexempel

Kanalsträcka	Nominellt flöde	Kanalinner-area	Tryck-differens	Läck-luftflöde
PLAN 8:	m^3/s	m^2	Pa	1/s
Ia	0,83	52,9	42,1	6
Ib	0,28	19,6	68,6	3
Ic	0,28	31,4	23,6	2
I från spjäll till plan 5	1,39	29,3	310	12
II	0,51	50,7 + 3,5	42,6	6
II från spjäll till plan 5	0,51	22,0	310	9
IVa	0,33	30	30	2
IVb	0,28	30	30	2
IV från spjäll till plan 5	0,61	29	310	12
V	0,51	50,7 + 3,5	42,6	6
V från spjäll till plan 5	0,51	22,0	310	
PLAN 7:				
Ia	0,83	52,9	42,1	6
Ib	0,28	19,6	68,6	3
Ic	0,28	31,4	23,6	2
I från spjäll till plan 5	1,39	23,8	310	10
II	1,51	50,7 + 3,5	42,6	6
II från spjäll till plan 5	0,51	17,5	310	7
IVa	0,33	30	30	2
IVb	0,28	30	30	2
IV från spjäll till plan 5	0,61	29	310	12

forts

V	0,51	50,7 + 3,5	42,6	6
V från spjäll till plan 5	0,51	22,0	310	9
PLAN 6:				
Ia	0,83	52,9	42,1	6
Ib	0,28	19,6	68,6	3
Ic	0,28	31,4	23,6	2
I från spjäll till plan 5	1,39	18,2	310	8
IVa	0,33	30	30	2
IVb	0,28	30	30	2
IV från spjäll till plan 5	0,61	18,2	310	8
V	0,51	50,7 + 3,5	42,6	6
V från spjäll till plan 5	0,51	13,5	310	6
PLAN 5:				
III	0,62	55	43	6
Från schakt I, II, III till TA1	5,84	34 (rekt)	392	15
Från schakt IV, V till TA1	3,36	34 (rekt)	392	15
Från TA1	9,20	1118		209

BERÄKNING AV ENERGIBESPARING VID TÄTNING

Energiförbrukning orsakad av läckning beror av många faktorer såsom systemutformning (F, FT, FTX) och kanalförläggning t ex inomhuslagda kanaler i undertak, kanaler i öppna schakt, murade kanaler i direkt anslutning till byggnadsstommen eller kanaler förlagda i ouppvärmda vindsutrymmen. Värmningen av luften svarar normalt för huvuddelen av ventilationens energiförbrukning medan fläktarbete, kylning mm utgör en liten del. I detta avsnitt behandlas endast värmningen. För att förenkla beräkningarna införs här begreppet ekvivalent läckluftflöde.

Det ekvivalenta läckluftflödet definieras här:

$$E = \rho \times Q_1 \times J \qquad \text{..... 1}$$

E = Energiförbrukningen för läckluftflödet (kWh/år)

Q_1 = Ekvivalent läckluftflöde (m^3/s)

ρ = densitet (kg/m^3)

J = Energibehov (kWh/(kg/s år))

I F-system bestående av murade kanaler är det ekvivalenta läckluftflödet lika med kanalernas totala läckluftflöde.

FT-system och FTX-system är mer komplicerade. Vid kanaler i värmda utrymmen kan normalt följande förenklade samband användas för beräkning av det ekvivalenta läckluftflödet.

$$Q_1 = q_{1t} \times A_t \times (1-\eta) + q_{1f} \times A_f - q_{1t} \times A_t \qquad \text{..... 2}$$

om $q_{1f} \times A_f > q_{1t} \times A_t$

$$Q_1 = q_{1t} \times A_t \times (1-\eta) \qquad \text{..... 3}$$

om $q_{1f} \times A_f \leq q_{1t} \times A_t$

A_f = frånluftssystemets omslutande kanalinnerarea (m^2)

A_t = tilluftssystemets omslutande kanalinnerarea (m^2)

q_{1f} = läckningskoefficienten i frånluftssystemet ($m^3/m^2,s$)

q_{1t} = läckningskoefficienten i tilluftssystemet ($m^3/m^2,s$)

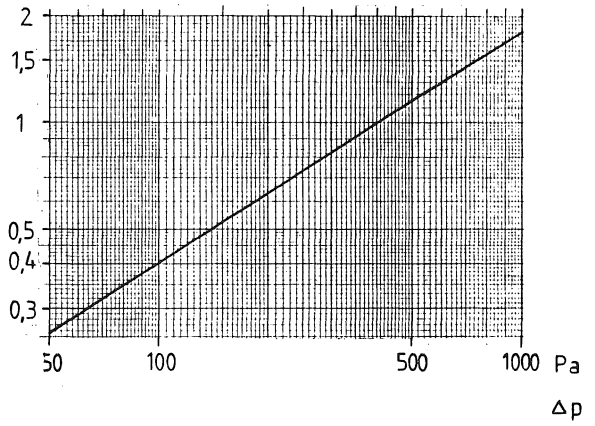
η = värmeåtervinningens temperaturverkningsgrad (= 0 vid FT-system)

Tabell 1 Värmebehov J_t för att värma luftflödet 1 kg/s upp till temperaturen t under ett år (kWh/(kg/s år)) under drift dagtid 09-21. (ur VVS-handboken)

Temp °C	Årets normaltemperatur, °C										
	−2	−1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
5	38000	34500	31100	27900	24800	21800	19000	16300	13700	11300	9000
6	40900	37300	33800	30500	27300	24200	21200	18400	15600	13100	10700
7	44000	40300	36700	33300	29900	26600	23600	20600	17700	15000	12400
8	47100	43300	39600	36100	32600	29200	26100	23000	20000	17200	14400
9	50400	46500	42700	39100	35500	32000	28700	25400	22300	19400	16400
10	53800	49800	45900	42200	38400	34800	31400	28100	24800	21700	18700
11	57300	53200	49200	45400	41600	37800	34300	30800	27400	24200	21000
12	60900	56700	52600	48700	44700	40900	37300	33700	30200	26900	23500
13	64600	60400	56200	52200	48000	44200	40500	36700	33100	29600	26100
14	68400	64100	59800	55800	51500	47600	43700	39900	36100	32600	28900
15	72200	67900	63600	59400	55100	51100	47200	43200	39300	35600	31800
16	76200	71800	67400	63200	58800	54700	50700	46600	42600	38800	34900
17	80200	75800	71300	67100	62600	58500	54400	50100	46000	42100	38100
18	84300	79800	75300	71000	66500	62300	58100	53800	49600	45600	41400
19	88400	83900	79400	75100	70500	66200	62000	57600	53300	49100	44900
20	92600	88000	83500	79200	74600	70200	66000	61500	57200	52900	48500
21	96800	92200	87700	83300	78700	74300	70000	65500	61100	56800	52300
22	101000	96500	91900	87500	82900	78500	74200	69600	65100	60800	56200
23	105400	100800	96200	91800	87100	82700	78400	73800	69300	64800	60200
24	109700	105100	100500	96100	91400	87000	82600	78000	73400	69000	64300
25	114000	109400	104800	100400	95700	91300	86900	82300	77700	73200	68500

Tabell 2 Värmebehov J_t för att värma luftflödet 1 kg/s upp till temperaturen t under ett år (kWh/(kg/s år)) under drift hela dygnet. (ur VVS-handboken)

Temp °C	Årets normaltemperatur, °C										
	−2	−1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
5	80750	73500	66500	59700	53200	47000	41000	35200	29700	24500	19500
6	87000	79500	72300	65300	58500	52000	45800	39700	33900	28400	23000
7	93500	85800	78300	71100	64100	57400	50800	44500	38400	32600	26900
8	100200	92200	84600	77200	69900	62900	56200	49600	43200	37100	31100
9	107200	99000	91200	83500	76000	68800	61800	54900	48200	42000	35500
10	114500	106000	98000	90100	82400	74900	67700	60600	53600	47100	40300
11	121900	113300	105100	97000	89000	81400	73900	66500	59300	52500	45400
12	129600	120800	112400	104200	96000	88000	80300	72700	65200	58200	50900
13	137400	128400	120000	111500	108100	95000	87100	79300	71500	64300	56600
14	145400	136300	127700	119200	110500	102300	94100	86100	78000	70600	62700
15	153500	144300	135700	127000	118200	109700	101400	93200	84900	77200	69000
16	161700	152500	143800	135000	126100	117500	109000	100500	92000	84200	75700
17	170100	160800	152000	143100	134100	125400	116800	108200	99500	91400	82700
18	178500	169200	160300	151300	142300	133600	124900	116100	107200	98900	90000
19	187000	177600	168700	159700	150600	141800	133000	124200	115200	106700	97600
20	195500	186100	177200	168100	159000	150100	141300	132400	123300	114800	105500
21	204100	194600	185700	176600	167500	158600	149700	140800	131600	123000	113600
22	212750	203200	194300	185200	176000	167000	158200	149200	140000	131300	121900
23	221400	211900	202900	193800	184600	175600	166700	157700	148500	139800	130300
24	230100	220600	211600	202500	193200	184200	175300	166300	157000	148300	138700
25	238900	229400	220300	211200	202000	192900	184000	174900	165600	156800	147300



Figur 1 Diagram för bedömning av läckningskoefficient i ventilationssystem som anger förhållandet mellan läckningskoefficienten vid aktuell tryck och läckningskoefficienten vid 400 Pa tryck

Exempel:

Enligt mätningar på ett F-system av murad tegel har läckningskoefficienten 8 . 10^{-3} m^3/m^2 s erhållits vid 400 Pa. Kanalsystemets medeltryck vid drift är ca 60 Pa.

Beräkna energibesparingspotentialen om täthetsklass A förutsätts efter tätning. Omslutande kanalinnerarea är 30 m^2. Normaltemperaturen sätts till +6°C och innetemperaturen till +20°C. Ventilationsflödet utan hänsyn till läckning skall vara 0,5 m^3/s.

Figur 1 ger $q_1 = 0{,}29 \cdot 8 \cdot 10^{-3} = 2{,}32 \cdot 10^{-3} m^3/m^2$ s före tätning

$q_1 = 0{,}29 \cdot 1{,}32 \cdot 10^{-3} = 0{,}38 \cdot 10^{-3} m^3/m^2$ s efter tätning

Ekvation 1 ger energibesparingen

$$E = \rho \cdot Q_1 \cdot J_t = 1{,}2 \cdot (2{,}32 - 0{,}38) \cdot 10^{-3} \cdot 30 \cdot 123300 =$$

$$= 8611 \text{ kWh per år}$$

I nedanstående beräkningsexempel redovisas hur man kan uppskatta energibesparingen vid tätning av ett FT-system.

Exempel 2:

I ett TFX-system av plåt från 1960 med inomhusförlagda kanaler skall undersökas hur mycket energi man kan spara genom tätning. Läckningskoefficienten för tilluftssystemet är 2,9 · $10^{-3} m^3/m^2$ s och för frånluftssystemet 4,1 · $10^{-3} m^3/m^2$ s vid 400 Pa.

Ventilationssystemet har följande data:

$A_t = 300\ m^2$
$A_f = 200\ m^2$
$= 60\ \%$

Tilluftssystemet har en tryckdifferens på i genomsnitt 300 Pa medan frånluftssystemet har en tryckdifferens på i genomsnitt 250 Pa. Drifttiden för anläggningen är 09-21 hela året. Ventilationsbehovet är 5 m^3/s.

Figur 1 ger läckningskoefficienten vid aktuellt tryck.

$q_{1f}A_f = 3{,}03 \cdot 10^{-3} \cdot 250 = 1{,}03\ m^3/s$

$q_{1t}A_f = 2{,}38 \cdot 300 = 0{,}87\ m^3/s$

$q_{1f}A_f > q_{1t}A_t$ varför ekvation 2 används.

$Q_1 = 1{,}03\ (1-0{,}6) + 1{,}03 - 0{,}87 = 0{,}57\ m^3/s$

Efter tätning förutsätts täthetsklass A.

$q_{1f}A_f = 0{,}97 \cdot 10^{-3} \cdot 250 = 0{,}24\ m^3/s$

$q_{1t}A_t = 1{,}09 \cdot 10^{-3} \cdot 300 = 0{,}33\ m^2/s$

$q_{1f}A_f < q_{1t}A_t$ varför ekvation 3 används.

$Q_1 = 0{,}33\ (1-0{,}6) = 0{,}13\ m^3/s$

Energibesparingen kan nu beräknas med ekvation 1.

$E = 1{,}2 \cdot (0{,}57 - 0{,}13) \cdot 57200 = 30201$ kWh/år

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
810092-3 från Statens råd för byggnadsforskning
till Wahlings Installationsutveckling AB, Danderyd.

Art.nr: 6700707

Abonnemangsgrupp:
W. Installationer

R7: 1983

ISBN 91-540-3862-6

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm

Cirkapris: 30 kr exkl moms