

Måling af luftudskiftningens effektivitet



Af civilingeniør N.O. Breum, Arbejdsmiljøinstituttet



Formålet med rumventilation er at opretholde et acceptabelt atmosfærisk og termisk klima i rummets opholdszone. Den ventilationstekniske løsning på denne opgave har hidtil ofte været systemer udført efter opblandingsprincippet, d.v.s. et princip hvor »gammel« luft i rummet fortyndes med »ny« luft. I de senere år er fortrængningsprincippet begyndt at vinde indpas. Efter dette princip tilføres den »nye« luft så direkte som muligt til opholdszonen, og varme og forurening bliver af konvektionsstrømme ført væk fra opholdszonen op til udsugning ved loftet (1).

I et lokale vil en forurening i luften ofte bevæge sig på en anden måde end den tilførte luft. Ved vurdering af et ventilationssystem er det derfor væsentligt at skelne mellem systemets evne til at fjerne forurening fra lokalet, og systemets evne til at sikre en god luftfornyelse i lokalet. For at kunne foretage denne vurdering i praksis kræves målemetoder, og med sigte på dette har Arbejdsmiljøinstituttet (AMI) nu udviklet et transportabelt måleudstyr, som kan anvendes til feltundersøgelser af ventilationsforhold (2). Måleudstyret består dels af alment tilgængelige komponenter, dels af et menu-drevet EDB-program til styring af måleudstyr og tolkning af måleresultater. Tolkningen af måleresultaterne sker ved anvendelse af teoretiske modeller, fx

Ved feltundersøgelse er det nu praktisk muligt at måle rumluftens gennemsnitlige alder og luftudskiftningens effektivitet. I en foredragssal uden personbelastning og med isothermisk strømning var luftens gennemsnitlige alder 0.56 h, og luftudskiftningens effektivitet var 54%. Den beskrevne metode er generelt anvendelig for lokaler med mekanisk indblæsning og udsugning af luft. For lokaler med mekanisk udsugning skal der anvendes en anden metode som også er indeholdt i det beskrevne måleudstyr.

luftskifte, luftudskiftningens effektivitet, luftstrømninger mellem to naborum, effektivitet af en procesventilation m.m. Det nye måleudstyr er således også velegnet til udviklingsopgaver. I det følgende beskrives måleudstyret og de teoretiske modeller illustreres ved et eksempel, der omhandler ventilation i et lokale med mekanisk indblæsning og udsugning af luft. Afsluttende vises resultater fra en feltundersøgelse.

Måleudstyr

Det er velkendt at sporgas kan anvendes til måling af ventilationsforhold, og det nye måleudstyr benytter denne teknik. Måleudstyret er opbygget af følgende standardkomponenter (fig. 1):

1. En transportabel IBM-kompatibel PC'er.
2. Gasanalytator - her benyttes som eksempel et IR-spektrofotometer, men andre apparater kan også anvendes.

3. Gastætte luftpumper.
4. Multipointsamplers - d.v.s. en række magnetventiler som med samme gasanalytator gør det muligt skiftevis at foretage måling af gaskoncentrationen i flere forskellige punkter (her max. 8 punkter).
5. Måleslanger.
6. Sporgas - her anvendes svovlhexafluoride (SF₆), men andre gasser kan også anvendes.

Til måleudstyret er der udviklet et menu-drevet EDB-program, som kan bruges uden forudgående kendskab til EDB-programmering. I feltundersøgelser styres målingerne af PC'en, og på en monitor vises grafisk de løbende opdaterede måledata. For en detaljeret beskrivelse af måleudstyr henvises til (2). Målinger med sporgasteknik forudsætter, at der fastlægges en strategi for dosering af sporgas, og at der til tolkning af måleresultater vælges en passende fysisk-matematisk model til beskrivelse af rummets ventilationsforhold.

Sporgasdosering

Der er flere forskellige strategier for sporgasdosering, men i det følgende omtales kun dosering med en konstant volumenstrøm. Foretages dosering i den indblæste luft opnås en mulighed for at måle, hvor god luftfornyelsen er i lokalet. Foretages dosering ude i rummet ved forureningskilden simuleres en spredning af

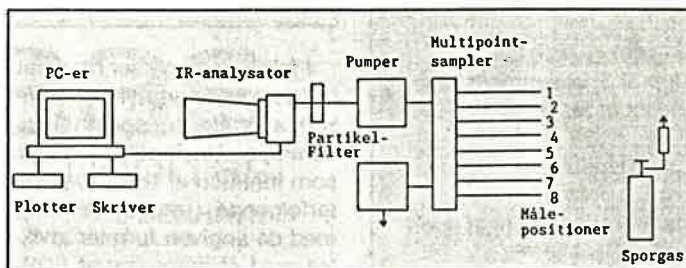


Fig. 1. Transportabelt udstyr til måling af ventilationsforhold med sporgasteknik.

forurening, og herved opnås mulighed for at måle ventilationens evne til at fjerne forurening fra rummet. I praksis kan doseringen foretages direkte fra en trykflaske med sporgas, og volumenstrømmen måles med et kalibreret rotameter.

Fysisk og matematisk model

Antages at den fysiske model for ventilationen i et rum er fuldstændig og øjeblikkelig opblanding kan det vises (2), at koncentrationen af sporgas i rummet til tiden t beskrives

For at bestemme ventilationseffektiviteten er det nødvendigt at måle C_e , $\langle C \rangle$ og C_i . Ofte kan det antages at $C_i = 0$, og således kan C_e henholdsvis $\langle C \rangle$ bestemmes ved følgende udtryk

$$C_e = (q/Q)10^{-3} \quad (4)$$

$$\langle C \rangle = (NO C_e)/t_n \quad (5)$$

Hvor størrelsen NO på grundlag af måledata fra udsugningskanalen fremkommer ved beregningsudtrykket

$$NO = \int_0^{\infty} (1 - C_e(t)/C_e) dt \quad (6)$$

$$C(t) = q/Q (1 - \exp(-t/t_n)) \quad (\text{konstant dosering fra } t=0) \quad (1)$$

Hvor:

$C(t)$ = sporgaskoncentrationen (ppm) i rummet til tiden t
 q = den konstante volumenstrøm (m^3/s) for sporgasdosering

Q = ventilationens volumenstrøm (m^3/s)

t = tid (s)

t_n = rummets nominelle tidskonstant (s), og $t_n = V/Q$

V = lokalets volumen (m^3).

Størrelse $1/t_n$ betegnes ofte som rummets luftskifte. Måles sporgaskoncentrationen til forskellige tidspunkter er det herafter muligt at estimere luftskiftet (2),

En vurdering af rumventilation alene på grundlag af luftskiftet har kun mening, når der er fuldstændig opblanding. Til en generel vurdering af rumventilation (herunder fortrængningsprincippet) er det derfor nødvendigt med nogle supplerende mål. Disse mål er ventilationseffektivitet og luftudskiftnings effektivitet defineret (1) som:

$$E = (C_e - C_i) / (\langle C \rangle - C_i) \quad (2)$$

$$E_a = t_n / 2 \langle t \rangle$$

Hvor:

E = ventilationseffektiviteten ($0 < E < \infty$)

E_a = luftudskiftnings effektivitet ($0 < E_a < 1.0$)

C_e = sporgaskoncentration (ppm) i udsugningskanalen ved stationær tilstand (sporgas doseres i perioden $0 < t < \infty$)

C_i = sporgaskoncentration (ppm) i indblæsningsluften til $t \rightarrow \infty$

$\langle C \rangle$ = Den gennemsnitlige koncentration (ppm) af sporgas i hele rummet til $t \rightarrow \infty$

$\langle t \rangle$ = rumluftens gennemsnitlige alder (s).

For at bestemme luftudskiftnings effektivitet er det nødvendigt at måle rumluftens alder. Ved luftens alder i et punkt P forstås den tid den »nye« luft tager om at komme fra indblæsningsåbningen og frem til punktet P ude i rummet. De enkelte luftmolekyler i den »nye« luft vil strømme frem til P ad forskellige veje, og de vil således få en forskellig alder. Det er derfor hensigtsmæssigt, kun at betragte den gennemsnitlige alder (t_p) for alle de »nye« luftmolekyler i punktet P. Med sporgasteknik er det enkelt at bestemme t_p ,

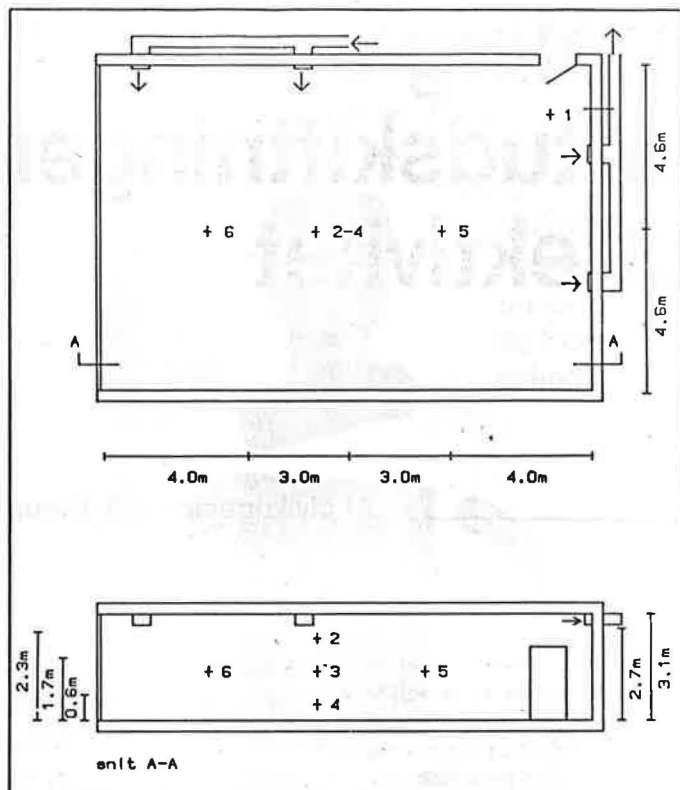


Fig. 2. Skitse af en foredragssal med angivelse af målepositioner, nr. 1-6.

og på grundlag af målte koncentrationer i punktet P kan der vises (2), at:

en feltundersøgelse af luftudskiftnings effektivitet i en foredragssal.

$$t_p = \int_0^{\infty} (1 - C_p(t)/C_p) dt \quad (7)$$

Hvor:

$C_p(t)$ = sporgaskoncentrationen i punktet P til tiden t .

C_p = sporgaskoncentrationen i punktet P til $t \rightarrow \infty$

Det bemærkes at ligning 6 og ligning 7 er identiske, bortset fra at de anvendte måledata kommer fra forskellige målepunkter. Anbringes P i udsugningskanalen måles den gennemsnitlige alder af den udsugede luft, men disse data kan også benyttes til at beregne den gennemsnitlige alder $\langle T \rangle$ for al rumluft, og det kan vises (2) at:

Ventilation af en foredragssal

I fig. 2 er vist en skitse af en foredragssal som blev ventileret ved indblæsning og udsugning af luft gennem riste anbragt som vist i figuren. Rummets volumen var $400 m^3$, og uden personbelastning blev ventilationsforholdene undersøgt ved at dosere sporgas med konstant volumenstrøm ($q = 5.3 \cdot 10^{-6} m^3/s$) i indblæsningskanalen.

$$\langle t \rangle = \int_0^{\infty} t (1 - C_e(t)/C_e) dt / \int_0^{\infty} (1 - C_e(t)/C_e) dt \quad (8)$$

I feltundersøgelser med det her beskrevne udstyr er det enkelt at måle en sporgaskoncentration i forskellige punkter som funktion af tiden. Den efterfølgende databehandling med de angivne formler afvikles med et menu-drevet EDB-program. I det følgende vises som eksempel resultater fra

ningskanalen. Sporgaskoncentrationen som funktion af tiden blev målt i positionerne nr. 1-6 (jvf. fig. 2), og det bemærkes at position nr. 1 var anbragt i udsugningskanalen. Temperaturen af den indblæste luft var $20^\circ C$, og på nogle udvalgte positioner i rummet blev temperaturen målt som

funktion af tiden. Som eksempel på måledata viser fig. 3 sporgaskoncentrationen som funktion af tiden på pos. nr. 1. Den beregnede gennemsnitlige alder for luften i de forskellige målepositioner og for rummet som helhed er vist i tabel 1. I denne tabel er desuden vist de målte ligevægtkoncentrationer for $t \rightarrow \infty$ samt de målte gennemsnitstemperaturer.

På grundlag af måledata fra tabel 1 ses at den udsugede luftmængde $Q = q/C_a = 0.20 \text{ m}^3/\text{s}$. Rummets nominelle tidskonstant t_n bliver da $V/Q = 0.56 \text{ h}$, og efter ligning 3 beregnes luftudskiftningens effektivitet til $E_a = 54\%$.

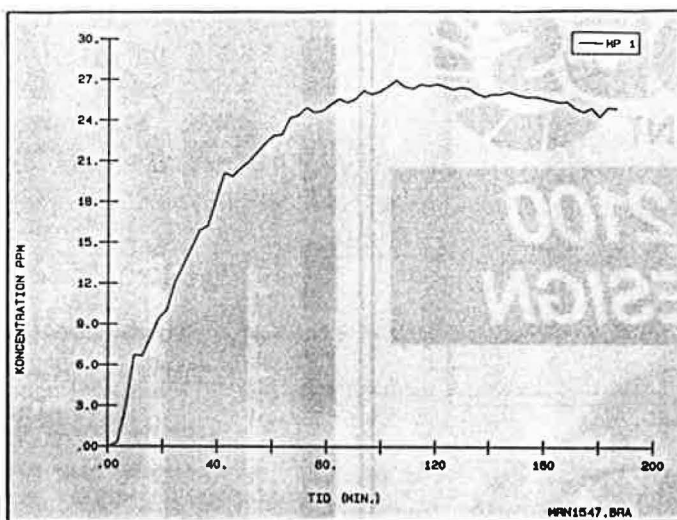


Fig. 3. Koncentrationen af sporgas som funktion af tiden.

| Position nr. | C_p ppm | t_p h | Temp. °C | $\langle t \rangle$ h |
|--------------|-----------|---------|----------|-----------------------|
| 1 | 26.4 | 0.56 | 21.0 | 0.51 |
| 2 | 24.0 | 0.34 | 20.8 | |
| 3 | 26.0 | 0.37 | - | |
| 4 | 25.7 | 0.50 | 21.3 | |
| 5 | 26.6 | 0.46 | - | |
| 6 | 27.4 | 0.38 | - | |

Tabel 1. Resultater fra sporgasmåling i en foredragssal.

stændig opblanding, og den målte effektivitet var 54%. Det skal bemærkes at målingen blev foretaget ved en næsten isotermisk strømning, da forskellen i temperatur mellem den indblæste luft og rummet var mindre end 1.3°C. Desuden skal det fremhæves at den målte effektivitet kun gælder uden personbelastning af rummet, og at konvektive strømninger fra personer kan ændre strømningforholdene i rummet.

Udviklingen af det beskrevne måleudstyr er foretaget som en del af et projekt støttet af Arbejds miljøfondet (projekt nr. 1985-10).

Referencer

- (1) Hørup Sørensen, H: Fortrængningsventilation. Dansk VVS nr. 1: 8-11, 1986.
- (2) Breum, N.O og Skotte, J: Måling af ventilationseffektivitet. Arbejds miljøfondet 1987 (in press)
- (3) Sandberg, M and Sjöberg, M: The Use of Moments for Assessing Air Quality In Ventilated Buildings. Build Env 18 (4): 181-197, 1983
- (4) Skåret, E and Mathisen, H.M. Test Procedure for Ventilation Effectiveness Field Measurements. Proc Int Symp on Recent Advances in Control and Operation of Building HVAC Systems, Trondheim, Norway, 1985.

Measuring the Air Exchange Efficiency

Breum N.O., VVS Denmark, October 1987, Vol. 23, No. 10

By a field study it is now practicable to measure the average age of the air in a room and the air exchange efficiency. In a non-occupied lecture hall with isothermal flow, the average age of the air was 0.56h, and the air exchange efficiency was 54 per cent. The method described is generally applicable to premises with mechanical inlet and exhaustion of air. As far as premises with mechanical exhaustion are concerned another method, also contained in the measuring equipment described, should be used.

Diskussion

Måling af luftens alder med sporgas er endnu en forholdsvis ny teknik, og de fleste erfaringer er indhentet fra forsøg i laboratorier (3), men der foreligger også resultater af feltundersøgelser (4). Den aktuelle undersøgelse viste nogen forskel mellem luftens alder i de undersøgte positioner, så-

ledes at luften i nogle positioner er mere »frisk« end i andre positioner. Resultaterne i tabel 1 viser således at luften er mere »frisk« i positionerne, 2, 3 og 6 end i positionerne 4 og 5. Den »ældste« luft forekommer i udsugningskanalen. For rummet som gennemsnit vil luftudskiftningens effektivitet være 50% såfremt der var fuld-

VVS JOB TIL LÆG

Ny medarbejder?
VVS Job Til Læg læses af 12.800 branchefolk

VENTILATION
VENTILATION
VENTILATION
VENTILATION
VENTILATION
VENTILATION
VENTILATION

VENTILATIONSENTREPRENØR

e.klinka/s



Meterbuen 30 - 2740 Skovlunde
Telefon (02) 91 28 91