

BYGGNADERS LUFTTÄTHET. UNDERSÖKNING OCH UTVECKLING AV MÄTMETODER

OLOV HILDINGSON
STEFAN HOLMGREN

INSTITUTIONEN FÖR BYGGNADSTEKNIK

TEKNISKA HÖGSKOLAN I LUND

BYGGNADERS LUFTTÄTHET.

UNDERSÖKNING OCH UTVECKLING

AV MÄTMETODER

OLOV HILDINGSON

STEFAN HOLMGREN

Omslagsillustratör: BO THORNBERG

FÖRORD

Detta examensarbete är utfört vid avd. Byggnadsteknik I inom Institutionen för Byggnadsteknik vid Sektionen för Väg- och Vattenbyggnad, Lunds Tekniska Högskola.

Ett stort tack riktas till institutionspersonalen och i synnerhet till vår handledare Johnny Kronvall. Samtidigt vill vi tacka de husägare och husfabrikanter som har ställt hus till vårt förfogande vid de fältmätningar som har utförts.

Lund sommaren 1976.

Olov Hildingson Stefan Holmgren

Tillägg

Arbetet färdigställdes under sommaren 1976 och redovisar i bilaga 1 det då aktuella förslaget till kap 33, SBN 1975 vad gäller högsta tillåtna luftläckage hos byggnadsdelar. Sedan dess har SBN 1975 fastställts med andra kravnivåer.

Tabell 33:3 Högsta godtagna luftläckning, $m^3/m^2 h$

| Byggnadsdel | Tryck- skillnad 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 (av- ser tätheten hos springan mellan karm och fönsterbåge resp. dörrblad) | 50 300 500 | 1,7 5,6 -- | 1,7 5,6 -- | 1,7 5,6 7,9 |
| Tak mot det fria samt bjälklag mot det fria eller mot ventilerat utrymme | 50 | 0,2 | 0,1 | 0,1 |

Detta skulle medföra att figurerna 6 och 7 fick ett annat utseende. Kurvan $n = n(v)$ resp $n = n(\Delta p)$ enligt Statens Planverk förskjuts uppåt.

Lund i november 1976

Johnny Kronvall

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

| | | |
|---|---|----|
| 1 | Inledning | 1 |
| | 1.1 Bakgrund | 1 |
| | 1.2 Problemanalys med tillvägagångssätt | 1 |
| 2 | Teori | 3 |
| | 2.1 Ventilationskriterier | 3 |
| | 2.2 Mätning av luftomsättning med spårgas | 4 |
| | 2.3 Lustgasens egenskaper | 5 |
| | 2.4 Ofrivilliga ventilationens variation med vindhastighet och temperaturskillnad | 6 |
| | 2.5 Teoretisk beräkning | 8 |
| | 2.51 Ofrivillig ventilation med vindlast enligt SBN 1975 | 9 |
| | 2.52 Luftläckage vid ett invändigt övertryck | 13 |
| 3 | Fältmätningar | 16 |
| | 3.1 Val av objekt | 16 |
| | 3.2 Spårgasmätning | 18 |
| | 3.21 Utrustning | 18 |
| | 3.22 Tillvägagångssätt | 19 |
| | 3.3 Övertrycksmätning | 20 |
| | 3.31 Utrustning | 20 |
| | 3.32 Tillvägagångssätt | 21 |
| | 3.33 Kalibrering av strypfläns | 23 |
| 4 | Resultatsammanställning | 26 |
| 5 | Princip förslag för krav på täthet hos byggnader mätt med tryckmetod | 35 |
| 6 | Sammanfattning | 37 |
| | Litteraturförteckning | |
| | Bilagor | |

1 INLEDNING

1.1 BAKGRUND

Ur den höjning av energikostnader som har skett åren efter "energikrisen", vintern 1974, är samhällets målsättning att spara energi och därmed pengar. Energibesparingen gäller i hög grad våra bostadshus som svarar för 40% av Sveriges totala energiförbrukning. Detta innebär att den nuvarande och framtida energisituationen medför att högre krav måste ställas på byggnaders utförande ur värmeteknisk synpunkt. Det är då nödvändigt att mer noggrant än vad som nu är fallet kunna kontrollera de energiförluster som är förknippade med ytterkonstruktionens värmeisolering och täthet. För att kunna behärska och styra ventilationsintensiteten i en byggnad är en av grundvalarna ett tätt hus. Med hänsyn till byggnaders täthet kommer myndigheterna i framtiden att kräva en begränsning av ventilationsförlusterna och då krävs metoder för att kontrollera att kraven uppfylls.

Dessa aspekter ligger till grund för detta examensarbete. Ett försök har gjorts att utveckla en metod som mäter byggnaders luftomsättning och samtidigt ger ett entydigt resultat jämfört med en fastställd norm.

1.2 PROBLEMANALYS MED TILLVÄGAGÅNGSSÄTT

Vi vill med detta examensarbete försöka nå ett resultat som innebär att man med ett enkelt förfarande skall kunna mäta olika byggnaders täthet. För att komma fram till detta har vi lagt upp examensarbetet på två delar; dels fältmätningar, dels en teoretisk beräkning av luftläckaget i en byggnad.

Huvuddelen av tiden har koncentrerats till fältmätningar. Dessa består av olika delar; dels spårgasmätning, dels övertrycksmätning. I ett senare avsnit förklaras mätningarna närmare.

Vi har begränsat fältmätningarna till källarlösa 1 eller 1 1/2-plans småhus som är nyuppförda. Mätningarna har skett under våren och försommaren 1976 i södra Sverige.

Den teoretiska beräkningsmodellen har gjorts för att stödja våra fältmätningar och för att jämföra normförslag med de mätningar vi har utfört. Beräkningsmodellen bygger på, dels Statens Planverks förslag till bestämmelser, "Krav på vindtäthet", SBN 1975 Supplement 1 och dels på NKB:s förslag "for lette ikke-baerende yttervegger" för "Krav på vindtäthet", december 1965. Beräkningarna har i en del fall skett med uppskattade faktorer som gör att beräkningarna måste användas med försiktighet. För att jämföra beräkningarna med verkligheten är de gjorda på ett befintligt hus, där motsvarande fältmätningar har utförts. Nedan definieras ett uttryck som ofta återkommer i texten. Enligt SBN 67 är ofrivillig ventilation:

Den luftomsättning som på grund av förekommande otätheter uppstår när ventilationsöppningar är stängda.

2 TEORI

2.1 VENTILATIONSKRITERIER

Genom att minska ventilationsförlusterna i våra byggnader kan energi sparas. Men hur mycket kan man reducera ventilationen så att de hygieniska kraven inte åsidosätts ?

De fyra slagen av kriterier för bedömning av ventilationsbehovet är enligt LÖFSTEDT (1976):

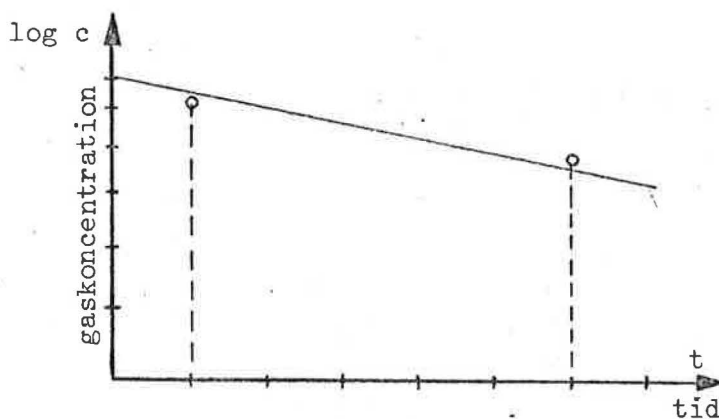
- människans transpiration
- fukt
- lukt
- radonförekomst

Det grundläggande kravet för människan är att ventilationen skall svara för nödvändig syretillförsel och kolsyreutspädning. För detta ändamål är ventilationsbehovet för en människa $1 \text{ m}^3/\text{h}$. Förutom kolsyra avger människan fukt. Denna fukt bör transporteras bort. Ett problem är att olika människor upplever fuktighet mycket varierande. Samma fuktighet kan upplevas både som behagligt och obehagligt av olika människor. Detta gör det svårt att bestämma en gräns när fuktigheten skall transporteras bort. Vidare förekommer det lukt som bör ventileras bort. Utifrån grova erfarenhetsvärden vet man att ventilationsbehovet är $15 \text{ m}^3/\text{h}$ pers. Det är att betrakta som ett grundbehov. Men samtidigt vet man att luktsinnet anpassar sig till en lukt efter en längre tids exponering. Slutligen bör den radioaktiva gasen Radon kommenteras eftersom den förekommer i de flesta byggnadsmaterial. Radon är en sönderfallsprodukt av det radioaktiva grundämnet Ra-226, vilket kan ge genetiska skador i för höga doser. En skyddsåtgärd är att få bort gasen genom luftväxlingar och då anser Löfstedt att en "riskfri" gräns är $0,5 \text{ oms/h}$.

2.2 MÄTNING AV LUFTOMSÄTTNINGEN MED SPÅRGÅS

Luftomsättningen för en byggnad anger hur många gånger inne-
luften byts ut mot uteluft per tidsenhet.

Då luftomsättningen mätes med spårgas, som i vårt fall är
lustgas, N_2O , doseras rumsluften med en lämplig mängd gas.
Efter det att lustgasen har blandat sig väl med rumsluften,
mätes samhörande värden på koncentration och tid. Mätpunkt-
erna läggs in i ett linjärlogaritmiskt diagram, se figur 1,
som kommer att ge en rät linje. Om mätpunkterna avviker från
den räta har störningar inträffat under mätningen. Mätning
av luftomsättning med spårgas beskrivs bl.a av AHLSTRÖM &
VENNBERG och ELMROTH & HÖGLUND.



FIGUR 1.

En massflödesbalans ger att ändringen av mängden lustgas i
rummet, är ekvivalent med den mängd gas som bortföres med
utsugen luft.

Vid tiden t är spårgaskoncentrationen c och vid tiden $t+dt$,
 $c-dc$. Då gäller:

$$-V \cdot dc = n \cdot V \cdot c \cdot dt$$

där $V =$ rummets volym
 $n =$ luftomsättning

Detta ger

$$n \cdot dt = - \frac{dc}{c}$$

Randvillkoret

$$c = c_0 \quad \text{då} \quad t = 0$$

ger efter integration

$$n = \frac{1}{t} \cdot \ln \frac{c_0}{c}$$

Det bör observeras att detta samband gäller endast då en gas som normalt ej förekommer i luften, används för mätning av luftomsättningen.

2.3 LUSTGASENS EGENSKAPER

Vi har använt lustgas, N_2O , i våra spårgasmätningar. Denna gas är inte giftig och som bedövningsmedel har det ingen verkan i de små koncentrationer vi håller oss till. Lustgasens densitet är vid normal rumstemperatur $1,9 \text{ kg/m}^3$ och luftens $1,2 \text{ kg/m}^3$, vilket borde innebära att gaserna blandar sig väl med varandra. För att visa detta har vi utfört en mätning på följande sätt:

Gas släpptes ut i lämplig mängd (i detta fall $0,1 \text{ vol-\%}$), i ett rum med volymen 104 m^3 . Omröring av lustgas och luft gjordes med masonitskivor i begynnelseskedet. Gaskoncentrationen mätes i 5 punkter från golv till tak och koncentrationen registrerades var 5:e minut under 1 timme. Den maximala relativa standardavvikelsen av koncentrationen mellan de olika punkterna blev $2,6 \%$, vilket tyder på vad som ovan är sagt.

2.4 OFRIVILLIGA VENTILATIONENS VARIATION MED VINDHASTIGHET
OCH TEMPERATURSKILLNAD

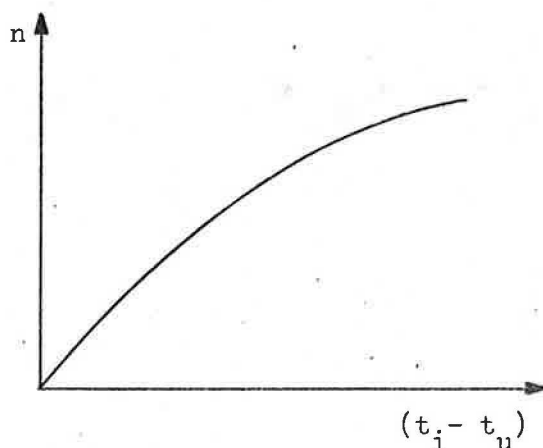
De två grundfaktorerna som påverkar den ofrivilliga ventilationen är tryck- och otäthetsförhållandena över konstruktionen i en byggnad.

Tryckförhållandena uppstår dels av temperaturskillnaden mellan inom- och utomhus, även kallad skorstensverkan, dels av vindpåverkan.

$$\left. \begin{aligned} \Delta p &= k_1 \cdot (t_i - t_u) \\ Q &= k_2 \cdot \Delta p^\alpha \end{aligned} \right\} \rightarrow Q = k_3 \cdot (t_i - t_u)^\alpha \quad (1)$$

$$0,5 \leq \alpha \leq 1$$

där Δp = tryckskillnad
 Q = luftläckage
 t_i = inomhustemperatur
 t_u = utomhustemperatur
 k = konstant
 V = volym
 $n = \frac{Q}{V}$ = luftomsättning

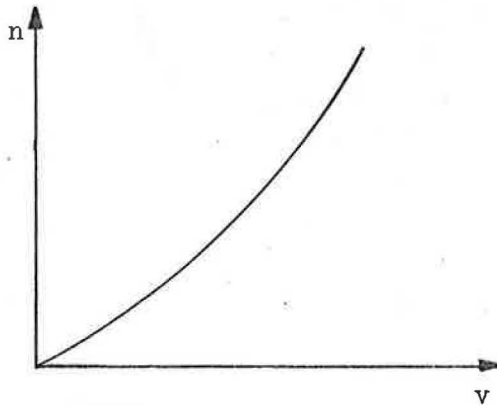


FIGUR 2.

$$\left. \begin{aligned} \Delta p &= k_4 \cdot v^2 \\ Q &= k_2 \cdot \Delta p^\alpha \end{aligned} \right\} \rightarrow Q = k_5 \cdot v^{2\alpha} \quad (2)$$

$$0,5 \leq \alpha \leq 1$$

där v = vindhastighet

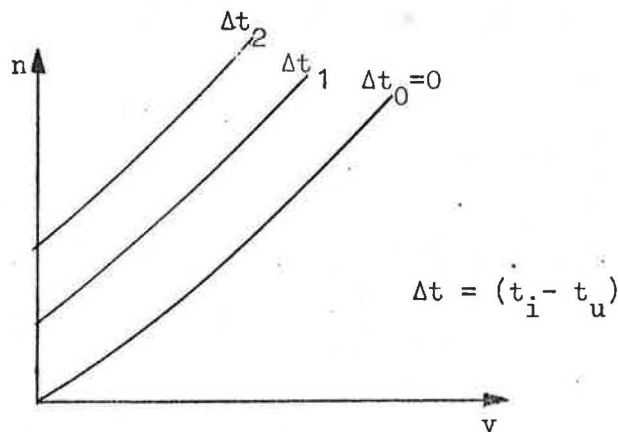


FIGUR 3.

Ur ekvation (1) och (2) erhålles sedan följande samband:

$$Q = k_3 \cdot (t_i - t_u)^\alpha + k_5 \cdot v^{2\alpha} \quad 0,5 \leq \alpha \leq 1$$

Sambandets principiella utseende framgår av figur 4.



FIGUR 4.

k_3 och k_5 kan bestämmas genom fältmätningar i en byggnad under varierande väderleksförhållanden (vindhastighet och utetemperatur).

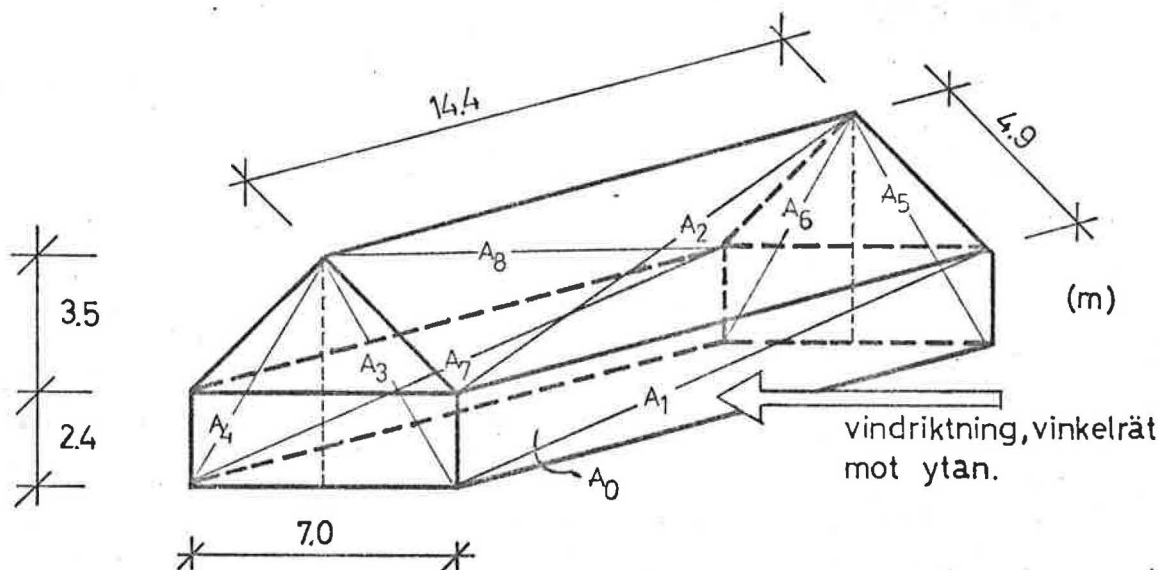
2.5 TEORETISK BERÄKNING

Den teoretiska beräkningen av den ofrivilliga ventilationen och luftläckaget vid ett invändigt övertryck, utgår från en byggnad, där vi även gjort jämförande fältmätningar.

Denna byggnad är en elementbyggd 1 och 1/2-plans villa, med kryprumsgrundläggning, där bärande systemet är av trä och fasaden av 1/2-stens tegel. Gavelspetsarna är täckta med stående panel.

Beräkningen av luftläckaget bygger på Statens Planverks förslag till bestämmelser, "Krav på vindtäthet", SBN 1975 Supplement 1 och NKB:s förslag "for lette ikke-baerende yttervegger" för "Krav på vindtäthet", december 1965. Förslagen framgår av bilaga 1 och 2.

Beräkningarna genomförs dels med vindlast enligt SBN 75 och dels för ett invändigt övertryck på 10, 20, 30, 40, 50 Pa. Byggnaden och beteckningar framgår av figur 5.



FIGUR 5.

A_1 = väggyta utan dörr- och fönsterytor

A_{1a} = dörr- och fönsteryta på resp. väggyta

Omslutningsyta = 369 m^2

Volym = 418 m^3

Q = totala luftläckaget, m^3/h

$n = \frac{Q}{V}$ = luftomsättning per timme, oms/h

2.51 Ofrivillig ventilation med vindlast enligt SBN 1975

Läckage enligt Statens Planverks förslag till bestämmelser,

"Krav på vindtäthet".

Vindriktning enligt figur 5 och tillåtet läckage framgår av bilaga 1.

$$\text{Vindens hastighetstryck} \quad : \quad q = 0,6 \cdot v^2 \quad (\text{Pa})$$

$$\text{Tryckskillnad över resp. delyta:} \quad \Delta p = \mu' \cdot q \quad (\text{Pa})$$

$$\text{Läckage genom resp. delyta} \quad : \quad Q_{ai} = \Delta p \cdot A_i \cdot Q_A \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

där v = vindens hastighet i m/s

μ = formfaktor

c = byggnadens inre formfaktor

μ' = effektiv formfaktor ($\mu' = \mu - c$)

A_i = area av resp. delyta i m^2

Q_A = läckage per m^2 och Pa genom resp. delyta

För att erhålla balans mellan in- och utgående luftmängd, måste byggnadens inre formfaktor beräknas. Följande beteckningar införes:

$$Q_{in} = \text{totala ingående luftmängd} \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

$$Q_{ut} = \text{totala utgående luftmängd} \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

Enligt tabell 1 erhålles:

$$Q_{in} = 2,29 \cdot \sqrt{0,6 \cdot v^2 \cdot |(0,7 - c)|}$$

$$Q_{ut} = 0,74 \cdot \sqrt{0,6 \cdot v^2 \cdot |(-1,2 - c)|} + 0,74 \cdot \sqrt{0,6 \cdot v^2 \cdot |(-0,6 - c)|} + 2,92 \cdot \sqrt{0,6 \cdot v^2 \cdot |(-0,5 - c)|}$$

Sättes $Q_{in} = Q_{ut}$ erhålles:

$$c = -0,32$$

| YTA | AREA m ² | FORMFAKTOR μ | EFFEKTIV FORMFAKTOR μ' | TRYCKSKILLNAD Pa | LÄCKAGE m ³ /m ² ·h·Pa | LÄCKAGE m ³ /h |
|-----------------|------------------------|-----------------|------------------------------|------------------------------|---|--|
| A ₁ | 26.9 | +0.7 | +0.7-c | 0.6·v ² ·(+0.7-c) | 0.00707·Δp ^{0.5} | 26.9·0.00707·√(0.6·v ² · +0.7-c) |
| A _{1a} | 7.7 | +0.7 | +0.7-c | 0.6·v ² ·(+0.7-c) | 0.24 ·Δp ^{0.5} | 7.7·0.24 ·√(0.6·v ² · +0.7-c) |
| A ₂ | 70.5 | +0.7 | +0.7-c | 0.6·v ² ·(+0.7-c) | 0.00354·Δp ^{0.5} | 70.5·0.00354·√(0.6·v ² · +0.7-c) |
| | | | | | | Q _{in} = 2.29·√(0.6·v ² · +0.7-c) |
| A ₃ | 13.6 | -1.2 | -1.2-c | 0.6·v ² ·(-1.2-c) | 0.00707·Δp ^{0.5} | 13.6·0.00707·√(0.6·v ² · -1.2-c) |
| A _{3a} | 0.9 | -1.2 | -1.2-c | 0.6·v ² ·(-1.2-c) | 0.24 ·Δp ^{0.5} | 0.9·0.24 ·√(0.6·v ² · -1.2-c) |
| A ₄ | 13.6 | -0.6 | -0.6-c | 0.6·v ² ·(-0.6-c) | 0.00707·Δp ^{0.5} | 13.6·0.00707·√(0.6·v ² · -0.6-c) |
| A _{4a} | 0.9 | -0.6 | -0.6-c | 0.6·v ² ·(-0.6-c) | 0.24 ·Δp ^{0.5} | 0.9·0.24 ·√(0.6·v ² · -0.6-c) |
| A ₅ | 13.1 | -1.2 | -1.2-c | 0.6·v ² ·(-1.2-c) | 0.00707·Δp ^{0.5} | 13.1·0.00707·√(0.6·v ² · -1.2-c) |
| A _{5a} | 1.4 | -1.2 | -1.2-c | 0.6·v ² ·(-1.2-c) | 0.24 ·Δp ^{0.5} | 1.4·0.24 ·√(0.6·v ² · -1.2-c) |
| A ₆ | 13.1 | -0.6 | -0.6-c | 0.6·v ² ·(-0.6-c) | 0.00707·Δp ^{0.5} | 13.1·0.00707·√(0.6·v ² · -0.6-c) |
| A _{6a} | 1.4 | -0.6 | -0.6-c | 0.6·v ² ·(-0.6-c) | 0.24 ·Δp ^{0.5} | 1.4·0.24 ·√(0.6·v ² · -0.6-c) |
| A ₇ | 24.2 | -0.5 | -0.5-c | 0.6·v ² ·(-0.5-c) | 0.00707·Δp ^{0.5} | 24.2·0.00707·√(0.6·v ² · -0.5-c) |
| A _{7a} | 10.4 | -0.5 | -0.5-c | 0.6·v ² ·(-0.5-c) | 0.24 ·Δp ^{0.5} | 10.4·0.24 ·√(0.6·v ² · -0.5-c) |
| A ₈ | 70.5 | -0.5 | -0.5-c | 0.6 v ² ·(-0.5-c) | 0.00354·Δp ^{0.5} | 70.5·0.00354·√(0.6·v ² · -0.5-c) |

TABELL 1.

$$Q_{ut} = 0.74 \cdot \sqrt{0.6 \cdot v^2 \cdot |(-1.2-c)|} + \text{se text } \vec{0}$$

Det totala läckaget blir alltså :

$$Q = 2,29 \cdot \sqrt{0,6 \cdot v^2 \cdot \{0,7 - (-0,32)\}} = 1,79 \cdot v \text{ m}^3/\text{h}$$

och den ofrivilliga ventilationen blir:

$$n = \frac{1,79 \cdot v}{418} = 0,0043 \cdot v \text{ oms/h}$$

Läckage enligt NKB:s förslag "for lette ikke-baerende yttervegger"
för "Krav på vindtäthet", december 1965

Vindriktning enligt figur 5 och tillåtet läckage framgår av bilaga 2.

I denna del av beräkningen har vi inte gjort någon skillnad på de olika väggytorna, utan använt samma tillåtet läckage på alla ytor. Det intressanta har varit att få fram storleksordningen på den ofrivilliga ventilationen, för att kunna jämföra de båda förslagen med fältmätningarna.

$$\text{Läckage enligt bilaga 2} : Q = 0,012 \cdot \Delta p \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$$

$$\text{Aktuell area} : A = 26,9 + 7,7 + 70,5 = 105,1 \text{ m}^2$$

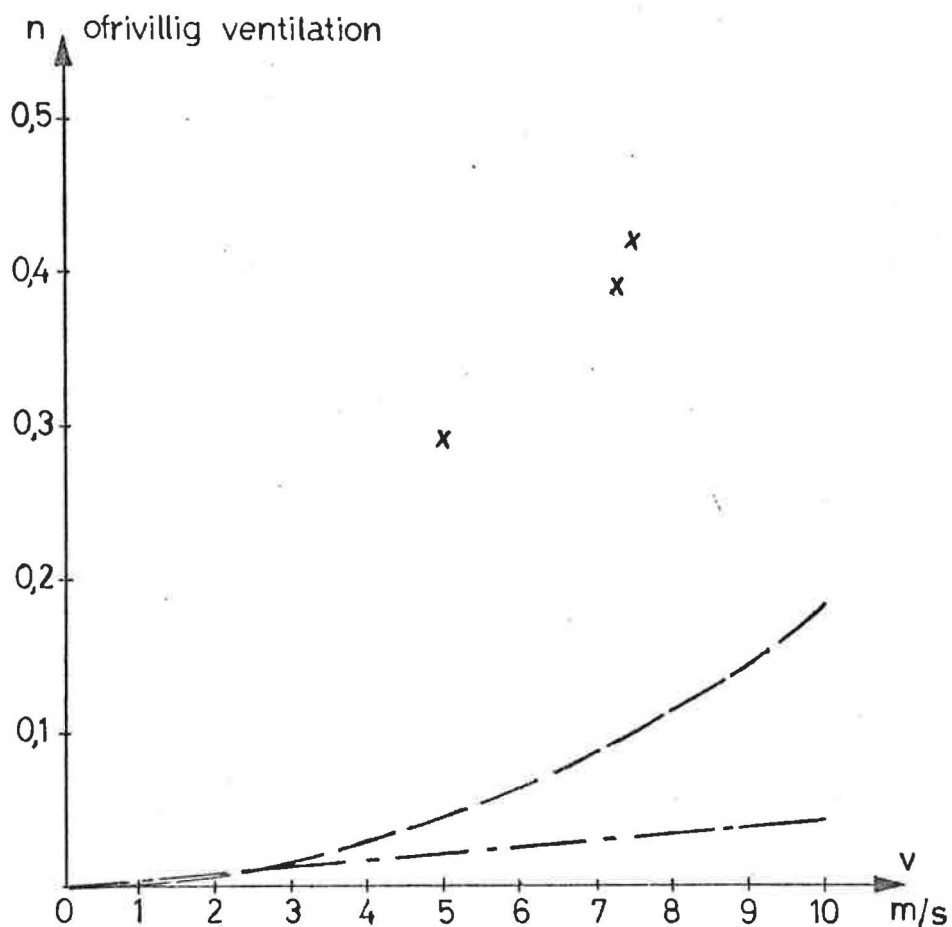
$$\begin{aligned} \text{Tryckskillnad} : \Delta p &= 0,6 \cdot v^2 \cdot \{0,7 - (-0,32)\} = \\ &= 0,612 \cdot v^2 \text{ Pa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Totala läckaget} : Q &= 0,612 \cdot v^2 \cdot 0,012 \cdot 105,1 = \\ &= 0,77 \cdot v^2 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

$$\text{Ofrivilliga ventilationen: } n = \frac{0,77 \cdot v^2}{418} = 0,0018 \cdot v^2 \text{ oms/h}$$

Jämförelse mellan fältmätningarna, Statens Planverks och NKB:s förslag

Som framgår av figur 6 är skillnaden i luftläckage mellan fältmätningarna och de båda förslagen mycket stor.



FIGUR 6. Jämförelse mellan fältmätningarna, Statens Planverks och NKB:s förslag.

OBS! Kommentar till denna figur i tillägg till förordet.

- x Ventilation enligt fältmätningarna.
- — — Ventilation enligt NKB:s förslag.
- - - - - Ventilation enligt Statens Planverks förslag.

2.52 Luftläckage vid ett invändigt övertryck

Läckage enligt Statens Planverks förslag till bestämmelser,

"Krav på vindtäthet".

Tillåtet läckage framgår av bilaga 1 och beräkningen utföres direkt i nedanstående tabell.

| YTA | AREA m ² | LÄCKAGE m ³ /m ² ·h·Pa | LÄCKAGE (m ³ /h) vid Δp= | | | | |
|-----------------|------------------------|---|---|------|------|------|------|
| | | | 10Pa | 20Pa | 30Pa | 40Pa | 50Pa |
| A ₀ | 100.8 | 0.00354·Δp ^{0.5} | 1.1 | 1.6 | 2.0 | 2.3 | 2.5 |
| A ₁ | 26.9 | 0.00707·Δp ^{0.5} | 0.6 | 0.9 | 1.0 | 1.2 | 1.3 |
| A _{1a} | 7.7 | 0.24 ·Δp ^{0.5} | 5.8 | 8.3 | 10.1 | 11.7 | 13.1 |
| A ₂ | 70.5 | 0.00354·Δp ^{0.5} | 0.8 | 1.1 | 1.4 | 1.6 | 1.8 |
| A ₃ | 13.6 | 0.00707·Δp ^{0.5} | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 |
| A _{3a} | 0.9 | 0.24 ·Δp ^{0.5} | 0.7 | 1.0 | 1.2 | 1.4 | 1.5 |
| A ₄ | 13.6 | 0.00707·Δp ^{0.5} | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 |
| A _{4a} | 0.9 | 0.24 ·Δp ^{0.5} | 0.7 | 1.0 | 1.2 | 1.4 | 1.5 |
| A ₅ | 13.1 | 0.00707·Δp ^{0.5} | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 |
| A _{5a} | 1.4 | 0.24 ·Δp ^{0.5} | 1.1 | 1.5 | 1.8 | 2.1 | 2.4 |
| A ₆ | 13.1 | 0.00707·Δp ^{0.5} | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 |
| A _{6a} | 1.4 | 0.24 ·Δp ^{0.5} | 1.1 | 1.5 | 1.8 | 2.1 | 2.4 |
| A ₇ | 24.2 | 0.00707·Δp ^{0.5} | 0.5 | 0.8 | 0.9 | 1.1 | 1.2 |
| A _{7a} | 10.4 | 0.24 ·Δp ^{0.5} | 7.9 | 11.2 | 13.7 | 15.8 | 17.7 |
| A ₈ | 70.5 | 0.00354 p ^{0.} | 0.8 | 1.1 | 1.4 | 1.6 | 1.8 |

TABELL 2. Totala läckaget, Q 22.3 31.6 38.5 44.7 50.0 m³/h
Luftomsättning, n 0.05 0.08 0.09 0.11 0.12 oms/h

Läckage enligt NKB:s förslag "för lette ikke-baerende yttervegger"
för "Krav på vindtäthet", december 1965.

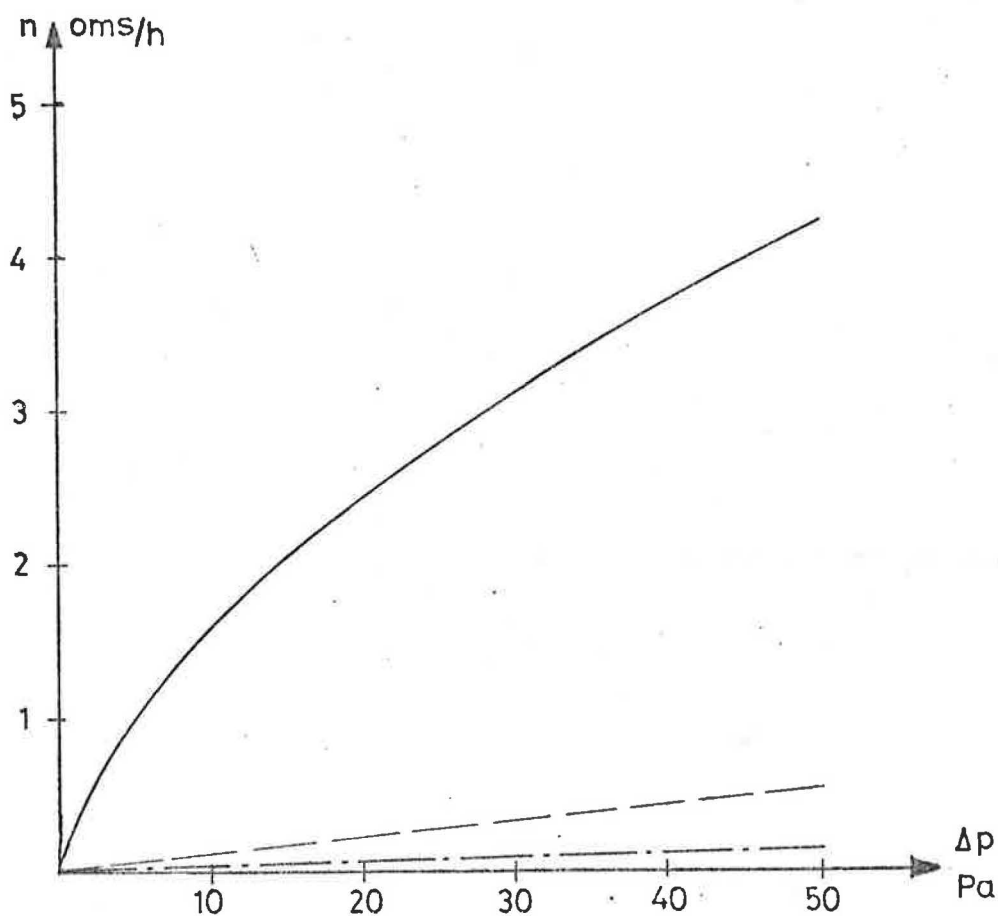
Tillåtet läckage framgår av bilaga 2 och beräkningen utföres
 direkt i nedanstående tabell.

| AREA m ² | LÄCKAGE m ³ /m ² ·h·Pa | LÄCKAGE (m ³ /h) | | | | |
|------------------------|---|-----------------------------|------|-------|-------|-------|
| | | vid Δp= | | | | |
| | | 10Pa | 20Pa | 30Pa | 40Pa | 50Pa |
| 369 | 0.012·Δp | 44.3 | 88.6 | 132.8 | 177.1 | 221.4 |

TABELL 3. n = 0.11 0.21 0.32 0.42 0.53 oms/h

Jämförelse mellan fältmätningarna, Statens Planverks och NKB:s förslag

Som framgår av figur 7 är det även vid ett invändigt övertryck mycket stor skillnad i luftläckage i jämförelse mellan fältmätningarna och de båda förslagen.



FIGUR 7. Jämförelse mellan fältmätningarna, Statens Planverks och NKB:s förslag.

OBS! Kommentar till denna figur i tillägg till förordet.

- Luftomsättning enligt fältmätningarna.
- - - - - Luftomsättning enligt NKB:s förslag.
- · - · - Luftomsättning enligt Statens Planverks förslag.

3 FÄLTMÄTNINGAR

3.1 VAL AV OBJEKT

Angående valet av byggnadsobjekt har vi begränsat oss till källarlösa 1- eller 1 1/2-plans småhus som är nyuppförda. Det finns ett undantag; en fjorton år gammal platsbyggt småhus med källare. Nedan beskrivs objekten:

- Objekt 1 : 1 1/2-plans elementbyggt (volym-) småhus
volym : 374 m³
omslutningsyta : 312 m²
byggnadsår : 1976
mät-datum : 76-03-22
- Objekt 2 : 1-plans elementbyggt (volym-) småhus
volym : 288 m³
omslutningsyta : 353 m²
byggnadsår : 1975
mät-datum : 76-03-26
- Objekt 3 : 1 1/2-plans volymbyggt småhus
volym : 569 m³
omslutningsyta : 455 m²
byggnadsår : 1976
mät-datum : 76-04-06
- Objekt 4 : 1 1/2-plans elementbyggt (yt-) småhus
volym : 418 m³
omslutningsyta : 369 m²
byggnadsår : 1969
mät-datum : 76-05-04
- Objekt 5 : se objekt 4
mät-datum : 76-06-21
- Objekt 6 : se objekt 4
mät-datum : 76-06-18

- Objekt 7 : 1-plans platsbyggd gavelhus i en radhuslänga
volym : 122 m³
omslutningsyta : 126 m²
byggnadsår : 1969
mät-datum : 76-05-05
- Objekt 8 : 1 1/2-plans elementbyggt (volym-) småhus
volym : 215 m³
omslutningsyta : 190 m²
byggnadsår : 1976
mät-datum : 76-05-10
- objekt 9 : 1 1/2-plans platsbyggt småhus
volym : 215 m³
omslutningsyta : 190 m²
byggnadsår : 1976
mät-datum : 76-05-12
- Objekt 10: 1-plans platsbyggt småhus med källare, som här
jämföras med kryprum.
volym : 300 m³
omslutningsyta : 380 m²
byggnadsår : 1965
mät-datum : 76-05-14
- Objekt 11: 1-plans platsbyggt småhus
volym : 285 m³
omslutningsyta : 349 m²
byggnadsår : 1976
mät-datum : 76-07-05
- Objekt 12: 1-plans elementbyggt (yt-) småhus
volym : 285 m³
omslutningsyta : 349 m²
byggnadsår : 1976
mät-datum : 76-07-05

När objekt 8 och 9 mätes var dörren till övervåningen förtejpädd och likaså var vid mätning av objekt 10, dörrarna till källaren förtejpädd.

3.2 SPÄRGASMÄTNING

3.21 Utrustning

Nedan redovisas den utrustning som krävs för en komplett spär-
gasmätning i fält.

Spärgasanalysator: URAS N7, mäter gaskoncentrationen enligt
principen om gasens absorption av infra-
röd strålning. Mätnoggrannheten $\pm 1\%$

Lustgas : förvaras i transportabla gastuber. Se
vidare i avsnittet lustgasens egenskaper.

Reduceringsventil: ventil till gastuberna.

Digitalvoltmeter : registrerar spärgasanalysatorns utsignal
digitalt.

Tejp : tätar vid ventiler och fläktar.

Masonitskivor : för att manuellt blanda gasen med luften.

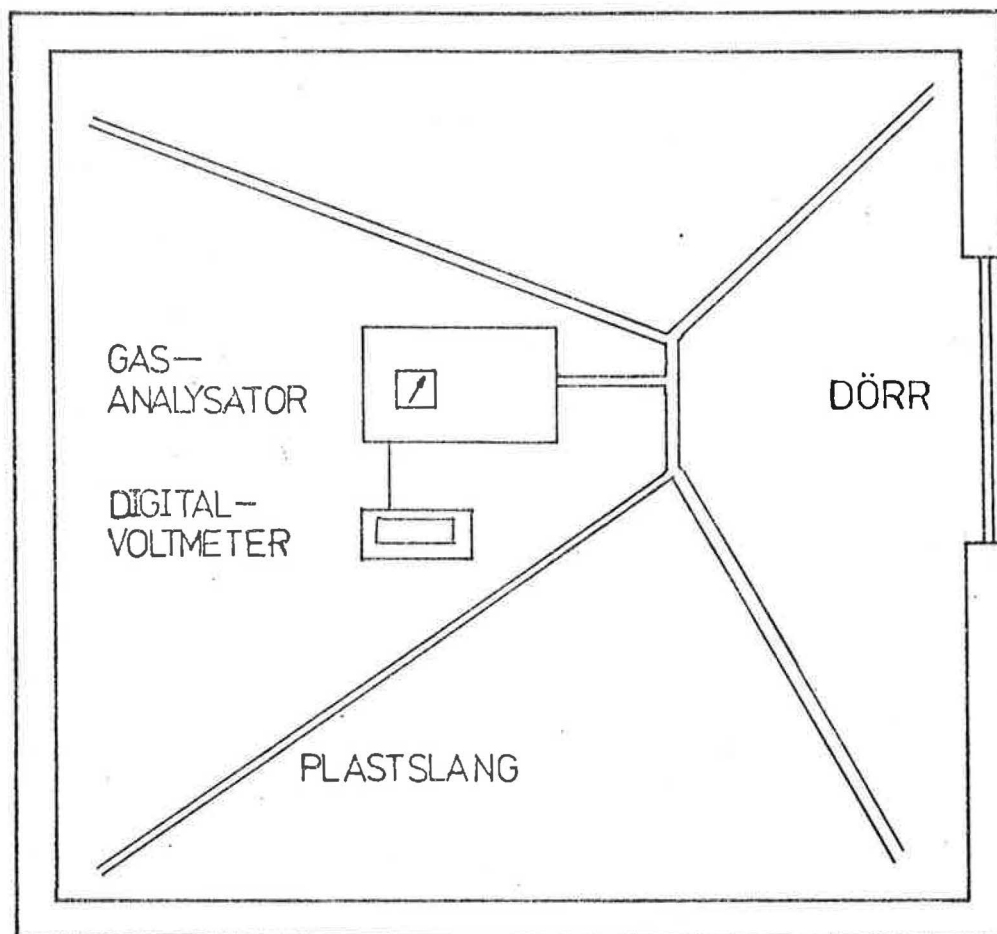
Plastslangar : tillbehör till gasanalysatorn.

Stoppur och
protokoll :

Den utrustning som har beskrivits kan transporteras i en
mindre bil. Gasanalysatorn behöver ett par timmar för upp-
värmning, för att ge ett pålitligt resultat.

3.22 Tillvägagångssätt

Detta avsnitt avser att beskriva tillvägagångssättet vid en spårgasmätning, såväl uppmontering av instrumenten som de direkta mätningarna. Se figur 8.



FIGUR 8. Den principiella uppbyggnaden av utrustningen för en spårgasmätning.

Eftersom gasanalysatorn kräver några timmars uppvärmningstid kopplas den in omedelbart vid framkomsten till mätobjektet. Samtidigt kopplas en digitalvoltmeter till analysatorn. På utvalda punkter i byggnaden skall plastslangar placeras ut, varav slangarna mynnar i gasanalysatorna insugningsventil. Därmed erhålles ett medelvärde av gaskoncentrationen i byggnaden.

När den ofrivilliga ventilationen skall mätas är det viktigt att tejpa för ventiler och fläktar. När förtejpningen och uppvärmningen av gasanalysatorn är klar "släpps" lustgas ut i byggnaden. Lämplig mängd lustgas är 0,1 volymsprocent. För att blanda gasen med luften viftas masonitskivorna runt med hjälp av handkraft under några minuter.

Innan den direkta mätningen kan påbörjas behöver analysatorn några minuter för stabilisering. När väl Stabilisering har inträtt är det viktigt att inga dörrar eller fönster öppnas under mätningens gång, vilket skulle påverka mätningens resultat.

Gaskoncentrationens avtagande mäts var 5:e minut. Värdet prickas in i ett diagram med axlarna; tid i linjär skala och gaskoncentrationen i logaritmisk skala. De inprickade värdena skall bilda en rät linje och dess lutning anger antal luftomsättningar. Se vidare i avsnittet Mätning av luftomsättning med spårgas.

Den sammanlagda tiden för en spårgasmätning är ungefär 3 timmar, varav huvuddelen av tiden åtgår för att värma gasanalysatorn.

3.3 ÖVERTRYCKSMÄTNING

3.31 Utrustning

Den utrustning som används är följande:

- | | | |
|----------------|---|--|
| Axial-fläkt | : | Svenska Fläktfabriken PMCA-040 med effekten 0,18 kW. |
| Effektvariator | : | reglerar fläktens varvtal. |

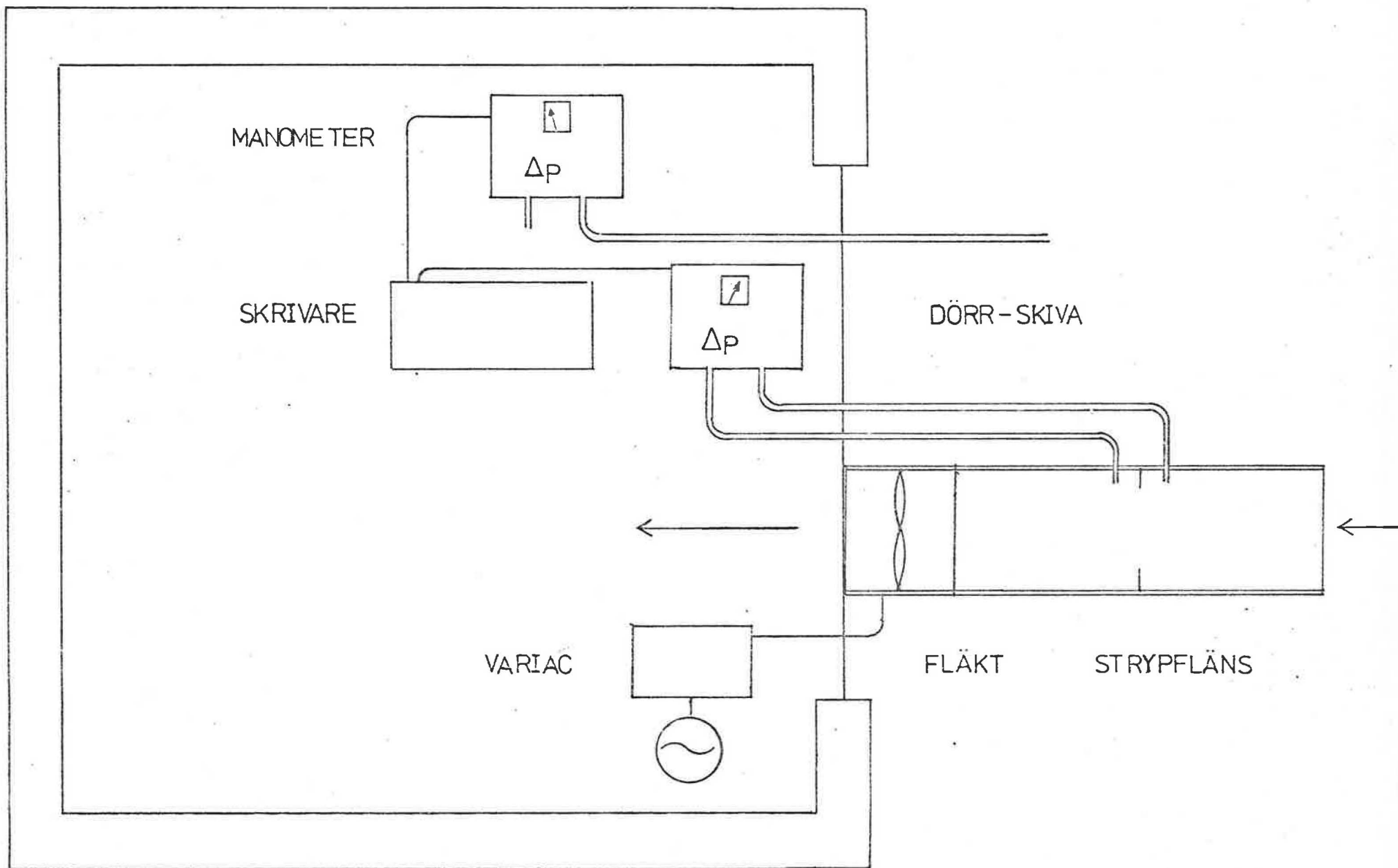
- Strypfläns : Svenska Fläktfabriken EHBA, diametern
220 mm och 330 mm (modifierad).
- Mikromanometer, 2st : mätområde 0-100 Pa och 0-25 Pa.
- Skrivare : registrerar mikromanometerens utslag.
- Plywoodskiva : ytterdörrens mått.
- Tejp : tätar vid ventiler och fläktar.
- Protokoll :

Den utrustning som här har beskrivits är ganska volymkrävande i jämförelse med spårgasutrustningen. (Utrustningen liknar den av McIntyre & Newman, (1975), använda.)

3.32 Tillvägagångssätt

Att göra fältmätning med övertryck är mindre tidskrävande än vid spårgasmätning, men i gengäld är utrustningen mer omfattande. Tillvägagångssättet är följande:

Fläkten och strypflänsen monteras på en plywoodskiva med hål för fläkten och vars mått motsvarar dörröppningen. Skivan monteras i dörröppningen och springan mellan skiva och karm görs tät med tejp. Över strypflänsen mäts tryckdifferensen med en mikromanometer vars värde registreras av en skrivare. En plastslang placeras utomhus och kopplas till en mikromanometer inomhus. Därmed har man tryckdifferensen mellan inom- och utomhus. Även detta värde registreras på en skrivare. Till fläkten kopplas en effektvariator, för att luftflödet genom fläkten skall kunna varieras.



FIGUR 9. Den principiella uppbyggnaden av utrustningen för en övertrycksmätning.

Tejpning sker på motsvarande sätt som för spårgasmätning. Inga dörrar eller fönster får öppnas under mätningens gång. Se figur 9.

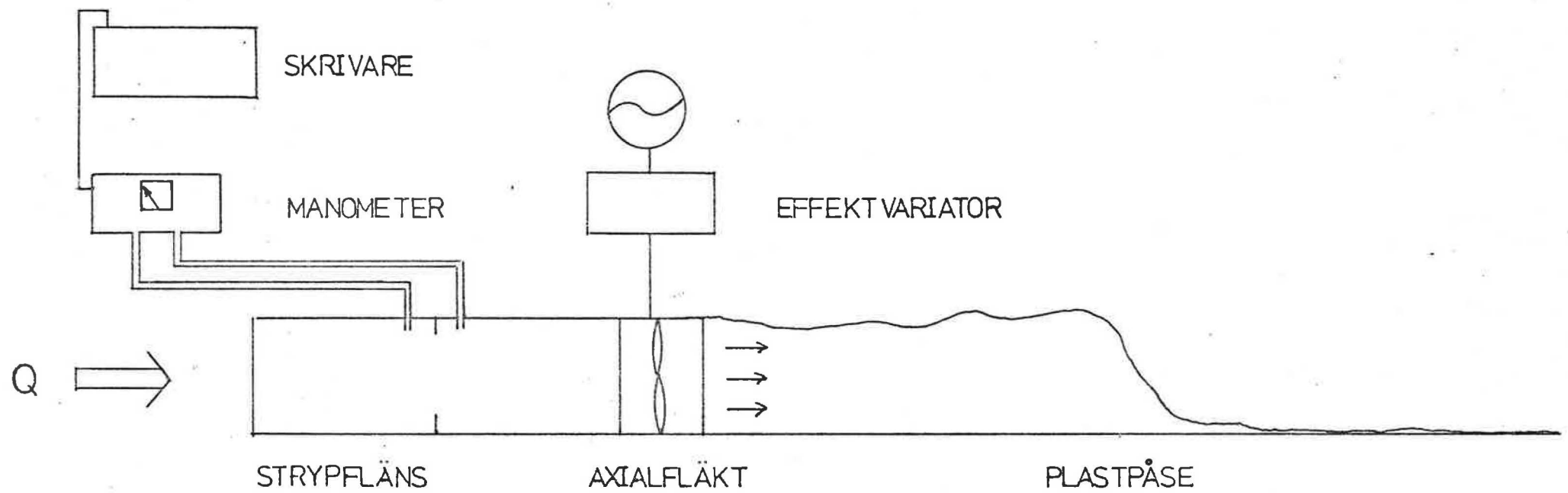
Själva mätningen går till så att fläkten startas och därmed tillförs byggnaden ett luftflöde, vilket ger ett övertryck. Samtidigt avläser man tryckdifferensen över strypflänsen och går in i ett kalibreringsdiagram. Ur diagrammet fås luftflödet genom strypflänsen. Därmed erhålles ett talpar, dels tryckskillnaden mellan inom- och utomhus, dels tillfört luftflöde. Talparet ritas in i ett diagram.

Detta förfarandet upprepas tills flera talpar har erhållits och ritats in i diagrammet. Med diagrammets hjälp observeras luftflödet för olika övertryck.

3.33 Kalibrering av strypfläns

Efter vad som tidigare framgått, motsvarar en tryckdifferens över strypflänsen ett luftflöde genom densamma. För att få vetskap om flödets storlek vid olika tryckdifferenser behöver strypflänsen kalibreras. Nedan beskrivs den metod som har använts: (Se t.ex Svensson, (1974).)

Den tid som krävs för att luft skall fylla en känd volym med hjälp av en fläkt mäts och ger medelflödet. Samtidigt mäts tryckdifferensen över strypflänsen. Som känd volym användes en 39 m lång plastpåse, med en volym av $13,5 \text{ m}^3$. Plastpåsens mynning tejpas ihop med axialfläkten som i sin tur är fastsatt till strypflänsen. Tryckdifferensen registreras av en mikromanometer som är kopplad till en skrivare. Se figur 10.



FIGUR 10. Den principiella uppbyggnaden av utrustningen för kalibrering av strypfläns.

Fläkten startas och samtidigt stryps påsen vid strypflänsen, så att ingen luft går in i påsen till dess fläkten har kommit upp i sitt bestämda varvtal. Då öppnas påsen och in strömmar luften tills påsen är fylld. Tiden till fyllnad registreras med ett stoppur. Med känd tid och volym beräknas luftflödet (Q) direkt och jämförs med tryckdifferensen över strypflänsen. Dessa två värden bildar ett talpar som prickas in i ett diagram. Förfarandet upprepas så att en kurva erhålles. Se diagrammen i bilaga 3 och 4.

4 RESULTATSAMMANSTÄLLNING

I detta avsnitt redovisas de resultat som har mätts under fältmätningarna, vid sammanlagt 12 olika tillfällen.

Vid övertrycksmätningarna har den normala ytterdörren ersatts med en plywoodskiva med fläkt. Det medför att läckaget genom ytterdörren inte ingår i det totala läckaget. Resultaten av övertrycks- och spårgasmätningarna framgår av tabell 4 och figur 11-13. Vindhastigheterna i tabell 4 är hämtade från SMHI:s väderstationer nära mätorten utom för objekt 5 och 6, där vindhastigheten mätes på platsen, 10 meter över marken. Däremot är temperaturskillnaden mellan inom- och utomhus av ringa värde, eftersom den under vår och sommar är liten i Skåne. Det bör även sägas att omslutningsytan är ytan över vilken en tryckskillnad existerar samt att volymen är de delar av byggnaden som begränsas av volymens tätskikt. Beräkningarna av luftomsättningen grundar sig på två tryckskillnader, 25 och 50 Pa.

Ett visst samband mellan ofrivillig ventilation och läckage per omslutningsyta och tidsenhet ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$) kan eventuellt skönjas. Se figur 14.

Med minsta kvadratmetoden har erhållits ett samband:

$$n = 3 \cdot 10^{-2} \cdot L^{1,7} \quad \text{oms/h}$$

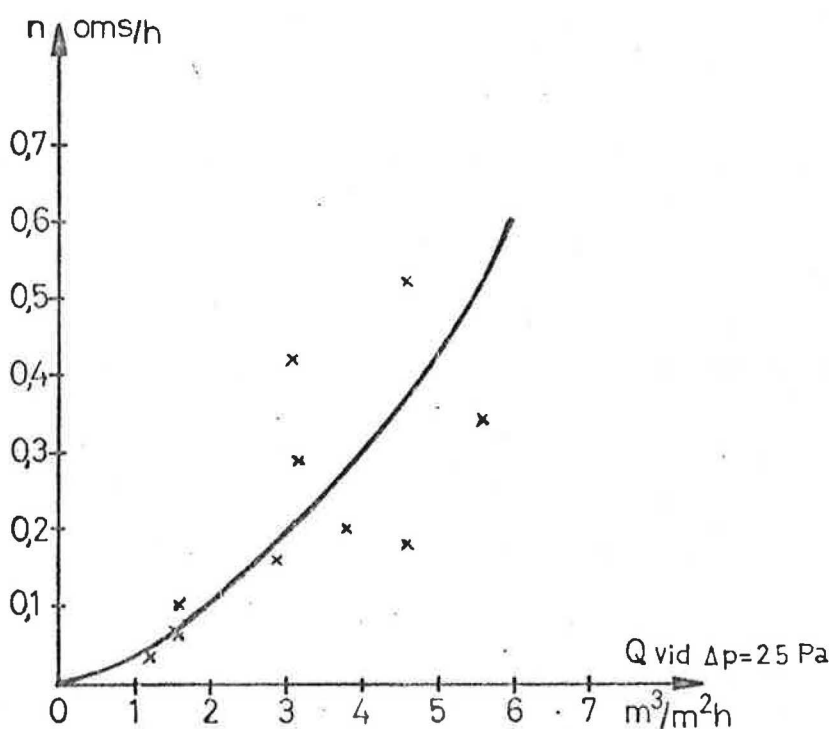
där $L =$ läckage vid $\Delta p = 25$ Pa/omslutningsyta och timme, ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$)

Felet är visserligen stort men ett större antal mätningar kunde eventuellt ge belägg för ett sådant samband.

Figur 11 visar resultatet av övertrycksmätningarna där läckaget är en funktion av tryckskillnaden mellan inom- och utomhus.

Figur 12 och 13 visar skillnaden mellan läckagen beroende på om läckaget sätts i relation till volym eller omslutningsyta.

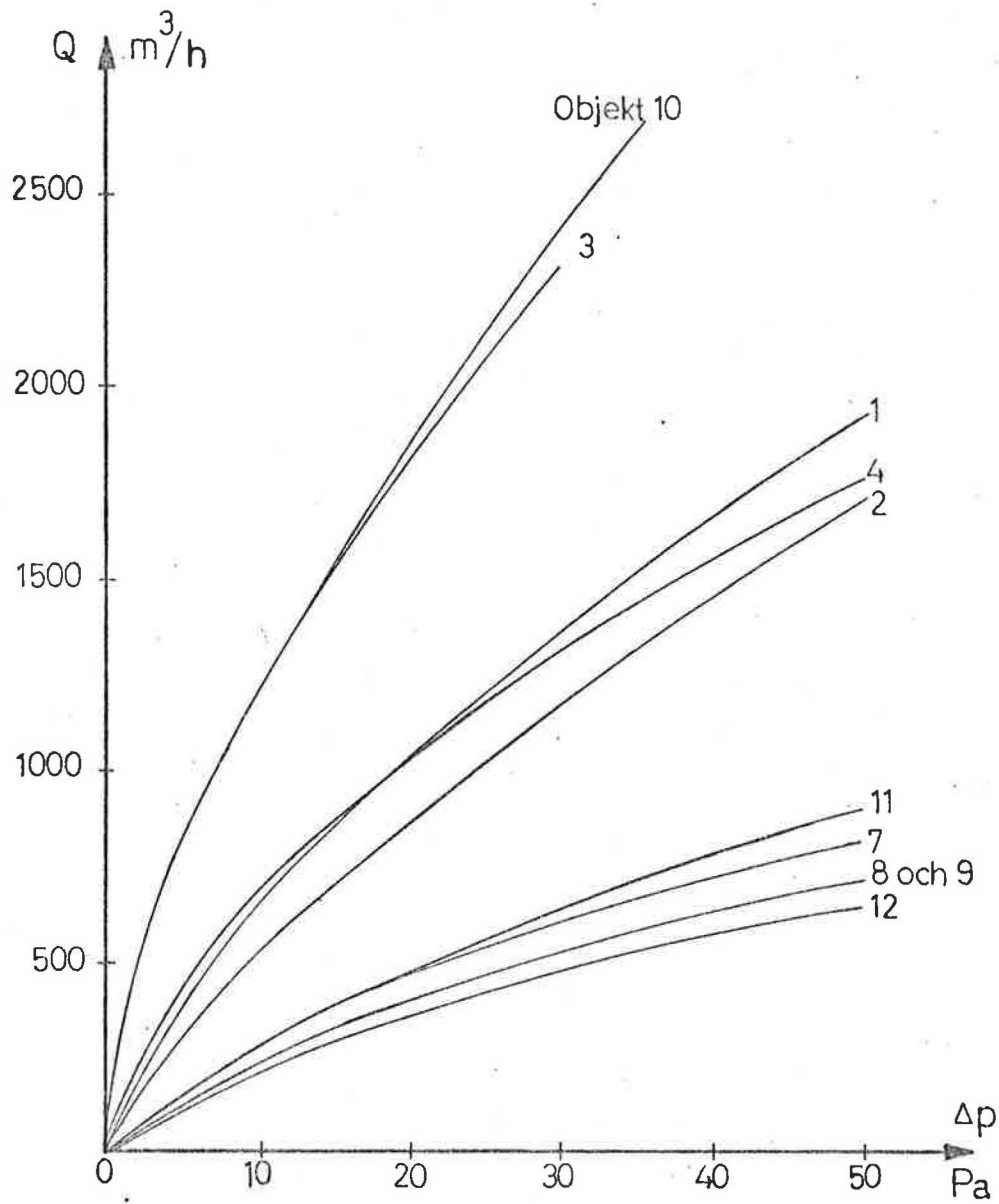
Skillnaden mellan mätobjektens inbördes placering i de två "täthetsdiagrammen" beror dels på att det är svårt att räkna ut den verkliga omslutningsytan, dels på att omslutningsytan ej behöver vara propotionell mot volymen. Ett problem är huruvida tryckskillnaden är densamma över kryprum och inomhus, som fasad och inomhus. Det beror på att utförandet skiftar mellan olika kryprum och då framförallt kryprummets ventilation. Samma problem råder för också för olika utförande av plattgrundläggning. Vi har räknat in golvytan i omslutningsytan om byggnaden har kryprum.



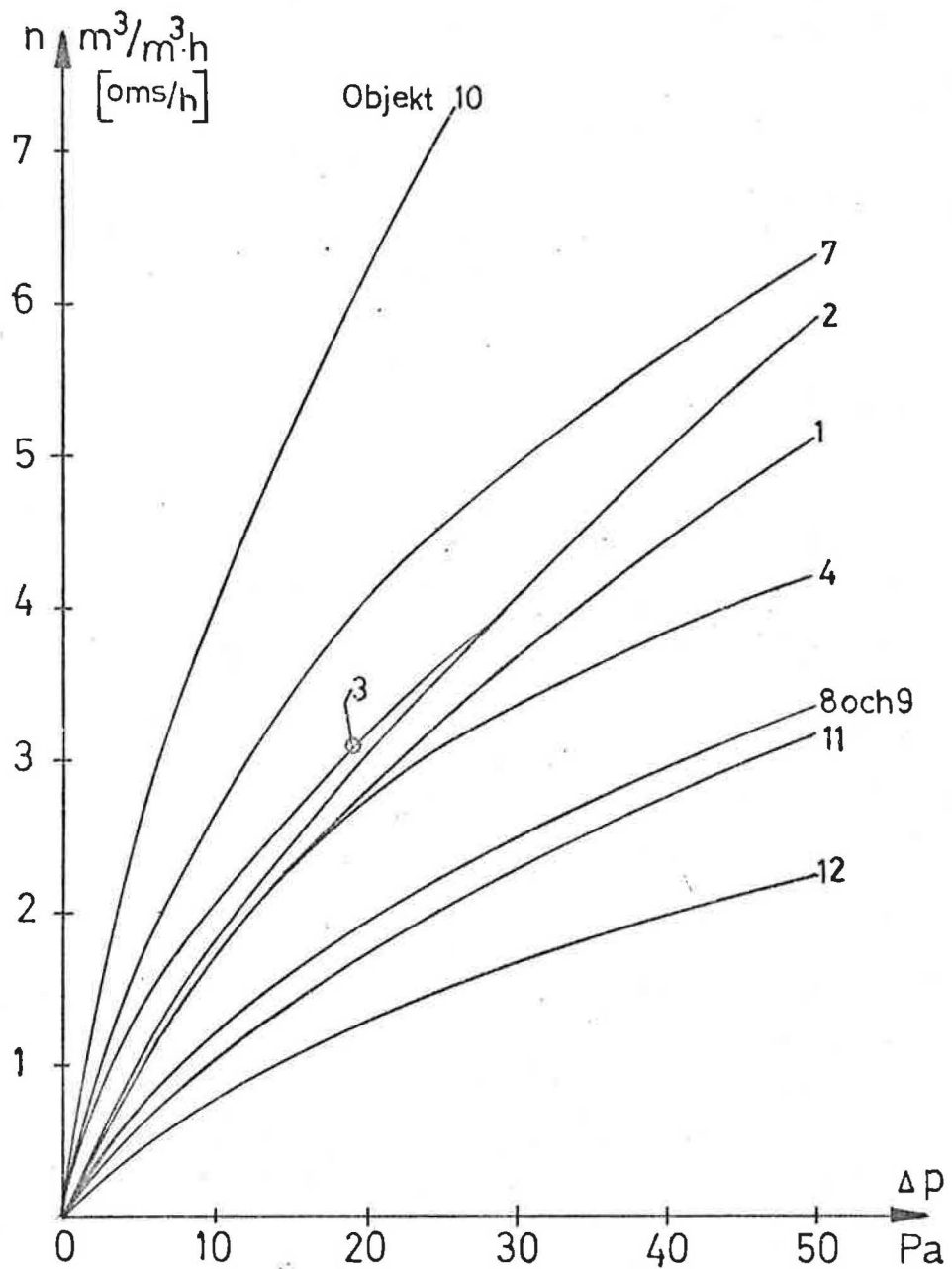
FIGUR 14. Ofrivillig ventilation, n som funktion av läckaget vid $\Delta p = 25$ Pa per omslutningsyta och timme (m^3/m^2h).

| Mätobjekt | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Kryprum | Ja | Ja | Ja | Ja | Ja | Ja | Nej | ja | ja | Ja | Nej | Nej |
| Volym, m ³ | 374 | 288 | 569 | 418 | 418 | 418 | 122 | 215 | 215 | 300 | 285 | 285 |
| Omslutningsyta, m ² | 312 | 353 | 455 | 369 | 369 | 369 | 126 | 310 | 310 | 380 | 349 | 349 |
| Ofrivillig ventilation n, oms/h | 0,20 | 0,16 | 0,52 | 0,42 | 0,29 | 0,39 | 0,18 | 0,07 | 0,10 | 0,34 | 0,06 | 0,03 |
| Läckage vid $\Delta p=25$ Pa, m ³ /h | 1200 | 1020 | 2080 | 1160 | 1180 | | 550 | 480 | 480 | 2120 | 560 | 420 |
| Luftomsättning vid $\Delta p=25$ Pa, oms/h | 3,2 | 3,5 | 3,7 | 2,8 | 2,8 | | 4,4 | 2,2 | 2,2 | 7,1 | 2,0 | 1,5 |
| Läckage vid $\Delta p=25$ Pa/omslutningsyta och timme, m ³ /m ² h | 3,8 | 2,9 | 4,6 | 3,1 | 3,2 | | 4,6 | 1,5 | 1,5 | 5,6 | 1,6 | 1,2 |
| Max Δp vid fläns ϕ 330 mm, Pa | 54 | 54 | 30 | 62 | 56 | | 92 | 95 | 94 | 36 | | 104 |
| Vindhastighet, m/s | 7,0 | 6,0 | 10,5 | 7,5 | 5,0 | 7,3 | 8,0 | 9,0 | 6,0 | 7,0 | 4,2 | 4,2 |

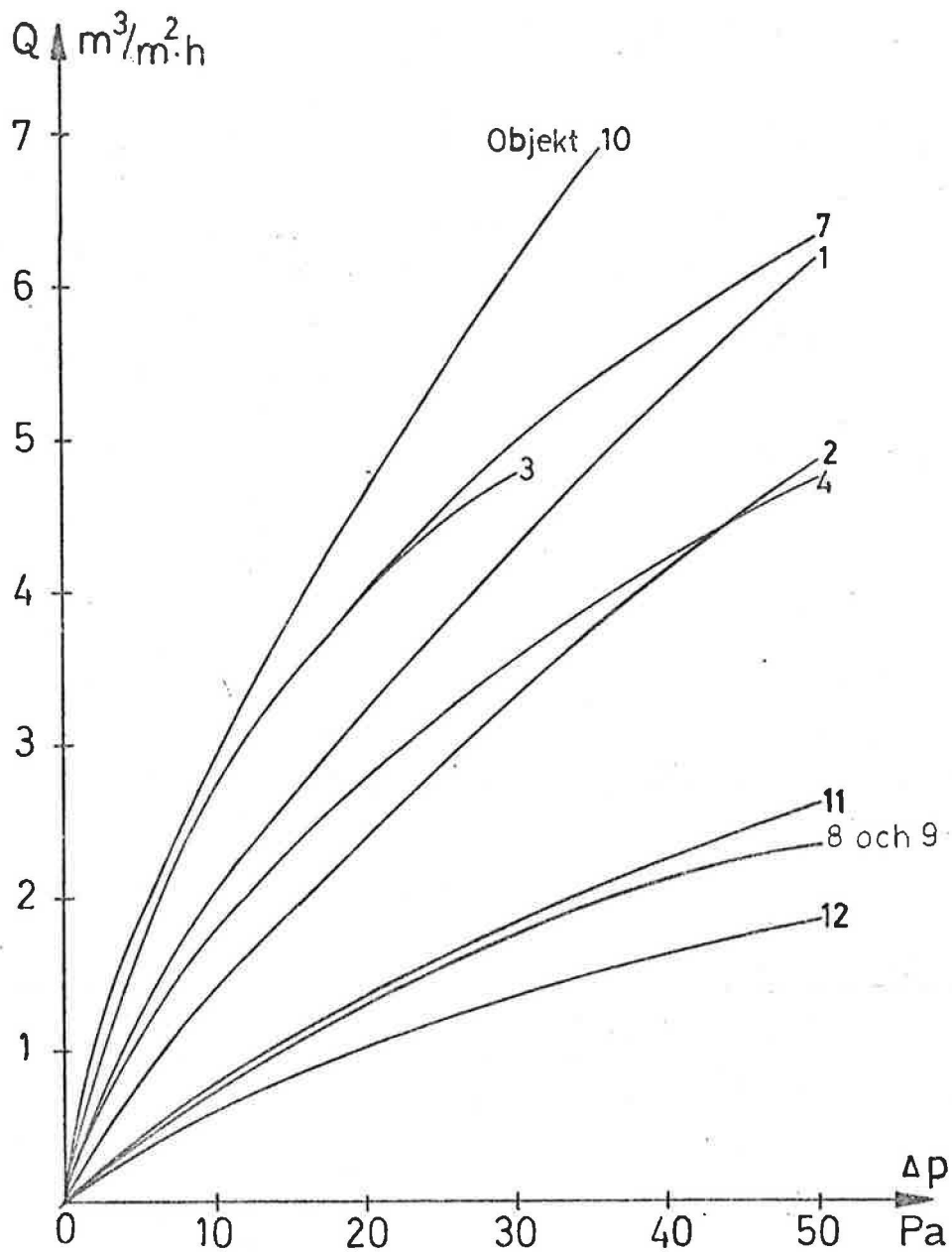
TABELL 4. Tabellsammanställning över fältmätningarna.



FIGUR 11. Resultat av övertrycksmätningar där läckaget, m^3 per timme är avsatt som funktion av tryckskillnaden Δp , mellan inom- och utomhus. Kurva 8 och 9 är delvis uppskattade.



FIGUR 12. Resultat av övertrycksmätningar där läckaget, m^3 per m^3 volym och timme är avsatt som funktion av tryckskillnaden Δp , mellan inom- och utomhus. Kurva 8 och 9 är delvis uppskattade.

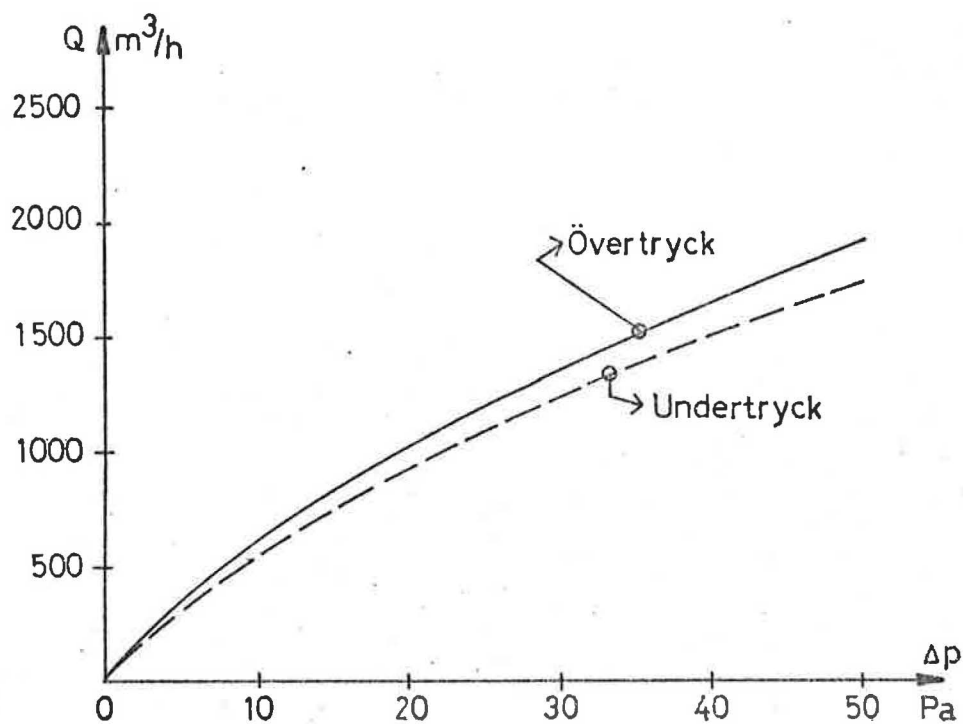


FIGUR 13. Resultat av övertrycksmätningar där läckaget, m^3 per m^2 omslutningsyta och timme är avsatt som funktion av tryckskillnaden Δp , mellan inom- och utomhus. Kurva 8 och 9 är delvis uppskattade.

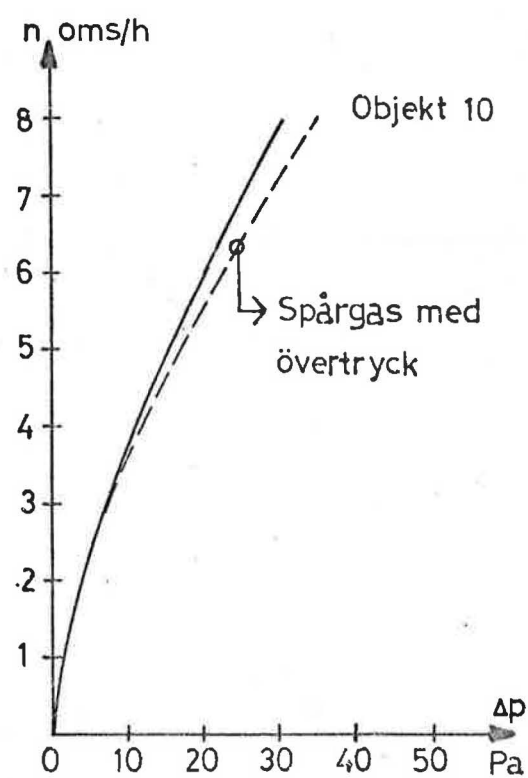
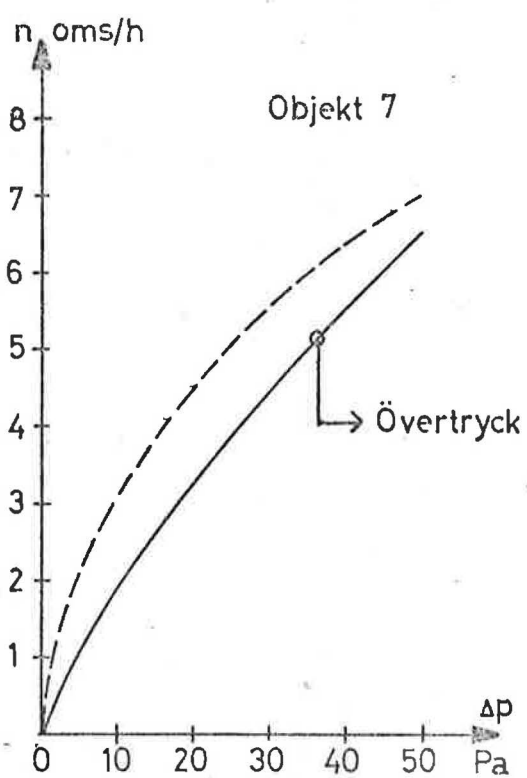
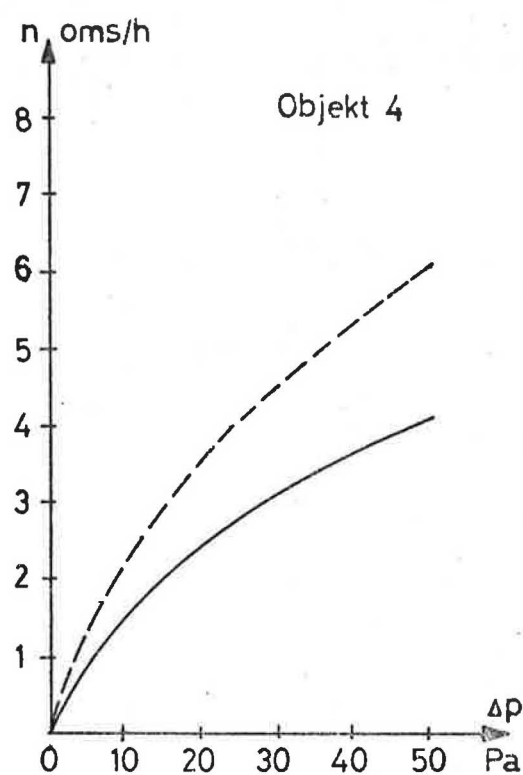
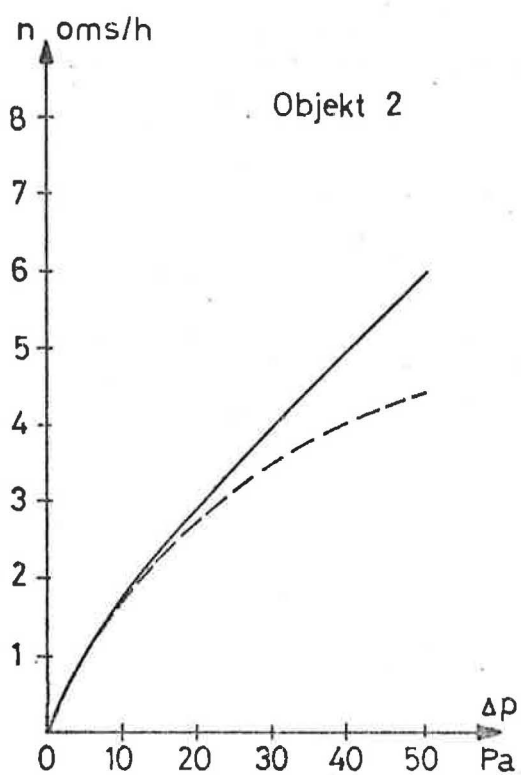
Under examensarbetet har vi även kombinerat de två fältmetoderna. Vilket innebär att under ett bestämt övertryck i byggnaden utföres en spårgasmätning. Denna kombinerade mätning har gjorts i 4 byggnader. De instrument som behövs är den sammanlagda utrustningen av övertrycks- och spårgasmätning. Luftomsättningen har mätts för olika tryckskillnader mellan inom- och utomhus. Resultatet har jämförts med övertrycksmätning av byggnaderna. Av figur 16 framgår det att överensstämmelsen mellan metoderna är mindre bra.

Vi har även gjort undertrycksmätningar, för att se om det föreligger någon skillnad mellan över- och undertryck.

Undertrycksmätningarna har genomgående gett ett lägre läckage, men skillnaden har maximalt varit $200 \text{ m}^3/\text{h}$ vid en tryckskillnad på 50 Pa . Den kurvan visas i figur 15. En förklaring till skillnaden är att både fönster och dörrar ofta är utåtgående. Vilket innebär att fönster och dörrar trycks mot resp. karm och därmed minskar otätheterna vid undertryck, medan effekten blir den motsatta vid övertryck.

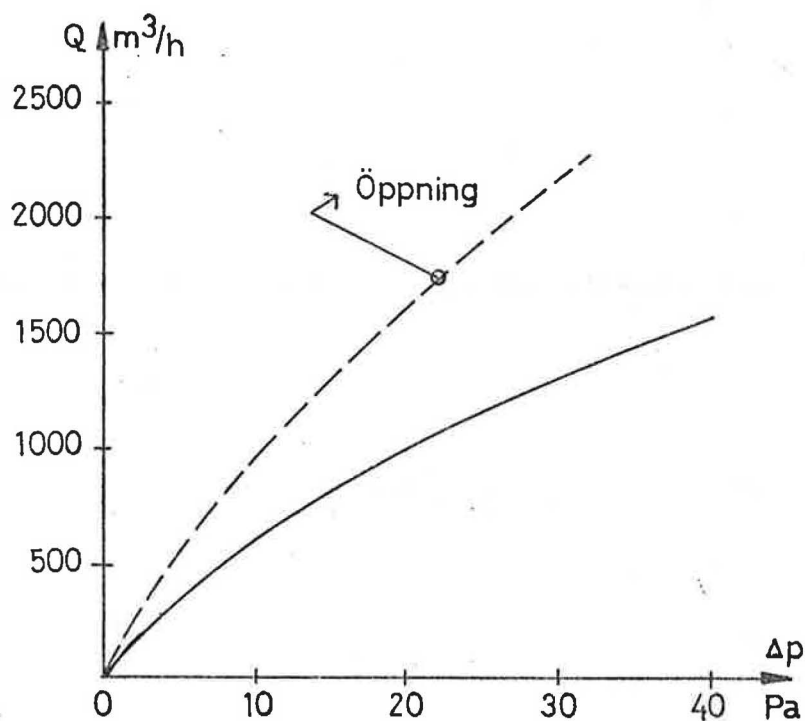


FIGUR 15. Resultat av över- och undertrycksmätning i ett av mätobjekten.



FIGUR 16. Resultat från kombinerade mätningar (övertrycks- och spårgasmätning) av objekt 2, 4, 7, 10.

Vid en fältmätning i objekt 4, upptäcktes det att ett fönster ej var tillslutet under mätningens gång. Motsvarande mätningar med stängda fönster har skett efteråt. Fönsteröppningens area var c:a $0,02 \text{ m}^2$. Resultatet framgår av figur 17.



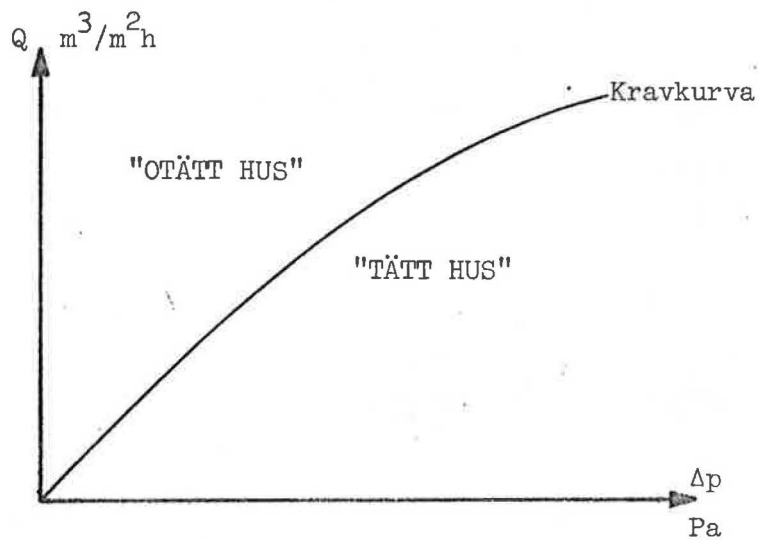
FIGUR 17. Resultat av fältmätning, objekt 4 med ett fönster "öppet" motsvarande en öppning på ungefär $0,02 \text{ m}^2$.

En vindhastighet på 5 m/s motsvarar en tryckskillnad över väggen på 15 Pa om formfaktorn antas vara 1. Detta skulle betyda att en öppning på ungefär $0,02 \text{ m}^2$, skulle ge ett ökat läckage på $500 \text{ m}^3/\text{h}$.

5 PRINCIPFÖRSLAG FÖR KRAV PÅ TÄTHET HOS BYGGNADER MÄTT
MED TRYCKMETOD

Vi skall här försöka redovisa förslag till tänkbar konstruktion av norm för byggnaders täthet.

Övertrycksmätning

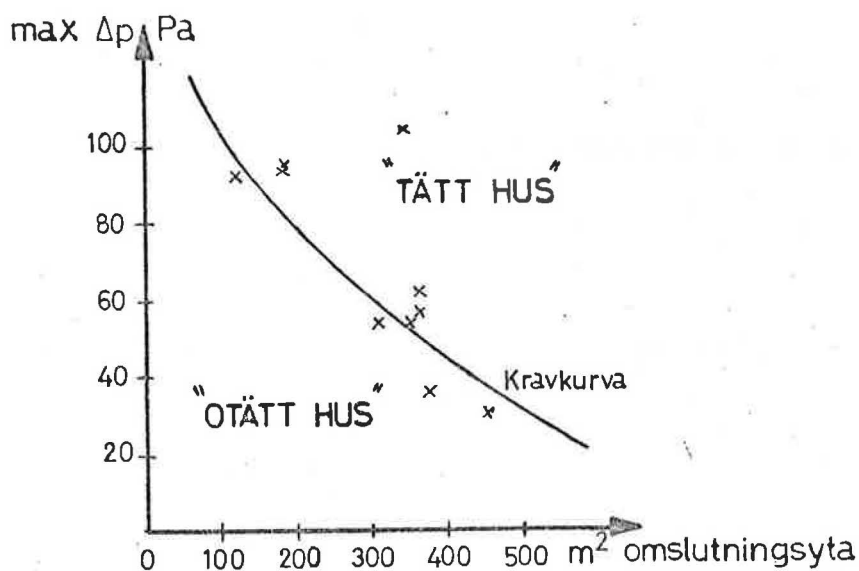


FIGUR 18. Tänkbar konstruktion av kravkurva för byggnaders täthet.

Förslaget bygger enbart på övertrycksmätning, där läckaget per m^2 omslutningsyta och timme sätts som funktion av tryckskillnad Δp , mellan inom- och utomhus.

Maximala tryckskillnader

Detta förslag bygger direkt på utförda fältmätningar. Den maximala tryckskillnaden mellan inom- och utomhus som fläkten (fläns med diametern 330 mm) förmått ge i de olika byggnaderna, är avsatt som funktion av omslutningsytan. Se figur 19.



FIGUR 19. Den maximalt uppmätta tryckskillnaden Δp , mellan inom- och utomhus som funktion av omslutningsytan m^2 , i 10 av de 12 objekten. Se tabell 4.

Detta förslag förutsätter att en standardiserad fläktutrustning används för att resultaten skall bli jämförbara. Eftersom vindhastigheten har betydelse för mätningens tillförlitlighet bör den maximeras, t.ex max vindhastighet = 4 m/s.

6 SAMMANFATTNING

Går det att utveckla en provningsmetod som mäter byggnaders täthet ?

Ja,

men det krävs fler fältmätningar och mer ingående studier av meteorologiska data. Som tidigare framgått har vind och delvis temperatur, en avgörande betydelse för vilket värde som erhålles på den ofrivilliga ventilationen.

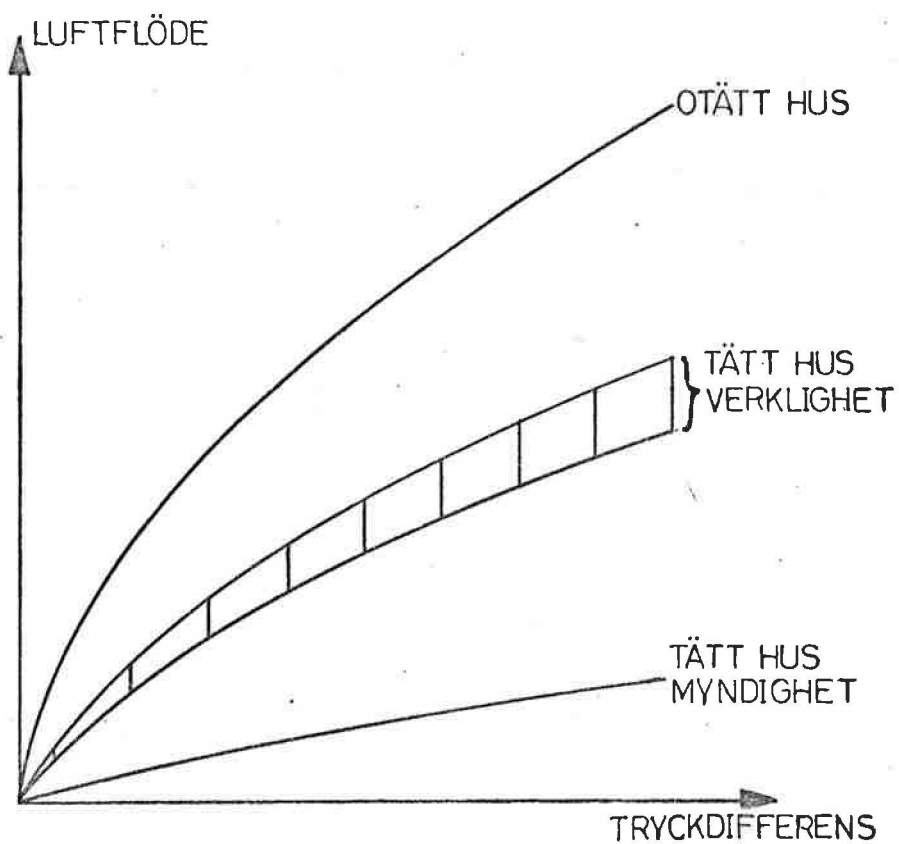
När det gäller övertrycksmätningar har vi kommit till den slutsatsen att det är en metod som till stor del eliminerar de tryckskillnader som uppstår på grund av vind och temperatur; Problemet har varit att fastställa huruvida läckaget skall relateras till volym eller omslutningsyta. Det rimliga är att omslutningsytan används som parameter, eftersom det är där läckaget sker. Vid fastställande av omslutningsyta erfordras ytterligare undersökningar om i vilken omfattning ytan vid olika typer av grundläggning skall räknas in i omslutningsytan.

På nästa sida kommenteras den teoretiska beräkningen.

Med tanke på resultatet av den teoretiska beräkningen, måste följande fråga inställa sig:

Vad är verklighet kontra myndigheters krav när det gäller täta hus ?

Vårt svar ges av figur 20.



FIGUR 20.

LITTERATURFÖRTECKNING

Ahlström, K-E, & Wennberg, M. Några metoder för mätning av luftomsättningar i lokaler. (Inst. för Uppvärmningsteknik) Tekniska Meddelanden 16-22.

Bankvall, C, & Sandberg, P-I, 1972 Vind (Inst. för Byggnadsteknik, LTH) Kompendium i Byggnadsteknik I, Lund.

Elmroth, A & Höglund, I. Analys av ofrivillig ventilation i småhus. (Inst. för Byggnadsteknik, KTH). VVS-tidningen nr 2, 1970.

Löfstedt, Börje. Föreläsning, Installationsåtgärder vid energisnålt byggande. (Inst. för Byggnadskonstruktionslära, LTH) Lund 1976.

McIntyre, I.S., & Newman, C.J., 1975. The testing of whole houses air leakage. (Building Research Establishment) Note N 21/75.

NKB-skrift nr. 5, dec. 1965, Felles nordiske retningslinjer for letter ikke-bærende yttervegger.

Low load-bearing external walls

Svensson, Anders. Rapport R51:1974. Gemensamma Nordiska metoder för mätning av luftflöden i ventilationsanläggningar.

Utdrag ur SBN 1975 Supplement 1

Sverige: Förslag till bestämmelser.

OBS! DEN FASTSTÄLLDA LYDELSEN I SBN 1975 SKILJER SIG FRÅN
DET FÖLJANDE! SE TILLÄGG TILL FÖRORDET!

KRAV PÅ VINDTÄTHET

Byggnadsdelar som avgränsar utrymmen som skall hållas uppvärmda skall vara så vindtäta att de förhindrar onödigt luftläckage.

Vid provning enligt metod i SIS 00 00 00 godtas att luftläckaget för olika byggnadsdelar uppgår högst till i tabell 33:3 angivna värden.

Tabell 33:3

Högsta godtagbara luftläckage vid ett luftövertryck av 50 Pa.

| Byggnadsdel | Tillåtet luftläckage $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$ |
|-------------|---|
|-------------|---|

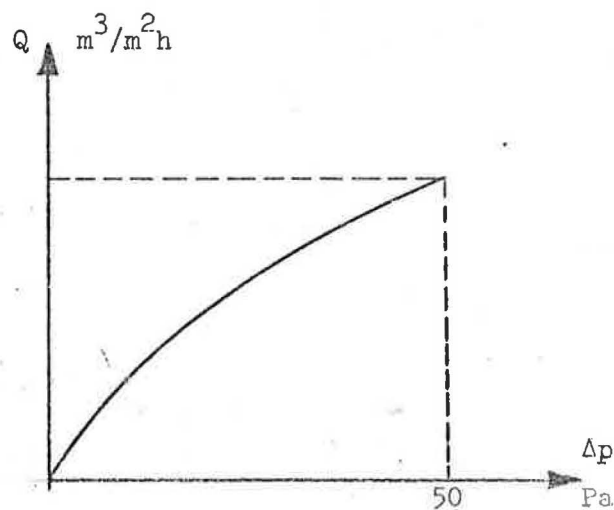
| | |
|---|-------|
| 1. Vägg mot det fria ^{a)} | 0,050 |
| 2. Fönster, dörr mot det fria ^{b)} | 1,700 |
| 3. { Tak mot det fria | 0,025 |
| Bjälklag mot det fria | |
| eller ventilerat utrymme | 0,025 |

a) Inklusive anslutning mot yttervägg samt tätning mellan karm och vägg.

b) Avser täthet hos springan mellan karm och fönsterbåge respektive dörrblad.

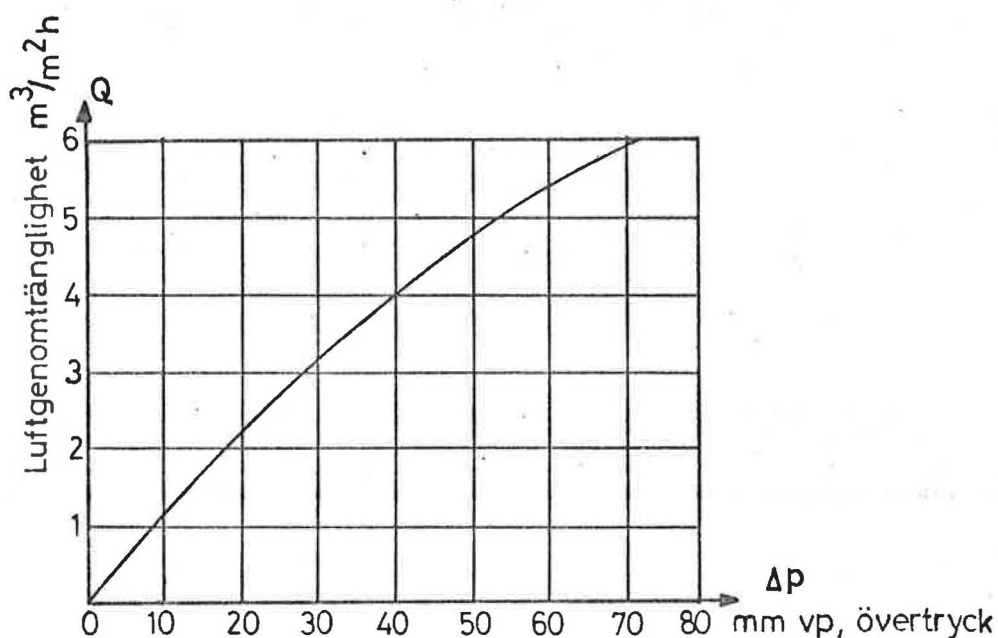
Statens Planverk har redovisat ett tillåtet luftläckage vid 50 Pa. För beräkning vid andra tryckskillnader har följande samband antagits mellan tryckskillnad och tillåtet luftläckage:

$$Q = k \cdot \Delta p^{0.5}$$



1. $0,050 = k_1 \cdot \sqrt{50} \rightarrow Q = 0,00707 \cdot \sqrt{\Delta p} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}$
2. $1,700 = k_2 \cdot \sqrt{50} \rightarrow Q = 0,24 \cdot \sqrt{\Delta p} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}$
3. $0,025 = k_3 \cdot \sqrt{50} \rightarrow Q = 0,00354 \cdot \sqrt{\Delta p} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}$

Delar ur NKB:s förslag "for lette ikke-baerende yttervegger"
för "Krav på vindtäthet", december 1965.



Kravkurva enligt förslag av Nordiska komitten för byggnadsbestämmelser för lätta icke bärande ytterväggar, med avseende på läckage i den fasta delen av en vägg, innefattande de fogar som förekommer i väggkonstruktionen, december 1965.

Den del av kurvan som i vårt fall är intressant, är mellan 0-5 mm vp. Där beräknas ett samband för läckaget ur kravkurvan för 0-10 mm vp:

För $\Delta p = 10$ mm vp är $Q = 1,2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ och detta ger:

$$Q = 0,120 \cdot \Delta p \quad \text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mm vp} \quad \text{om } \Delta p \text{ i mm vp}$$

$$Q = 0,012 \cdot \Delta p \quad \text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa} \quad \text{om } \Delta p \text{ i Pa}$$

