

SBI-publ.

BIM 71

SBI's INDEKLIMATISKE UNDERSØGELSER



**STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT · SBI-RAPPORT 80
KØBENHAVN 1972 · I KOMMISSION HOS TEKNISK FORLAG**

SBI-rapporter

er beretninger om selvstændige forskningsarbejder, som udføres for eller af instituttet, referater af byggetekniske møder afholdt af instituttet m. m.
Priserne er incl. moms.

- 1 Økonomisk varmeisolering. Economical Heat Insulation. Poul Becher. 1949. 2. udgave 1950. 64 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 8,05.
- 2 Gymnastiksalens akustik. Acoustics of Gymnasia. Poul Becher. 1950. 4 p. A4. Danish text with a brief English summary. (Udsolgt. Out of print).
- 3 The Non-Destructive Testing of Concrete with Special Reference to the Wave-Velocity Methods. Johs. Andersen, Poul Nerenst and Niels Munk Plum. 1950. 80 p. A4. In English (Udsolgt. Out of print).
- 4 Testing of 11 Danish Concrete Mixers. Johs. Andersen, Per Bredsdorff, Niels H. Krarup, K. Malmstedt-Andersen, Poul Nerenst and Niels Munk Plum. 1951. 236 p. A4. In English. (Udsolgt. Out of print).
- 5 Sammenlignende undersøgelse af træ- og stålstilladser til husbygning. Wooden and Steel Scaffolding for Building Construction. Niels H. Krarup. 1951. 40 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt. Out of print).
- 6 Vinterbyggeri, forsøg afholdt af Statens Byggeforskningsinstitut i årene 1947-50. Winter Construction. Experiments made by the Danish Building Research Institute in 1947-50. Niels Munk Plum. 1951. 108 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt. Out of print).
- 7 Dæk og huse. Floor Constructions and Houses. Niels Munk Plum. 1952. 1. del: Tekst, 178 p. 2. del: Figurer, 46 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt. Out of print).
- 8 Trinlyd i beboelsesejendomme. Impact Sound in Dwellings. Fritz Ingerslev og V. E. B. Ranfelt. 1952. 40 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt. Out of print).
- 9 Tapet, rullelængde og rapportantal. Wallpaper, the Length of Roll and Number of Matches. Philip Arctander og Henry F. Holm. 1952. 64 p. A4. Danish text, partly also in English. (Udsolgt. Out of print).
- 10 Trommelyd, undersøgelser over støj fra gulve. Drum Noise from Floors. F. Larris. 1952. 28 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt. Out of print).
- 11 Mørteltilsætningsstoffer til brug ved vinterbyggeri. Mortar Admixtures for Winter Construction. Henry Dührkop. 1953. 40 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt. Out of print).
- 12 Luftlyd i beboelsesejendomme. Airborne Sound in Dwellings. Fritz Ingerslev og Jørgen Petersen. 1954. 40 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 8,05.
- 13 Byggetiden ved 10 eenfamiliehuse. The Construction Time and 10 Detached Houses. 1956. 54 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 13,80.
- 14 Prøvning af tre kontinuerlige betonblandere. Testing of Three Continuous Concrete Mixers. Per Bredsdorff, Johannes Landbo, Poul Nerenst og Niels Munk Plum. 1956. 146 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 18,40.
- 15 Trægitterspærfag til parcel- og rækkehusbyggeri. Roof Framing for Detached and Attached Houses. 1956. 38 p. A4. Kr. 2,30.
- 16 Nyere etageboligplaner. Plantypekatalog og forslag til planvurdering. Contemporary Plans of Flats. A Catalogue of Plans with Suggested Criteria for Comparative Evaluation. Aage Dalgas Rasmussen og Finn Vedel-Petersen. 1956. 92 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 32,20.
- 17 Projekterede spisepladser i etagehuse. Dining Areas in Flats. Greth Meyer. 1956. 126 p. A4. (Udsolgt. Out of print).
- 18 Økonomisk rørisolering. Economic Pipe Insulation. Poul Becher og Kristian Engelsen. 1957. 94 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt. Out of print).
- 19 Problemer vedrørende installation og drift af olie-fyringsanlæg. Problems Concerning Installation and Operation of Oil-Fired Central Heating Boilers. Otto Juel Jørgensen og Frederik Olsen. 1957. 42 p. A4. Kr. 13,80.
- 20 El-installationer i boligbyggeri. Electrical Installations in House Building. H. Justesen. 1957. 26 p. A4. Kr. 9,20.
- 21 Fejl og mangler ved betonelementer i montagebyggeri. Defects and Drawbacks of Concrete Units in Prefabricated Buildings. B. J. Rambøll. 1957. 24 p. A4. (Udsolgt. Out of print).
- 22 Økonomisk rørdimensionering ved centralvarmeanlæg. Economical Dimensioning of Pipes for Central Heating Systems. Poul W. Marke. 1957. 82 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt. Out of print).
- 23 Akustiske problemer i skolebygninger. Acoustics in School Buildings. Fritz Ingerslev, Jørgen Petersen og Jørgen Kristensen. 1957. 46 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt. Out of print).
- 24 Pudsfri beton. Plaster-free Concrete. V. Galløe. 1958. 34 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 9,20.
- 25 Korrosionsproblemer i byggeriet. Corrosion Problems in Building. H. H. Arup. 1958. 24 p. A4. Kr. 9,20.
- 26 Anlægsudgifter ved centraliserede og decentraliserede opvarmningsanlæg. The Investments at Centralized and Decentralized Hot-Water Heating Systems. Kristian Engelsen. 1958. 36 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 13,80.
- 27 Det lille enfamiliehus. Planeksempler og vejledning i planudformning. The Small Single-Family House. Plan Examples and Guiding Lines. Ole Dybbroe og Grethe Meyer. 1959. 152 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt. Out of print).
- 28 Om tegls frostfasthed. En litteraturgennemgang. On Frost Resistance of Tiles. A Survey of Literature. Jørn Jessing og H. P. Nielsen. 1958. 12 p. A4. Bilag: 20 ark A4 med ialt 160 kartotekskort. Supplement: 20 sheets, size A4, with 160 index cards. Separate translation in German and French. Kr. 18,40.
- 29 Problemer ved licitations- og udførselsgrundlaget for beton- og jernbetonarbejder. Problems Relating to the Conditions and Specifications for Tenders of Concrete and Reinforced Concrete Work. R. A. Larsen. 1958. 18 p. A4. Kr. 4,60.
- 30 Træskeletvæggen som ydervæg i lavt boligbyggeri. Timber Frame Walls as Load-Bearing Exterior Walls in One Storey Houses. Jørgen Bryrup. 1958. 108 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt. Out of print).
- 31 Brandtekniske forsøg med entredøre. Testing of Fire-Resisting Front Doors. Gerhard Hansen og H. Winkelmann. 1959. 18 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 9,20.

Fortegnelsen fortsætter på omslagets næste inderside

01045P
Bibliotekseksemplar 3.
STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

UDK 628.8
551.584.6
613.155

BIM 71

SBI's indeklimatiske undersøgelser

Civilingeniør, dr. techn. Poul Becher, SBI

Civilingeniør Peter Olufsen, SBI · Civilingeniør Ole Valbjørn, SBI

Civilingeniør Bo Andersen, DIAB · Civilingeniør Erik Christophersen, SBI

SÆRTRYK AF INGENIØR-MAGASINET & VVS

INDHOLD

VARME OG VENTILATION FØR, NU OG SIDEN civilingeniør, dr. techn. Poul Becher, SBI Ingeniør-Magasinet 14. maj 1971	3
VOLUMENSTRØMSMÅLER TIL ANEMOSTATER civilingeniør Peter Olufsen, SBI VVS nr. 3, 1971	7
MÅLING AF HASTIGHEDER I VENTILATIONSKANALER, 1 civilingeniør Peter Olufsen, SBI VVS nr. 6, 1971	11
MÅLING AF HASTIGHEDER I VENTILATIONSKANALER, 2 civilingeniør Peter Olufsen, SBI VVS nr. 10, 1971	15
MÅLING AF LUFTSKIFTE civilingeniør Ole Valbjørn, SBI VVS nr. 4, 1971	20
BEREGNING AF TEMPERATURFORLØB I BYGNINGER civilingeniør Bo Andersen, Danmarks Ingeniørakademi VVS nr. 5, 1971	25
FOR HØJ INDBLÆSNINGSTEMPERATUR civilingeniør Ole Valbjørn, SBI VVS nr. 12, 1971	29
AMERIKANSKE INDREGULERINGSFIRMAER civilingeniør E. Christophersen, SBI VVS nr. 9, 1971	32
UDDANNELSE AF VENTILATIONSTEKNIKERE civilingeniør E. Christophersen, SBI VVS nr. 2, 1971	36
PROCES- OG KOMFORTVENTILATION I INDUSTRIEN civilingeniør, dr. techn. Poul Becher, SBI og civilingeniør Ole Valbjørn, SBI	38

BIM, Byggeriets Indeklima Målestation.

Adresse: Statens Byggeforskningsinstitut, Lundtoftevej 7, 2800 Lyngby

ISBN 87 563 0083 2

Varme og ventilation før, nu og siden

Af civilingeniør, dr. techn. P. Becher*

VVS-branchens andel i byggeudgifterne og navnlig i driftsudgifterne vil stige meget stærkt fremover. Det medfører til gengæld, at både projekteringen og udførelsen af anlæggene må foretages omhyggeligere end i dag.

Bymennesker har nu i århundreder tilbragt størstedelen af deres tilværelse inden døre, både i fritiden og i arbejdstiden, og man har som en skæbnens tilskikkelse fundet sig i kulde og varme, fugt og væde, klædt sig efter årstiden og brugt sommer- og vintergardiner. Men i de senere år, med kundskabsrevolutionen, er man begyndt at tænke over tingene og stille krav; folk vil faktisk ikke mere finde sig i, at indeklimaet ikke er i orden. Det er nu også teknisk muligt at holde ethvert ønsket indeklima, og hvis økonomien ikke tillader, at der holdes konstant indeklima hele året, kan anlægget projekteres således, at de ønskede forhold kun overskri-

*) Statens Byggeforskningsinstitut.

des et nærmere fastsat antal dage om året.

Der er i de sidste 30-40 år foregået en rivende udvikling med varme- og ventilationsanlæggene. Mange ældre former for opvarmningsanlæg er næsten forsvundet: Dampvarmeanlæg, vacuumdampanlæg, Perkins anlæg, vandvarmeanlæg med naturlig cirkulation, kalorifereanlæg for enfamiliehuse og luftvarmeanlæg for etagehusene. De mekaniske fyringsanlæg for kul er kommet og forsvundet igen med oliefyrringen, og koksfyrring er også fuldstændig forsvundet. For ventilationens vedkommende er det nu en selvfølge, at der i kontorer indrettes både indblæsnings- og udsugningsanlæg, og der er fremkommet typiserede anlæg, som er lette at installere og reparere.

Hvad driftsøkonomien angår har den stigende velstand medført et mere afslappet forhold til opvarmningsudgifterne. Tidligere tiders hidsige diskussioner for og imod anvendelsen af mere eller mindre nøjagtige varmemålere er døet hen. Ingen protesterer, når større byggeselskaber indrettes således, at opvarmningsudgifterne sættes til sam-

me beløb for alle lejligheder, idet enhver jo er klar over, at der er grænse for, hvor meget varme man kan bruge, og at folk ikke uheldigvis lader en varmtvandshane løbe.

Men der er nu også kommet andre synspunkter ind i billedet, når man taler om kravene til ventilation. Tidligere havde man nogle få-gede ideer om, at friskluftmængderne skulle fastsættes således, at rumluften blev ren og frisk og sund, og man nåede op på at anbefale nogle formidable luftskifter. Denne overtro er efterhånden forsvundet, og der arbejdes ud fra ganske andre og rationelle synspunkter. Et nyt synspunkt, der er ved at vinde indpas er, at friskluftmængderne skal fastsættes således, at der bliver bedre for ikke-rygere, medens rygerne må finde sig i at indånde deres egen os. Flere og flere er klar over, at det er yderst sundhedsfarligt at ryge, og om ti år vil det formentlig være sådan, at det er forbudt at ryge på mange kontorer.

Forureningen vil man heller ikke længere finde sig i. Friskluften, der indblæses, skal være støv- og lugtfri, og luftindtaget må derfor placeres fornuftigt, og nøjagtigt det

Emne	Anlægsudgift		Kapitaludgifter				Vedligeholdelse og forbrug		Samlede årlige udgifter	
	1000 kr.	%	Annuitet ved 6% rente		1000 kr./år		1000 kr./år	%	1000 kr./år	%
			år	% p. a.	1000 kr./år	%				
Grund	1000		50	6,3	63		60		123	
Fundament	500		60	6,2	31		5		36	
Bærende konstruktioner	1500		60	6,2	93		5		98	
Ydervægge, tag	1500	45	40	6,6	99	286	30	100	129	386
Skillevægge	2000		10	13,6	272		50		322	
Inventar	1000		10	13,6	136		50		186	
Installationer	2500	55	20	8,7	218	626	150		368	
Forbrug el							100		100	
varme							100		100	
vand og kloak							10	460	56	10
rengøring							250		250	
renovation							10	260	32	10
I alt	10000	100			912	100	820	100	1732	100

Tab. 1. Fordelingen af anlægsudgifterne og de årlige udgifter til en kontorbygning på 5000 m² til 10.000.000 kr. De 4 øverste poster udgør rådhuset, de andre poster står for de foranderlige dele. Navnlig de 2 sidste poster, rengøring og renovation, vil stige voldsomt, bortset fra, at det vil blive vanskeligt at få det udført manuelt. Installationsandelen vil være forholdsvis større ved hospitaler og mindre ved beboelse.

SUMMARY

Heating and ventilating in the past, present and future

The amount of installations is rapidly increasing; for heating, ventilating, sanitation and electricity their share of the building costs is now 25 %, but 33 % of the running costs. However, the

branch must keep up to date to meet the demands for new thinking about economy, planning, performance, rationalization, control, delivering, running and pollution.

Volumenstrømmåler til anemostater

af civilingeniør Peter Olufsen,
Statens Byggeforskningsinstitut

Måling på indblæsningsåbninger

En væsentlig forudsætning for, at indregulering og afprøvning af ventilationsanlæg kan gennemføres i praksis på rimelig økonomisk måde og føre til et acceptabelt resultat, er, at man har rådighed over bekvemme og tilstrækkeligt pålidelige metoder til måling af indblæsningsåbningers ydelse.

Den metode, som umiddelbart frembyder sig, og som består i, at luftstrå-

lens hastighed i eller lige efter indblæsningsåbningen bestemmes med et anemometer eller pitotrør og ganges med luftstrålens tværsnitareal, er ikke altid velegnet for praktisk brug. Metoden er ret tidskrævende og unøjagtig, dels fordi lufthastigheden i reglen ikke er særlig veldefineret på dette sted, hvor der næsten altid anbringes gitre, som skal give luftstrålen en ønsket spredning i rummet, dels fordi strålens tværsnitareal er vanskeligt at fastlægge præcist. Væsentligt gunstiger med hensyn til nøjagtighed er bestemmelse af tværsnitareal og hastighed i kanalstykket foran indblæsningsåbningen, men denne metode er mindst lige så tidskrævende og må i mange tilfælde udelukkes, fordi adgangsmuligheden til kanalerne er utilstrækkelig, eller fordi der ikke findes lige kanalstykker foran indblæsningsåbningerne.

Det er nærliggende i stedet at søge at anvende en volumenstrømmåler med direkte visning af luftydelsen. Princippet i metoden er, at indblæsningsluften ledes igennem et rør af særlig form, hvori er anbragt en luft-hastighedsføler f. eks. efter varmetrådsprincippet, som er forbundet til et viserinstrument. Da der må være tilnærmelsesvis proportionalitet mellem luftstrøm og hastighed, kan apparatet som helhed kalibreres således, at man på viserinstrumentet eller på en omregningskurve direkte aflæser luftstrømmen i m^3/s eller m^3/h .

Volumenstrømmålerens opbygning

Efter forslag fra et rådgivende ingeniørfirma har Statens Byggeforskningsinstitut undersøgt en sådan volumenstrømmåler særligt beregnet til anemostater eller luftdiffusorer. Ap-

paratet består, som fig. 1 viser, af et 750 mm langt overgangsrør fremstillet af aluminiumplade sammenkoblet med et 450 mm langt venturiformet rør fremstillet af fiberarmeret plast. I venturidysen indsnævres diameteren fra ca. 300 mm til ca. 140 mm, således at drøvlingsforholdet er ca. 0,22. På det snævraste sted er føleren fra et varmetrådsanemometer fikseret i centrum. Venturidysen er af det finske fabrikat Wallac, type AM-600, og var-

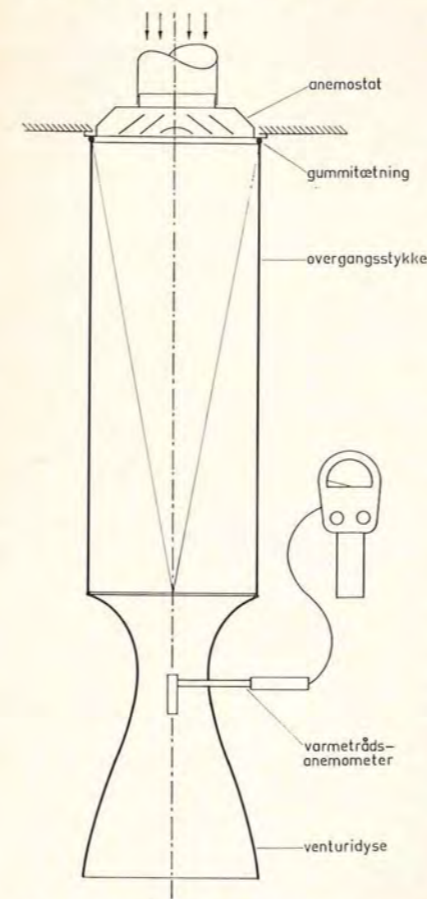


Fig. 1. Schematisk snit i volumenstrømmåler til måling af anemostaters ydelse. Overgangsrøret er foroven kvadratisk og forsynet med en blød gummivulst, der giver tætning mod anemostatens flange. For neden er overgangsrøret cirkulært med diameter 300 mm og med en gummipakning i samlingen mod venturidysen, der måler 140 mm i forsnævringen. Samlet længde er 1200 mm. Åbningen i venturidysens side til indføring af varmetrådsanemometerets føler er lukket med en klæbestrimmel.



Fig. 2. Volumenstrømmåleren i anvendelse ved en kvadratisk anemostat. Overgangsrøret er forsynet med et par håndtag og en holder til viserinstrumentet.

metrådsanemometeret er ligeledes af fabrikatet Wallac, type GGA, medens overgangsrøret er specielt fremstillet.

Apparatet bruges på den måde, at overgangsrørets kant, der er forsynet med en blød gummivulst, holdes tæt mod anemostatens flange eller mod loftsfladen, således at den indblæste luft tvinges igennem venturimetret, se

fig. 2. Samtidigt aflæses viserinstrumentet.

Venturidysen med varmetrådsanemometer er fra fabrikantens side beregnet til måling på udsugningsåbninger. Ved denne anvendelse strømmer luften ind til venturidysen fra alle retninger i rummet, hvor hastigheden er ubetydelig i forhold til strømningshastigheden i røret. Når venturidysen anvendes på indblæsningsåbninger, foregår luftindstrømningen til målestedet på en sådan måde, at hastighedsfordelingen i det tværsnit, hvor føleren er placeret, bliver forskellig fra fordelingen ved fri tilstrømning fra rummet. Den kalibrering af venturimetret, som fabrikanten angiver for måling på udsugningsåbninger, gælder derfor ikke for måling på indblæsningsåbninger. Der må her foretages en ny kalibrering gældende for de indstrømningsforhold, som svarer til den ændrede anvendelse, se fig. 3. Yderligere skal bemærkes, at den af fabrikanten opgivne kalibreringskurve for venturidysen som volumenstrømsmåler til udsugningsåbninger forudsætter, at anemometers visning er fejlfri i et homogent hastighedsfelt, hvilket ikke altid er tilfældet, særligt når anemometret ikke længere er fabriksnyt.

Formålet med venturidysen er så tabsfrit som muligt at accelerere og decelerere luftstrømmen og i det fornævrede tværsnit at opnå et fladt og stabilt hastighedsprofil med en centerhastighed af en sådan størrelse, at den kan måles uden større vanskelighed, d.v.s. fortrinvis i området 1–5 m/s. Accelerationen i den forreste del af venturidysen har samtidigt den betydning, at turbulensgraden formindskes, hvorved den aksiale hastighed bliver skarpere defineret.

Hovedformålet med overgangsrøret er at normalisere indstrømningsbetingelserne, således at hastighedsprofilen i måletværsnittet kun i ringe grad påvirkes af luftstrålens oprindelige form og retning. Desuden har overgangsrøret det praktiske formål at sikre en til de pågældende anemostatyper passende, lufttæt tilslutning samt at forlænge apparatet, således at man ved de hyppigst forekommende loftshøjder bekvemt kan betjene apparatet stående på en kort og let stige.

Den beskrevne volumenstrømsmåler kan kun bruges i forbindelse med et

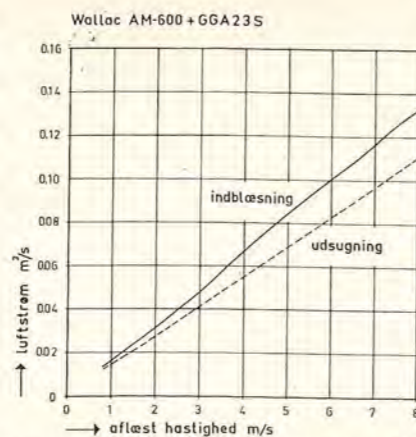


Fig. 3. Eksempel på en kalibreringskurve for en volumenstrømsmåler efter fig. 1. Den optrukne kurve gælder for måling på anemostater. Ifølge anemometerfabrikanten gælder den punkterede kurve for måling på udsugningsåbninger med venturidysen alene.

begrænset udvalg af forekommende anemostater, og såfremt man i praksis ønsker at dække et større område, bør man have flere overgangsrør og eventuelt flere venturirør til rådighed.

Kalibrerings- og aflæsnings-usikkerhed

Det første spørgsmål af betydning for målemetodens egnethed er, om en foretagen kalibrerings gyldighed er begrænset til et ganske snævert anvendelsesområde, eller om den samme kalibrering inden for en rimelig usikkerhedsmargin kan gælde i større almindelighed.

Volumenstrømsmåleren er afprøvet i SBI's laboratorium sammen med cirkulære og kvadratiske anemostater af det tyske fabrikat Trox, type DLR og DLQ størrelse 1 og 2. Det har ved forsøgene vist sig, at ved samme luftstrøm overstiger variationen mellem anemostater næppe aflæsningsusikkerheden, som midt på instrumentets skala er 2–3 % og i yderzonerne noget større. Aflæsningsusikkerheden skyldes væsentligst, at viserinstrumentet aldrig kommer helt i ro på grund af turbulens i luftstrålen.

Virkningen af anemostaternes indbygningsmåder i tilførselskanalen er endvidere undersøgt i laboratoriet, herunder indbygning efter lige kanal, umiddelbart efter bøjning og afgrening samt med reguleringsspjæld eller ledegitter indskudt foran anemostaterne. Det har vist sig, at variationen mellem indbygningsmåder ved samme luftstrøm ligger på grænsen af, hvad der kan aflæses med sikkerhed, d.v.s. ca. 5 %. Lidt større afvigelse synes at

kunne fremkomme ved indbygningsmåder, som skaber ekstremt skæve eller usymmetriske luftstråler, men den mest iøjnefaldende virkning af sådanne unormale stråler er dog en kraftigere turbulens på målestedet, som gør viserinstrumentet mere uroligt. Selv ved et så yderliggående eksempel som en Trox-anemostat, type DLR-C med to-delt reguleringsspjæld, hvis ene plade er helt lukket, samtidigt med at den anden spjældplade er helt åben, er det ikke særligt vanskeligt at gennemføre målingen, og instrumentets middelværdi afviger kun ca. 5 % fra visningen ved den samme luftstrøm fra en anemostat uden reguleringsspjæld.

Selv om en volumenstrømsmåler af den beskrevne art alt i alt synes tilstrækkelig ufølsom for praktiske formål for variationer i anemostaternes form, størrelse og indbygningsmåder, må det dog anbefales, at apparatet i givet fald kalibreres i forbindelse med de anemostater og indbygningsmåder, som det skal anvendes på. Statens Byggeforskningsinstitut vil kunne påtage sig at udføre kalibreringer for rekvirenter mod godtgørelse af omkostningerne. Kalibreringen bør i øvrigt gentages med passende mellemrum, f. eks. en eller to gange om året afhængigt af, hvor hyppigt apparatet er i brug, da man har erfaring for, at hastighedsfølere efter varmetrådsprincippet ikke er ganske stabile.

Metodefejll

Det andet hovedproblem ved målemetoden er, om belastning af en anemostat med den strømningsmodstand, som apparatet repræsenterer, kan ændre trykfordelingen i kanalsystemet så væsentligt, at anemostatens ydelse ændrer sig mærkbart, hvorved de i praksis målte luftstrømme bliver systematisk for små, selv om apparatet er korrekt kalibreret i laboratoriet.

Det mest kritiske tilfælde er her et kanalstykke med lav hastighed, som forsyner anemostater placeret nær ved hinanden og tilsluttet kanalen uden variabel eller fast formodstand som f. eks. reguleringsspjæld eller indsnævret overgangsstykke. Som eksempel er en Trox-anemostat, type DLQ størrelse 2 sluttet til en 150 mm cirkulær kanal umiddelbart efter en bøjning, undersøgt i laboratoriet. Ved måling med et mikromanometer er det fundet, at

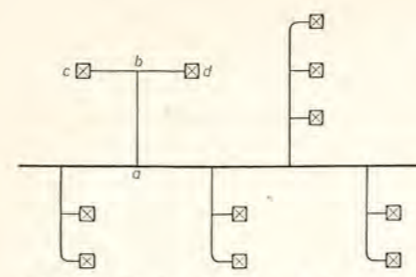


Fig. 4. Udsnit af et tænkt kanalnet med indblæsning gennem anemostater. Måling på anemostaten d bevirker, at balancen ændres, så at d yder mindre og c yder mere, men denne fejl ved målemetoden vil normalt være lille.

ved uændret luftstrøm vokser energitabet fra et punkt i kanalen 2 m foran anemostaten til rummet efter anemostaten med 16 %, når volumenstrømsmåleren tages i anvendelse.

Fig. 4 viser et udsnit af et tænkt kanalnet med anemostater af den nævnte type. Bruges volumenstrømsmåleren f. eks. på anemostaten d, fremkommer der små trykændringer i systemet, som imidlertid bliver mindre mærkbare, jo længere man fjerner sig fra d. Går man ud fra, at trykket i a er praktisk talt upåvirket af målingen ved d, og regner man med, at energitabet på strækningen fra a til b er ubetydelig i forhold til energitabet fra b til rummet, vil luftstrømmen gennem d på grund af den kvadratiske sammenhæng mellem tryk og luftfart falde med 7 % under målingen, d.v.s. at volumenstrømsmålerens visning skal korrigeres med +8 %, når man skal have et udtryk for den uforstyrrede anemostats ydelse. Mere realistisk er det imidlertid at regne med, at energitabet på strækningen fra a til b er af samme størrelsesorden som energitabet fra b til rummet. Beregning viser, at anemostaten d's ydelse da vil falde med 5 % under målingen. Er energitabet fra a til b flere gange større end tabet fra b til rummet, vil forstyrrelsen fra målingen ved d blive 4 %. Undersøges på tilsvarende måde de andre former for stikledninger med 1, 2 eller 3 anemostater, som er vist på fig. 4, bliver resultatet stort set det samme.

Selv om ræsonnementet kan være noget forenklet, viser det størrelsesordenen af de målefejl, der må forventes som følge af, at måleapparatet påvirker måleobjektet. Ved at indskyde et nøjagtigt anemometer i kanalen foran anemostaten kan det direkte kontrolleres, hvor meget ydelsen falder un-

der målingen med volumenstrømsmåleren. Gentagne kontrolforsøg udført på denne måde i laboratoriet har vist, at målefejlen er mellem 4 og 6 % i god overensstemmelse med de teoretiske overvejelser.

Den afgørende forudsætning for dette resultat er, at den forøgelse af strømningsmodstanden i den yderste del af systemet, som skyldes volumenstrømsmåleren, som før nævnt er af størrelsen 16 %. I praksis vil det naturligvis ikke altid være således. Den relative forøgelse af strømningsmodstanden afhænger dels af forholdet mellem volumenstrømsmålerens dimensioner og anemostatens dimension og dels af modstanden ved anemostatens tilslutning til kanal. På dette sted anbringes meget ofte et reguleringsspjæld eller en anden formodstand, da man ellers ikke kan afbalancere ydelserne for flere anemostater på samme stikledning. Den relative forøgelse af strømningsmodstanden fra volumenstrømsmåleren bliver da betydelig mindre, og dermed reduceres også målefejlen. Ved direkte kontrolforsøg er det påvist, at målefejlen ved en anemostat med en formodstand af perforeret plade med 50 % hulareal er mindre end 2 %. Det samme resultat er opnået på et anlæg i en skole med kvadratiske anemostater sluttet til cirkulære kanaler ved hjælp af særlige, indsnævrede overgangsstykker.

Konklusionen af overvejelserne og undersøgelserne må blive, at volumenstrømsmåleren kan påvirke trykfordelingen i ventilationsanlægget, således at aflæsningerne bliver systematisk for små. Såfremt forholdet mellem anemostatdimensionen og volumenstrømsmålerens hoveddimensioner ikke overskrider, hvad der svarer til Trox-anemostater, type DLR og DLQ, størrelse 2 imod den beskrevne udgave af måleren, vil måleresultatets afvigelse næppe overstige 5–6 %, og er der installeret formodstande til anemostaterne, vil afvigelsen næppe overstige 2–3 %. Alt i alt er afvigelse af samme størrelsesorden som usikkerheden ved aflæsning af instrumentet, men det skal bemærkes, at medens aflæsningsusikkerheden påvirker måleresultatet tilfældigt, vil den fejl, som skyldes, at måleinstrumentet bringer forstyrrelse i måleobjektets tilstand, være ensidig. Ved indreguleringsopgaver på anlæg,

hvor der overalt er anvendt den samme anemostat, og hvor de nok så meget kommer an på anemostaternes relative ydelse, vil betydningen af målefejlen være væsentlig mindre.

Konstruktive spørgsmål

Så vidt vides, findes der ikke for tiden færdige volumenstrømsmålere af den omhandlede type på markedet. Hvis man vil anvende måleprincippet, er man derfor indtil videre henvist til selv at lade fremstille den rørtormede del af apparatet og heri indbygge et egnet anemometer.

Skal volumenstrømsmåleren anvendes til anemostater med et største ydre tværmål på ca. 0,3 m, kan man undgå den besværlige fremstilling af venturidysen ved at benytte den tidligere omtalte plastventuridys, som fås i handelen. Det er da kun overgangsrøret, som kræver speciel fremstilling. Dets tværsnitsform er bestemt af, at røret skal danne overgang fra anemostat til venturidys. Det vil formentlig være den bedste løsning at anskaffe et nøje tilpasset overgangsrør for hver af de hyppigt forekommende anemostatformer og -størrelser, men ved mindre anemostater vil man dog, hvor loftsfladen er tilstrækkelig plan, kunne klare sig med et overgangsrør passende til en større anemostat.

Ønskes måleprincippet anvendt på anemostater med tværmål over ca. 0,3 m, må såvel venturidysen som overgangsrør fremstilles specielt. Sandsynligvis vil det volde nogen praktisk vanskelighed at gøre konstruktionen tilpas let, når dimensionen øges.

Udformningen af den beskrevne og undersøgte udgave af volumenstrømsmåleren er i nogen grad tilfældig. Apparatet er oprindeligt bygget til målinger på et større anlæg, hvor al indblæsning foregik gennem Trox-anemostater, type DLQ størrelse 2, og dette har været bestemmende for overgangsrørets diameter. De øvrige strømnings-teknisk betydende dimensioner er valgt skønmæssigt, og der er ikke på forhånd gjort forsøg på at optimere geometrien, f. eks. forholdet mellem overgangsrørets længde og diameter, venturidysens drøvlingsforhold eller diffusorens åbningsvinkel. Apparatet kan utvivlsomt gøres mere fikst og let-håndterligt, og muligvis kan man også ved at korrigere dets form opnå en

yderligere forbedret strømningsteknisk og måleteknisk funktion.

Jo større man gør forholdet mellem indløbslængde og rørdiameter, og jo mindre man gør dysens drøvlingsforhold, desto mere veldefineret bliver hastighedsmålingen, men samtidigt vokser strømningsmodstanden og dermed risikoen for, at apparatet forstyr-

rer anlæggets balance i væsentlig grad. Det konstruktive hovedproblem består i at afveje disse modstridende hensyn.

SUMMARY

Volume flow meter for ceiling diffusers

In the article is described a practical

method of measuring the amount of supply air from ceiling diffuser outlets. In the main, the method is not a new one, but until now it has not been used to any great extent, because it has been considered rather unreliable. However, by choosing an appropriate construction of the apparatus, a measuring accuracy satisfactory to practice can be obtained.

Måling af hastigheder i ventilationskanaler, 1

Af civilingeniør Peter Olufsen, Statens Byggeforskningsinstitut

Reynolds' tal

De lufthastigheder, som forekommer i ventilationsanlæggenes kanalsystemer, ligger sædvanligvis i området fra 2 til 20 m/s. Inden for dette hastighedsområde bestemmes karakteren af strømmingen primært af Reynolds' tal, som udtrykker forholdet mellem inertikræfter og friktionskræfter, idet andre kræfter, f. eks. elastiske kræfter, først får væsentlig betydning for strømningsfænomener langt uden for området.

Da inertikræfterne er proportionale med ρv^2 , og friktionskræfterne er proportionale med $\eta v/l$, kan Reynolds' tal skrives

$$Re = \frac{\rho v l}{\eta} = \frac{v l}{\nu}$$

hvor stofkonstanterne ρ , η og ν er henholdsvis densitet, dynamisk viskositet og kinematisk viskositet for atmosfærisk luft. l og v er en for den pågældende strømning karakteristisk længde og hastighed. Ved strømning i cirkulære rør anvendes næsten altid diameteren som karakteristisk længde og middelhastigheden over tværsnittet som karakteristisk hastighed. Ved ikke-cirkulære rør erstattes diameteren sædvanligvis af den hydrauliske diameter, som er fire gange forholdet mellem tværsnitsareal og omkreds. Man opnår herved, at formler for hydraulisk friktion kan overføres uændret fra cirkulære til ikke-cirkulære rør, men det samme gælder ikke formler for hastighedsfordeling.

For henholdsvis cirkulære og rektangulære ventilationskanaler benyttes altså definitionerne

$$Re = \frac{\bar{v} d}{\nu} \text{ og } Re = \frac{\bar{v} 2 ab}{\nu (a+b)}$$

Luftstrømme i ventilationskanaler bestemmes i praksis som tværsnitsareal gange hastighed, hvor hastighederne måles fortrinsvis med pitotrør. I artiklen beskrives principperne for hastighedsmålingernes udførelse og den teoretiske baggrund, man bør have kendskab til for at kunne planlægge disse målinger.

hvor d er diameter og a og b er rektanglets sider. For et kvadratisk rør er den hydrauliske diameter lig med kvadratets side. Det bemærkes, at ved samme middelhastighed og samme luftstrøm vil et kvadratisk eller rektangulært rør have lavere Re end et cirkulært rør.

Størrelserne indsættes i homogene enheder, mest hensigtsmæssigt m/s for hastighed, m for længde og m^2/s for kinematisk viskositet. Talværdien for den kinematisk viskositet er ca. $15 \cdot 10^{-6} m^2/s$, men den varierer med temperatur og tryk som fig. 2 viser.

Da Re i hovedtræk har en logarit-

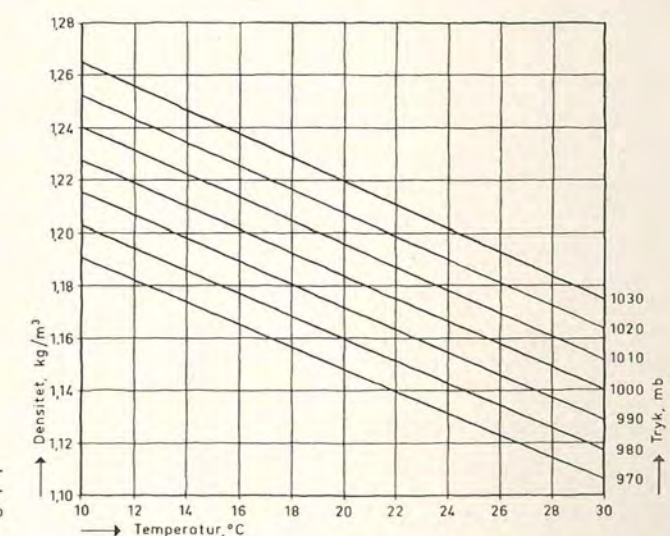


Fig. 1. Densitet i afhængighed af temperatur og tryk for 50% fugtmættet luft.

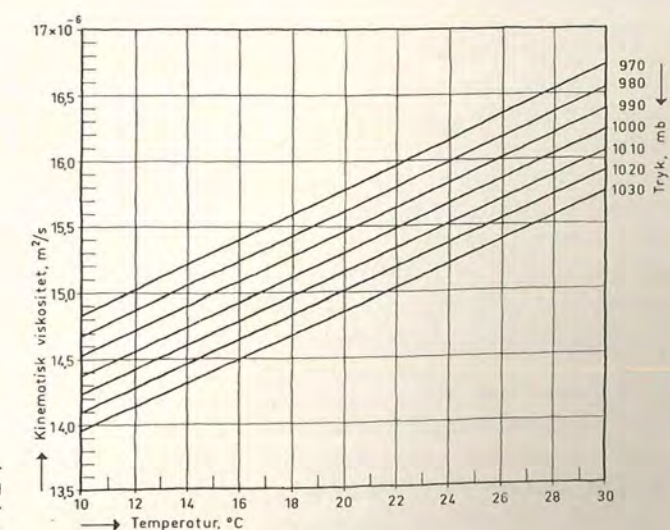


Fig. 2. Kinematisk viskositet i afhængighed af temperatur og tryk for 50% fugtmættet luft.

misk effekt på karakteren af rørstrømningen, er en nøjagtig beregning af dets talværdi ikke nødvendig i praksis. En aflæsning af diagrammet fig. 3 vil ofte give tilstrækkelig orientering. Diagrammet viser samtidigt, at det er et temmeligt begrænset variationsområde for Re, som har ventilationsteknisk interesse. I langt de fleste tilfælde ligger Re mellem $3 \cdot 10^4$ og $3 \cdot 10^5$, d.v.s. at log Re ligger mellem 4,5 og 5,5.

Turbulensgrad

Strømningen i ventilationskanaler er altid mere eller mindre turbulent. Det betyder, at den stationære strømning, som bestemmer den resulterende lufttransport, er overlejret tilfældige bevægelser i alle retninger. I et givet punkt og til en given tid har den tilfældige bevægelse en bestemt hastighed og retning, men dens statistiske middelværdi over tiden er nul. Derimod har middelværdien af den tilfældige hastigheds kvadrat altid en positiv værdi, og kvadratroden heraf er et statistisk mål for turbulenshastigheden. Ved turbulensgraden forstås denne størrelse målt i forhold til den stationære hastighed på stedet.

I almindelighed er de turbulente bevægelser ikke lige kraftige i alle retninger, således at man må skelne mellem f. eks. aksial, radial og tangentielt turbulens i et rør. Kaldes den stationære hastighed v og den tilfældige hastighedskomponent i x-retningen Δv_x , bliver den tilsvarende turbulensgrad

$$T_x = \frac{\sqrt{\Delta v_x^2}}{v}$$

Er turbulensen uafhængig af retningen, kaldes den isotropisk.

Turbulensgraden i lige rør i stor afstand fra indløbet og ved Re mellem 10^4 og 10^5 opgives i litteraturen til mellem 3 og 4 % midt i røret, hvor turbulensen er isotropisk. Nærmere rørvæggen vokser turbulensgraden, således at den i afstandene 0,7 og 0,9 r fra centrum bliver henholdsvis omkring det dobbelte og det tredobbelte af størrelsen ved centrum. Samtidigt bliver den aksiale turbulens stærkere og den radiale turbulens svagere i forhold til den tangentielle. Nær ved indløbet og efter enkeltmodstande kan

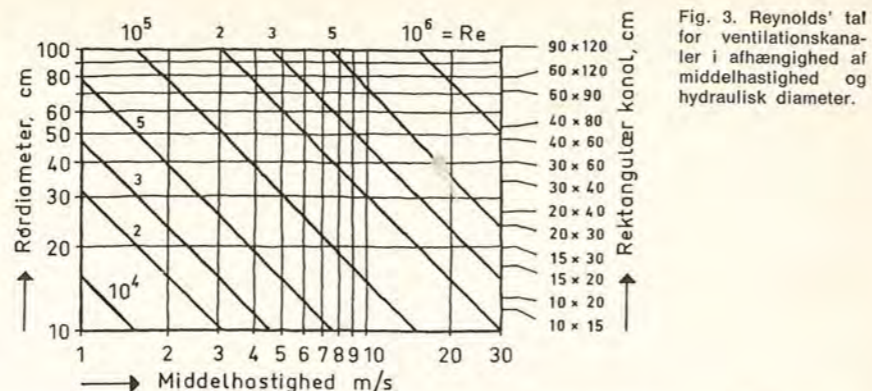


Fig. 3. Reynolds' tal for ventilationskanaler i afhængighed af middelhastighed og hydraulisk diameter.

turbulensgraden være betydeligt højere og anderledes fordelt.

Turbulensstrukturen er ikke fuldstændigt karakteriseret ved turbulensgraden. Af andre parametre, som kan anvendes ved beskrivelsen, er frekvensspektret for turbulensen samt den statistiske middelse af de tilfældige turbulensvibrer, og som i kort afstand bag gitre eller net afhænger af maskevidden. Turbulensen er en af årsagerne til de måletekniske vanskeligheder ved bestemmelse af

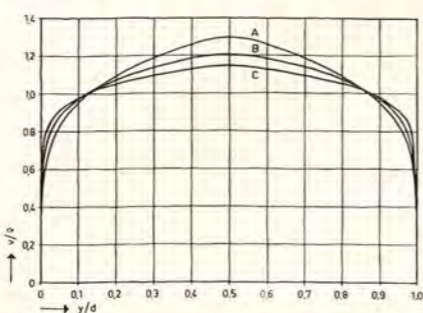


Fig. 4. Fuldt udviklede hastighedsprofiler ved turbulent strømning med samme middelhastighed i cirkulære rør. Profilerne A, B og C fremkommer i glatte rør ved $Re = 10^5$. Med voksende Re ændrer profilet sig i retning af kurven C, med aftagende Re eller med voksende ruhed ændrer det sig i retning af kurven A. For tydelighedens skyld er forskellen mellem kurverne A, B og C overdrevet, det normalt forekommende variationsområde er omtrent halvt så stort som antydnet.

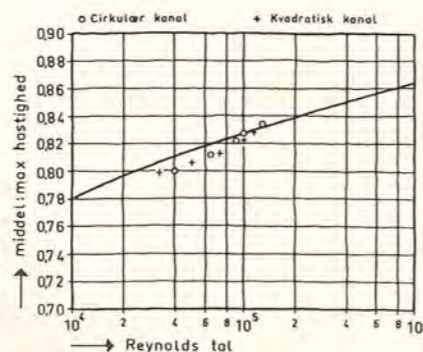


Fig. 5. Forholdet mellem middelhastighed og centralhastighed i fuldt udviklet rørstrømning i afhængighed af Reynolds' tal. Kurven er tegnet efter Nikuradses og Stantons forsøg, og de markerede punkter er målt i SBI's laboratorium på 100 mm ventilationskanaler.

middelhastigheder i ventilationskanaler, og formodentlig har alle de nævnte parametre betydning for måleinstrumenternes reaktioner.

Hastighedsprofil i fuldt udviklet strømning

I et glat cirkulært rør med radius r vil der ved $Re = 10^5$ i nogen afstand fra indløbet indstille sig en hastighedsfordeling, hvis diagonale profil med god tilnærmelse følger formelen

$$v = v_c \left(\frac{y}{r} \right)^{1/7}$$

hvor v_c er centralhastigheden og y er afstanden fra rørvæggen. Profilet ændrer sig med Re, idet det flader ud med voksende Re og spidser til med aftagende Re. Ændringen svarer omtrent til, at eksponenten i formelen aftager til $1/9$ for $Re = 10^6$ og vokser til $1/6$ for $Re = 10^4$.

I rør med ru vægge vil profilet blive mere spidst svarende til større værdi for eksponenten end for glatte rør ved samme Re. Denne virkning synes dog at være ubetydelig ved sædvanligt forekommende ruhed i ventilationskanaler af forzinket jernplade, men må formodentlig tages i betragtning f. eks. ved murede kanaler.

Fig. 4 viser tre forskellige hastighedsprofiler svarende til forskellige værdier af eksponenten. Det viser sig, at det punkt på profilerne, hvor hastigheden er lig med middelhastigheden over hele tværsnittet, er meget nær sammenfaldende og beliggende 0,76 r fra centrum eller 0,12 d fra rørvæggen. I princippet kan man derfor bestemme middelhastigheden og dermed volumenstrømmen i en cirkulær kanal ved at måle i dette ene punkt uden hensyn til Re og ruhed.

Alligevel må det af praktiske grunde foretrækkes at måle maksimalha-

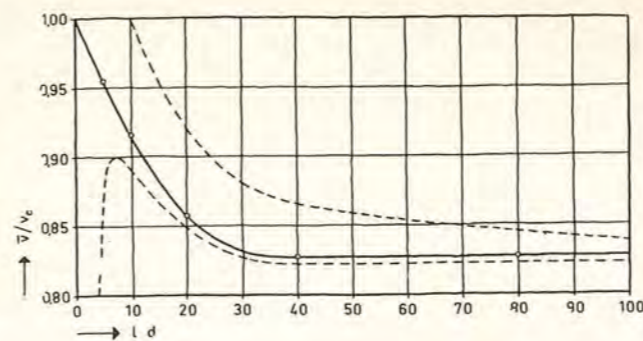
stigheden i centrum og omregne denne til middelhastighed. Fikseringen af målesonden i centrum er ukritisk, medens målingen i middelhastigheds punktet er temmelig afhængig af en nøjagtig placering af sonden. Endvidere betyder det en væsentlig lettelse for målingen, at turbulensgraden er mindre i centrum end tæt ved rørvæggen. Endelig skal nævnes, at i det tilfælde, at strømningen ikke er fuldt udviklet, som behandles nærmere i følgende afsnit, gælder reglen om $v = \bar{v}$ for $y = 0,12 d$ ikke.

I følge almindeligt anerkendte forsøgsresultater fra litteraturen varierer forholdet \bar{v}/v_c med Re for glatte cirkulære rør som fig. 5 viser. For ru rør må forventes lavere værdier, men det er vanskeligt at finde nøjagtige oplysninger herom i litteraturen. Sandsynligvis giver en relativ ruhed på 10^{-3} kun ubetydelige afvigelser fra kurven i det betragtede område.

Det er ligeledes svært at finde værdier for \bar{v}/v_c for ikke-cirkulære rør i litteraturen. Ved forsøg i SBI's laboratorium på et 100×100 mm kvadratisk rør af forzinket plade er der ikke fundet værdier, som afviger signifikant fra tilsvarende måleresultater for et 100 mm cirkulært rør. Som helhed ligger resultaterne lidt under den optrukne kurve i fig. 5, men dette kan bero på målefejl, særligt ved bestemmelsen af \bar{v} . De samme målefejl indvirker i væsentlig mindre grad på forholdet mellem resultaterne for rundt og firkantet rør. For rektangulære rør med moderate sideforhold er afvigelserne fra den cirkulære kurve formodentlig heller ikke betydelige.

Hastighedsprofil under udvikling

Ventilationskanaler er meget ofte for korte til, at hastighedsprofilen når at udvikle sig fuldt ud, og det i fig.



5 angivne forhold mellem middelhastighed og centralhastighed vil da ikke være til stede.

I et lige rør med afrundet indløb vil hastigheden nær indløbet være næsten konstant over tværsnittet. I den første del af røret vil luftlagene nærmest rørvæggen bremses, medens kernen vil accelereres, indtil det endelige hastighedsprofil er nået i en afstand fra indløbet, der kan afhænge noget af forsøgsbetingelserne, men hvis størrelsesorden er 40 d. Forholdet \bar{v}/v_c vil der ved aftage eksempelvis efter den optrukne kurve i fig. 6, der er målt i SBI's laboratorium på en cirkulær ventilationskanal med $Re = 10^5$. Denne indløbseffekt beror på, at der i begyndelsen dannes et laminært grænselag på grund af friktionen ved rørvæggen. Grænselaget slår hurtigt om til at blive turbulent, hvorefter det vokser i tykkelse, indtil røret er helt udfyldt.

I praksis er indløbsforholdene ikke så veldefinerede, da en lige kanalstrækning sædvanligvis tager sin begyndelse umiddelbart efter en bøjning, en afgrening, et overgangsstykke fra en større eller mindre dimension, et spjæld eller et andet strømningsforstyrrende element. I tilgift til den rene grænselagsudvikling, som den fore-

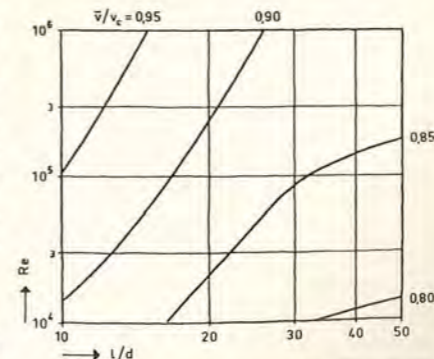


Fig. 7. Diagram konstrueret på grundlag af fig. 5 og 6 for omregningsfaktor middelhastighed: centralhastighed i afhængighed af Reynolds' tal og afstand fra forstyrrelse.

går under ideale forhold med afrundet indløb, opstår der da en beroligelseffekt, idet større hvirvler, asymmetri eller andre uregelmæssigheder i strømningen skal dæmpes, før det endelige hastighedsprofil etableres. Indløbsforstyrrelserne bevirker i reglen en forlængelse af den strækning, som kræves til fuld udvikling af profilet, og undervejs kan forholdet \bar{v}/v_c afvige en hel del fra den optrukne kurve i fig. 6.

Disse afvigelser må betragtes som tilfældige. Antallet af parametre, som har væsentlig indflydelse på forløbet af \bar{v}/v_c -kurven, er for stort til, at der kan opstilles et praktisk brugbart system til forudsigelse af værdien af hastighedsforholdet i en konkret situation.

I SBI's laboratorium er foretaget et stort antal målinger af \bar{v}/v_c ved $Re = 10^5$ med forskellige forstyrrelser i indløbet til et langt cirkulært rør, især bøjninger, T-stykker og spjæld i flere stillinger. Omkring 90 % af måleresultaterne falder imellem de to punkterede kurver i fig. 6. Det bemærkes, at der er overvejende sandsynlighed for, at forstyrrelserne resulterer i højere værdier af \bar{v}/v_c svarende til lavere centralhastighed end for uforstyrret indløb. Det skarpkantede indløb danner dog en undtagelse. Lige efter indløbet fremkommer en kontraktion af strømningen, hvor centralhastigheden kan blive indtil 1,6 \bar{v} .

Konklusionen af fig. 6 bliver, at bestemmelse af middelhastighed ved omregning af en målt centralhastighed overhovedet ikke bør foretages, når afstanden fra nærmeste forstyrrelse er mindre end 10 d. I større afstand kan omregning foretages med anvendelse af en omregningsfaktor midt mellem de punkterede kurver, men der må påregnes en omregningsusikkerhed på 5 % ved $l/d = 10$ aftagende til 2 % ved $l/d = 50$. Såfremt Re afviger fra 10^5 , bør omregningsfaktoren korrigeres svarende til den i fig. 5 viste afhængighed af Re. Summarisk kan det bedste skøn for omregningsfaktoren da angives i diagramform som fig. 7.

Traverseringsmetoden

Hvis den omtalte metode til bestemmelse af \bar{v} ud fra en måling af v_c af den ene eller anden grund er for unøj-

agtig, må der benyttes traversering. Herved forstås måling af hastigheden i flere punkter fordelt over kanal tværsnittet, hvorefter \bar{v} findes ved numerisk integration. Da metoden er ret omstændelig, er det af betydning, at der ved tilrettelæggelsen økonomiseres med antallet af målepunkter.

I sin enkleste form består traverseringen i opdeling af tværsnittet i lige store felter, hastighedsmåling i midtpunktet af hvert felt og beregning af \bar{v} som det simple middeltal af de målte hastigheder. Opdelingen af tværsnittet må følge et retvinklet net i rektangulære kanaler og et polært net i cirkulære kanaler. I sidstnævnte tilfælde bliver radiusvektor til målepunkterne ved $2n$ målinger på en diagonal

$$r \sqrt{\frac{1}{2n}}, r \sqrt{\frac{3}{2n}}, r \sqrt{\frac{5}{2n}} \text{ osv.}$$

da målingerne bør foretages på cirkler, der deler de pågældende felter i lige store arealer.

Betragtes problemet for nemheds skyld todimensionalt, svarer denne trivialmetode i geometrisk fortolkning til, at hastighedsprofilen erstattes af en trappekurve, hvis niveauer er de virkelige hastigheder i intervalmidtpunkterne. Heri ligger åbenbart en tilnærmelse, som i almindelighed kun kan forbedres ved, at intervallerne gøres mindre, d.v.s. ved at der vælges flere målepunkter. Har man imidlertid på forhånd et vist kendskab til de mulige former for hastighedsprofiler, kan tilnærmelsen også gøres bedre uden forøgelse af antallet af målinger, enten ved at der beregnes vejede middeltal af de målte hastigheder, eller ved at målepunkterne forskydes i forhold til intervalmidtpunkterne.

Bestemmelse af \bar{v} for fuldt udviklet rørstrømning ud fra v_0 eller v i afstanden $0,12d$ fra rørvæggen kan opfattes som specielle eksempler herpå, der er muliggjort af et næsten fuldstændigt kendskab til hastighedsprofilens form.

Et mere almindeligt eksempel er den såkaldte 6-punkts log-linearregel for cirkulære kanaler. Metoden går ud på at bestemme middelhastigheden som det simple middeltal af hastigheden målt i 6 særligt udvalgte punkter pr. diagonal. Den er baseret på, at en profilhalvdel med tilnærmelse erstattes af to kurvestykker af formen

$$v = A + B \log \frac{y}{r} + C \frac{y}{r}$$

Det er derefter muligt at stedbestemme 3 punkter på en radius, således at middelværdien af funktionsværdierne i punkterne er lig med middelværdien bestemt ved analytisk integration af funktionen og således, at punkternes beliggenhed bliver uafhængig af koefficienterne A, B og C. Til sammenligning anføres målepunkternes afstande fra rørvæggen ved log-linear og trivialmetoden begge med 6 punkter pr. diagonal:

log-linear	trivial
0,032 d	0,044 d
0,135 d	0,146 d
0,321 d	0,296 d
0,679 d	0,704 d
0,865 d	0,854 d
0,968 d	0,956 d

Log-linear metoden kan udvides til flere eller færre målepunkter pr. diagonal, men 6 punkter synes at have størst praktisk interesse, og med dette antal er metoden optaget i den engelske standard for ventilatorprøvning BS 848, hvor der samtidigt foreskrives måling på 2 på hinanden vinkelrette diagonaler pr. tværsnit ved rørdiameter under 1,2 m, altså i alt 12 målepunkter pr. tværsnit.

Det er vanskeligt at overskue, hvorvidt der i forudsætningerne for log-linear metoden i virkeligheden skjuler sig tilnærmelser, som giver anledning til lige så store usikkerheder som ved andre metoder. Det synes dog bekræftet ved praktiske undersøgelser refere-

ret i litteraturen, at 6-punkts log-linear metoden er lige så nøjagtig som trivialmetoden med 10 punkter pr. diagonal selv ved strømninger med temmelig uregelmæssig hastighedsfordeling.

Spørgsmålet, om der for rektangulære kanaler findes metoder, som er mere fordelagtige end trivialmetoden, synes ikke endeligt afklaret. Visse undersøgelser kunne tyde på, at der med 16 målepunkter pr. tværsnit placeret symmetrisk i 4 rækker og 4 søjler, hvis afstande fra kanalvæggen er

0,092 a, 0,368 a, 0,632 a, 0,908 a, hvor a er sidelængden, opnås særlig stor sikkerhed i forhold til antal målinger. I BS 848 foreskrives en metode med 48 punkter pr. tværsnit i et kompliceret mønster, men metoden, hvis begrundelse forekommer uklar, synes ikke at give nøjagtigere resultater end den langt simple 16-punkts metode, forudsat at usikkerheden på hastighedsmålingen i det enkelte punkt er lille mod fejlen, som skyldes traverseringsmetoden.

Litteratur

Ower og Pankhurst: The measurement of air flow, 4. udg., Pergamon Press, Oxford 1969.

Richter: Volumenstrommessung in Rohrleitungen, Heizung-Lüftung-Haustechnik 1969 side 407 og 1970 side 119.

British Standard 848: part 1: 1963. Methods of testing fans.

SUMMARY

Measurement of velocities in ventilation ducts, 1

In practice, air flow in ventilation ducts is determined as the product of sectional area and velocity, where the velocities mainly are measured with pitot-static tubes. In the article are described the principles according to which measurements of velocities are made, and the theoretical background which should be known in order to plan such measurements.

Måling af hastigheder i ventilationskanaler, 2

Af civilingeniør Peter Olufsen
Statens Byggeforskningsinstitut

Pitotrørets princip

For alle mekaniske metoder til måling af lufthastigheder gælder, at sammenhængen mellem instrumentets output og hastigheden i den uforstyrrede strømning kun med en vis tilnærmelse kan udledes af det fysiske måleprincip og kendskabet til instrumentets konstruktion. Dette beror på, at instrumentets teori bygger på mere eller mindre idealiserede forudsætninger, bl. a. tager teorien i reglen ikke hensyn til, at indførelsen af en sonde forstyrrer strømningen i omegnen af målestedet. Der må derfor ligge empiriske undersøgelser til grund for den nøjagtige fastsættelse af instrumentkonstanter eller kalibreringer.

Dette gælder også pitotrøret. Dets teori er simpel, jfr. fig. 1. I en stationær, gnidningsfri strømning i et usammentrykkeligt medium vil summen af trykenergi og kinetisk energi være konstant langs en strømlinie. Midt for spidsen af et pitotrør, som peger mod strømretningen, vil strømningen bremses op fra hastigheden v til hastigheden nul, hvorved den kinetiske energi omsættes til tryk. I boringen i spidsen af sonden vil derfor indstille sig totaltrykket

$$P_t = p + \frac{1}{2} \rho v^2$$

Langs siderne af sonden er hastigheden upåvirket, og i sideåbningerne vil derfor indstille sig det statiske tryk p . Forbindes pitotrørets to stutse til et differensmanometer, vil dette vise det dynamiske tryk eller hastighedstrykket $\frac{1}{2} \rho v^2$, hvoraf hastigheden kan beregnes.

Da der i denne forklaring på pitotrørets virkemåde er set bort fra frik-

I fortsættelse af foranstående artikel, som omhandlede det strømningstekniske grundlag, beskrives de mekaniske instrumenter, som anvendes ved lufthastighedsmålinger i ventilationskanaler. Hovedvægten er lagt på gennemgangen af pitotrørets princip og fejlkliderne ved dets brug.

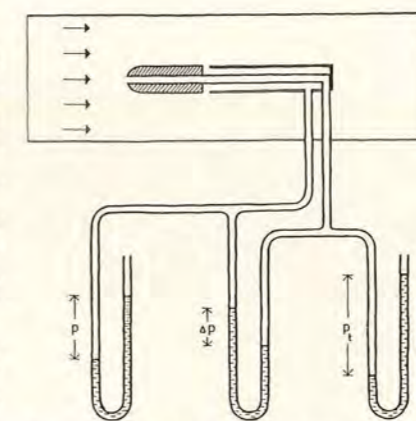


Fig. 1. Schematisk billede af pitotrør tilsluttet tre manometre, der viser henholdsvis statisk tryk, hastighedstryk og totaltryk.

tion, turbulens, sammentrykkelighed og pitotrørets endelige udstrækning, vil pitotdifferenstrykket i virkeligheden afvige lidt fra hastighedstrykket, hvilket man udtrykker med instrumentkonstanten k

$$\Delta p = k \cdot \frac{1}{2} \rho v^2$$

Ved omfattende undersøgelser udført især på Aerodynamische Versuchsanstalt Göttingen og National Physical Laboratory Teddington har man kunnet vise, at det er muligt at konstruere pitotrør sådan, at virkningerne af de forskellige afvigelser fra den forenkede teori næsten ophæver hinanden i turbulensfri strømninger. Idet luften viger udenom en sonde af endelig tykkelse, vil den accelereres, således at der i sideåbningerne opstår undertryk i forhold til det statiske tryk. Samtidigt vil skافتet, som udgår fra sondens bageste del, frembringe et overtryk, der gør sig gældende med aftagende styrke mod strømmens ret-

ning. Fejlkompenseringen består navnlig i at afbalancere disse to virkninger gennem passende valg af pitotrørets geometriske proportioner.

Standardpitotrør

Der er udviklet nogle standardformer for pitotrør, for hvilke instrumentkonstanten i turbulensfri strømning afviger mindre end 0,5 % fra 1 inden for et bredt hastighedsområde. Et pitotrør, som er udført i nøje overensstemmelse med forskriften for en af standardformerne, kan anvendes i praksis uden særskilt kalibrering, og det er dette forhold i forbindelse med, at der ikke optræder bevægelige dele udsat for slid, som giver pitotrøret karakter af normalinstrument i forhold til andre hastighedsmålere.

Standardformerne beskrives kort i det følgende, idet målene sættes i relation til sondens udvendige diameter D , jfr. fig. 2.

Brabbee-typen er fortil skarpkantet med en boring på $0,52 D$. Den forreste del af sonden er udvendigt konisk på en længde af $4,2 D$. Det statiske trykudtag består af 21 huller med diameter $0,13 D$ placeret $6,2 D$ fra spidsen. Skافتet udgår vinkelret på sonden i afstanden $6,2 D$ bag det statiske trykudtag.

Prandtl-typen er fortil halvkugleformet, og skافتet kan udgå vinkelret på sonden eller slutte til sonden med en kvartcirkelbøjning. Der findes en ældre og en nyere tysk, en engelsk og en amerikansk version, hvis mål fremgår af omstående tabel.

Kettle-typens spids har form som en halvelipsoide, hvis halve storakse er

	ældre tysk	ny tysk	engelsk	amerikansk
frontboring	0,3 D	0,3 D	0,5 D	0,4 D
statisk trykudtag	ringspalte 0,1D bred	4 huller	7 huller dia. 0,12 D	8 huller dia. 0,13 D
afstand spids – statisk udtag	3 D	5 D	6 D	8 D
skafthilslutning	retvinklet	bøjning rad. 5 D	retvinklet	bøjning rad. 3 D
afstand statisk udtag – skaft	8–10 D	15 D	8 D	16 D

2 D. Frontboringen er 0,17 D og de øvrige mål er meget nær som for det engelske Prandtl-rør. Det angives, at instrumentkonstanten ændrer sig 0,2–0,3 %, såfremt den retvinklede forbindelse mellem sonde og skaft erstattes af en bøjning med radius 3,5 D.

Pitotrørets princip er angivet af den franske ingeniør H. Pitot i 1732 omtrent samtidigt med D. Bernouilli's formulering af energiligningen for strømmende væsker. Brabbee-formen har været anvendt som normal i England siden 1912. Den oprindelige Prandtl-form kom frem i Tyskland omkring 1920, og varianterne af typen er senere antaget som normal flere steder. Kettle-formen er udviklet i England i 1953 og bruges nu som normal på linie med de ældre typer.

Det skal bemærkes, at pitotrør i en del litteratur betegner en sonde, som alene er beregnet til måling af totaltryk. En sonde til måling af hastighedstryk betegnes ofte Staurohr i tysk litteratur og pitot static tube i engelsk litteratur.

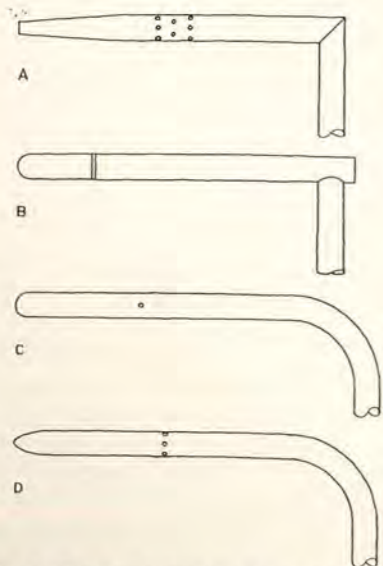


Fig. 2. Standardformer for pitotrør. A: Brabbee-type med skarpkantet, konisk spids. B: Prandtl-type med halvkuglespids og ringspalte. C: nyere Prandtl-type. D: Kettle-type med halvellsoidspejls.

Når der på trods af de ret store variationer af udformningen kan opnås samme instrumentkonstant, lader det måske formode, at pitotrørets geometriske form i virkeligheden ikke er særlig kritisk. Hertil skal bemærkes, at der givetvis findes andre kombinationer af spidsens form, afstandene til statisk trykudtag og til skaft m. m., som gør instrumentkonstanten til 1, men at forholdene kun er grundigt undersøgt for de nævnte standardtyper vedkommende, således at det er vanskeligt at bedømme måleusikkerheden for afvigende typer. Undersøgelserne har dog samtidigt vist, at det er vigtigere, at pitotrøret er glat og ubeskadiget, og at dets spids og åbningerne til det statiske tryk er omhyggeligt fremstillet uden grater, end at de foreskrevne geometriske proportioner er nøjagtigt overholdt. Brabbee-typen samt Prandtl-typen med ringspalte er mest følsomme for beskadigelser eller fabriktionsunøjagtigheder, hvorfor de andre typer nok bør foretrækkes til praktisk brug.

Hastighedsområdets begrænsning

Ved voksende lufthastighed forbliver et standardpitotrørs instrumentkonstant 1 indtil tæt under lydhastigheden, altså indtil ca. 300 m/s. Der er således ingen øvre hastighedsbegrænsning for anvendelser inden for ventilationsteknikken.

Den nedre grænse for det hastighedsområde, hvor instrumentkonstanten er 1, er bestemt ved, at Reynolds' tal baseret på sondediameteren når en vis værdi afhængigt af den tilladelige fejl og pitotrørstypen. Under denne grænse optræder en anomali, der benævnes Barkereffekt, og som bevirker, at instrumentkonstanten bliver større end 1. Ved en tilladelige afvigelse på 1 % synes det kritiske Re at være omkring 300 og muligvis noget mindre

for Kettle-typen. Måles hastigheden i m/s og sondediameteren i mm, kan det hastighedsområde, hvor $k = 1$ er gyldig, derfor angives omtrent ved $300 > v > 5/D$

Den praktiske anvendelse af pitotrør ved lave hastigheder begrænses samtidigt af følsomheden for det differensmanometer, som er til rådighed. Måleusikkerheden for et skrårørsmanometer er næppe mindre end 0,1 mm H₂O for de almindelige typer og 0,05 mm H₂O for de bedre typer. Tolereres en usikkerhed på 2 % på hastigheden, er kravet først opfyldt ved hastigheder over 5–6 m/s. Med mikromanometre af høj kvalitet vil man kunne måle en hastighed på 3 m/s med en usikkerhed på 1–2 %, men disse instrumenter er ikke så let transportable, at de egner sig til feltmålinger. Under praktiske forhold vil man i den nederste del af det hastighedsområde fra 2 til 20 m/s, som kendetegner ventilationskanaler, ikke kunne opnå en måleusikkerhed under 5–10 %.

Retningsfølsomhed

Af hensyn til praktiske vanskeligheder ved at rette sonden nøjagtigt mod strømrøret, er det af betydning, at pitotrøret er ufølsomt for mindre retningsafvigelser. Angivelser i litteraturen af retningsfølsomheden er ikke helt overensstemmende, men det står fast, at Brabbee-typen er den mest retningsfølsomme og således også af denne grund mindre egnet til praktisk brug end de andre typer. Ved retningsafvigelser indtil 15° synes Kettle-typen at give fejl på under 1 % af hastighedstrykket, medens Prandtl-typen kan give lidt større fejl. Sidstnævnte har dog den fordel, at fejlen holder sig under 3 % helt ud til ca. 25°. Fejlene kan være såvel positive som negative.

Turbulenseffekt

På grund af dæmpningen i det samlede målesystem pitotrør – trykledninger – manometer vil man i turbulent strømning ikke registrere momentanværdier af hastighedstrykket, men et mere eller mindre udjævnet pitotdifferensstryk. Dette udjævned tryk svarer ikke til middelværdien af hastigheden i første potens, men til middelværdien af hastighedens kvadrat på

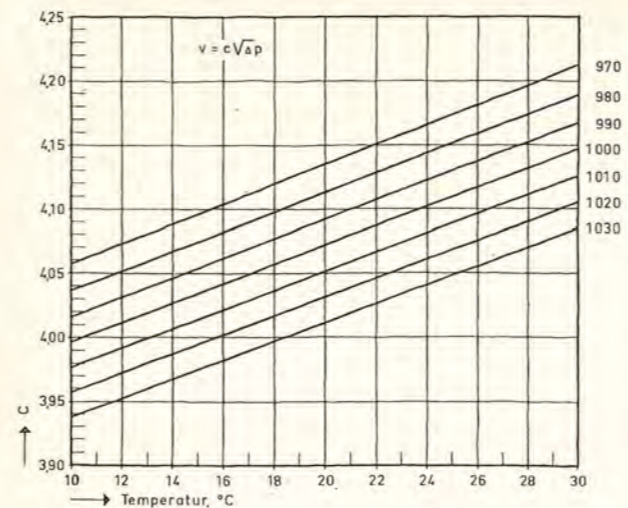


Fig. 4. Skematisk billede af skrårørsmanometer.

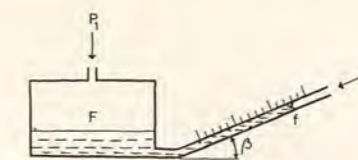


Fig. 3. Faktor c til beregning af hastighed i m/s ud fra pitotdifferensstryk i mm H₂O gældende for 50 % fugtmættet luft og for pitotrør med instrumentkonstant 1.

Ved nogle manometre kan nulpunktet kun udføres ved, at slangeforbindelserne aftages fra stutsene, hvilket ikke er nogen særlig praktisk løsning.

Tætheden af målesystemet bør kontrolleres rutinemæssigt ved at manometrets to sider incl. slangeforbindelser hver for sig sættes under tryk og afspærres, hvorefter det iagttages, om trykket kan opretholdes. Utætheder kan være så små, at de ikke tydeligt giver sig til kende under brugen og alligevel forvansker målingerne. Når en sådan utæthed opdages, kan det være svært at afgøre, hvornår den er opstået, hvorefter lange måleserier måske må kasseres.

Væskemanometre skal understøttes stabilt og horisontalstillet omhyggeligt. Man må være opmærksom på muligheden for luftblærer i manometervæsken.

Hastigheden v m/s kan beregnes af det aflæste differensstryk Δp mm H₂O ved formlen

$$v = c \sqrt{\Delta p}$$

hvor faktoren c afhænger af temperaturen og det absolutte tryk som fig. 3 viser. Det absolutte tryk er barometerstanden med korrektion af det over eller undertryk, som hersker i kanalen på målestedet. Korrektionen, som er ca. 1 mb pr. 10 mm H₂O, har ringe betydning i lavtryksanlæg. Såfremt der er væsentlig højdeforskel mellem målestedet og det sted, hvor barometerstanden kendes, bør der også korrigeres med 1 mb pr. 8,4 m højdeforskel. Normale variationer i luftens fugtighed er uden betydning.

Almindelige manometer typer

Skrårørsmanometeret fig. 4 er i princippet et U-rørsmanometer, hvis ene gren har tværsnitsarealet F og står lodret, og hvis anden gren har tværsnitsarealet f og danner vinklen β med vandret plan. Sædvanligvis anvendes en manometervæske, hvis densitet ρ_m er ca. 0,8 g/cm³. Der opnås

grund af den kvadratiske sammenhæng mellem energi og hastighed. Ved fluktuerende hastighed er middelværdien af kvadraterne altid større end kvadratet på middelværdien, og en pitotrørsmåling, som har til formål at bestemme den stationære hastighed, vil derfor give et for stort resultat.

En simpel overvejelse fører til, at fejlen på hastighedstrykket rimeligvis må være proportional med turbulensgradens kvadrat

$$\Delta p = 1/2 \rho v^2 (1 + a T^2)$$

Proportionalitetsfaktoren a har man søgt at bestemme teoretisk og ved forsøg. Tidligere satte man $a = 2$, men nyere undersøgelser synes at vise, at a afhænger af turbulenshvirvlernes størrelse, og at a kan variere mellem 1 (for uendeligt små hvirvler) og 5 (for uendeligt store hvirvler).

Ved indsættelse i formlen finder man herefter, at turbulensgrader på 10 og 20 % giver fejl på hastigheden af størrelsesordenen henholdsvis 1 % og 4 %. I kort afstand bag ventilatorer, spjæld og riste er så høje turbulensgrader ikke utænkelige, og her vil fejlen da blive mærkbar. Så vidt muligt bør målinger i ventilationskanaler henlægges til steder, hvor strømmingen har haft tid til nogen beroligelse.

Forfalskning af måleresultatet kan i øvrigt også skyldes ikke-lineær dæmpning i manometeret eller forbindelsen mellem sonde og manometer. Forholdet har væsentlig betydning for måling i stærkt pulserende strømninger, men ved de relativt små trykfluktuationer hidrørende fra almindelig turbulens, kan luft- og væskebevægelserne, som opstår i målesystemet, an-

tages at være overvejende laminare Poiseuillestrømninger med lineær (og symmetrisk med hensyn til fortegn) sammenhæng mellem tryk og væskestrøm. Det følger heraf, at såfremt målesystemet er utilstrækkeligt dæmpet, vil man kunne indsætte kapillarrør i trykledningerne og få overført et fejlfrit middeltryk til manometeret.

Manometre til pitotrør

Manometre til pitotrør, som anvendes i ventilationsteknikken, skal dække området indtil ca. 25 mm H₂O og være ret følsomme. Kombinationen af pitotrør og manometer skal endvidere have en passende dæmpning af hensyn til sædvanlig turbulens. For stor dæmpning viser sig ved, at målesystemet er urimeligt længe om at indstille sig. For lille dæmpning resulterer i, at manometeret er uroligt og besværligt at aflæse. Dæmpningen kan eventuelt forøges ved indskydelse af kapillarrør, men den kan kun formindskes ved at pitotrøret eller manometeret udskiftes. Da en betydelig del af turbulensens frekvensspektrum omfatter ret lave frekvenser, under 1 Hz, kan nogen manometeruro næppe undgås, når reaktionstiden samtidigt skal være passende lav.

Der kan lægges større eller mindre vægt på, at manometeret er robust og let at transportere afhængigt af, om det hovedsageligt skal bruges til feltmålinger eller stationært.

Manometeret bør være indrettet til hurtig og bekvem aflæsning og justering af nulpunktet, som skal foretages med jævne mellemrum under brugen.

der ved en forstørrelse af udslaget i forhold til det simple vandfyldte U-rør på

$$\frac{1}{\rho_m (f/F + \sin \beta)}$$

Hyppigt er forstørrelsen ca. 10 gange, men manometret kan fremstilles med indtil ca. 50 ganges forstørrelse. Den store forstørrelse giver dog et falsk indtryk af nøjagtigheden, da denne begrænses af skrårørets ufuldkomne retlinethed og tværsnitkonstans samt følsomheden af den libelle, som kontrollerer skrårørets hældning. Man opnår derfor næppe mindre usikkerhed end de tidligere nævnte 0,1–0,05 mm H₂O. Skrårørsmanometret kan have fast eller variabel hældning, og særligt den første form er let at transportere og egnet til feltmålinger.

Til stationære målinger anvendes fortrinsvis vandfyldte mikromanometre med ret vide, lodrette grene. I projektiionsmanometret fig. 5 udgør de forbundne kar et fast system, og væskebevægelsen i den ene gren forstørres optisk, idet en glasskala ophængt i en svømmer i grenen, projiceres op på en matskive. En variant af instrumentet har et aflæsemikroskop i stedet for matskiven. Manometret er ret trængt, hvilket dog ofte er en fordel. Nøjagtigheden begrænses formodentlig af vandets ugunstige kapillaregenskaber, selv om de forbedres ved en ringe detergenttilsætning.

Mikrometer-manometret består af to forbundne kar, som er forskydelige i forhold til hinanden. Aflæsning foretages altid med væskeoverfladerne på samme sted i beholderne, hvilket kontrolleres med et særligt optisk arrangement efter princippet: en fast nålespids skal netop berøre sit spejlbillede i menisken. Højdeforskydningen mellem beholderne aflæses på en mikrometerskrue eller et måleuret.

Manometret er lidt mere besværligt at håndtere end projektiionsmanometret. Det hævdes, at måleprincippet i højere grad eliminerer kapillareffekter, men nøjagtigheden synes dog i praksis at være nogenlunde som for projektiionsmanometret og en klasse bedre end for skrårørsmanometret.

Elektroniske mikromanometre findes på markedet, men har endnu ikke opnået nogen særlig udbredelse på grund af en høj pris og nogen uvished om deres stabilitet og pålidelighed. Det

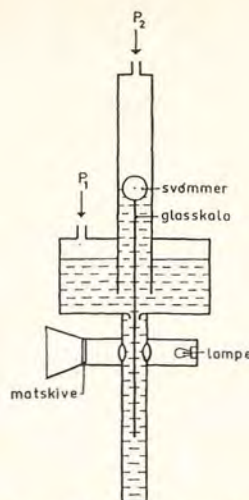


Fig. 5. Schematisk billede af projektiionsmanometer.

trykfølsomme element er en membran med kapacitiv eller induktiv aftastning. Ligesom ved væskemanometret er den absolutte måleusikkerhed nogenlunde konstant over hele måleområdet, men medens forholdet mellem måleområde og usikkerhed for væskemanometre kan blive henimod 10000, vil det for elektroniske manometre i bedste fald være 100. Elektroniske manometre kan imidlertid have flere måleområder, og for de laveste områder opgiver fabrikanterne mindre absolut usikkerhed end opnåeligt med væskemanometre. De elektroniske mikromanometre skulle således give mulighed for at udnytte pitotrør helt ned til den grænse, hvor Barkereffekten gør sig gældende.

Mekaniske anemometre

Roterende vingehjulsanemometre har været anvendt i ventilationsteknikken gennem mange år. De traditionelle typer med en vingediameter på omkring 100 mm er på grund af størrelsen ikke egnede til måling i ventilationskanaler undtagen i meget store kanaler. Forholdet mellem kanaldiameter og vingediameter bør være mindst 6, hvis en væsentlig forstyrrelse af strømmingen på målestedet skal undgås.

I den senere tid er der imidlertid fremkommet en ny type vingehjulsanemometre med så lille vingediameter, 20 eller 10 mm, at anemometret kan være et alternativ til pitotrøret også ved målinger i snævre kanaler. Til indføring af anemometerhovedet kræves dog en noget større åbning i kanalvæggen, som bør lukkes med klæbestrimmel under målingen.

Forudsætningen for, at vingehjulet kan gøres så lille samtidigt med, at den nedre grænse for måleområdet kan holdes under 1 m/s, er, at omdrejningsfrekvensen aftastes friktionsløst ad fotoelektrisk vej, idet et med vingehjulet roterende prisme reflekterer en lysstråle mod en fotocelle. Impulserne herfra omsættes i en elektronisk frekvensmåler, hvis skala er kalibreret direkte i m/s. Skalaen er næsten helt lineær, således at der ikke er de samme vanskeligheder som ved pitotrør med at opnå tilstrækkelig følsomhed i den nedre del af det relevante hastighedsområde. Anemometret har flere måleområder, og for et fabriksnyt instrument kan der påregnes en måleusikkerhed på 1,5 % af fuldt udslag i hvert område.

I sammenligning med pitotrør kan der ved hastigheder under 6 m/s opnås en for praksis tilfredsstillende målenøjagtighed med mindre umiddelbart besvær. Da anemometret er opbygget af dele med begrænset levetid, og det ikke så direkte er baseret på fundamentale hydrauliske principer, er der imidlertid større risiko for, at der opstår fejl i systemet, som kun kan konstateres i en prøvestand. Anemometret kræver derfor regelmæssig kontrol af kalibreringen.

Om vingehjulsanemometre gælder i øvrigt almindeligt, at retningsfølsomheden er nogenlunde som for pitotrør, og at de viser for meget i stærk turbulent eller pulserende strømning. Derimod afhænger visningen ikke mærkbart af temperatur og tryk.

Undertiden anvendes også anemometre med en statisk, fjederpåvirket vinge indbygget i et målekammer, hvorigennem der ledes en svag luftstrøm. Luftstrømmen og dermed vingens udslag står i bestemt relation til hastigheden på målestedet, idet målekammerets indgang og udgang forbindes til en speciel sonde med åbninger, der vender henholdsvis mod og med strømretningen. Måleområdet kan ændres ved at man udskifter nogle dyser, som bestemmer strømningsmodstanden i målekredsen. Måleusikkerheden opgives til 3 % af fuldt udslag. Især i de angelsaksiske lande er der en vis tradition for disse anemometre, men de synes ikke at have særlige fortrin frem for andre instrumenter.

Litteratur

Ower og Pankhurst: The measurement of air flow, 4. udg., Pergamon Press, Oxford 1969.

Wuest: Strömungsmesstechnik, Vieweg, Braunschweig 1969.

SUMMARY

Measurement of velocities in ventilation ducts, 2

In the article are described mechanical instruments used for air velocity mea-

surements in ventilation ducts. The main stress is laid on the principle of the pitot static tube, standard forms of pitot static tubes, sources of error and the relevant manometers. Further are mentioned rotating vane and deflecting vane anemometers.

Måling af luftskifte

Af civilingeniør Ole Valbjørn,
Statens Byggeforskningsinstitut

Der er ofte tvivl om ventilationens størrelse i både mekanisk og naturligt ventilerede rum. Ved hjælp af en luftskiftemåling kan ventilationens størrelse bestemmes uden indgreb i bygningen eller ventilationsanlæggene.

Luftskiftet for et rum er et udtryk for, hvor stor en ventilationsmængde der pr. tidsenhed tilføres rummet, udtrykt i antal gange rumvoluminet.

Et målt luftskifte på 3 gange i timen betyder derfor, at ventilationen i rummet svarer til, at rummet tilføres en luftmængde på 3 gange rumvoluminet pr. time.

Luftskiftemålingen er den eneste mulighed, der gives for at måle den naturlige ventilation, og den kan bruges til kontrol af luftmængder ved mekanisk ventilation. Det er ofte en lettere metode end at måle i kanalerne med pitotrør, da den ikke kræver bygningsmæssige indgreb.

Grundlag

Princippet i en luftskiftemåling er, at man opblander en bestemt mængde af en kendt og målelig luftart i rumluften og derefter måler sammenhørende værdier for luftartens koncentration og tiden for målingen. Koncentrationen af luftarten aftager med tiden på grund af ventilationen, og luftskiftet kan beregnes, idet der er en entydig sammenhæng mellem koncentration, tid og luftskifte.

Denne sammenhæng udledes af stofbalanceligningen, hvori udtrykkes, at den ændring, der sker i mængden af en luftart i rumluften, er lig den mængde, der tilføres, minus den mængde, der bortføres med den udsugede luft.

Stofbalanceligningen lyder $V_R dc = q d\tau + n V_R c_i d\tau - n V_R c d\tau$ hvor V_R er rummets volumen i m^3 , c koncentrationen af luftarten i rummet i m^3/m^3 , og da der er forudsat ideel blanding, den samme koncentration c_i som i den udsugede luft,

q den tilførte mængde af luftarten i m^3/h ,
 τ tiden i timer,
 n luftskiftet i antal gange pr. time og
 c_i koncentrationen af luftarten i den indblæste luft i m^3/m^3 .

Integreres denne ligning, og sættes til tiden $\tau = 0$ koncentrationen $c = c_0$, fås det almenlydige udtryk, fortyndingsligningen.

$$c = \frac{q}{n V_R} (1 - e^{-n\tau}) + (c_0 - c_i) e^{-n\tau} + c_i$$

Sættes i denne ligning $q = 0$, der tilføres ikke mere af luftarten, fås ligningen

$$c - c_i = (c_0 - c_i) e^{-n\tau}$$

og løses denne med hensyn til $n\tau$ fås

$$n\tau = \ln \frac{(c_0 - c_i)}{(c - c_i)}$$

Såfremt den indblæste luft er fri for den tilsatte luftart er $c_i = 0$, og ligningen lyder

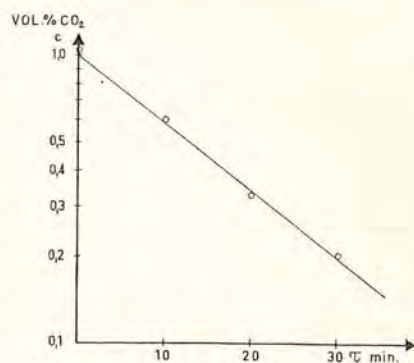


Fig. 1. Eksempel på grafisk afbildning i enkeltlogaritmisk koordinatsystem og en beregning af luftskiftet.

$$n\tau = \ln \frac{c_0}{c}$$

Opblandes en luftart i rumluften til koncentrationen c_0 , og udtages to prøver af rumluften til tiden τ_1 og τ_2 med koncentrationerne c_1 , henholdsvis c_2 fås

$$n\tau_1 = \ln \frac{c_0}{c_1}$$

$$n\tau_2 = \ln \frac{c_0}{c_2}$$

der løst med hensyn til n og omskrevet til 10-talslogaritmer giver

$$n = 2,3 \frac{\log \frac{c_1}{c_2}}{\tau_2 - \tau_1}$$

(lign. 1)

Såfremt c_i ikke er 0, men konstant, fås

$$n = 2,3 \frac{\log \frac{c_1 - c_i}{c_2 - c_i}}{\tau_2 - \tau_1}$$

(lign. 2)

Sammenhørende værdier for koncentration og tid ligger altså på en ret linie i et enkeltlogaritmisk koordinatsystem, hvor den ene akse er logaritmen til koncentrationerne, den anden tiden. Foretages 4-5 målinger, som afsættes i et sådant koordinatsystem, kan den rette linie gennem punkterne tegnes. To par sammenhørende værdier fra denne linie indsættes i ligningen (1), og luftskiftet n beregnes (fig. 1).

Sporgasser og måleinstrumenter

Egnede sporgasser er kvælstof, ilt, kuldioxid, helium. De krav, man må stille til en sporgas, er, at den i den anvendte koncentration er ugiftig, ikke eksplosiv og målelig, samt at den, hvis den forekommer i normal frisk luft,

	Kuldioxid CO ₂	Helium He	Kvælstof- forilte N ₂ O	Ilt O ₂
friskluftindhold vol. %	0,03	0	0	21
1 stillesiddende person afgiver/optager m ³ /h (ved hårdt arbejde tidobles tallet)	0,025	-	-	0,025
massefylde, ρ kg/m ³ (0°C)	2,13	0,18	1,98	1,43
forbrug for 100 m ³ rum	3-4 kg	1-2 m ³	0,2-0,3 kg	6-7 m ³
måleområde, vol. %	0-1,5	0-1	0-0,1	21-27
ca. pris excl. fragt og ekspedition	1,5 kr./kg	65 kr./m ³	7 kr./kg	3,50 kr./m ³

Tabel 1. Karakteristika for sporgasser til luftskiftemålinger, måleområde, forbrug og pris.

Fabrikat måleprincip	Pris for måle- udstyr ca. kr.	Kul- dioxid CO ₂	Helium He	Kvælstof- forilte N ₂ O	Ilt O ₂	Krypton kr.
Dräger absorption i fast stof	500	x				
Riken ændring i brydningsforhold	3000	x	x			
Hartmann & Braun, Beckman, MSA absorption af in- frarøde stråler	20000	x		x		
Siemens, Hartmann & Braun, Servomex ændring i magne- tisk flux	8-10000				x	
ændring af varme- overgangstal		x			x	
radioaktivitet	25000*)					x

*) Prisen for en rekvireret måling udført af Isotopcentralen er fra 2000 kr. Tabel 2. Principper og priser for måleudstyr til måling af sporgaskoncentrationer til luftskiftemålinger. De angivne fabrikater er de af SBI kendte. Det udelukker ikke, at der eksisterer andre fabrikater, der er egnede til luftskiftemålinger.

indgår i luften med en konstant koncentration. I særlige tilfælde, hvor der er tale om store rum og små luftskifter, anvendes radioaktive luftarter, men da radioaktiviteten kan være farlig, må de kun anvendes efter tilladelse fra sundhedsstyrelsen.

Hvilken sporgas man vælger, må afhænge af de midler, der er til rådighed til måleapparatur, prisen på sporgassen, den ønskede nøjagtighed for målingen, om man vil måle med personer i rummet, men også af hvor let transportabelt udstyret og sporgassen er.

Af tabel 1 fremgår visse nyttige karakteristika for sporgassen. Sammenholdt med tabel 2, der angiver priser for måleudstyr til de forskellige sporgasser, ses at kuldioxid, ilt og helium kræver den mindste investering

Til de fleste luftskiftemålinger i forbindelse med ventilationstekniske

opgaver drejer det sig om hurtigt og let at måle sporgaskoncentrationen, med så let transportabelt udstyr som muligt. En koncentrationsmåling må helst kunne udføres på 2-3 minutter. Det er upraktisk at skulle hjemtage prøver til senere analyse.

De principper, som derfor er anvendelige og anvendes til måling af sporgaskoncentration, bygger på et af de følgende nævnte principper: absorption i et fast stof, absorption af infrarød varmestråling, brydningsforholdet i luftarten, indflydelsen på varmeovergangstal, luftartens paramagnetiske egenskaber og luftartens radioaktive egenskaber.

Absorption i et fast stof anvendes ved måling af kuldioxid-koncentration med f. eks. Dräger-ampuller, der fås til måling af en lang række luftarter. Målingen sker ved at ampullen monteres i en håndbetjent bælgpumpe

(fig. 2), med hvilken der gennem røret suges et veldefineret kvantum af luften. Det vil være nødvendigt at anvende flere ampulter for at opnå tilfredsstillende nøjagtighed i hele området. Ampullens indhold farves afhængig af den absorberede mængde kuldioxid. Prisen for en bælgpumpe er ca. 6-700 kr. og for ampullerne 3-4 kr. pr. stk.

Absorption af infrarød varmestråling anvendes i Hartmann & Brauns instrument URAS til måling af kuldioxid og kvælstofforilte (lattergas). Den indsugende prøves absorption af den infrarøde stråling sammenlignes med en kontrolluftart. Den mængde varme, der passerer de to luftarter, absorberes i hver sit kammer med en temperaturstigning til følge. Forskellen i temperaturstigningen er et mål for koncentrationen. Prisen for udstyret er ca. 20.000 kr. Det er udviklet som overvågningsudstyr og kan måle og registrere koncentrationen kontinuerligt. Andre fabrikater er Beckman og MSA.

Forskellen i brydningsforholdet mellem forskellige stoffer anvendes i den japanske Riken gasanalysator, der er udviklet til kontrol af skadelige luftarter ved minedrift. I dette instrument sammenlignes en lysstråles brydning gennem en indsuget luftprøve med brydningen gennem en kontrolluftart. Princippet er enkelt, og instrumentet er meget robust og let at håndtere og kan til dette formål anvendes til måling af kuldioxid og helium. Prisen er ca. 3000 kr.

Måling af ilt og kuldioxid kan ske ved at måle en luftblandings varmeledningsevne, der afhænger af koncentrationen af luftarterne i blandingen. En luftstøm trækkes forbi en varmetråd med høj temperatur, og ændringen i trådens afkøling er da afhængig af varmeovergangstallet, dvs. af luftens ændring i ilt- eller kuldioxidkoncentrationen. Det instrument, SBI er bekendt med, er udgået af produktionen, men princippet kan tænkes at blive anvendt i andre fabrikater.

Specielt til iltkoncentrationsmålinger kan også anvendes instrumenter, der udnytter iltens paramagnetiske egenskaber som f. eks. i Siemens iltmåler, Hartmann & Brauns iltmåler eller iltanalysatoren af fabrikatet Ser-

vomex. I instrumenterne udnyttes på forskellig måde iltens særlige magnetiske egenskaber. Instrumenternes pris ligger fra 8000 til 10.000 kr.

Til radioaktive luftarter anvendes et udstyr, der måler radioaktiviteten. Udstyret er dyrt, til f. eks. måling af krypton koster det ca. 25.000 kr. Da der endvidere kræves tilladelse fra sundhedsstyrelsen til at anvende radioaktive luftarter, har det normalt ingen interesse at anskaffe dette udstyr, men Isotopcentralen kan udføre målinger og kan i tilfælde, hvor det findes nødvendigt, rekvireres til målinger. Prisen for en måling er af størrelsesordenen 2000 kr. Hygiejnisk Institut, Århus Universitet, har også udstyr til at udføre sådanne målinger.

Tabel 2 viser en oversigt over måleudstyr, der er tilgængeligt til måling af de nævnte sporgasser. De angivne fabrikater udelukker ikke, at der eksisterer andre fabrikater, der er anvendelige til de omtalte målinger, ligesom der muligvis findes andre metoder.

Praktisk udførelse

Det forudsættes, at man ønsker at finde det gennemsnitlige luftskifte i et rum.

Til målingen skal anvendes 1 eller 2 aksialventilatorer (2-4000 m³/h fritblæsende) til opblanding af sporgassen.

beholder med sporgas (den luftart, der opblandes), stopur,

apparat til måling af sporgassens koncentration i volumenprocent eller ppm.

Den mængde sporgas, der skal bruges, kan beregnes ved at multiplicere begyndelseskoncentrationen med rummets volumen, $c_0 \cdot V_R$. En del af sporgassen bortventileres under opblandingen, så der må anvendes lidt mere, end beregningen viser.

Ventilatorerne placeres, så de giver den bedst mulige omrøring i luften. Sporgassen tilsættes til lidt over det ønskede begyndelsesniveau. Det letteste er at anskaffe sporgassen i beholdere med en mængde, som passer til målingen, men ellers vil en måling af koncentrationen vise, om der er tilsat nok. Når sporgassen er godt opblandet, hvilket kontrolleres med et par målinger forskellige steder i lokalet, påbegyndes selve målingen, idet tid og

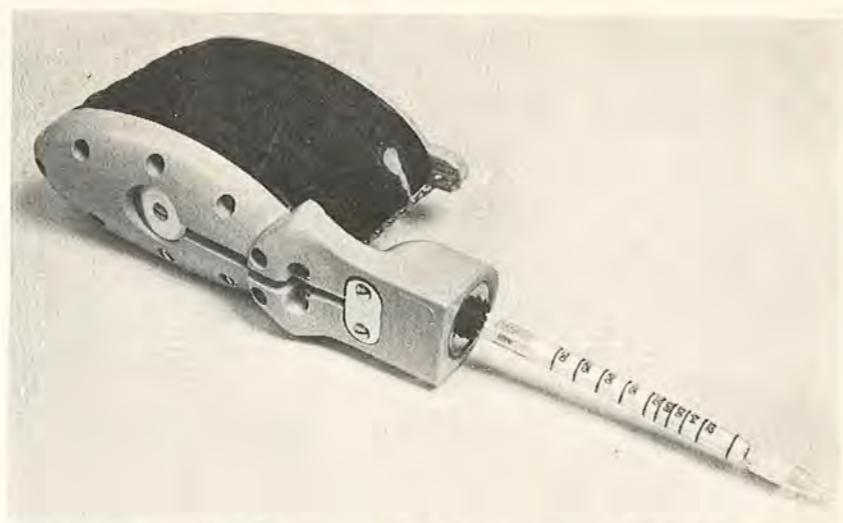


Fig. 2. Enkleste måleudstyr til sporgasmåling: Bælgpumpe og prøverør til måling af kuldioxid-koncentrationen.

koncentration samtidig måles og noteres. Under målingen skal ventilatorerne være igang.

Nøjagtigheden af målingen bedres ved at tage en række målinger og ved grafisk afbildning at bestemme kurven for tid og koncentration (en ret linie i et enkeltlogaritmisk koordinatsystem).

Fig. 3 viser en luftskiftemåling og fig. 1 viser resultaterne afbildet grafisk i et enkelt logaritmisk koordinatsystem. Det ses, at målenøjagtigheden har været god.

Måleperiodens længde afhænger af luftskiftets størrelse, fordi det til eksempel varer ca. 1,5 time, før koncentrationen af sporgassen er faldet til 1/5 af udgangsværdien, når luftskiftet er 1 gang pr. time, mens det ved et luftskifte på 5 gange pr. time kun varer ca. 20 min.

I mekanisk ventilerede rum kan man derfor påregne en måletid på ca. 30 min., mens man i naturligt ventilerede rum må anvende fra én til flere timer for at få værdier, hvis differens har en rimelig størrelse i forhold til usikkerheden på målingen.

Når de målte værdier er grafisk afbildet som i fig. 1, beregnes luftskiftet, idet der udtages to sammenhørende værdier for tid og koncentration, som indsættes i ligningen for n .

Måles luftskiftet i mekanisk ventilerede rum uden at omrøre luften med ventilatorer, fås som regel et tal, der er mindre end det gennemsnitlige luft-

skifte, idet ventilationen alene sjældent omrører luften så godt, at koncentrationen er den samme overalt i rummet som forudsat i fortyndingsligningen, oftest er den lavest ved udsugningsåbningen.

Fortolkning af resultaterne

Luftskiftet, der måles, er forårsaget af den mekaniske ventilation og den naturlige ventilation. I tilfælde, hvor der holdes overtryk i rummet i forhold til omgivelserne, er luftskiftet dog alene et udtryk for den indblæste luftmængde, idet det naturlige luftskifte er nul, når ventilationen er igang. Er der undertryk i rummet i forhold til omgivelserne, er det målte luftskifte et udtryk for den udsugede luftmængde. Overtryk eller undertryk kan f. eks. konstateres ved at iagttage, hvilken vej røg fra en røgampul bevæger sig ved døre og vinduer.

Hvis der ikke er overtryk eller undertryk i forhold til alle de omgivende rum og det fri, er det ikke muligt at få et nøjagtigt udtryk for den mekaniske ventilations størrelse.

Luftmængden beregnes ved at multiplicere luftskiftet med rummets netvolumen V_R dvs. rumvolumet minus inventarvolumet.

SBI har i flere tilfælde ved praktiske undersøgelser foretaget kontrol af luftskiftemålinger ved at måle de indblæste luftmængder i kanalerne og fundet god overensstemmelse (bedre end $\pm 5\%$).



Fig. 3. En luftskiftemåling. Sporgassen er kuldioxid, måleinstrumentet en Riken gasanalysator. Ventilatoren bruges til opblanding af sporgassen.

Nøjagtigheden af luftskiftemålingen afhænger af nøjagtigheden af den enkelte måling af koncentrationen, af måleperiodens længde, luftskiftets størrelse og antallet af målinger i perioden. Den groveste måling fås med Dräger-ampullerne, hvor kuldioxidkoncentrationen i måleområdet ikke bestemmes bedre end med 10% nøjagtighed. Ved et luftskifte på 3 gange i timen og en måleperiode på 30 min. med 4 enkeltmålinger bestemmes luftskiftet n med $\pm 5\%$. Forøges måleperioden, falder usikkerheden proportionalt, forudsat at koncentrationen også i slutningen kan måles med samme nøjagtighed.

Ved Riken-apparatet er målenøjagtigheden for kuldioxidkoncentrationen bedre end 5%. Ved de øvrige apparater er målenøjagtigheden større, men kun i særlige tilfælde vil der være behov for større nøjagtighed end almindeligt forekommende ventilationsopgaver. Alene ændringer i vindforhold kan ændre luftskiftet mere end 5%.

Fejlmuligheder

Når der er personer tilstede under målingerne, og der anvendes kuldioxid eller ilt som sporgas, begås en fejl, hvis man ikke tager hensyn til den mængde kuldioxid, der afgives, eller ilt, der optages. Fejlen er for et luftskifte på 2 gange i timen i et rum på 10 m³ rumvolumen pr. person til stede ca. 12% for kuldioxidmålin-

gen, når personerne udfører stillesiddende arbejde, mens den for iltmålingen er af størrelsesorden 1-2%. Når fejlen er mindre ved iltmålingen skyldes det, at der ved målingerne bruges forskellige koncentrationer af kuldioxid og af ilt. Ved iltmålingen er indflydelsen fra personer altså forholdsvis ringe.

Viser det sig, at den afbildede kurve i det enkeltlogaritmiske system er krum, har luftskiftet enten ændret sig, eller også er der sket ændringer i den indblæste lufts sporgas-indhold; således vil en manglende hensyntagen til indblæsningsluftens indhold af sporgas, uanset det er konstant, bevirke at kurven bliver krum.

Flere sporgasser har en tendens til at lagdele sig, når de tilsættes rumluften. Det er for at modvirke denne lagdeling, at en mekanisk opblanding anvendes. Når luftarten først er opblandet, vil luftarten ikke lagdele sig. De koncentrationsforskelle, man måske efter nogen tid vil måle i rummet, hvis der ikke konstant omrøres, skyldes, at ventilationsanlægget ikke ventilerer rummet effektivt overalt. Ilt blander sig dog særdeles godt og i (2) anføres, at for luftskifter mellem 0 og 2,5 gange i timen er det ikke nødvendigt at anvende ventilatorer for at få en jævn opblanding i rumluften. Til gengæld kan man ikke med ilt vise, om der er områder i rummet, der ventileres dårligere end andre. Undersøges et rum for eventuelle dårligt

ventilerede områder, må man gøre sig klart, om tilstedeværelsen af personer eller brug af varmeudviklende maskiner vil øge de termiske strømninger og derved skabe andre forhold end i det ubenyttede rum.

Arbejder et ventilationsanlæg med recirkulation, må man kontrollere, om der sker ændringer i den indblæste lufts indhold til sporgassen. Men som regel fortyndes sporgassen så meget, at det recirkulerede ikke får indflydelse på målingen, når ventilationsanlægget betjener andre rum end det, der måles i.

Anvendes kuldioxid som sporgas, kan koncentrationen i indblæsningsluften også ændres under målingen, hvis de øvrige lokaler er i brug af mange personer og luften recirkuleres.

Det luftskifte, der måles, når et ventilationsanlæg med indblæsning og udsugning arbejder med recirkulation, er forårsaget af den totale indblæste luftmængde. Ønsker man at måle frisklufttilførelsen, må man derfor samtidig måle blandingsforholdet. Hvor det er muligt, anbefales det at sætte anlægget til at arbejde med friskluft.

Resumé

En luftskiftemåling er et hjælpemiddel til bestemmelse af ventilationen i et rum. Til brug for luftskiftemålingen anvendes en sporgas, der tilsættes rumluften og opblandes. Koncentrationen vil efter opblandingen have et eksponentielt aftagende tidsforløb, og ved at måle en række sammenhørende værdier for koncentration og tid, kan luftskiftet bestemmes.

Det enkleste udstyr til brug for luftmålinger fås til sporgassen kuldioxid. Udstyret består af en håndbetjent bælgpumpe og prøveampuller (f. eks. fra Dräger Werk), en flaske med kuldioxid, et stopur samt en eller to aksialventilatorer til opblandingen. Dette udstyr kan anskaffes for 1000-1500 kr. og giver i de fleste tilfælde tilfredsstillende resultater, og usikkerheden er af størrelsesorden 5%.

Litteraturliste

- (1) Poul Becher, Varme og Ventilation, Bind 5, Teknisk Forlag, 1965.
- (2) G. Labohm, Ein Beitrag zum Problem der Messung der Lüftung von Wohn- und Aufenthaltsräumen, Heizung-Lüftung-Haus-technik 15 (1964) Nr. 7.

SUMMARY

Air Change Measurements

The air change measurement by means of tracer gas is the only method for measuring the natural air infiltration in buildings. In some cases the method

can be useful for measuring the ventilating air rate caused by mechanical systems, as no encroachment on the system is required by the method. The article deals with the theory of the method, which is based on the fact that the concentration of a tracer gas mixed in the air is dependent only on the time

and the ventilation air rate. The handling and measuring method of different gasses are described as well as the cost for the gas and the instruments. The author concludes that very simple instrumentation is needed for most of the required measurements with satisfactory accuracy.

Beregning af temperaturforløb i bygninger

For den projekterende er det nødvendigt at kunne beregne rumtemperaturens tidsmæssige forløb i de tilfælde, hvor de termiske belastninger overstiger et ventilationsanlægs ydeevne.

Dertil fordres særlige beregningsmetoder, og artiklen giver en orientering om en sådan metode og viser, at der er god overensstemmelse med foretagne feltmålinger.

Beregningsmetoden, der er meget enkel, kan anvendes ved bestemmelse af de tidsmæssige temperaturforløb i en bygnings rum og dermed til bestemmelse af ventilationsluftmængde, varme- og køleydelse.

Af Bo Andersen, civilingeniør
Danmarks Ingeniørakademi

På Danmarks Ingeniørakademis bygningsafdeling er der udviklet en alsidig og let anvendelig metode til beregning af tidsmæssige temperaturforløb i en bygnings rum. Beregningsmetoden er udførligt beskrevet i (1) og i en artikel senere i dette tidsskrift, men nærværende artikel giver en sammenligning med feltmålinger udført på en ny kontorbygning, (2).

Beregning af tidsmæssige temperaturforløb i en bygnings rum, er nødvendig i de fleste tilfælde ved dimensionering af ventilationsanlæg, fordi anlæggene dimensioneres således, at de ikke kan klare de ekstreme termiske belastninger. Så længe de termiske belastninger ligger inden for begrænsningerne i et anlægs ydeevne, kan rumtemperaturen holdes på den ønskede værdi ved hjælp af styringsudstyret. Når de termiske belastninger derimod overstiger ydeevnen, må rumtemperaturen nødvendigvis afvige fra den ønskede værdi, og den projekterende må tage hensyn til disse afvigelsers størrelse og hyppighed. De temperaturforløb, der fremkommer, kan bestemmes ved hjælp af beregningsmetoden, og på grundlag heraf, kan den projekterende vælge ventilationsluftmængde, varmeydelse og køleydelse og til dels vælge, hvorledes anlægget skal styres.

Beregningsmetoden

Beregningsudtryk for bestemmelse af temperaturforløb i rum opbygges på

grundlag af varmebalancer for luften, for overfladerne, for tynde lag i vægge og inventar osv. For hvert af delområderne udtrykkes varmebalancen, at den tilførte varmemængde er lig med den afgivne og den akkumulerede varmemængde.

Varmebalancerne sammenkædes indbyrdes og til de termiske belastninger i rummet og fra rummets omgivelser. Foretages en meget fin opdeling i delområder og benyttes de mest nøjagtige udtryk til beregning af varmestrømmene, fås de mest korrekte, men også de mest komplicerede beregningsudtryk.

Skal en beregningsmetode være praktisk anvendelig, er det nødvendigt at foretage en kraftig begrænsning i antallet af delområder og indføre forenklinger i beregningen af varmestrømmene.

I den på DIA-B udviklede beregningsmetode benyttes kun varmebalancer: 1, for indeluften, 2, for overfladerne under et og 3, for et fiktivt lag i væggene, der repræsenterer hele rummets varmekapacitet. Dermed bliver metoden så enkel og lethedterlig, at beregningerne endog kan udføres

ved håndregning, medens nogle af de mere detaljerede metoder kun kan anvendes af specialister og med store elektroniske databehandlingsanlæg.

På grundlag af de tre varmebalancer opstilles tre beregningsudtryk til bestemmelse af indeluftens, overfladernes og det fiktive varmeakkumulerende lags temperaturer som funktion af udetemperaturen, ventilationsluftens temperatur, de omgivende rums temperaturer, solindfaldet og den i rummet afgivne varme. Beregningsudtrykkene for det kontorrum, der var genstand for feltmålingerne er vist i fig. 1. De tre beregningsudtryks konstanter er karakteristiske for rummet og afhænger kun af bygningens udformning og ventilationsluftmængden. Når disse udtryk er opstillet, vælges en passende begyndelsesværdi for det fiktive varmeakkumulerende lags temperatur og derefter regnes frem tidsinterval for tidsinterval med de til hvert tidsinterval svarende termiske belastninger.

Kontrol ved feltmåling

I samarbejde med Byggeriets Indeklimemålestation (BIM) udførtes i

$$\begin{aligned} TA(N) &= 0,95 \cdot TA(N-1) + 0,05 \cdot TO(N-1) \\ TO(N) &= 0,55 \cdot TA(N) + 0,25 \cdot TR(N) + 0,06 \cdot TU(N) + 0,14 \cdot TL(N) + \\ &\quad 0,0023 \cdot QK(N) + 0,0029 \cdot QS(N) \\ TI(N) &= 0,79 \cdot TO(N) + 0,21 \cdot TL(N) + 0,0034 \cdot QK(N) \end{aligned}$$

Fig. 1. Beregningsudtryk for kontorrummet til bestemmelse af det fiktive varmeakkumulerende lags temperatur TA, overfladernes temperatur TO og indeluftens temperatur TI. De øvrige størrelser er de omgivende rums temperatur TR, udetemperaturen TU, ventilationsluftens temperatur TL og den pr. tidsenhed tilførte varmemængde til indeluften QK og til overfladerne QS. Med (N) er angivet tidspunktet i antal tidsintervaller fra beregningens start.

maj-juni 1970 feltmålinger på et kontorrum i en ny kontorbygning i København. Formålet med feltmålingerne var først og fremmest at klarlægge årsagerne til udbredt utilfredshed med indeklimaet, men ved velvilje fra brugerne og de øvrige implicerede blev målingerne udvidet således, at beregningsmetoden kunne kontrolleres.

Bygningen er opført i to etager med butikker i stueetagen og kontorer på første salen. Kontoret, der målt på, er sydorienteret og benyttes af én person. Højde x bredde x dybde er 3,0 m x 3,6 m x 6,3 m, og der indblæses 200 m³ luft pr. time gennem induktionskabinetter. Der er ca. 4 m² vinduer og udvendig solafskærmning, men denne blev ikke benyttet i måleperioden. Gulvet er af beton med pulverasfalt og vinyl og taget af beton med nedhængt loft. Facaderne er af lette elementer, korridorvæggen af gasbeton og skillevæggene af lægter med gipsplader.

I hver af månederne maj og juni forekom en periode med høje rumtemperaturer og store udsving i døgnets løb, og disse perioder blev benyttet til kontrol af beregningsmetoden. Fig. 2 viser en optegning af nogle registrerede temperaturer og af solindfaldet målt med et solarimeter inden for vinduet i et tilfældigt valgt døgn i juni-perioden.

På grundlag af de målte udetemperaturer, temperaturer i de omgivende rum, ventilationslufttemperaturer og solindfald beregnedes indeluftens og overfladernes temperaturforløb for de to perioder. Fig. 3 viser for samme døgn som før en sammenligning af de målte temperaturforløb i rummet og de således beregnede temperaturforløb. Det fremgår af figuren og af undersøgelsen i sin helhed, at beregningsmetoden har givet temperaturforløb, der ret nøje svarer til de virkelig forekomne. Yderligere kan en del afvigelse forklares.

I perioden kl. 11-15 svinger de målte temperaturer i rummet usystematisk, og disse svingninger er ikke med i de beregnede temperaturforløb. Der var ingen personer i kontorrummet denne dag, men udsvingene kan skyldes vekslende skydække.

I eftermiddags- og aftentimerne ligger de beregnede temperaturforløb ca. 1°C under de målte. Det skyldes, at

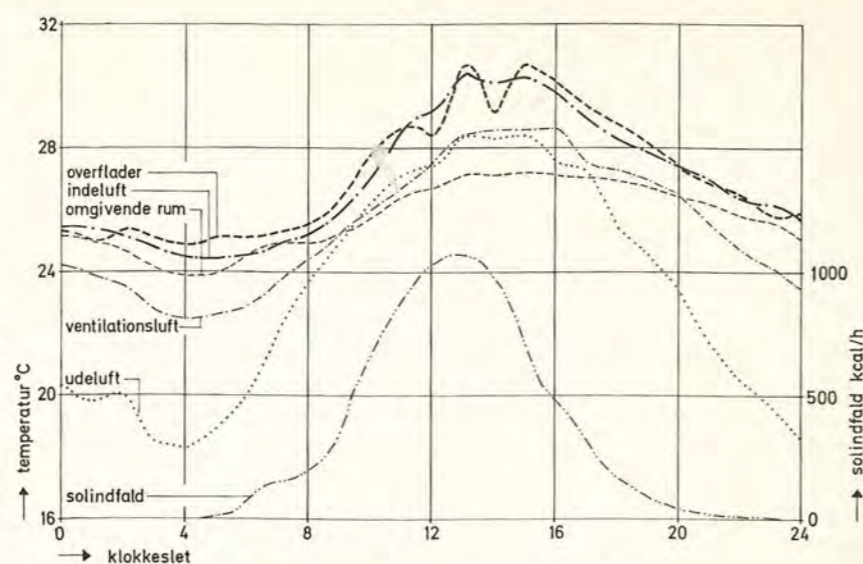


Fig. 2. Målte temperaturer og solindfald for kontorrummet den 21.06.1970.

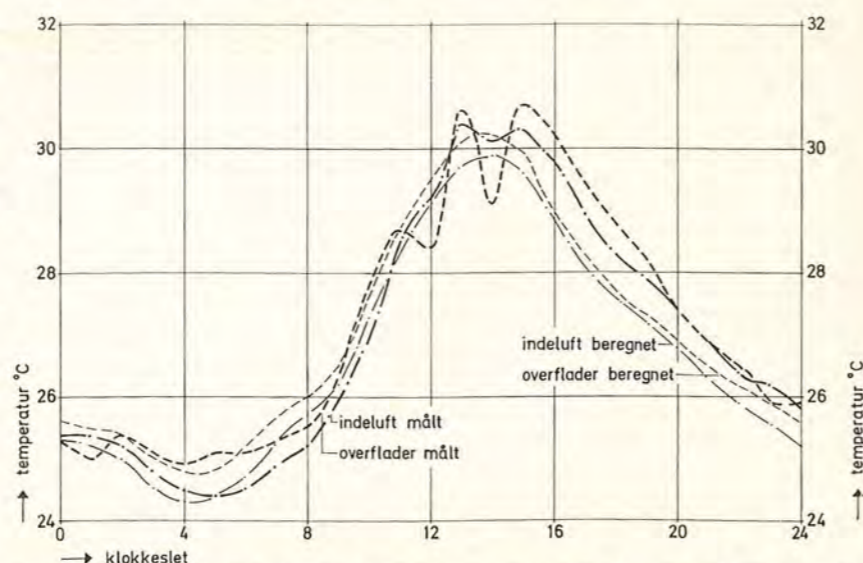


Fig. 3. Målte og beregnede indeluft- og overfladetemperaturer for kontorrummet den 21.06.1970.

solbestrålingen på tagfladen ikke blev målt og derfor ikke kunne tages i regning. Sædvanligvis er det dog tilstrækkeligt at foretage en overslagsmæssig bestemmelse af dette forholds betydning for temperaturforløbene. Her skal de beregnede temperaturer korrigeres med ca. + 0,6°C omkring kl. 19 og med ca. + 0,3°C i de tidlige morgentimer. Hertil kommer en ubetydelig korrektion for solbestråling på brystningen.

Beregning af døgnmiddeltemperaturen

Udsættes et rum for samme varierende termiske belastninger døgn efter døgn, vil temperaturforløbene efterhånden blive døgnstationære. Det betyder, at indeluftens temperatur anta-

ger samme værdi til samme klokkeslet, og det samme gælder overfladernes temperatur og den akkumulerede varmemængde. Ved bestemmelse af døgnmiddeltemperaturer for sådanne forhold kan der ses bort fra varmeakkumuleringen og der kan anvendes beregningsmetoder af samme type som DIF: »Regler for beregning af bygnings varmetab« (3). Ses der bort fra forskellen mellem indeluftens og overfladernes døgnmiddeltemperaturer, bliver beregningsudtrykket som angivet i fig. 4. De indsatte værdier gælder for kontorrummet den 21.06.70, og døgnmiddeltemperaturen er fundet til ca. 27°C.

På fig. 5 er de målte temperaturforløb og døgnmiddeltemperaturen indtegnet, og der er god overensstemmel-

$$\begin{aligned}
 TM &= \frac{BU \cdot TUM + BL \cdot TLM + BR \cdot TRM + QKM + QSM}{BU + BL + BR} \\
 &= \frac{21 \cdot 23,4 + 60 \cdot 25,5 + 84 \cdot 25,7 + 0 + 301}{21 + 60 + 84} \\
 &= 27,1^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Fig. 4. Udtryk til bestemmelse af døgnmiddeltemperaturen ved døgnstationære forhold BU er varmetabet pr. °C temperaturforskel ved transmission til det fri, BL ved ventilation og BR ved transmission til omgivende rum. TUM er døgnmiddeltemperaturen ude, TLM ventilationsluftens og TRM omgivende rums døgnmiddeltemperatur. Døgnmiddelværdien af den pr. tidsenhed tilførte varmemængde til indeluften er betegnet QKM og til overfladerne QSM. De indsatte talstørrelser er for kontorrummet den 21.06.70 og er baseret på de målte.

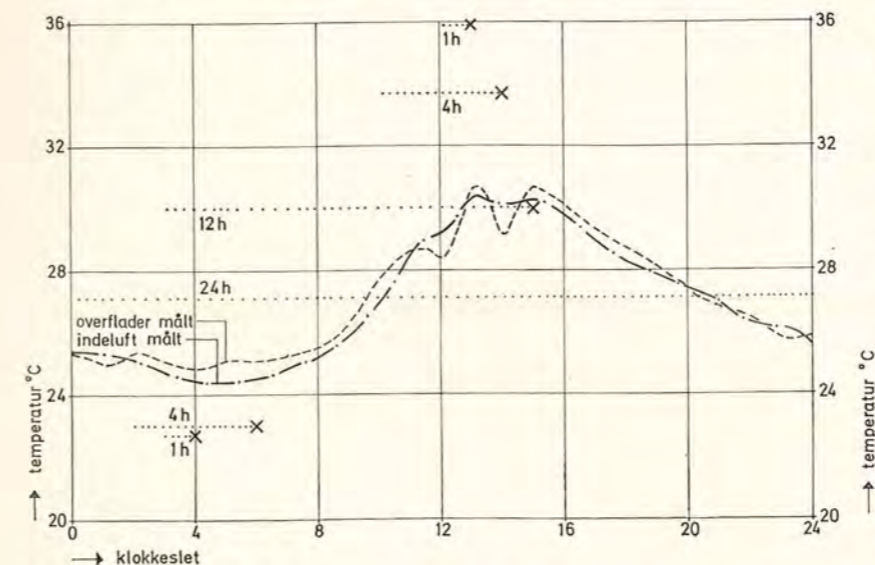


Fig. 5. Målte indeluft- og overfladetemperaturer samt døgnmiddeltemperaturen. Yderligere er angivet de maksimums- og minimumstemperaturer man finder med »Regler for beregning af bygnings varmetab« og forskellige middelværdier af de termiske belastninger.

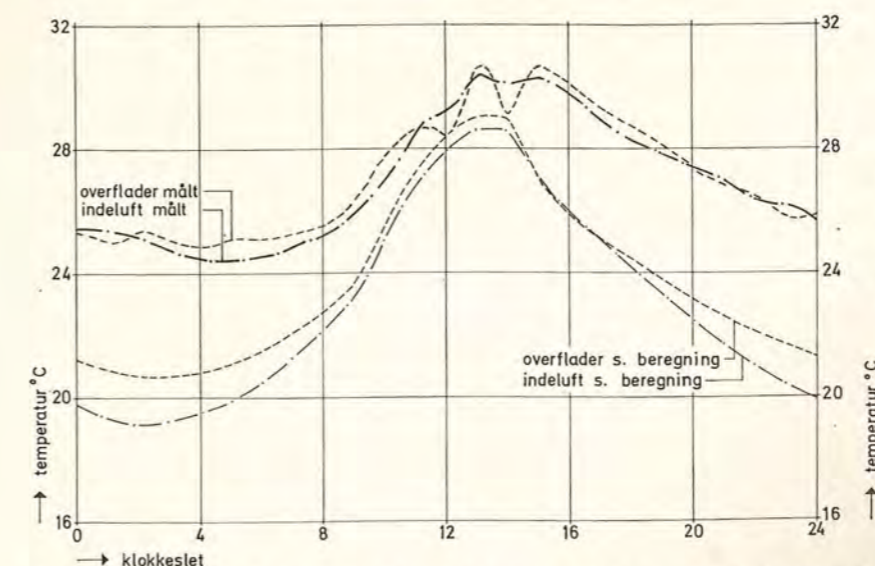


Fig. 6. Målte temperaturforløb sammenlignet med temperaturforløb, mærket S, beregnet på grundlag af sædvanligt anvendte termiske belastninger for varme dage i juni. Udetemperaturen er sat til 19°C ± 6,5°C med maksimum kl. 14. Ventilationsluftens temperatur er regnet 1°C højere end udetemperaturen, og solindfaldet er sat til 80% af solindfaldet ved helt klar himmel.

se, fordi de termiske belastninger har været nogenlunde ensartede i flere døgn.

Der findes ingen tilsvarende let metode til bestemmelse af udsvingene fra døgnmiddeltemperaturen, men i en

snæver vending og ved overslagsregning kan man ofte gætte nogenlunde korrekt. Derimod må det frarådes at dimensionere anlæg alene på dette grundlag eller ud fra antagelser om, at de termiske belastninger kan udjæv-

nes over et vist antal timer. Fig. 5 viser nogle eksempler på de maksimums- og minimumstemperaturer, man således finder ved at benytte middelværdier af de termiske belastninger for 1, 4 og 12 timers perioder.

Sammenligning med andre metoder

Beregningsmetoden er på væsentlige områder baseret på en tilsvarende metode udviklet af Bo Adamson (4) og må nærmest betegnes som en variant af denne. Der er kun foretaget en mindre ændring i den termiske rummodel og stort set ligger forskellen i den matematiske behandling. De to beregningsmetoder vil derfor give meget nær de samme resultater.

Ændringerne har imidlertid medført større alsidighed, og der kan således tages hensyn til varierende ventilationsluftmængder og automatisk regulering, og beregningsmetoden er ikke begrænset til døgnstationære forhold. Beregning af temperaturforløb kan derfor udføres ud fra mere realistiske forudsætninger og samtidig er beregningsproceduren blevet enklere.

På DIA-B er der foretaget en del sammenligninger med mere detaljerede beregninger udført af Laboratoriet for Varmeisolering på analogiregnekmaskine (5), og der er konstateret god overensstemmelse. Ved døgnstationære forhold er forskellene på døgnmiddeltemperaturerne i almindelighed mindre end 0,5°C og på amplituderne mindre end 20%. Også andre har foretaget sammenligninger med den her beskrevne og mere detaljerede metode, og der er i visse tilfælde fundet større forskelle end angivet her. I disse tilfælde er det imidlertid konstateret, at beregningerne er udført i modstrid med det i (1) foreskrevne.

Beregningsgrundlaget

Beregning af temperaturforløb efter denne eller tilsvarende metoder må naturligvis udføres på grundlag af realistiske termiske belastninger. Imidlertid eksisterer der kun sparsomt og usammenhængende materiale om udetemperatur, solbestråling og vindhastighed, og vi ved meget lidt om bygningers indflydelse på klimaet i deres umiddelbare nærhed. På grund af usikkerheden på de termiske belastninger må der forventes betydelige forskelle mel-

lem teori og praksis, som det også fremgår af fig. 6, der viser de målte temperaturforløb sammenlignet med temperaturforløb, beregnet på grundlag af sædvanligt anvendte termiske belastninger for varme dage i juni.

Så længe det drejer sig om sammenligning mellem beregningsmetoder eller mellem alternative udformninger af en bygning eller et ventilationsanlæg, har denne usikkerhed kun ringe direkte betydning. Er opgaven derimod at dimensionere et anlæg, der tilfredsstiller et bygherrekrav om f. eks. højst 100 timer med temperaturer over 26°C, er man fortabt. Så vidt vides er der ingen, der har tilstrækkelig gode data.

Hertil kommer yderligere usikkerhed med hensyn til bygningskonstruktionens udførelse, rummenes møblering og brug og med hensyn til indregulering, vedligeholdelse og drift af ventilationsanlæggene.

Konklusion

Varme- og ventilationsanlæg har til formål at opretholde et behageligt termisk indeklima. Af økonomiske grunde må anlæggene imidlertid dimensioneres således, at de ikke kan klare ekstreme termiske belastninger, og når ydeevnen overskrides, vil rumtempera-

turen afvige fra den ønskede værdi. Som et led i projekteringen må disse afvigelses størrelse og hyppighed beregnes (6), og den udviklede beregningsmetode kan benyttes hertil.

Beregningsmetoden er letanvendelig og alsidig. Der kan således beregnes temperaturforløb, ventilationsluftmængde, varmebehov og kølebehov, og der kan tages hensyn til varierende ventilationsluftmængder og anlæggets styring. Beregningsnøjagtigheden er tilstrækkelig god og er kontrolleret ved en feltmåling og ved enkelte sammenligninger med mere avancerede metoder.

De termiske belastninger, der skal benyttes ved beregningen, er fælles for alle metoder til bestemmelse af temperaturforløb, og det er her de væsentligste usikkerheder ligger.

Litteratur

- (1) Bo Andersen: Bygningers varmebalance, Danmarks Ingeniørakademi, Bygningsafdelingen, København, 1971, 36 sider (kan rekvireres).
- (2) Bo Andersen og Ole Valbjørn: Beregning og måling af temperaturforløb i en kontorbygning. SBI, Intern rapport, sag nr. F. 287/1.21, København 1971 (til gennemsyn hos BIM).

- (3) Dansk Ingeniørforening: Regler for beregning af bygningers varmetab, Teknisk Forlag, København, 3. udg. 1968, 34 sider.
- (4) Bo Adamson: Värmebalans vid rum och byggnader. Tekniska Högskolan i Lund. Arbetsrapport 1968:1, 80 sider.
- (5) V. Korsgaard og H. Lund: En passiv elektrisk analogiregnemaskine til rumklimaberegninger, Danmarks tekniske Højskole, Laboratoriet for Varmeisolering, 1965, 57 sider.
- (6) Svend Mandorff: Forskellige faktorer indvirken på temperaturen i klasseværelser, VVS 1970, nr. 4, side 157-164.

SUMMARY

Calculation of the thermal response of a building

When the thermal load on a building exceeds the cooling capacity of the ventilation plant the room temperature can no longer be kept constant. To avoid too high room temperatures the thermal response to such conditions must be calculated. For this purpose an easy and allround method has been developed.

This paper briefly describes the method and a fieldtest to control its accuracy. Fig. 3 shows the measured and calculated air and surface-temperatures on a casually chosen day. The method has also been compared with a more elaborate method with satisfying result.

For høj indblæsningstemperatur

Rumtemperaturen er ofte højere end nødvendigt om sommeren, fordi ventilationsanlæggene indblæser med en temperatur, der er flere grader højere end udetemperaturen.

Alene opvarmning af luften ved strømningstabene i et højhastighedsanlæg kan blive af samme størrelsesorden som solafskærmningens virkning.

Civilingeniør Ole Valbjørn
Statens Byggeforskningsinstitut

I mange tilfælde, hvor Byggeriets Indeklima Målestation er blevet tilkaldt for at undersøge indeklima og varme- og ventilationsanlæg, har det vist sig, at der blev indblæst med alt for høj temperatur. For ventilationsanlæg uden køleflader er det på varme dage vigtigt, at indblæsningstemperaturen holdes så nær udeluftens temperatur som muligt, idet enhver utilsigtet opvarmning af indblæsningsluften medvirker til at forhøje temperaturniveauet i rummene.

De fejl, der er årsag til for høj indblæsningstemperatur, viser sig ofte at være indlysende, men da de forekommer gang på gang, er det øjensynlig nødvendigt at gøre opmærksom på dem, så de ikke vil være så almindelige fremover.

Tabel 1 giver nogle eksempler på utilsigtet opvarmning af indblæsningsluften. Værdierne er alle målt i praksis, og læseren kan jo prøve at lægge tallene sammen og se, hvor galt det ville gå, hvis alle fejl forekom på én gang.

Størst opvarmning i højhastighedsanlæg

Ventilationsluftens teoretisk mindste opvarmning kan beregnes ved at lade al den energi, der tilføres gennem ventilatoren, omsætte til en temperaturstigning af ventilationsluften. En sådan beregning viser, at opvarmningen er ca. 1 °C for hver 100 mm VS trykstigning, der er i ventilatoren.

Det betyder, at et højhastighedsanlæg i virkeligheden er ringere end et lavhastighedsanlæg, når man bedømmer anlægget alene ud fra dets evne til at køle bygningen. Beregnes døgnsummen af den til ventilations-

luften tilførte effekt fra ventilatoren og sammenlignes den med døgnsummen for solindfaldet gennem vinduerne uden afskærmning, får man for det nedenfor anførte eksempel, at døgnsummen ved lavhastighedsanlægget udgør ca. 5 % af solindfaldets døgnsum, mens den ved højhastighedsanlægget udgør ca. 28 % af solindfaldets døgnsum. Det sidste er jo en betragtelig del og af samme størrelsesorden som mange solafskærmningers virkning og som belysningsvarmen.

Beregningseksemplets data er:

luftmængde: 9000 m³/h, luftskifte 6 gange pr. time, vinduesareal 50 % af facaden, lofthøjde 3 m, rumdybde 5 m,

lavhastighedsanlæg; pt = 28 mm VS,

højhastighedsanlæg; pt = 200 mm VS.

Solindfaldets døgnsum er regnet for en sydlig facade i maj måned ~ 3600 Wh/m² døgn.

Friskluftindtag

Friskluftindtaget bør placeres, så det ikke ind suger luft, der kan blive opvarmet af en solbeskinnede facade, fra en solopvarmet gård, eller ind suger dele af afkastningsluften. I eksemplet i tabel 1 var friskluftindtaget anbragt lige over en nedkørsel til en overtryksventileret garage.

Beregninger og målinger har vist, at solbeskinnede facader på stille dage kan få overtemperaturer på mellem 30 og 40 °C. Luftlaget, der stryger op langs facaden, bliver da opvarmet 7-10 °C. Den ca. 10 °C varmere luft, der således passerer et luftindtag an-

bragt 10 m over terrænet på en solopvarmet facade, er af størrelsesordenen 600 m³/h pr. meter bredde [1]. Indsuges f. eks. en luftmængde på 6000 m³/h gennem en 1 meter bred rist og 600 m³/h heraf er 10 °C varmere end udeluften, vil den ind sugede lufts temperatur blive 1 °C højere end den uopvarmede lufts temperatur. Ved højere facader øges indflydelsen. Hvis det alligevel er nødvendigt f. eks. af forureningsmæssige grunde at anbringe et friskluftindtag [5] over en høj solbeskinnede facade, må man forsøge at bryde det opadstigende luftlag under friskluftindtaget, så køligere luft strømmer til.

Spjæld

Regulerings-spjæld er sjældent helt tætte. Standses et indblæsningsanlæg, kan det derfor ske, at luften cirkulerer den modsatte vej fra rummene og ud i friskluftkammeret. Er dette kammer fælles for flere anlæg, kan man

årsag	temperaturforøgelse °C
Uheldig placering af friskluftindtag nær afkastningsåbning	1,8
Friskluftkammer fælles med andre anlæg. Der trækkes luft fra rummene gennem de anlæg, der er stoppede	1
Utæt recirkulationsspjæld (15 % lækage, 30°C returluft)	1
Utæt ventil til varmefflade	0,7
Opvarmning i kanaler, der passerer varme rum	1

Tabel 1. Eksempler på utilsigtet opvarmning af indblæsningsluften på grund af fejl ved projektering og udførelse. Tallene er fra målinger i praksis.

risikere, at de anlæg, der er igang, indsluger varm luft gennem de standse anlæg. Generelt må det derfor anbefales at undgå fælles friskluftkammer, men er det ikke muligt, må man i varme perioder, hvor det er nødvendigt at indblåse med lavest mulige temperatur, holde alle anlæg igang, eventuelt med reduceret ydelse. Dette kan iøvrigt også være nødvendigt af hensyn til lugtspredning.

Man må undgå lækage i recirkulationsspjæld. BIM har i nogle tilfælde målt lækager på ca. 15 % af den behandlede luftmængde. Det er muligt at gøre disse spjæld tætte, f. eks. ved at påklæbe kraftige, bløde skumgummilister. Foruden det nævnte problem, kan der forekomme lækage mellem den kolde og varme kanal i blandedokse. Fra det amerikanske Associated Air Balance Council [2] refereres, at sådanne utætheder foruden at mindske muligheden for køling og opvarmning kan bevirke op til 35 % større driftsudgifter for anlæg med køling.

Andre kilder til opvarmning

Det er ofte nødvendigt at lukke de manuelle afspærringsventiler til varmekladerne om sommeren, fordi de motorstyrede reguleringsventiler er utætte (husk at skrive det i driftsinstruktionen). I overgangsperioderne, må man forlade sig på, at ventilerne er tætte nok; de må derfor kontrolleres hyppigt.

Under indstillingen af automatikken til anlægget og ved ændringer foretaget efter at anlægget er taget i brug, bestemmes indblæsningstemperaturen ofte udfra kravet om trækfrihed i opholdszonen. Er indblæsningsmetoden uheldig, eller er tolerancerne, som anlæggets luftmængder er indreguleret med, for store, kan det bevirke, at lufthastigheden bliver for stor, og for at undgå træk er det almindeligt at hæve indblæsningstemperaturens minimumværdi.

Problemet kan måske afhjælpes ved at formindske indreguleringstolerancen eller ændre indblæsningsretningen. På en skole indblæste ventilationsanlæggene med 40 °C. Indblæsningstemperaturen var gradvis sat op fra 20 °C for at forsøge at hindre klager over træk.

Drift

Har man problemer med at holde rumtemperaturen på et passende niveau i den varme tid, er det vigtigt at sørge for, at anlægget er i drift om natten, så den kølige natluft bruges til at køle bygningen ned; derved bortventileres en del af den varme, der om dagen er akkumuleret i bygningsdelene. Man må så sørge for, at kanaltermostaterne, hvis funktion om dagen er at sikre en minimumindblæsningstemperatur, er ude af funktion om natten.

Har man således regnet med, at rumtemperaturen kan holdes på et passende niveau, når døgnmiddeltemperaturen udenfor er på f. eks. 20 °C og med største og mindste temperatur på henholdsvis 25 °C og 15 °C, må man sikre sig, at indblæsningstemperaturen om natten kan falde til 15 °C og ikke er begrænset nedadtil, f. eks. til 19 °C, af en minimumstermostat. Er den det, ville man få en resulterende rumtemperatur, der beregningsmæssigt ville svare til en døgnmiddeltemperatur, der var ca. 1 °C højere.

Driftsvejledningen må derfor indeholde oplysning om, hvor stor temperaturstigning, der maksimalt kan tillades i anlægget i de varme perioder, hvor indblæsningstemperaturen skal være lavest mulig.

Konsekvenserne

Hvad betyder da en utilsigtet opvarmning af indblæsningsluften på f. eks. 2 °C?

Forudsættes det, at en bestemt øvre rumtemperatur kan holdes ved en indblæsningstemperatur med et døgnmiddel på 22 °C, svarende til udeluftens døgnmiddeltemperatur, vil denne rumtemperatur statistisk kun overskrides 2½ døgn i et gennemsnitsår (regnet for København efter [4]).

Men med en utilsigtet opvarmning på 2 °C svarer beregningerne, der var baseret på en indblæsningstemperatur med et døgnmiddel på 22 °C, i virkeligheden til en 2 °C lavere døgnmiddeltemperatur for udeluften, nemlig 20 °C, og så vil den fastsatte øvre rumtemperatur overskrides ca. 10 døgn pr. år, hvilket måske vil give anledning til klager, da de falder inden for 1–2 måneder.

Erfaringerne, som vi har omtalt, kan samles i den følgende huskeliste, som skal overvejes ved projektering, udførelse og drift, for at medvirke til at holde rumtemperaturen på et passende niveau.

Projektering:

Placer friskluftindtaget, så der ikke indsluges opvarmet luft ved facader eller fra afkastningsåbninger.

Et fælles friskluftkammer kan give recirkulation fra anlæg, der ikke er i drift – hold om nødvendigt anlæggene igang, eventuelt på nedsat hastighed.

Kanalerne bør isoleres eller anbringes, hvor indblæsningsluften ikke opvarmes eller afkøles.

Udform indblæsningssystemet og afpas indreguleringstolerancerne, så indblæsningstemperaturen ikke skal hæves unødigt.

Fremskaf oplysninger om recirkulationsspjældenes tæthed i lukket stilling til brug for beregningerne.

Medregn ventilatorens tilførte effekt i de samlede belastninger for bygningen.

Sørg for, at driftsvejledningen indeholder de nødvendige oplysninger, for at anlægget kan blive betjent, som det var forudsat under projekteringen, f. eks. om indblæsningstemperaturens afvigelse fra udetemperaturen på varme dage.

Udførelse:

Sørg for, at alle spjæld kan lukke tæt, når det kræves, særlig recirkulationsspjæld.

Ventiler til varme- (og køle-) flader skal være tætte.

Indreguler luftmængderne inden for de givne tolerancer, så de beregnede kastelængder kan overholdes, og det ikke bliver nødvendigt at hæve indblæsningstemperaturen for at undgå træk.

Drift:

Lad være at hæve indblæsningstemperaturen for at undgå klager over træk og kulde, før det er undersøgt, om det er mangelfuld indregulering, der giver anledning til træk.

Lad ventilationsanlægget være i drift hele døgnet, når der bliver varmt,

om natten med uopvarmet udeluft – eventuelt må indstillingen af minimumstermostaten for indblæsningsstemperaturen ændres uden for brugstiden.

Kontroller spjældfunktioner (her specielt recirkulationsspjæld).

Kontroller om motorventiler til varmekladerne kan lukke tæt; hvis ikke, brug da de manuelle afspærringsventiler, når det i en periode ikke er nødvendigt at opvarme ventilationsluften.

Resumé

Den utilsigtede opvarmning af indblæsningsluften ved en fejl i projektering, udførelse eller drift af ventilationsanlæg bliver let af størrelsesordenen 1–2 °C, ofte større. Den opvarmning, der ikke kan undgås, nemlig opvarmningen ved tabet af den energi, der tilføres ventilatoren, er ca. 1 °C for hver 100 mm VS trykstigning, der er i ventilatoren.

I beregningerne for rumtemperaturen er der som regel taget hensyn til en utilsigtet opvarmning af indblæsningsluften på 1–2 °C, og den sikkerhed må det indtil videre anbefales at regne med, men overskrides denne værdi, holder beregningerne ikke, og alene ved uheldig projektering kan de 1–2 °C være »brugt«. Derudover må man enten tillægge 1 °C pr. 100 VS trykstigning i ventilatoren svarende til tabet af den tilførte effekt til ventilatoren, eller indregne denne effekt i summen af de belastninger, bygningen har.

Litteratur

- (1) P. O. Fanger, Termiske luftstrømninger langs vinduer og vægge, Ingeniøren nr. 19, 1964.
- (2) Associated Air Balance Council, National Standards for Measurement and Instrumentation, Volume 1, 2146 Sunset Boulevard, Los Angeles.
- (3) Statens Institut för Byggnadsforskning, Stockholm, Rapport R 49, 1970, Val av klima-data vid beräkning av högsta rumstemperatur.

(4) P. Becher, Varme og Ventilation 1, Teknisk Forlag, 1971.

(5) BIM 70, SBI's indeklimatiske undersøgelser, side 14, Placering af friskluftindtag og afkastningsåbninger, SBI-rapport 78, København 1971.

SUMMARY

Too high inlet temperature

In summer it is often found that ventilation plants without cooling units operate with an inlet temperature several degrees higher than the outdoor temperature. This is caused by faults in design, construction and in operating the plant. The overheating of the air might be caused by leakage in closed dampers for recirculation, mixing boxes and water valves for heating elements, and by too highly set thermostats controlling the minimum inlet temperature, etc. One temperature rise cannot be avoided, the one coming from the energy used for running the fan. This amounts to 1 °C for each 100 mm WG total fan pressure, and the thermal load on the building might amount to app. 30 % of the load from the sun when high velocity ventilation plants are installed.

Amerikanske indreguleringsfirmaer

Af civilingeniør E. Christophersen, Statens Byggeforskningsinstitut

I USA er der i de senere år oprettet en række firmaer, der udelukkende arbejder med indregulering og afprøvning af ventilationsanlæg. På baggrund af besøg hos sådanne firmaer i de østlige stater redegøres for ideen bag firmaerne samt for firmaernes arbejdsvilkår og -metoder.

I USA har det i mange år været ganske almindeligt at installere klimaanlæg. Man indså tidligt, at indregulering og afprøvning af store, komplicerede anlæg i mange tilfælde krævede en ekspertise og en instrumentbeholdning, som mange, især mindre firmaer, ikke kunne være i besiddelse af, og allerede i halvtredserne dannedes en række firmaer, der specialiserede sig i indregulering og afprøvning af anlæggene. Der eksisterede på dette tidspunkt ingen fastlagte anerkendte procedurer for udførelse af indreguleringen, og kvaliteten af det udførte arbejde var stærkt afhængig af firmaernes faglige og etiske standard. Mistilliden til de professionelle indreguleringsfirmaer var med rette meget udbredt, og mere seriøse indreguleringsfirmaer indså efterhånden, at det var nødvendigt at have en organisation, der kunne skabe et ensartet grundlag for udførelse af indregulering og afprøvning, og som via optagelsesbetingelser kunne sikre, at organisationens medlemmer havde fornødne kvalifikationer til at udføre dette arbejde. Til at varetage disse opgaver dannede 9 firmaer i 1964 Associated Air Balance Council (AABC) (+).

Associated Air Balance Council

AABC kan som medlemmer optage firmaer i USA og Canada. I øjeblik-

ket er omkring 70 firmaer tilsluttet organisationen. Ifølge vedtægterne kan medlemskab kun opnås af uafhængige firmaer, der udelukkende arbejder med indregulering og afprøvning af varme- og ventilationsanlæg. Arbejdet skal omfatte både luft- og vandside af anlæggene. Firmaerne skal kunne dokumentere fornødent erfaringsgrundlag, være i besiddelse af velvedligeholdte og egnede måleinstrumenter, have rutinerede og veluddannede folk samt kunne dokumentere tilfredsstillende resultater af hidtil udført arbejde. F. eks. forlanges mindst 3 års erfaring med indregulering og afprøvning og mindst 15 referencer fra rådgivende ingeniørfirmaer, for hvem der er udført arbejde. Som et resultat af organisationens arbejde forelå i 1967 den første udgave af National Standards for Field Measurements and Instrumentation (1), hvori angives de indregulering- og målemetoder, der skal anvendes af organisationens medlemmer. Af denne håndbog fremgår det, hvilke instrumenter firmaerne skal arbejde med, og i detaljer angives de minimumskrav, der skal opfyldes ved måling af luft- og vandmængder i klimaanlæg i praksis. Bogen indeholder endvidere detaljerede procedurer for indregulering og afprøvning i praksis og desuden projekteringsvejledninger samt eksempler på beskrivelser med henblik på indregulering og afprøvning. Bogen holdes å jour og suppleres ved udsendelse af »newsletters«.

Til AABC er knyttet en autorisationsordning, idet organisationen med en garantiordning står inde for, at enhver kontrakt indgået af et AABC-medlem vil blive opfyldt i overensstemmelse med den ovenfor omtalte National Standard.

Arbejdet i et indreguleringsfirma

Beskrivelsen fra den rådgivende ingeniør vil ofte være formuleret på følgende måde:

»The Contractor shall procure the services of an independent air balance and testing agency, approved by the engineer, which specializes in the balancing and testing of heating, ventilating, and air conditioning systems, to balance, adjust, and test air moving equipment and air distribution or exhausting systems as herein specified. All work by this agency shall be done under direct supervision of a qualified heating and ventilating engineer employed by them. All instruments used by this agency shall be accurately calibrated and maintained in good working order. If requested, the tests shall be conducted in the presence of the mechanical engineer responsible for the project and/or his representative.«

Ventilationsentreprenøren udbyder »indregulering og afprøvning« til forskellige firmaer, der menes kvalificerede til opgaven, og på grundlag af de modtagne tilbud vælges underentreprenøren.

Fig. 1. Eksempler på skemaer, der anbefales af AABC til brug ved indregulering og afprøvning af varme- og ventilationsanlæg.

Undertiden vil beskrivelsen kun indeholde krav om, at indregulering og afprøvning skal udføres af et firma, der er kvalificeret til AABC, ikke nødvendigvis medlem, og dette betyder, at entreprenøren i givet fald selv kan udføre arbejdet. Denne formulering anvendes f. eks. ved mange offentlige byggerier.

Det hænder også, at indreguleringsarbejdet udbydes som en selvstændig entreprise, i hvilket tilfælde indreguleringsfirmaet er direkte ansvarlig overfor den rådgivende ingeniør.

AABC-firmaets tilbud udarbejdes på grundlag af tegninger og beskrivelser og baseres delvis på »standardtider« for indregulering af den pågældende type af anlæg og komponenter.

Når tilbudet er accepteret, indsættes de projekterede værdier i de skemaer, der skal anvendes under indreguleringsarbejdet, og eventuelt udfærdiges simple principskitser af kanalsystemet til markering af målepunkterne.

Når indregulering og afprøvning er udført i overensstemmelse med »National Standard«, udarbejdes en rapport, der indeholder skemaer med måleresultater samt diverse kommentarer til målingerne f. eks. angives den formodede årsag til, at visse dele af anlægget ikke yder den projekterede mængde. På fig. 1 er vist en del af de skemaer, der anvendes til indreguleringsarbejdet.

Ifølge »National Standard« er sigtet med indregulerings- og afprøvn-

ningsarbejdet, »at alle de i beskrivelsen angivne systemer skal indreguleres, så der opnås optimal funktion af det installerede anlæg; alle systemer indreguleres og afprøves i henhold til tegninger og beskrivelser«.

Der hersker nogen uenighed om, hvorvidt man til indreguleringen bør anvende proportionalmetoden, hvor man som bekendt begynder i systemets yderste grene (beskrevet i ASHRAE GUIDE AND DATA BOOK 1969), eller en metode hvor indreguleringen begynder ved ventilatoren, hvorfra man så arbejder sig ud i systemet (ASHRAE GUIDE AND DATA BOOK 1970). Foreløbig synes sidstnævnte metode at være den hyppigst anvendte. Man sigter ved indreguleringen oftest mod at indstille luft-

*) Adresse: 2146 Sunset Boulevard, Los Angeles, Calif. 90026.

mængderne inderfor $\pm 10\%$ af de projekterede værdier.

Til udførelse af målingerne i praksis råder hver mand over

pitotrør og skrårørsmanometer, velometer, vingehjulsanemometer, tachometer, tangamperemeter.

Instrumenterne transporteres i en til formålet indrettet kuffert.

Til supplerende af disse »grundinstrumenter« råder firmaet desuden over forskellige typer af varmetrådsinstrumenter, registrerende temperatur- og fugtighedsmålere, flowmetre til måling af vandstrøm, manometre, røggivere m. v.

De anvendte instrumenter skal ifølge »National Standard« være kalibrerede indenfor 6 måneder før anvendelsen.

Firmaernes opbygning er således, at 1 ingeniør har ansvar for det arbejde, der udføres af 4-5 teknikere. Størrelsen er ofte 15-20 ansatte incl. kontorhjelpe.

Omkostningerne ved indreguleringen afhænger naturligvis meget af det pågældende anlægs udformning; ofte anslås tidsforbruget pr. indblæsningsåbning til 0,5-1 mandtime, eller omkostningerne angives i forhold til totalluftmængderne for et normalt anlæg til 15-25 øre pr. m³/h. Den udbetalte løn er ca. 50 kr. pr. time, og der regnes med 100% til omkostninger.

Udertil søger indreguleringsfirmaerne at udbrede forståelsen for indregulering og afprøvning ved at distribuere »National Standard« til rådgivende ingeniører og entreprenører. Samtidig forsøger man gennem kurser og foredrag at vejlede projekterende og udførende ingeniører, så projekterne forberedes for indregulering og afprøvning, ligesom man videregiver de erfaringer, der kan udledes af arbejdet. Man holder endvidere kurser for de teknikere, der skal udføre arbejdet. Planlægningen af denne informationsvirksomhed styres i nogen udstrækning af AABC.

Ved konkrete sager søger man på et tidligt tidspunkt kontakt med de implicerede firmaer for gennem vejledning at få systemerne gjort indregulerings- og målevenlige.



Fig. 2. I forbindelse med indreguleringen måles luftmængder i kanaler altid med pitotrør og skrårørsmanometer.

Indreguleringsfirmaernes arbejdsvilkår

Til trods for firmaernes udadvendte aktiviteter er der store vanskeligheder med at få ventilationsanlæggene projekteret og udført, så de er forberedt for indregulering og afprøvning, og beskrivelserne er ofte yderst mangelfulde med hensyn til angivelse af krav til det færdige anlægs funktion, tolerancer for luftmængder m. v. Disse forhold kan give store vanskeligheder, når indreguleringen skal udføres, f. eks. må der indbygges ekstra spjæld og målingerne bliver unøjagtige.

Hertil kommer, at det er et stort problem at få kvalificeret mandskab til at udføre indreguleringsarbejdet. Da indreguleringen medfører indgreb i ventilationssystemet, forlanger fagforeningerne, at der anvendes faguddannede ventilationsmontører, der er medlemmer af den lokale fagforening. Montørerne må ikke arbejde i et distrikt, der hører under en anden lokalafdeling af fagforeningen, og til arbejde i et andet område må derfor antages nye folk, som skal uddannes helt fra bunden. Princippet kan normalt kun fraviges, såfremt lokalafdelingen ikke kan anvise ledig arbejdskraft. Sådanne forhold vanskeliggør naturligvis en systematisk intern uddannelse af

medarbejderne, og da resultatet af indreguleringsfirmaernes arbejde er stærkt afhængigt af teknikernes kvalifikationer, er disse vanskeligheder med til at svække indreguleringsfirmaernes omdømme. Det må dog nævnes, at forholdene varierer meget fra stat til stat.

En anden vanskelighed ligger i eksistensen af en stor mængde af uautoriserede firmaer, der tilbyder indregulering og afprøvning til en meget lavere pris end AABC-medlemmerne. I New York er der f. eks. 13 indreguleringsfirmaer, hvoraf kun 3 er tilsluttet AABC. Mange af de uautoriserede firmaer konkurrerer imidlertid i kraft af ringere kvalitet af det udførte arbejde, og dette svækker generelt branchens omdømme. Når en entreprenør anvender et uautoriseret firma, skyldes det ofte, at en rapport fra et sådant firma, godt eller dårligt, vil medføre, at bygherren hurtigere udbetaler resttilgodehavendet til entreprenøren. Er indreguleringsarbejdet udført dårligt, vil problemerne først opstå, når entreprenøren er ude af billedet.

Endelig opstår der mange problemer på grund af indreguleringsfirmaernes ansvarsmæssige placering som underentreprenør for ventilationsentreprenøren. Denne placering giver en lang og besværlig kommandovej i tilfælde, hvor der opstår problemer med projekt eller udførelse. Firmaerne ville foretrække at være placeret direkte under den rådgivende ingeniør eller bygherren.

Indreguleringsfirmaerne set udefra

Der er næppe tvivl om, at mange rådgivende ingeniører og ventilationsfirmaer ser med skepsis på indreguleringsfirmaerne. Man mener, at omkostningerne ved at anvende disse firmaer normalt er for store, og at kvaliteten af det udførte arbejde ofte er for ringe. Tilliden til de udarbejdede rapporter er ikke stor, da man ved, at firmaerne er stærkt afhængige af et godt forhold til både rådgivende ingeniører og ventilationsentreprenører. Det var den almindelige opfattelse, at ventilationsfirmaerne i de fleste tilfælde var fuldt kvalificerede til selv at indregulere og afprøve anlæggene, og der sporede hos ventilationsfirmaerne

nogen irritation over denne indblanding i entreprenørens traditionelle arbejdsområde.

Det skal bemærkes, at man ved ovennævnte vurderinger aldrig skelkede mellem AABC-firmaer og uautoriserede firmaer.

De rådgivende ingeniører fandt det hensigtsmæssigt at foreskrive anvendelse af uafhængige firmaer til indregulering og afprøvning, såfremt bygherren af prismæssige grunde ville foretrække en ukendt entreprenør eller en entreprenør, man ikke nærede fuld tillid til. Entreprenørerne anså det for en fordel at anvende et indreguleringsfirma, såfremt der ønskedes en hurtig afvikling af byggesagen. Man erkendte ligeledes, at det i visse tilfælde kunne være en omkostningsmæssig fordel at anvende et velkvalificeret indreguleringsfirma, f. eks. hvis man ikke selv rådede over erfarne indregulerings teknikere til en given opgave.

Det ser ud til, at indreguleringsfirmaerne har vanskeligt ved at slå afgørende igennem, i hvert fald i mange af de østlige stater, hvorfra oplysningerne i nærværende artikel er hentet. Meget tyder imidlertid på, at firmaerne står væsentlig stærkere i de vestlige stater, især i områder, hvor det er helt nødvendigt at anvende køleanlæg. I disse områder er firmaerne anerkendt som et nødvendigt led for at få anlæggene til at fungere. I det hele taget gælder det, at der er stor forskel på firmaernes arbejdsvilkår i forskellige stater, bl. a. afhængigt af fagforeningernes styrke, men også i høj grad af kvalifikationerne hos de enkelte firmaer.

Vanskelighederne for indreguleringsfirmaerne skyldes formentlig først og fremmest firmaernes uheldige ansvarsmæssige placering som underentreprenører for ventilationsfirmaerne. Hertil kommer en uvilje hos projekterende og udførende, dels på grund af »indblandingen« i traditionelle arbejdsområder, dels på grund af den kritik af projekteret og udført arbejde, der kan komme til udtryk i den endelige indreguleringsrapport. Endelig synes indreguleringsfirmaernes indsats for oplysning om projekternes forberedelse til indregulering og afprøvning at være for spredt og ukoordineret.

Afsluttende bemærkninger

Der er næppe tvivl om, at indreguleringsfirmaerne i USA er kommet for at blive. Trods alle vanskeligheder vinder firmaerne frem, og ideen om, at en uafhængig instans skal stå for indregulering og afprøvning, bliver stadig mere accepteret. Fremgangen vil dog i høj grad være afhængig af AABC's evne til at få rådgivende og udførende teknikere til at forstå nødvendigheden af en omhyggelig indregulering og afprøvning og til at udføre anlæggene indregulerings- og målevenlige, men ikke mindst af indreguleringsfirmaernes evne til at udføre kvalificeret arbejde. Endvidere er det sikkert nødvendigt, at firmaerne ansvarsmæssigt placeres under den rådgivende ingeniør eller direkte under bygherren.

En medvirkende årsag til firmaernes vanskeligheder er formentlig, at firmaerne ved at udføre indregulering og afprøvning med det sigte at opnå

optimal funktion af det installerede anlæg, påtager sig et ansvar, de som underentreprenører har vanskeligt ved at leve op til. Firmaerne har ikke mulighed for i tilstrækkeligt omfang at få indflydelse på projektets udformning, så anlægget virkelig kan indreguleres, og under udførelsen kan det være vanskeligt at få indføjet de nødvendige målepunkter og spjæld. Hertil kommer, at firmaerne på samme anlæg optræder både som udførende part og som kontrolinstans, hvilket kan give store vanskeligheder, når svaret for eventuelle problemer med et anlæg skal placeres. Hverken den rådgivende ingeniør, ventilationsfirmaet eller indreguleringsfirmaet vil være helt uvildige.

Det skal endelig nævnes, at der i de sidste år også udenfor USA og Canada er oprettet uafhængige indreguleringsfirmaer, bl. a. i England, og i Sverige oprettede et antal rådgivende firmaer for få år siden et afprøvningsfirma, VVS-kontroll, der bl. a. udfører afleveringsprøver på anlæg projekteret af ejerfirmaerne.

(1) National Standards for Field Measurements & Instrumentation, Total System Balance, Air Distribution, Hydronic Systems, Associated Air Balance Council, Los Angeles.

SUMMARY

American balancing firms

In USA a series of firms have been established during recent years, solely with the purpose of doing work on the balancing and testing of ventilating plants. On the background of visits to such firms in the eastern States, an account is given of the idea behind the firms, as well as their working conditions and methods.

Uddannelse af ventilationsteknikere

Af civilingeniør E. Christophersen,
Statens Byggeforskningsinstitut

Installationerne lægger beslag på en stadig stigende del af byggeomkostningerne i nyt byggeri, f. eks. for sygehuse, kontor- og forretningsbyggeri ofte op til 20-30% af den samlede investering. Alene omkostningerne ved installering af ventilationsanlæg vil undertiden komme op på 10%. Det er store værdier, der skal forvaltes, og det er vigtigt, at varme- og ventilationsanlæggene passes på en sådan måde, at levetiden bliver som forventet, og at udgifterne til vedligeholdelse holdes lavest muligt. Ligeledes må anlæggene anvendes, så bygherren virkelig får et udbytte, der står mål med den økonomiske indsats ved etablering af anlægget, i form af et tilfredsstillende indeklima, og så anlægget i det hele taget fungerer i overensstemmelse med det projekt, der ligger til grund for udførelsen.

Det er givet, at den øgede størrelse af ventilationsanlæggene vil betyde en samtidig stigning i omkostningerne til drift og vedligeholdelse. Anlæggene bliver mere komplicerede, og kravene til det personale, der skal klargøre eller passe anlæggene, bliver større. Det kan i dag ofte konstateres, at problemer med varme- og ventilationsanlæggene kan føres tilbage til manglende kvalifikationer hos det personale, der skal passe anlæggene. Der mangler undertiden en elementær forståelse af de intentioner, der ligger bag anlægsofbygningen, med det resultat, at anlægget i det daglige kommer til at arbejde på en helt anden måde end forudsat i projektet. Manglende kvalifikationer hos driftspersonalet kan også medføre, at anlægget udsættes for unormalt slid med forøgede reparationsomkostninger og forkortet levetid som resultat.

Problemet har flere sider, idet der dels kan være tale om manglende uddannelse af driftspersonalet, men

Varme- og ventilationsanlæggene bliver stadig mere komplicerede, og kravene til driftspersonalets kvalifikationer bliver større. Teknologisk Institut og SBI er i samarbejde ved at etablere kurser, der kan dække behovet for øget uddannelse.

også om manglende eller for dårligt udformede driftsinstruktioner fra den projekterende eller udførende ingeniør. Endelig er anlægget måske ikke i tilstrækkeligt omfang planlagt med henblik på rationel vedligeholdelse og drift. Der har hidtil ikke været uddannelser, der sigter specielt på klargøring, drift og vedligeholdelse af ventilationsanlæg, og for folk uden kendskab til disse anlæg har der ikke været mulighed for at få en elementær indføring i problemerne.

For at opfylde det behov, der er for at få kvalificeret personale til klargøring eller pasning af de ofte komplicerede og kostbare anlæg, er SBI i samarbejde med Teknologisk Institut i færd med at etablere kurser for uddannelse af personale på forskellige niveauer. I øjeblikket planlægges følgende 3 kurser, der vil blive afholdt på Teknologisk Institut.

kursus for varmemestre, pedeller mv. med ansvar for pasning af mindre ventilationsanlæg,
kursus for ventilationsmontører og andre, der arbejder med indregulering og klargøring af ventilationsanlæg,
kursus for maskinmestre og andre med ansvar for pasning af store ventilationsanlæg.

Det første kursus, der afholdes i marts 1971, sigter mod uddannelse af personale, der skal kunne passe og vedligeholde gængse ventilationsanlæg i bolig- og institutionsbyggeri, skoler, mindre industrivirksomheder mv. Kurset henvender sig fortrinsvis til personel uden særlig teknisk uddannelse. Kurset vil give deltagerne en orientering om indeklimaets fysik, en oversigt over den principielle opbygning og virkemåde af ventilationsanlæg, samt en grundig orientering om pasning og vedligeholdelse af anlægs-komponenter og system. Endvidere

gennemgås elementær måleteknik ved målinger på ventilationsanlæg, og der bliver arrangeret øvelser med relation til det gennemgåede stof på eksisterende anlæg. Der vil blive lagt vægt på, at deltagerne efter kurset skal kunne vurdere, i hvilke situationer det er nødvendigt at tilkalde specialisthjælp. Kursets varighed bliver 40 timer og deltagerprisen ca. 350 kr. For at sikre et maksimalt udbytte er deltagerantallet begrænset til højst 12.

Det andet kursus har som formål at sætte ventilationsmontører og andre, der er beskæftigede med klargøring af ventilationsanlæg, i stand til at indregulere og klargøre ventilationsanlægget til aflevering. Det forudsættes her, at deltagerne har praktisk erfaring i arbejde med ventilationsanlæg. Kurset vil omfatte en grundlæggende orientering om indeklimaets fysik og en kort gennemgang af den principielle opbygning og virkemåde af ventilationsanlæg. Der gives endvidere en orientering om principperne for kanalberegninger, så deltagerne får et indtryk af strømnings- og trykforhold i ventilationsystemer. Derpå gennemgås principperne for måling på ventilationsanlæg, og desuden gennemgås forskellige metoder til systematisk indregulering af anlæggene. Måleteknik og indregulering illustreres ved øvelser i indregulering og i brug af instrumenter. Endelig gennemgås principperne for anlæggenes klargøring til aflevering, og der gives en oversigt over de prøver, der må udføres i forbindelse med anlæggenes aflevering. Kursets varighed bliver 40 timer, og det første kursus forventes afholdt i foråret 1971. Deltagerprisen bliver ca. 400 kr., og deltagerantallet er begrænset til 12.

Det sidste af de planlagte kurser sigter mod uddannelse af personale, der har ansvar for pasning og vedlige-

holdelse af store, komplicerede ventilationsanlæg, f. eks. i store skoler, store kontorbygninger eller forretningscentre, i hospitaler eller andre store institutioner. Dette kursus vil blive temmelig omfattende – formentlig omkring 200 timer – og vil søge at give deltagerne en grundig indføring i ventilationsteknik, idet hovedvægten lægges på pasningen og vedligeholdelsen af anlæggene. Indholdet af dette kursus er endnu ikke fastlagt i detaljer; programmet forberedes i øjeblikket af et fagligt ventilationsudvalg nedsat af Teknologisk Institut og SBI, med repræsentanter for de organisationer og institutioner, der berøres af etableringen af denne uddannelse. Kurset vil bl. a. omfatte en gennemgang af det fysiologiske grundlag, indeklimaets fysik, ventilationsanlægs opbygning og funktion, beregning af anlæg, måleteknik, afprøvning, afleveringsprøver, principper for pasning og vedligeholdelse samt driftsøkonomi. Kurset henvender sig fortrinsvis til maskinmestre, der herved får mulighed for at supplere en tidligere uddannelse, men det kan sikkert også være af interesse for ingeniører og andre, der har ansvar for pasning og vedligeholdelse af store anlæg. Det første kursus afholdes i 1972.

Som det fremgår, er det en ganske omfattende kursusvirksomhed, der er planlagt vedrørende klargøring, pasning og vedligeholdelse af varme- og ventilationsanlæg. Disse kurser skulle gerne medvirke til, at de store udgifter, der er forbundet med installeringen af varme- og ventilationsanlæg, giver det forventede udbytte i form af tilfredshed med de installerede anlæg, større arbejds effektivitet og bedre mulighed for optimal udnyttelse af alle rum i bygningen. Betingelsen for at opnå den rette effekt af de planlagte kurser er imidlertid, at spørgsmålet om pasning og vedligeholdelse af planlagte og installerede anlæg behandles seriøst af alle implicerede parter. Bygherren må være indstillet på at bære de omkostninger, der er forbundet med at installere et kostbart og kompliceret anlæg, og være villig til at investere i et personale, der har de nødvendige kvalifikationer – eller ofre den uddannelse, der i givet fald skønnes påkrævet. Ingen vil normalt overlade pasning og vedligeholdelse af en bil til 20000 kr. til en ikke faguddannet; det kan derfor ikke være rimeligt, at pasningen af anlæg, der har kostet hundredetusinder eller måske millioner af kroner, overlades til folk, der ikke er fuldt kvalifice-

rede. I givet fald må den rådgivende ingeniør eller ventilationsentreprenøren vejlede bygherren. Begge parter kender de krav, der må stilles til driftspersonalets kvalifikationer, og det er i høj grad i firmaernes interesse, at det projekterede og udførte anlæg virker til bygherrens tilfredshed og i overensstemmelse med de intentioner, der ligger bag projektet. Under alle omstændigheder må man undgå, at anlæggene blot installeres, hvorefter ingen for alvor bekymrer sig om anlæggenes pasning og funktion.

Oversigt over kursusindhold for de to første kurser kan fås ved henvendelse til Teknologisk Institut, Hagemannsgade 2, 1607 København V, telefon (01) 15 87 60, lokal 200 og 201.

SUMMARY

Education of ventilating technicians

Heating and ventilating plants are becoming more and more complicated, and increasing demands are made on the qualifications of the working personnel. The Technological Institute in collaboration with SBI will in a near future start a series of courses in order to meet the need for an additional education.

Proces- og komfortventilation i industrien

Traditionelt skelnes der altid mellem komfortventilation og industri-ventilation. Det kan ikke være rigtigt; ligegyldigt hvor mennesker er beskæftiget, drejer det sig om komfortventilation, og noget helt andet er procesventilation.

Det er ofte således, at man går på akkord med klimaet af økonomiske grunde, fordi man ikke kender den økonomiske gevinst ved at bedre klimaet. Men i de kommende år må der ofres mere på indeklimaet. Den øgede viden vil skærpe kravene sammen med den almindelige mangel på arbejdskraft, og i alle tilfælde er det et simpelt funktionskrav til maskinerne, at de så vidt muligt ikke må indvirke på klimaet i det rum, hvor de opstilles.

Det er vigtigt i nye virksomheder at opfylde de berettigede krav til indeklimaet i videste forstand med hensyn til varme, lyd, lys, lugt og støv.

*P. Becher, dr.techn., og
O. Valbjørn, civilingeniør,
Statens Byggeforskningsinstitut.*

Der vil i de kommende år blive stillet øgede krav til indeklimaet i industrilokaler. Utilfredsheden mærkes allerede. Der synes da heller ikke at være nogen rimelig begrundelse for, at personer, der er beskæftiget i industrien, nødvendigvis skal underkaste sig de betingelser, arbejdsprocesserne kræver, eller at de skal tilpasse sig det klima, som tilfældigvis fremkommer, når maskiner og processer er i gang. Den forøgede viden om de tekniske muligheder vil også accentuere kravene til indeklimaet, og den almindelige arbejdskrafterspørgsel vil bevirke, at kravene kommer frem og må tages til efterretning.

Men der ligger endnu videre perspektiver i dette. Det altoverskygende problem i de kommende år er befolkningseksplosionen, år 2000 vil der være dobbelt så mange mennesker på jorden som nu. De industrialiserede lande vil derfor komme ud for et enormt pres og må yde en stor indsats for at hjælpe U-landene. Dette kan imidlertid kun lade sig gøre ved at øge arbejdsintensiteten eller ved at forlænge arbejdstiden, og begge dele kræver bedre indeklima.

Det påstås, at det koster penge at

skabe et godt indeklima. Det gør det naturligvis også, navnlig hvis man ikke tænker sig godt om på forhånd, men ingen kan vel være i tvivl om, at det også koster meget at have et utilfredsstillende indeklima fulgt af nedsat arbejdsydelse, nedsat påpasselighed med proces og materiel og afvandring af arbejdskraft. Desværre er det ikke muligt at vise, hvad der koster mest, der er jo så mange andre faktorer uden relation til indeklimaet, der også spiller ind, personlige og psykologiske forhold, træthed, motivation, løn osv.

En ting, der medvirker til at sløre begreberne, er at det er almindeligt at anvende betegnelserne komfortventilation og industriventilation således, at komfortventilation anvendes i forbindelse med boliger, kontorer, forsamlingsrum og skoler, mens industriventilation dækker ventilation i forbindelse med processer og produkter eller beskyttelse af personer mod giftige luftarter og støv. Men når det drejer sig om personer, er der ingen rimelig begrundelse for at skelne mellem den ene eller den anden form for beskæftigelse. Det er bare en historisk kendsgerning, at arbejderne i industrien gennem tiderne har måttet ind-

ordne sig under de gældende forhold, nemlig dem som processen kræver. Fremtidig bør der i industrien skelnes mellem

komfortventilation og
procesventilation.

BIM's erfaringer

Statens Byggeforskningsinstitut har i de senere år udført en del større og mindre undersøgelser på virksomheder, hvor der har været klaget over indeklimaet. Disse undersøgelser har vist, at der i industrien stilles krav om komfortventilation, som det kendes i kontorer o. lign., men ledelsen i de enkelte virksomheder har ikke forstået betydningen af at opfylde disse ønsker, selv om det kunne være gjort med få midler ved virksomhedens etablering. Det ses således, at der i virksomheder ukritisk installeres stærkt varmeafgivende eller støjfrembringende maskiner, eller maskiner hvis processer er særlig lugtafgivende, uden at bygningen indrettes herefter. Andre steder søges indeklimaproblemet løst ved gigantiske ventilationsanlæg, hvis virkning som regel bliver, at varme og lugt fordeles over hele det store rum.

Støj er der slet ingen, der tænker alvorligt på; ligger den over faregrænsen, klarer man sig med hørevat. Dårlig belysning med forkert farvesammensætning, blanding eller mange skarpe kontraster søger man heller ikke at forhindre.

Erfaringen viser også, at der anvendes megen tid inden for virksomhederne på at diskutere problemerne og at finde lette løsninger. Således søges der ofte med mindre ændringer på nogle få maskiner, virkningen af ændringerne bliver ikke mærkbar, og de forventede resultater udebliver.

Som regel er det virksomhedens driftsingeniør, der leder disse ventilationsprojekter og virker som rådgivende ingeniør med direkte kontakt til ventilationsentreprenøren. Men man kan ikke forvente eller forlange, at driftsingeniøren skal have den fornødne tid og specialviden til at kunne beregne og lede et sådant projekt, og resultatet er da ofte pauvert.

Arbejdstilsynet

Ved projektering af nye fabrikker anvendes formodentlig i vid udstrækning arbejdstilsynets vejledning »Projektering af erhvervsbyggeri« publ. nr. 25, 1969. Der står bl. a. i forordet til denne vejledning: »Hvis projektet afviger fra vejledningen, bør den stedlige fabriksinspektør, når planerne indsendes, have en skriftlig og motiveret redegørelse for, på hvilke punkter projektet afviger«. Senere står »Temperaturen bør aldrig overstige 25°C«. Sammenholdes disse to råd, må det altså være nødvendigt i næsten hvert enkelt tilfælde at foretage en beregning, der tager hensyn til det tidsmæssige forløb af varmebelastningerne for sol, personer og maskiner og til varmeakkumuleringen i bygninger og inventar for enten at sikre sig, at temperaturen aldrig overstiger 25°C eller for at kunne give en redegørelse for afvigelsen fra vejledningen. De samme krav må også gælde ved udvidelser, hvor der opstilles flere varmeafgivende maskiner i samme rum med uforandrede ventilationsmuligheder.

Et nyt funktionskrav til maskinerne

Ved komfortventilation i industrien drejer det sig om, at arbejdspladser-

nes klima bliver godt, og ikke klimaet i luftrummet som helhed i de store rum, hvor maskinerne er opstillet. Det vil sige, at det meget ofte kan være lokale belastninger, som måske kun har ringe indflydelse på bygnings varmebalance, man må koncentrere sig om. F. eks. strålingsvarme fra ovntørrede komponenter, køleluft fra maskiner, men også røg- eller dampafgivelse eller særlig støjende processer.

Mulighederne for, at dele af processen, som ikke kræver betjening, kan indelukkes i særlige rum, må overvejes, ligesom stærkt varmeafgivende maskiner bør adskilles fra den øvrige produktion. Med conveyersystemer er det ofte muligt at klare de transportproblemer, der måtte opstå.

Det viser sig ofte, at der sjældent tages hensyn til de klimatiske forhold ved konstruktionen af maskinerne. Det må være et af funktionskravene til enhver maskine, at den principielt ikke influerer på klimaet i det rum, hvor den opstilles. Ingen er nærmere end fabrikanten af maskinen til at udforme den mest hensigtsmæssige udbygning, den mest hensigtsmæssige isolering, afskærmning eller støjdæmpning.

Der stilles ofte urimelige krav om let adgang til maskiner, f. eks. af smørehensyn; men det må vurderes, hvor ofte denne smøring skal finde sted, så det ikke forhindrer opsætningen af en afskærmning mod varme-stråling.

Vi ved for lidt

I de fleste lærebøger, der beskæftiger sig med ventilation, indgår et afsnit om industriventilation med oplysninger om de forhold, processerne skal have i forskellige industrier, men det pointeres sjældent, at personerne ikke nødvendigvis skal indordne sig under disse processer.

Der har kun været foretaget meget få undersøgelser over sammenhængen mellem de påvirkninger fra varme, støj, lys, vi får gennem sanserne, og det har endnu ikke været muligt at fastlægge de nærmere relationer, der synes at afhænge i høj grad af det enkelte individ. Der er dog ingen tvivl om, at en vis addition af indtrykkene forekommer, hvilket f. eks. vil sige, at et højt støjniveau påvirker perso-

ners tolerance over for det termiske klima, således at kun en mindre afvigelse fra de termiske komfortbetingelser tolereres.

Ved forsøg er det blevet vist, at fejlprocenter ved manuelt arbejde kan formindskes ved at øge belysningsniveauet til en optimal værdi. Ligeledes må det være muligt at vise, at det økonomisk er en fordel for virksomhederne, at klimaet bliver optimalt. Der er da også i tyverne og trediverne foretaget en række forsøg, som viste store produktionsfremgange og ulykkesnedgange i virksomheder, hvor der blev taget hensyn til personernes temperaturønsker fremfor processernes optimale temperaturer (bomuldsspindrier). I dag vil det formentlig være endnu vanskeligere at opnå tydelige resultater på grund af den rationalisering og effektivisering, der har fundet sted.

Det er derfor på høje tid, der sættes en forskning i gang for at belyse, hvorledes relationerne mellem varme, lyd, lys, lugt og støv skal være for at give det bedst mulige indeklima på industriens arbejdspladser.

Læs også D. P. Wyon: Det fysiske miljøes indflydelse på den mentale præstation. VVS nr. 10, 1971. ■

SUMMARY

Process and comfort ventilation in the industry

Traditionally, a distinction is made between comfort ventilation and industrial ventilation. However, this cannot be correct; no matter where people are occupied, it will always be a question of comfort ventilation, and process ventilation is quite a different matter. It is often so that the climate is compromised with for economic reasons, because the profit gained from improving the climate is unknown. But in the future more must be spent on the indoor climate. The increased knowledge and the general lack of man-power will intensify the demands, and as regards the machines it is in any case a simple functional requirement that as far as possible they may not alter the climate in the room where they are placed.

In coming factories it is important that the just demands on the climate as regards heat, sound, light, odour and dust are complied with to the greatest possible extent.

SBI-rapporter

fortsat fra omslagets anden inderside

- 32 Beregning af bærende konstruktioner ved hjælp af elektronisk cifferregnemaskine. 1. Plane konstruktioner sammensat af lige stænger. Analysis of Loadbearing Structures by Means of Electronic Digital Computer. 1. Two-Dimensional Structures Composed of Straight Members. V. Galløe. 1959. 68 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 18,40.
- 33 Forsøg med større centralvarmekedel i Stationsparken. Test on a Boiler in a Central Heating Plant. P. Olufsen og Poul H. Rasmussen. 1959. 54 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 13,80.
- 34 Virkningen af byggetekniske fejl og mangler på vedligeholdelsesomkostningerne. The Effect of Faults in Building Techniques on Maintenance Costs. Erik Allin. 1959. 46 p. A4. Kr. 13,80.
- 35 Afløbsledninger og dræn. Waste Pipes and Drains. Ove Hyllested. 1959. 22 p. A4. Kr. 9,20.
- 36 Røgundersøgelser ved større centralvarmeanlæg. Smoke Problems at Big Heating Plants. Knud Hansen. 1960. 60 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 18,40.
- 37 Om rengøringsudgifter - deres afhængighed af bygningens materialer og udformning. Cleaning Expenses - how they are Affected by the Materials and Planning of a Building. Alfred Born. 1960. 36 p. A4. Kr. 9,20.
- 38 Samlingsproblemer i montagebyggeri. Problems of Joining Room-Sized Building Units. Johs. F. Munch Petersen og Ove Eriksson. 1960. 2. reviderede udgave 1963. 24 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 11,50.
- 39 Lydisolation i boligbyggeri. Sound Insulation of Dwellings. Fritz Ingerslev og Jørgen Kristensen. 1960. 114 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt. Out of print).
- 40 Bestrygningsmidler til fugtige ydervægge. Water Repellents for Exterior Brickwork. H. Dührkop og C. Falk. 1960. 48 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt. Out of print).
- 41 Bedre arbejdstegninger - et svensk forslag udarbejdet af HEALTH-gruppen. Better Working Drawings - a Swedish Proposal presented by the HEALTH-committee. Sven A. Tyrén. 1960. 32 p. A4. Kr. 9,20.
- 42 Facadebeklædningslementer. Facing Elements. Knud E. C. Nielsen. 1961. 28 p. A4. Kr. 11,50.
- 43 Projektmateriallets rationalisering. Rationalization of Contract Documents. Bjørn Bindslev. 1961. 80 p. A4. Kr. 17,25.
- 44 Boligventilation. Ventilation of Houses. Poul Becher og L. Evensen. 1961. 84 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 34,50.
- 45 Villakvarterets udformning. Planning of Garden Suburbs. Peter Bredsdorff. 1962. 22 p. A4. Kr. 11,50.
- 46 Bibliography on Building Documentation 1938-1962. R. Mølgaard Hansen. 1962. 40 p. A5. In English. Kr. 9,20.
- 47 Dagophold og sovsteder i etageboligen. En undersøgelse af rummenes brug i 3- og 4-rums lejligheder. Living Areas and Sleeping Places in Flats. A Study of the Utilization of the Rooms in 3- and 4-Room Flats. Aage Dalgas Rasmussen. 1963. 48 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 20,70.
- 48 Vejledning i bedømmelse af kvaliteten af den ældre bygningsbestand til brug ved kondemnering efter lov om boligtilsyn. Manual in Appraisal of the Quality of the Older Housing Stock According to the Rules for Condemnation Established by the Danish Building Inspection Act. Troels Smith. 1963. 64 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 28,75.
- 49 Spredningen på radiatorventilers strømningsmodstand. A Study of the Dispersion Displayed by Radiator Valves. Sven Mandorff, Kaj Ovesen og Hanne Spøhr. 1963. 82 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 28,75.
- 50 Fukt og fukttransport i porøse materialer. Moisture and Migration of Moisture in Porous Materials. Annanias Tveit. 1964. 20 p. A4. Norsk tekst med engelsk resume. Norwegian text with an English summary. Samtidig udsendt som rapport 39 fra Norges Byggeforskningsinstitut. Kr. 9,20.
- 51 Fjernvarmens økonomiske og juridiske problemer. Economical and Legal Problems of District Heating. Frederik E. Olsen. 1964. 2. reviderede udgave 1971. 36 p. A4. Kr. 21,00.
- 52 Sammenligning af varme- og lydtekniske forhold ved koblede vinduer og hermetikruder. A Comparison between Double Windows and Sealed Double-Glazed Windows from a Thermal and Acoustic Point of View. Georg Christensen. 1965. 24 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 17,25.
- 53 Et forsøgsapparat til bedømmelse af ydervægges frostbestandighed. A test Apparatus for Evaluation of the Frost Resistance of Outer Wall Constructions. Georg Christensen. 1965. 22 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 17,25.
- 54 Malings holdbarhed. Forsøg med maling af vinduer i nybygninger. Forsøg med maling af jernpladetage. En sammenligning af bygningsmalings holdbarhed udendørs og i weather-Ometre. The Durability of Paint. The Durability of Paint on Windows of New Houses. Testing the Paint of Galvanized Roofing Sheets. Correlation of the Durabilities of House Paints after Outdoor Exposure and after Testing in Weather-Ometers. Poul Becher, Karl Otto Juel Rasmussen og H. K. Raaschou Nielsen. 1965. 50 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 28,75.
- 55 Undersøgelse af et mindre fjernvarmeanlæg. Investigation of a Small District Heating Plant. Peter Olufsen. 1965. 2. oplag 1967. 44 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 28,75.
- 56 Måltypisering. Preferred Dimensions. 1966. 112 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 18,40.
- 57 Indendørsklima i skoler. In-Door Climate in Schools. Ib Andersen og G. R. Lundquist. 1966. 100 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 52,35.
- 58 Charlottetøj. Erfaringer fra opførelsen af et muret højhus. Charlottetøj. Experience Gained in the Erection of a Multi-Story Brickwork Building. 1967. 24 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 15,90.
- 59 Full Scale Fire Tests. The Spread of Fire from a Chamber to a Corridor. 1967. 56 p. + Enclosure. A4. In English. Kr. 52,35.
- 60 Boligundersøgelse i bebyggelsen Værebros Park. User Study in the Housing Estate: »Værebros Park«. Ingrid Gehl og Finn Vedel-Petersen. 1969. 54 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 36,80.
- 61 Elektrisk opvarmning ved vinterstøbning af beton. Electric Heating by Winter-Concreting. Alice Kjær. 1969. 2. oplag 1969. 38 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 23,00.

SBI-rapporter

fortsat fra omslagets indersider

- 62 Styrkeforsøg med dansk gran samt en vurdering af styrkesorteringens virkninger.** Strength Tests Applied to Danish Grown Spruce and an Evaluation of the Results of the Grading. Marius Johansen, T. Feldborg Nielsen og Hanne Spøhr. 1969. 22 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 18,40.
- 63 Klargøring af ventilationsanlæg.** Fire artikler. Commissioning Air Distribution Systems. Four Articles. 1969. 44 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 23,00.
- 64 Undersøgelse af lydisolering mellem boliger i rækkehuse og lignende bebyggelser.** Sound Transmission Between Individual Dwellings in Terrace Houses and Houses of Similar Types. Jørgen Kristensen. 1970. 40 p. + 3 tvlr. A4. Danish text with an English summary. Kr. 23,00.
- 65 Styrke- og stivhedsforsøg med brædder og plader til tage og gulve.** Strength and Rigidity of Boards and Sheets for Roofs and Floors. T. Feldborg Nielsen og Marius Johansen. 1970. 62 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 27,60.
- 66 A Method to Determine the Dimensions of a Structural Element Corresponding to a Given Probability of Failure.** Eero Paloheimo. 1970. 26 p. A4. In English. Kr. 23,00.
- 67 Forsøg med træforbindelser med bolte og mellem-læg.** Investigation of Timber Joints with Bolts and Connectors. T. Feldborg Nielsen og Marius Johansen. 1970. 46 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 23,00.
- 68 Sources of Error by Strain Gage Measurements on Models Made of Plexiglas. A Theoretical and Experimental Analysis of Uncertainty and a Proposal for Principles of Testing.** Mogens Buhelt. 1971. 46 p. A4. In English. Kr. 23,00.
- 69 Proposal for a Data Language. Second Report.** Olaf Kayser. 1970. 76 p. A4. In English. Kr. 23,00.
- 70 Design of Interacting Systems for Production and Distribution of Ready Mixed Concrete. An OR-Study of a Multiple-Channel Queueing System with Erlang (Constant) Distributed Service-time.** Erik Maaløe. 1971. 64 p. A4. In English. Kr. 36,80.
- 71 Bo-miljø.** Housing Milieu. Ingrid Gehl. 1971. 176 p. A5. Danish text with an English summary. Kr. 19,50.
- 72 Rationalisering af el-installationer i montagebyggeri.** Rationalization of Electric Installations in Prefabricated Constructions. 1970. 64 p. A5. Danish text with an English summary. Kr. 21,00.
- 73 Udviklingen i boligbyggeri og boligudgifter 1967 til 1985.** Development in Housing Construction and Housing Expenditure 1967 to 1985. Dan Ove Pedersen og Hanne Spøhr. 1971. 64 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 23,00.
- 74 Meninger om mennesker og miljø.** En debatbog. 20 Views on the Urban Environment. 1971. 172 p. A5. Kr. 19,50.
- 75 Tæt lav - en boligform: Eksempelsamling.** Low-Rise High-Density Housing: 83 Examples. 1971. 182 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 59,80.
- 76 Tæt lav - en boligform: Bo-miljøundersøgelse i 11 bebyggelser.** Low-Rise High-Density Housing: User Reactions in 11 Projects around Copenhagen. 1971. 3. oplag 1971. 192 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 59,80.
- 77 Tæt lav - en boligform: Planlægning.** Low-Rise High-Density Housing: Planning. 1971. 160 p. A4. Kr. 59,80.
- 78 BIM 70. SBI's indeklimatiske undersøgelser.** SBI's Indoor Climate Measurements. Poul Becher, Ole Valbjørn og Erik Christophersen. 1971. 36 p. A4. Kr. 23,00.
- 79 Measurement of Moisture Transfer in Building Materials.** Alice Kjær og Georg Christensen. 1971. 18 p. A4. In English. Kr. 23,00.

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUTS publikationer er udsendt i følgende udgivelsesrækker: *SBI-anvisninger*, *SBI-rapporter*, *SBI-landbrugsbyggeri*, *SBI-byplanlægning*, *Nyt Skolebyggeri*, *SBI-studier*, *SBI interne studier*, *Alkaliudvalgets vejledninger*, *Progress Reports vedrørende alkalireaktioner i beton*, *SBI-særtryk*, *SBI-nomogrammer*. Alle SBI-publikationer fås gennem boghandelen, eller hos Teknisk Forlag, Skelbækgade 4, 1717 København V. Telefon (01) 21 68 01. - Er De interesseret i at blive holdt orienteret om nye publikationer fra SBI, er der en fordelagtig abonnementsordning. - Rekvirér SBI's publikationsfortegnelser.