

Utveckling av spårgasmetoden för mätning av luftväxling

Bland de olika metoder som används för mätning av ventilationsluftflöden och luftväxlingar i byggnader eller rum, in-tar metoden att spårgasmäta luftomsättningen något av en särställning. Det ligger utan tvekan närmast till hands att inrikta sig på till- eller frånluftslödena, då man skall mäta luftväxlingen i ett rum. Så sker också i de allra flesta fall då luftväxlingar eller luftflöden skall bestämmas. Luftflödena fås då normalt genom mätning av lufthastigheter i kanaler eller mätning av tryck-fallet i kalibrerbara kanaldelar eller don, d v s mätningen sker innan luften tillförts eller efter det den lämnat rum-met. Vid luftomsättningsmätning mäts luftväxlingen i själva rummet och mätningen är av indirekt karaktär, genom att den inte grundas på luftväxlingen i sig utan på den utspädningseffekt luftväxlingen ger.

Principen för luftomsättningsmätningar grundas på sambandet som råder mellan koncentration och ventilationluftflöde vid utvädring av en förorening och ett spårämne som inblandats väl i rumsluften. Detta samband, den s k utvädringsekvationen eller utspädningsekvationen, lyder

$$c_t = c_0 \cdot e^{-\frac{\dot{V}}{V} \cdot t} \quad (1)$$

där

c_t = spårämnets koncentration vid tiden t

c_0 = spårämnets koncentration vid tiden $t=0$

$\dot{V}$ = luftflödet till och från rummet

V = rummets volym

Mätning av luftväxlingar med spårgas sker genom registrering av den av luftomsättningen orsakade avklingningen av koncentrationen av en i rumsluften inblandad spårgas. Ur avklingningskurvan kan omsättningstiden och därmed rummets luftväxling bestämmas med mycket god noggrannhet. Mättiden blir dock ofta densamma som omsättningstiden. Redan i rum med ordinär komfortventilation krävs en mättid på närmare 30 minuter. Professor Enno Abel och ingenjör Tommy Sundström, CTH, beskriver hur man genom att komplettera en konventionell spårgasanalysator med en specialbyggd mikrodatorenhet, som under mätningen gör fortlöpande prognoser över luftomsättningstalet, kunnat sänka mättiderna till värden avsevärt under luftomsättningstiden.



Figur 1. Principen för en luftomsättningsmätning.

Det är bekvämt att här använda sig av begreppet luftomsättningstid, d v s den tid det tar att med det aktuella luftflödet tillföra rummet eller bortföra från det en luftvolym som är lika med rummets volym. Luftomsättningstiden T är således

$$T = \frac{V}{\dot{V}} \quad (2)$$

vilket insatt i utspädningsekvationen ger

$$c_t = c_0 \cdot e^{-\frac{t}{T}} \quad (3)$$

Koncentrationen efter det att tiden för en luftomsättning förlupit blir således

$$c_T = c_0 \cdot e^{-1} \quad (4)$$

d v s man kan få luftomsättningstiden genom att mäta den tid det tar för koncentrationen av ett spårämne i rumsluften att sjunka till $1/e \approx 0,368$ av ursprungsvärdet, vilket visas i Figur 1.

Principen att mäta omsättningar med hjälp av ett spårämne torde ha använts länge i olika speciellare tillämpningar. Så använde exempelvis Byggeforskningsinstitutet i början av 60-talet vätgas som spårämne för att mäta luftväxlingar i skolsalar. Utvecklingen till en praktiskt användbar rutinmetod skedde

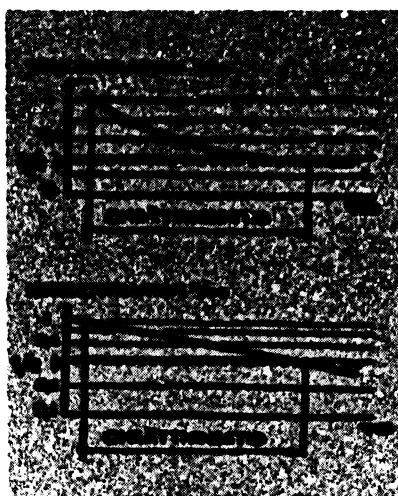
dock först i mitten av 60-talet vid Institutionen för Värmeteknik, KTH. Provingar av olika spårgaser och registreringssätt ledde fram till en mätmetodik med dikväveoxid, N_2O , som spårgas. För koncentrationsmätningen valdes en gasanalysator som bygger på gasers förmåga att absorbera infrarött ljus av en viss för gasen karaktäristisk våglängd.

Praktiskt går luftomsättningsmätningen till så att i rummet som skall undersökas tillförs spårgas med en koncentration av storleksordningen 0,1 volymsprocent. Spårgasen blandas väl med rumsluften med småfläktar som ställs i rummet och får vara i gång under mätningen. Koncentrationen registreras och ur koncentrations-tidkurvan beräknas luftomsättningstiden enligt Figur 1. Med kännedom om rummets volym kan luftflödet beräknas enkelt ur ekv (2). Om tilluft- och frånluftflöden är lika fås då direkt dessas storlek.

Spårgasmätning av luftomsättning torde vara den metod som korrekt utförd är noggrannast vid praktiska mätningar utanför laboratoriet. Mätningar i täta provrum med välkontrollerade till- och frånluftflöden har visat att mät-noggrannheten kan bli bättre än $\pm 3\%$. Dvs man närmar sig noggrannheten vid mätning i kanal med en väl utförd DIN-mätfläns.

Mätmetoden har emellertid trots detta inte vunnit någon större spridning. I praktiken används den i dag endast i fall då det ställs speciella krav på noggrannhet, såsom vid kontroll av luftväxlingar i operationssalar och i speciella laboratorielokaler, eller då konventionella mätmetoder är svårapplicerade, såsom vid mätning av ofrivillig ventilation i byggnader. Spårgasmetoden har dock även använts i stället för konventionellare metoder vid exempelvis besiktningar. Exempelvis har vid funktionsbesiktning av de mycket stora sjukhusanläggningarna, Huddinge Sjukhus och Huvudblocket vid Regionsjukhuset i Linköping, luftflödena kontrollerats med spårgas.

Det finns ett par påtagliga orsaker till att omsättningsmätningar inte fått en allmänare användning. Mätutrustningen har tidigare varit rätt skrymmande och svårhanterlig. Ända fram till för ett par år sedan var de gasanalysatorer som kunde användas relativt tunga och otympliga. Den analysator av typ URAS som vanligen användes vägde mellan 15 och 20 kg. Utöver analysatorn krävs en spårgastub och små-



Figur 2. Utvärderingskvantiteten i diagram med linjär respektive logaritmisk koncentrationsskala

fläktar. Kostnaden för en komplett mätutrustning ligger vid ca 20 000.

För att mätningen skall bli noggrann måste den pågå så länge att koncentration-tidkurvan blir väl definierad. Normalt bör man registrera denna kurva under en omsättningstid. Är luftväxlingen hög är omsättningstiden och därmed mättiden kort. I exempelvis vård- rum i sjukhus har man normalt en luftväxling motsvarande 2 å 3 omsättningar/h och då blir mättiden närmare 30 minuter. Skall man mäta luftväxlingar på grund av ofrivillig ventilation blir mättiden flera timmar i de täta hus vi har i dag.

I dag har utvecklingen på mätinstrumentsidan lett till att omsättningsmätningar förenklats betydligt. En lämplig gasanalysator av typ MIRAN väger under 5 kg och har storleken 15 cm $\times$ 15 cm $\times$ 50 cm. Den är batteridriven och blir, om den kombineras med en batteridriven skrivare för koncentrationsregistreringen, behändig att arbeta med. En kvarstående nackdel har dock varit de långa mättiderna vid lägre luftväxlingar. Vid avdelningen för installationsteknik har nu emellertid utvecklats en tillsatsenhet till gasanalysatorn som sänker den praktiska mättiden till omkring en tiondel av omsättningstiden. I det följande beskrivs denna tillsatsenhet och mätmetodiken vid dess användning.

Omsättningsmätning med prognoserande gasanalysator

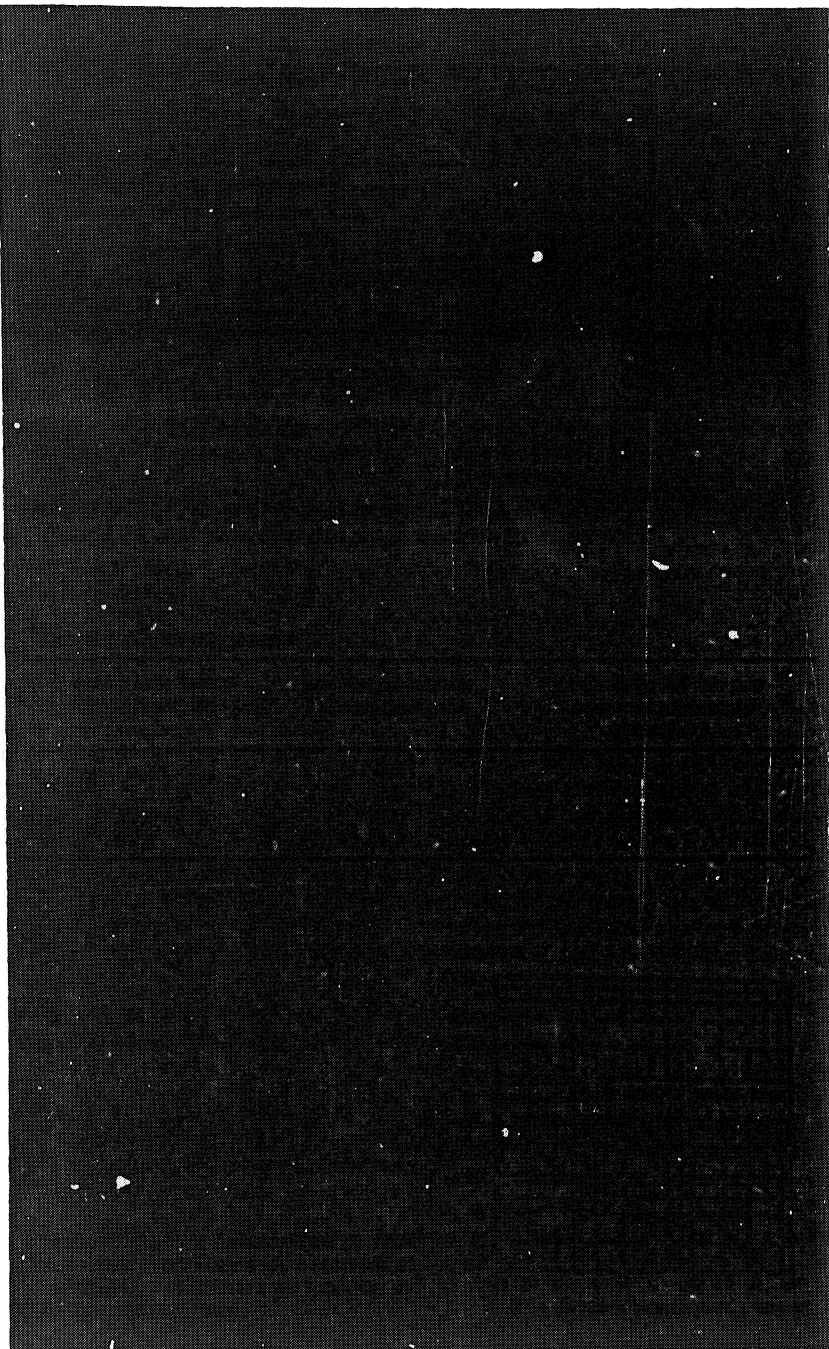
Enklaste sättet att genomföra luftomsättningsmätningen vore att mäta tiden

för en koncentrationssänkning till $1/e \approx 0,368$. I praktiken är emellertid detta förfaringssätt mindre lämpligt bl a på grund av att den mätta koncentrationen alltid varierar mer eller mindre kraftigt kring den teoretiska exponentialkurvan. I stället kopplas vanligen en skrivare till gasanalysatorn så att koncentrationen blir registrerad under hela avklingningsförloppet. Denna uppmätta kurvas medelkurva får då utgöra den exponentialkurva som ger omsättningstiden.

Ett säkrare sätt att få den korrekta medelkurvan är att föra över den mätta kurvan i ett diagram med logaritmisk koncentrationsskala och linjär tidskala och här lägga in den rätta medellinjen. Denna ersätter då den exponentiella medelkurvan i diagrammet med linjär koncentrationsskala. Detta åskådliggörs i Figur 2. Man kan således relativt enkelt extrapolera fram omsättningstiden ur koncentrationskurvan för en mätning som pågått kortare tid än vad som motsvarar omsättningstiden. Egentligen krävs endast så lång mätning att man får underlag för att med god säkerhet lägga in den korrekta rätta linjen i ett diagram med logaritmisk koncentrationsskala. Problemet är givetvis att den kurva som registreras alltid är mer eller mindre störd. Det är därför svårt, om ens möjligt, att under pågående mätning avgöra när man kan avbryta utan risk för att den registrerade kurvan skall visa sig vara otillräcklig för en extrapolering.

Om man så snart mätningen påbörjas gör extrapoleringar får man först ett värde på omsättningstiden, som sannolikt ligger ganska långt från det verkliga. För varje ny extrapolering bör man närma sig det riktiga värdet för att slutligen finna detta, när mätningen pågått tillräckligt länge. När man väl funnit den gällande exponentialkurvan ger fortsatta extrapoleringar varje gång det korrekta värdet på omsättningstid. Varje extrapolering kan ses som en prognos grundad på de mätvärden som erhållits fram till tidpunkten för extrapoleringen. När ett antal på varandra följande prognoser ger samma värde, kan man anse sig ha funnit den korrekta exponentialkurvan och avbryta mätningen.

Med hjälp av en mikrodator är det relativt enkelt att under pågående mätning genomföra en fortlöpande prognosering av här skisserat slag. Så sker i den nämnda tillsatsenheten till gasana-



lysatorn. Den principiella uppbyggnaden visas som blockschema i *Figur 3*.

Enheten är relativt okomplicerad och inte speciellt svår att bygga. Programmeringsarbetet är emellertid, som alltid då det gäller mikrodatorer, relativt omständligt och tidskrävande. Utan att närmare gå in på programmet kan nämnas att prognoserna utförs med 0,58 sekunders mellanrum. Varje ny prognos grundas på en logaritmisk jämförelse mellan den föregående prognosen och den koncentrationsändring som skett

mellan första och sista mätvärdet i en stack med 63 celler. Med 0,58 sekunders mellanrum förskjuts alla mätvärden i stacken ett steg bakåt i tiden, varvid mätvärdet på plats 63 utgår samtidigt som ett nytt mätvärde lagras på den första platsen. Då en mätning startas måste stackens celler fyllas med mätvärden innan den första prognosen kan ske. Detta tar drygt en halv minut.

Då gas väl en gång inblandats i rumsluften, kan ett flertal upprepade mätningar utföras på samma avklingnings-

kurva. Exempelvis kan den ofrivilliga ventilationen mätas i ett flertal rum i samma byggnad efter det att spårgasen en gång tillförts hela byggnaden.

Kalibrering av utrustningen

Givetvis kan värdet av en ny mätmetodik, av här beskrivet slag, inte bedömas utan praktiska prov. Spårgasanalystatoren med prognoseringstillsatsen har därför kalibrerats i en tät provkammare med inställbar och noggrant mätbar luftväxling. Mätkammarens volym är ca 3 m³, dvs betydligt mindre än de rum där mätningen utförs normalt. Syftet med kalibreringen är här endast att jämföra de resultat mätutrustningen ger med en väl definierad och känd luftomsättning. Provkammarens storlek är därmed av underordnad betydelse.

Luftflödet genom mätkammaren har vid de lägre omsättningstalen mätts med en noggrann rotameter och vid de högre med ett välkalibrerat mätrör. Spårgasen i kammarluften hålls under mätningarna ständigt väl fördelad över hela kammarvolymen medelst ett par cirkulationsfläktar. Den ofrivilliga ventilationen på grund av otätheter i kammararens omslutning ligger vid ca 0,06 omsättningar/timme.

En representativ kalibreringsserie redovisas i *Tabell 1*.

I *Figur 4* visas den ungefär erforderliga mättiden som funktion av luftomsättningstalet. Man ser att tidsbesparingen blir avsevärd vid låga luftomsättningstal. Vid luftväxlingen 0,4 omsättningar/timme krävs exempelvis ca 12 minuter för mätningen, vilket skall jämföras med omsättningstiden 150 minuter. På grund av att det krävs ca en halv minut innan mätvärdesstacken är fylld och prognoseringen kan börja, närmar sig den erforderliga mättiden med ökande luftomsättningstal omsättningstiden. Den här behandlade mätutrustningen och mätmetodiken torde dock, genom att omsättningen fås direkt med sitt talvärde, vara intressant även i rum med hög luftväxling.