

Lufttäthet — mätningar och mätmetoder

Bygghälsningsrådets lufttäthetsgrupp gav förra året fem arbetsgrupper i uppgift att studera olika aspekter inom problemområdet byggnaders lufttäthet. BFR kommer inom kort att publicera arbetsgruppernas rapporter. I denna artikel ger vi en översikt Johnny Kronvall vid avdelningen för Byggnadsteknik I, LTH ett referat av rapporten från arbetsgruppen "Mätningar och mätmetoder".

De metoder som för närvarande står till förfogande då det gäller att mäta graden av lufttäthet hos hela byggnader är spårgasmetoden och tryckmetoden. Med spårgasmetoden mäter man byggnadens ventilationsgrad under rådande väderleksförhållanden. Tryckmetodens princip är att man med hjälp av en kraftig fläkt skapar en tryckskillnad över husets hölje (väggar, tak, bjälklag etc) och mäter det resulterande flödet genom fläkten vid konstant tryckskillnad.

Spårgasmetoden

Med spårgasmetoden kan man mäta ventilationsgraden hos ett avgränsat utrymme, t ex småhus, lägenhet i flerbostadshus, kontorsrum etc. Ventilationsgraden är i allmänhet beroende av omgivande väderleksförhållanden och resultat från mätningar med spårgas varierar därför starkt med väder och vind vid de olika mättillfällena.

Huvudkomponenterna för spårgasmätning är en lämplig spårgas samt ett instrument (gasanalysator) som kan mäta spårgaskoncentrationen i mätutrymmet. Tiden måste dessutom kunna mätas. Beroende på detaljutförandet och avsikten med mätningen kan man mäta enligt någon av följande varianter:

- avtagande gaskoncentration
- konstant gaskoncentration
- konstant gasutsläpp.

Avtagande gaskoncentration

Mätning av avtagande gaskoncentration är den variant av spårgasmätning som vanligen används i vårt land.

Den tillgår så att till en början en liten mängd av någon gas, vars koncentration går att mäta med en gasanalysator, släpps ut i huset (lägenheten). Sedan koncentrationen förhoppningsvis blivit jämn i provutrymmet — vilket kan påskyndas genom att "röra om" luften, t ex vifta med träfiberskivor eller placera ut små propellerfläktar — mäter man hur koncentrationen av spårgasen avtar med tiden. Provutrymmets ventilationsgrad kan därefter räknas ut med följande uttryck:

$$n = \frac{1}{t} \ln \frac{c_0}{c_t} \dots \dots \dots (1)$$

där n = ventilationsgrad i luftomsättningar/timme

t = tiden i timmar från det att gaskoncentrationen var $= c_0$

\ln = naturliga logaritmen

c_0 = gaskoncentrationen vid tidsräkningens start

c_t = gaskoncentrationen vid tiden t

Eftersom blandningen mellan spårgas och rumsluft i stort sett aldrig är perfekt, är mätningar gjorda i en enda punkt i provutrymmet inte tillförlitliga för utrymmet som helhet. Detta problem försöker man i praktiken lösa — eller snarare komma förbi — genom endera av tre tekniker:

1. Luft uppsamlas i ett antal punkter och blandas samman. Blandningens koncentration används vid beräkningen av ventilationsgraden.
2. Koncentrationsavtagandet mäts i flera punkter och den mät punkt som uppvisar ett avtagande som är närmast medelvärdet av alla väljs ut och används i fortsättningen.
3. Koncentrationens avtagande mäts i flera punkter. Medelvärdet används vid beräkningen av ventilationsgraden.

Om "medelavtagandet" är den storhet som eftersträvas, är (2) och (3) skattningar av detsamma där (3) är den mera pålitliga. Skattningen enligt (1) är behäftad med ett tidsberoende "förskjutningsfel" som beror av hur inblandningen av friskluften sker. Detta till trots används variant (1) flitigast vilket förmodligen beror på det enkla förfaringssättet.

Konstant gaskoncentration

Den här mätvarianten lämpar sig för kontinuerlig mätning av ventilationsgraden hos ett utrymme. Spårgas tillförs provutrymmet på ett ställe och koncentrationen av gas mäts på ett annat. Gasutsläppet kontrolleras, så att man erhåller en stabil nivå på gaskoncentrationen i mät punkten. Detta kan göras med någon form av automatik. Vid idealfallet — fullständig omblandning — är det möjligt att direkt räkna fram ventilationsgraden med kännedom om aktuellt utflöde av spårgas.

Konstant gasutsläpp

Varianten med konstant gasutsläpp har stora likheter med föregående variant. Den lämpar sig sålunda också för kontinuerliga mätningar. Utsläppet av spårgas är konstant under mätningens gång, och den gaskoncentration som kan avläsas på gasanalysatorn utgör ett mått på ventilationsgraden. En minskad sådan ger förhöjd gaskoncentration och vice versa.

Mätutrustning och mätutsläpp

Viss utrustning är densamma för de tre mätvarianterna. Det rör sig om

- lämplig spårgas
 - gasanalysator för spårgasen
 - anordning för tidsmätning.
- I Nordamerika är svavelhexafluorid (SF₆)

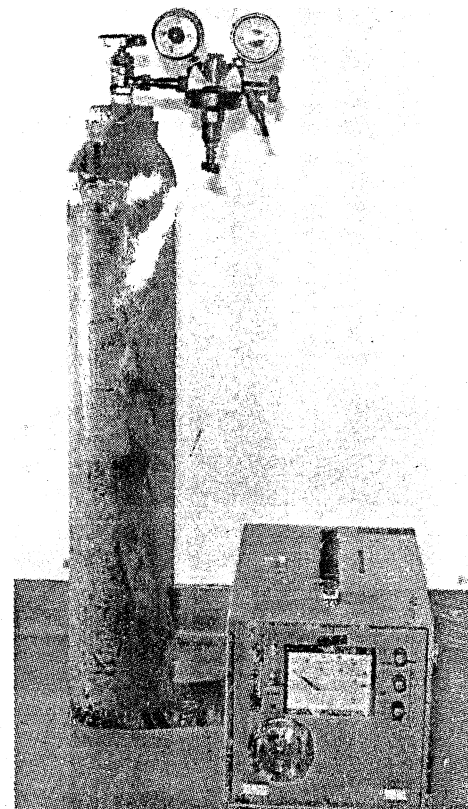


Fig 1. Gasanalysator för N₂O (lustgas) och gastub med reduceringsventil.

den vanligast förekommande spårgasen för ventilationsundersökningar, men i Europa har kväve (I)-oxid, N₂O, också känd som lustgas, fått en överväldigande popularitet som spårgas. Gasanalysatorer för mätning av gaskoncentrationen bygger på det förhållandet, att gasblandningens absorptionsförmåga för infraröd strålning varierar med andelen N₂O i blandningen. Den analysator som vanligen används — i varje fall i Sverige — arbetar med spårgaskoncentrationer upp till 0,1 proc. Detta mätområde har visat sig användbart för denna typ av mätningar. För ett småhus med volymen 300 m³ betyder detta, att 300 l N₂O går åt. Detta motsvarar ca 0,5 kg av gasen. Lustgas säljs i gastuber av varierande storlek. Den som med tanke på kapacitet och hanterbarhet ligger bäst till är kanske 7,5 kg-tuben. Kostnaden för en sådan är (i dag) ca 200 kr exkl flaskhyra men inkl moms. Gasens densitet är 1,7 kg/m³ vid NTP och ligger sålunda nära luftens. Vederligt har ingen rapporterat bekymmer med skiktning eller inblandning av gasen till homogen gasblandning. En gasanaly

sator som används på många håll visas i fig 1.

Den anordning för tidmätning som är nödvändig är egentligen endast en vanlig klocka, men någon form av skrivare är att rekommendera. Denna skriver ut gaskoncentrationen medan papperet matas fram med känd hastighet. Rekommendationen gäller i första hand mätvarianterna "konstant gaskoncentration" och "konstant gasutsläpp", men även vid mätning enligt "avtagande gaskoncentration" är det arbetsbesparande att ha tillgång till en skrivare. Typiska utskrifter visas i fig 2.

I fallet "mätning av avtagande gaskoncentration" avtar i normalfallet koncentrationen exponentiellt [ekvation (1)]. Detta medför att om man prickar in värdeparen (tid, gaskoncentration) i ett linlog-diagram erhålls om allt är som det ska en rät linje och lutningen hos denna är just lika med den uppmätta luftomsättningen n . (Fig 3).

Det går att statistiskt ställa upp villkor för hur många bestämmingar av c som är nödvändiga för att ge önskad säkerhet när det gäller resultatet beträffande n . En sådan bestämmning redovisas i tabell 1.

| Ventilationsgrad oms/h | Erforderligt antal 5-minutersintervall | Tidsåtgång h |
|------------------------|--|--------------|
| 0,1 | 25 | 2,1 |
| 0,2 | 18 | 1,5 |
| 0,4 | 12 | 1,0 |
| 0,6 | 10 | 0,8 |
| 0,8 | 8 | 0,7 |
| 1,0 | 7 | 0,6 |

Tabell 1. Erforderlig tidsåtgång för mätning av ventilationsgraden hos en lokal vid olika ventilationsgrader. (95-procentig konfidens för att det beräknade värdet på n skiljer sig med högst 10 proc från det rätta värdet).

Tryckmetoden

Den s k tryckmetoden för mätning av hela byggnaders lufttätethet som utvecklats bl a vid avdelningen för Byggnadsteknik I vid LTH är numera tämligen etablerad. Statens Provninganstalt har i metodbeskrivning SP 1977:1 angivit användningsområde, princip, provningsutrustning, provningsbetingelser och provningsutförande samt kommenterat metoden. Fig 4 visar ett exempel på en provningsutrustning som används vid Byggnadsteknik I, LTH.

Provning bör ej göras om vindhastigheten, mätt i huvudhöjd på ett om möjligt ostört ställe t ex på lovartsidan av huset, är större än 8 m/s eller om temperaturskillnaden mellan inne och ute är större än 30°C. Före provningen tätas alla ventilationsöppningar. Till den volym som ska provas räknas alla utrymmen som är avsedda att uppvärmas till mer än +10°C. Ett ytterdörrblad eller en fönsterbåge byts ut mot en träskiva e d som fästs i dörr- resp fönsterkarmen och tätas noggrant med exempelvis tejp.

I träskivan anordnas genomföring av fläkstens mät rör 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 husväggen i marknivå. Vid provningen uppmäts i intervallet 20–55 Pa minst fyra jämnt fördelade samhörande värden på tryckdifferens ute–inne och luftflöde dels för

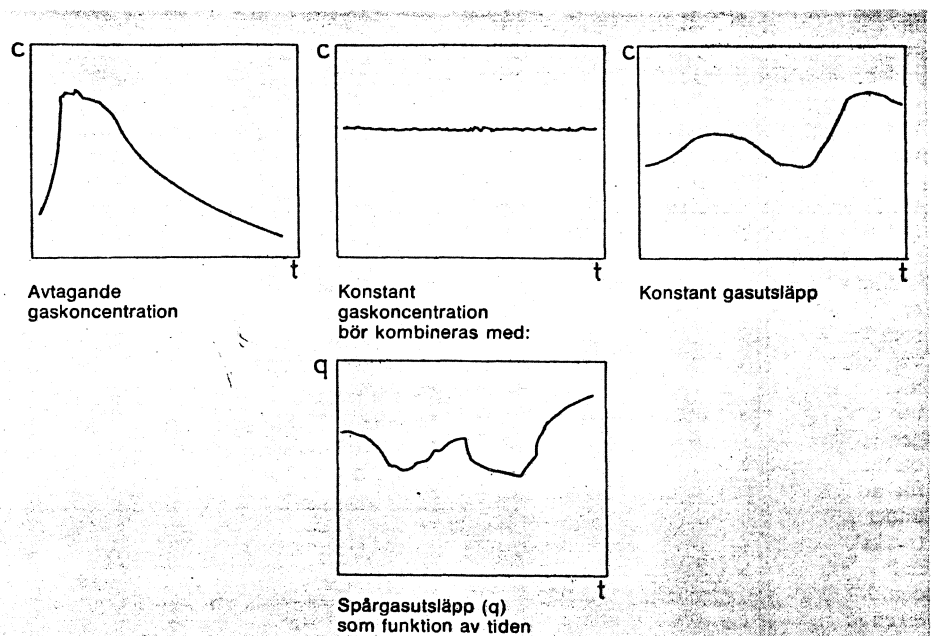


Fig 2. Typiska utskrifter från linjeskrivare vid olika mätvarianter (c =spärgaskoncentration, t =tid, q =spärgasutsläpp).

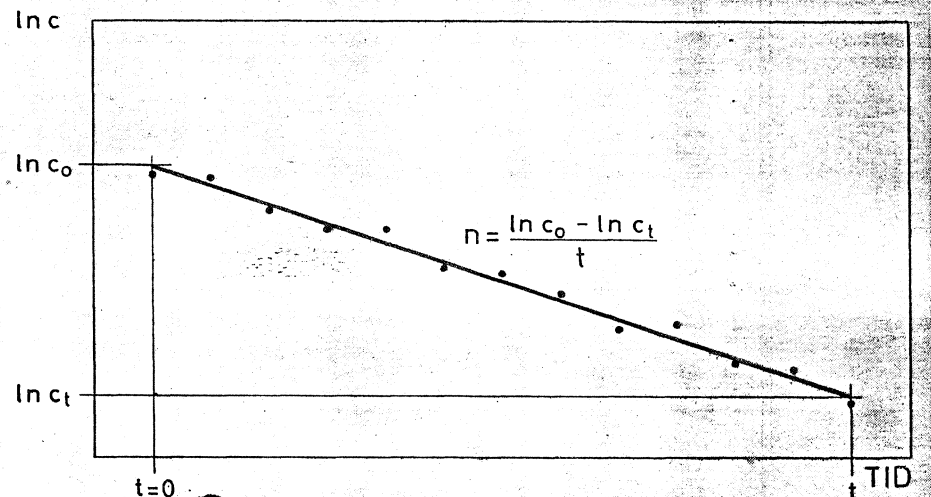


Fig 3. Utvärdering av spärgasmätning enligt varianten "avtagande gaskoncentration".

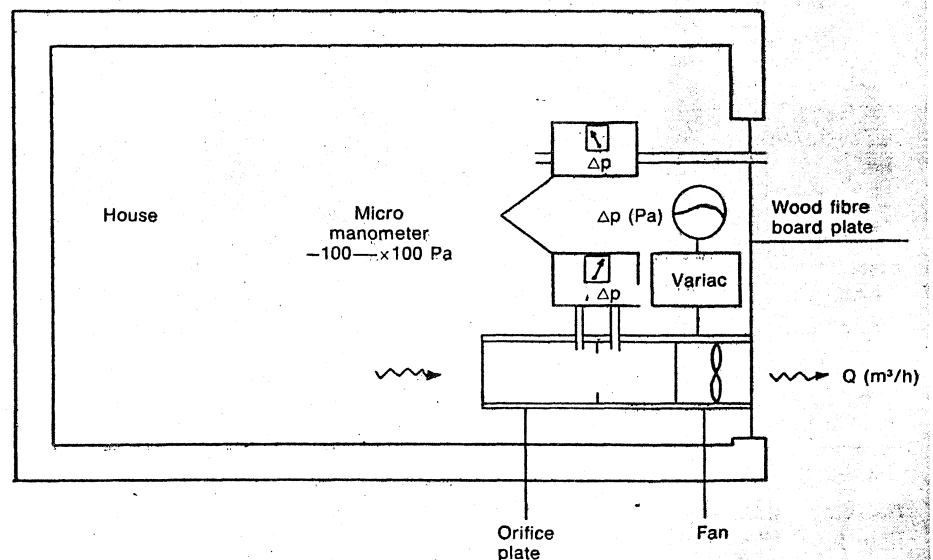


Fig 4. Tryckprovningssutrustning.

invändigt övertryck dels för invändigt undertryck (fig 5). Som mått på tätheten anges normalt medelvärdet av luftflödena vid över- och undertryck vid 50 Pa dividerat med byggnadens volym (omsättningar per timme). Denna storhet brukar betecknas n_{50} . Vid beräkningen av byggnadens volym används innermått. Avdrag görs för innerväggar och bärlag inom provvolymen men ej snickerier o.d.

Metoden är snabb och entydig. Man får ett kvantitativt mått på byggnadens täthet som kan användas i flera sammanhang, t ex vid tillverkningskontroll, vid jämförelser mellan byggnader och med normkrav. Man bör emellertid observera att metoden endast ger ett mått på samtliga omslutande ytors otäthet. Resultatet kan ej direkt användas för att beräkna byggnadens luftomsättning under naturliga förhållanden. De naturliga tryckskillnader som förekommer i en byggnad är olika stora i olika delar av byggnaden. Metoden ger ingen uppfattning om storleken på de enskilda läckorna eller var de är belägna. Genom en kompletterande inspektion med IR-kamera eller anemometer under provningsfasen med invändigt undertryck kan man emellertid lokalisera läckorna och bedöma storleken.

Normalt skiljer sig luftflödena vid över- resp undertryck åt. Detta kan bero på att vissa läckor fungerar som ett slags backventiler. Utåtgående fönster har t ex större läckage vid invändigt övertryck än vid invändigt undertryck. Det kan också bero på att de naturliga tryckskillnaderna orsakar läckage som ej blir uppmätta vid provningen. Genom att bilda medelvärde av flödena erhåller man emellertid ett för byggnaden entydigt värde.

Eftersom luftens densitet varierar med temperaturen, måste de avlästa luftflödena korrigeras. Riktlinjer för denna korrektion ges nedan.

Alternativ 1: Flödesmätaren mäter volymflöde (varmtrådsanemometer etc)

Invändigt övertryck

$$Q_{\bar{o}} = \frac{T_i}{T_u} Q_{av1}$$

Invändigt undertryck

$$Q_{\bar{u}} = \frac{T_u}{T_i} Q_{av1}$$

Alternativ 2: Flödesmätaren mäter massflöde (stryppfläns, pitotrör etc)

Invändigt övertryck

$$Q_{\bar{o}} = \underbrace{\frac{T_i}{T_u} \cdot \sqrt{\frac{T_u}{T_k}} \cdot Q_{av1}}_{\text{allmänt}} = \underbrace{\sqrt{\frac{T_i}{T_u}} \cdot Q_{av1}}_{\text{om } T_i = T_k}$$

Invändigt undertryck

$$Q_{\bar{u}} = \underbrace{\frac{T_u}{T_i} \cdot \sqrt{\frac{T_i}{T_k}} \cdot Q_{av1}}_{\text{allmänt}} = \underbrace{\frac{T_u}{T_i} \cdot Q_{av1}}_{\text{om } T_i = T_k}$$

där $Q_{\bar{o}}$ = Korrigerat volymflöde vid övertrycksmätning (m^3/h)

$Q_{\bar{u}}$ = Korrigerat volymflöde vid undertrycksmätning (m^3/h)

T_i = Lufttemperaturen inomhus (K)

T_u = Lufttemperaturen utomhus (K)

T_k = Lufttemperatur för vilken mät-donet är kalibrerat (K) (i allmänhet $20^\circ C = 293 K$)

Q_{av1} = Flöde enligt kalibreringsdiagram eller -tabell (m^3/h) vid kalibreringstemperaturen T_k

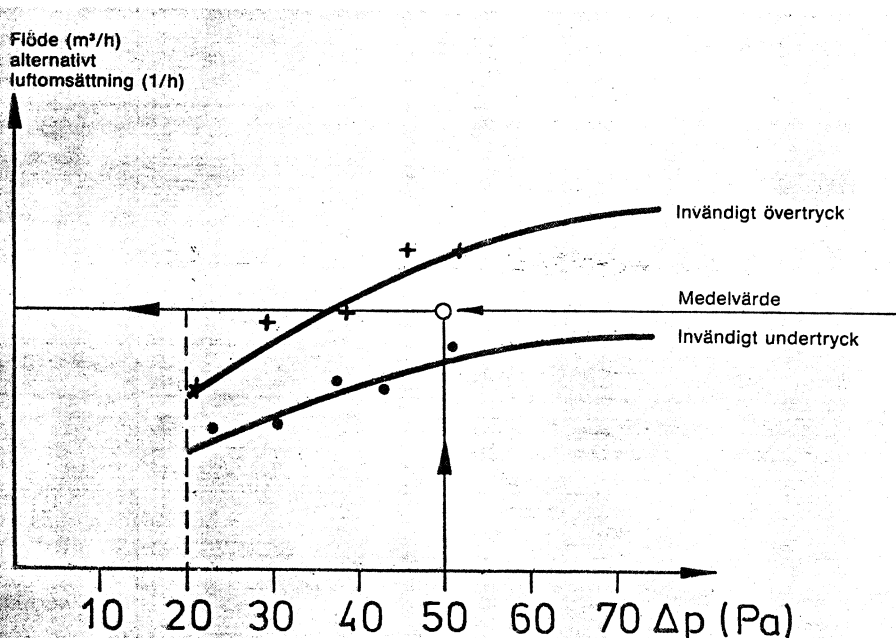


Fig 5. Exempel på provningsresultat i diagramform.

| Kategori | Antal | n_{50} oms/h | |
|---|-------|----------------|-------------------|
| | | medelvärde | standardavvikelse |
| Friliggande småhus och kedjehus av trä | 205 | 3,66 | 1,24 |
| D:o 1-plans | 70 | 3,79 | 1,32 |
| D:o 1½-plans | 135 | 3,52 | 1,18 |
| Friliggande småhus av lättbetong | 12 | 1,98 | 1,46 |
| Friliggande småhus och kedjehus av lättbetong och trä | | | |
| 1-plans | 9 | 2,23 | 0,67 |
| D:o 1½-plans | 17 | 3,74 | 0,76 |
| Radhus av trä | 49 | 3,14 | 1,36 |
| D:o 1-plans | 33 | 2,89 | 1,02 |
| D:o 1½-plans | 16 | 3,65 | 1,56 |
| Radhus med lgh-skiljande väggar och bjälklag av betong. Utfackningsvägg av träregelstomme | 5 | 1,72 | 0,18 |
| Flerbostadshus | | | |
| Betong+lätt utfackningsvägg | 23 | 0,96 | 0,34 |

Tabell 2. Resultatsammanställning, tryckprovning. Hus byggda efter 1976-01-01.

Mätnoggrannhet

Som slutligt resultat från en lufttäthetsmätning med tryckmetoden ges luftläckningen per volymenhet vid en viss tryckdifferens över byggnadens in- och utsida. Mätningen innehåller alltså två huvudkomponenter = luftflödesmätning och tryckmätning.

En fullständig felanalys (som genomförs i rapporten) ger till resultat att det slutliga sannolika felet i bestämningen av luftflödet vid 50 Pa i fallet med vätskemanometrar blir ca 8 proc och vid användning av elektriska manometrar med skrivare ca 4 proc.

Mätprecision

I rapporten har också studerats metodens känslighet för yttre väderpåverkan (vind och temperatur). Härav kan konstateras att en tioprocentig inverkan på flödet vid övertryck ges vid vindhastigheten 8 m/s, medan motsvarande inverkan vid undertryck kommer först vid 10 m/s.

Inverkan av temperaturskillnad mellan inne och ute är liten och kan oftast försummas.

Mätresultat

Avdelningen för Byggnadsteknik I, LTH, administrerar tills vidare ett dataregister över mätresultat, erhållna från tryckmetod- och/eller spårgasmetodmätningar på byggnader. Uppgiftslämnare till registret är för närvarande de tekniska högskolorna, Statens Provingsanstalt, BPA Byggproduktion AB, HSB:s riksförbund, AB Skånska Cementgjuteriet, Ytong AB samt Tyréns företagsgrupp. I slutet av juni i år innehöll registret mätresultat från 384 småhus, 43 lägenheter och 1 industrihall. Nyproducerade byggnader dominerar i materialet. Mycket få äldre byggnader har provats. Nya uppgiftslämnare till registret är välkomna. Redovisningar av lufttäthetsmätningar tas emot av Johnny Kronvall, Byggnadsteknik I, Tekniska Högskolan i Lund, Fack 220 07 LUND. (Särskild blankett för dataregistrering kan erhållas.)

I tabell 2 görs en sammanställning av mätresultaten från slutet av juni 1978.