



STATENS PROVNINGSANSTALT

BYGGNADSFYSIK & VVS-TEKNIK

FÄLTPROVNING AV
BYGGNADERS VÄRMEISOLERING

OCH LUFTTÄTHET (FIELD TESTS OF THE THERMAL
INSULATION & AIRTIGHTNESS OF BUILDINGS [IN SWEDISH])

BERTIL PETTERSSON

FÖRORD

Föreliggande rapport utgör en delredovisning av projektet "Fältprovning av byggnaders värmeisolering och lufttäthet".

Projektet behandlar metoder för provning av faktorer som bestämmer energiförlusterna i en byggnad. I första hand behandlas metoder som knyter an till Svensk Byggnorm SBN 1975, t ex "tryckmetoden" och "termograferingsmetoden".

En noggrann verifiering av byggnadens värmeisolering och lufttäthet kräver i regel en kombination av olika mätningar. Vid genomförande av projektet har olika metoder och hjälpmedel prövats i fält. Avsikten är att utforma lämplig arbetsgång vid fältprovning i byggnader.

Rapporten redovisar resultat från ett antal mätningar med tryckmetoden utförda under 1977 och vintern 1978. Metod och apparatur för tryckmätningar har därvid utvecklats och preciserats för att vara praktiskt användbar vid fältmätningar. Resultaten ger en bild av täthetsgraden i olika typer av byggnader idag.

Termograferingsmetoden som vid rätt användning är en effektiv metod för undersökning av isoler- och täthetsutförandet i byggnader har under senare tid fått en omfattande tillämpning, speciellt vid nybyggnation. För att skapa förutsättningar för en enhetlig och riktig tillämpning har dels metoden utarbetats till Svensk Standard, dels regler för auktorisation för termografering av byggnader utarbetats.

Projektet har delvis bekostats med medel från Statens råd för byggnadsforskning. Därutöver har finansiering skett genom dels anslag från bostadsdepartementet, dels provningsanstaltens eget bidragsanslag.

Byggeforskningsrådet har reserverat ytterligare medel för projektets fortsättning och avslutning. En fullständig redovisning av projektet kommer därefter att ges.

Claes Bankvall

Chef för Avdelningen för byggnadsteknik och mekanik

INNEHÅLL

1.	BAKGRUND	1
2.	PROJEKT	2
2.1	Målsättning	2
2.2	Omfattning	3
3.	ENERGIFÖRBRUKNING I EN BYGGNAD	3
3.1	Optimal isoler- och täthetsgrad	3
3.2	Inverkan av isolerfel och luftläckning	7
3.3	Inverkan av inomhustemperatur och antal luftomsättningar	12
4.	BYGGNADERS VÄRMEISOLERING OCH LUFTTÄTHET ..	13
4.1	Värmeisolering	13
4.2	Byggnaders lufttäthet	16
4.2.1	Tryckförhållanden kring en byggnad	17
5.	KRAV OCH RIKTLINJER ENLIGT SVENSK BYGG- NORM SBN 1975	21
5.1	Värmeisolering och lufttäthet	21
5.2	Provning och kontroll	25
6.	PROVNINGSMETODER	27
6.1	Principen för provningsmetoder	27
6.2	Metoder och hjälpmedel vid kontroll av byggnaders isoler- och täthetsutförande ...	30
6.3	Rekommendationer vid fältprovning	41
7.	SPECIELLA FÄLTMETODER	49

8.	TERMOGRAFERING AV BYGGNADER	50
8.1	Principen för termografering	50
8.2	Mätbetingelser och mätsäsong vid termografering	51
8.3	Svensk Standard	52
8.4	Arbete inom Nordtest och ISO	54
8.5	Auktorisation för termografering av byggnader	55
8.5.1	Krav för auktorisation	56
8.5.2	Utbildning	57
8.5.3	Tillsyn av APP	57
9.	BESTÄMNING AV BYGGNADERS LUFTTÄTHET	59
9.1	Spårgasmetoden	59
9.1.1	Principen för spårgasmätning	59
9.1.2	Resultat från spårgasmätningar	60
9.2	Tryckmetoden	63
9.2.1	Principen för tryckmetoden	63
9.2.2	Principen för mätning och bestämning av luftflöde	64
9.2.3	Temperaturkorrektion	65
9.2.4	Inverkan av temperaturskillnad (inne-ute) samt vind	68
9.2.5	Provningsutrustning	70
9.2.6	Provningsbetingelser	76
9.2.7	Provningsutförande	76
9.2.8	Mätresultat	79
9.2.9	Lokalisering av luftläckage med hjälp av IR-kamera	83
9.2.10	Resultat från genomförda täthetsmätningar	86
10.	BESTÄMNING AV VÄRMEMOTSTÅND I FÄLT	93
10.1	Principen för värmemotståndsmätning i fält	93
10.2	Fältförsök	95
11.	EPILOG	104
12.	LITTERATUR	105

1 BAKGRUND

Skärpta byggnormer för energibesparing vid all nybyggnation har trätt i kraft. De ökade kraven avser främst byggnadens värmeisolering, lufttätethet och ventilation samt dimensionering och reglering av det termiska inomhusklimatet. Väl utprovade och injusterade värme- och ventilationssystem i högisolerade och täta byggnader skapar byggnader inte bara med lägre energiförbrukning och bättre inomhusklimat utan ger även fördelar ur miljösynpunkt.

Bakgrunden till det ökade behovet av fältprovning i den färdiga byggnaden är

- Kravet på god energihushållning i byggnader har medfört att allt större vikt måste fästas vid såväl funktionen hos byggnadens värmeisolering och lufttätethet som effektiviteten hos dess värme- och ventilationssystem. Detta ställer speciella krav på konstruktions- och materialval samt arbetsutförande.
- Utveckling inom energiområdet har skapat ett stort behov av verifierande provningar vid olika typer av byggnader. Detta understrykes i de nya regler beträffande energihushållning i byggnader som har införts i Svensk Byggnorm, SBN 1975.
- Erfarenheter från fältprovningens verksamheten skapar förutsättningar för energisnåla konstruktioner och rätt arbetsutförande samt ger underlag för lämpliga energisparåtgärder.

Energiförlusterna i en byggnad sker i huvudsak genom transmission genom byggnadens omslutande ytor samt ventilation och otätheter i byggnaden. Dessutom förbrukas energi för tappvarmvatten och hushållsel, som till viss del kan tillgodogöras på uppvärmningssidan.

De egenskaper som i första hand bör provas och kontrolleras i färdig byggnad är därför

- funktionen hos byggnadens värmeisolering och täthet (bedömning av isoler- och täthetsutförandet samt inverkan av konstruktionsutformning och arbetsutförande),
- lufttäthet hos färdig byggnad (bestämning av luftväxlingar m m i fält).
- värmemotstånd hos byggnadsdel.

2. PROJEKT

2.1 Målsättning

Målsättningen med föreliggande projekt är följande

1. Utveckla metod för rutinmässig användning vid bestämning av byggnaders lufttäthet.
 - a) Utveckling och precisering av metoden.
 - b) Utveckling av lämplig mätapparat.
2. Utveckla termograferingsmetoden för rutinmässig användning vid undersökning av byggnaders isoler- och täthetsutförande.
 - a) Utveckling och precisering av metoden.
 - b) Utarbetande av regler för auktorisation för termografering av byggnader.
3. Utveckla och precisera metod för värmeinflödesmätning.
4. Jämförelse mellan och användning av olika metoder. Utforma förslag till "fältprovningsspaket" för att prova de faktorer som i första hand bestämmer energiförlusterna i en byggnad.
5. Utforma lämplig arbetsgång vid fältprovning. Ge förslag till olika steg i provningsförfarandet.
6. Genom fältmätningen inventera förekommande isoler- och täthetsgrad i olika typer av byggnader. Följa upp inverkan av olika åtgärder för ändring av byggnaders värmeisolering och lufttäthet.

2.2 Omfattning

Storleken av projektet har planerats vara följande. En mätgrupp bestående av två personer (mätledare och assistent) byggs upp. Gruppen utrustas så att de provningar som ingår i det skisserade fältprovningsspaketet kan utföras. Gruppen utrustas således med IR-kamera samt utrustning för mätning av lufttäthet i färdig byggnad och värmemotstånd hos byggnadsdel.

Detta innebär att i ett första skede utvecklas och preciseras de metoder och den provningsapparat som skall användas och de tas i bruk allt eftersom de utvecklats. Projektets senare del innebär fortsatta fältmätningar enligt målsättningen så att provningsmetoderna ifråga kan vara användbara i enlighet med bl a de riktlinjer som anges i Svensk Byggnorm. Avsikten är att metoderna sedan skall kunna användas i fält rutinmässigt på ett tillförlitligt och rationellt sätt.

Projektet startade 1977-07-01 och beräknas vara slutfört 1979-12-31.

3 ENERGIFÖRBRUKNING I EN BYGGNAD

3.1 Optimal isoler- och täthetsgrad

Närmare hälften av landets energiförbrukning omfattar energi för lokalkomfort d v s uppvärmning, ventilation, belysning m m i bostäder och övriga lokaler såsom vårdhem, sjukhus, kontor, skolor och fritidshus. Vid bedömning av energisparåtgärder är denna sektor av stort intresse.

I de större utredningarna inom energiområdet har uppskattningar gjorts av de årliga värmeförlusterna i befintliga byggnader. Följande värden har uppskattats:

	Transmission	Ventilation
småhus	16,5	12
flerfamiljshus	7,5	11
industrier	12	15
övriga lokaler	14,5	14
	<hr/> 50,5	52 TWh

FIG 1 visar exempel på energiförbrukningen i ett småhus enligt gängse konstruktionsval under början av 1970-talet. Exemplet visar en isolergrad motsvarande 95 mm mineralull i väggar, 130 mm i tak och 70 mm i golv samt tvåglasfönster. För ventilationen har antagits 0,8 luftomsättningar per timme.

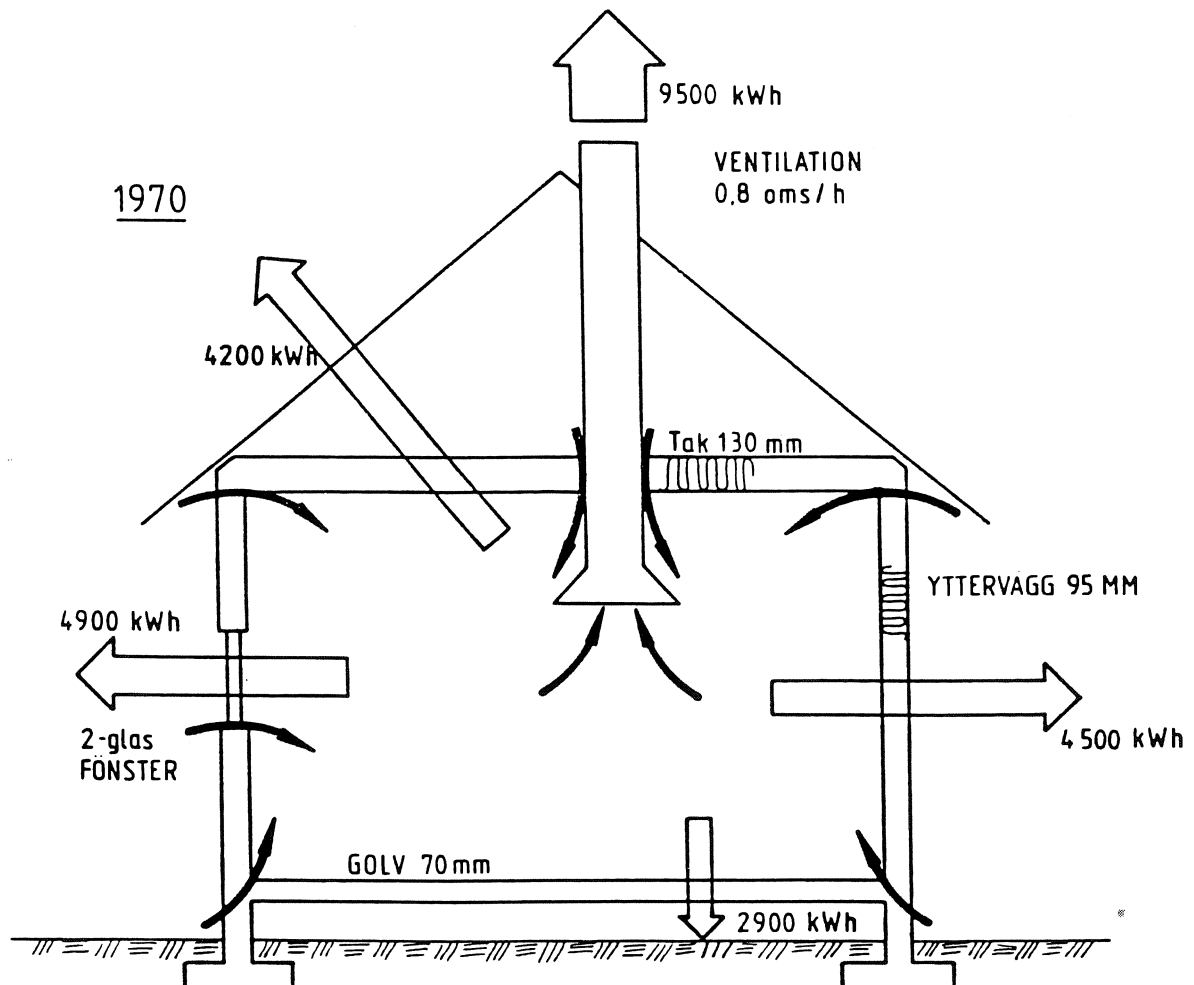
FIG 2 visar exempel på energiförbrukning i ett motsvarande småhus år 1980 isolerat enligt de nya krav som gäller för norra Sverige (temperaturzon I och II) i SBN 1975. Här har isolergraden ökat väsentligt och motsvarar 190 mm i väggar, 260 mm i tak och 140 mm i golv samt treglasfönster. För ventilationen har antagits 0,5 luftomsättningar per timme.

Transmissionsförlusterna bestäms teoretiskt av värmemotstånden eller k-värden hos de olika byggnadsdelarna. Vid dimensionering av värmemotstånd för en konstruktion är målet att på bästa sätt uppnå ett önskat inomhusklimat med utgångspunkt från det givna utomhusklimatet. Härtill krävs även någon form av "klimatisering" t ex uppvärmning och ventilation.

Beräkning av förluster genom ventilation och otätheter är den mest osäkra delen vid värmebalansberäkningar. Denna del motsvarar normalt mellan 30 och 40 % av förlusterna i en byggnad.

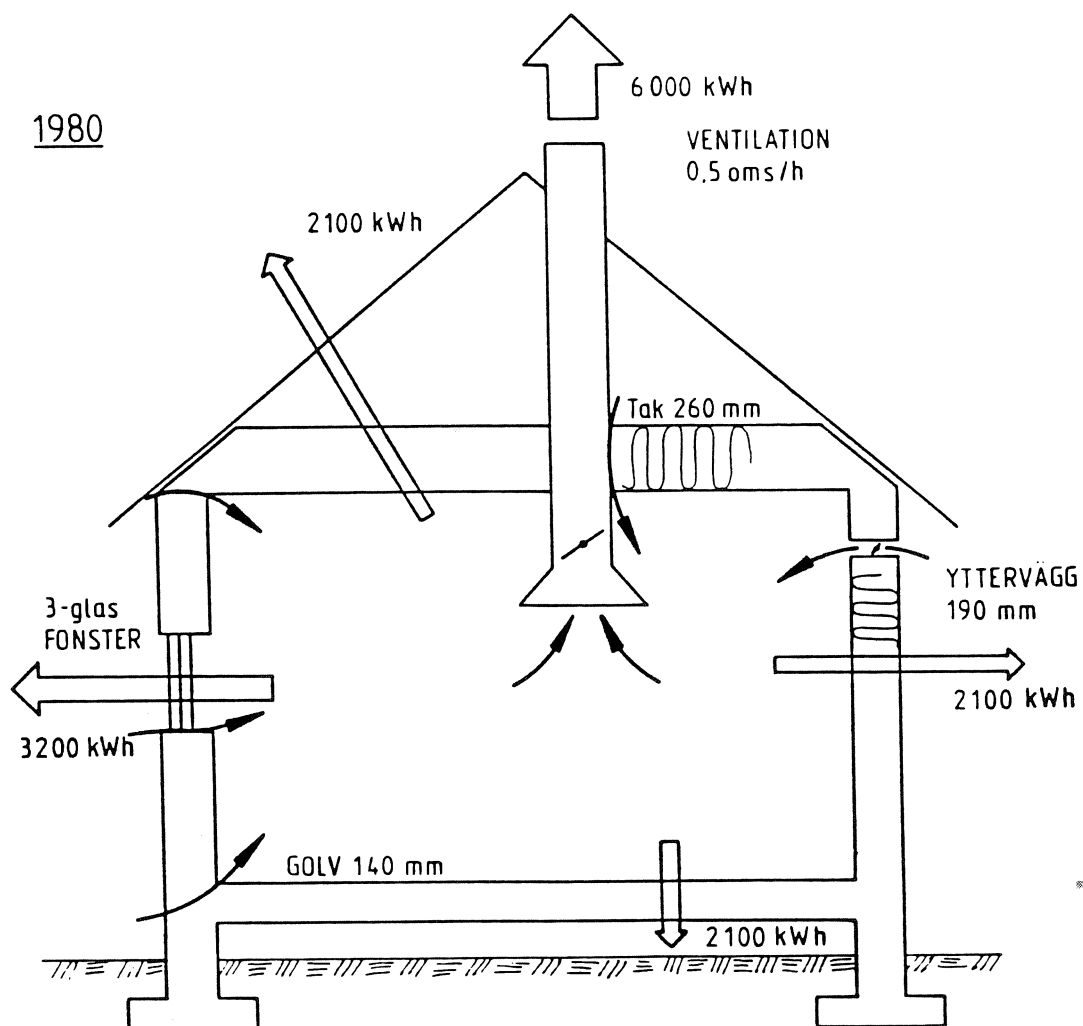
Viktiga förutsättningar för att i praktiken uppnå en optimal isoler- och täthetsgrad är att riktiga dimensioneringsregler tillämpas och att gjorda skattningar om energipris och kostnadsutveckling är riktiga.

Det avgörande är emellertid att avsedd isoler- och täthetsfunktion uppnås i verkligheten. Här inverkar konstruktionslösning, materialval och arbetsutförande på ett avgörande sätt. Vid högisolerade och täta konstruktioner är detta speciellt viktigt eftersom felaktigheter här kan få stor inverkan på energiförbrukningen.



Transmissionsförluster:	16 500 kWh
Ventilationsförluster:	9 500 -"-
Summa:	<hr/> 26 000 kWh

Fig 1 Transmissions- och ventilationsförluster för ett småhus 125m², isolerat enligt gängse normer i början av 1970-talet.



Transmissionsförluster:	9 500 kWh
Ventilationsförluster:	6 000 kWh
Summa:	<u>15 500 kWh</u>

Fig 2 Transmissions- och ventilationsförluster för ett småhus, 125 m², isolerat enligt de krav som anges för norra Sverige i SBN 1975.

3:2 Inverkan av isolerfel och luftläckning

Erfarenheter från fältmätningar har visat att luftläckning genom otätheter i fogar och anslutningar samt bristfälligt utfyllnad av isoleringsmaterial ofta ger upphov till stora variationer på den faktiska energiförbrukningen i en byggnad.

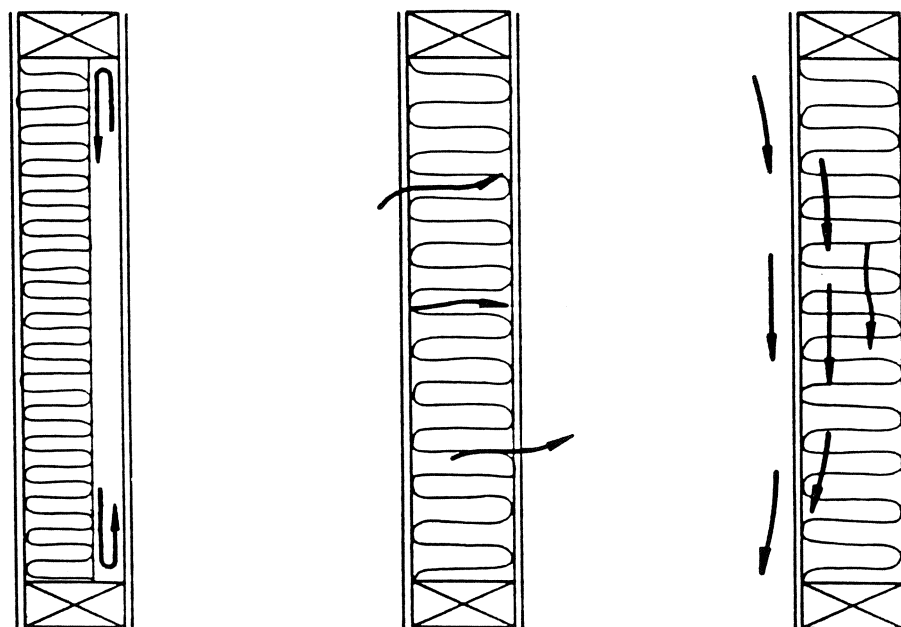
I FIG 3 visas hur luftrörelser i och kring en byggnads-konstruktion påverkar värmeisoleringsförmågan. Det finns tre i princip olika mekanismer nämligen luftrörelser inne i konstruktionen, genomblåsning och anblåsning.

I FIG 4-6 visas hur värmemotståndet påverkas i de olika fallen.

I FIG 4 anges resultat från beräkningar i en isolerad träregelkonstruktion med en inbyggd vertikal luftspringa. Luftspringan antas sträcka sig från konstruktionens varma sida till dess kalla sida och därmed i varierande omfattning ersätta isolermaterialet. Någon luftinträning utifrån sker inte. Figuren visar att den tjockare isoleringens värmemotstånd kraftigast påverkas av en sådan luftspringa.

I FIG 5 visas effekten av genomblåsning. Ångspärren i en regelvägg är i detta fall inte hel och obruten. En eldosa med diametern 75 mm har monterats in och kring dosan finns en smal spalt på 1 mm. Figuren visar den drastiska reduktionen av väggens värmemotstånd vid en tryckskillnad Δp över väggen.

I FIG 6 visas effekten av anblåsning. Luften som strömmar förbi på kalla sidan kan orsaka luftrörelser inne i konstruktionen. Anblåsning kan förekomma i konstruktioner med ventilerad luftspalt bakom en fasadskiva. Värmeisoleringsförsämringen är större om isoleringen inte är skyddad mot anblåsning med ett vindskydd.



A

Luftrörelser inne i konstruktionen, i material eller i springor och spalter

B

Genomblåsning i skarvar och otätheter

C

Anblåsning ut efter konstruktionens utsida

Fig 3 Värmeförluster i en konstruktion p g a luftrörelser. A avser luftrörelser inne i konstruktionen oberoende av yttre klimat, B avser genomblåsning och C anblåsning utefter konstruktionens ena sida.

VÄRMEMOTSTÅND

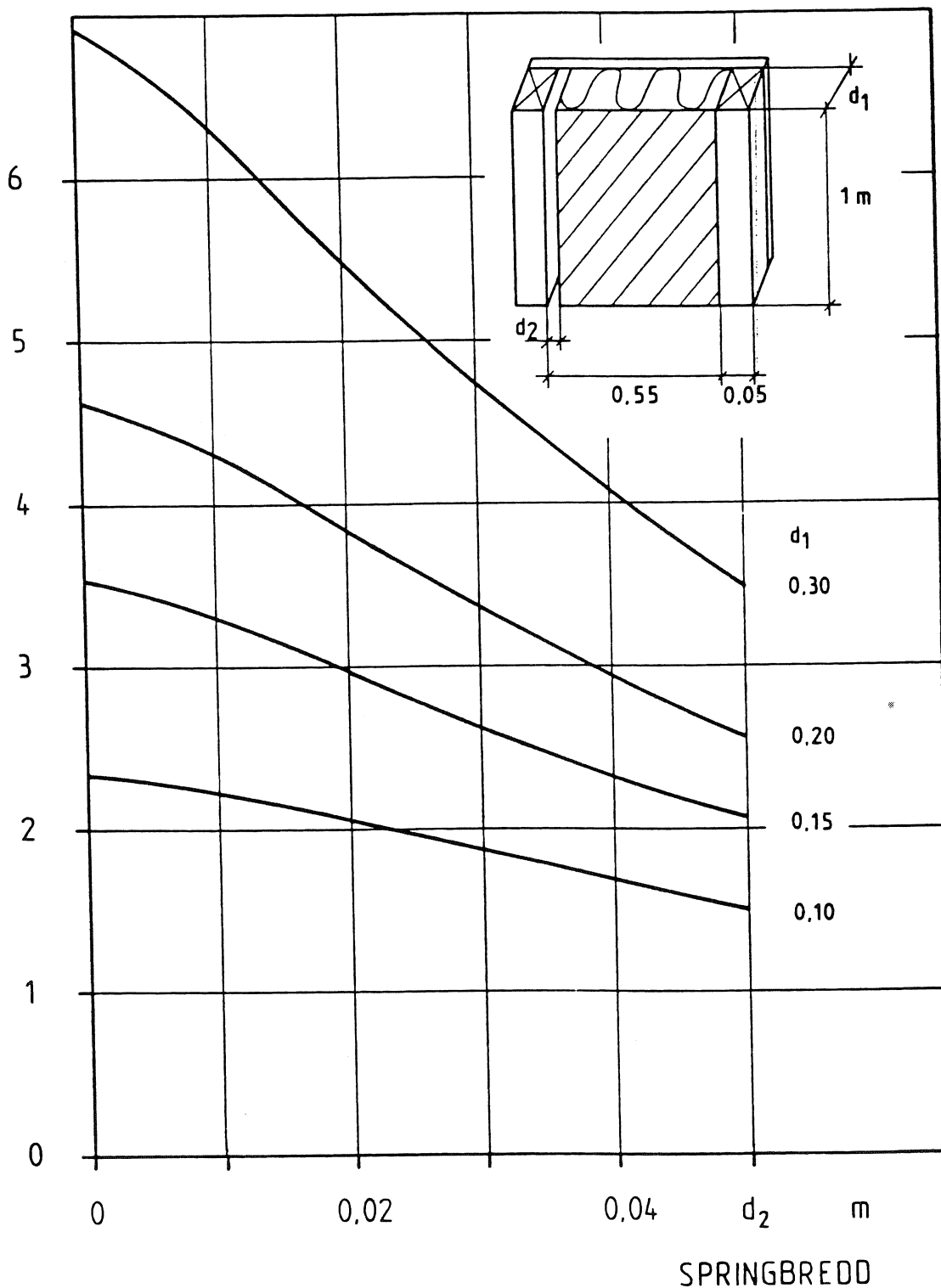
M $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ 

Fig 4 Värmeisoleringsförsämring i en regelvägg med en vertikal springa intill en regel. Figuren visar hur värmemotståndet försämras med ökad springbredd. Observera att den faktiska och den relativa försämringen är större ju tjockare väggen är.

VÄRMEMOTSTÅND

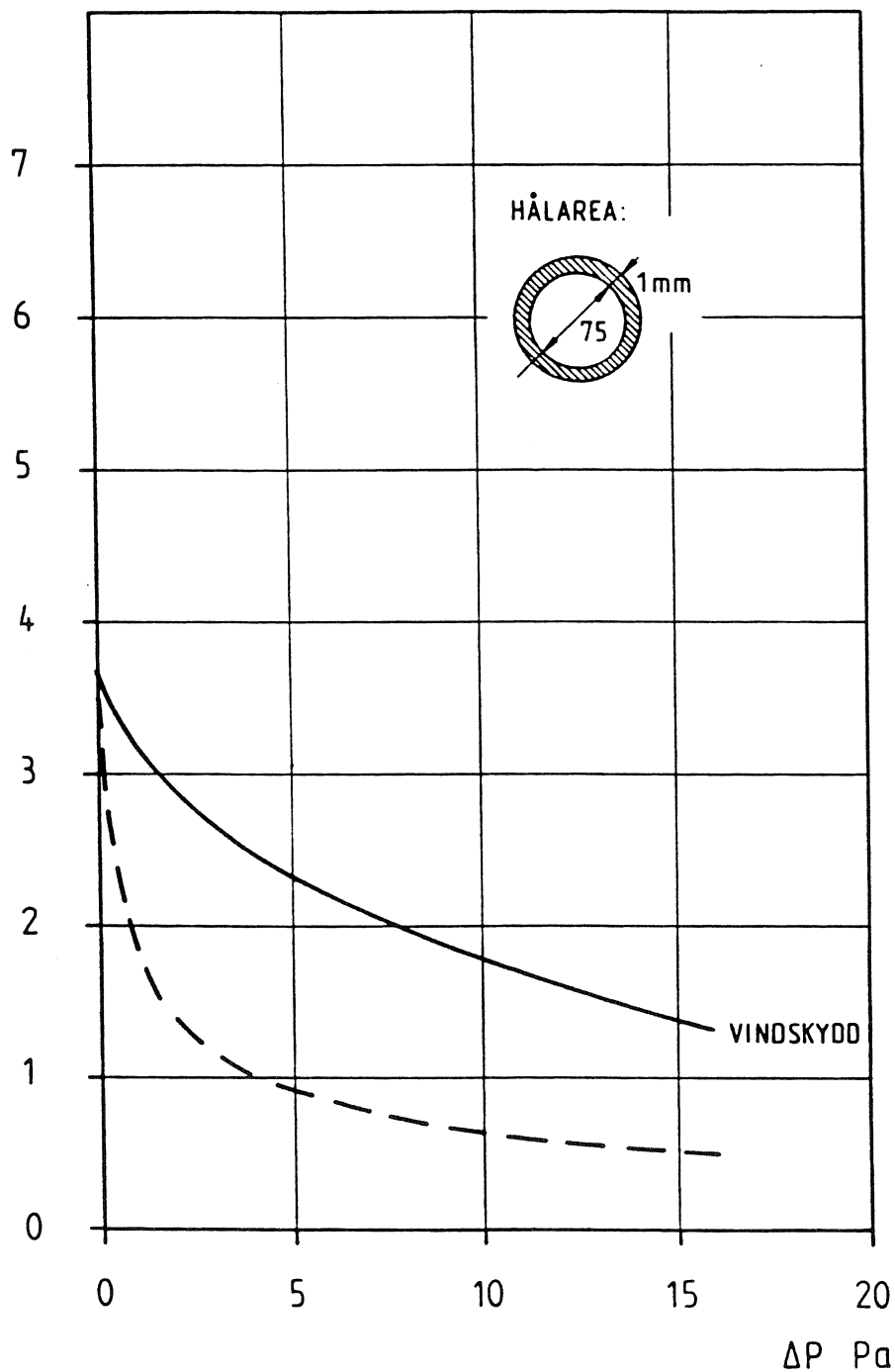
M $\text{m}^2 \text{K/W}$ 

Fig 5 Värmeisoleringsförsämring i ett regelväggsparti p g a genomblåsning. Ångspärren är punkterad in-till en eldosa. Den undre kurvan visar vad som händer om väggen saknar vindskydd. Den övre kurvan visar effekten av genomblåsning om väggen har vindskydd av asfaltimpregnerad träfiberskiva. Väggen tjocklek är 150 mm.

VÄRMEMOTSTÅND

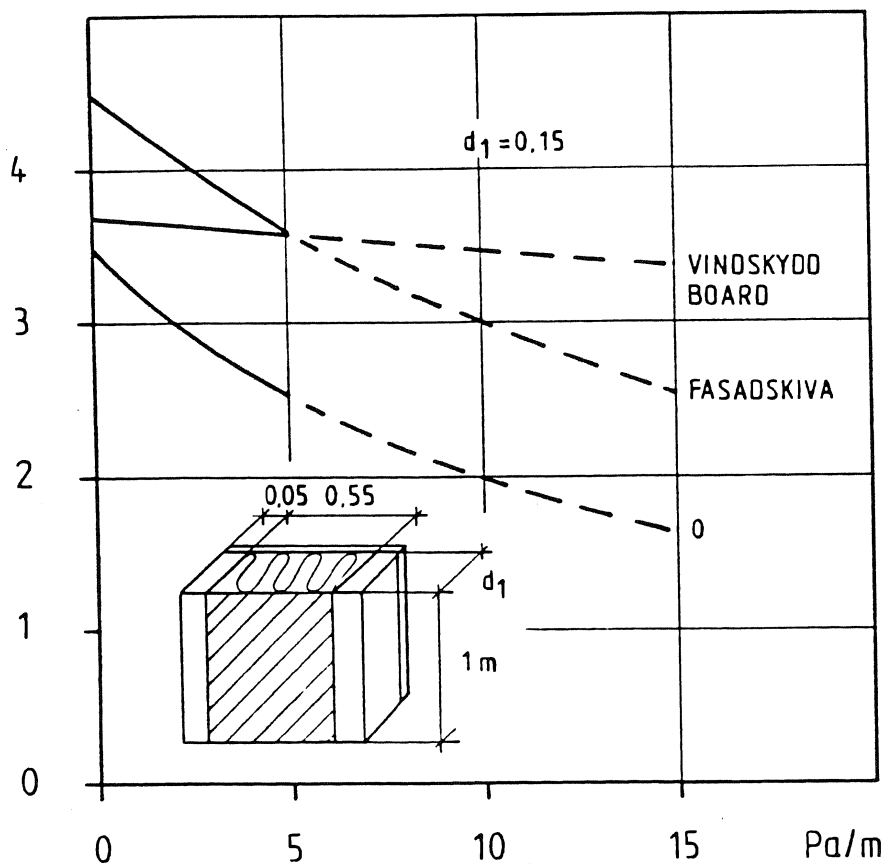
M $\text{m}^2\text{K/W}$ 

Fig 6 Värmeisoleringsförsämring p g a anblåsning. En träregelvägg är på utsidan försedd med ventilerad luftspalt. Vid olika tryckförändringar (Pa/m) i luftspalten varierar värmemotståndet enligt figuren. Den undre kurvan avser vägg utan vindskydd, de övriga avser vindskydd av mineralull med hög densitet resp asfaltimpregnerad träfiberskiva ("fasadskiva" respektive "board"). Väggens tjocklek är 150 mm.

3.3 Inverkan av inomhustemperatur och antal luftomsättningar

FIG 1 och 2 visar var förlusterna finns i ett vanligt småhus. Förlusterna ρ g a transmission genom väggar, golv och tak samt ventilation anges som fasta poster och att det finns spridning från hus till hus framgår inte. I den tidigare framställningen har också energihushållningen beskrivits som enbart ett tekniskt problem som kan lösas med nya konstruktioner. Ökad värmeisolering och täthet skall ge oss energisnåla hus i framtiden. Men riktigt så enkelt är det inte.

I en undersökning av energiförbrukningen i ett villaområde utanför Lund gjordes teoretisk beräkning av energiförlusterna. Resultatet liknade exemplet som är givet i FIG 1.

Beräkningar gjordes med varierande förutsättningar. Innetemperaturen varierade från 18°C till 24°C och ventilationsgraden från 0,2 till 1,0 luftomsättningar per timma. Den Beräknade energiförbrukningen under en normalsäsong i de olika fallen visas i tabellen nedan. "Normala" variationer kan anses vara $20 - 22^{\circ}\text{C}$ för inomhustemperaturen och 0,4 - 0,8 oms/h för ventilationen. Dessa värden har ramats in i tabellen.

TABELL 1

		Antal luftomsättningar oms/h				
		0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
	18	12.900	15.000	17.100	19.300	21.400
inne	20	15.100	17.600	20.000	22.500	24.900
temp.	22	17.300	20.100	23.000	25.800	28.500
$^{\circ}\text{C}$	24	19.400	22.600	25.800	29.000	32.100

Vid en kontroll av den faktiska energiförbrukningen i de olika husen i området visade det sig att spridningen var stor. Årsförbrukningen 1975 varierade mellan 17.840 kWh och 27.720 kWh med ett medelvärde på 23.500 kWh.

Undersökningen visar en faktisk spridning som motsvarar spridningen inom den normala ramen. Om man skall analysera orsaken till spridning i energiförbrukning från ett hus till ett annat måste man både kontrollera byggnaden med avseende på värmeisolering och täthet och undersöka hyresgästernas boendevanor. Det är inte meningsfullt att jämföra två byggnader ur energisynpunkt om man inte samtidigt har uppgifter om över hur folk vädrar, vilken inomhustemperatur man har, om man duschar eller badar och hur ofta man gör det, antalet personer i hushållet, hur många som är hemma under dagarna osv.

4 BYGGNADERS VÄRMEISOLERING OCH LUFTTÄTHET

4.1 Värmeisolering

Temperaturförloppet i en isolerad konstruktion med värmemotståndet M visas i FIG 7. Temperaturfallet i varje skikt är proportionellt mot dess värmemotstånd m .

En konstruktions värmeisoleringsförmåga anges ofta i form av ett k -värde eller värmemotstånd, M . Vid endimensionellt värmefflöde gäller följande samband

$$q = \frac{1}{m_i} (\theta_i - \theta_{vi}) \quad \dots (4.1)$$

$$q = \frac{1}{M} (\theta_{vi} - \theta_{vu}) \quad \dots (4.2)$$

$$q = \frac{1}{m_u} (\theta_{vu} - \theta_u) \quad \dots (4.3)$$

$$q = \frac{\theta_i - \theta_u}{m_i + m_u + M} \quad \dots (4.4)$$

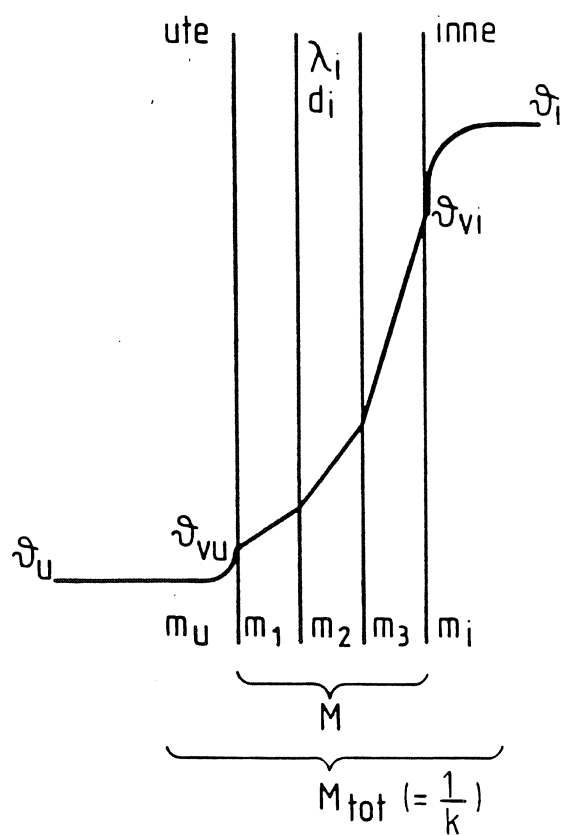


Fig 7 Temperaturförlopp i en konstruktion med olika parallella skikt vinkelräta mot värmeströmmen.

där

m_i Värmeövergångsmotstånd vid väggens varma yta,
 $m^2 \cdot ^\circ C/W$

m_u Värmeövergångsmotstånd vid väggens kalla yta,
 $m^2 \cdot ^\circ C/W$

M Väggens värmemotstånd, $m^2 \cdot ^\circ C/W$

θ_i Lufttemperatur på varma sidan, $^\circ C$

θ_{vi} Väggens yttemperatur på varma sidan, $^\circ C$

θ_{vu} Väggens yttemperatur på kalla sidan, $^\circ C$

θ_u Lufttemperatur på kalla sidan, $^\circ C$

q Värmeväxlingsintensitet, W/m^2

Yttemperaturerna på en konstruktion vid stationärt värme-
 flöde kan beskrivas av följande samband

$$\theta_{vi} = \theta_i - \frac{m_i \cdot (\theta_i - \theta_u)}{m_i + m_u + M} \quad \dots (4.5)$$

$$\theta_{vu} = \theta_u + \frac{m_u \cdot (\theta_i - \theta_u)}{m_i + m_u + M} \quad \dots (4.6)$$

Värmemotståndet (M) för byggnadsdel med olika parallella
 skikt vinkelräta mot värmeströmmen bestäms enligt sam-
 bandet

$$M = \sum \frac{d_i}{\lambda_i} \quad (m^2 \cdot ^\circ C/W) \quad \dots (4.7)$$

d_i är tjocklek för materialskiktet, m

λ_i är värmeledningsförmåga för material-
 skiktet, $W/m \cdot ^\circ C$

Ibland används uttrycket totalt värmemotstånd (M_{tot})
 som inkluderar värmeövergångsmotstånden vid ytorna

$$M_{tot} = m_i + m_u + M \quad (m^2 \cdot ^\circ C/W) \quad \dots (4.8)$$

I byggnadssammanhang används ofta det s k k-värdet, som är en värmeegenomgångskoefficient definierad enligt sambandet

$$k = \frac{1}{M_{\text{tot}}} \quad (\text{W/m}^2\text{°C}) \quad \dots (4.9)$$

4.2 Byggnadens lufttätethet

Lufttätheten hos en konstruktion bestäms av luftgenomsläppligheten hos enskilda byggnadsmaterial och materialkombinationer samt av tätheten hos fogar och anslutningar mellan olika byggnadsdelar.

För att beskriva sambandet mellan tryckdifferens och luftflöde genom byggnadsdelar används i många fall det empiriska sambandet

$$Q = \alpha \cdot \Delta p^\beta \quad \dots (4.10)$$

där Q = luftflödet, m^3/s

Δp = tryckskillnad, Pa

α = konstant

β = konstant $0,5 < \beta < 1$

Värdet $\beta = 0,5$ motsvarar helt turbulent strömning och $\beta = 1$ motsvarar helt laminär strömning.

Flöden genom permeabla material beskrivs av följande samband

$$Q = \frac{\Delta p}{d} \cdot \frac{B_0}{\eta} \cdot A \quad \dots (4.11)$$

där Q = volymflödet, m^3/s

A = area, m^2

B_0 = materialskiktets permeabilitet, m^2

d = materialskiktets tjocklek, m

η = luftens dynamiska viskositet, Ns/m^2

Δp = tryckfall över material, Pa

Inom byggnadstekniken används även det s k luftgenomsläpplighetstalet λ , som definieras enligt sambandet

$$\lambda = \frac{B_0}{\eta} \quad (\text{m}^3/\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}) \quad \dots (4.12)$$

I allmänhet beror konstruktionens täthet till liten del av tätheten hos själva materialet. Otätheter p g a sprickor och springor vid fogar, anslutningar, eluttag m m, bestämmer i hög grad konstruktionens slutliga täthet.

Strömningar genom öppningar i en tunn skiva beskrivs ofta av det empiriska sambandet

$$Q = 0.827 \cdot A \cdot \Delta p^{1/2} \quad \dots (4.13)$$

där $A =$ hålarea, m^2

Byggnadens luftutbyte anges ofta som antalet luftomsättningar per timme, n

$$n = \frac{Q}{V} (\text{m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{h}) \quad \dots (4.14)$$

Ventilation i en byggnad har hittills fått ske relativt oreglerat. Luftläckage genom otätheter i byggnadens klimatskärm och vädring genom öppnade fönster eller vädringsluckor har försett byggnader med nödvändig ventilationsluft. Frånluft har normalt skett genom självdragsventilation eller mekaniskt frånluftsystem. Kravet på ökad lufttäthet i byggnader och behovsanpassad ventilation kommer att medföra ökat behov av reglerbara från- och tilluftsystem i byggnader i framtiden.

4.2.1 Tryckförhållanden kring en byggnad

Storleken av luftutbytet i en byggnad har som framgått av det tidigare samband med tryckförhållandena kring byggnaden (jfr FIG 8). Tryckförhållandena i och kring en byggnadsdel är normalt lite kända. I olika sammanhang lämnas varierande uppgifter på vilka tryckbelastningar som kan förekomma över en konstruktion. Vid normala driftförhållanden varierar dessa belastningar såväl i tid som rum.

Allmänt kan sägas att tryckförhållandena i och kring en byggnad har samband med följande

- vindförhållanden kring byggnaden
- ventilationssystemets inverkan
- temperaturskillnad mellan inne- och uteluft

Trycket, p_v , på en konstruktionsyta p g a vinden kan beskrivas av sambandet

$$p_v = C \frac{\rho v^2}{2} \quad \dots (4.15)$$

där C = formfaktor (0-1)

ρ = luftens densitet, kg/m^3

v = vindhastighet, m/s

Lufttrycket inomhus är beroende av vindförhållanden, förekommande otätheter i byggnaden samt hur dessa är fördelade i förhållande till vindriktningen. Förekommer större andel otätheter på vindsidan ökar inomhustrycket något och vid det omvända fallet med större otätheter på läsidan minskar inomhustrycket. Mätningar har visat att tryckdifferensen över en fasad utsatt för en medelvindstyrka av ca 5 m/s blir ca 10 Pa.

Vindförhållandena kan variera kraftigt i tid och rum. Den lokala vindhastigheten är beroende av omgivande topografi och byggnadernas placering och utformning.

Vindhastighet och vindriktning mätes normalt vid meteorologiska stationer med i möjligaste mån fri placering. Hastigheten anges då som medelvärdet under 10 min på mät höjden 10 m. Vid bedömning av vindens lokala inverkan på en byggnad i ett bebyggelseområde kan sådana mätvärden i regel ej användas. Vindförhållandena kring en byggnad måste då bestämmas på en lämplig referensplats i närheten av byggnaden t ex på vindsidan på så ostörd plats som möjligt

Tryckdifferensen över en konstruktion är även beroende av rådande temperaturer. En temperaturskillnad över klimatskärmen ger därför upphov till en höjdberoende tryckskillnad över konstruktionen.

Tryckskillnad, Δp_T , p g a den termiska drivkraften kan beskrivas av sambandet

$$\Delta p_T = g \cdot \rho_u \cdot h \left(1 - \frac{T_u}{T_i}\right) \quad \dots (4.16)$$

där $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
 $\rho_u =$ luftens densitet vid T_u , kg/m^3
 $T_u =$ lufttemperatur utomhus, K
 $T_i =$ - " - inomhus, K
 $h =$ avstånd mellan två referensplan, m

Den mekaniska ventilationen påverkar tryckbilden i en byggnad och ger upphov till ett konstant, invändigt undertryck eller övertryck (beroende på ventilationens riktning). Undertryck orsakat av mekaniskt utsug (köksfläkt) i ett småhus ligger normalt mellan 5 och 10 Pa. I flerfamiljshus är undertrycket i regel något större, 10-20 Pa vid mekaniskt frånluftsystem. Vid s k balanserad ventilation (mekaniskt styrd till- och frånluft) brukar normalt inställning ske så att det råder ett mindre undertryck på insidan.

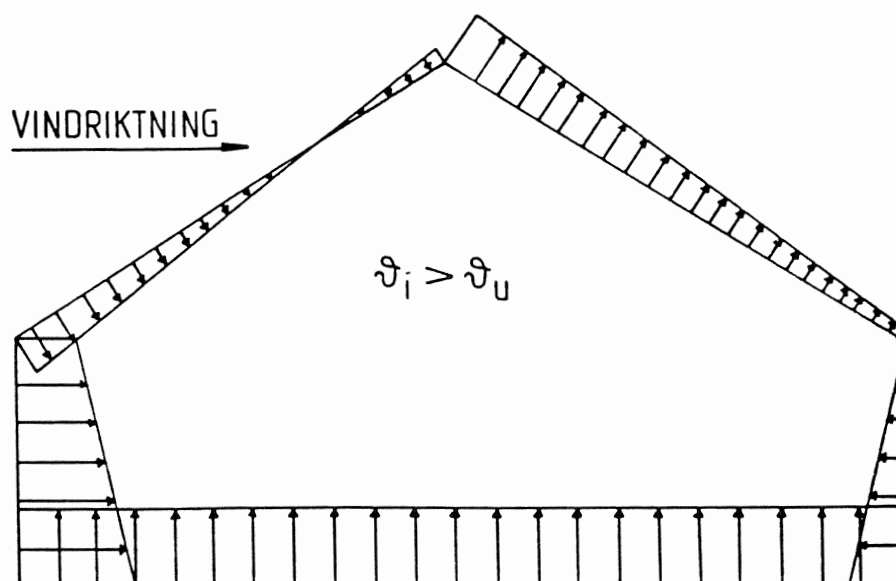


Fig 8 Exempel på resulterande fördelning av tryckskillnader över byggnads omslutande ytor beroende på vindens inverkan, ventilationen samt temperaturskillnaden inne-ute.

5 KRAV OCH RIKTLINJER ENLIGT SVENSK BYGGNORM SBN 1975

5.1 Värmeisolering och lufttätethet

I Svensk Byggnorm, SBN 1975 har uppställts vissa allmänna krav på husbyggnaders värmeisolering och täthet genom att föreskriva följande (kap 33:1):

"Byggnad, som avses att hållas uppvärmd, värmeisoleras och tätas så att hygieniska olägenheter inte uppkommer samt så att värmeavgivningen och luftläckningen genom dess omslutande delar begränsas med hänsyn till kravet på god energihushållning..."

För byggnadsdelars täthet anges (kap 33:1):

"Byggnadsdelar som avgränsar lokal som avses att hållas uppvärmd och anslutningar mellan sådana byggnadsdelar anordnas så att de förhindrar oläglig luftläckning..."

Beträffande den konstruktiva utformningen sägs följande (kap 33:4):

"Värmeisolerande byggnadsdelar och anslutningar mellan sådana byggnadsdelar anordnas så att sådan luftströmning inte uppkommer inne i byggnadsdelarna som olägligt nedsätter värmeisoleringsförmågan. Vidare anordnas konstruktionen så att för dess funktion och beständighet skadligt hög fukthalt inte uppkommer i de material som ingår i konstruktionen. Dessutom utformas konstruktionen så att olägliga köldbryggor inte uppkommer..."

Dessa allmänna krav kompletteras med högsta tillåtna värden på k-värde och lufttätethet för byggnadsdelar. Dessa värden visas i tabellerna 2 och 3 som är hämtade från SBN 1975.

Då t ex högre k-värden för viss byggnadsdel väljs än de som står i tabell 2, kolumn 3 och 4 måste detta kompenseras med motsvarande förbättring för övriga byggnadsdelar.

I tabellerna 4 och 5 ges exempel på transmissionsförluster och luftläckning genom olika byggnadsdelar dels i ett aktuellt fall, dels i ett normfall enligt SBN 1975. Exemplet är baserat på ett källarlöst 1-plans friliggande småhus beläget i mellansverige (zon III) med yttermåtten 10,0 x 13,1 m, area hos fönster och dörrar är 28 m² och ytterväggstjockleken är 0,25 m.

Tabell 4 visar att det högre k-värdet för yttervägg och den stora fönsterarean kompenseras av lägre k-värden för övriga delar.

Exemplet i tabell 5 visar att den tillåtna luftläckningen vid 50 Pa genom de enskilda byggnadsdelarna summerat motsvarar drygt 0,4 oms/h. Planverket har i Kommentarer till Svensk Byggnorm 1977:3 som riktvärde vid tryckprovning av den färdiga byggnaden angivit 3,0 oms/h. Luftläckning genom otätheter i anslutning mellan olika byggnadsdelar p g a inverkan av arbetsutförande m m kan således anses få uppgå till ca 2,6 oms/h.

Tabell 2

Tabell 33:21 Högsta tillåten värmegenomgångskoefficient (k-värde), $W/m^2 \text{ } ^\circ C$, för byggnadsdel till rum som avses att uppvärmas till mer än $+ 18^\circ C$

Byggnadsdel		Krav enligt 211 i temperaturzoner enl. fig. 33:21		Gränsvärden enligt 212 i temperaturzoner enl. fig. 33:21	
Grupp	Beskrivning	I+II	III+IV	I+II	III+IV
1	2	3	4	5	6
1	Vägg direkt mot det fria eller genom jord mot det fria	0,25	0,30	0,50	0,60
2	Tak resp vindbjälklag jämte ovanförliggande yttertak mot det fria	0,17	0,20	0,50	0,60
3	Golvbjälklag mot det fria	0,17	0,20	0,35	0,40
4	Golvbjälklag mot slutet utrymme med ventilationsöppningar som inte överstiger $0,20 \text{ m}^2$ per 100 m^2 bjälklagsarea	0,30	0,30	0,40	0,45
5	Golvkonstruktion på jord (se :247)	0,30	0,30	0,40	0,40
6	Fönster och dörr mot det fria				
6.1	Ej glasförsedd del av dörr (inklusive karm)	1,00	1,00	1,50	1,50
6.2	Fönster samt fönster i dörr (inklusive båge och karm) ^a	2,00	2,00	3,00 ^b	3,00 ^b
7	Vägg och bjälklag mot förråd i kallare eller annat i viss mån uppvärmt utrymme med temperatur som kan understiga $+ 10^\circ C$ men inte $0^\circ C$	0,50	0,50	-	-
8	Vägg och bjälklag mot trapphus, rum i kallare eller annat uppvärmt utrymme med temperatur som kan understiga $+ 18^\circ C$ men inte $+ 10^\circ C$	1,00	1,00	-	-

Tabell 3

Tabell 33:3 Högsta godtagna luftläckning, $m^3/m^2 \text{ h}$

Byggnadsdel	Tryckskillnad Pa	Byggnad med höjd i våningar		
		1 - 2	3 - 8	> 8
Vägg mot det fria	50	0,4	0,2	0,2
Fönster och dörr mot det fria (avser tätheten hos springan mellan karm och fönsterbåge resp. dörrblad)	50	1,7	1,7	1,7
	300	5,6	5,6	5,6
	500	-	-	7,9
Tak mot det fria samt bjälklag mot det fria eller mot ventilerat utrymme	50	0,2	0,1	0,1

TABELL 4

EXEMPEL PÅ TRANSMISSIONSFÖRLUSTER GENOM BYGGNADSDELARNA I ETT AKTUELLT FALL OCH ENLIGT SVENSK BYGGNORM, SBN 1975 FÖR ETT ENBOSTADSHUS.

BYGGNADSDDEL	AKTUELL			NORMFALL		
	A (m ²)	k-VÄRDE (W/m ² ·°C)	A·k (W/°C)	A _N (m ²)	k _N (W/m ² ·°C)	A _N ·k _N (W/°C)
YTTERVÄGG	83	0,35 ¹⁾	29,1	91	0,30	27,3
TAK	120	0,16	19,2	120	0,20	24,0
GOLV	120	0,6 ^{x)} ·0,28	20,2	120	0,6·0,30	21,6
YTTERDÖRRAR	4	0,90	3,6	4	1	4,0
FÖNSTER	24 ²⁾	1,80	43,2	20	2	40,0
			Σ 115,3 ³⁾			Σ 116,9

YT TRE VÅNINGSYTA: 131 m²

x) REDUKTION FÖR KRYPRUMSGRUNDLÄGGNING

1) VÄRDET >0,30 W/m²°C (SE TABELL 2)

2) >15% AV YT TRE VÅNINGSYTA

3) VÄRDET ÄR GODTAGBART, EFTERSOM TRANSMISSIONSFÖRLUSTERNA ÄR LÄGRE ÄN VID NORMFALLET

TABELL 5

TILLÅTEN LUFTLÄCKNING, L, GENOM BYGGNADSDELARNA VID 50 Pa ENLIGT SVENSK BYGGNORM, SBN 1975 FÖR ETT ENBOSTADSHUS.

BYGGNADSDDEL	A (m ²)	L (m ³ /m ² h)	A·L (m ³ /h)
YTTERVÄGG	83	0,4	33,2
TAK	120	0,2	24,0
GOLV	120	0,2	24,0
YTTERDÖRRAR	4	1,7	6,8
FÖNSTER	24	1,7	40,8
			Σ 128,8 (ca 0,4 OMS/h)

BYGGNADENS VOLYM: 300 m³

I Kommentarer till Svensk Byggnorm 1977:3, Energiushållning mm, ges följande riktlinjer vad gäller lufttätethos bostadshus vid tryckprovning av den färdiga byggnaden vid 50 Pa:

Friliggande småhus samt kedjehus	3,0 oms/h
Övriga bostadshus med högst 2 våningar	2,0 oms/h
Bostadshus med 3 eller flera våningar	1,0 oms/h

I SBN 1975 avsnitt 36:4 anges vissa krav på ventilation i en bostad vid normaldrift innebärande att för en lägenhet i sin helhet skall en luftväxling av lägst 0,35 l/s per kvadratmeter lägenhetsyta kunna erhållas. Detta motsvarar en luftomsättning av 0,5 oms/h.

5.2 Provning och kontroll

En naturlig följd av de höga krav som ställs på en konstruktion ur värmeförlustsynpunkt är att mätning, provning och kontroll blir väsentliga förutsättningar för att säkerställa en riktig funktion.

I SBN 1975 kap 33:5, utgåva 3, står bl a

"Värmeisolerande byggnadsdelar utförs och monteras enligt fastställda handlingar och under tillsyn av den ansvarige arbetsledaren. Det ankommer på den ansvarige arbetsledaren att genom avsyning av isolering och fogar m m i konstruktionen kontrollera att arbetsutförandet är tillfredsställande. Kontroll av lufttätethos färdig konstruktion utförs genom stickprov. Särskild kontroll av värmeisolering och lufttätethos färdig konstruktion utförs i övrigt när tveksamhet råder om tillfredsställande utförande åstadkommits och byggnadsnämnden finner anledning föreskriva sådan kontroll..."

Beträffande provning av lufttätethet hos färdig byggnad sägs följande i Kommentarer till Svensk Byggnorm 1977:3

"Provning av tätheten hos den färdiga byggnaden utförs på stickprovsmässigt utvald lägenhet, småhusenhet (motsvarande) enligt 33:5.

För sådan täthetsmätning av den färdiga byggnaden bör följande principer tillämpas.

- Provningen utförs lämpligen före inflyttning eller ianspråktagande av aktuell byggnad enligt provningsmetod som fastställts av Statens provningsanstalt (SP metod 1977:1).
- Provningen utförs av sakkunnig person, som godtas av byggnadsnämnd. Denne lämnar skriftligt intyg över provningsresultat till den byggande, med kopia till den ansvarige arbetsledaren. Kopia tillställs byggnadsnämnden direkt.
- Den byggande bör upplysas av byggnadsnämnden i ett tidigt stadium av byggskedet om att stickprovsmässig kontroll av färdig byggnad erfordras för aktuellt byggprojekt."

Vidare sägs följande betr. särskild kontroll av lufttätethet och värmeisolering.

"Särskild kontroll av värmeisolering eller lufttätethet utförs då det finns anledning misstänka att tillfredsställande utförande beträffande värmeisoleringsförmåga eller täthet inte åstadkommits. En sådan anledning kan vara att vid den ordinarie täthetsprovningen enligt ovan tillfredsställande resultat inte erhållits; utökad provning, utöver vad som utsprungligen avsetts, kan då påfordras av byggnadsnämnden.

En annan anledning kan vara att isolering eller täthet vid besiktning befunnits mindre väl utförda.

Särskild provning av lufttättheten utförs med metod och i övrigt på sätt som enligt den ordinarie täthetsprovningen enligt ovan.

Luftläckor kan spåras med värmekamera.

Särskild kontroll av värmeisolering kan utföras på ettdera av följande sätt.

- a) Bedömning av värmeisoleringens utförande genom termografering med värmekamera
- b) Uppmätning av värmeisoleringsförmågan i aktuella snitt genom värmemotståndsmätning
- c) Isärtagning av konstruktionen i aktuella snitt och okulär kontroll av värmeisoleringens utförande."

6 PROVNINGSMETODER

6.1 Principen för provningsmetoder

Undersökningar och provningar kan utföras såväl i fält som i laboratorium, på byggnader eller byggnadsdelar.

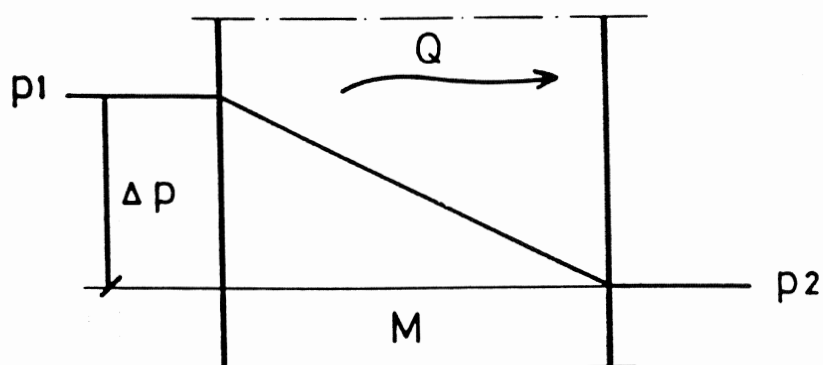
På laboratoriet provas byggnadsdelar, komponenter och material. Väggelement, bjälklagselement, fönster och dörr provas vad gäller täthet och värmemotstånd i klimatsimulatorer. Provningar på material görs av värmeisoleringsförmåga, luftgenomsläpplighet m m.

Fältprovningar i befintliga byggnader omfattar de olika faktorer som påverkar byggnadens värmebalans. På värmeisoleringsidan innebär detta undersökning av isolerutförandet och värmemotståndet. På ventilationssidan undersöks förekomsten av otätheter, bestäms lufthastigheter och luftväxlingar.

Möjligheterna att kombinera laboratorieprovningar och fältprovningar är i många fall en nödvändighet för att bestämma delarna i en byggnads energiförbrukning. I vissa fall tillämpas väletablerade provningsrutiner men i många fall måste nya sådana tas fram genom forskning och utveckling.

Den allmänna principen för provningsmetoder framgår av FIG 9. En potentialskillnad Δp som kan vara temperaturskillnad, tryckskillnad eller skillnad i fukthalt ger ett flöde Q genom materialet eller konstruktionen. Om Δp och Q mätes kan materialegenskapen M beräknas. M kan vara värmemotstånd, luftströmningsmotstånd eller fukt-motstånd.

PRINCIP



GRUNDLÄGGANDE SAMBAND: $Q = \frac{\Delta p}{M}$

POTENTIALSKILLNAD	FLÖDE	MOTSTÅND
TEMPERATURSKILLNAD	VÄRMEFLÖDE	VÄRMEMOTSTÅND
TRYCKSKILLNAD	VÄTSKEFLÖDE	STRÖMNINGSMOTSTÅND
-"-	LUFTFLÖDE	-"-
FUKTHALTSKILLNAD	FUKTFLÖDE	"FUKTMOTSTÅND"

Fig 9 Grundläggande samband och principer för provningsmetoder

6.2 Metoder och hjälpmedel vid kontroll av byggnaders isoler- och täthetsutförande

Brister i byggnadens värmeisolering och täthet kan uppmärksammas genom onormalt höga uppvärmningskostnader och känsla av drag speciellt vid blåsig och kall väderlek, ytkondens m m.

Provning och kontroll kan ske i olika steg och omfattning beroende på vad man önskar veta och med vilken noggrannhet man vill ha mätresultatet.

I det följande visas hur några av de storheter som påverkar energiförlusterna och inomhusklimatet i en byggnad kan verifieras. I anslutning till respektive metod anges fördelar och begränsningar som metoden har.

Metoderna har prövats i samband med våra undersökningar. Enkla hjälpmedel har använts i kombination med mera komplicerade metoder.

A Yttemperaturmätning

1. Termografering

Instrument	IR-kamera
Mätonoggrannhet	$\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ eller $\pm 10\%$ av uppmätt temperaturdifferens
Princip	Registrerar termisk strålning inom våglängdsområdet 2,0-5,6 μm . Mäter och avbildar indirekt temperaturfördelning i en yta.
Metod	Genom avbildning och kartläggning av yttemperaturfördelningen bedöma värmemotståndsfördelningen och isoler- och täthetsutförandet (Svensk Standard SIS 330601).
Användningsområde	Färdiga byggnader (alla typer). Byggnadsdelar, rogar och anslutningar.

Fördelar

Metoden är snabb och ger en överskådlig bild av temperaturfördelningen hos temperaturstrålningen från ett större ytparti.

Mätning på svåråtkomliga ställen är möjlig.

Vid mätningen förekommer ej störande kontakt mellan mätinstrument och mätobjekt.

En bild av konstruktionens isoler- och täthetsutförande erhålles.

Med hjälp av IR-kameran kan man lokalisera och kartlägga isolerfel, luftläckage och köldbryggor hos konstruktionen. Metoden ger värdefullt underlag vid bedömning av förbättringsåtgärd samt är pedagogisk i samband med information och erfarenhetsåterföring.

Begränsningar

Metoden är kvalitativ och mäter ej läckagemängder eller värmemotstånd.

Mätmetoden ställer vissa krav på temperatur och tryckförhållanden över konstruktionen. Undersökningen begränsas till uppvärmningssäsongen.

I metoden ingår bedömningsmoment som kräver kompetent och erfaren mätpersonal.

Anmärkning

Utmärkt komplement vid tryckmätning och värmeflödesmätning. Se även avsnitt 8.

2. Yttermometer

Instrument	Snabbtermometer. Elektriska instrument med termoelement eller motståndsgivare.
Mättonoggrannhet	$\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ i området ± 0 - $+30^{\circ}\text{C}$.
Princip	Instrumentet (givaren) sätts i kontakt med mätytan varvid temperaturen uppmätes i en viss mätpunkt.

Metod	Genom uppmätning och kartläggning av yttemperaturen grovt bedöma värmemotstånd samt isoler- och täthetsutförande.
Användningsområde	Byggnadsdelar, fogar och anslutningar.

Fördelar

Mätning sker i vissa bestämda punkter där ytans verkliga temperatur bestämmas. Partier med nedsatt värmesoleringsförmåga kan lokaliseras. Metoden är relativt enkel. Relativt billig utrustning.

Begränsningar

Tidsödande att lokalisera isolerfel och luftläckage i ett helt hus.

Yttemperaturfältet kan störas vid mätningen p g a kontakt mellan givare och mätyta. Metoden kräver vissa temperatur- och tryckförhållanden. Normalt kan endast grova isoler- och täthetsfel upptäckas. Ger normalt begränsat underlag vid bedömning av förbättringsåtgärd.

3. Infrarödkänsligt instrument

Instrument	Strålningspyrometer
Mätområde	-20°C - +60°C och uppåt
Mätonoggrannhet	± 1°C i området ± 0 - +30°C
Princip	Mäter den termiska strålningen som avges från ytan. Utslaget beror på objektets emissivitet och temperatur.
Metod	Genom uppmätning av yttemperaturen grovt bedöma värmemotstånd samt isoler- och täthetsutförande.
Användningsområde	Byggnadsdelar, fogar och anslutningar.

Fördelar

Mätning sker i vissa "punkter" där ytans temperatur kan bestämmas.

Mätning på ett visst ytparti, flera mätpunkter, kan ske från en mätposition. Ingen störande kontakt mellan instrument och mätyta.

Mätning på svåråtkomliga ställen är möjlig.

Ytpartier med kraftigt nedsatt isoleringsförmåga kan lokaliseras.

Begränsningar

Föga noggrant vid absolut temperaturbestämning. I vissa fall opålitligt. Hänsyn måste tas till ytans strålningsegenskaper.

Kräver vissa temperatur- och tryckförhållanden. Normalt kan endast grova isoler- och täthetsfel upptäckas.

Ger normalt begränsat underlag vid bedömning av förbättringsåtgärd.

B Bestämning av värmemotstånd eller k-värde

1. Instrument	Värmeflödesmätare, temperaturmätare samt registreringsutrustning
Mätonoggrannhet	± 10 % av uppmätt värde
Princip	Mäter värmeflödet genom konstruktionen.
Metod	Värmemotståndet bestäms genom samtidig uppmätning av temperaturskillnad över och värmeflöde (endimensionellt) genom konstruktionen vid stationära förhållanden. (Metoden ej färdigutvecklad för fältbruk).
Användningsområde	Byggnaddelar

Fördelar

Mätningen ger värden på konstruktionens värmemotstånd eller k-värde i vissa ytpartier. Relativt hög mätnoggrannhet. Ger visst underlag vid bedömning av förbättringsåtgärd.

Begränsningar

Mätningen ställer speciella krav på mätförhållandena. Mätvärden erhålles endast vid begränsade ytpartier. Mätning kan endast ske på partier där endimensionellt värmefflöde råder. Tidskrävande att utföra mätning i en hel byggnad. Ej lämplig att använda vid lokalisering av isolerfel och luftläckage.

Anmärkning

Vid kompletterande mätning genom termografering erhålles en kartläggning av partier med nedsatt värmeisoleringsförmåga. Termografering kan utnyttjas för rätt placering av mätpunkterna samt för rätt viktning av mätresultatet. Se även avsnitt 10.

2. Instrument	Mobil varm låda (Hot-box), temperaturmätare samt registreringsutrustning
Mätnoggrannhet	$\pm 10 \%$ av uppmätt värde
Princip	Mäter värmefflödet q genom en konstruktion över ett större ytparti som kan innehålla s k köldbryggor. Den varma lådan anbringas med sin öppna sida mot mätytan. Temperaturen i lådan regleras så att den blir lika som utanför. Tillförd effekt passerar därvid genom provytan.

Metod Värmemotståndet bestäms genom samtidig uppmätning av yttemperaturskillnad över och värmefflöde genom konstruktionen vid temperaturjämvikt. (Metoden ej färdigutvecklad för fältbruk).

Användningsområde Byggnadsdelar, elementskarvar.

Fördelar

Mätningen ger kvantitativt värde på konstruktionens värmemotstånd eller k-värde hos ett visst ytparti som kan innehålla s k köldbryggor. Ger visst underlag vid bedömning av förbättringsåtgärd.

Begränsningar

Mätningen ställer speciella krav på mätförhållandena. Tidsödande att utföra mätning i ett helt hus. Ej lämplig vid lokalisering av isolerfel och luftläckage.

Anmärkning

Se även avsnitt 10.

C Provning och kontroll av byggnaders lufttätthet

1. Spårgasmetoden

Instrument	Gasanalysator
Mättonoggrannhet	-
Princip	Antalet luftväxlingar per tidsenhet i en lokal (byggnad) bestäms genom uppmätning av variation hos spårgasens koncentration med tiden.
Metod	Genom att bestämma ventilationsgraden i byggnaden vid olika betingelser bedöma täthetsutförandet. (Metoden är ej färdigutvecklad för fältbruk).
Användningsområde	Färdig byggnad (definierade volymer).

Fördelar

Mätningen ger värden på byggnadens ventilationsgrad vid aktuella betingelser.

Begränsningar

Metoden är relativt tidskrävande. Ger ingen uppgift om läckagepunkter. Mätningen är ett resultat av samverkan mellan byggnadens otätheter och den vädersituation som råder vid mättillfället. Luftrörelser i konstruktionen kan ej verifieras. Ej lämplig som rutinmetod vid kvalitetskontroll av byggnadens lufttäthet. Långsam vid täta hus. Relativt komplicerad mätapparat. Ger bristfälligt underlag vid bedömning av förbättringsåtgärd.

2. Tryckmetoden

Instrument	Varvtalsreglerad fläkt med mät-rör för mätning av luftflöde.
Mätonoggrannhet	+ 10 % av uppmätt värde
Princip	Bestämning av luftflödet vid ett tryckfall av 50 Pa över konstruktionen. Antalet luftomsättningar bestäms.
Metod	Genom bestämning av luftflödet genom byggnadens omslutningsytor vid 50 Pa bedöma dess täthet.
Användningsområde	Färdig byggnad (definierade, ej för stora volymer).

Fördelar

Enkel apparatur vid mindre volymer (<700 m³). Metoden är snabb och entydig och ger ett värde på byggnadens lufttäthet vid påfört tryck. Mätningen är normalt oberoende av väderlek vid mättillfället. Metoden är lämplig att använda vid t ex kvalitetskontroll av byggnaders lufttäthet, jämförelser mellan byggnader samt normkrav.

Begränsningar

Mätningen ger ej uppgift om verklig luftläckning vid normala driftsförhållanden. Mätningen anger ej var luftläckage förekommer. Luftrörelser i konstruktionen kan ej upptäckas. Vid stora volymer krävs skrymmande apparatur. Ger bristfälligt underlag vid bedömning av förbättringsåtgärd.

Anmärkning

Komplettering genom termografering eller andra metoder ger kartläggning av läckagepunkter. Se även avsnitt 9.2.

3. Lufthastighetsmätning

Instrument	Lufthastighetsmätare typ varmtrådsanemometer.
Mätoslaggrannhet	$\pm 0,2$ m/s i området 0,2-10 m/s
Princip	Varmtrådsanemometern använder luftens avkylning av en uppvärmd tråd som uttryck för hastigheten. Mätning sker vid konstruktionens yta där ev luftrörelser indikerar luftläckning genom konstruktionen.
Metod	Genom uppmätning av lufthastighet vid konstruktionens yta bedöma täthetsutförandet.
Användningsområde	Fogar, elementskarvar, anslutningar vid takfot, bjälklag, fönster m m.

Fördelar

Mätningen ger värden på luftrörelser vid läckageställe och i vistelsezon. Genomgående otätheter hos konstruktionen kan upptäckas. Läckageställen kan lokaliseras. Instrumentet är lätt att hantera.

Begränsningar

Tidsödande att lokalisera luftläckage i en hel byggnad. Mätningen ger ej uppgift om läckagemängder. Luftrörelser i konstruktionen kan ej upptäckas. Viss tryckdifferens över konstruktionen krävs (5-10 Pa). Ger normalt bristfälligt underlag vid bedömning av förbättringsåtgärd.

4. Rökgas

Instrument	Rökgaspistol
Princip	Genom att iakttaga rörelser hos rökpuffar indikera rörelse. Vid läckagesökning i byggnader iakttagas visuellt rökens rörelser vid konstruktionens yta. Eventuella rökrörelser indikerar luftläckning genom konstruktionen.
Metod	Genom att iakttaga rökens rörelser bedöma täthetsutförandet.
Användningsområde	Fogar, elementskarvar, bjälklagsanslutningar.

Fördelar

Genomgående otätheter hos konstruktionen kan upptäckas. En bild av luftrörelserna vid läckagestället erhålles. Rökgasen ger information om luftens strömningsriktning och ungefärliga hastighet i rummet. Kan ge information om läckagevägar.

Begränsningar

Tidskrävande att lokalisera felställen. Ger ej värden på luftläckagemängder. Resultatet beroende av tryckfall över konstruktionen. Rökgasen kan vara besvärande. Ger normalt begränsat underlag vid bedömning av förbättringsåtgärd.

5. Såpbubblemetoden

Instrument	-
Mätonoggrannhet	-
Princip	Såpvatten strykes på konstruktionens yta varvid ev bubblor indikerar läckageställen.
Metod	Genom att iakttaga ev såpbubblor bedöma täthetsutförandet i byggnaden.
Användningsområde	Elementskarvar, fogar och anslutningar.

Fördelar

Genomgående otätheter hos konstruktionen kan upptäckas. Ger indikation på läckageställen. God åskådlighet.

Nackdelar

Tidskrävande att lokalisera läckageställen. Kräver tryckfall över konstruktionen. Föga lämplig att använda i färdiga byggnader. Ger normalt begränsat underlag vid bedömning av förbättringsåtgärd.

D Undersökning av isoler- och täthetsutförande
genom isärtagning och okulärbesiktning

Instrument	Diverse verktyg och måttstock.
Princip	Konstruktionen frilägges och isoler- och täthetsutförandet kontrolleras visuellt. Uppmätning av isolertjocklekar, springor och spalter.
Metod	Genom friläggning av vissa partier och okulärbesiktning bedöma värmemotstånd och isoler- och täthetsutförandet. Ritningsgranskning bör utföras samtidigt.
Användningsområde	Byggnadsdelar, fogar, anslutningar m m.

Fördelar

Metoden kan direkt visa om isolerings- eller tätningmaterial saknas eller är bristfälligt tillpassat. Kan tillämpas där misstanke om skada eller fel föreligger. Kan ge värdefullt underlag vid bedömning av förbättringsåtgärd.

Nackdelar

Svårt att se utfyllnadsgrad hos material i bakomliggande skikt ev veck mellan materialskikt el mot angränsningsytor m m.

Luftläckagevägar kan vara svåra att upptäcka vid okulärbesiktning. Eventuella brister kan döljas av intilliggande material. Förstörande metod som kan vara tidsödande och kostnadskrävande. Ej lämplig som rutinmetod.

Anmärkning

Kan användas som komplement till termografering för att klarlägga förhållanden. Grova fel och brister kan i vissa fall upptäckas med handen eller genom smutsavsättning på ytan.

6.3 Rekommendationer vid fältprovning

I tabell 7 visas en sammanställning över de egenskaper som kan vara önskvärda att prova i en byggnad ur isoler- och täthetssynpunkt och olika metoder och instrument som kan användas. För varje metod bedöms lämpligheten med en siffra 0, 1 eller 2, där 0 står för olämplig, 1 för mindre lämplig (kan dock ge en bild av egenskapen ifråga) och 2 för lämplig.

På isolersidan anges egenskaperna värmemotstånd och isolerutförande. Med det senare menas utfyllnad och tillpassning av isolermaterial samt förekomst av köldbryggor.

På ventilationssidan anges egenskaperna lufttäthet, täthetsutförande, ventilationsgrad och luftrörelser (konvektion) i konstruktionen. Med lufttäthet menas bestämning av byggnadens lufttäthet (otäthetsfaktor) enligt tryckmetoden. Täthetsutförandet omfattar funktion hos tätskikt, tätningar samt förekomst av luftläckage. Med ventilationsgrad menas antal luftväxlingar per tidsenhet i byggnaden.

För rumsklimatet har medtagits luftrörelser hos rumsluft, ytemperatur och lufttemperatur.

Fältprovningen av en byggnad kan få olika omfattning beroende på hur mycket man önskar veta, i vilket skede provningen företas och med vilken noggrannhet man vill ha slutresultatet. Fältprovningar bör alltid föregås av en granskning av ritningar för kontroll av konstruktiv utformning och av känsliga detaljer. Om fältprovning skall användas för att bedöma energiförbrukning i byggnaden kombineras den i regel med en energibalansberäkning.

TABELL 7

FÄLTPROVNINGAR I BYGGNADER. METODER (INSTRUMENT).

EGEN- SKAPER	TER- MO- GRAF	YT-(LUFT) TEMP MÄTN	STRÄLN PYRO- METER	VFL-MÄTN LÄDMETOD	ALT	TRYCK- MET	SPÄR- GAS	LUFT- HAST- MÄT	RÖK- GAS	SÅP- BUBBLE- MET	RITN- GRANSK- NING	ISÄR- TAGNING
VÄRME- MOTSTÅND	1	1	1	2	-	-	-	-	-	-	1	1
ISOLERINGS- UTFÖRANDE	2	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	2
LUFT- TÄTHET (ENL SBN)	1	-	-	-	-	2	0	0	0	-	0	0
TÄTHETS- UTFÖRANDE	2	0	0	-	-	1	1	1	1	1	-	1
VENTILA- TIONSGRAD	-	-	-	-	-	0	2	0	0	-	-	-
LUFTRÖREL- SER I KONSTRUKT	2	1	1	-	-	0	-	1	0	-	0	0
LUFTRÖREL- SER HOS RUMSLUFT	-	-	-	-	-	-	-	2	1	-	-	-
YTTEMP	2	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LUFTTEMP	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

2 LÄMPLIG (REKOMMENDERAS)

1 MINDRE LÄMPLIG (KAN GE EN BILD AV EGENSKAPEN IFRÅGA)

0 OLÄMPLIG

- EJ ANVÄNDBAR

Man kan dela in provning av färdig byggnad i olika nivåer. Den första, grövre nivån (1) ger en översiktlig bedömning av misstänkta fel vid en byggnads kritiska punkter. Provning och kontroll vid denna nivå kännetecknas av relativt enkla hjälpmedel och ett enkelt förfarande.

Enligt vår bedömning kan nivå 1 omfatta mätningar med yttemperaturmätare, lufthastighetsmätare och ev rök-gas i syfte att kontrollera förhållanden vid vissa kritiska punkter i byggnaden. Dessa resultat kan sedan medföra att ytterligare provningar behöver utföras enligt nivå 2 för att närmare klarlägga förhållandena och bedöma inverkan av eventuella fel och brister, samt vilka åtgärder som bör vidtagas.

Nivå 2 är mera noggrann och kan användas vid kontroll av byggnadens värmeisolering och lufttäthet. Provnings-ningen skall klarlägga vilka förhållanden som råder, påvisa funktion eller bestämma egenskapernas storlek. Provningsnivån innebär mera komplicerade metoder och mera omfattande bedömningar. Nivån omfattar metoderna termografering, täthetsmätning enligt tryckmetoden och bestämning av värmemotstånd. Här erhåller man normalt tillräckligt underlag för att bedöma vilka åtgärder som bör göras.

En tredje nivå (3) innebär mätning och bedömning av inverkan av fel och brister på byggnadens energiförbrukning. Nivån omfattar förutom metoderna i nivå 2 även spårgasmätning för kontroll av ventilationsförlusterna. Resultatet av denna mätning kan jämföras med energibalansberäkningen utgående från bl a ritningsunderlaget. Resultatet av mätningen visar vidare hur olika byggnadsdelar och hur eventuella fel inverkar på byggnadens värmebalans.

Vid kontroll i nyproduktion finns krav på byggnadens värmeisolering och lufttätthet som skall uppfyllas. Vid grupphusbebyggelse är det angeläget att utföra provning och kontroll i ett så tidigt skede som möjligt, t ex i de första färdigställda husen/lägenheterna. Därigenom kan man förhindra systematiska fel vid den fortsatta byggnationen. Följande arbetsgång är lämplig för ett gruppområde bestående av 50-100 hus/lägenheter. Antal provade enheter beräknas omfatta 15-30% av totala antalet.

Vid första mättillfället termograferas och täthetsprovas 2-3 av de först färdigställda husen. Härfter kan åtgärder vidtagas i den följande byggnationen.

Nästa provning utföres när ca hälften av husen är färdiga. Då termograferas och täthetsprovas några hus och då kontrolleras också eventuella åtgärder i de första husen. Provningsen här kan vara mera stickprovsmässig till sin natur.

Den sista provningen utföres när hela området är klart och innebär termografering och täthetsprovning i ett antal (5-10) hus. Eventuellt kan kontrollen utföras stickprovsmässigt i kritiska punkter i flera hus.

Provningsen enligt denna modell omfattar 3-5 arbetsdagar för en fältprovningsgrupp. Provningsen kan, vad gäller lufttätthet, utföras året runt. Termografering utföres under eldningssäsongen (sept/okt-mars/april). En sammanställning över de olika provningsnivåerna ges i tabell 8.

FIG 10 visar exempel på omfattning av provning fördelad på de tre provningsstegen i ett gruppbebyggt område om 74 hus.

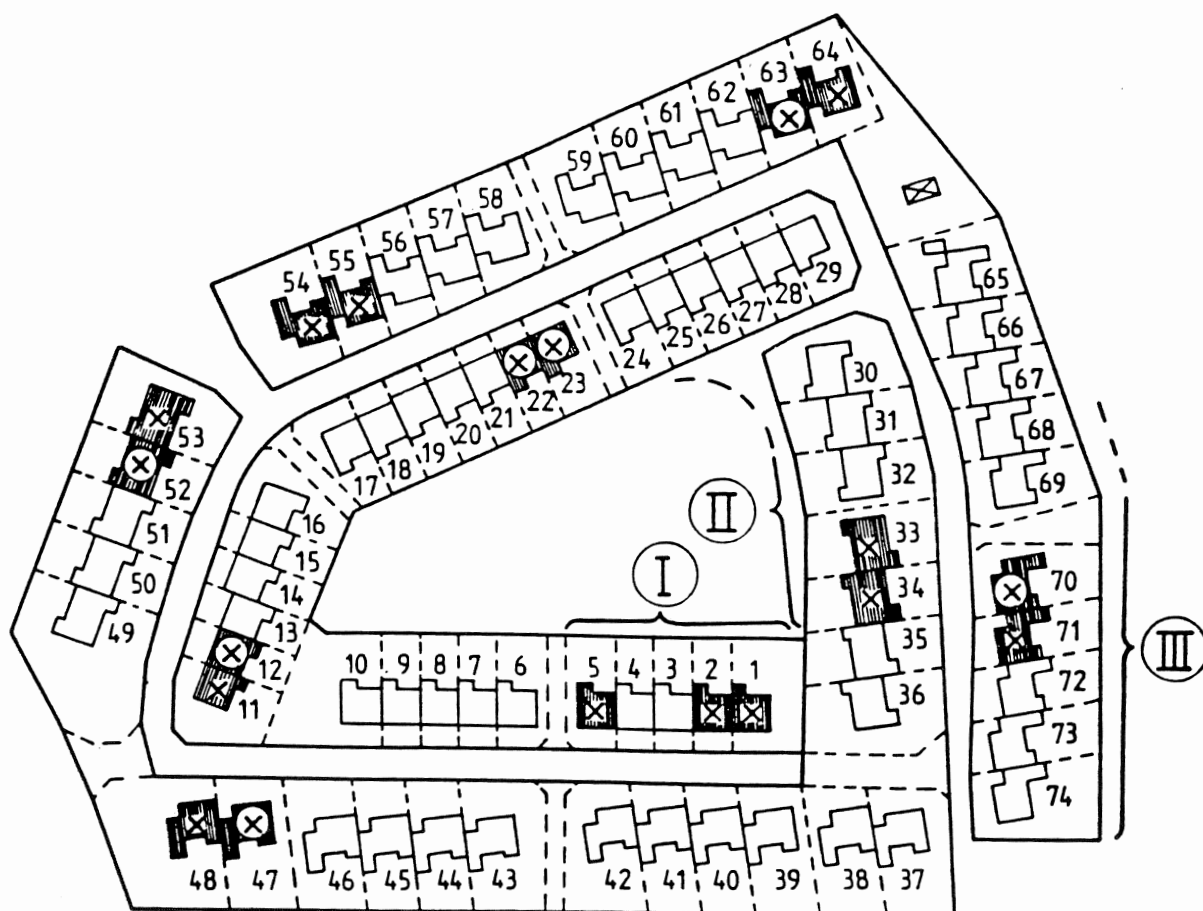


Fig 10 Situationsplan över ett gruppbebyggt område med 74 enbostadshus. Exempel på omfattning av provning fördelad på tre olika steg under byggnationen. Steg I (de fem första husen färdigställda) steg II (halva antalet hus färdigställda) och steg III (alla hus färdigställda) har markerats i figuren. De hus som undersöks har markerats enligt följande

- × termografering och tryckprovning (fullständig provning)
- ⊗ termografering och tryckprovning (stichtprovsmässig provning)

Erfarenheter från våra mätningar har visat att brister (fel i isoler- och täthetsutförandet) ofta är av systematisk karaktär och återkommer med stor regelbundenhet vid vissa typer av konstruktioner, material samt vid vissa arbetsmetoder.

Vissa konstruktionsdelar är mera utsatta för misslyckanden än andra. Sådana utsatta delar är bjälklags- och takfotsanslutningar, vissa isolerade bjälklags- och snedtakspartier samt fogar mellan olika byggnadsdelar.

FIG 11 visar en skiss av ett småhus med de kritiska punkterna markerade. FIG 12 visar motsvarande för ett flerbostadshus. Vid undersökning enligt nivå 1 bör kontrollen i första hand inriktas på dessa kritiska punkter.

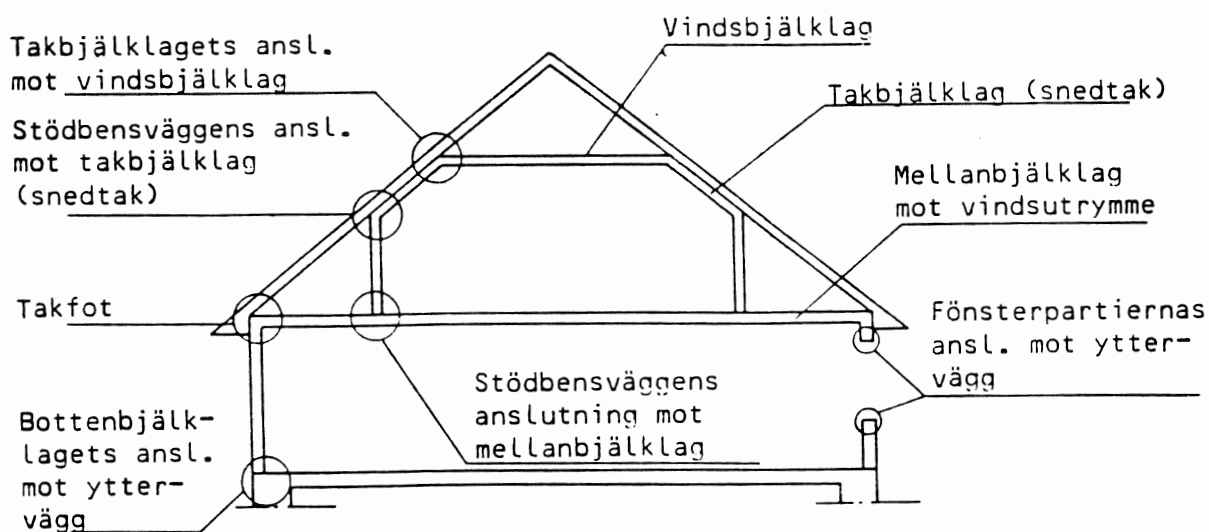


Fig 11 Skiss av enbostadshus (1 1/2-plan) med de ur värmeisolerings- och täthetssynpunkt känsliga konstruktionsdelarna

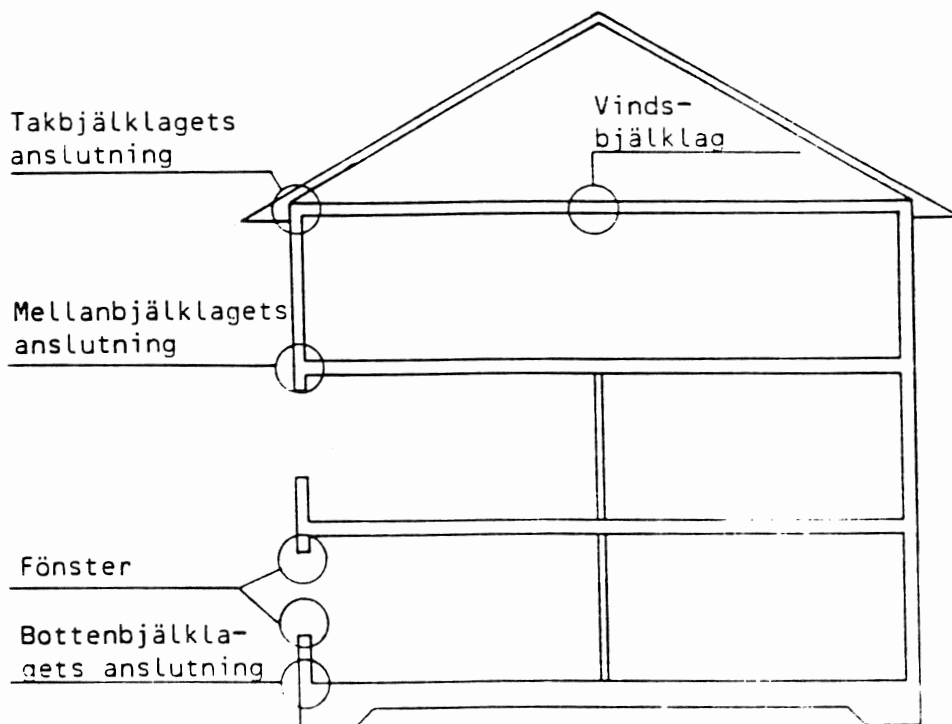


Fig 12 Skiss av enbostadshus (1 1/2-plan) med de ur värmeisolerings- och täthetssynpunkt känsliga konstruktionsdelarna

7 SPECIALLA FÄLTMETODER

I det följande behandlas speciella fältmetoder som knyter an till Svensk Byggnorm SBN 1975 (se avsnitt 5.2) eller är av primärt intresse vid fältprovning i byggnader, nämligen

- termografering av byggnader
- metoder för bestämning av byggnaders lufttäthet med tryckmetoden
- metod för bestämning av antalet luftväxlingar med spårgasmetoden
- metod för bestämning av värmemotstånd hos byggnadsdelar i fält

Föreliggande delrapport behandlar primärt termograferingsmetoden och tryckmetoden, då arbetet i första hand har inriktats på att göra dessa metoder användbara för praktiskt bruk. För fullständighetens skull lämnas även kortfattade beskrivningar av metod för bestämning av värmemotstånd i fält och spårgasmätning.

Resultat från undersökningar av byggnaders isoler- och täthetsutförande genom termografering har tidigare redovisats i en byggforskningsrapport /1/.

I denna rapport behandlas bl a metodens användbarhet och tillförlitlighet vid fältmätningar. Rapporten redovisar genom praktikfall ett omfattande underlag beträffande byggnaders isoler- och täthetsutförande.

I följande avsnitt redogörs för det arbete som avser precisering av metoden och utarbetande av metoden till Svensk Standard samt utarbetande av regler för auktorisation för termografering av byggnader.

För tryckmetoden redogörs för arbete avseende utveckling och precisering av metod och mätapparat. Resultat från ett antal mätningar ger underlag för bedömning av byggnaders lufttäthet.

Metod för bestämning av värmemotstånd i fält håller på att utvecklas och apparatur och metodik kommer att preciseras senare.

8 TERMOGRAFERING AV BYGGNADER

Termografering av byggnader har under senare tid blivit en alltmer använd metod för kontroll av byggnaders värmeisoleringsförmåga.

Kravet på metodens användbarhet och tillförlitlighet har skärpts genom att den rekommenderas i Svensk Byggnorm. Det är viktigt att strikta och enhetliga riktlinjer ges, så att de nödvändiga förutsättningarna för en riktig användning av metoden skapas.

8.1 Principen för termografering

Termografering med IR-kamera innebär avbildning och bestämning av temperaturfördelningen (den termiska strålningsfördelningen) i en yta. Ojämheter i värmemotstånd hos en uppvärmd byggnads omslutande delar resulterar i temperaturvariationer utefter dessa delars ytor. En bild av värmeinflödesfördelningen i en byggnadsdel kan man få genom att bestämma temperaturfördelningen i byggnadsdelens yta (se avsnitt 4). Även otätheter som medför luftströmning i eller genom byggnadsdelen kan påverka yttemperaturen. Termografering kan därför nyttjas för lokalisering av partier med nedsatt värmeisoleringsförmåga och luftläckning i byggnadens klimatskärm.

Sammanfattningsvis kan sägas att termografering av byggnader innebär följande

- att med hjälp av IR-kameran bestämma yttemperaturfördelningen hos en byggnadsdel
- att bedöma om denna yttemperaturfördelning är onormal, d v s om den är orsakad av nedsatt värmeisoleringsförmåga och/eller luftläckning
- att bedöma art och omfattning hos sådana avvikelser

Termografering med IR-kamera är kvalitativ och ger inget direkt värde på läckagemängder. Metoden innehåller bedömningsmoment som ställer speciella krav på mätpersonalens kompetens.

Vid termografering ställs vissa krav på mätbetingelserna.

8.2 Mätbetingelser och mätsäsong vid termografering

Vid termografering av byggnader måste lufttemperaturskillnaden över konstruktionen vara tillräckligt stor för att ge upptäckbara yttemperaturvariationer av intresse. Undersökningar och beräkningar har visat att under ett dygn före termograferingen och så länge den pågår skall lufttemperaturfallet över byggnadsdelen vara minst 10°C . Under samma tid bör lufttemperaturfallet inte variera mera än $\pm 30\%$ av temperaturfallet vid termograferingens början. Under termograferingen bör lufttemperaturen ej variera mer än $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Under minst ett halvt dygn före termograferingen och så länge den pågår får inget solljus av betydelse för mätningen falla på byggnadsdelen.

Temperaturdifferensen 10°C och variationen hos lufttemperaturdifferensen $\pm 30\%$, har valts så att en minsta reducering på 30-35 % av väggens totala värmemotstånd skall kunna upptäckas med IR-kameran vid idag vanliga konstruktioner.

Enligt statistik från SMHI på medelvärden av max- och min-temperaturer för varje dygn under resp månad januari-december, har mätsäsongens längd uppskattats för svenska förhållanden. Vid en inomhustemperatur av $+20^{\circ}\text{C}$ kan, med hänsyn till dessa krav, termografering utföras under följande perioder.

Kiruna	mitten av september-mitten av maj (ca 8 månader)
Stockholm	början av oktober-slutet av april (ca 6,5 månader)
Lund	mitten av oktober-mitten av april (ca 6 månader)

Vid en förhöjning av inomhustemperaturen kan mätsäsongen naturligtvis förlängas. Solens inverkan, som kan variera starkt såväl i tid som rum, har ej beaktats vid denna uppskattning.

Vid termografering i syfte att enbart lokalisera luftläckning i byggnader, kan kravet på mätbetingelserna vara lägre. En temperaturskillnad på ca 5°C är därvid normalt tillräcklig. Vid sådana mätningar behöver kravet på en variation hos temperaturdifferensen på högst $\pm 30\%$ ej vara uppfyllt. Kravet på tryckskillnad över konstruktionen är emellertid nödvändig. En tryckskillnad på 5-10 Pa är i regel tillräcklig. Läcksökning med IR-kamera bör utföras från insidan av byggnaden och vid invändigt undertryck. Nyttjandetider för sådana undersökningar är avsevärt längre än ovan angivna perioder.

8.3 Svensk Standard

För att skapa förutsättningar för en enhetlig och riktig tillämpning av termograferingsmetoden har SP medverkat till att den utarbetats till Svensk Standard. Arbetet som påbörjades hösten 1976, har skett inom Byggstandardiseringsens ram i kommittéen TK 92.

Standardiseringsarbetet pågick till hösten 1977 då metoden "Termografering av byggnader fastställdes till Svensk Standard med beteckning SIS 02 42 10. I standarden definieras bl a instrument och användningsområde samt de krav på mätbetingelser som skall vara uppfyllda vid termografering av byggnader. Vidare behandlas regler för tolkning och bedömning av termogram. I standarden påpekas att metoden är kvalitativ och att det vid kvantifiering av resultaten krävs kompletterande mätningar.

Som tidigare påpekats behöver kraven vid enbart luftläcksökning med IR-kamera ej vara så stränga som de som anges i standarden. Man skulle kunna indela undersökning med IR-kamera i två metoder - en noggrannare och en grövre - enligt följande:

- A. Termografering i syfte att undersöka isoler- och täthetsutförandet i byggnader enligt Svensk Standard SIS 02 42 10.
- B. Undersökning med IR-kamera i syfte att lokalisera enbart luftläckning i byggnadens klimatskärm. Grundvillkoren är här tillräckligt stora temperatur- och tryckdifferenser för att upptäcka luftläckning genom konstruktionen

Det bör påpekas att standarden är frivillig och att termografering i praktiken kommer att användas vid olika typer av uppdrag, t ex följande.

1. Vid särskild kontroll av byggnaders lufttätthet och värmeisolering i enlighet med de riktlinjer som anges i Kommentarer till Svensk Byggnorm 1977:3.
2. Föranledd av påfordran i kontraktshandlingar eller dylikt.
3. Vid rättsliga tvister mellan köpare och säljare av en byggnad.

4. Vid uppföljning av isoler- och täthetsutförandet under byggskedet (företagets egenkontroll). Detaljkontroller. Kontroll av vidtagna förbättringsåtgärder m m.
5. Lokalisering av enbart luftläckage, t ex i kombination med tryckmätningar.
6. Vid äldre byggnader där förbättringsåtgärder skall vidtagas i samband med kravet på god energihushållning och vid ombyggnad.

Termografering enligt Svensk Standard bör primärt tillämpas vid 1, 2 och 3. Avsteg från standarden kan naturligtvis göras, t ex vid speciella mätningar enligt 4, 5 och 6.

8.4 Arbete inom Nordtest och ISO

Termografering har också introducerats i andra länder, där intresset för metoden har visat sig vara stort. I de nordiska länderna har termograferingsmetoden varit ute på remiss och förslag har framförts att anta den Svenska Standarden som Nordtest-metod.

Vid ett ISO-möte i Stockholm i april 1976 framfördes förslag att utarbeta termograferingsmetoden till internationell standard. Metoden och principen för termografering skulle därvid klarläggas, krav på mätbetingelser preciseras och regler för tolkning och bedömning av termogram utarbetas med hänsyn till förhållandena i andra länder.

I en arbetsgrupp för termograferingsmetoden ingår deltagare från Canada, Frankrike, Italien, Sverige, Tyskland, USA och Österrike. Sekretariatet för denna arbetsgrupp har Sverige. Arbetsgruppen har utarbetat förslag till internationell standard, där den Svenska Standarden utgör grunden. Förslaget presenterades vid ISO-möte i Colorado Springs, oktober 1978.

8.5 Auktorisation för termografering av byggnader

Vid termografering krävs som tidigare påpekats särskild kompetens hos mätpersonalen. Metoden innehåller bedömningsmoment, som ställer speciella krav på kunskap och erfarenhet inom områdena byggnadsteknik, byggnadsfysik, VVS-teknik och aktuell mätteknik. I samband med termografering kan det även visa sig nödvändigt med kompletterande undersökningar för att kvantitativt bestämma värmemotstånd hos byggnadsdel och byggnadens lufttäthet.

För att bli skapade förutsättningar för riktig tillämpning av termograferingsmetoden, har Statens provningsanstalt utarbetat regler för auktorisation för termografering av byggnader. Arbetet påbörjades i början av 1977. Under hösten 1977 preciserades och fastslogs föreskrifter och anvisningar för auktoriserad provplats (APP) för termografering av byggnader.

Provningsanstalten erbjuder företag verksamma med termografering att ansöka om att bli auktoriserad provplats (APP) för termografering av byggnader.

Regler för auktorisation innebär bl a att auktorisation endast får ges om företaget har kompetent personal och lämplig utrustning för provningen. Auktorisationen är frivillig.

Auktorisationsordningen avses kunna öka tilliten till metoden och underlätta och öka användningen av termografering vid provning och kontroll av byggnaders isoler- och täthetsutförande. Detta är av speciell vikt då metoden rekommenderas i Svensk Byggnorm vid läcksökning och särskild kontroll av byggnaders värmeisolering.

8.5.1 Krav för auktorisation

Det företag som önskar bli auktoriserat för termografering av byggnader måste uppfylla vissa krav vad gäller personal och utrustning. Den eller de personer inom företaget som utför termografering skall ha följande meriter

- kunskaper inom området byggnadsteknik på lägst gymnasienivå eller motsvarande
- deltagit i av SP godkänd kurs i termografering med godkänt slutprov
- minst tre års lämplig praktisk verksamhet inom husbyggnadsområdet som konstruktör, kontrollant eller motsvarande
- minst sex månaders praktisk erfarenhet från termograferingsverksamhet

Vidare skall företaget förfoga över IR-kamera med viss erforderlig kringutrustning. Utrustningen skall regelbundet genomgå service och kalibrering.

När företaget erhållit auktorisation gäller vidare vissa regler för verksamheten bl a i fråga om utförande av uppdrag.

Den exakta utformningen av auktorisationsreglerna återfinns i Statens provningsanstalts författningssamling SPFS 1978:2 "Föreskrifter för auktoriserad provplats för termografering av byggnader".

8.5.2 Utbildning

Auktorisation ställer krav på utbildning och kursverksamhet. Härför har SP tillsammans med bl a Bygginfo utarbetat en kurs med målsättning att utbilda mätledare för termografering vid APP. Kursens mål är att ge erforderliga kunskaper inom de aktuella områdena med tillämpning för termografering.

Kursen behandlar bl a IR-teknik, byggnadsfysikaliska grunder och tillämpningar, husbyggnadsteknik samt mätmetodik med såväl teoretiska som praktiska övningar inlagda. Två kurser har hållits under 1978.

8.5.3 Tillsyn av APP

SP har enligt de grundläggande reglerna för auktorisationens ordning att utöva tillsyn över verksamheten vid APP.

SP bedriver tillsynen dels genom direkt kontroll av de olika APP:s verksamhet, dels genom att på olika sätt stödja APP. Detta kommer att ske i huvudsak på följande sätt

- APP skall årligen lämna en verksamhetsberättelse till SP
- SP besöker APP och förvissar sig om att verksamheten bedrivs på ett tillfredsställande sätt. Bl a kommer resultatet av utförda termograferingar att granskas stickprovvis. SP kan även utföra fullständig termografering av byggnad som termograferats av APP om så anses erforderligt.

- SP kommer att aktivt arbeta för att de som utför termografering vidmakthåller sin kompetens bl a genom seminarier för erfarenhetsåterföring.
- SP står till tjänst med råd och anvisningar åt APP.
- SP utarbetar informationsmaterial som ställs till APP:s förfogande.

SP lämnar även upplysningar om auktorisationssystemet åt den som önskar anlita APP.

9 BESTÄMNING AV BYGGNADERS LUFTTÄTHET

För närvarande används den s k tryckmetoden för bestämning av byggnaders lufttäthet och spårgasmetoden för bestämning av ventilationsgraden i en byggnad. Vid spårgasmetoden bestäms antalet luftväxlingar vid rådande vädersituation varför resultatet kan variera kraftigt vid olika mätsituationer. Vid tryckmetoden bestäms byggnadens lufttäthet vid påfört tryck och resultatet är därvid normalt oberoende av vädersituationen.

9.1 Spårgasmetoden

9.1.1 Principen för spårgasmätning

Mätningen har tidigare gjorts med spårgasmetoden för att bestämma den ej önskade (ofrivilliga) ventilationen i en byggnad. Metoden används främst för att bestämma antalet luftväxlingar i byggnaden (eller delar av byggnaden) med definierade volymer.

Metoden innebär att en viss mängd spårgas utsläpps i det rum (el byggnad) där ventilationsgraden skall bestämmas. Spårgasen uppblandas med rumsluften och gaskoncentrationens variation med tiden utgör ett mått på ventilationsgraden som beror på byggnadens lufttäthet vid gällande tryck- och temperaturförhållande. Resultatet är således beroende av klimatförhållandet vid mättillfället.

Följande samband gäller

$$n = \frac{1}{t} \cdot \ln \frac{c_0}{c} \quad \dots(9.1)$$

där n = antalet luftomsättningar per tidsenhet, h^{-1}

t = mättiden, h

c_0 = gaskoncentrationen vid mätningens början, ppm

c = gaskoncentrationen vid mätningens slut, ppm

FIG 13 visar hur gaskoncentrationen kan variera med tiden vid spårgasmätning.

Som spårgas har använts lustgas (N_2O) som visat sig ha lämpliga egenskaper för sådana mätningar. För registrering av gaskoncentrationen används en gasanalysator.

9.1.2 Resultat från spårgasmätningar

De mätningar som har utförts enligt spårgasmetoden är i huvudsak momentanvärden på ventilationsgraden i byggnaden vid vissa mätbetingelser. Enstaka värden från sådana mätningar ger ett alltför bristfälligt underlag för bedömning eller beräkning rörande luftläckningsbeteendet vid olika mätbetingelser under en hel uppvärmningssäsong. Kontinuerliga mätningar under en längre tid kan ge medelvärden på ventilationsförlusterna i en byggnad.

I samband med våra undersökningar har ett antal spårgasmätningar utförts. Syftet har varit att undersöka dels klimatberoendet hos metoden dels korrelationen mellan resultat erhållna med spårgasmetoden och tryckmetoden. Värdena indikerar emellertid stora variationer i resultat erhållna på samma objekt vid olika mätbetingelser.

De mätningar som hittills är utförda är alltför begränsade för att göra bedömningar rörande sambandet mellan metoderna. Detta gäller även andra presenterade resultat. Vid LTH och CTH har t ex en del jämförande mätningar utförts i syfte att undersöka dels korrelationen mellan tryckmetoden och spårgasmetoden, dels reproducerbarheten hos metoden. Vissa resultat visas i FIG 14 och 15.

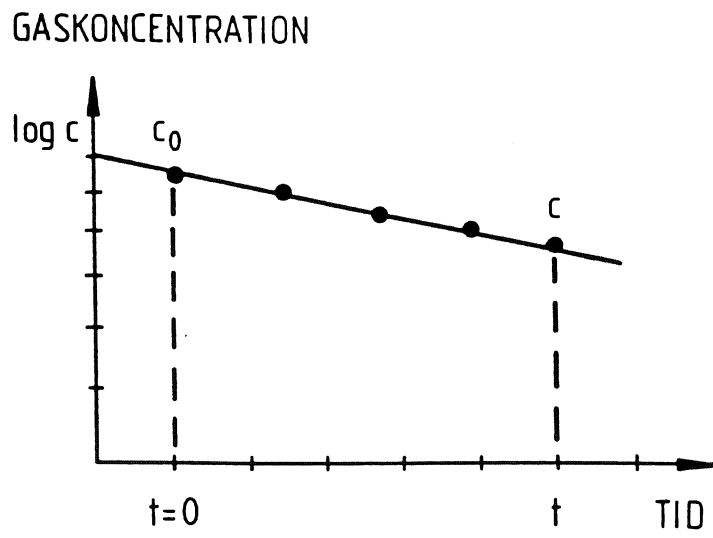
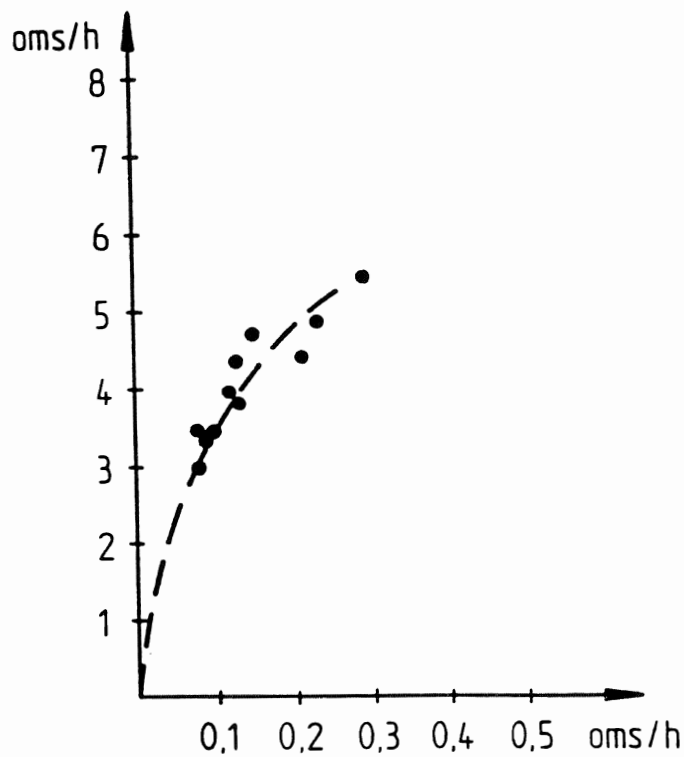


Fig 13 Gaskoncentrationens variation med tiden

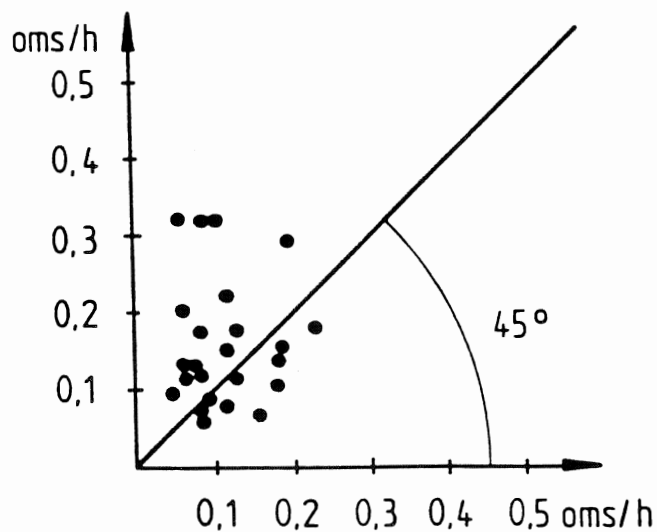
LUFTOMSÄTTNING VID 50 Pa



NATURLIG LUFTOMSÄTTNING

Fig 14 Jämförelse mellan täthet vid 50 Pa och ej önskad ventilation (ventilationsöppningarna tejpade) uppmätt enligt spårgasmetoden. /4/

MÄTTILLFÄLLE I



MÄTTILLFÄLLE II

Fig 15 Jämförelse mellan luftomsättningar (ej önskad ventilation) uppmätta enligt spårgasmetoden vid två olika tillfällena. Linjen representerar samma resultat vid mätillfälle I och II. /4/

Det finns ett stort behov av att kunna fortsätta med spårgasmetoden och göra mätningar av luftomsättningar i byggnader för att närmare analysera förhållandena. Målsättningarna med de fortsatta mätningarna bör då främst vara följande

- undersökning av korrelationen mellan metoderna spårgasmetoden och tryckmetoden.
- hur inverkar kravet på byggnadens lufttätethet på luftväxlingar i olika rum i byggnaden samt i hela byggnaden.

9.2 Tryckmetoden

9.2.1 Principen för tryckmetoden

Bestämning av byggnaders lufttätethet utförs normalt medelst s k "tryckmetoden". Metoden används för att bestämma lufttätetheten hos byggnaders (eller del av byggnaders) omslutningsytor. I första hand avses byggnader för bostäder.

Metoden innebär att byggnaden sätts under över- eller undertryck med hjälp av en fläkt. Därvid uppmäts det tillförda eller bortförda luftflödet Q som åtgår för att upprätthålla viss tryckskillnad, Δp , över byggnadens yttre begränsningsytor. Luftflödet blir härvid ett mått på byggnadens lufttätethet vid påfört tryck. Resultatet är normalt oberoende av klimatförhållandet vid mättillfället. Normalt skiljer sig luftflödena vid över- resp undertryck åt. Detta kan bero på att vissa tätningar fungerar olika beroende på tryckgradientens riktning, utåtgående fönster har t ex normalt större läckage vid invändigt övertryck än vid undertryck. Det kan också bero på att de naturliga tryckskillnaderna orsakar läckage som ej blir uppmätta vid provningen. Genom att bilda medelvärden av flödena erhåller man emellertid ett för byggnaden entydigt värde. Byggnadens lufttätethet bestäms normalt som antalet luftomsättningar per tidsenhet n .

Fördelen med tryckmetoden är att mätproceduren är snabb och relativt enkel. Mätningen ger primärt ej något mått på den verkliga ventilationen. Metoden är lämplig att använda vid kvalitetskontroll av och jämförelse mellan byggnaders lufttäthet enligt de riktlinjer som anges i Svensk Byggnorm.

Ifrågavarande projekt har primärt inriktats på att utveckla och precisera tryckmetoden för rutinmässig användning i fält. I samband med genomförandet av projektet har ett antal fältmätningar utförts bl a i syfte att undersöka inverkan av olika parametrar såsom vind och temperatur och utveckla lämplig provningsapparat.

9.2.2 Principen för mätning och bestämning av luftflöde

Vid tryckmätning används en fläkt försedd med apparatur och instrument för luftflödesmätning. Normalt används ett mätrör som då är försett med pitotrör eller strypfläns över vilket tryckdifferensen uppmätes. Härvid mäts primärt ett massflöde som sedan omvandlas till ett volymflöde. Ofta finns sambandet mellan tryck- och volymflöde i form av en kalibreringskurva för mätröret ifråga. Kurvan gäller då för viss lufttemperatur och visst lufttryck, d v s viss densitet ρ_k , hos luften.

Sambandet mellan det dynamiska trycket p_d och lufthastigheten v är

$$p_d = \frac{\rho_k v^2}{2} \quad (\text{Pa}) \quad \dots (9.2)$$

där ρ_k = luftens densitet, kg/m^3

Det dynamiska trycket uppmättes med hjälp av mikro-manometer. Luftflödet Q_{avl} avläses normalt i kalibreringsdiagram och bestäms av sambandet

$$Q_{avl} = \text{konst.} \cdot \left(\frac{P_d}{\rho_k}\right)^{1/2} \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad \dots (9.3)$$

Om mätning utförs vid andra förhållanden, d v s vid luftdensiteten ρ_1 , måste den från kalibreringsdiagrammet avlästa luftmängden omräknas

$$Q_{omr} = Q_{avl} \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_1}\right)^{1/2} = Q_{avl} \cdot \left(\frac{T_1}{T_k}\right)^{1/2} \quad \dots (9.4)$$

eftersom luftens densitet kan bestämmas enligt sambandet

$$\rho = \frac{352,9}{T} \quad (\text{kg}/\text{m}^3)$$

Om sambandet 9.3 ges i form av ett funktionssamband med angivna värden på konstanterna insättes aktuellt värde på luftens densitet. I vissa fall bestäms volymflödet direkt vid mätningen.

9.2.3 Temperaturkorrektion

Vid invändigt övertryck passerar utomhusluft med temperaturen T_u mätinstrumentets och uteluft blåses in i byggnaden. Q_{in} bestäms enligt sambandet 9.4. När den inblåsta luften blandas med inneluften kan en volymändring ske på grund av temperaturskillnaden inne och ute. Vid högre inomhustemperatur T_i utvidgas luften och det volymflöde som läcker ut $Q_{ut,läck}$ genom klimatskärmen har en annan temperatur och volym än det uppmätta flödet Q_{in} . $Q_{ut,läck}$, som är det intressanta värdet på byggnadens luftläckningsbeteende, kan erhållas ur

$$Q_{ut,läck} = Q_{in} \cdot \frac{T_i}{T_u} = Q_{avl} \cdot \left(\frac{T_u}{T_k}\right)^{1/2} \cdot \frac{T_i}{T_u} \quad \dots (9.5)$$

Vid invändigt undertryck passerar rumsluften genom mätinstrumentet och det volymflöde som läcker in $Q_{in,läck}$ genom klimatskärmen har alltså en annan temperatur och volymflöde än den uppmätta

$$Q_{in,läck} = Q_{ut} \cdot \frac{T_u}{T_i} = Q_{avl} \left(\frac{T_i}{T_k} \right)^{1/2} \cdot \frac{T_u}{T_i} \quad \dots (9.6)$$

Temperaturkorrektionens inverkan på beräknat medelvärde av luftflödena beskrivs av följande

$$\bar{Q}_{korr} = \frac{\frac{T_i}{T_u} \cdot Q_{in} + \frac{T_u}{T_i} Q_{ut}}{2} \quad \dots (9.7)$$

$$\bar{Q}_{ejkorr} = \frac{Q_{in} + Q_{ut}}{2} \quad \dots (9.8)$$

$$\bar{Q}_{korr} - \bar{Q}_{ejkorr} = \frac{T_i - T_u}{2} \left(\frac{Q_{in}}{T_u} - \frac{Q_{ut}}{T_i} \right) \quad \dots (9.9)$$

FIG 16 visar inverkan av temperaturkorrektion vid de i figuren givna förutsättningarna.

Av diagrammet i FIG 16 framgår att korrektionen har störst inverkan vid $T_u = -10^{\circ}\text{C}$. Om $1000 < Q_{in} < 1400$ är $[\bar{Q}_{korr} - \bar{Q}_{ejkorr}] < 20 \text{ m}^3/\text{h}$ d v s det korrigerade värdet avviker med $< 2\%$ från det ej korrigerade medelvärdet.

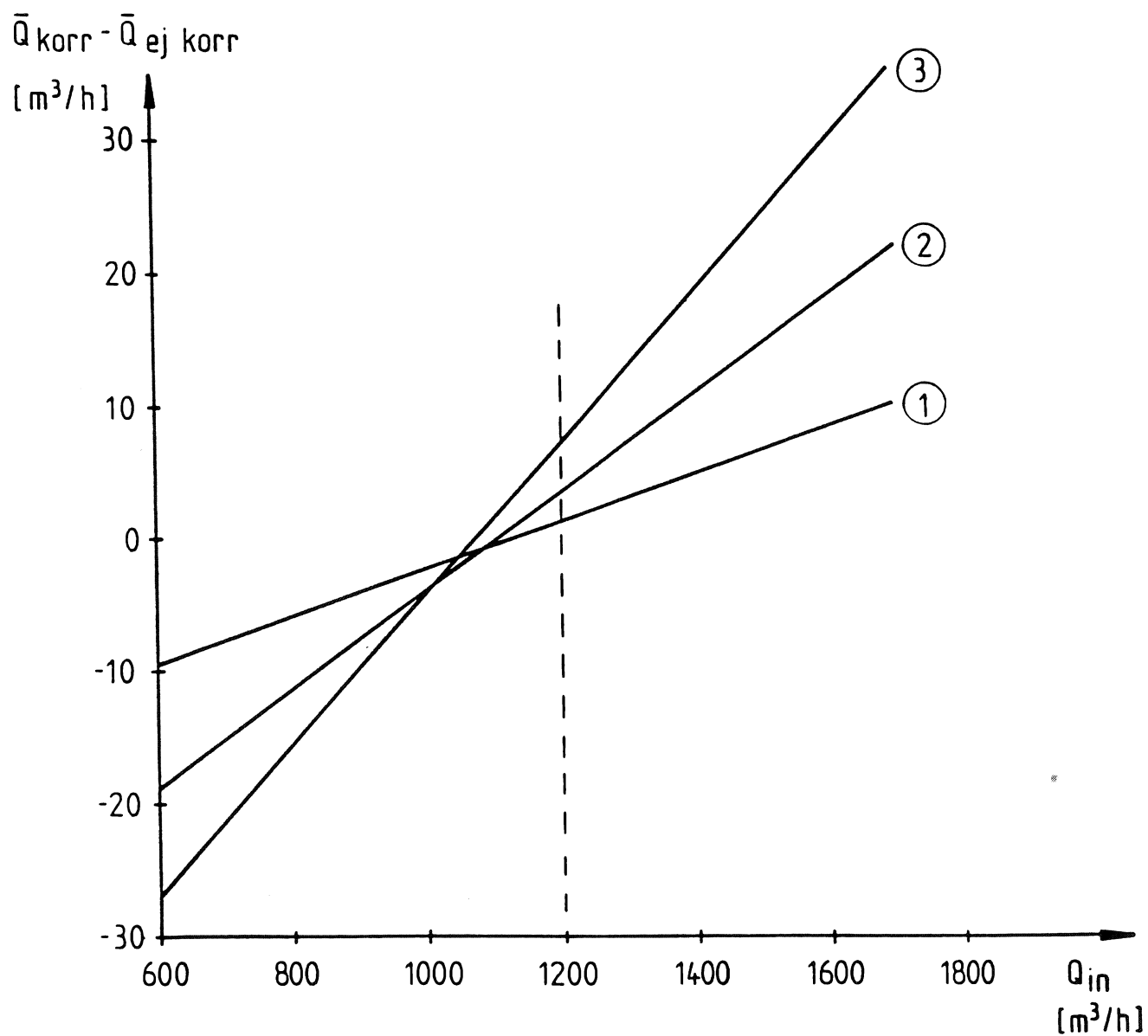


Fig 16 Diagram visande skillnaden i medelvärde hos luftflöden där temperaturkorrektion utförts resp ej utförts. Förutsättningen: $Q_{\text{ut}} = 1200 \text{ m}^3/\text{h}$, $T_i = 293 \text{ K}$ (20°C); 1) $T_u = 283 \text{ K}$; 2) $T_u = 273 \text{ K}$; 3) $T_u = 263 \text{ K}$

9.2.4 Inverkan av temperaturskillnad (inne-ute) samt vind

Såväl temperaturskillnaden mellan inne och ute som vinden påverkar tryckbildningen över klimatskärmen. Dessa tryck kan i varierande grad påverka den uppmätta tryckdifferensen. Detta kan medföra att uppmätta flöden ej är relevanta för tryckdifferensen ifråga.

Vid ett 1-plans småhus (höjd ca 2,5 m) och utetemperaturen $T_u = -10^{\circ}\text{C}$ och innetemperaturen $T_i = +20^{\circ}\text{C}$ blir den termiska drivkraften (enligt ekv 4.17) ca 3 Pa, räknat över hela höjden. Den inverkan medeltryckskillnaden över konstruktionen blir 1,5 Pa. Då resultatet från en tryckprovning är medelvärdet av mätningar utförda vid över- och undertryck kan denna temperaturinverkan normalt försummas i småhusfallet.

Vind mot en byggnad resulterar i ett tryck över klimatskärmen fördelat över byggnadens olika ytor. Det trycket uppmättes normalt ej vid tryckdifferensmätningen.

Luftflödet genom klimatskärmen bestäms enligt tidigare av

$$Q = \alpha \cdot \Delta p^{\beta} \quad (\text{se även FIG 17})$$

En uppskattning av hur fel i tryckdifferensen Δp inverkar på flödet Q kan göras genom differentiering

$$\frac{dQ}{Q} = \beta \cdot \frac{d(\Delta p)}{\Delta p}$$

Flödet vid 50 Pa och vindstilla är

$$Q_{\text{vindstilla}} = \alpha \cdot 50^{\beta}$$

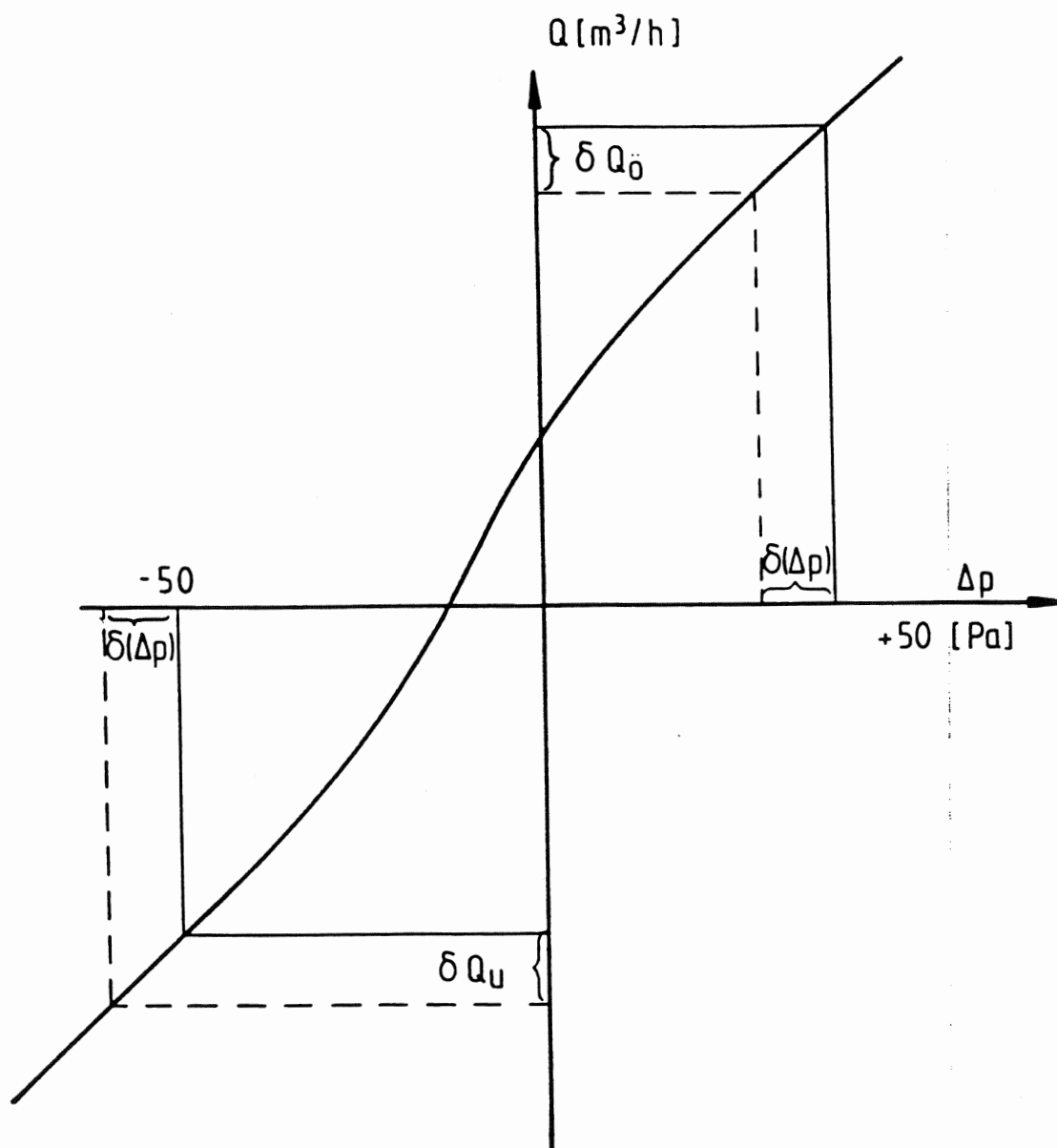


Fig 17 Samband mellan uppmätt tryckskillnad och luftflöde genom byggnadens klimatskärm.

Inverkan av en tryckändring Δp_v , t ex p g a vind, på det beräknade medelvärdet av flödet vid 50 Pa kan förenklat beskrivas av följande. Härvid förutsättes att α respektive β är lika vid över- och undertryck samt att absolutvärdena på flödena betraktas.

$$Q_{\text{vind},\text{ö}} = \alpha (50 - \Delta p_v)^\beta \quad (\text{vid övertryck})$$

$$Q_{\text{vind},\text{u}} = \alpha (50 + \Delta p_v)^\beta \quad (\text{vid undertryck})$$

$$Q_{\text{vindstill},\text{ö}} = Q_{\text{vindstill},\text{u}} = \alpha 50^\beta$$

Detta ger följande

$$\frac{\bar{Q}_{\text{vindstill}} - \bar{Q}_{\text{vind}}}{Q_{\text{vindstill}}} = 1 - \frac{(50 - \Delta p_v)^\beta + (50 + \Delta p_v)^\beta}{2 \cdot 50^\beta}$$

Vid $\beta = 0,5$ erhålles för $\Delta p_v = 30$ Pa en avvikelse på 5 %. Vid en formfaktor av 0,6 svarar detta (enligt ekv 4.15) mot en vindhastighet av 9 m/s.

$\beta = 0,7$ ger på analogt sätt en vindhastighet på mellan 9 och 10 m/s.

9.2.5 Provningsutrustning

Önskemålet beträffande utrustningen vid tryckprovning är bl a att den skall ha tillräcklig kapacitet för de volymer som är aktuella, ha varvtalsreglerad fläkt samt vara enkel att handha. Fläkten bör kunna anslutas till 220 V växelspanning. Flödesmätaren och tryckmätaren skall vara lättavlästa samt ha tillräcklig noggrannhet. Erfarenhet från våra undersökningar har visat att fläkterns kapacitet vid tryckdifferensen 55 Pa bör vara av följande storleksordning

för lägenhet i flerbostadshus: ca 1000 m³/h

för enbostadshus (< 600 m³): ca 2000 m³/h

Fläkt och flödesmätare skall kunna vändas så att mätning kan utföras i båda flödesriktningarna genom byggnadens klimatskärm. Varvtalsregleringen skall kunna utföras med tillräcklig noggrannhet så att avläsning av tryck och flöde kan göras i tillräckligt antal punkter.

Flödesmätare skall finnas för mätning av aktuella luftflöden genom fläkten. I praktiken torde noggrannheten $\pm 10\%$ av uppmätt värde vara tillräcklig. Noggrannheten behöver dock inte vara bättre än $\pm 0,1$ luftomsättningar per timme. Vid flödesmätningen är det viktigt att fläkt och flödesmätaren monteras riktigt så att kravet på minsta raksträcka före mätorgan följs.

Vid våra undersökningar har vi i huvudsak använt fyra olika utrustningar.

1) VEAB Läckagemätare med 100 mm mätrör försett med pitotrör placerat i centrum av mätröret. Flödet genom mätröret uppmäts med hjälp av U-rörsmanometer. Fläkten varvtalsregleras med vridtransformator. Vid ändring av flödesriktning vändes mätrör och fläkt. Kapacitet ca $900 \text{ m}^3/\text{h}$ vid 50 Pa. Ansluts till 220 V AC. Se FIG 18 och 19.

2) VEAB Läckagemätare med 230 mm mätrör, försett med vridbart pitotrör. Flödet genom mätröret uppmäts med hjälp av elektriska mikromanometrar och x/y-skrivare. Fläkten varvtalsregleras med vridtransformator. Vid ändring av flödesriktning vrids pitotröret 180° och fläkten vändes. Kapacitet ca $2000 \text{ m}^3/\text{h}$ vid 50 Pa. Ansluts till 220 V AC. Se FIG 20.

3) VEAB Läckagemätare med 230 mm mätrör försett med vridbart pitotrör. Flödet genom mätröret uppmäts med hjälp av elektriska mikromanometrar och x/y-skrivare. Fläkten varvtalsregleras med vridtransformator. Vid ändring av flödesriktning vrides pitotröret 180° och fläkten vändes. Kapacitet ca $2500 \text{ m}^3/\text{h}$ vid 50 Pa. Ansluts till 220 V AC.

4) Luftflödesmätare med axialfläkt med 320 mm mätrör försett med pitotrör i ett mät kors i centrum av röret. Utrustningen är konstruerad och tillverkad vid provningsanstalten. Flödet uppmäts med hjälp av elektriska mikromanometrar och x/y-skrivare. Fläkten varvtalsregleras med tyristorreglering. Vid ändring av flödesriktning vändes fläkt och mätrör 180° . Mät korset skall alltid vara placerat på fläkstens sug sida. Kapaciteten är ca $3200 \text{ m}^3/\text{h}$ vid 60 Pa. Ansluts till 220 V AC. Se FIG 21 och 22.

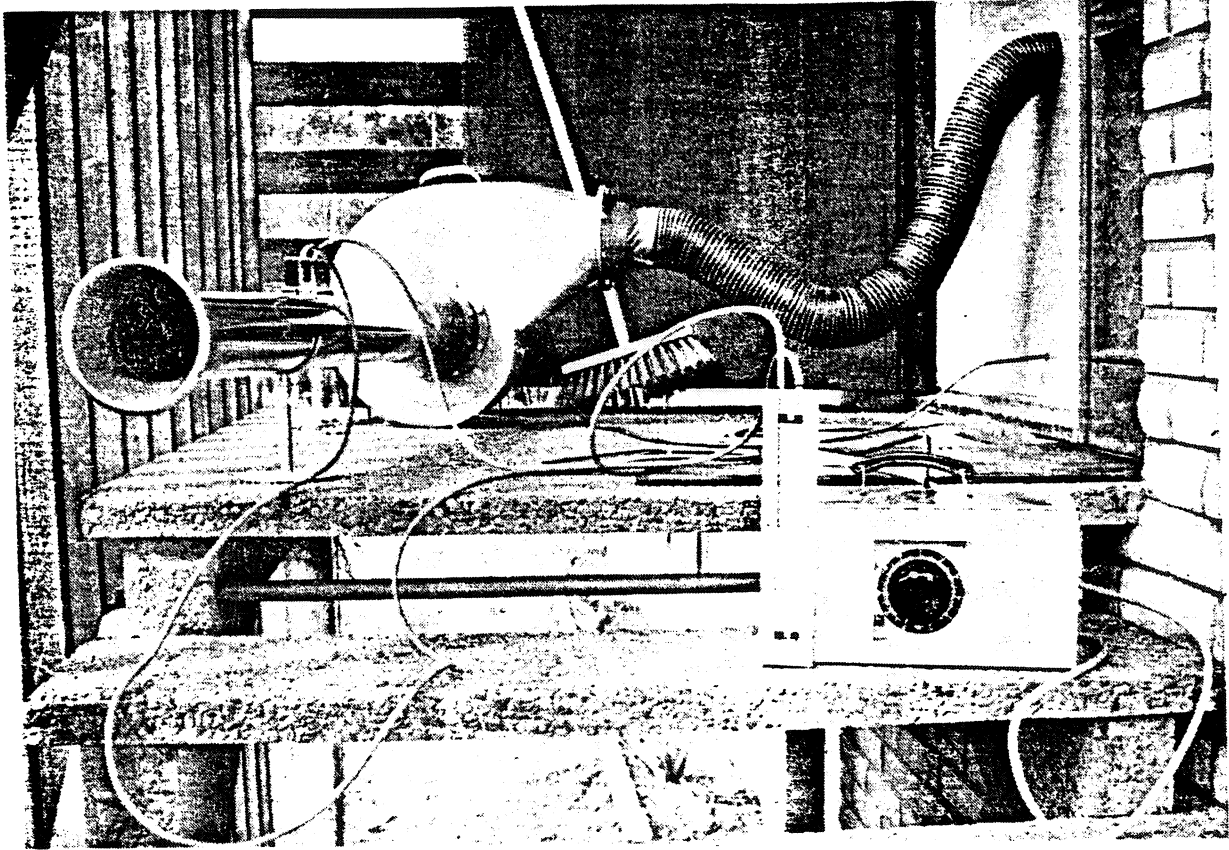


Fig 18 Tryckprovningstrustning av typ VEAB läckagemätare
900 m³/h

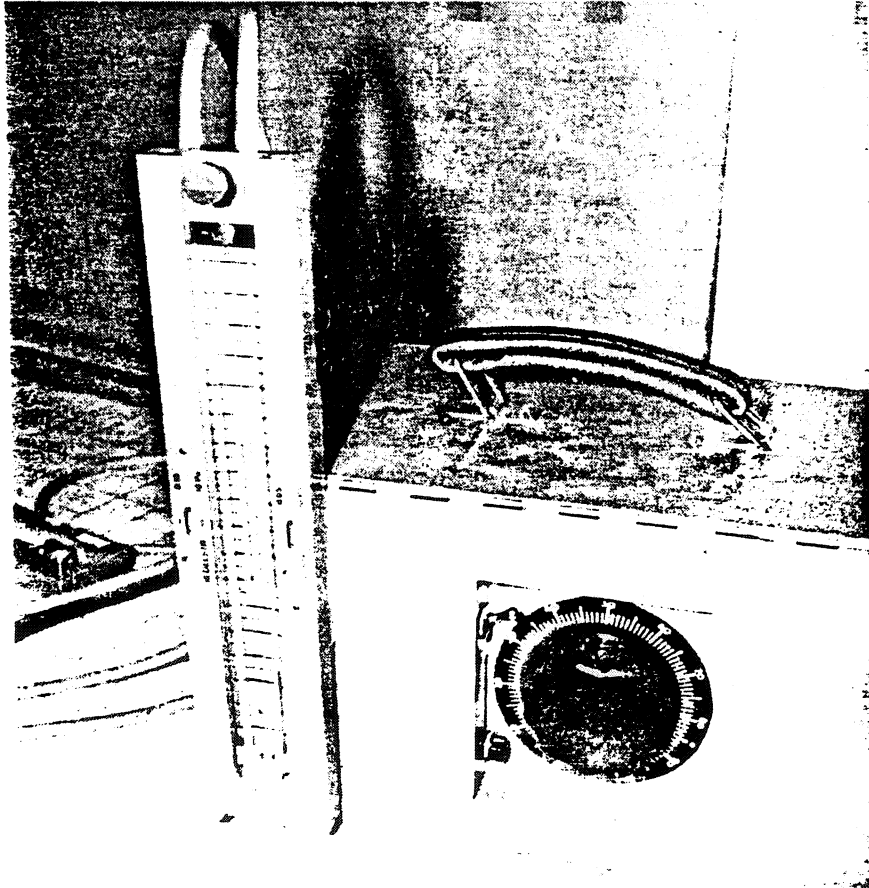


Fig 19 Vridtransformator för varvtalsregle-
ring av fläkt samt U-rörsmåmeter
för tryckmätning

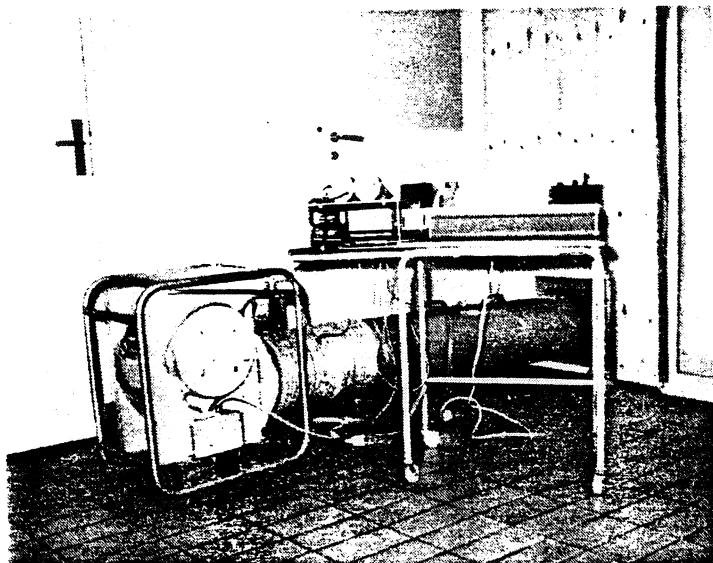


Fig 20 Tryckprovningstrustning av typ VEAB
2000 m³/h med registreringsutrustning.

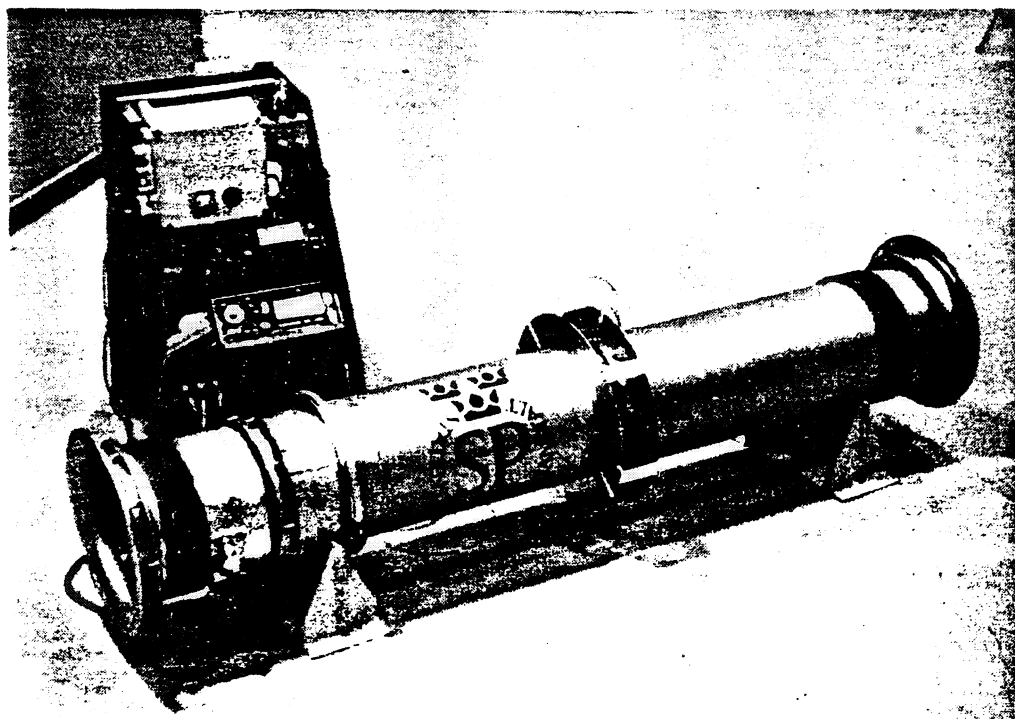


Fig 21 Tryckprovningstrustning tillverkad vid provnings-
anstalten samt registreringsenhet. Mätrör och fläkt-
del utgör en enhet.

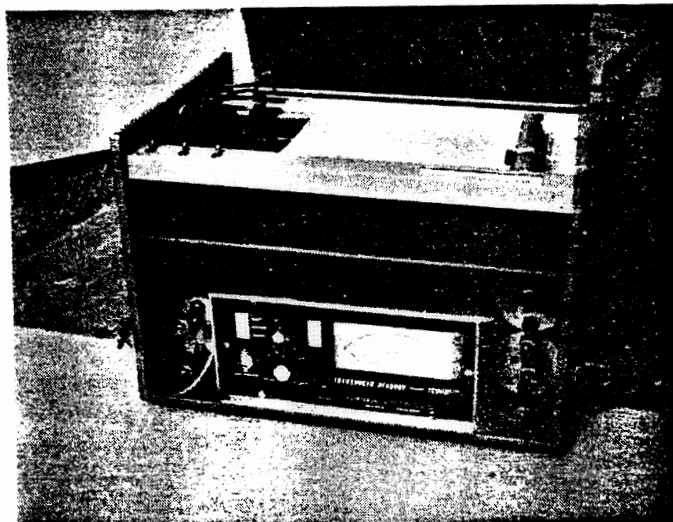


Fig 22 Utrustning för registrering av tryck och flöde. Visaringstrument med tryckgivare och x/y-skrivare.



Fig 23 Fotografi av dämpanordning vid mätning av referenstrycket utomhus.

9.2.6 Provningsbetingelser

Vid tryckprovning bör vindhastigheten enligt avsnitt 9.2.4 ej överstiga ca 10 m/s. Vid byig vind kan besvärande variationer i tryckskillnader och luftflöden erhållas. Härvid kan mättekniska problem uppstå, speciellt om uppmätning görs med U-rörsmanometer. Registrering och uppmätning av tryck och flöde med hjälp av elektrisk mikromanometer och skrivare har visat sig vara fördelaktig från mätnoggrannhetssynpunkt.

Temperaturens inverkan är normalt försumbar på det redovisade medelvärdet. Vid noggranna mätningar bör temperaturkorrektions utföras enligt avsnitt 9.2.3.

Av praktiska skäl kan det vara lämpligt att utetemperaturen ej är lägre än -10°C vid provningen.

9.2.7 Provningsutförande

Vid våra undersökningar har tryckprovningarna utförts med vissa modifieringar enligt förslag till metod "Bestämning av byggnaders lufttäthet", SP MET 1977:1. Metodförslaget har varit på remiss via Nordtest och BST och håller i skrivandets stund på att remissbehandlas. Provning enligt metoden innebär följande.

Enligt metoden provas den volym som räknas till utrymmen som är avsedda att uppvärmas till mer än $+10^{\circ}\text{C}$. Dörrar till pannrum, garage e dyl hålles stängda medan dörrar inom den provade volymen hålles öppna.

Ett ytterdörrblad eller en fönsterbåge utbytes mot en träskiva e dyl som fästes i dörr- resp fönsterkarmen och tätas noggrant med t ex tejp. I träskivan anordnas genomföring av fläktens mätrör och en smal slang. Den smala slangen ansluts till tryckmätaren som mäter tryckskillnaden mellan ute och inne. För enbostadshus kan slangen ute mynna några meter från husvägg i marknivå. Slangen avslutas med T-rör och kan förses med dämpanordning (box med mineralull e dyl). Se FIG 23. Principskiss på mätutrustning monterad för provning visas i FIG 24.

Vid provningen uppmätes minst fyra samhörande värden på tryckdifferens över konstruktionen och luftflöde genom mätrör jämnt fördelade i intervallet 20-55 Pa dels för invändigt övertryck, dels för invändigt undertryck. Vid beräkningen av byggnadens volym används innermått. Avdrag görs för innerväggar och bärlag inom provvolymen men ej för snickerier o dyl.

Före provningen tätas alla ventilationsöppningar, vilket innebär följande

- Tallriksventiler stänges. Frånluftsdon tätas (tejpas).
- Spisfläkt och -kåpa stänges eller tätas.
- Springventiler vid fönster tätas.
- Torrskåp som är direktanslutna till evakueringskanal tätas vid inlopp till kanal.
- Öppen spis tätas i eldstadsöppning eller rökgång.
- Brevinkast tätas.
- Ev icke vattenfyllda vattenlås fylls eller förtejpas.

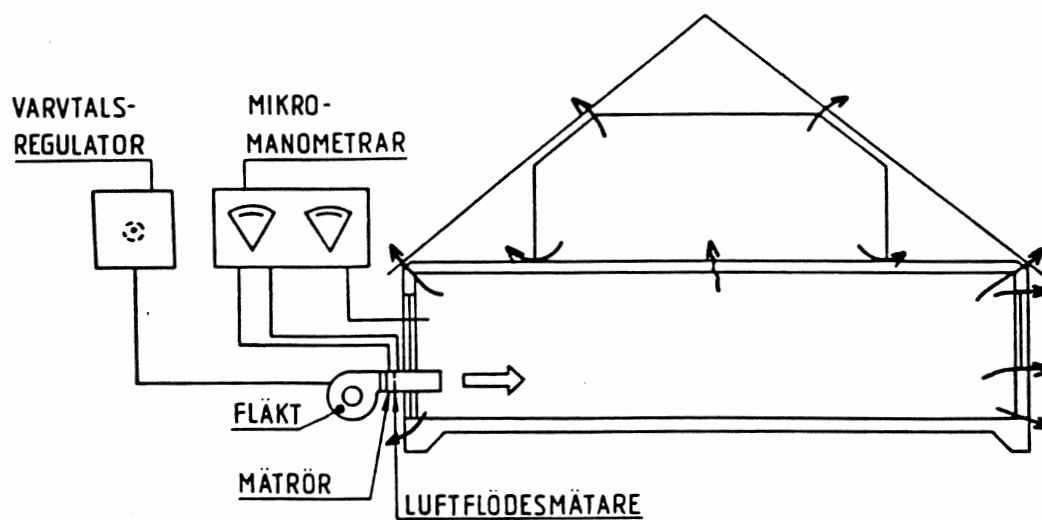


Fig 24 Principskiss för mätutrustning och dess placering vid täthetsprovning.

Vid provningen bestäms och iakttages följande på mätplatsen

- Lufttemperatur utomhus vid mättillfället.
- Vindförhållanden (vindriktning och styrka) vid mättillfället.
- Byggnadens orienterande och omgivande bebyggelse och terräng.
- Tryckdifferensen över byggnadens omslutande ytter- ytor uppmättes med mikromanometer.
- Lufttemperatur inomhus vid mättillfället.
- Byggnadens färdigställandegrad.
- Byggnadens ventilations- och uppvärmningssystem.

9.2.8 Mätresultat

Som mått på tätheten anges normalt medelvärdet av luftflödena vid över- och undertryck vid 50 Pa avlästa ur kurvan. (Se FIG 25).

Rapport från tryckprovning bör innehålla följande

- Byggnadens konstruktionstyp (ex trä-, lättbetong, Platta på mark etc) samt typ av tätningar.
- Byggnadens orientering.
- Lufttemperaturer vid mättillfället.
- Vindförhållanden vid mättillfället.
- Samhörande värden på tryckdifferens över och luftflöden genom konstruktionen (t ex i kurvform) vid såväl över som undertryck.
- Uppgifter om byggnadens volym.
- Medelvärde av luftflöden vid invändigt över- och undertryck vid 50 Pa.
- Medelvärde av antalet luftväxlingar vid invändigt över- och undertryck vid 50 Pa.
- Resultat från kompletterande mätningar t ex i syfte att lokalisera läckagen, bestämma läckagens storlek eller bestämma den naturliga ventilationen.

Exempel på mätresultat och sammanställning av resultat från en provning visas i tabell 9 och i uppställning på sid 82.

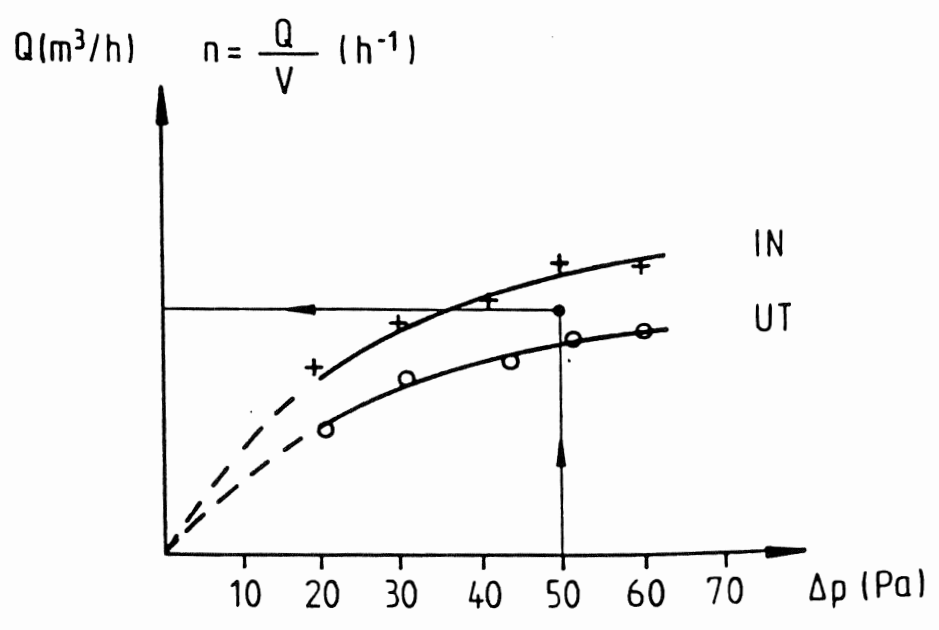


Fig 25 Samhörande värden på tryck och flöde vid tryckmätning.

TABELL 9

RESULTAT ERHÅLLNA VID TRYCKPROVNING (DATORUTSKRIFT).
MOTSVARANDE VÄRDEN FINNS I DIAGRAMFORM PÅ SID 82.

DATUM: 1978-7-4 OBJEKT:1111: 11
INNE- OCH UTETEMPERATUR: 20.0 20.0
VOLYM: 425.0 M**3

U N D E R T R Y C K

PTRYCK	QTRYCK	TRYCK	FLOEDE
10.0	1.5	10.0	374.6
20.0	4.8	20.0	693.6
30.0	9.3	30.0	984.5
40.0	13.8	40.0	1213.4
45.0	16.5	45.0	1333.8
50.0	18.7	50.0	1425.3
55.0	22.0	55.0	1553.4

O E V E R T R Y C K

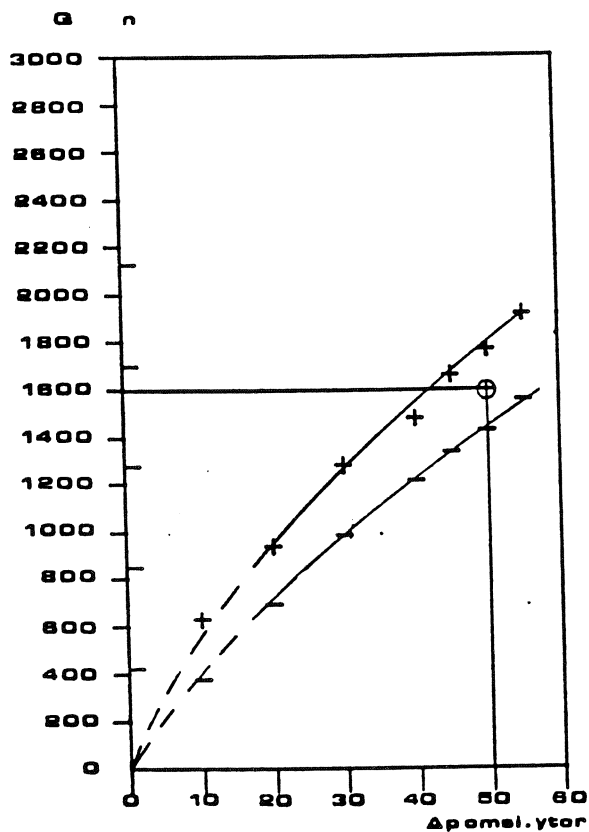
PTRYCK	QTRYCK	TRYCK	FLOEDE
10.0	4.0	10.0	629.7
20.0	8.5	20.0	938.7
30.0	15.3	30.0	1281.6
40.0	20.0	40.0	1476.9
45.0	24.9	45.0	1658.7
50.0	28.0	50.0	1765.0
55.0	32.7	55.0	1916.2

MEDELFLOEDE VID 50 PA=1595.2

LUFTOMSAETTNING VID 50 PA= 3.8 PER TIMME

PUNKTERNA BILDAR KURVAN $Q = 94.3 * DP^{**} 0.72$

$R^2 = 1.00$



+ = ÖVERTRYCK, - = UNDERTRYCK



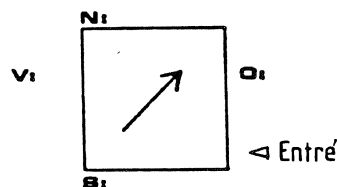
Datum: 1978, 07, 04

Objekt: BYGGA TÄTT AB
 BLÅSHÅLET NR. 4
 STORMBYN

δ_{11} : 20.0

δ_{12} : 20.0

Vindhastighet m/s : 0.6



Vindriktning anges med pil inom kvadraten

Byggnadens volym: 425 M³

Färdigställning av byggnad...	ja	nej
Målningsarb. färdigt	X	
Täcklister monterade	X	
Mattor lagda	X	
Tätninglister monterade	X	
Övrigt		

9.2.9 Lokalisering av luftläckage med hjälp av IR-kamera

Vid tryckprovningstillfället görs i regel en preliminär beräkning av byggnadens lufttäthet. I samband med tryckprovningen är följande av primärt intresse, speciellt vid höga luftläckningstal.

- Lokalisering av luftläckage. Underökning av omfattning, läckagevägar och orsakssamband.
- Storleken hos lokala läckage (kvalitativt och kvantitativt.)
- Läckagens inverkan på den naturliga ventilationen i dels hela byggnaden, dels delar av byggnaden.

För att undersöka angivna frågeställningar har mätningar ofta kompletterats med IR-kameramätningar och ibland med spårgasmätningar.

Exempel på lokalisering av luftläckage med hjälp av IR-kamera och lufthastighetsmätare visas i FIG 26. Det nerkylda ytpartiets utbredning i värmebildens kan efter bedömning ge en god vägledning om läckagevägar och orsakssamband.

Luftrörelser invid läckagestället kan bestämmas med hjälp av lufthastighetsmätare. Värmebildens utseende och uppgifter om luftrörelser kan ge en god bild av läckagets storlek. Normalt måste mätningar kombineras med granskning av konstruktionen (se FIG 27).

Spårning av läckagepunkter kan även göras med enklare instrument såsom lufthastighetsmätare och rökgas. Här kan det dock vara svårare att bedöma orsakssambanden och läckagens storlek. Det är även mera tidsödande vid fullständig kartläggning att använda sådana hjälpmedel jämfört med IR-kamera.

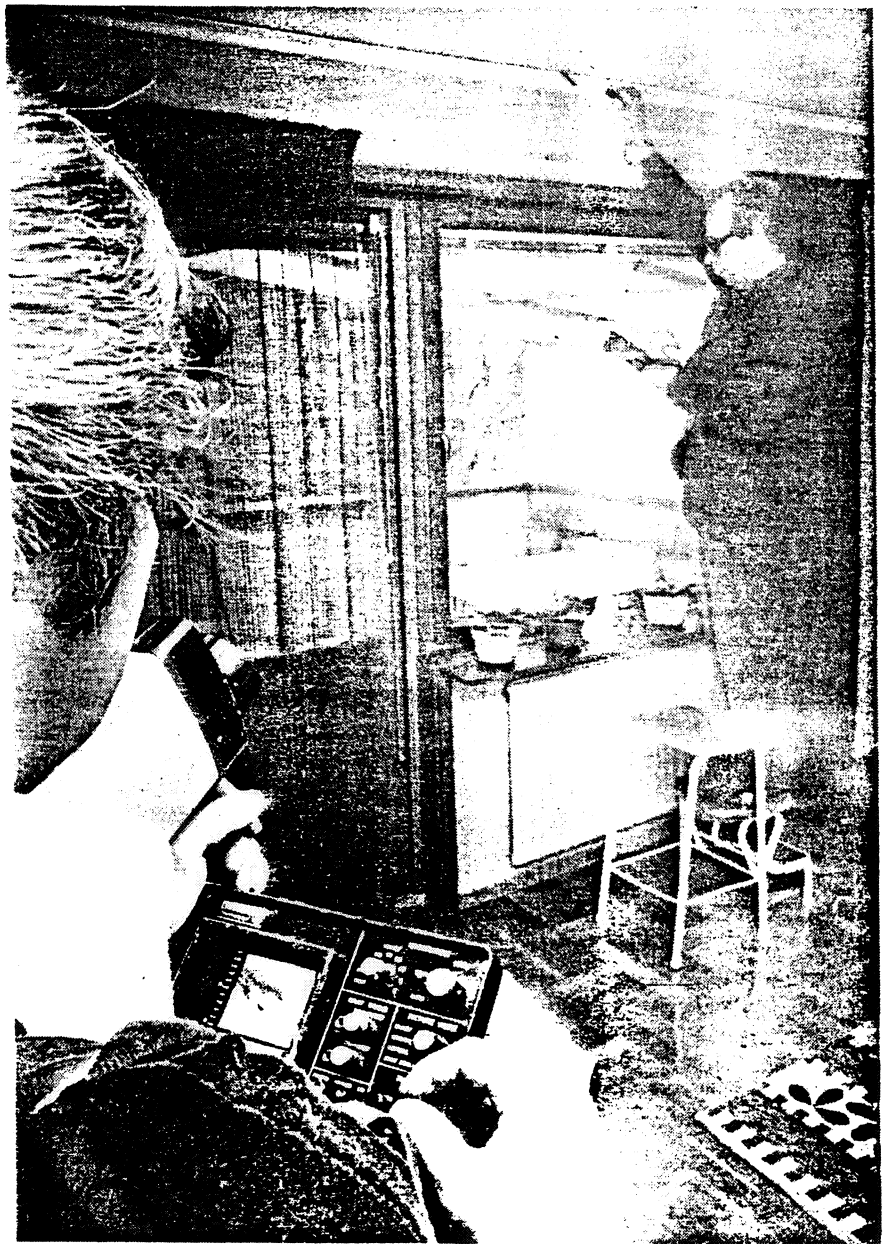


Fig 26 Termografering i syfte att lokalisera luftläckage.

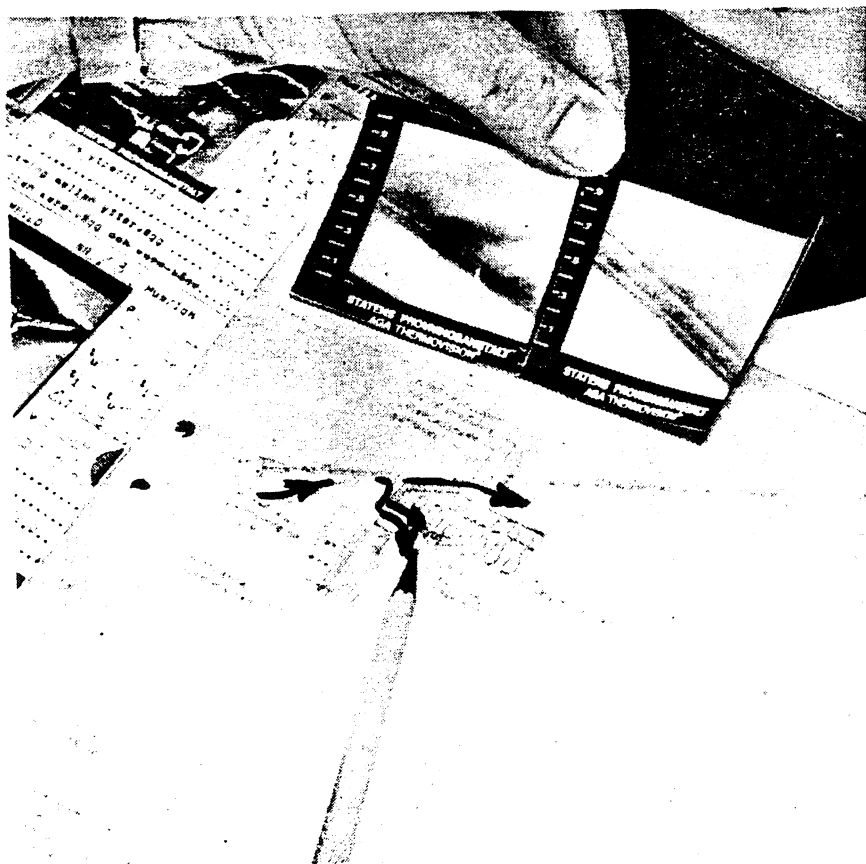


Fig 27 Lokalisering av luftläckagevägar med hjälp av konstruktionsritning och termogram.

9.2.10 Resultat från genomförda täthetsmätningar

Vid genomförande av projektet har ett antal undersökningar utförts. Därvid erhållna resultat redovisas i tabellerna 11-14.

Objekten är numrerade från 1-68. Vissa objekt har täthetsprovats vid olika betingelser och utföranden. Exempel på hur olika åtgärder kan inverka på byggnadens lufttäthet visas i FIG 28 samt tabell 10.

Följande beteckningar har använts i tabellerna.

Typ av byggnad

- D Villa
- K Kedjehus
- R Radhus
- S Souterräng

Byggnadssätt

- S Platsbyggt
- P Prefabricerat
- s Småelement
- v Volymelement

Konstruktion, Y-vägg

- B Betong
- Lb Lättbetong
- T Trä

Grundkonstruktion

- C Torpargrund
- F Platta på mark
- K Källare

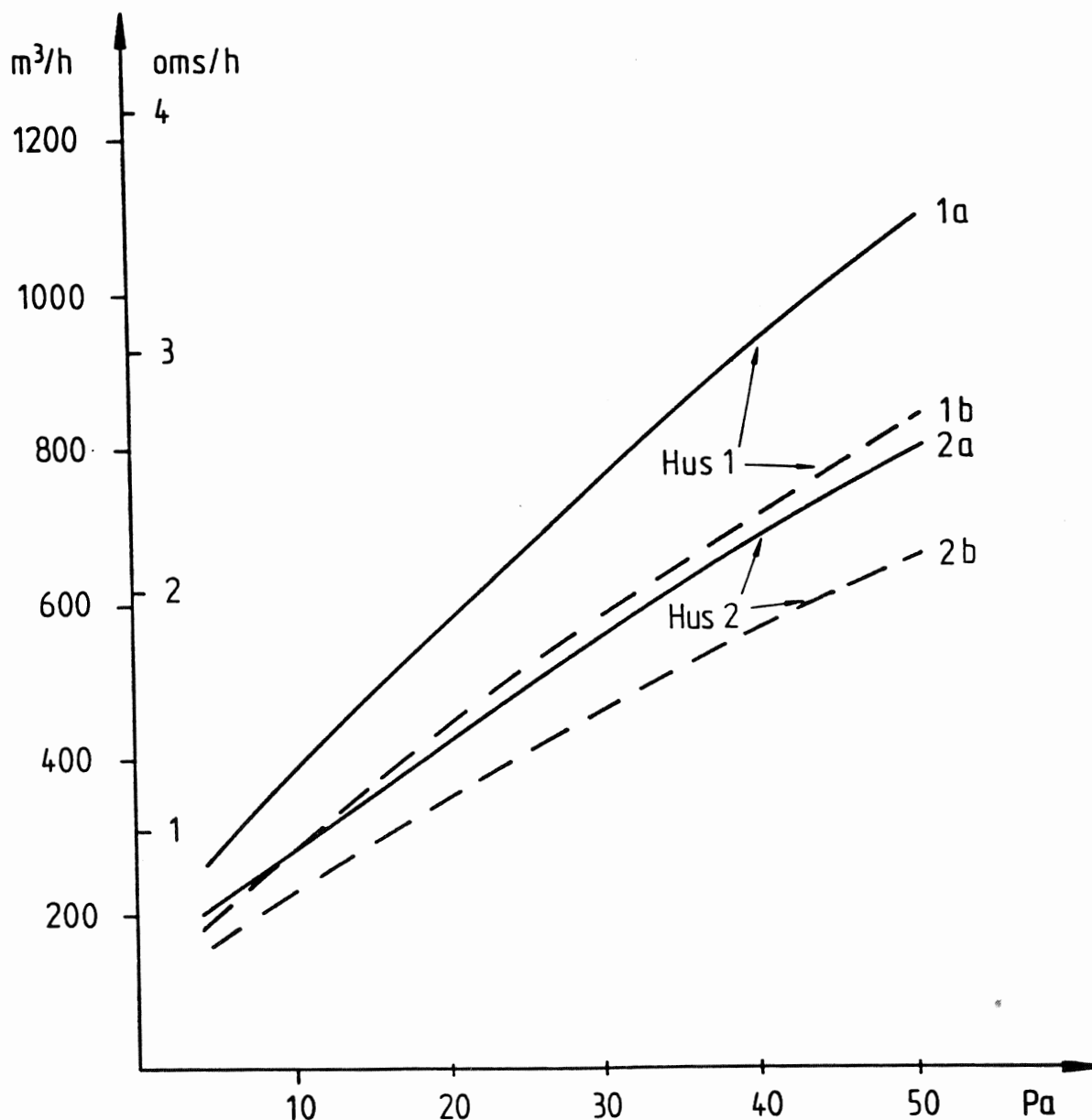


Fig 28 Exempel på byggnadens lufttätthet vid olika täthetsutföranden. Lufttättheten anges som funktion av tryckskillnaden över konstruktionen. Kurvorna motsvarar medelvärden av mätningar utförda vid invändigt under- och övertryck.

Resultaten avser mätningar på två lika småhus där tätningar kring fönster och dörrar är utförda på olika sätt enligt följande

- 1a Tätning kring fönster och dörrar utförd med drevningsremsa av mineralull (utan extra tätning).
- 1b Tätning kring fönster och dörrar utförd med drevningsremsa av mineralull (med samtliga eluttag tätade med tejp).
- 2a Tätning kring fönster och dörrar utförd med polyuretanskum (utan extra tätning).
- 2b Tätning kring fönster och dörrar utförd med polyuretanskum (samtliga eluttag tätade med tejp).

TABELL 10

BYGGNADERS LUFTTÄTHET VID OLIKA TÄTHETSUTFÖRANDE hos
ETT ENBOSTADSHUS (SAMTLIGA VÄRDEN ÄR UPPMÄTTA VID IN-
VÄNDIGT ÖVERTRYCK)

MÄTFALL	0	1	2	3
LUFTOMSÄTTNING VID 50 PA, m ³ /m ³ h	3,2	3,7	2,9	2,6

- 0) VENTILATIONSÖPPNINGAR^{x)} I FÖNSTER FÖRTEJPADE
 1) VENTILATIONSÖPPNINGAR^{x)} I FÖNSTER EJ FÖRTEJPADE
 2) VENTILATIONSÖPPNINGAR^{x)} I FÖNSTER EJ FÖRTEJPADE.
 YTTERDÖRR I GROVKÖK TÄTAD MED TEJP.
 3) LIKA SOM MÄTFALL 0) OCH MED DÖRR I GROVKÖK TÄTAD MED TEJP.
- x) TÄTNINGSLIST VID FÖNSTRETS ÖVRE KANT BORTTAGEN TILL EN
 LÄNGD AV 20 CM

TABELL 11

RESULTAT FRÅN LUFTTÄTHETSMÄTNINGAR ENL DEN S K TRYCK-
METODEN

Obj.	By. år	Ant. vån.	Typ av byggn.	By. sätt	Konstr. y-vägg	Grundkonstr.	By. vol m ³	Luftläckningstal vid 50 Pa, m ³ /m ³ h
1	1972	1	R	Ps	T	F	300	4,4
2	1976	2	D	Ps	Lb	C	371	1,5 x)
3 ⁰⁾	1976	1 1/2	D	Ps	Lb	F	277	3,1
3 ¹⁾	"	"	D	"	"	"	"	3,6
3 ²⁾	"	"	D	"	"	"	"	2,9 xx)
3 ³⁾	"	"	D	"	"	"	"	2,6 xx)
4	1977	1 1/2	K	Ps	T	F	305	3,1
5	"	"	K	"	T	F	305	3,6
6 ⁵⁾	1977	1 1/2	K	Ps	T	F	305	2,7
6 ^{4,5)}	1977	1 1/2	K	Ps	T	F	305	2,1
7	1977	1 1/2	K	Ps	T	F	305	3,8
8	1977	1 1/2	D	Ps	T+Lb	F	330	4,5
9	1977	1 1/2	D	Ps	T+Lb	F	327	4,2
10	1977	1 1/2	D	Ps	T+Lb	F	327	3,8
11	1977	1 1/2	D	Ps	T+Lb	F	333	4,1
12	1977	1 1/2	D	Ps	T+Lb	F	336	3,8
13	1977	1 1/2	D	Ps	T+Lb	F	327	3,9
13 ⁴⁾	1977	1 1/2	D	Ps	T+Lb	F	327	3,1
14	1977	1 1/2	K	Ps	T	F	308	3,7

- 0) Ventilationsöppningar i fönster förtejpade.
 1) Ventilationsöppningar i fönster ej förtejpade.
 2) Ventilationsöppningar i fönster ej förtejpade. Ytterdörr till grovkök tätad med tejp.
 3) Ventilationsöppningar i fönster förtejpade och med ytterdörr till grovkök tätad med tejp.
 4) Eluttag tätade med tejp.
 5) Tätning kring fönster och dörrar utförd med polyuretanskum.
 x) Uppmätt vid invändigt undertryck
 xx) Uppmätt vid invändigt övertryck

TABELL 12

RESULTAT FRÅN LUFTTÄTHETSMÄTNINGAR ENL DEN S K TRYCK-
METODEN

Obj.	By. år	Ant. vån.	Typ av byggn.	By. sätt	Konstr. y-vägg	Grundkonstr.	By. vol m ³	Luftläckningstal vid 50 Pa, m ³ /m ³ h
15	1977	1 1/2	K	Ps	T	F	308	2,7
16	1977	1 1/2	K	Ps	T+Lb	F	390	3,6
17	1977	1 1/2	K	Ps	T+Lb	F	393	3,6
17 ⁴⁾	1977	1 1/2	K	Ps	T+Lb	F	393	3,6
18	1976	1 1/2	K	Ps	T+Lb	F	312	4,5
19	1969	6 ^{bv}	LGH	Ps	B	F	190	2,6
20	1969	6 ^{5tr}	LGH	Ps	B	F	190	2,3
21	1969	6 ^{3tr}	LGH	Ps	B	F	190	2,3
22	1969	4 ^{bv}	LGH	Ps	B	F	205	2,0
23	1977	1	R	-	-	B	580	3,7
24	1973	1 1/2	D	S	T	F	300	4,0
25	-	1 1/2	D	Ps	-	-	265	4,3
26	-	1 1/2	D	Ps	-	-	387	3,6
27	1977	1	D	Ps	T	C	295	3,9
28	1974	1	D	Ps	T	B	420	3,0
29 ⁶⁾	1977	1	D	S	T+Lb	B	460	3,2
29	1977	1	D	S	T+Lb	B	460	2,4
30	1968	1	D	Ps	T+B	B	590	3,3

4) Eluttag tätade med tejp

6) Tallriksventil (Ø 150 mm) i grovkök öppen

TABELL 13

RESULTAT FRÅN LUFTTÄTHETSMÄTNINGAR ENL DEN S K TRYCK-
METODEN

Obj.	By. år	Ant. vån.	Typ av byggn.	By. sätt	Kons- truk. y-vägg	Grund- konstr.	By. vol m ³	Luftläckningstal vid 50 Pa, m ³ /m ³ h
31	1969	1	D	S	Lb	B	530	3,9
32	-	2	R	Ps	T+Lb	B	320	2,5
33	1977	1 1/2	F	P	T	F	375	4,3
34	1972	1	D	P	T	B	488	4,5
35	1974	1	D	Ps	T	B	505	3,7
36	1977	1	K	Ps	T+Lb	B	525	1,8
37	1964	1 1/2	K	P	T+B	B	385	6,3
38	1949	2	D	P	T	B	440	5,0
39	1969	1	D	Ps	T+B	B	485	5,4
40	-	2	LGH	-	-	-	153	8,3
41	-	-	-	-	Lb	-	320	3,3
42	-	1 1/2	D	Ps	T	C	400	2,7
43	1977	1	D	Ps	-	B	426	3,5
44	1977	1	D	Ps	B	-	426	3,7
45	1977	1	D	Ps	-	B	426	3,3
46	1977	1 1/2	D	Ps	-	C	290	5,8
47	1977	1	D	Ps	-	F	280	3,8
48	1977	1	D	Ps	T+B	B	430	6,9

TABELL 14

RESULTAT FRÅN LUFTTÄTHETSMÄTNINGAR ENL DEN S K TRYCK-
METODEN

Obj.	By. år	Ant. vån.	Typ av byggn.	By. sätt	Kons- truk. y-vägg	Grund- konstr.	By. vol m ³	Luftläckningstal vid 50 Pa, m ³ /m ³ h
49	1977	1 1/2	D	Ps	T	F	378	6,7
50	1977	1 1/2	D	Ps	T	F	378	8,7
51	1977	1	D	Ps	T+B	B	394	3,4
52	1977	2	R	P	T	F	338	2,1
53	1977	2	K	P	T	F	338	1,8
54	1977	2	K	P	T	F	290	2,7
55	1977	2	K	P	T	F	290	2,4
56	1977	2	K	P	T	F	340	3,4
57	1977	2	R	Ps	T	F	295	3,2
58	1977	2	R	Ps	T	F	295	4,9
59	1977	1	R	Ps	T	F	294	3,1
60	1978	2	K	P	T	F	340	2,8
61	1978	2	K	P	T	F	340	2,7
62	1978	1 1/2	K	P	T	F	346	1,6
63	1978	1 1/2	K	P	T	F	346	1,6
64	1978	4 ²	LGH	P	T+B	-	200	1,0
65	1978	4 ³	LGH	P	T+B	-	260	0,6
66 ⁷⁾	1969	1	D	Ps	T	K	490	3,6
66 ⁸⁾	1969	1	D	Ps	T	K	490	2,6
67	1940	1 1/2	D	S	T	K	276	7,4 ^{x)}
68	1976	1	D	S	T	C	210	10,0 ^{x)}

7) Fönster och dörrar försedda med gamla tätninglister av typ cellgummi (9 år gamla).

8) Fönster och dörrar försedda med nya tätninglister av typ EPDM-gummi (slanglist).

x) Uppmätt vid 25 Pa

10 BESTÄMNING I FÄLT AV VÄRMEMOTSTÅND HOS BYGGNADSDELAR

10.1 Principen för bestämning av värmemotstånd i fält

Värmemotståndet hos en byggnadskonstruktion bestäms vanligen som kvoten mellan samtidigt uppmätt temperaturskillnad över och värmefflöde genom konstruktionen vid stationära förhållanden. Följande samband gäller

$$q = \frac{\theta_{vi} - \theta_{vu}}{M} \quad \dots (10.1)$$

I fält råder sällan temperaturjämvikt. Svängningar i temperaturerna påverkar värmefflödesmätaren utslag antingen omedelbart eller efter viss tid. Vid fältmätning måste därför mätperioden förlängas för att ta hänsyn till väggens värmemagasinerande förmåga och andra yttre störningar.

Värmefflödet uppmäts i regel med hjälp av värmefflödesmätare av termoelektrisk typ enligt hjälpväggsprincipen. Detta visas i FIG 29. Temperaturerna uppmäts samtidigt med hjälp av temperaturgivare (termoelement eller termistorer) fästade direkt på den kalla och varma ytan av konstruktionen. Variation i värmefflöde och temperatur innebär att registrering måste ske på skrivare för senare utvärdering eller genom integrering av mätvärdena och direkt avläsning.

Detta förfarande ger M-värdet för en liten del av byggnaden. För konstruktioner sammansatta av olika material, t ex regelväggar, måste värmemotståndet bestämmas i flera punkter, varefter ett vägt medelvärde kan beräknas. När man känner värmemotståndet M för en byggnadsdel kan man beräkna dess k-värde enligt sambanden 4.8 och 4.9.

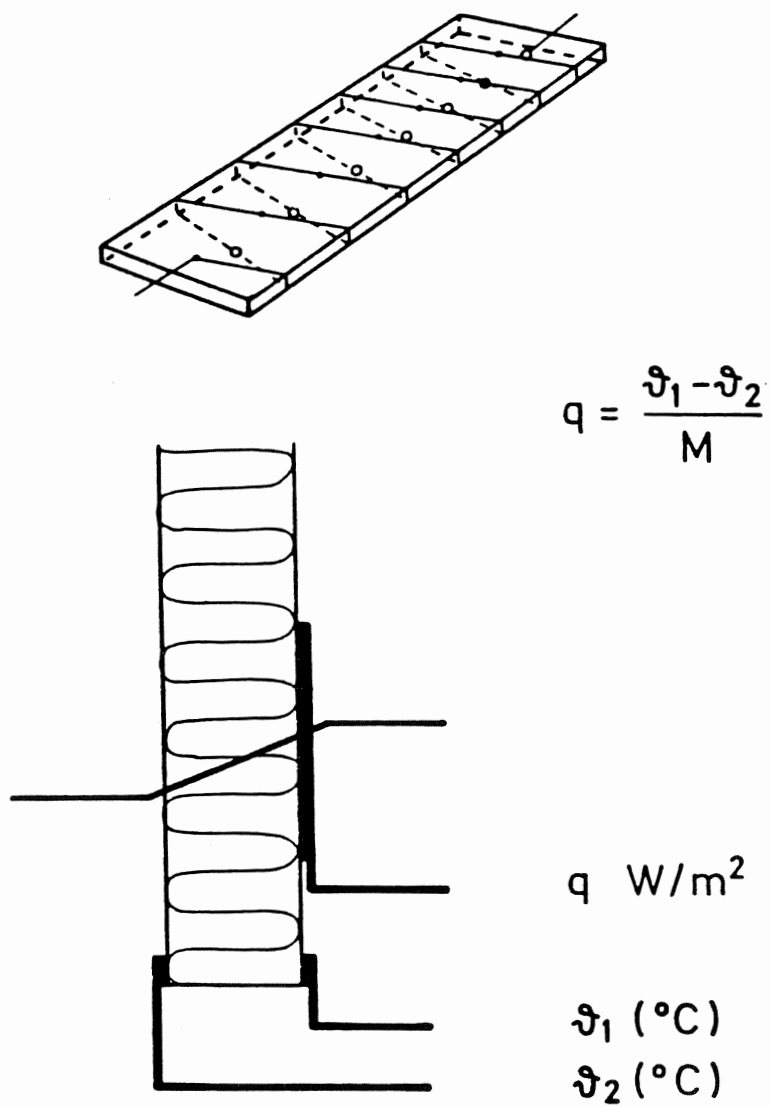


Fig 29 Termoelektrisk värmeväxlingsmätare enligt hjälpväggsprincipen

Problemet vid denna typ av mätning är dels att uppnå tillräcklig stabilitet hos temperaturer dels registrering och uppsamling av mätdata. För undersökningarna har därför elektroniska integratorer konstruerats och utprovats i fält. Utprovning av apparatur och metodik kommer att ske vid de fortsatta undersökningarna.

10.2 Fältförsök

Ett begränsat antal värmeflödesmätningar i fält har hittills utförts. Det följande redovisar tillvägagångssätt, resultat m m vid en sådan mätning. I samband med värmeflödesmätning är det ofta lämpligt att kombinera flödesmätning med termografering t ex för att kartlägga lämpliga mätpunkter. Detta har gjorts i detta fall.

Det undersökta objektet var följande:

Flerbostadshus med ytterväggar enligt följande, från utsidan: fasadplåt, 30 mm mineralull och 160 mm betong. Beräknat k-värde: $0,45 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Se FIG 30.

Mätbetingelser

Mätningarna utfördes i två lägenheter A och B under 4 respektive 10 dygn. Vädret under mätperioderna samt dyggen före respektive mätperiod var mulet med relativt små dygnsvariationer i lufttemperaturen utomhus.

Solstrålningen på de aktuella fasadytorna var försumbar. Inomhustemperaturen i respektive lägenhet hölls vid i det närmaste konstant värde medelst det befintliga värmesystemet. De två lägenheterna var ej bebodda vid mättillfället.

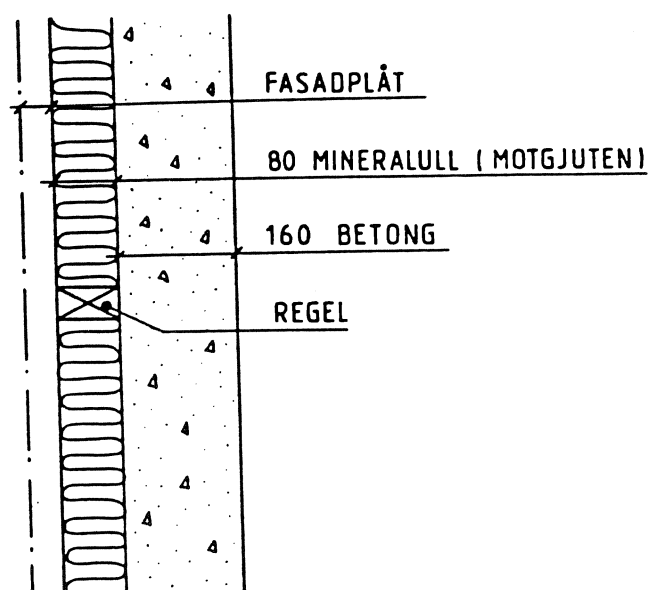


Fig 30 Konstruktion på vilken värmefflödesmätning utfördes.

Mätningarnas utförande

Värmemotståndet bestämdes i fyra mätpunkter i lägenhet A och i åtta mätpunkter i lägenhet B. Mätpunkternas lägen bestämdes genom termografering (se FIG 31-34). Fyra av mätpunkterna i lägenhet B placerades på ställen, som genom termografering visades ha lägre yttemperatur (misstänkt isolerfel) än väggen i övrigt. Se FIG 34.

Värmeflöden i nämnda punkter bestämdes med hjälp av termoelektriska värmeflödesmätare (FIG 35). Yttemperaturer på väggens insida och utsida samt lufttemperaturerna inom- och utomhus uppmättes med termoelement.

Värmeflödes- och temperaturvärden registrerades kontinuerligt med hjälp av skrivare under mätperioderna (FIG 34 b).

Utvärdering av resultaten

För bestämning av värmeflöde och motsvarande temperaturskillnad över väggen vid respektive mätning användes erhållna temperatur- och värmeflödeskurvor. Flöden och temperaturer avlästes vid nära stationära förhållanden.

Med kännedom om värmeflöde och temperaturfall genom väggen vid varje mätställe, kan motsvarande värmemotstånd och k-värde (som även innefattar yttre- och inre värmeövergångsmotstånd) bestämmas. Resultat från mätningarna visas i tabell 15.

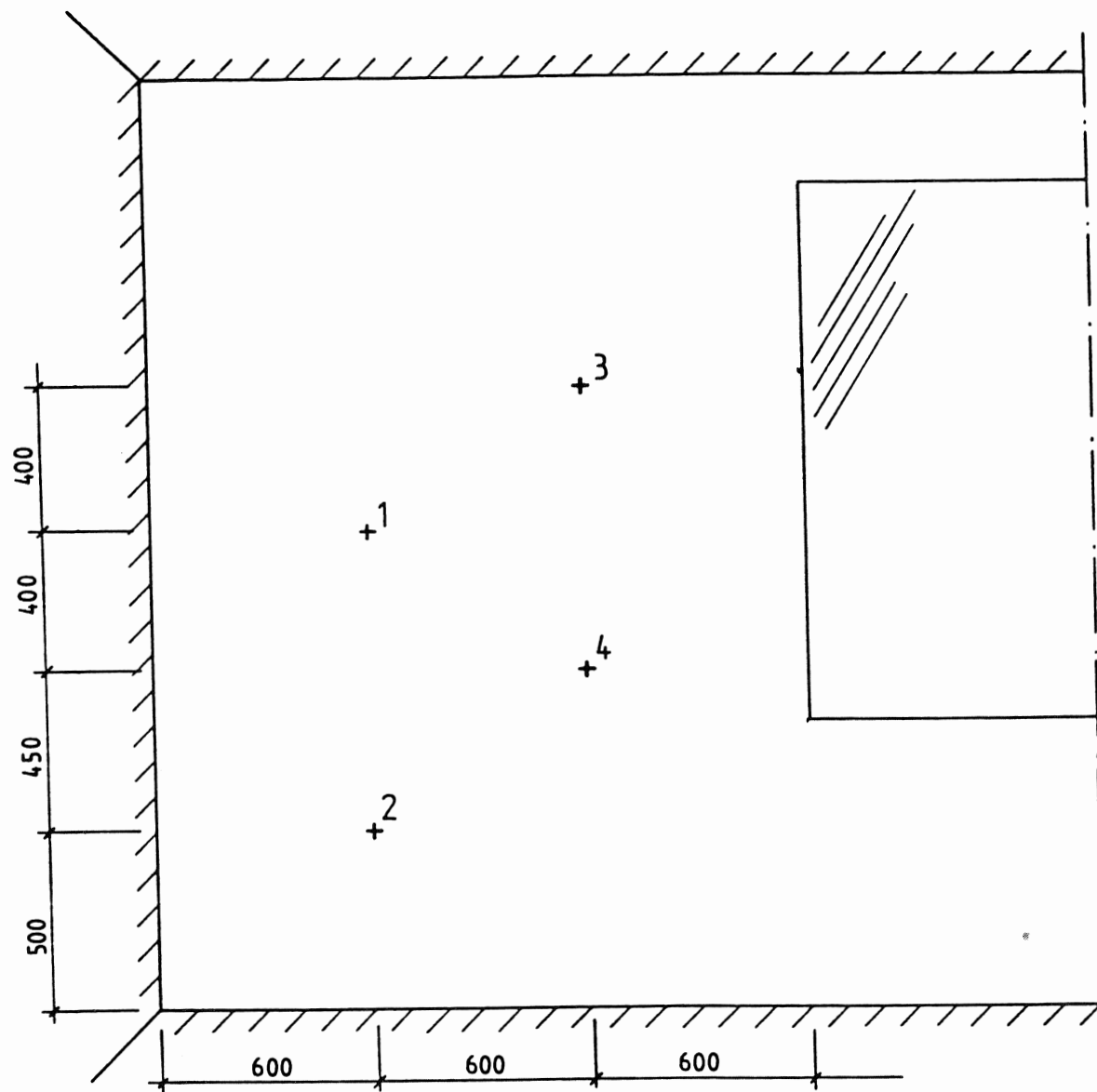


Fig 31 Skiss av yttervägg i lägenhet A med mätpunkternas lägen markerade med siffrorna 1-4.

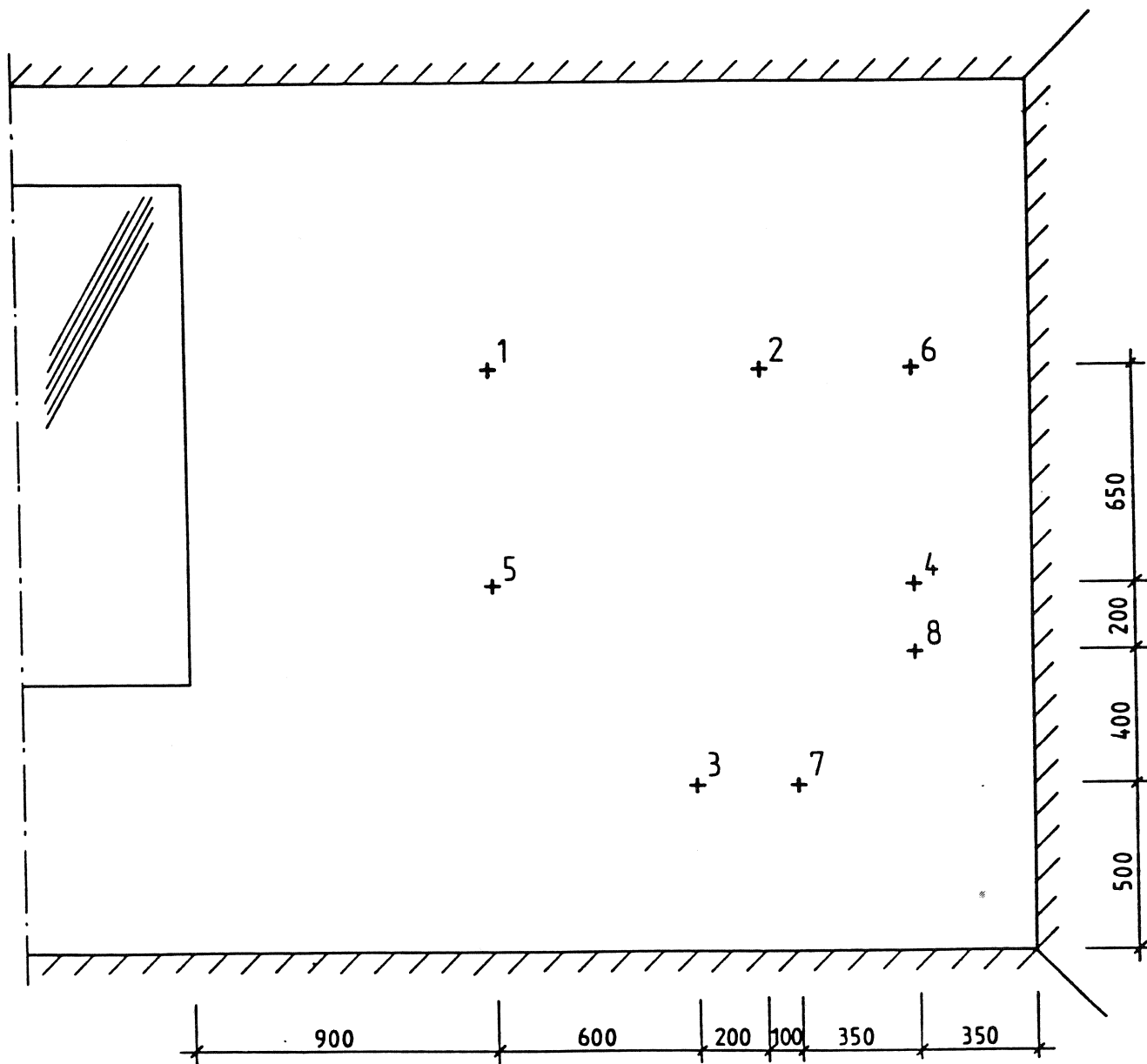


Fig 32 Skiss av yttervägg i lägenhet B med mätpunkternas lägen markerade med siffrorna 1-8.



Fig 35 Uppmontering av värmeflödesmätare i lägenhet A vid mätpunkterna 1-4.

TABELL 15

LÄGENHET	MÄT- PUNKT	VÄRME- FLÖDE	TEMPERATUR- DIFFERENS	VÄRMEMOT- STÅND, M	VÄRMEGENOM- GÅNGSKOEFFI- CIENT, k
		W/m ²	°C	m ² · °C/W	W/(m ² · °C)
A	1	7,75	19,8	2,56	0,36
A	2	7,34	19,8	2,70	0,34
A	3	8,95	19,4	2,17	0,41
A	4	9,37	19,5	2,08	0,43
B	1	9,74	23,4	2,38	0,38
B	2	12,59	22,8	1,82	0,48
B	3	9,32	23,4	1,04	0,78
B	4	15,01	22,3	1,49	0,57
B	5	11,44	23,0	2,00	0,44
B	6	11,88	22,6	1,89	0,47
B	7	9,77	22,8	2,33	0,39
B	8	14,70	22,1	1,49	0,57

Medeltemperaturen under respektive mätperiod på ytterväggens ytor var för

	lgh A	lgh B
varma sidan:	+20,1°C	+20,8°C
kalla sidan:	+ 0,5°C	- 1,5°C

Lufttemperaturen (medelvärde) under resp mätperiod var

	lgh A	lgh B
inomhus:	+22,0°C	+23,6°C
utomhus:	ca ± 0°C	ca - 2°C

(Lufttemperaturen inne uppmättes centralt i rummet, 1,75 m över golv).

11 EPILOG

Föreliggande rapport behandlar i huvudsak punkterna 1, 2 och 4 i målsättningen på sid 3. Punkterna 5-6 har behandlats i varierande grad. Punkt 3 har påbörjats.

Vid fortsättning av projektet kommer följande moment att ingå.

1. Komplettering av SP MET 1977:1. Komplettering krävs beträffande metodens användning i radhus och i lägenheter i flerbostadshus.
2. Utveckla metodik och apparatur för lokalisering och uppmätning av lokala läckage.
3. Utveckla och precisera apparatur och metodik för värmeflödesmätning.
4. Komplettering beträffande punkterna 5-6 i målsättningen på sid 2.

Projektet beräknas kunna genomföras under perioden hösten 1978 - hösten 1979.

Slutrapport beräknas föreligga klar vid årsskiftet 1979/80.

TABELL 15

LÄGENHET	MÄT- PUNKT	VÄRME- FLÖDE	TEMPERATUR- DIFFERENS	VÄRMEMOT- STÅND, M	VÄRMEGENOM- GÅNGSKOEFFI- CIENT, k
		W/m ²	°C	m ² ·°C/W	W/(m ² ·°C)
A	1	7,75	19,8	2,56	0,36
A	2	7,34	19,8	2,70	0,34
A	3	8,95	19,4	2,17	0,41
A	4	9,37	19,5	2,08	0,43
B	1	9,74	23,4	2,38	0,38
B	2	12,59	22,8	1,82	0,48
B	3	9,32	23,4	1,04	0,78
B	4	15,01	22,3	1,49	0,57
B	5	11,44	23,0	2,00	0,44
B	6	11,88	22,6	1,89	0,47
B	7	9,77	22,8	2,33	0,39
B	8	14,70	22,1	1,49	0,57

Medeltemperaturen under respektive mätperiod på ytterväggens ytor var för

	lgh A	lgh B
varma sidan:	+20,1°C	+20,8°C
kalla sidan:	+ 0,5°C	- 1,5°C

Lufttemperaturen (medelvärde) under resp mätperiod var

	lgh A	lgh B
inomhus:	+22,0°C	+23,6°C
utomhus:	ca ± 0°C	ca - 2°C

(Lufttemperaturen inne uppmättes centralt i rummet, 1,75 m över golv).

11 EPILOG

Föreliggande rapport behandlar i huvudsak punkterna 1, 2 och 4 i målsättningen på sid 3. Punkterna 5-6 har behandlats i varierande grad. Punkt 3 har påbörjats.

Vid fortsättning av projektet kommer följande moment att ingå.

1. Komplettering av SP MET 1977:1. Komplettering krävs beträffande metodens användning i radhus och i lägenheter i flerbostadshus.
2. Utveckla metodik och apparatur för lokalisering och uppmätning av lokala läckage.
3. Utveckla och precisera apparatur och metodik för värmeflödesmätning.
4. Komplettering beträffande punkterna 5-6 i målsättningen på sid 2.

Projektet beräknas kunna genomföras under perioden hösten 1978 - hösten 1979.

Slutrapport beräknas föreligga klar vid årsskiftet 1979/80.