

SBI-publ.

BIM 72

SBI's INDEKLIMATISKE UNDERSØGELSER



**STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT · SBI-RAPPORT 86
KØBENHAVN 1973 · 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 varmeisolerings. Economical Heat Insulation. Poul Becher. 1949. 2. udgave 1950. 64 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 8,05.
- 2 Gymnastiksales 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 stålladser 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. Impach 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 Lufflyd 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 of 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. Grethe 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 oliefyrringsanlæg. 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 udførelsesgrundlaget 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. Winckelmann. 1959. 18 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 9,20.

Fortegnelsen fortsætter på omslagets næste inderside

UDK 628.8

BIM 72

SBI's indeklimatiske undersøgelser

Civilingeniør, dr. techn. Poul Becher, SBI - Civilingeniør Ole Valbjørn, SBI

Afdelingsleder, dr. techn. Niels Jonassen, DtH

Civilingeniør Svein Myklebost, NBI

Civilingeniør Peter Olufsen, SBI - Civilingeniør E. Christophersen, SBI

Ingeniørerne Al. Christea & T. Teretean, INERC

01057P
STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
EX-4
- 3 JAN. 1984

SÆRTRYK AF VVS

INDHOLD

SKOLENS INDEKLIMA

civilingeniør, dr. techn. *Poul Becher*, SBI

VVS nr. 8, 1972 3

SKOLER MED RADIATORER OG NATURLIG VENTILATION

civilingeniør *Ole Valbjørn*, SBI

VVS nr. 9, 1972 5

STATISK ELEKTRICITET

afdelingsleder, dr. techn. *Niels Jonassen*, Dth

VVS nr. 3, 1972 8

FÆLLESNORDISKE REGLER FOR PROCEDUREN VED KALIBRERING AF MÅLEINSTRUMENTER FOR LUFTHASTIGHED OG LUFTMÆNGDE

civilingeniør *Svein Myklebost*, NBI

VVS nr. 12, 1972 13

KALIBRERING AF ANEMOMETRE

civilingeniør *Peter Olufsen*, SBI

VVS nr. 1, 1972 15

MÅLINGER PÅ VENTILATIONSANLÆG VED VARIERENDE TEMPERATUR OG TRYK

civilingeniør *Peter Olufsen*, SBI

VVS nr. 5, 1972 17

MÅLING AF LUFTMÆNGDER VED VENTILATIONSÅBNINGER

civilingeniør *E. Christophersen*, SBI

VVS nr. 10, 1972 21

KORREKTIONSFAKTORER FOR VENTILATORER MED FORSKELLIGE FORBINDELSER TIL SUGEÅBNINGEN

ingeniør *Al. Christea* og ingeniør *T. Teretean*, INERC

VVS nr. 6, 1972 27

TOLERANCER FOR VENTILATIONSANLÆG, 1

civilingeniør *E. Christophersen*, SBI

VVS nr. 4, 1972 31

TOLERANCER FOR VENTILATIONSANLÆG, 2

civilingeniør *E. Christophersen*, SBI

VVS nr. 1, 1973 35

SNAVS

civilingeniør *Ole Valbjørn*, SBI

VVS nr. 11, 1972 40

BIM, Byggeriets Indeklima Målestation.

Adresse: Statens Byggeforskningsinstitut, Lundtoftevej 7, 2800 Lyngby

ISBN 87 563 0111 1

Skolens indeklima

Civilingeniør, dr. techn. Poul Becher, Statens Byggeforskningsinstitut.

Det er desværre en almindelig erfaring, at indeklimaet i vore skoler, gamle som ny, meget ofte ikke er så godt, som det burde være. Undervisningsministeriet har derfor ment, at det ville gavne, hvis der blev udsendt en vejledning om projekteringen, udførelsen og driften af ventilationsanlæg i skoler.

Den 17. april 1972 er der udsendt et cirkulære, »Cirkulære om udsendelse af en vejledning vedrørende skolers indeklima«, der henvender sig både til bygherrer, projekterende og udførende. Nedenfor skal der knyttes nogle bemærkninger til vejledningen.

Brugerne af en skole er udelukkende interesserede i, hvilket indeklima der er i skolen, og ikke i, hvorledes opvarmningen og ventilationen foregår. Bygherrens interesse er derfor at få så godt et indeklima som muligt for de penge, der kan ofres herpå i anlæg og drift. Allerede under skitseprojekteringen må der derfor udarbejdes forskellige forslag, så bygherren sammen med de projekterende kan vælge de bygningskonstruktioner og det ventilationsanlæg, der – alle forhold taget i betragtning – giver mest for pengene. Hvordan ventilationsanlægget så skal udformes, bliver en opgave for de projekterende, og detailudformningen er bygherren næppe interesseret i.

Til gengæld må bygherren have en rimelig sikkerhed for, at anlægget kan opretholde det aftalte indeklima, og det må konstateres ved en afleveringsprøve, som bygherren betaler. Der må derfor afsættes penge hertil i overslaget for byggeriet. Denne afleveringsprøve må foretages af en uvildig instans, da undersøgelserne jo indebærer en kontrol af både projekt og udførelse.

I den forbindelse kan det oplyses,

Der skal i de kommende 10 år bygges skoler for noget i retning af 5 mia kr. Disse skoler skal anvendes langt ind i næste århundrede; det er derfor af stor betydning, at de indrettes så godt, som vor tekniske kunnen formår inden for de givne økonomiske rammer.

at BIM kan påtage sig afleveringsprøver og gerne giver råd og vejledning herom.

Temperaturen

Det vil fremover blive nødvendigt at fastsætte de nødvendige ventilationsluftmængder ud fra en detaljeret gennemregning under hensyn til de varierende varmebelastninger. Om disse beregninger så skal udføres manuelt eller maskinelt er underordnet. Men det vil i alle tilfælde lette opgaven, hvis der først overslagsmæssigt beregnes de mulige maksimalværdier for temperaturen ud fra en beregning af døgnmiddeltemperaturen – som angivet i P. Becher, *Varme og Ventilation*, 1971, bind 1, side 133 ff.

I vejledningen er det omtalt, at hvis vinduerne orienteres mod solrige retninger, skal de solafskærmedes. Heri ligger, i modsætning til tidligere bestemmelser om skolebyggeri, at det nu tilrådes at vende vinduerne i klasseværelserne mod nord. Der står også, at solafskærmninger skal anvendes uden for rummenes benyttelsestider; det betyder, at de i østvendte rum skal være i brug, lige fra solen begynder at skinne ind. Det må derfor udtrykkelig pointeres i driftsinstruktionen, hvornår de skal anvendes.

Hvad temperaturniveauet angår, må det principielt kunne holdes inden for 18–23°C. Det må desuden anses for at være en menneskerettighed, at temperaturen i dette område kan holdes med en rimelig nøjagtighed på enhver værdi efter elevernes aktivitet og ønsker.

Dette volder næppe de store vanskeligheder om vinteren, hverken i projekteringen eller udførelsen, men værre er det med den øvre grænse i overgangsperioderne og om sommeren. Her må man finde sig i at komme op

på højere temperaturer på særlig varme dage, idet det vil være ganske urimeligt at installere køleanlæg. Et kriterium kan f. eks. være at temperaturen i et klasserum ikke må komme over 25°C i højst 20 % af undervisningstiden i en normal maj måned. Der findes endnu ikke tilstrækkeligt materiale om udeklimaet til at fastsætte standarddata som beregningsforudsætninger. Foreløbig må man nøjes med de data, der står i ovennævnte lærebog, men der arbejdes på at fremskaffe bedre materiale.

Hygiejne

Den indblæste luft skal filtreres, for at der ikke skal føres for store støvmængder ind i rummene. Men der må heller ikke afsættes støv i anlæggene, det er i højeste grad uhygiejnisk, og hertil kommer, at støvafsætning i ventilationssystemet kan reducere luftmængderne betydeligt. Navnlig induktionsanlæg er meget ømfindelige for støvafsætning i indblæsningsdyserne og på varmefladerne.

Der findes endnu ingen dansk norm for kvalitetsbetegnelser for filtre; der henvises derfor igen til det forslag, som findes i ovennævnte lærebog. Herefter skal der mindst anvendes filtre efter klasse 1, bedre anlæg, med udskilningsgrad 90–95° efter AFI-test, section 1, og det må tilrådes ikke at slække på kravene her.

Fugtighed

Det vil næppe her i landet blive nødvendigt at anvende befugtning af ventilationsluften; man kommer aldrig i skoler ned på så lav relativ fugtighed, at det kan mærkes. Det er desuden dyrt og meget besværligt at drive et befugtningssystem. Men det er heller ikke gjort med at installere selve befugteren; alle bygningskonstrukti-

ner skal udformes, så der ikke kan opstå kondensationsskader ved den højere luftfugtighed. Selv om ventilationsanlæggene ikke ligefrem holder overtryk i rummene, vil vindforholdene bevirke, at der kan komme overtryk i visse rum, så fugtig luft ligefrem presses ind i ydervægge og tag, udover den til enhver tid uundgåelige fugtdiffusion.

Anlæggenes udformning

I mange tilfælde vil der blive installeret et radiatoranlæg, som skal arbejde sammen med ventilationsanlægget. Det sværeste ved et varmeanlæg er imidlertid ikke at få det til at varme, men at få det til at lade være med at varme. Det sidste må der tænkes på ved opdelingen i radiatorflader og udformningen af det automatiske reguleringsystem.

Både ventilationsanlæggene og deres reguleringsystem bør indrettes så

enkle som muligt under hensyn til, at det ofte vil være umuligt at skaffe tilstrækkeligt kvalificeret driftspersonale og tilsyn til mere komplicerede anlæg.

Det er indlysende, at der i en skole må tages vidtgående hensyn til støjproblemerne. Anlæggene må derfor udformes, så der ikke produceres for megen støj i dem, og kanalerne må lyddæmpes passende. Ventilatorrummene må desuden placeres og lydisoleres, så de ikke giver støjgener.

Ventilationsaggregaterne bør i øvrigt arrangeres, så de bliver lette at vedligeholde, og samles i ganske få ventilatorrum.

Brand

I Bygningsreglementet, udgaven 1972, er der en del ny bestemmelser om brandsikringen af skoler, som der skal tages hensyn til. Men ethvert ventilationsanlæg medfører en øget brandrisiko, og det må der tænkes på ved

projekteringen. Der er i tidens løb foretaget grove fejl i denne retning. Kanaler og alle dele af anlægget må desuden efterses og renses mindst én gang om året. Navnlig lige efter bygningens ibrugtagning må alt efterses. Det er f. eks. ret almindeligt, at ventilatorrum og kanaler anvendes til at stoppe indpakningsmateriale væk i.

SUMMARY

Indoor climate in schools

The Ministry of Education has published directions for design of schools with mechanical ventilation. In the article attention is drawn to the directions and the main points are discussed. It is said that the owner should receive calculations giving data for the indoor temperature during extreme outdoor conditions, and that the ventilation system must be designed with regard to low running costs as well as easy maintenance. According to the directions the owner should require delivery tests performed by an independent authority.

Skoler med radiatorer og naturlig ventilation

Undervisningsministeriet har pr. 17. april 1972 udsendt et cirkulære om skolernes indeklima med henblik på projektering af ny skoler med mekanisk ventilation. I de mange naturligt ventilerede skoler, der er i brug i dag, er det muligt at forbedre indeklimaet, så det svarer til de krav, der stilles i cirkulæret, men det kræver en indsats af både driftspersonale, lærere og elever.

*Civilingeniør Ole Valbjørn,
Statens Byggeforskningsinstitut.*

Undervisningsministeriet har i april 1972 udsendt et cirkulære vedrørende indeklimaet i mekanisk ventilerede skoler (1). I cirkulæret omtales indeklimatiske forhold, der skal tilstræbes i fremtidigt skolebyggeri for at opnå det bedst mulige fysiske klima for undervisningen. Disse retningslinier for indeklimaet bør naturligvis også søges opfyldt i de mange skoler, der udelukkende ventileres ved naturlig ventilation og opvarmes med radiatorer, og det er muligt i de fleste af disse skoler at opretholde rimelige indeklimatiske forhold, blot ved en ringe indsats af driftspersonale, lærere og elever; men det kræver interesse og forståelse af problemerne hos alle tre parter.

Byggeriets Indeklima Målestation (BIM) har foretaget nogle undersøgelser i sådanne skoler for at klarlægge årsager til klager over indeklimaet. Ligeledes er der af Hygiejnisk Institut foretaget en undersøgelsesrække i 7 skoler (2), heraf 5 skoler der var radiatoropvarmede og med naturlig ventilation. Alle undersøgelser har vist, at der meget ofte, selv i vintersæsonen, forekommer temperaturer over 23°C i undervisningstiden, og endvidere at luftkvaliteten bedømt subjektivt eller ved en kuldioxydmåling som indikation samtidig er blevet bedømt som ringere end ønskeligt.

I mange skoler forekommer tillige klager over statisk elektricitet.

Ved BIM's undersøgelser tilstræbes det at finde årsagen til de konstaterede

forhold, og det har som regel været muligt at påpege forhold, der kunne være taget højde for ved projekteringen, udførelsen og driften af skolen og de installerede radiatoranlæg. Det har endvidere kunnet påvises, at elevernes og lærernes anvendelse af de muligheder, der foreligger for at regulere indeklimaet til et mere tilfredsstillende niveau, ikke har været udnyttet.

Hvad er der i vejen?

De indeklimafaktorer, der påvirker personernes fysiske velvære, er hovedsagelig lufttemperatur, middelstrålingstemperatur, lufthastighed og lugt. Endvidere kan statisk elektricitet virke generende, hvis den optræder i en sådan grad, at der opstår elektriske udladninger.

Gennem adskillige forsøg er det påvist, at man ikke kan mærke, om luften er tør eller fugtig, mennesket har ingen fugtsans. Lav relativ luftfugtighed med begyndende udtørring af slimhinder til følge vil kun opstå ganske få dage om året med stærk frost og erfaringsmæssigt aldrig i skoler, hvor der er moderat ventilation og mange personer i klasseværelserne.

Temperaturniveauet om morgenen er i radiatoropvarmede skoler bestemt bl. a. af den stilling, radiatorventilerne efterlades i om eftermiddagen, når eleverne forlader klasserne, samt af indstillingen af fremløbstemperaturen på varmeanlægget. I løbet af dagen er niveauet, foruden af radiatorventil-

indstillingen og fremløbstemperaturen, bestemt af i hvor høj grad der udluftes i frikvarterer og timer. Om dagen påvirkes temperaturniveauet af solindfaldet, belysningen og elevernes afgivne varme.

Lugtniveauet er bestemt af udluftningen i timer og frikvarterer og påvirkes af elevantallet, elevernes hygiejniske standard og deres beskæftigelse.

Når temperaturniveau og luftkvalitet således ikke kan fastholdes på et passende niveau uden ydre indgreb, må der til brug for skolens ledelse og driftspersonale gives klare retningslinier for de foranstaltninger, der kan sikre passende temperaturniveau og luftkvalitet. Som regel mangler de desværre fuldstændig.

Vore undersøgelser har vist, at der kun udluftes i ca. 50 % af frikvartererne på dage, hvor temperaturniveauet inde ligger på 23–24°C. Desuden fremgår det, at temperaturerne om morgenen på grund af radiatorventilernes tilfældige indstilling i en skole kan ligge på værdier fra 20 til 24°C i de forskellige klasseværelser. Er der termostatiske radiatorventiler, er det ikke bedre, da de som regel bruges som on-off ventiler. Et problem er undertiden, at radiatorerne har så stor masse, at afkølingstiden fra ventilen er lukket bliver lang. Man kan således komme ud for, at radiatorer i timen efter, at ventilen er lukket, afgiver 75 % af den varmemængde, de afgiver med åben ventil.

vinduernes position	luftskifte gange pr. time bestemt af vinduernes position og vinden	solskærmning	døgnmiddeltemperatur °C
lukkede vinduer	1	ingen	34
		lyse gardiner hele døgnet (f = 0,6*)	28
åbne vinduer hele døgnet	3	ingen	23,5
		lyse gardiner hele døgnet	21
åbne vinduer kun om dagen i ca. 12 timer	2	lyse gardiner hele døgnet	23
		lyse gardiner efter kl. 8.00	25
		udv. persienne hele døgnet (f = 0,1 belysning tændt i 6 timer)	21
		udv. persienne til kl. 8.00 - derefter lyse gardiner	20,5
		som ovenfor, men med 1/2 belysning tændt i 6 timer	22

* f = 0,6 betyder, at 60 % af solindfaldet passerer solafskærmningen.

Tabel 1. Beregnet døgnmiddeltemperatur for et østvendt klasseværelse i en skole med naturlig ventilation og forskellig brug af solafskærmning. Den maksimale temperatur er 3-5° over døgnmiddeltemperaturen.

Det er ikke sikret, at radiatorer kun varmer, når der er behov for det, dvs. at de kan reguleres, at temperaturen ved undervisningens begyndelse ikke er for høj, at der udluftes tilstrækkeligt, at eventuel solafskærmning er i brug, når der er sol på facaden, samt at den elektriske belysning kun er tændt, når der er behov for det.

Er temperaturniveauet for højt i for stor en del af undervisningstiden, kan det være nødvendigt at montere nye eller bedre solafskærmning, og den rådgivende ingeniør må da vurdere, hvilken indflydelse solafskærmningen forventes at få. Virkningen kan passende vurderes på grundlag af en beregning af rumluftens døgnmiddeltemperatur under stationære forhold i en varm periode. Denne beregnings resultat må bedømmes ved en sammenligning med en tilsvarende beregning med den solafskærmning, der findes f. eks. med de eksisterende, indvendige gardiner

trukket for. Skolen må gøres bekendt med, i hvilket omfang solafskærmningen skal anvendes, idet virkningen ellers ofte nedsættes ved uhensigtsmæssig brug, f. eks. ved samtidig brug af solafskærmning og elektrisk belysning eller ved i østvendte klasseværelser først at bruge solafskærmningen fra undervisningens begyndelse kl. 8, hvor solen allerede har været på himlen i flere timer og skinnen ind gennem vinduerne.

Beregning af døgnmiddeltemperatur

Ved en beregning af døgnmiddeltemperaturen kan der regnes med et luftskifte på 0,5-1 gang pr. time, når døre og vinduer er lukkede, og 3-4 gange pr. time med åbne vinduer og svag vind, som det ofte forekommer på varme, solrige dage. Temperaturforløbet vil ligne en sinuskurve omkring døgnmiddeltemperaturen, og

maksimumtemperaturen vil normalt blive 3-5°C højere end døgnmiddeltemperaturen. En sænkning af døgnmiddeltemperaturen på 1 à 2°C vil mindst svare til en sænkning af maksimumtemperaturen på 2°C, idet udsvinget i den sinusformede temperaturkurve også bliver mindre.

Tabel 1 viser døgnmiddeltemperaturen under døgnstationære forhold, dvs. efter ca. 5 dages konstant sol i maj måned i en skoles østvendte klasseværelser. Der er regnet med forskellig ventilationsluftmængde og solafskærmning.

Det fremgår bl. a. af tabellen, at der vindes 2°C ved at sørge for, at de indvendige gardiner er trukket for fra solopgang fremfor fra kl. 8. Det ses også, at udvendige persiener, der reducerer dagslystilgangen, så det er nødvendigt at tænde den elektriske belysning, kun har virkning, når de anvendes uden for undervisningstiden, hvor belysningsvarmen ikke ophæver den varme, der tilbageholdes ved solafskærmningen.

Døgnmiddeltemperaturen i tabellen er bestemt efter formlen

$$\bar{t}_i = \frac{B_1 \bar{t}_1 + B_u \bar{t}_u + \bar{Q}_k + \bar{Q}_s}{B_1 + B_u}$$

hvor \bar{t}_i er døgnmiddeltemperaturen af indeluften og overfladerne °C

\bar{t}_1 døgnmiddeltemperaturen af ventilationsluften °C

\bar{t}_u døgnmiddeltemperaturen af udeluften °C

B_1 den ventilationsluften tilførte varme kcal/h°C

B_u den fra rummet til det fri afgivne varme kcal/h°C

$\bar{Q}_k + \bar{Q}_s$ den samlede belastning ved stråling og konvektion for hele døgnet fordelt på hver af døgnets timer kcal/h

Forudsætningen for anvendelsen af denne formel er, at der gennemløbes så mange døgn med samme gentagne belastning, så døgnstationære tilstande nås; det sker sjældent, men selv om værdierne derfor bliver lidt højere end i praksis, giver beregningen alligevel størrelsesordenen af temperaturerne, og det må erindres, at de maksimale temperaturer ligger 3-5°C højere end døgnmiddeltemperaturen. Endvidere forudsættes det, at de omgven-

de rum har samme temperaturforløb som det, der regnes på.

En detaljeret beskrivelse af døgnmiddeltemperaturberegningen findes i afsnittet »Bygningers varmebalance« i Poul Becher: Varme og ventilation 1, Teknisk Forlag, 4. udgave, København 1971, hvor også den fuldstændige beregning under ikke-stationære tilstande er gennemgået.

Det kan ikke forventes, at forsøg med montering af solafskærmning i et enkelt klasseværelse giver resultater, som kan anvendes til bedømmelse af virkningen, fordi selve brugen af klasseværelset, som det er set i tabel 1, har lige så stor betydning for resultaterne som afskærmningen. Endvidere vil der jo fra de øvrige klasseværelser overføres varme både ved transmission gennem vægge og ved luftveksling. Der må regnes på forskellige variationer, f. eks. som det er vist her, det er den tendens, beregningerne viser, der har interesse. Beregninger af temperaturforløbene døgnet igennem under ikke-stationære tilstande er naturligvis mere realistisk, men i skoler, hvor man ved, der bliver for varmt, og ventilationsmulighederne er begrænsede, er døgnmiddeltemperaturberegningen tilstrækkelig.

Gode råd

I skoler med radiatoropvarmning og naturlig ventilation kan luftkvalitet og lufttemperatur forbedres væsentligt, hvis de følgende råd følges ved drift og brugen af skolen:

fremløbstemperaturen til radiatoranlægget styres således, at lufttemperaturen om morgenen i klasseværelserne er ca. 20°C med åbne radiatorventiler, og således at lufttemperaturen om natten er væsentlig lavere end ca. 20°C,

samt alle håndregulerede radiatorventiler indstilles, efter at undervisning er slut, i åben stilling af skolebetjenten. For at få ens temperaturer i klasseværelserne må anlægget være godt indreguleret,

skolebetjenten kontrollerer hver morgen nogle timer før undervisningens begyndelse, at temperaturen ikke er under 18-20°C. Det er normalt tilstrækkeligt at kontrollere i nogle få typiske klasseværelser, når blot de ovennævnte retningslinier er overholdt,

termostatiske radiatorventiler begrænses i indstillingen enten til en fast værdi eller til et område inden for 18-23°C og indstilles efter at undervisningen er slut til ca. 20°C,

solafskærmning (udvendige eller indvendige persiener eller indvendige gardiner) anvendes om eftermiddagen og aftenen i vestvendte lokaler og fra solopgang i østvendte lokaler, der udluftes konsekvent i alle frikvartererne ved vinduesventilation og i timerne så meget som muligt, uden at det giver støj- og trækgener, siddepladser nær vinduerne rykkes eventuelt længere ind mod klassens midte for at undgå trækgener ved udluftning,

belysningsniveauet sænkes, hvis det er over 300 lux, eventuelt sørges for, at elektrisk belysning kun anvendes ved opholdspladser, hvor niveauet er for lavt,

belysningen slukkes, så snart der ikke mere er brug for den,

hvis der er gener fra statisk elektricitet, tilsættes gulybelægningen »antistatiske additiver«, enten ved påsprøjtning eller i forbindelse med gulvvask, f. eks. fabrikater som Cetyl, Rodalon og Darenas 668,

skal der etableres solafskærmning

på en skole, bør der mindst udføres en beregning af døgnmiddeltemperaturen, der skal vise solafskærmningens virkning i forhold til den virkning, de indvendige gardiner har. Retningslinier for brugen af solafskærmningen skal tilgå skolen.

Videregives disse råd til en skole, bør den rådgivende ingeniør undersøge, om radiatoranlæggets indregulering er i orden, og fremføre nødvendigheden af, at der etableres en ansvarsplacering og dermed opsyn med, om de anførte forholdsregler overholdes.

Det må ses i øjnene, at en forbedring af indeklimaet kun nås ved en forøget indsats af skolebetjent, lærere og elever, men er det ikke umagen værd?

Litteratur

(1) Undervisningsministeriets cirkulære af 17. april 1972.

(2) Ib Andersen og G. R. Lundqvist, Klimahygieniske grundmålinger i syv skoler, Ugeskrift for læger, 3. april 1972, 134. årg. nr. 14.

SUMMARY

Schools having natural ventilation and central heating

Concerning the indoor climate the Ministry of Education has published directions for design of schools with mechanical ventilating plants.

This article concerns directions for schools with central heating and natural ventilation and gives advice for the use of the building, its installations and sunshading in order to ensure the best possible indoor climate. It is said that satisfactory conditions might be obtained almost the whole year, but it demands understanding and interest from pupils, teachers and the maintenance personnel.

Statisk elektricitet

En af de klager, Byggeriets Indeklima Målestation ofte står overfor, er klagen over statisk elektricitet. Dr. techn. Niels Jonassen, Laboratoriet for Teknisk Fysik I, DTH, gør i artiklen rede for, hvad statisk elektricitet er, hvorledes den opstår i vore boliger, og hvorledes generne kan undgås. Det er vort håb, at artiklen vil bevirke, at arkitekter og projekterende ingeniører fremover dels i deres arbejde, dels ved øget oplysning til brugerne vil medvirke til at hindre de årligt tilbagevendende klager i at opstå.

Afdelingsleder, dr. techn.
Niels Jonassen,
Laboratoriet for teknisk fysik I,
Danmarks tekniske Højskole

Når vore oldeforældre samledes i de lange vinteraftener til åndeligt opbyggende tidkort, var det ikke usædvanligt, at man som et led i underholdningen foranstaltede, hvad man i dag ville kalde elektrostatiske grundforsøg.

Man havde store smukt forarbejdede elektricermaskiner, hvor glascylindre under omdrejning blev gnedet mod amalganbehandlede gnetøj, hvorved man kunne oplade batterier af leidnerflasker til så store spændinger, at elektriske gnister under megen støj kunne slå over mellem kugler i måske 10-20 cm afstand. Man anbragte på isolerende skamler modige mennesker i forbindelse med en af elektricermaskinens konduktorer, og så med skrækblandet fryd håret rejste sig på forsøgspersonernes hoveder, eller man vovede måske at trække gnister fra deres næse, ører eller andre fremspringende punkter. Det var naturligvis ikke alle klasser, som kunne tage del i denne slags fornøjelser. Det var fortrinsvis forbeholdt adelens og den øvrige overklassens unge døtre at erfare den kildrende fornemmelse af noget farligt, at være den ene pol i en elektrisk udladning.

Men i årenes løb er det gået med dette som med mange andre privilegier. Idag kan næsten hvem som helst i deres egen dagligstue blive udsat for elektriske stød ved berøring af andre personer eller af dørhåndtag, varmeapparater o.s.v. Og så er det jo ikke

længere morsomt, så er statisk elektricitet blevet en plage.

Men hvad er da statisk elektricitet, hvorledes opstår det, hvilke virkninger har det, og hvorledes bekæmpes de uønskede virkninger.

Elektrostatisk opladning

Når to legemers overflader kommer i nær kontakt, vil der ofte ske en transport af ladede partikler (som regel elektroner) fra det ene stof til det andet. Hvis de to legemer er af forskelligt materiale, kan transporten ske, blot legemerne rører hinanden. Hvis legemerne derimod er ens, vil det ofte være nødvendigt, at kontakten er ledsaget af en gnidning, for at en væsentlig ladningsudveksling skal finde sted. Sålænge kontakten og den evt. gnidning foregår, vil legemerne da være elektrisk ladede, idet det ene har overskud af elektroner, d.v.s. er negativt, og det andet har underskud af elektroner, d.v.s. er positivt.

Skiller man nu de to legemer, vil man i visse tilfælde kunne bevare ladningerne, og man har da fået en elektrostatisk opladning. Hvis et legeme er en leder, (f. eks. metalgenstand eller person), der ikke er isoleret, vil det straks tabe sin ladning, men for isolatorer og isolerede ledere gælder, at ladningen, afhængig af isolationens godhed, kan bevares i selv meget lang tid.

Inden de nærmere betingelser for elektrostatiske opladninger, specielt i

hjemmet, omtales, skal der kort redegøres for virkningerne af sådanne ladninger.

Statisk elektricitets virkninger

En elektrisk ladning siges at være omgivet af et elektrisk felt. Hermed menes, at en anden ladning anbragt i den første ladnings omgivelser bliver påvirket af en kraft. Den kraft hvorved en enhedsladning ville blive påvirket kaldes feltstyrken. Dens enhed er newton pr coulomb eller, hvad der er det samme, volt/m.

I såvel ledere som isolatorer, der anbringes i et elektrisk felt, sker der

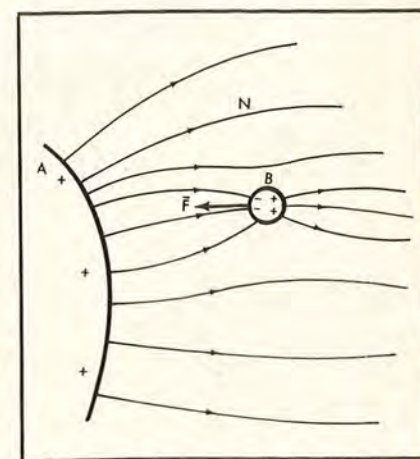


Fig. 1. A: Opladet legeme, N, feltlinier, der angiver feltstyrkens størrelse og retning, B: legeme (leder) anbragt i feltet fra A, F: resulterende kraft på B.

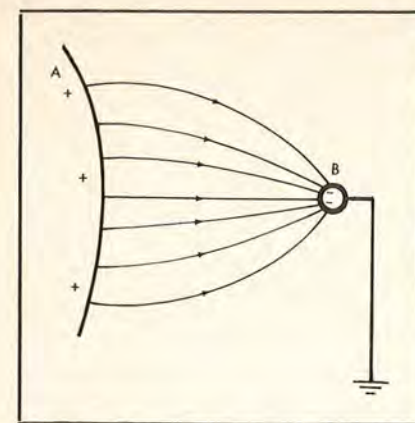


Fig. 2. A: opladet legeme, B: opladet leder i feltet fra A. Feltstyrken er særlig stor umiddelbart foran B, hvor feltet er stærkt deformet, og her vil en gnist starte.

sådanne ladningsforskydninger (ved fordeling og polarisation), at legemerne som regel bliver påvirket af en kraft rettet henimod det opladede legeme, fig. 1. Det er denne effekt, der f. eks. kan få opladede flader til at tiltrække støv, og desuden kan den forårsage alvorlige produktionsvanskeligheder i spindrier, trykkerier og lignende steder.

Den foran beskrevne mekaniske virkning af elektrostatiske opladninger forekommer i princippet for selv små værdier af feltstyrken, men virkningen vokser dog sædvanligvis stærkt med voksende feltstyrke.

I modsætning hertil gælder, at en anden slags virkning af elektrostatiske opladninger, den termiske eller elektriske, kun forekommer, når feltstyrken et eller andet sted overskrider en vis værdi, den såkaldte gennemslagsfeltstyrke. Sker dette, vil der springe en gnist fra (eller til) det opladede legeme, fig. 2. Gennemslagsfeltstyrken er i atmosfærisk luft ca. $3 \cdot 10^6$ volt/m eller 30.000 volt/cm. Det skal understreges, at dette ikke nødvendigvis betyder, at et legeme skal oplades til en spænding på 30.000 volt, for at der kan trækkes en 1 cm lang gnist fra legemet.

Springer en sådan gnist i en atmosfære, der indeholder eksplosive dampe, kan resultatet blive en eksplosion eller brand.

Hvis gnisten springer fra en person, der er blevet opladet, f. eks. ved gang på en isolerende gulvbelægning, som omtalt senere, vil dette normalt kun give anledning til et vist ubehag, men

ikke rumme nogen egentlig risiko. En undtagelse herfra gælder forholdene på f. eks. en operationsstue, hvor en elektrisk gnist til et kateter eller sonde, der er indført f. eks. i hjertet på en patient, ville være en betænkelig sag. Der gælder da også ganske særlige regler til sikring mod elektrostatiske opladninger på sådanne steder.

De ovenfor beskrevne virkninger af statisk elektricitet er de udprægede direkte fysiske virkninger. Hertil kommer så eventuelle indirekte virkninger af f. eks. fysiologisk-hygienisk art på personer, som er opladet.

Som eksempel på disse eventuelle virkninger skal nævnes, at en opladet person vil være omgivet af et elektrisk felt, der delvis vil filtrere hans indåndingsluft for ioner. Hvis personen er opladet til høje spændinger, kan den resulterende nedsættelse i indåndingsluftens iontæthed blive meget stor. Om en sådan ændring i indåndingsluftens iontæthed så har nogen virkning overhovedet på den pågældende person er et spørgsmål, hvortil der stadig hersker megen tvivl. Dette gælder også spørgsmålet om, hvorvidt selve det at være udsat for eller omgivet af et elektrisk felt, kan have en indvirkning f. eks. på folks velbefindende. Der skal ikke her tages stilling til disse spørgsmål, men blot fremhæves det synspunkt, at elektrostatiske opladninger bør holdes nede på et sådant niveau, at de ikke udgør nogen gene. At fjerne dem fuldstændigt vil ofte være en urimelig dyr, om overhovedet mulig, opgave.

Statisk elektricitet i hverdagen

Som nævnt er grundbetingelsen for at få en elektrostatisk opladning blot, at to legemer rører ved hinanden, eventuelt gnides mod hinanden og atter skilles. Denne beskrivelse passer på et umådeligt stort antal processer, såvel af fabrikmæssig art i industrien som på menneskers færden og adfærd i hjemmet og på arbejdspladsen. Det kan derfor heller ikke undre, at elektrostatiske opladninger rent faktisk er meget hyppigt forekommende og ofte giver anledning til gene eller ubehag.

Der skal her kun redegøres for de former for elektrostatiske opladninger, som man sædvanligt kommer ud for

i hjemmet eller på arbejdspladsen på grund af menneskers færden.

For de opladningsprocesser, der her kan komme på tale, kan man sætte det som en betingelse for at få og bevare en væsentlig opladning, at mindst et af de stoffer, der gnides mod hinanden, er isolerende, og man kan ofte regne med, at de elektrostatiske virkninger bliver desto større, jo større stoffernes isolationsevne er.

Hovedparten af opladningsprocesserne skyldes enten personernes påklædning eller de anvendte gulvbelægninger.

Derimod kan man i praksis se bort fra virkningen af isolerende vægbelægninger hvad angår dannelse af statisk elektricitet. Ganske vist kan personer ved gnidning mod væggen blive opladet, men erfaringen viser, at dette kun sker i meget ringe omfang. Yderligere kan støv i luften ved gnidning mod vægge (eller rummets begrænsninger i det hele taget) blive opladet og give anledning til rumladninger, som kan have visse luftelektriske virkninger, men dette kan ske, hvad enten væggene er isolerende eller ej, og kan bedst bekæmpes ved filtrering af luften.

Den opladning, der skyldes personernes påklædning, kan komme i stand på følgende måde.

Bærer en person f. eks. en bluse af orlon eller nylon eller en nederdel af terylene, vil denne ved gnidning mod andre beklædningsdele eller mod personens hud lokalt kunne oplades meget kraftigt. Ladningerne vil normalt binde lige så store modsatte (evt. fordelte) ladninger på personen eller på dennes øvrige påklædning. Det samlede felt vil sædvanligvis holde sig under gennemslagsfeltstyrken, så længe tøjet ikke fjernes fra kroppen. Af samme grund vil en person ikke ved gnidning mellem de enkelte dele af vedkommendes beklædning indbyrdes eller mellem disse og kroppen få en resulterende ladning. Denne form for opladning kan derfor ikke uden videre konstateres ved måling af personens spænding. Den umiddelbare virkning er, at tøjet klynger sig til kroppen på en højst ubehagelig måde. Fjernes det opladede tøj fra kroppen, vil feltstyrken lokalt kunne overstige gennemslagsfeltstyrken, og der vil springe en gnist fra tøjet til personen

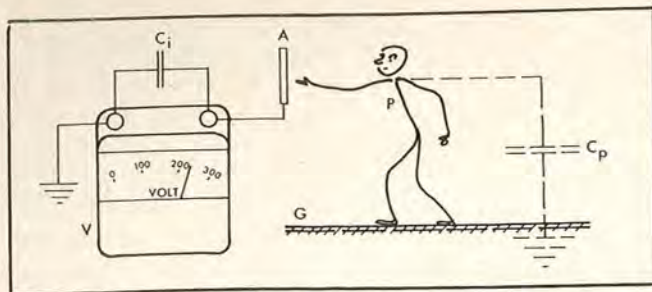


Fig. 3. Måling af elektrostatisk opladning af personer. V: statisk voltmeter, C: kapacitet af voltmeter + evt. ydre kondensator, P: forsøgsperson, C_p: kapacitet til jord af forsøgsperson, A: isoleret metalstang, G: gulvbelægning.

(eller omvendt). Herved får personen et elektrisk stød, der måske er ubehageligt, men ganske ufarligt.

Går en person med isolerende sko, eller uden sko men med f.eks. nylonstrømper, på en isolerende gulvbelægning, som linoleum, vinyl eller tæppe-lægninger af nylon, uld eller lignende, vil der ved kontakt og gnidning mellem såler og gulvbelægning kunne ske en ladningsadskillelse, der giver personen en resulterende opladning. Berører vedkommende derefter en jordledet leder, f.eks. en radiator eller en anden person, vil der kunne ske et gnistoverslag, idet feltet omkring den ladede person bliver deformeret og derved kan overstige gennemslagsfeltstyrken.

Selv de foran beskrevne former for elektrostatisk opladning er velkendte, betyder dette ikke, at man kan forklare alle træk ved dem. Det er f.eks. en kendsgerning, at opladning af personer på grund af tøjets gnidning mod huden varierer stærkt fra person til person, men ingen véd i grunden hvorfor. Man kan gætte på, at det har noget at gøre med forskelle i hudens fugtighed, men ingen har nogensinde taget sig det på, at undersøge disse forhold.

For gulvbelægnings vedkommende har man ofte antaget, at deres evne til at give elektrostatiske opladninger voksede med deres elektriske modstand. Dette er rigtigt til en vis grad, men det er givet, at også andre ting, som f.eks. teksturen, spiller en rolle, således at det ikke er særligt hensigtsmæssigt, at karakterisere stofferne i elektrostatisk henseende ved deres afledningsmodstand alene.

Måling af statisk elektricitet

Både fabrikanter og forbrugere må være interesserede i, at man på simpel måde kan angive, om et givet materiale vil give anledning til elektrosta-

tiske opladninger i en sådan grad, at det virker generende på brugeren.

Der findes en række udenlandske normer for elektrostatisk klassificering af materialer. Langt hovedparten af disse er baseret på måling af modstanden (som regel gennemgangsmodstanden) af materialet, og mens en sådan måling naturligvis giver et fingerpeg, og ved særligt lave (f.eks. $<10^5 \Omega$) eller særligt høje værdier (f.eks. $>10^{10} \Omega$) af modstanden med stor sikkerhed karakteriserer materialet som enten »antistatisk« eller let opladeligt, så giver modstanden ved (de hyppigt forekommende) mellemværdier kun ringe oplysning om materialets evne til ved gnidning mod et bestemt andet stof at blive opladet.

Modstandsmålingerne bør derfor normalt suppleres med opladningsmålinger, og disse bør (dette er en rent personlig opfattelse) foretages under brugsforhold, d.v.s. under sådanne forhold, som hersker dér, hvor man vil sikre sig mod opladninger. Dette er ikke noget angreb på laboratorieundersøgelser, som ofte kan afsløre forhold og sammenhænge af dybtgående karakter, men det er en understregning af den kendsgerning, at der på brugsstedet måske hersker forhold, af betydning for opladningens resultat, af så kompliceret natur, at man ikke med sikkerhed kan eftergøre dem i laboratoriet.

Selve opladningsmålingerne kan foretages på adskillige, i og for sig lige gode måder. På Laboratoriet for Teknisk Fysik I har følgende simple metode, til måling af opladning af personer ved gang på en gulvbelægning, været anvendt i adskillige år:

Den ene terminal på et statisk voltmeter forbindes til jord, fig. 3, mens den anden er forbundet til en isoleret anbragt metalstang A. En forsøgsperson P går nogle skridt på den gulvbelægning, der skal undersøges, og be-

rører derefter kortvarigt metalstangen A. Herved bliver voltmeteret opladet og viser en spænding U_1 . Kapaciteten af voltmeteret kaldes C_1 og af personen i forhold til jord C_p (≈ 200 pF). Den spænding U_p , som forsøgspersonen var opladet til, inden han berørte voltmeteret, er da givet ved

$$U_p = U_1 \frac{C_1 + C_p}{C_p}$$

Ved som vist på figuren at forsyne voltmeteret med en ydre kondensator kan man gøre C_1 så stor det ønskes, og derved udvide voltmeterets måleområde.

I praksis foretages målingerne ved, at det gulv, der skal undersøges, inddeles i områder à 2–3 m². Inden for hvert område foretages 5–10 målinger, hvor forsøgspersonen f.eks. bruger sko med lædersåler, hvorefter hele proceduren kan gentages under anvendelse af sko med gummisåler.

Til karakterisering af den pågældende gulvbelægnings egenskaber kan passende bruges den maksimale persons spænding. Hvis denne spænding er mindre end ca. 1000 volt, kan man regne med, at kun ganske få mennesker vil føle noget ubehag ved de elektriske gnister, som opladningen giver anledning til. Ligger maksimalspændingen mellem ca. 1000 og ca. 2000 volt, vil en del mennesker føle ubehag ved gnisterne, og endelig vil praktisk taget alle føle et væsentlig ubehag, der vokser stærkt med voksende spænding, når denne overstiger ca. 2000 volt.

Hvis man ser på gnisternes evne til at tænde eksplosive gasblandinger, kan det nævnes, at tændenergien for en (støkiometrisk) blanding af benzindamp og luft er af størrelsesorden 1–5 mJ. Idet energien i en gnist fra en person opladet til spændingen U_p kan skrives $W = \frac{1}{2} C_p \cdot U_p^2$, ses det, at der kræves en spænding på 3000–4000 volt, før energien overstiger 1 mJ og derved bliver i stand til at tænde en benzindamp-luftblanding.

Med hensyn til måling af modstand af gulvbelægninger er det vigtigt at sørge for, at elektroderne har en størrelse og vægt, der så vidt muligt svarer til de betingelser, man har for opladning, når en person går på gulvbelægningen. Elektroderne bør derfor have en størrelse som en normal sko

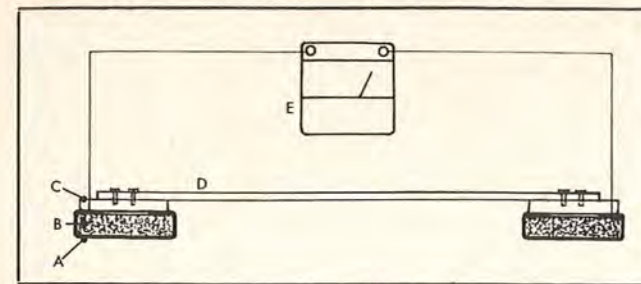


Fig. 4. Opstilling til måling af afledningsmodstand af gulvbelægning. A: elektroder af messingfolie, B: skumgummi, C: plexiglas, D: trekantprofil, E: teraohmmeter.

og belastes med vægten af en person.

På fig. 4 er vist en mulig opbygning af et sæt elektroder til modstandsmåling. Elektroderne består af messingfolie (15×7 cm²) monteret på plexiglas med skumgummi som mellemlag. På plexiglasset er monteret to triangulære metalprofiler, der gør det muligt at fastholde elektroderne i en given indbyrdes afstand (gerne 1 m).

Når opstillingen skal bruges, anbringer en person sig på metalprofilerne. Den ene af elektroderne er forbundet til den ene terminal på et ohmmeter til måling af store modstande (teraohmmeter), hvis den anden terminal 1) enten er forbundet til jord (modstand til jord) eller 2) (som vist på figuren) til den anden elektrode (modstand mellem to elektroder).

Når en gulvbelægning skal afprøves, deles gulvet som tidligere beskrevet op i områder, og for hvert område udføres f.eks. 5 målinger af hver type. Hvis ingen af målingerne af modstand mellem to elektroder (eller kun ganske få) giver modstandsværdier over 10^9 – $10^{10} \Omega$, vil den pågældende gulvbelægning ikke give anledning til ubehagelige opladninger af personer ved gang på gulvbelægningen.

Hvad endelig angår målingen af opladning af personer på grund af tøjets gnidning mod huden eller mod andre beklædningsdele, må dette anses for at være en så speciel opgave, at omtalen heraf falder uden for denne redegørelse.

Et vigtigt forbehold, som bør tages ved alle elektrostatiske målinger, er at de opnåede resultater kun med sikkerhed vides at gælde på det tidspunkt og under de omstændigheder, under hvilke målingerne er foretaget. For en del materials vedkommende vil det således gælde, at de er hygroskopiske, hvilket (som senere forklaret) bevir-

ker, at deres tilbøjelighed til at forårsage elektrostatisk opladning, varierer med luftfugtigheden og dermed med årstiden.

Bekæmpelse af statisk elektricitet

I det foregående er vist, hvorledes man ved relativt simple målinger kan afgøre om et givet materiale, i hvert fald, hvis det anvendes som gulvbelægning, vil give anledning til generende elektriske opladninger. Tilbage står så problemet, hvad man skal gøre, hvis dette er tilfældet, med andre ord, hvorledes man bekæmper elektrostatiske opladninger.

Den mest fundamentale måde vil naturligvis være at undgå selve de processer, der giver anledning til opladningerne. Dette er dog i almindelighed umuligt, idet det for de her behandlede forhold drejer sig om almindelig færdsel i hjem og på arbejdsplads. Den eneste anden mulighed er da at fjerne eller neutralisere ladningerne.

For stationære ledere, maskineri og lignende, gøres dette ganske enkelt ved jordledning af udstyret. Hvor det derimod drejer sig om opladte isolatorer eller isolerede ledere, må afledningen af ladningerne finde sted enten gennem den omgivende luft eller langs evt. gennem det isolerende materiale.

Hvad angår muligheden for afledning gennem luften skal understreges, at dette kun har praktisk interesse i industriel sammenhæng.

Man må derfor næsten udelukkende benytte muligheden for afledning langs eller gennem selve det isolerende materiale ved at gøre dette delvist ledende.

For de polymere stoffer, som fortrinsvis bruges til beklædnings- og/eller gulvbelægningsmaterialer (nylon, orlon, polypropylen, vinyl o.s.v.) gæl-

der, at de i sig selv normalt er højisolerende.

Der arbejdes ganske vist for tiden på kemiske modifikationer af visse af disse fibre, således at de skulle bevare deres gode mekaniske egenskaber, men derudover få en permanent højere elektrisk ledningsevne. Dette gøres ved under ekstruderingen at tilsætte en ringe mængde af et stof, der dels er hydrofilt og dels nogenlunde kemisk forligneligt med basismaterialet. Dette additiv vil diffundere til overfladen og danne et stabilt hygroskopisk overfladelag, og den forøgede ledningsevne beror da på det ekstra vandindhold på overfladen.

De hidtidige kendte forsøg, som er foretaget i Japan, har været yderst lovende, men så vidt vides er de modificerede materialer ikke endnu i produktion, i hvert fald i Europa. En anden metode til fjernelse af elektrostatiske ladninger består i ved tilvirkningen af tæppematerialer at iblande de organiske fibre en ringe mængde metal- eller metalliserede fibre. Virkningen af disse fibre er uafhængig af luftens fugtighedsindhold, men metoden, der er ret dyr, er ikke særlig udbredt.

Den almindeligste metode til at gøre de højisolerende materialer delvist ledende er dog uden diskussion overfladebehandling med antistatiske additiver.

Antistatiske additiver er stoffer indeholdende en hydrofob gruppe og en hydrofil endegruppe, som f.eks. højmolekylære kvaternære alkylammoniumhalogenider. Additivet påføres gerne det isolerende materiale i form af en vandig emulsion.

Hovedparten af vandet vil fordampe, men de hydrofile endegrupper vil tiltrække vandmolekyler fra luften og derved under passende fugtighedsforhold (over ca. 30% relativ fugtighed) kunne vedligeholde et tyndt vandlag på overfladen.

Det kan nævnes, at såfremt man skulle sikre en ligeså effektiv antistatisk virkning ved forhøjelse af luftfugtigheden alene, skulle denne ligge på så høje værdier som 50% r. f. eller i visse tilfælde endnu mere.

Hvor det drejer sig om gulvbelægninger kan de antistatiske additiver påføres ved forstøvning eller for hårde gulvbelægnings vedkommende

ved vask med en passende opløsning 1-2 %).

For beklædningsdele som skjorter, bluser, nederdele, undertøj osv. består behandlingen i, at man skyller tøjet i en tynd (2-5 0/100) opløsning af et additiv og derefter ladet det tørre på sædvanlig måde.

Virkningen af en overfladebehandling som beskrevet foran varer ikke bestandigt. Dels vil overfladelaget slides ved brug, og dels vil vask og anden form for rengøring delvis fjerne det antistatiske additiv.

For beklædningsdele eller faste gulvbelægninger, der jævnligt vaskes, må behandlingen derfor gentages efter hver vask.

Hvor det drejer sig om tæpper vil virkningen af en grundig gennemført behandling have en varighed af adskillige måneder, måske endda et halvt år.

En del tæppebelægninger leveres angiveligt som antistatiske. Hvad der egentlig menes hermed er dog vanskeligt at få fastslået, men det må antages at dreje sig om materialer, der

på fabrikken er blevet underkastet en behandling med antistatiske additiver. Det skal understreges, at hverken disse forbehandlede materialer eller de materialer, der bliver behandlet på brugstedet, er antistatiske i den betydning, at de ikke kan give anledning til opladninger. Det er ikke usædvanligt at måle personsplændinger af størrelsesorden 200-300 volt på nye gulvbelægninger af begge typer ved luftfugthed på 35-40 %, men som tidligere nævnt giver splændinger af denne størrelsesorden ikke anledning til gener. Hvorledes den indbyrdes langtidsvirkning er af de to typer behandlinger vides endnu ikke med sikkerhed, men dette problem er genstand for en langtidsundersøgelse, som er planlagt at strække sig over et år for at få evt. virkninger af årstidsbestemte temperatur- og fugtighedsvariationer fastslået.

Konklusion

Der foregår til stadighed i vore omgivelser, og til dels på grund af vore egen aktivitet, processer, som fører til

dannelse af statisk elektricitet. Dette medfører kun under ganske specielle omstændigheder en egentlig risiko, men kan give anledning til gener i form af, at tøjet klynger sig til kroppen, eller at man får ubehagelige stød. Disse gener kan dog normalt undgås ved en simpel behandling af de materialer, der oplades. Behandlingen må gentages med mellemrum, hvis længde afhænger af den daglige brug af og slid på materialerne.

SUMMARY

Static electricity

After a short introduction of the basic concepts of electrostatic charging, the mechanical and thermal effects of static electricity are explained, and it is shown how these effects can be a nuisance at home and at work.

Methods of measurement of the voltage of charged persons and of the resistance of floor coverings are dealt with, and finally a survey of methods of dissipation of static electricity, especially through conductivization of surfaces by treatment with antistatic additives is given.

Fællesnordiske regler for proceduren ved kalibrering af måleinstrumenter for lufthastighed og luftmængde

Ved et nordisk samarbejde er der blevet opstillet et sæt regler, hvis hovedpunkt er et krav om, at der ved indregulering og afprøvning af ventilationsanlæg anvendes kalibrerede instrumenter. Reglerne foreslås anvendt som et led i aftalegrundlaget ved entrering om ventilationsanlæg. Kalibrering af anemometre kan udføres af Statens Byggeforskningsinstitut; se artiklen: Kalibrering af anemometre, side 15. P. Olufsen

Civilingeniør Svein Myklebost,
Norges Byggeforskningsinstitut

Det bliver mere og mere almindeligt at stille krav til ventilationsanlæggenes ydelse. Eksempelvis kan nævnes, at ifølge Svensk VVS AMA 72 er den største tilladte afvigelse ved kontrol af luftmængden i et ventilationsanlæg, inklusive målefejl, 15 % af den foreskrevne værdi. Dette stiller meget strenge krav til måleteknikken i forbindelse med indregulering og kontrolmåling af anlæggenes ydelser. Det vil blive nødvendigt, at alle interesserede parter bliver enige om, hvordan man skal måle i det enkelte tilfælde. Princippet for de normerede eller standardiserede målemetoder, som man bliver nødt til at bruge i hvert enkelt måletilfælde, må bl. a. bygge på at

- 1) målingen udføres med samme type måleinstrument
- 2) måleinstrumentet anvendes på nøjagtig samme måde af alle måleoperatører og
- 3) måleapparatet må være kalibreret

Dette vil give den største garanti for, at de forskellige parter i hvert fald får tilnærmelsesvis samme måleværdi på samme målested.

En vigtig forudsætning for det hele er, at alle måleinstrumenter bliver kalibreret på en tilfredsstillende måde. Det er baggrunden for, at man i Den nordiske ventilationsgruppe nu har udarbejdet fællesnordiske regler for proceduren ved kalibrering af måleinstrumenter for lufthastighed og luftmængde. Den nordiske ventilationsgruppe er de nordiske byggeforskningsinstitutters samarbejdsgruppe når

det gælder kontrol, indregulering og aflevering af ventilationsanlæg. Ventilationsgruppens regler kan anvendes ved aftaler i forbindelse med indregulering og afleveringsprøver for ventilationsanlæg. Den arbejdsgruppe, der har udarbejdet reglerne, har bestået af: Civiling. Svein Myklebost, formand, Norges Byggeforskningsinstitut, Danmark. Civiling. Veijo Siitonen, Statens Tekniska Forskningsanstalt, Finland. Civiling. Anders Svensson, Statens Institut för Byggnadsforskning, Sverige.

Reglerne vil blive taget op til revision i Den nordiske ventilationsgruppe senest 1.1.75.

De regler, som nu er udarbejdet, er af administrativ karakter. De siger således ikke noget om det tekniske grundlag, hverken for selve kalibreringen eller for begrænsningerne ved brugen af de kalibrerede instrumenter. Der er derfor behov for at sige et par ord om det.

Lufthastighedsinstrumenter bliver normalt kalibreret i en fri luftstråle med relativ lille turbulensgrad. Tilsvarende strømningsforhold har man sjældent ude i ventilationsanlæggene. De forskellige typer måleinstrumenter reagerer desuden forskelligt på samme strømningsforhold. Man har således mange forskellige kombinationer af forskellige typer måleinstrumenter, måder at bruge disse måleinstrumenter på og måder de forskellige instrumenter reagerer på ved forskellige strømningsforhold. Det siger sig selv, at det ikke er praktisk muligt at kalibrere hvert enkelt instrument for alle

de forskellige måleforhold, som måleinstrumentet kan blive benyttet under. Den kalibreringstjeneste, der nu står til rådighed ved Norges Byggeforskningsinstitut og ved Statens Byggeforskningsinstitut tager sigte på, at lufthastighedsinstrumenter normalt kalibreres under kun en type strømningsforhold. Der opstår en målefejl, når man benytter måleinstrumentet under andre strømningsforhold end dem, man har ved kalibreringen. Dersom man ønsker at vide, hvor stor denne fejl er, må man udføre en speciel undersøgelse. Når der benyttes samme normerede målemetode, bliver den målefejl som opstår, når man benytter instrumentet under andre strømningsforhold end dem, man har ved kalibreringen, imidlertid omtrent lige stor for alle måleoperatører ved samme måletilfælde.

Indenfor Den nordiske ventilationsgruppe arbejdes der parallelt med at komme frem til normerede målemetoder. Det er muligt, at de første forslag vil foreligge allerede i 1973. Der er håb om, at man også kan få mere fyldestgørende oplysninger om bl. a. størrelsen af den målefejl, man får ved de forskellige strømningsmønstre. Foreløbigt er det imidlertid vigtigere, at alle parter bliver enige om at benytte samme målemetode og kalibrerede instrumenter.

Det må håbes, at man derved kan undgå en stor del af alle de tvister, som opstår, fordi de forskellige parter ikke »taler samme sprog«, d.v.s. at man nu ved samme måling bruger forskellige målemetoder og ukalibrerede måleinstrumenter.

Fællesnordiske regler for proceduren ved kalibrering af anemometre

1.0 Reglernes gyldighedsområde

Disse regler kan anvendes ved aftaler i forbindelse med indregulering og afleveringsprøver for ventilationsanlæg.

2.0 Generelle krav

2.1 Instrumentets kalibreringsattest - gyldighedstid

Afhængig af instrumenttype skal kalibreringsattesten højst være 1 år, for enkelte typer instrumenter højst 1/2 år gammel, på det tidspunkt målingerne udføres.

1 år:

- Mekaniske instrumenter
- Statiske anemometre (f. eks. Velometer)
- Vingehjulsanemometer
- Rotametre

1/2 år:

- Elektroniske og elektro-mekaniske instrumenter
- Varmetrådsanemometre
- Elektroniske vingehjulsanemometre

Bemærk:

Et instrument, der falder på gulvet eller på anden måde bliver udsat for hårdhændet behandling, kan få ændret kalibreringskarakteristik. Det er instrumentejernes (brugernes) ansvar at sørge for, at sådanne instrumenter ikke bliver benyttet, før end de er kontrollerede eller kalibrerede på ny. Foruden de faste periodevise kalibreringer ved en godkendt kalibreringsstation bør brugeren af instrumentet selv af og til kontrollere instrumentets kalibrering. Dette gælder specielt i de perioder, hvor instrumentet er i daglig brug på et anlæg. I sådanne tilfælde vil det være tilstrækkelig nøjagtigt at kontrollere instrumentet mod f. eks. en reference med uændret luftydelse, eller endnu bedre mod et tilsvarende instrument, der ikke har været i brug efter

sidste kalibrering. En sådan kontrol kan udføres på meget kort tid og kan spare indreguleringspersonalet for mange timers spildt arbejde, hvis kontrollen viser, at instrumentet har fået ændret kalibreringskarakteristik.

2.2 Kalibreringsattest

En kalibreringsattest skal indeholde følgende:

1. Kalibreringsstationens navn og adresse
2. Dato for kalibreringen
3. Instrumenttype, kort karakteristisk
4. Instrumentidentifikation:
 - fabrikat
 - typebetegnelse
 - fabriktionsnummer
5. Kalibreringsresultat
Talmæssig angivelse af hver kalibreringsværdi
6. Lufttilstand under kalibreringen
 - lufttemperatur
 - barometertryk
 - relativ fugtighed
7. Særlige bemærkninger f. eks.
 - sondens orientering
 - type ventil (luftmængdekalibrering)
 - batteritype, spænding o. l.
8. Underskrift af ansvarlig

Bemærk:

De diagrammer der udarbejdes på basis af måleresultaterne, skal have en aflæsningsnøjagtighed, der ikke er dårligere end 2 %.

Antallet af nødvendige kalibreringspunkter for at kunne trække en kurve op, som har tilstrækkelig nøjagtighed, afhænger af kurvens linearitet. Ved meget uregelmæssigt kurveforløb kan antallet af kalibreringspunkter komme helt op på 15-20. Mindste antal kalibreringspunkter skal være 4.

I de tilfælde, hvor kalibreringsopgaverne (og en eventuel kalibreringskurve) ikke dækker hele instrumentets skala, må det klart fremgå, for hvilken begrænset del af skalaen kalibreringen er gyldig.

Kopi af kalibreringsattest, kalibreringsresultater og eventuelle diagrammer skal opbevares på kalibreringsstationen.

For måleinstrumenter, der består af flere sammenhørende dele, skal alle dele, der er indgået i kalibreringen, være tydeligt mærket.

3.0 Godkendelse af kalibreringsstationer

Det er en forudsætning for, at man kan bruge disse regler, at den kalibreringsstation, der benyttes, arbejder med en nøjagtighed, der ikke er dårligere end den, der arbejdes med på kalibreringsstationerne ved de fire nordiske byggeforskningsinstitutioner. Den nordiske ventilationsgruppe følger arbejdet i byggeforskningsinstitutioner og er villig til at følge og kontrollere kalibreringsstationer, som andre institutioner eller private firmaer måtte ønske at oprette.

4.0 Revision af reglerne

Disse regler vil blive taget op til revision i Den nordiske ventilationsgruppe senest 1.1.75.

SUMMARY

Joint nordic rules for calibration of measuring instruments for air velocity and air volume

As a result of a Nordic collaboration a set of rules have been prepared according to which only calibrated instruments should be used when balancing and testing ventilating plants. It is suggested that the document form part of the conditions laid down in contracts for ventilating plants.

Kalibrering af anemometre

Statens Byggeforskningsinstitut har i nogen tid arbejdet på at udvide den service, som Byggeriets Indeklima Målestation kan yde, til også at omfatte kalibrering eller kontrol af anemometre, som anvendes i forbindelse med indregulering eller afprøvning af ventilationsanlæg. Arbejdet er nu så vidt, at SBI fra januar 1972 kan påtage sig at kalibrere anemometre af forskellige typer for rekvirenter.

Civilingeniør Peter Olufsen,
Statens Byggeforskningsinstitut

Nødvendigheden af, at anemometre kontrolleres jævnligt, er ofte blevet fremhævet, og formodentlig vil man i stigende grad opleve, at der i tekniske forskrifter eller leveringsbetingelser stilles krav om, at der ved afprøvning af ventilationsanlæg bruges instrumenter, som er kalibrerede inden for en vis tidsfrist forud for målingen, f. eks. et halvt eller et helt år. Begrundelsen herfor er, at anemometre ikke er særlig stabile eller robuste instrumenter. De er opbygget af dele, som kan være udsat for slid eller ældningsprocesser, og de er ofte følsomme for mekaniske beskadigelser og for afsætninger af støv og snavs. Statens Provningsanstalt i Stockholm foretog i 1970 en stikprøvekontrol af 8 anemometre, som forskellige virksomheder anvendte til daglig ved målinger på ventilationsanlæg. Kontrollen viste, at 6 af anemometrene havde fejlvisninger, som flere steder på skalaen oversteg 15 %, og ved 2 af anemometrene kunne fejlene overstige 25 %.

Ved kalibreringen anbringes anemometret eller dets hastighedsføler i et så vidt muligt stabilt og homogent hastighedsfelt med kendt hastighed. Det måleudstyr, som er opbygget i SBIs laboratorium, omfatter for det første en måleopstilling, hvor det definerede hastighedsfelt frembringes i et rør med diameter 250 mm, og hvor hastigheden kan varieres fra ca. 0,2 m/s til ca. 5 m/s. For det andet rådes over et tilsvarende udstyr med rørdiameter 133 mm, hvor der kan opnås hastigheder op til ca. 15 m/s. Det sidstnævnte udstyr vil senere blive erstattet af en anden måleopstilling, hvor kalibreringen udføres i kernen af en fri luftstråle, og hvor hastighedsområdet kan udvides yderligere. Det er endvidere under overvejelse, om der er behov for et særligt kalibreringsudstyr til hastigheder omkring 0,1 m/s.

Resultatet af kalibreringen fremstilles i form af en tabel eller kurve, som angiver anemometrets fejlvisning i forhold til skalaværdierne. Fejlen reg-

nes positiv, når instrumentet viser for meget, og negativ, når det viser for lidt. Ved den praktiske anvendelse af anemometret må visningen derefter korrigeres med fejlen med modsat fortegn.

SBI vil kunne påtage sig kalibreringer af alle typer anemometre med de fysiske begrænsninger, som følger af, at instrumentet skal kunne indføres og anbringes i målerøret, og at instrumentet ikke i væsentlig grad må forstyrre strømmingen på målestedet. Kalibrering vil navnlig være aktuel for varmetrådsanemometre og vingehjulsanemometre. Forespørgsler om, hvorvidt et givet instrument kan kalibreres, besvares på telefon (01) 88 09 00.

Kalibrering vil blive udført mod godtgørelse af omkostningerne, som for tiden antagelig vil andrage mellem 200 og 300 kr. pr. instrument afhængigt af antallet af målepunkter, som skønnes nødvendige til at dække instrumentets måleområder. SBI vil bestræbe sig på at holde en leveringstid af størrelsesordenen 10 dage, men

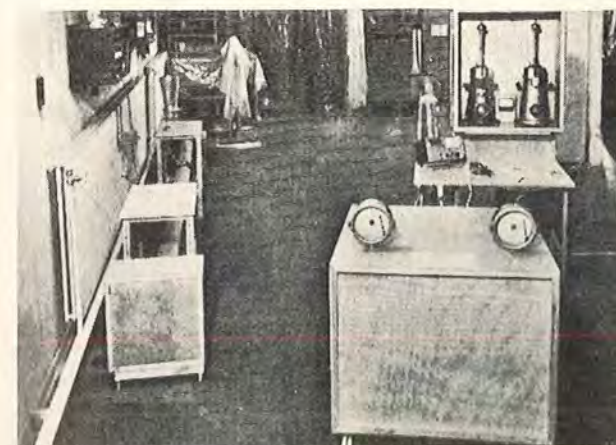


Fig. 1. Måleopstillinger til kalibrering af anemometre set fra luftindtagssiden.

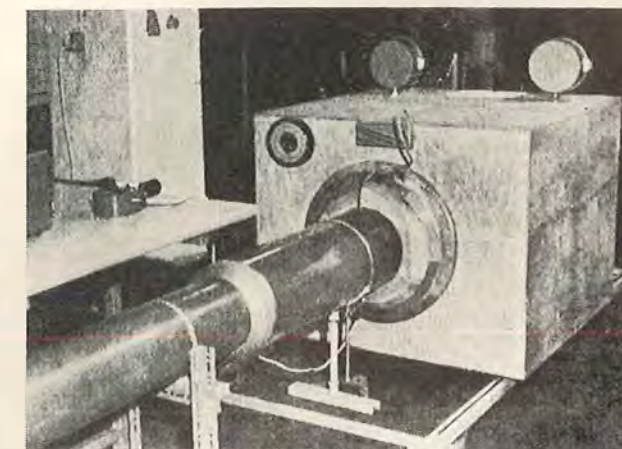


Fig. 2. Målerøret, hvori anemometrets hastighedsføler placeres.

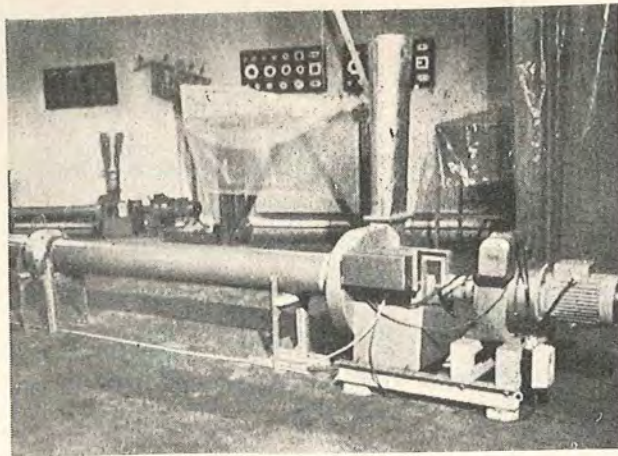


Fig. 3. Måleopstillingens ventilator med variabel omløbsfrekvens, der kan fjernstyres.

det skal bemærkes, at forudsætningen for, at omkostningerne kan begrænses til omkring 250 kr. excl. moms, er, at laboratoriepersonalet får mulighed for at tilrettelægge kalibreringsarbejdet rationelt, hvilket indebærer, at leve-

ringstiden kan blive noget svingende. Anmodninger om kalibreringer bør fremsættes ved skriftlig rekvizition til Statens Byggeforskningsinstitut, Lundtoftevej 7, 2800 Lyngby.

SBI vil ikke kunne påtage sig reparation af defekte instrumenter bortset fra udskiftning af batterier og lign.

SUMMARY

Calibration of anemometers

The article contains information to the effect that at the Danish Building Research Institute a measuring equipment has been constructed for calibration of anemometers of such types as are generally used for control of ventilating plants.

Målinger på ventilationsanlæg ved varierende temperatur og tryk

Beregninger eller målinger af ventilationsanlægs ydelse vil blive fejlbehæftede, hvis der ses bort fra forekommende variationer af luftens temperatur og tryk. I artiklen forklares temperatur- og densitetseffekterne, således at det kan vurderes, om fejlene i givne tilfælde er væsentlige eller uvæsentlige i forhold til den øvrige beregnings- eller måleusikkerhed.

Civilingeniør Peter Olufsen,
Statens Byggeforskningsinstitut.

Lufttilstandens variationsområde

Ventilationstekniske beregninger og målinger baseres ofte på en forudsætning om konstant lufttilstand, idet der i strømningstekniske forbindelser ses bort fra de virkeligt forekommende variationer af tryk og temperatur med tiden og stedet. Denne forenkling vil undertiden være fuldt tilladelig, men såfremt det tilstræbes, at tolerancerne på ydelserne er af størrelsesordenen 10 % eller mindre, kan lufttilstandens afvigelser næppe generelt lades ude af betragtning. Under alle omstændigheder er det nødvendigt at kende de forskellige virkninger, som ændringer i lufttilstanden kan have på målinger af luftmængder og på fortolkningen af måleresultater, for at man kan vurdere deres betydning.

Indledningsvis skal lufttilstandens variationsområde betragtes nærmere. For absolut tryk, temperatur og densitet i den fri atmosfære kan angives følgende variationsområder, idet der herved ikke medtages de mest ekstreme observationer, men kun sådanne værdier, som omtrent gælder for et middelår i København.

	mindste værdi	største værdi
lufttryk ved havoverflade	975 mb	1040 mb
lufttemperatur i det fri	-10°C	26°C
luftdensitet i det fri	1,15 kg/m ³	1,37 kg/m ³

Lufttilstanden inde i ventilationsanlæggene udviser større variation. For det første afviger trykket indtil ca.

20 mb opad eller nedad fra barometerstanden på grund af overtryk eller undertryk i systemet, foruden at variationsområdet kan være forskudt nogle millibar nedefter på grund af stedets højdebeliggenhed. For det andet må temperaturgrænserne udvides, idet der kan forekomme temperaturer op til ca. 50°C efter varmeplader. Det samlede variationsområde for densitet går derved fra ca. 1,05 til ca. 1,40 kg/m³ svarende til en relativ variationsbredde på 30 %. Som helhed er temperaturvariationer en mere betydende årsag til densitetsvariationer end trykvariationer.

Fugtig luft har lidt lavere densitet end helt tør luft ved samme tryk og temperatur. Fejlen ved at undlade at tage hensyn til fugtigheden, idet der benyttes et densitetsdiagram som fig. 1, der gælder eksakt for 50 % fugtmættet luft, vil imidlertid være maksimalt 0,1 % ved 0°C, 0,5 % ved 20°C og 1,4 % ved 40°C.

Ønskes densiteten beregnet under

hensyntagen til den relative luftfugtighed f , kan benyttes formlen

$$\rho = 0,348 \frac{P - 0,38 f P_m}{T} \text{ kg/m}^3$$

hvor P og T er absolut tryk og temperatur i mb og °K. P_m er mættet vanddamps tryk i mb, der varierer med temperaturen som følger

5°C	9 mb	30°C	42 mb
10°C	12 mb	35°C	56 mb
15°C	17 mb	40°C	74 mb
20°C	23 mb	45°C	96 mb
25°C	32 mb	50°C	123 mb

P er barometervisningen på stedet med tillæg af overtryk eller fradrag af undertryk i kanalen, og korrektionen er ca. 1 mb pr. 10 mm H₂O.

Hastighedsmåling ved varierende lufttilstand

Formålet med en hastighedsmåling i en ventilationskanal er i første instans at bestemme den aktuelle luft-hastighed ved den aktuelle lufttilstand i kanalen. Normalt er hastighedsmå-

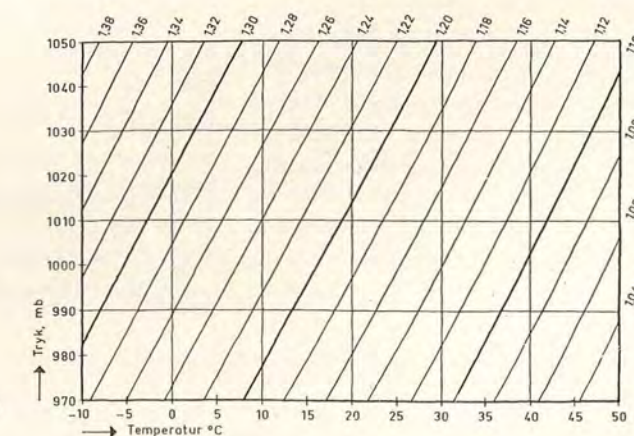


Fig. 1. Densiteten for 50 % fugtmættet luft i afhængighed af temperatur og tryk.

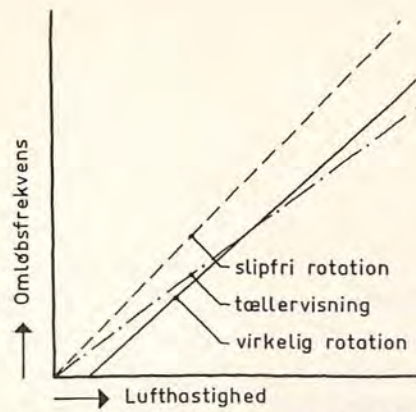


Fig. 2. Ved slipfri rotation er et vingehjulsanemometers omløbsfrekvens proportional med lufthastigheden. På grund af lejefriktion opstår et slip, der varierer lineært med hastigheden. Anemometeret kan derfor ikke registrere hastigheder under en vis grænse, og dets tæller vil vise for lidt i den nedre del og for meget i den øvre del af måleområdet.

lere kalibrerede ved en defineret lufttilstand i nærheden af 20°C og middellufttryk. Spørgsmålet er derfor, hvorledes instrumenterne benyttes ved afvigende lufttilstand. Med hensyn til temperatur- og densitetseffekter kan instrumenterne deles i tre klasser.

Vingehjulsanemometre

Vingehjulsanemometerets løbehjul har en krans af skrånede blade, som danner vinklen φ med vindretningen. Hvis man kan se bort fra lejefriktion, må hjulet rotere slipfrit i vinden, dvs. at vindhastighedens og periferhastighedens resultant også må danne vinklen φ med vindretningen. Kaldes periferhastigheden u , bliver omdrejningsfrekvensen derved

$$n = \frac{u}{2\pi r} = \frac{v \operatorname{tg} \varphi}{2\pi r}$$

hvor radius r måles til bladets tyngdepunkt, og v er vindhastigheden. Da φ normalt er 45° eller lidt derunder, bliver u af næsten samme størrelse som v .

I virkeligheden må vingehjulet rotere lidt langsommere, således at vinden udøver et aerodynamisk tryk på bladene resulterende i et drejningsmoment, der netop modsvarer momentet fra friktionskræfterne i lejer og gear. Friktionsmomentet indeholder to bestanddele, en som er uafhængig af omdrejningsfrekvensen, og en som er proportional dermed. Kurven for omdrejningsfrekvensen i afhængighed af vindhastigheden bliver da en ret linie, som er parallelforskudt og drejet i

forhold til den slipfri linie, fig. 2. Har anemometeret mekanisk tællerværk, vælges dets inddeling gerne således, at instrumentet viser for lidt i den nedre del og for meget i den øvre del af måleområdet.

For et givet anemometer bestemmes den slipfri rotation alene af vindhastigheden. Derimod afhænger slippet også af densiteten, der jo indgår som proportionalitetsfaktor i alle aerodynamiske kræfter. Desuden kan slippet tænkes at have en sekundær temperatureffekt, idet lejefriktionen kan være temperaturafhængig. Da slippet imidlertid er af relativ lille størrelse, kan vingehjulsanemometerets visning betragtes som i det væsentlige uafhængig af lufttilstanden. Dog kan lufttilstanden få en mærkbar indflydelse i den laveste del af måleområdet, hvor slippet er relativt stort.

Pitotrør og statiske vingeanemometre

Pitotrørs og statiske vingeanemometeres output beror fuldt ud på aerodynamiske virkninger og er derfor densitetsafhængige. For pitotrør findes hastigheden v m/s af det målte differensstryk Δp mm H₂O og densiteten ϱ kg/m³ ved

$$v = 4,43 \sqrt{\frac{\Delta p}{\varrho}}$$

Er instrumenterne forsynet med en skala, som gælder ved densiteten ϱ_0 , må den aflæste hastighed v_a omregnes til

$$v = v_a \sqrt{\frac{\varrho_0}{\varrho}} \approx v_a \left(1 - \frac{\Delta \varrho}{2\varrho}\right)$$

hvor $\Delta \varrho$ er densitetsændringen regnet med fortegn. En densitetsforøgelse på 10 % bevirker altså en hastighedskorrektion på - 5 %.

Varmetrådsanemometre

Varmeafgivelsen Φ fra en tynd tråd eller en lille kugle, der opvarmes elektrisk, og som hovedsageligt afgiver varme ved konvektion, kan skrives

$$\Phi = \alpha F (t - t_1)$$

hvor α er varmeovergangskoefficienten, F er overfladen, t er trådens eller kuglens temperatur og t_1 er lufttemperaturen. Udtrykket kan også skrives

$$t = \frac{\Phi}{\alpha F} + t_1$$

Da α afhænger af lufthastigheden

v , vil der ved konstant lufttilstand være en bestemt sammenhæng mellem Φ og v , hvis t er konstant, eller mellem t og v , hvis Φ er konstant. Varmetrådsanemometeret bygger i store træk på disse forhold. Følere indeholder et lille opvarmet legeme gerne af form som en tråd eller kugle, og med det tilhørende viserinstrument måles en med Φ henholdsvis t analog elektrisk størrelse efter at sammenhængen med v er fastlagt empirisk.

Af udtrykkene fremgår umiddelbart, at lufttemperaturen t_1 influerer på instrumentets visning. I visse typer varmetrådsanemometre elimineres denne virkning ved, at den målte elektriske størrelse har relation til $t - t_1$ i stedet for t . Imidlertid indgår temperatur- og densitetseffekter også implicit, da varmeovergangskoefficienten α bestemmes af funktioner mellem Nusselts tal Nu og Reynolds' tal Re , f. eks. angives i (1) for tynde tråde

$$Nu = 0,43 + 0,48 \sqrt{Re}$$

og for små kugler

$$Nu = 2 + 0,33 \sqrt{Re}$$

I Nu og Re indgår tre stofkonstanter, nemlig densiteten ϱ , samt varmeledningsevnen λ og den dynamiske viskositet η målt ved temperaturerne $\frac{1}{2}(t + t_1)$. Både λ og η afhænger af luftens temperatur, men ikke af densitet.

Varmetrådsanemometerets resulterende lufttilstandsafhængighed er dermed temmelig kompliceret. Nogle instrumenter har indbygget en form for temperaturkompensation, men for det første synes den ikke altid at opfylde sit formål ifølge en svensk undersøgelse foretaget for nylig (2), og for det andet kan densitetsafhængigheden principielt ikke elimineres alene ved en temperaturkompensation.

Da udførlige oplysninger om lufttilstandens indvirkning på instrumenterne som regel ikke foreligger, må det konkluderes, at usikkerheden ved at anvende varmetrådsanemometre ved lufttilstande, som afviger forholdsvis meget fra kalibreringstilstanden, er svær at bedømme og kan være ret betydelig.

Omregning af luftstrømme

En luftstrøm, som er fremgået af en hastighedsmåling i en ventilations-

kanal el. lign., vil i første omgang være udtrykt som volumenstrømmen L m³/s ved den aktuelle lufttilstand. Om nødvendigt kan volumenstrømmen derefter omregnes til den størrelse, som den får som følge af en eventuel ændring af temperatur eller tryk.

Drejer det sig f. eks. om at vurdere luftfornyelsen i et rum på V m³, hvortil der indblæses opvarmet luft, og volumenstrømmen er bestemt ved densiteten ϱ_K i kanalen, medens densiteten i rummet er ϱ_R , bliver antallet af luftskifter pr. time.

$$n = \frac{\varrho_R V}{3600 \varrho_K L}$$

Er f. eks. indblæsningstemperaturen 40°C og rumtemperaturen 20°C, bliver fejlen ved ikke at korrigere for densitetsændringen 7 %.

Det er i øvrigt muligt at gennemføre ventilationsberegninger ved konsekvent anvendelse af massestrøm (= ϱL) og massehastighed (= ϱv) i stedet for volumenstrøm og sædvanlig hastighed. Fordelen herved er, at en luftstrøm, som udsættes for en tryk- eller temperaturændring som i det anførte eksempel, ikke talmæssigt skifter størrelse. Ulempen er, at det praktiske regnearbejde alt i alt bliver noget større, fordi tryktabsdiagrammer, katalogdata osv. er indrettet på anvendelse af de traditionelle begreber L og v , som vel også må anses for at være mere anskuelige.

Det kan også indvendes, at der ikke i andre sammenhænge opnås formelle lettelser ved brugen af begreberne massehastighed eller massestrøm. Vil man f. eks. ved pitotrørsmålinger have udtrykt massehastigheden i stedet for »volumenhastigheden«, vil formlen blot indeholde faktoren $\sqrt{\varrho}$ i stedet for $1/\sqrt{\varrho}$.

Kontrol af lufttydelser

Et andet problem foreligger, hvis den målte ydelse for et ventilationsanlæg skal sammenlignes med den i udbudsbetainger foreskrevne eller af producenten garanterede ydelse, og lufttilstanden ved målingen ikke er sammenfaldende med den i betaingerne eller garantien specificerede.

Betragtes ventilatoren isoleret, gælder med god tilnærmelse, at ved varierende densitet og konstant omløbs-

frekvens er volumenstrømmen konstant og trykket proportionalt med densiteten. Ved at afbilde ventilator-karakteristikken i et diagram med volumenstrømmen som abscef og forholdet mellem trykforøgelse og densitet som ordinat, fig. 3, bliver kurven uafhængig af densiteten. I det samme diagram vil kanalnetkarakteristikken også blive uafhængig af densiteten, idet alle tryktab i nettet er proportionale med de dynamiske tryk og derved med densiteten. Skæringspunktet mellem ventilator- og netkarakteristikken ligger altså fast, dvs. densitetsændringer medfører heller ingen volumenstrømsændringer for systemet som helhed. Ved kontrolmålinger kan volumenstrømmene sammenlignes umiddelbart uden omregning for densitetsafvigelser. Derimod skal tryk og effekter korrigeres i forhold til densitetsafvigelserne.

Det skal bemærkes, at katalogopgivelser fra danske ventilatorproducenter i mange år har været baseret på densiteten 1,22 kg/m³, medens svenske og tyske producenter har benyttet 1,20 kg/m³ som standarddensitet, hvilket er meget nær sammenfaldende med den engelske og amerikanske standard på 0,075 lb/ft³.

Den anførte betragtning er egentlig ikke helt nøjagtig. En del af tryktabene i kanalnettet består i friktionstab, og dette afhænger foruden af det dynamiske tryk også af Reynolds' tal, der igen er både densitet- og temperaturafhængigt. Da friktionstabets afhængighed af Re imidlertid er forholdsvis svag, og da friktionstabet sjældent har en dominerende indflydelse i ventilationsanlæg, er fejlen ved at se bort fra denne sekundære effekt i reglen lille.

Indvirkning fra varme- og køleflader

I princippet udgør ethvert ventilationssystem et kredsløb, hvor luften fra et uendeligt stort reservoir cirkuleres gennem kanaler og aggregater tilbage til reservoiret. Det ventilerede rum kan her opfattes som selve reservoiret eller som en del deraf. Systemets opgave er da at tilføre eller fjerne bestemte luftstrømme til eller fra reservoiret, og som regel vil det være stiltiende forudsat, at luftstrømmene måles som volumenstrømme ved reser-

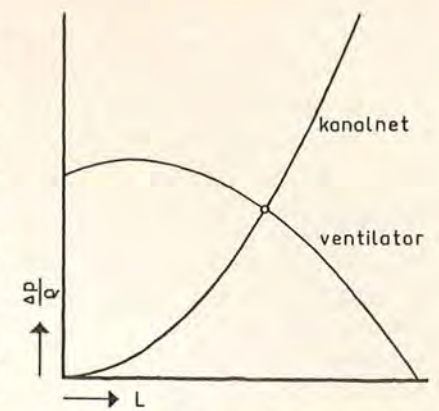


Fig. 3. Afsættets trykforøgelse/densitet som funktion af volumenstrøm for en ventilator med fast omløbsfrekvens, bliver karakteristikken uafhængig af densiteten. Det samme gælder kanalnetkarakteristikken.

voirets lufttilstand. For så vidt der i hele systemet hersker samme densitet, er volumenstrømmene som anført i det foregående uafhængige af dennes størrelse.

I virkeligheden kan densiteten naturligvis aldrig være den samme inden for et system. Dels kræves der trykforskelle til at cirkulere luften, dels vil luften opvarmes ved kompressionen i ventilatoren. Fra termodynamikken er det bekendt, at der for adiabatisk kompression af luft ved små tilstandsændringer gælder

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{k-1}{k} \frac{\Delta P}{P}$$

T og P er absolut temperatur og tryk og $k = 1,4$. Man finder heraf, at temperaturstigningen i en ventilator er knap 1°C for hver 100 mm H₂O trykstigning. Hvis luftens tryk reduceres ved drøvling, vil dens temperatur forblive uændret.

De tilstandsændringer, som alene skyldes ventilatoren, er imidlertid i den her behandlede sammenhæng temmelig underordnede. Derimod kan der forekomme så væsentlige tilstandsændringer ved luftens passage af varme- eller køleflader, at det kan have mærkbare konsekvenser for anlæggets ydelse. Medmindre andet er aftalt, må synspunktet formodentlig være, at anlægget skal kunne yde den forlangte eller garanterede luftstrøm ved den ugunstigste kombinationsmulighed for ind- eller udkobling af varme- eller køleflader.

Indkobling af en varmeafgiver, som fremkalder temperaturstigning og den-

sitetsnænkning i en del af systemet, virker som en forøgelse af strømningsmodstanden. Ved samme omløbsfrekvens for ventilatoren vil ydelsen målt som volumenstrøm ved reservoirtilstanden derfor falde. Hvis man nemlig tænkte sig denne luftstrøm opretholdt, ville tryktabene i den »varme« del af systemet, som det ses af udtrykket for det dynamiske tryk $\frac{1}{2}\rho v^2$, vokse i samme forhold, som ρ aftager, da v og ρ er omvendt proportionale. Hvis varme-fladen tilmed er anbragt på ventilatorens sugeside, vil ventilatoren arbejde med opvarmet luft og derved yde lavere tryk. Indkobling af en køleflade vil have den modsatte effekt.

Størrelsen af ydelsesreduktionen ved indkobling af en varme-flade afhænger af ventilatorkarakteristikens form, driftspunktets beliggenhed på karakteristikkens og varme-fladens placering i systemet. En opvarmning af luften på 30°C modsvarer en densitetsfor-

mindskelse på 10 %. Sidder varme-fladen på ventilatorens sugeside, kan ydelsesreduktionen da også blive indtil 10 %, idet der ved ydelsesreduktionen forstås formindskelsen af den leverede volumenstrøm målt ved en fast lufttilstand eller med andre ord formindskelsen af massestrømmen. Er varme-fladen anbragt på ventilatorens tryk-side, kan reduktionen i det højeste blive 5 %.

De her antydede variationer er måske nok uvæsentlige, når usikkerheden i grundlaget for fastsættelse af krav til lufttilførsel og luftfornyelse i almindelige rum tages i betragtning. Man bør imidlertid være opmærksom på eksistensen af variationerne og formulere udbuds- og garantibetingelser sådan, at man så vidt muligt undgår tvivl om fortolkningen af resultater af kontrolmålinger. I princippet kan det enten gøres ved, at der fastsættes så vide tolerancer, at man er dækket

ind over for alle sandsynligt forekommende tilstandsvariationer, eller ved, at der vælges snævrere tolerancer suppleret med specificerede betingelser for lufttilstanden.

Litteratur

- (1) Gröber/Erk: Die Grundgesetze der Wärmeübertragung. Springer 1963.
- (2) A. Svensson: Instrument för mätning av lufthastigheter. Svensk VVS jan. 1972, side 23.

SUMMARY

Measurements of ventilating plants at varying temperature and pressure

The effect of varying temperature, pressure and humidity on measurements of velocity and airflow in ventilation systems is explained. Further, the question of interpretation of measuring results in case of deviation of the actual air condition from the presupposed condition according to guarantees or specifications for tenders is discussed.

Måling af luftmængder ved ventilationsåbninger

Artiklen beskriver forskellige metoder til måling af luftmængder ved indblæsnings- og udsugningsåbninger, for hvilke der ikke er angivet målemetoder af fabrikanten. Målingerne er baseret på bestemmelse af en omsætningsfaktor svarende til den anvendte armaturtype og målemetode. I artiklen gives retningslinier for målingernes udførelse for forskellige armaturtyper.

Civilingeniør E. Christophersen,
Statens Byggeforskningsinstitut.

Måling af luftmængder gennem indblæsnings- og udsugningsåbninger er et tilbagevendende problem for alle, der arbejder med indregulering og afprøvning af ventilationsanlæg. Umiddelbart synes sådanne målinger ikke at skulle volde vanskeligheder, idet luftmængden kan bestemmes ved at måle lufthastigheden i ventilationsåbningen og gange med luftstrålens tværsnitsareal. I praksis er denne metode imidlertid behæftet med meget store usikkerheder, dels fordi det er vanskeligt at fastlægge tværsnitsarealet præcist, dels fordi luften bl.a. på grund af reguleringskassetter og spjæld ofte er ujævnt fordelt over armaturet, så det er vanskeligt at bestemme middelhastigheden. Undertiden er der angivet en målemetode i katalogmaterialet for de anvendte armaturer, og den angivne metode må da følges ganske nøje. I mange tilfælde kendes målemetoden imidlertid ikke, og man er da henvist til selv at fastlægge en metode, der kan føre til et acceptabelt resultat på rimelig tid.

I artiklen omtales forskellige metoder til bestemmelse af luftmængder, baseret på bestemmelse af en omsætningsfaktor svarende netop til den anvendte armaturtype og målemetode. Der gives endvidere retningslinier for målingernes udførelse for forskellige armaturtyper.

Omsætningsfaktorer

Luftmængden gennem enhver del af ventilationssystemet er bestemt af

$$Q = A_n \cdot v_n$$

hvor Q er luftmængden i m^3/s

v_n middelhastigheden over tværsnittet i i m/s og

A_n tværsnittets areal i m^2 .

For en rist eller en anemostat, der yder luftmængden Q , kan ligningen skrives som

$$Q = k \cdot A \cdot v$$

hvor A er et karakteristisk areal for armaturet, f.eks. bruttoarealet

v en karakteristisk middelhastighed og

k en faktor, der bl.a. afhænger af armaturets konstruktion, af dimensionerne og af målemetoden ved bestemmelsen af v .

$k \cdot A$ kan sættes sammen til en faktor A_k . Det er ofte A_k (det effektive areal), der angives i katalogmaterialet sammen med målemetode og instrumenttype. For det samme armatur vil der være forskellige faktorer for forskellige målemetoder og forskellige typer af instrumenter, og fabrikanten må derfor for hver armaturtype og instrument angive den tilhørende faktor, ligesom målemetoden, dvs. følerens placering samt antallet og placeringen af målepunkter, må være nøje beskrevet.

Fig. 1 viser eksempler på målemetoder ved bestemmelse af middelhastigheden over en rist. I det ene tilfælde måles hastigheden mellem lamellerne med et pitotrør, i det andet anvendes et vingehjulsanemometer, der holdes i 30 mm afstand fra lamellerne. Det er tydeligt, at der vil være væsentlig forskel på de hastigheder, der måles, og at omsætningsfaktoren A_k derfor vil være forskellig for de to målemetoder. Det fremgår ligeledes, at de af fabrikanten angivne målemetoder må følges nøje. Er der således i brochuren angivet en målemetode, der forudsætter en bestemt afstand, må afstanden overholdes ganske nøje. Især omkring udsugningsriste er der store hastig-

hedsgradienter, og selv få millimeters variation kan give betydelige forskelle i de aflæste værdier. Det er ligeledes vigtigt, at der kun måles med den instrumenttype, faktoren er angivet for.

Der findes kun få undersøgelser, der generelt siger noget om omsætningsfaktorernes størrelse. Resultatet af en amerikansk undersøgelse er vist i tabel 1, der angiver k -faktoren og det areal, der skal regnes med ved måling på riste med vingehjulsanemometre. Det forudsættes, at anemometret under målingerne holdes tæt mod risten. Anvendes en anden instrumenttype, fås helt andre k -faktorer.

De anførte faktorer bør sikkert anvendes med stor varsomhed, da indbygningsforhold, reguleringsanordninger m.v. kan give store afvigelser. Faktorerne bør kun anvendes, såfremt der ikke er mulighed for at bestemme en omsætningsfaktor som beskrevet i det følgende. Undersøgelsen illustrerer imidlertid tydeligt den forskel, der kan være mellem faktorerne for henholdsvis indblæsnings- og udsugningriste.

Bestemmelse af omsætningsfaktorer

I mange tilfælde, f.eks. når måle-

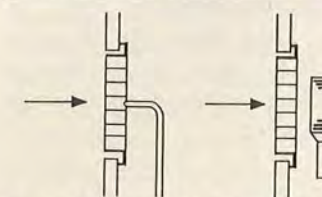


Fig. 1. Eksempler på målemetoder ved bestemmelse af middelhastigheden over en rist. I det ene tilfælde måles hastigheden mellem lamellerne med et pitotrør, i det andet anvendes et vingehjulsanemometer, der holdes i 30 mm afstand fra lamellerne. Omsætningsfaktoren vil afhænge af den anvendte målemetode.

	k-faktor	areal
Indblæsningsrist, mere end 100 mm bred, op til ca. 0,4 m ² overflade og med et frit areal på mere end 70 % af tværsnitsarealet. Lige indblæsning.	1,03	$\frac{1}{2} (A_{tot} + A_{-etlo})$
Udsugningsrist, mere end 100 mm bred, op til ca. 0,4 m ² overflade og med frit areal på mere end 60 % af tværsnitsarealet.	0,85	A_{tot}

Tabel 1. Resultatet af en amerikansk undersøgelse, der angiver k-faktoren ved måling på riste med vingehjulsanemometre. Anvendes en anden instrumenttype, fås helt andre k-faktorer.

metoden ikke er angivet, kan det være nødvendigt selv at bestemme en omsætningsfaktor (i virkeligheden et areal), der giver sammenhængen mellem en middelhastighed over armaturet og den virkelige luftmængde, der passerer.

For lige store armaturer af samme type kan omsætningsfaktoren bestemmes ved at måle luftmængden ved en traversmåling med pitotrør i kanalen foran ét armatur, og middelhastigheden over armaturet. Det skal ikke nødvendigvis være den virkelige middelhastighed over armaturet, den skal blot være karakteristisk, dvs. proportional med middelhastigheden, for det pågældende armatur.

Eksempel 1 (fig. 2).

Luftmængden til risten er ved en traversmåling i kanalen med pitotrør bestemt til 460 m³/h. Middelhastigheden over risten er målt med et vingehjulsanemometer til 4,0 m/s. Omsætningsfaktoren er da

$$A_k = \frac{460}{4 \cdot 3600} \sim 0,032 \text{ m}^2$$

Dette areal er ikke lig med ristens bruttoareal, men bestemt af målemetode og instrument. Luftmængden for andre riste af samme type og størrelse kan nu bestemmes af $Q_{rist} = A_k \cdot v \cdot 3600 \text{ m}^3/\text{h}$, når blot middelhastigheden over risten bestemmes på samme måde og med samme type instrument.

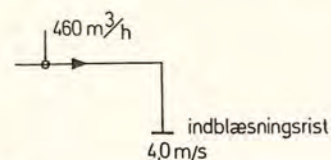


Fig. 2.

I mange tilfælde er det ikke muligt eller hensigtsmæssigt at måle luftmængden til et enkelt armatur, og man kan da måle i en kanal, der forsyner flere armaturer.

Metoden illustreres bedst ved et eksempel.

Eksempel 2 (fig. 3).

Den samlede luftmængde til risten er ved en traversmåling i kanalen med pitotrør bestemt til 1400 m³/h. Middelhastigheden over de 3 ens riste er målt med et vingehjulsanemometer til henholdsvis 4,7, 4,0 og 4,3 m/s. Omsætningsfaktoren for den pågældende rist, når der måles med vingehjulsanemometer, er da

$$A_k = \frac{1400}{3600 (4,7 + 4,0 + 4,3)} = 0,030 \text{ m}^2$$

Luftmængden gennem riste af samme størrelse og type bestemmes da af $Q_{rist} = A_k \cdot v \cdot 3600$; for de viste riste fås henholdsvis 505, 430 og 465 m³/h.

Det ses, at de målte middelværdier over risten i virkeligheden blot anvendes som fordelingsstal ved fordelingen af den absolut målte luftmængde i kanalen. Det ses endvidere, at det ikke er nødvendigt at kende (måle) ristenes areal.

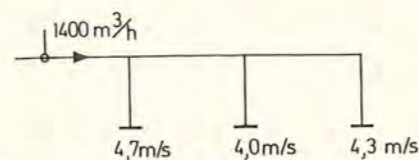


Fig. 3.

Er armaturerne af samme type, men af *forskellig størrelse*, er det nødvendigt at kende et karakteristisk areal for hver størrelse, eller blot forholdet mellem arealerne, når der i øvrigt er tale om ens indbygningsforhold. Areal kan f.eks. være armaturenes bruttoareal. For hver rist er luftmængden Q gennem risten som nævnt bestemt af $Q = k \cdot A \cdot v$, og det antages her, at k er konstant uafhængigt af armaturets størrelse. Faktoren k bestemmes en gang for alle for den pågældende armaturtype, og den bør sammen med de anvendte arealer anføres i målerapporten.

Det skal understreges, at antagelsen om, at k -faktoren er konstant, kun gælder med visse forbehold. I virkeligheden ændres faktoren noget med armaturstørrelsen, idet ændringen sker hurtigt ved små dimensioner, medens faktoren er næsten konstant for større dimensioner. Metoden bør derfor ikke anvendes, når der er tale om små armaturer, f.eks. riste med et areal mindre end 0,02–0,03 m², eller så fremt der er store forskelle i armaturstørrelserne.

Udføres traversmålingen i en kanal til et enkelt armatur med arealet A og en karakteristisk middelhastighed v , bestemmes k af

$$k = \frac{Q}{A \cdot v}$$

hvor Q er luftmængden, der måles i kanalen.

Eksempel 3.

Bruttoarealet for risten i eksempel 1 er 0,030 m². Med luftmængde og middelhastighed som i eksempel 1 (fig. 2) fås:

$$k = \frac{460}{0,030 \cdot 4 \cdot 3600} = 1,07$$

Luftmængden gennem armaturer af samme type, men af forskellig størrelse bestemmes da af $Q = 1,07 \cdot A \cdot v \cdot 3600 \text{ m}^3/\text{h}$, hvor A er armaturets bruttoareal og v middelhastigheden, der måles over armaturet.

I fig. 4 er vist en kanal med n armaturer. Totalluftmængden er Q , luftmængden gennem hvert armatur Q_1, Q_2, \dots, Q_n , arealet A_1, A_2, \dots, A_n og middelhastigheden v_1, v_2, \dots, v_n . Det ses, at

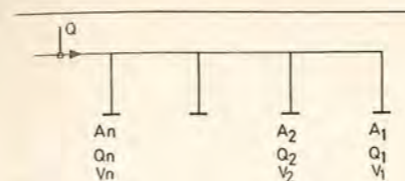


Fig. 4. Ventilationskanal, der forsyner n ventilationsarmaturer, luftmængderne er henholdsvis Q_1, Q_2, \dots, Q_n , arealerne A_1, A_2, \dots, A_n og middelhastighederne v_1, v_2, \dots, v_n , totalluftmængden er Q .

$$\begin{aligned} Q &= Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n \\ Q_1 &= k \cdot A_1 \cdot v_1 \\ Q_2 &= k \cdot A_2 \cdot v_2 \\ &\dots \\ Q_n &= k \cdot A_n \cdot v_n \end{aligned}$$

Heraf fås

$$k = \frac{Q}{(A_1 v_1 + A_2 v_2 + \dots + A_n v_n)}$$

Luftmængden gennem det n 'te armatur bestemmes af

$$Q_n = k \cdot A_n \cdot v_n$$

(Se eksempel 4, fig. 5).

Anvendes *forskellige armaturtyper* er det nødvendigt at udføre en traversmåling i kanalerne, helst en pitotrørsmåling, til bestemmelse af omsætningsfaktoren for hver type. Da traversmålinger i kanalsystemet kan være meget tidskrævende, er det af betydning at reducere antallet af armaturtyper mest muligt.

Anvendes der kun én armaturtype i hele kanalsystemet, og er der ringe forskel i størrelserne, er det i princippet kun nødvendigt at udføre en enkelt traversmåling i kanalerne. Af hensyn til de altid forekommende måleusikkerheder bør der dog ved bestemmelse af omsætningsfaktoren udføres mindst én kontrolmåling et andet sted i systemet, og der bør altid

Eksempel 4 (fig. 5).

Totalmængden er ved en traversmåling med pitotrør målt til 2530 m³/h. Middelhastigheden over indblæsningsristene er målt med et vingehjulsanemometer til 3,2 og 3,7 og 4,1 m/s. De angivne arealer antages at være bruttoarealer.

$$k = \frac{2530}{(0,072 \cdot 3,2 + 0,043 \cdot 3,7 + 0,057 \cdot 4,1) 3600} = 1,13$$

Luftmængden gennem risten bestemmes af $k \cdot A \cdot v \cdot 3600$ til henholdsvis 935, 645 og 950 m³/h.

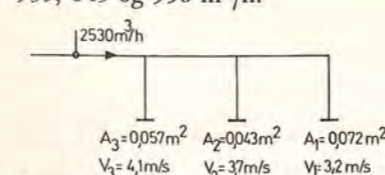


Fig. 5.

udføres separate målinger til bestemmelse af hovedluftmængder.

Det bemærkes, at der for det samme armatur kan være betydelig forskel på omsætningsfaktorerne afhængigt af, om armaturet benyttes til indblæsning eller udsugning. Omsætningsfaktoren må derfor bestemmes for begge tilfælde.

Ved bestemmelse af omsætningsfaktorer er det naturligvis vigtigt, at luftmængdemålingen i kanalen, den absolutte måling, udføres med den mindst mulige usikkerhed, dvs. i tilstrækkelig afstand fra spjæld, bøjninger og andre forstyrrelser. Endvidere er det vigtigt, at målingerne på armaturerne udføres, så måleresultaterne er reproducerbare. Endelig må man sikre sig, at der ikke er unormale utætheder i kanalerne fra traversmålepunktet og ud, idet sådanne utætheder naturligvis vil give forkerte omsætningsfaktorer. Man bør især være opmærksom på eventuelle utætheder ved armaturernes tilslutning til kanalerne. I øvrigt bemærkes det, at risikoen for, at en lokal utæthed får stor indflydelse på omsætningsfaktoren, bliver mindre, når der er flere armaturer efter traversmålepunktet.

Der er ikke i eksemplerne taget hensyn til den lækage, der altid er i et kanalsystem. Er lækagen jævnt fordelt over systemet, bør den ved traversmålingen bestemte luftmængde reduceres med den målte eller skønnede lækagemængde, før omsætningsfaktoren beregnes.

Målemetoder

Ved fastlæggelse af målemetoder for et armatur må det tages i betragtning, at måleresultaterne skal være reproducerbare. Målingerne må derfor

udføres efter en fastlagt procedure, der beskrives i målerapporten. I det følgende beskrives forskellige metoder til bestemmelse af en karakteristisk middelhastighed for et armatur, idet det forudsættes, at den absolutte luftmængde derpå bestemmes ved hjælp af en omsætningsfaktor svarende til den anvendte målemetode.

Målinger på riste

Målinger på riste udføres ofte mest bekvemt med et *vingehjulsanemometer*. Ristens areal tænkes under målingen opdelt i lige store rektangler med en sidelinie på 15–30 cm, afhængigt af ristens størrelse og hastighedsvariationerne over fladen. Hastigheden måles i midten af hver sektion, og når hastigheden er målt i alle sektioner, betegnes middelværdien. Anvendes et anemometer med stopur, holdes anemometret stille i lige lang tid, 10–20 sekunder, i hver sektion, og efter hver periode flyttes instrumentet, mens vingehjulet stadig roterer til den næste sektion. Perioden vælges således, at anemometret slår fra, når der er målt i den sidste sektion. Aflæsningen af anemometret korrigeres i henhold til kalibreringskurven.

Anemometret holdes under målingen tæt mod lamellerne. Er lamellerne stilbare, sættes de i en position vinkelret på ristoverfladen. En anden stilling af lamellerne vil give en anden omsætningsfaktor, også selv om luftmængden gennem risten ikke ændres væsentligt.

Det skal nævnes, at vingehjulsanemometret kan påvirke luftstrømmen gennem risten og dermed influere på målingen, når ristens areal ikke er væsentlig større end anemometrets. Forholdet mellem ristareal og vingehjulsanemometrets areal bør være mindst 5, hvis en væsentlig forstyrrelse af strømmingen skal undgås. Er der tale om små, men lige store riste, vil fejlen være en konstant faktor, der indgår i omsætningsfaktoren. Anvendes der både store og små riste, må der bestemmes en faktor for store og en eller flere for de små riste, selv om risten er af samme type.

Hastighedsmålingen kan også udføres med *pitotrør*, *velometer* eller *varmetrådsanemometer*. Hastigheden måles da mellem lamellerne i et antal punkter jævnt fordelt over risten og

middelhastigheden bestemmes som den aritmetiske middelværdi af målingerne. Målinger med disse instrumenter vil ofte være mere usikre end målinger med vingehjulsanemometer, idet eventuelle reguleringsanordninger bag ristene kan give en ujævn hastighedsfordeling og altså meget forskellige måleresultater, når instrumentets føler kun dækker et lille areal. Vingehjulsanemometret er ikke helt så følsomt overfor hastighedsforskelle.

Målinger på spalter foregår efter helt samme principper som for riste, idet lufthastigheden måles i et antal punkter jævnt fordelt over spalten, hvorpå middeværdien beregnes.

Ved måling på *indblæsningsriste* er det vigtigt, at luften er nogenlunde jævnt fordelt over ristene. En ujævn fordeling, f.eks. på grund af kraftig nedregulering eller fordi ristene er placeret direkte i kanalvæggen eller på korte stutse på forsyningskanalen, vil give en omsætningsfaktor, der er væsentligt forskellig fra omsætningsfaktoren for en rist med jævn fordeling. Forholdet mellem største og mindste hastighed bør af hensyn til målenøjagtigheden, men i øvrigt også af støjhensyn, næppe være større end 1,5.

For *udsugningsriste* har stillingen af eventuelle reguleringspjæld ikke så stor betydning for omsætningsfaktoren. Selv om reguleringspjældets stilling ændres fra helt åben til ca. 50% lukket, ændres (øges) omsætningsfaktoren kun med ca. 5%.

Målinger på anemostater

Målingerne kan udføres med pitotrør, velometer eller varmetrådsanemometer. Der måles i fire punkter på to på hinanden vinkelrette diametre i det ringformede areal mellem den yderste og den næstyderste konus, se fig. 6.

Ved cirkulære anemostater bør punkterne placeres på diametre under 45° med strømningsretningen i den vandrette hovedkanal. Middelhastig-

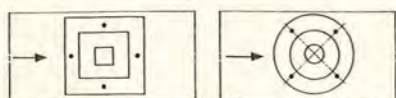


Fig. 6. Målepunkternes placering ved måling på anemostater. Ved cirkulære anemostater placeres punkterne på diametre under 45° med strømningsretningen i kanalen.

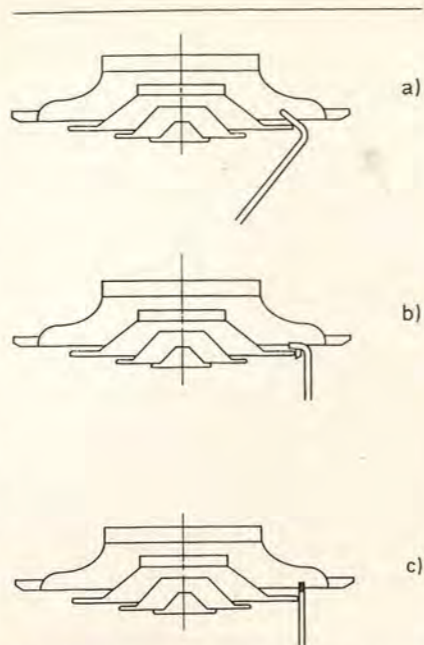


Fig. 7. Eksempler på placering af følerne ved måling på anemostater med a) pitotrør, b) velometer og c) varmetrådsanemometer. Hvert instrument og hver placering har sin bestemte omsætningsfaktor.

heden bestemmes som den aritmetiske middelværdi af målingerne. Det er vigtigt, at anemometrets føler anbringes i samme position og under samme vinkel ved alle målinger. Fig. 7 viser eksempler på placering af følerne for forskellige typer af instrumenter; hvert instrument og hver placering har sin bestemte omsætningsfaktor.

Hvis anemostaternes lameller er indstillelige, skal de alle før målingerne stilles enten så langt op eller så langt ned, de kan komme.

Ligesom for riste gælder det for anemostater, at en ujævn fordeling eller en kraftig nedregulering af luftmængden vil kunne ændre omsætningsfaktorerne væsentligt. Forholdet mellem største og mindste hastighed bør ligesom for ristene ikke være større end 1,5. I givet fald må der monteres ledigitre, så der opnås en jævn fordeling af luften over anemostaten.

Målinger på spaltdiffusorer udføres ved at måle lufthastigheden i et antal punkter jævnt fordelt over diffusorerne og bestemme middelværdien.

Generelt bemærkes det, at måling på anemostater ofte er behæftet med stor usikkerhed. Der opnås i mange tilfælde bedre nøjagtighed, såfremt målingerne udføres som en tragtmåling.

Tragtmålinger

Luftmængderne gennem indblæsnings- og udsugningsåbninger kan undertiden med fordel bestemmes ved hjælp af et anemometer i en tragt, der kan omslutte åbningen. Tragte er især anvendelige, hvis der skal måles på mange ens armaturer, eller hvis det er vanskeligt at bestemme middelhastigheden over armaturerne. Tragte med anemometre leveres fabriksfremstillede og kalibrerede, så man på en kurve umiddelbart kan aflæse luftmængden i afhængighed af anemometervisningen. Det bemærkes, at kurver (omsætningsfaktorer), der gælder, når tragterne anvendes til udsugningsåbninger ikke umiddelbart kan anvendes ved måling på indblæsningsåbninger og omvendt.

I mange tilfælde vil det være hensigtsmæssigt selv at fremstille en tragt, der netop egner sig til en bestemt måleopgave. Tragten udformes, så armaturet kan omslutes helt, og anemometrets føler fikseres i centrum på det snævraste sted. Tragten vil naturligvis forøge modstanden for luftstrømmen gennem armaturet, og den bør derfor udformes, så modstanden bliver mindst mulig. På den anden side skal hastigheden gennem tragten være så høj, at luftstrømmen på målestedet er jævn og hastigheden så stor, at den kan måles uden vanskelighed, f.eks. i området 2–5 m/s. Fig. 8 viser eksemplet på tragte til måling på anemostater og udsugningsventiler. I a) er vist en tragt beregnet til måling på udsugningsventiler. Tragten er udformet som en venturidyse, hvorved opnås, at hastigheden i centrum bliver veldefineret og af en passende størrelse samtidig med, at tryktabet er lavest muligt; i b) er vist en tragtudformning, der anbefales til måling på anemostater i en amerikansk vejledning for indreguleringsteknikere.

Omsætningsfaktoren for anemometer og tragt, dvs. forholdet mellem luftmængden gennem armaturet og hastigheden aflæst på anemometret, kan bestemmes som vist i eksempel 1 og 2. Forholdet vil være næsten konstant, idet der tilnærmelsesvis er proportionalitet mellem luftmængde og centerhastighed. Omsætningsfaktoren vil være afhængig af, om der måles på indblæsnings- eller udsugningsåbninger, men den er ikke væsentlig på-

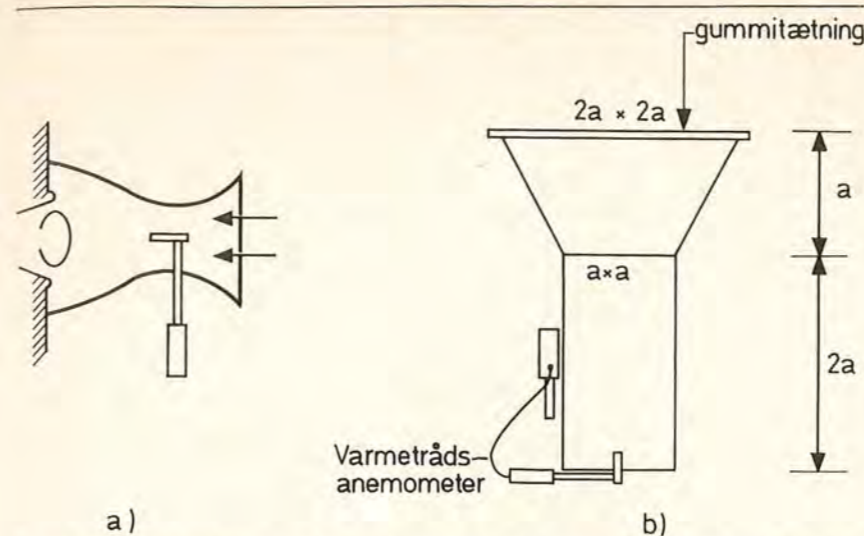


Fig. 8. Eksempler på tragte. I a) er tragten udformet som en venturidyse, hvorved opnås, at hastigheden i centrum bliver veldefineret og af en passende størrelse samtidig med, at tryktabet er lavest muligt; i b) er vist en udformning, der anbefales til måling på anemostater i en amerikansk vejledning for indreguleringsteknikere.

virket af mindre forskelle i armaturstørrelsen. Måles der på anemostater med indstillelige lameller, skal de alle stilles enten så langt op eller så langt ned, som de kan komme.

Praktiske erfaringer tyder på, at man skal være yderst varsom med at anvende tragte til måling på rektangulære indblæsningsåbninger, idet der sjældent, formentlig på grund af skæv luftfordeling, opnås reproducerbare resultater. Ved måling på kvadratiske eller cirkulære anemostater er resultaterne langt bedre.

Trykforholdene i kanalsystemet og dermed armaturets ydelse påvirkes normalt kun lidt, når målingen udføres med en tragt, der er udformet, så strømningsmodstanden er lav. Måles der på ensartede armaturer, med næsten ens luftmængder, repræsenterer modstanden en nogenlunde konstant faktor, der vil indgå i omsætningsfaktoren for armaturet. Er luftmængderne for armaturerne meget forskellige, kan modstandsfaktorens størrelse bestemmes ved at måle ændringen af luftmængden (lufthastigheden) i tilgangskanalen, når tragten sættes på.

Måleusikkerhed

Som det fremgår, er der mange forhold, der bevirker, at absolutte målinger af luftmængder gennem ventilationsåbninger er forbundet med betydelig usikkerhed. Den største nøjagtighed opnås, når der måles med pitotrør i den kanal, der forsyner armaturet. Luftmængden kan da i et velpla-

ceret målepunkt bestemmes med en nøjagtighed på $\pm 5\%$.

Bestemmes luftmængderne ved hjælp af omsætningsfaktorer, opnås størst sikkerhed, når der anvendes samme type og størrelse af armaturer overalt i systemet, og når indbygningsforholdene er ens. Målenøjagtigheden er formentlig da omkring $\pm 10\%$. Målenøjagtigheden er af samme størrelsesorden, når der kun er ringe forskel i armaturernes størrelse og indbygningsmåde.

Er der stor forskel i størrelse, indbygningsmåde, spjældstilling m.v., kan måleusikkerheden være op til 40–50%, såfremt der anvendes samme omsætningsfaktor for alle armaturer.

Forudsætninger for at måle

Som allerede nævnt er det vigtigt, at instrumenterne er kalibrerede, så man kender de afvigelser, der er mellem instrumentets visning og den virkelige målte størrelse. Afvigelserne er ofte betydelige, især ved lave hastigheder, og kalibrering bør derfor foretages med jævne mellemrum, f.eks. 1–2 gange årligt, afhængigt af hvor ofte instrumenterne er i brug. Det kan i denne forbindelse nævnes, at SBI nu kan påtage sig at kalibrere alle normale instrumenter til måling af lufthastighed og luftmængde. Det bemærkes, at afvigelserne sjældent er en konstant faktor for forskellige hastigheder; i så fald ville faktoren jo indgå i omsætningsfaktoren, såfremt det

samme instrument anvendes til alle målinger.

Da luftmængdebestemmelsen for indblæsnings- og udsugningsåbninger er nøje knyttet til instrumentet og den måde, instrumentet anvendes på under målingen, bør målinger på én armaturtype udføres af samme person med samme instrument.

Afsluttende bemærkninger

Der er næppe tvivl om, at der endnu forestår en del forskning vedrørende strømningsforholdene i og omkring indblæsnings- og udsugningsarmaturer, så man med større sikkerhed kan fastlægge målemetoderne og forudse de variationer, der må forventes i omsætningsfaktorerne på grund af forskelle i armaturtyper, indbygningsforhold mv.

De beskrevne målemetoder vil kunne medvirke til en højere grad af systematik ved udførelse af målingerne. Det er imidlertid en betingelse, at der i målerapporterne gøres nøje rede for de anvendte omsætningsfaktorer, målemetoder og instrumenter, så målingerne kan gennemføres på nøjagtig samme måde ved eventuelle kontrolundersøgelser. Allerhelst skal både indregulering og afprøvning baseres på en nøje fastlagt måleprocedure planlagt allerede under projekteringen. Er målemetoder og -procedurer fastlagt på forhånd, vil man undgå de diskussioner, der let opstår, når der konstateres utiladelige afvigelser ved en kontrolmåling, der udføres på en anden måde end ved klargøringen af anlægget.

I øvrigt er der næppe tvivl om, at det ville være en stor hjælp, hvis fabrikanterne i større udstrækning end i dag angav de målemetoder, der skal anvendes ved bestemmelse af luftmængden gennem armaturerne.

Litteratur

- Hayes, Stoecker, Tables of Application Factors for Flow Measurement at Return Intakes, ASHRAE Transactions 72 (1966):2
- Hayes, Stoecker, The Effect of Inlet Conditions on Flow Measurement at Ceiling Diffusers, ASHRAE Transactions vol. 72, 1966
- Manual for the Balancing and Adjustment of Air Distribution Systems. Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association, Inc., Washington DC

SUMMARY

Measurement of airflow at terminals

In the article are described different methods for measuring air flow at inlets and outlets for which no measuring methods are given by the manufacturer. The measurements are based on the determination of an application factor corresponding to the type of inlets and outlets as well as the measuring method applied. In the article directions are given for carrying out measurements.

Korrektionsfaktorer for ventilatorer med forskellige forbindelser til sugeåbningen

Al. Christea og T. Teretean*),
Bukarest

En ventilators ydeevne måles altid under ideelle betingelser, med samme hastighed i alle punkter i sugeåbningen og luften strømmende lige ind uden rotation.

Hvis den således målte ydeevne uden videre bruges ved valget af ventilator, tages der altså ikke hensyn til de ugunstige tilstrømningsforhold ved sugeåbningen, der som regel forekommer i praksis. En praktisk metode ved valget af den korrekte ventilator er for hver udformning af tilgangsforbindelsen at anvende en faktor k_Q for korrektion af luftmængden og en faktor k_P for trykket, som de beregnede værdier skal multipliceres med.

For at bestemme disse korrektionsfaktorer anvendtes en forsøgsopstilling, i hvilken der blev prøvet et stort antal tilgangsstykker. For hver forbindelse blev der målt:

- ventilatorens karakteristik med tilgangsstykket direkte koblet til sugeåbningen,
- karakteristikken for den samme ventilator og med den samme modstand i tilgangskanalerne, men med tilgangsstykket placeret så langt væk fra ventilatoren, at det ikke havde nogen indflydelse på ventilatorens ydeevne.

Ved hjælp af disse karakteristiker kunne korrektionsfaktorerne bestemmes for de forskellige udformninger

*) Begge er ventilations- og klimaanlægsingeniører ansat ved Byggeforskningsinstituttet, INERC, Sos. Pantelimon nr. 266, Bukarest, Rumænien, i Laboratoriet for ventilation og klimaanlæg, hvor Al. Christea er leder.

Nedenstående rapport blev præsenteret ved et møde i Bukarest i september 1971 i CIB Working Commission on Heating and Climatisation. Da korrektionsfaktorerne ikke er ubetydelige, har disse resultater stor interesse ved dimensioneringen af ventilatorer, og rapporten bringes hermed i en lidt forkortet dansk oversættelse. Bøjninger eller tilgangskasser tæt ved sugeåbningen bevirker, at ventilatoren må overdimensioneres henved 10 % med hensyn til luftmængde og tryk. P. Becher

af tilgangsstykkerne, og for hver af dem med ventilatorer anbragt i fire grundpositioner for trykåbningen.

Tilgangsstykkernes virkning på systemets ydeevne

Der er tre typer af forbindelsesstykker, der nedsætter ydeevnen

- forbindelser, der giver uensartet strømning i sugeåbningen,
- forbindelser, der forårsager rotation i sugeåbningen, og
- forbindelser ved trykåbningen, der ikke tillader fuld udvikling af trykket.

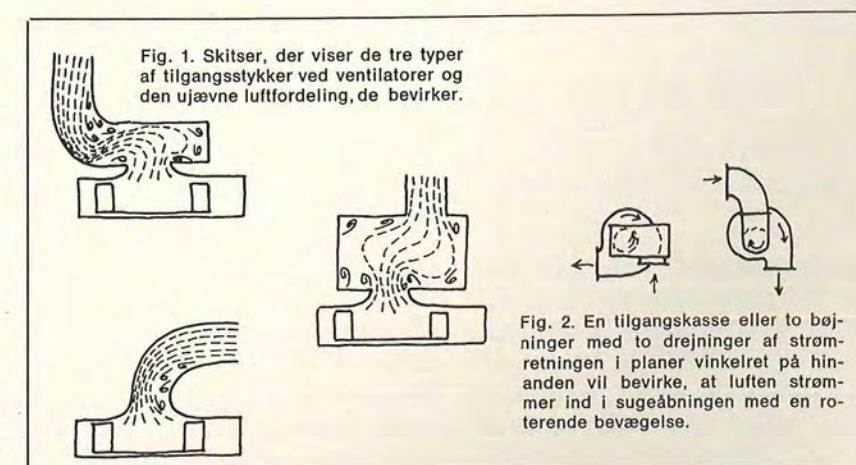
Tilgangsstykker af type a, såsom bøjninger eller kasser, bevirker, at luften fordeles ujævnt over sugeåbningen, se fig. 1.

Den ujævne hastighedsfordeling i sugeåbningen bevirker, at løbehjulet ikke bliver belastet lige stærkt overalt, således at ydeevnen går ned.

Tilgangsstykker af type b med to på hinanden følgende bøjninger i på hinanden vinkelrette planer eller en tilgangskasse med to drejninger af luftvejen giver luften en roterende bevægelse som vist på fig. 2, med eller mod løbehjulets bevægelsesretning. Luftens strømningsretning, når den møder løbehjulet, er selvfølgelig ret vigtig, fordi løbehjulet ændrer strømningens retning og hastighed.

Hvis luften har en roterende bevægelse i sugeåbningen, vil den nedsætte omdrejningshastigheden, uanset om rotationen er med eller mod løbehjulets omdrejningsretning, og derved formindskes ventilatorens ydeevne. Hvis luftens og løbehjulets rotation er rettet samme vej, vil kraftforbruget falde, hvis rotationerne er modsat rettede, vil kraftforbruget stige.

Afgangsforbindelserne indvirker ikke på ventilatorens ydeevne på samme måde som tilgangsforbindelserne,



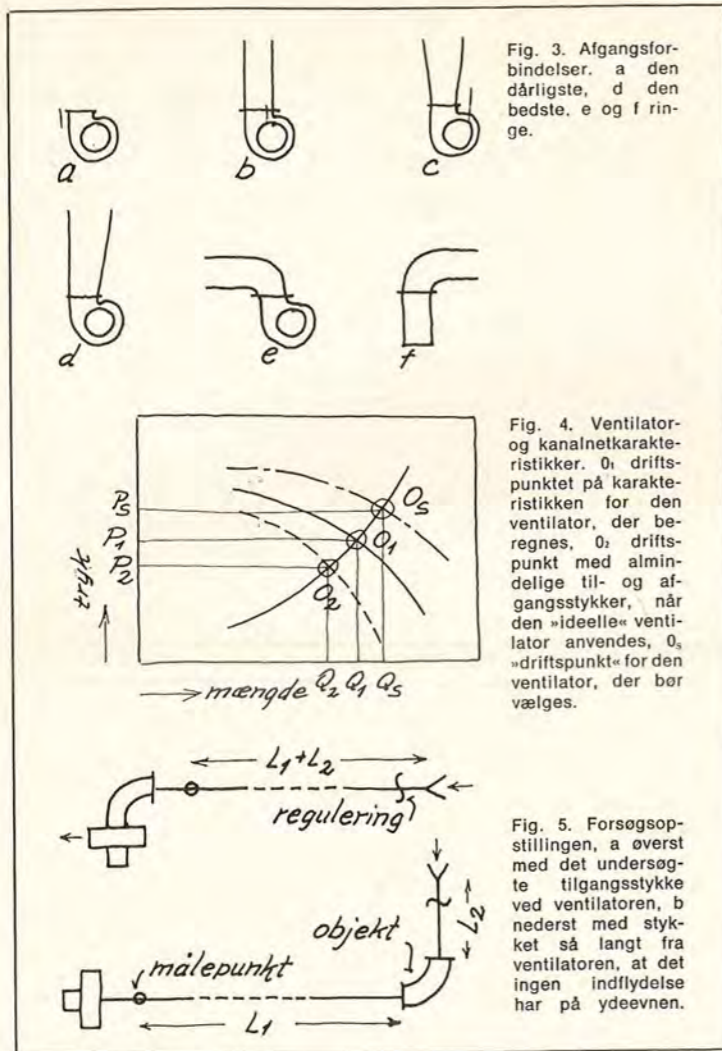


Fig. 3. Afgangsførbindinger. a den dårligste, d den bedste, e og f ringe.

Fig. 4. Ventilator- og kanalnetkarakteristikker. O_1 driftspunktet på karakteristikkene for den ventilator, der beregnes, O_2 driftspunkt med almindelige til- og afgangsstykker, når den »ideelle« ventilator anvendes, O_3 »driftspunkt« for den ventilator, der bør vælges.

Fig. 5. Forsøgsopstillingen, a øverst med det undersøgte tilgangsstykke ved ventilatoren, b nederst med stykket så langt fra ventilatoren, at det ingen indflydelse har på ydeevnen.

fordi ventilatoren har gjort sit arbejde på luften, når den når trykåbningen. Alligevel nedsætter afgangsførbindinger, som vist på fig. 3, ydeevnen, fordi de ikke tillader ventilatoren at udvikle det fulde tryk.

Fig. 3 a er den dårligste udførelse, da der ikke er mulighed for nogen genvinding af det statiske tryk ved trykåbningen. Udførelsen 3 b er bedre, 3 c og 3 d bedst. De meget dårlige udførelser, der er vist på 3 e og 3 f, er endnu ikke undersøgt. Under hensyn til energitabet og genvindingen ved disse udførelser må der gives et tilsvarende tillæg ved valget af ventilator.

Kompensering for dårlige ventilatorforbindelser

I de fleste tilfælde er der ikke tilstrækkelig plads til ventilationsaggregatet, så forbindelserne til ventilatoren bliver mindre gode. Konstrukøren må da vælge mellem

at anbringe ledeplader i kanalen for at forhindre forstyrrelser eller at tillade forstyrrelser og kompensere derfor, når ventilatoren vælges.

Den første metode bør foretrækkes, men det er ofte nødvendigt at følge den anden, særlig ved støv- og spånfjerningsanlæg, eller hvor der ikke må være forhindringer i kanalen af hensyn til rensning. I hvert fald må man være opmærksom på, at ved store anlæg vil udgifterne til ledeplader ikke altid svare til det opnåede resultat.

Det er derfor af praktisk interesse at undersøge alle ugunstige til- og afgangsførbindinger, så man ved, hvorledes der skal tages hensyn hertil ved valget af ventilator.

En afvigelse fra de ideelle udformninger af ventilators opstilling vil bevirke, at ventilatoren arbejder på en lavere karakteristikk, som vist på fig. 4. Det ideelle arbejds punkt O_1 vil glide

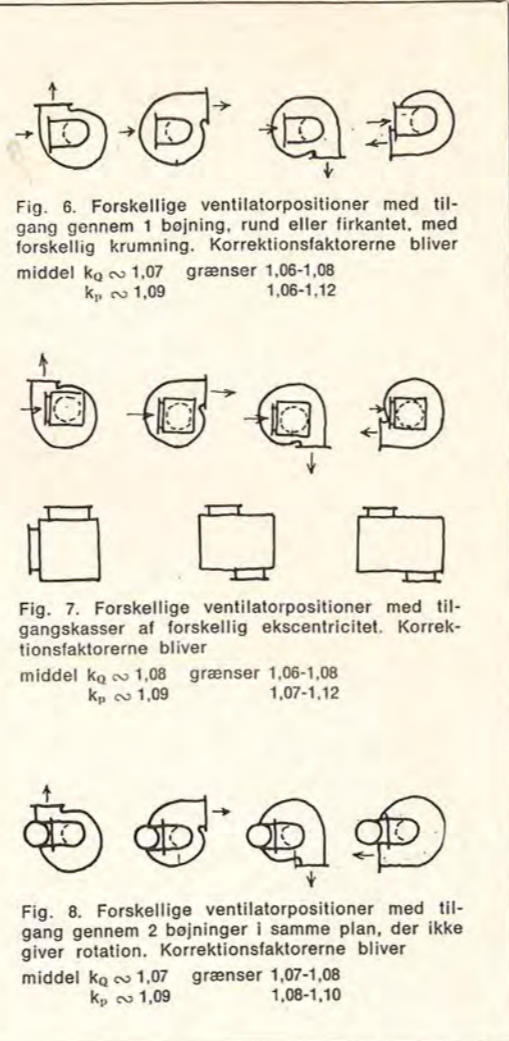


Fig. 6. Forskellige ventilatorpositioner med tilgang gennem 1 bøjning, rund eller firkantet, med forskellig krumning. Korrektionsfaktorerne bliver
 middel $k_Q \approx 1,07$ grænser 1,06-1,08
 $k_P \approx 1,09$ 1,06-1,12

Fig. 7. Forskellige ventilatorpositioner med tilgangskasser af forskellig ekscentricitet. Korrektionsfaktorerne bliver
 middel $k_Q \approx 1,08$ grænser 1,06-1,08
 $k_P \approx 1,09$ 1,07-1,12

Fig. 8. Forskellige ventilatorpositioner med tilgang gennem 2 bøjninger i samme plan, der ikke giver rotation. Korrektionsfaktorerne bliver
 middel $k_Q \approx 1,07$ grænser 1,07-1,08
 $k_P \approx 1,09$ 1,08-1,10

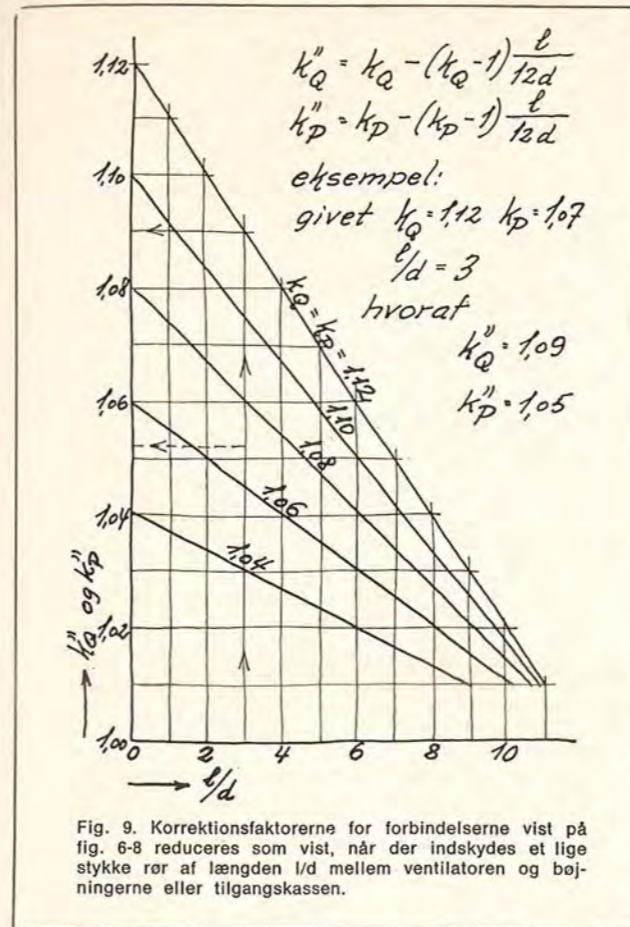


Fig. 9. Korrektionsfaktorerne for forbindelserne vist på fig. 6-8 reduceres som vist, når der indskydes et lige stykke rør af længden l/d mellem ventilatoren og bøjningerne eller tilgangskassen.

For ensartede ventilatorer viser det sig, at den samme afvigelse fra de ideelle betingelser giver praktisk taget den samme reduktion af ydeevnen, så man kan skrive

$$k_Q = k'_Q \text{ og } k_P = k'_P$$

Dette betyder, at luftmængden Q_s og trykket P_s for den ventilator, der skal vælges, kan beregnes udfra enhver påregnet ydeevne (Q_1, P_1), hvis korrektionsfaktorerne k_Q og k_P for alle ventilatorforbindelser kendes.

Målingerne

Det første, der blev gjort, var at opstille en lang liste over de mest almindelige af de forbindelsesstykker, der anvendes i praksis. Disse blev delt i 3 typer som nævnt. Målingerne på tilgangstykkerne er afsluttede og meddeles nedenfor, mens målinger på afgangsstykker pågår.

For at måle luftmængden og korrektionsfaktoren for hvert forbindelsesstykke blev der anvendt en forsøgsopstilling med ventilatoren indskudt på to forskellige måder i kanalnettet, som vist på fig. 5.

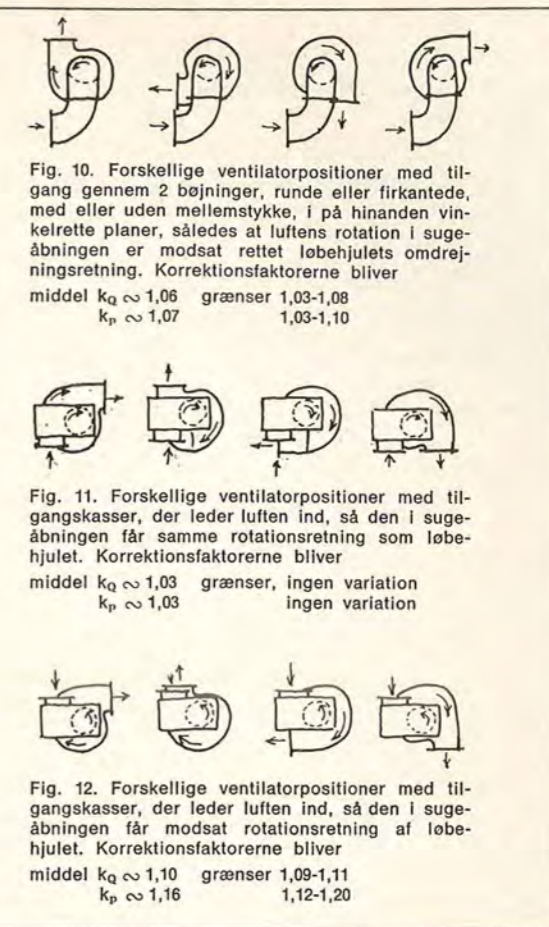


Fig. 10. Forskellige ventilatorpositioner med tilgang gennem 2 bøjninger, runde eller firkantede, med eller uden mellemstykke, i på hinanden vinkelrette planer, således at luftens rotation i sugåbningen er modsat rettet løbehjulets omdrejningsretning. Korrektionsfaktorerne bliver
 middel $k_Q \approx 1,06$ grænser 1,03-1,08
 $k_P \approx 1,07$ 1,03-1,10

Fig. 11. Forskellige ventilatorpositioner med tilgangskasser, der leder luften ind, så den i sugåbningen får modsat rotationsretning af løbehjulet. Korrektionsfaktorerne bliver
 middel $k_Q \approx 1,03$ grænser, ingen variation
 $k_P \approx 1,03$ ingen variation

Fig. 12. Forskellige ventilatorpositioner med tilgangskasser, der leder luften ind, så den i sugåbningen får modsat rotationsretning af løbehjulet. Korrektionsfaktorerne bliver
 middel $k_Q \approx 1,10$ grænser 1,09-1,11
 $k_P \approx 1,16$ 1,12-1,20

I fig. 5 a er tilgangsstykket en bøjning, tilsluttet ventilatoren, mens den ved det andet arrangement på fig. 5 b er anbragt så langt fra ventilatoren, at den ikke har nogen indflydelse på ydeevnen. For hvert af disse arrangementer blev ventilator-karakteristikkerne målt og sammenlignet.

Den samlede længde af kanalerne var den samme ved begge arrangementer og ved alle undersøgte tilgangsstykker for at sikre, at kanalnettets karakteristikk hele tiden var den samme. Med hensyn til strømningsmodstanden måtte der tages højde for den uundgåelige mangel på præcision, der forårsagedes af den umålelige modstand, der opstår på grund af stærkere turbulens i det lige stykke L_1 på fig. 5 b nedenfor bøjningen.

Målingerne viste, at for det samme tilgangs stykke blev ventilatorens ydeevne forskelligt påvirket af vinklen mellem indkommende og afgående luft. Derfor blev der ved hvert tilgangs stykke målt for de fire hovedstillinger af ventilatoren i forhold til tilgangsstykket. Gennemsnittene af resultaterne er vist på de følgende figu-

rer, og på fig. 9 er vist, hvorledes tilgangsstykkets virkning reduceres ved at anbringe det længere fra sugåbningen.

Tilsvarende målinger, men kun for nogle få tilgangsstykker, er beskrevet af Trickler fra New York Blower Company i en artikel i Air Conditioning, Heating and Ventilation, maj 1960. Hvad angår bøjninger, der giver ekscentriske strømninger, stemte målingerne godt overens. Andre typer af tilgangsstykker kunne ikke sammenlignes, da Trickler ikke har målt sådanne. Hvad angår tilgangsstykker, der giver rotation, fandt Trickler lidt mindre korrektionsfaktorer end her, uden at det vides hvorfor.

For at prøve gyldigheden af resultaterne af målingerne med forskellige ventilatortyper blev nogle af målingerne gentaget med to andre ventilatorer med samme hus, men andre typer løbehjul. Resultatet blev, at et hvilket som helst tilgangs stykke forbundet til det samme ventilatorhus har de samme korrektionsfaktorer uanset formen af løbehjulets blade, fremad- eller bagudkrummede eller radiære.

SUMMARY

Correction factors for the selection of fans with various inlet connections

The report was presented at a meeting in Bucarest september 1971 in CIB Working Commission on Heating and Climatization. The correction factors are rather big, therefore the results have interest at the dimensioning of fans. Bends, elbows and boxes placed close to the suction opening of the fan cause that the fan must be overdimensioned by about 10% considering amount of air and pressure.

Tolerancer for ventilationsanlæg, 1

Civilingeniør E. Christophersen
Statens Byggeforskningsinstitut

I forbindelse med projekteringen af ventilationsanlæg må det overvejes, hvilke afvigelser, der kan tillades fra de projekterede ydelser, og tolerancerne må angives i projektet. Artiklen giver en oversigt over en række spørgsmål, der må tænkes igennem, når tolerancerne skal fastlægges, og den er en optakt til senere artikler, der vil behandle delproblemerne mere detaljeret.

Projekteringen af et ventilationsanlæg er som regel baseret på, at anlægget under visse indre og ydre belastninger skal kunne opretholde et specificeret indeklima i de rum, der betjenes af anlægget. På dette grundlag fastlægges anlæggets ydelser, d.v.s. luftmængder, indblæsningstemperaturer og befugtning. Af tekniske og økonomiske årsager må man imidlertid normalt acceptere, at anlægget arbejder med ydelser, der afviger fra de projekterede, og spørgsmålet er da, hvor store afvigelser, tolerancer, der kan tillades under hensyntagen til indeklimakvaliteten. Tolerancerne er naturligvis i høj grad bestemt af, hvilke rum der betjenes af anlægget. Således vil kravene sikkert være forskellige for en foredragssal, hvor temperatur, støj og luftbevægelser må være under nøje kontrol, og for et fabrikslokale, hvor sådanne faktorer måske spiller en mindre rolle.

De tilladelige afvigelser må fastlægges ved en afvejning mellem økonomi og graden af indeklimakomfort, og den projekterende må fastlægge tolerancerne efter samråd med bygherren på samme måde, som når kravene til anlæggets præstationer skal fastlægges. Det er naturligt, at det er den projekterende, der fastlægger tolerancerne ud fra et beregnet kendskab til den indflydelse, afvigelser i de projekterede ydelser har på indeklimaet. Tolerancerne må sammen med forudsætningerne angives i udbudsmaterialet, så ventilationsentreprenøren og leverandøren af det automatiske reguleringsanlæg ved, hvilke krav der stilles til ydelserne ved den endelige afprøvelse af anlægget, og anlægget bør

først godkendes, når det arbejder indenfor de fastsatte grænser. Tolerancerne har således stor betydning i forbindelse med afleveringsprøver, ligesom de må kendes, når der udføres funktionsprøver under driften.

I dag er toleranceangivelsen ofte ganske tilfældig. I mange tilfælde angives f. eks. for luftmængder en tolerance på $\pm 10\%$ for alle indblæsnings- og udsugningsåbninger, og undertiden angives så snævre tolerancer, at den endelige kontrol ikke vil kunne gennemføres med almindeligt måleudstyr. En uovervejede angivelse af tolerancer vil imidlertid i nogle tilfælde stille unødvendigt strenge krav til anlæggets indregulering, der herved fordyres; i andre tilfælde vil tolerancerne måske være for store, så der i nogle rum opstår problemer i form af trækgener. Det er mange gange således, at der udfoldes store anstrengelser for at udforme og dimensionere systemerne korrekt, og der ofres mange penge på automatik m. v., men man glemmer at tage højde for en række forhold, der kan influere på det endelige resultat, f. eks. indreguleringsafvigelser og måleusikkerhed. I mange tilfælde opnås derfor ikke det tilsigtede udbytte af de installerede systemer, og anlægget giver måske anledning til klager fra brugerne, selv om det i virkeligheden er veldimensioneret.

Problemerne vedrørende tolerancer i ventilationsanlæg er komplicerede, og flere spørgsmål er endnu uafklarede. I det følgende vises eksempler på sammenhængen mellem forskellige variable i et ventilationsanlæg, og endvidere præsenteres forskellige begreber, der med fordel kan anvendes ved

en videre behandling af problemerne. Endelig gives et eksempel på problembehandling ved tolerancefastsættelse for luftmængder. I senere artikler vil forskellige delproblemer blive taget op til en mere detaljeret behandling.

Grundlaget for tolerancefastsættelsen

Tolerancerne må altid bestemmes ved en afvejning mellem økonomi og graden af komfort i de rum, der betjenes af anlægget. Snævre tolerancer vil fordyre anlægget, idet der da stilles øgede krav til udformning og udførelse, f. eks. til reguleringsudstyr og indregulering. Samtidig med, at tolerancerne fastlægges, må det overvejes, om det er muligt med den foreskrevne måleteknik at kontrollere, om anlægget arbejder inden for de fastsatte grænser.

Det egentlige grundlag for tolerancefastsættelsen er det område, i hvilket indeklimaparametrene kan variere, uden at det influerer væsentligt på velbefindendet for de personer, der opholder sig i rummene. Mange faktorer, både fysiske, fysiologiske og psykiske, har imidlertid indflydelse på menneskets velbefindende, og den grundlæggende viden vedrørende de tolerancer, der kan tillades for indeklimaparametrene, er på flere områder ufuldkommen. Den eksisterende viden er dog tilstrækkelig til, at der kan angives rimelige tolerancer for de indeklimaparametre, ventilationsteknikeren har indflydelse på. Tolerancerne for indeklimaparametrene vil være bestemmende for de tolerancer, der skal gælde for ventilationsanlæggets ydelser, idet der samtidig må tages hensyn til

udeklimaets indflydelse på anlæg og bygning.

Påvirkninger og variable

I fig. 1 er i diagramform vist eksempler på sammenhængen mellem de variable i ventilationsanlægget, indeklimaparametrene og forskellige faktorer, der har indflydelse på de variable.

Ventilationsanlæggets ydelser, i det følgende kaldt anlæggets variable, er luftmængde, lufttemperatur og vandindholdet i den indblæste luft. Anlæggets variable har indflydelse på de termiske indeklimaparametre, d.v.s. lufthastighed, lufttemperatur, relativ fugtighed og eventuelt middelstrålingstemperatur samt på luftkvalitet og lydniveau.

Anlæggets variable er underkastet forskellige påvirkninger, der kan medføre afvigelser fra de projekterede værdier. Påvirkningerne kan hensigtsmæssigt opdeles i faktorer, der så at sige er indbygget i systemet under udførelsen, *konstante afvigelser*, og *tidsafhængige faktorer*, der igen kan opdeles i kontrollerede og ukontrollerede faktorer. De kontrollerede faktorer kan være variationer, der skyldes den automatiske regulering, medens de ukontrollerede kan være påvirkninger fra udeklimaet, f. eks. vindtryk på friskluftindtaget eller afvigelser forårsaget af ændringer i selve anlægget, f. eks. tryktabsændringer på grund af tilsmudsning af filtre, varmeplader m. v.

De indbyggede (konstante) afvigelser kan hidrøre fra målefejl, indreguleringstolerancer, lækage eller andet.

Ved fastlæggelse af tolerancerne for et anlæg er det nødvendigt at tage alle disse indbyrdes påvirkninger med i overvejelserne. Problemerne kan være temmelig komplicerede, bl. a. fordi en ændring af en af anlæggets variable kan have indflydelse på flere af indeklimaparametrene. I praksis vil flere af kombinationerne dog være uden væsentlig betydning, og man kan formentlig se bort fra flere af de dyre påvirkninger, såfremt anlæggets kapacitet og udrustning er tilstrækkelig overlegen.

Som eksempel skitseres i det følgende hvorledes problemerne kan formuleres ved tolerancefastsættelse for luftmængder.

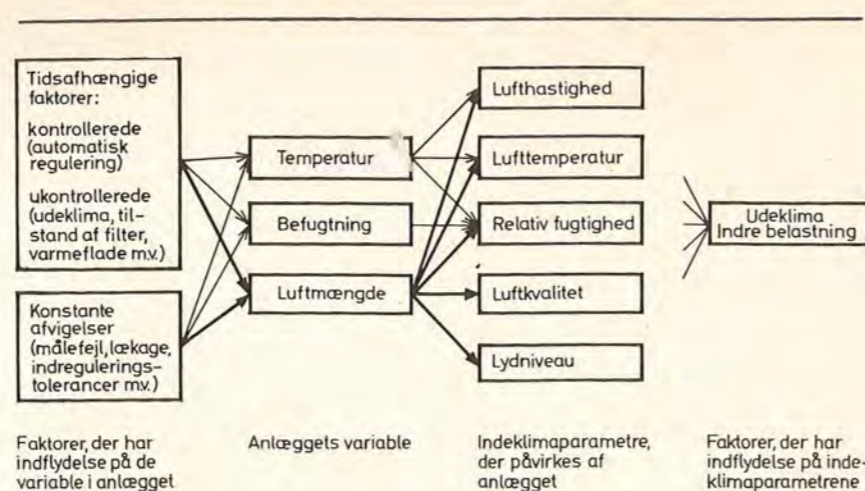
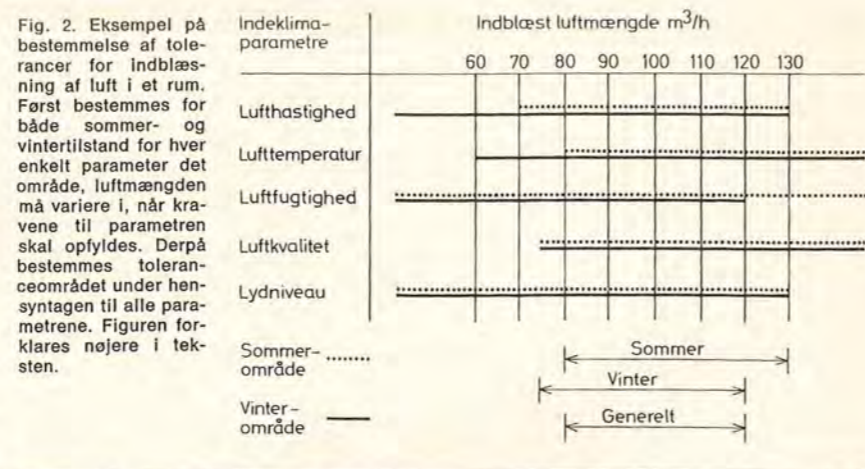


Fig. 1. Eksempler på sammenhænge mellem anlæggets variable, indeklimaparametrene og forskellige faktorer, der har indflydelse på anlæg og indeklime.



Indeklimaforhold

Af fig. 1 ses bl. a., at variationer i luftmængden til et rum vil kunne have indflydelse på samtlige indeklimaparametre. Det må derfor for hver enkelt parameter overvejes, hvor store luftmængdevariationer, der kan tillades, når parametren skal holdes inden for et fastlagt tilladt variationsområde.

Som eksempel ses på forholdene i et rum, hvor den indblæste luftmængde er projekteret til 100 m³/h. Luften indblæses gennem en rist i bagvæggen, og det antages, at rummet er beregnet til 3 personer. Anlægget forudsættes at være uden befugtning og køling, og endvidere antages det, at der ikke er mulighed for recirkulation. I fig. 2 er for hver indeklimaparameter angivet det område luftmængden må variere i, når kravene til parametren skal opfyldes, og endvidere de luftmæng-

detolerancer der kan accepteres, når der tages hensyn til samtlige parametre. Grænserne for de enkelte parametre forudsættes fastlagt efter aftale med bygherren under hensyntagen til indeklimakvalitet og økonomi.

Der skal knyttes følgende kommentarer til figuren:

Lufthastigheden i opholdszonen kan bestemmes på grundlag af de normale formler for kastelængder eller ved anvendelse af katalogmateriale for den pågældende rist. I eksemplet antages det, at man ved indblæsning med overtemperaturer vil få hastigheder større end 0,2 m/s, når der indblæses mere end 130 m³/h. Der er ingen risiko for trækgener, hvis der indblæses mindre. Tænkes der kun på lufthastigheden i rummet, er kravet ved indblæsning med overtemperaturer altså alene, at luftmængden skal være mindre end 130 m³/h.

Når der indblæses med undertemperaturer antages det, at luftmængden ikke må være mindre end 70 m³/h på grund af strålens nedsynkning. Den øvre grænse sættes også her til 130 m³/h.

Der vil således være forskel på tolerancerne for vinter- og sommertilstande.

Lufttemperaturen må bestemmes ved beregninger, under hensyntagen til de termiske belastninger og bygningens varmeakkumulering. Den projekterede luftmængde på 100 m³/h antages i eksemplet bestemt ved at rumtemperaturen under specificerede termiske belastninger ikke må overstige 25°C i mere end 20% af brugstiden i en normal maj måned. Er disse betingelser blot et udtryk for det ønskede temperaturniveau og ikke et minimumkrav, kan det tillades, at luftmængden i nogle rum reduceres i forhold til det projekterede; i eksemplet er den lavest tilladte luftmængde sat til 80 m³/h, og denne værdi bliver den nedre grænse i sommerperioden. Om vinteren antages det at luftmængden højst må reduceres til 60 m³/h, da rummet ellers ikke kan opvarmes tilstrækkeligt.

Den relative fugtighed sætter en øvre grænse for indblæsningen af friskluft om vinteren. I dette tilfælde er grænsen sat til 120 m³/h, der i koldt vejr antages at give den laveste acceptable fugtighed i rummet. Om sommeren er der ingen begrænsninger.

Luftkvaliteten afhænger af friskluftmængden pr. person, lokalets art og anvendelse, omfanget af tobaksrygning og af det antal m³ rum, der er pr. person. I dette tilfælde forlanges en friskluftmængde på mindst 25 m³/h pr. person, altså mindst 75 m³/h til rummet. Dette gælder både sommer og vinter.

Lydniveauet øges med den luftmængde, der passerer gennem risten. I eksemplet er det antaget at lydniveauet vil overstige den tilladelige grænse for støjniveauet i rummet, når luftmængden er større end 130 m³/h. Lydniveauet kan vurderes ud fra katalogmateriale eller ved en beregning.

Ved en vurdering af de tilladelige variationsområder for de enkelte parametre, vil det således være muligt at fastlægge de grænser, luftmængden må variere imellem, enten som gene-

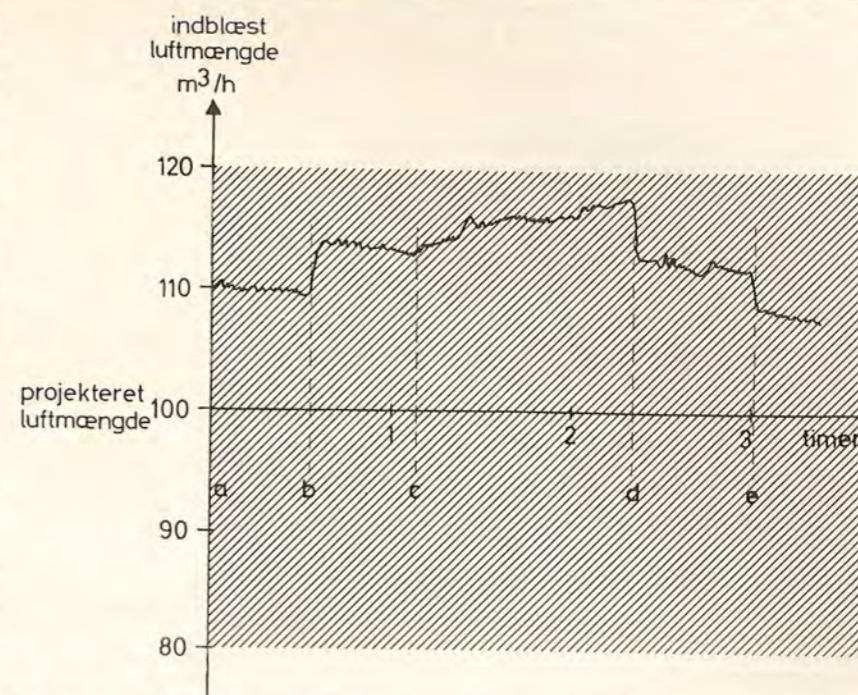


Fig. 3. Eksempel på tidsafhængige variationer i luftmængden til et rum. Variationerne skyldes bl. a. vindpåvirkninger, bevægelser af automatiske spjæld og påvirkning fra sammenbyggede anlæg. Figuren kommenteres nøjere i teksten.

relle grænser, eller som grænser gældende for sommer- eller vinterforhold. Såfremt de ønskede indeklimatiske forhold skal opretholdes, må grænserne ikke overskrides, uanset om afvigelserne skyldes konstante afvigelser, tidsafhængige variationer eller andet.

Anlægget

Som allerede nævnt er det hensigtsmæssigt at opdele de påvirkninger, anlæggets ydelser er udsat for, i tidsafhængige faktorer og konstante afvigelser. De tidsafhængige faktorer kan være udprægede korttidsvariationer, f. eks. forårsaget af spjældbevægelser eller vindpåvirkninger, eller det kan være ændringer over længere tid, f. eks. på grund af tilsmudsninger i kanalsystemet. For et rum som det tidligere beskrevne vil korttidsvariationerne måske forløbe som angivet i fig. 3.

Der skal knyttes følgende kommentarer til figuren:

Det skraverede område er de tolerancer, der er fastlagt for indblæsningen i henhold til fig. 2.

I a er den indblæste mængde 110 m³/h, hvilket antages at være den

konstaterede mængde til rummet ved anlæggets aflevering.

I perioden a-b forekommer mindre variationer i luftmængden på grund af vindpåvirkning på friskluftindtaget. Sådanne svingninger vil hele tiden overlejre andre variationer i luftmængden.

På tidspunktet b øges luftmængden næsten momentant med 3-4%, idet et anlæg, der har friskluftindtag fælles med det betragtede, kobles ud.

Ydelsen holdes på det højere niveau indtil tidspunktet c, hvor et øget vindtryk på friskluftindtaget begynder gradvist at øge den indblæste luftmængde.

På tidspunktet d kobles anlægget med fælles friskluftindtag atter ind, og luftmængden falder, men holder sig stadig på et højere niveau på grund af vindpåvirkningen.

På tidspunktet e sker en spjældomstilling i anlægget, hvilket ændrer trykforholdene i systemet således, at ydelsen reduceres med ca. 5%.

De nævnte variationer er udprægede korttidsvariationer, der imidlertid overlejres af ændringer over længere tid. Et eksempel på sådanne langtids-

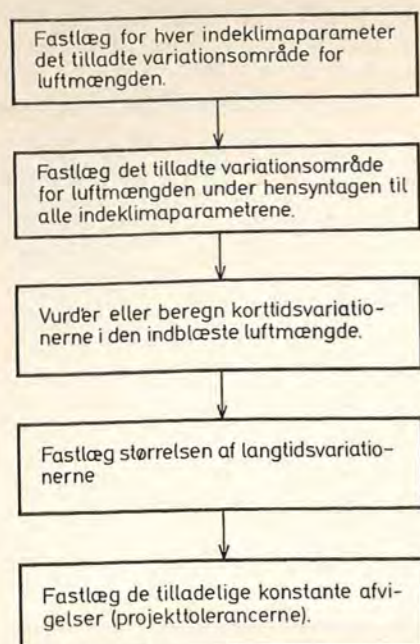


Fig. 4. Grundtrinene i problembehandlingen ved tolerancefastsættelse for luftmængder.

variationer er tilsmudsningen af filteret, der f. eks. vil bevirke, at luftmængden falder med 10 % i løbet af en måned. I så fald vil den opregnede kurve for korttidsvariationerne i løbet af en måned parallforskydes ca. 10 m³/h nedad, og denne ændring vil yderligere overlejres af langtidspåvirkninger som tilsmudsning af kanaler, varmeplader m. v.

For det betragtede rum ses det, at luftmængden højst må falde til ca. 85 m³/h på grund af langtidsændringer, svarende til en reduktion på ca. 25 % af de 110 m³/h ved afleveringen, da indeklimatolerancerne ellers overskrides. Er der generelt tilladt ind-

reguleringstolerancer på $\pm 10\%$, vil der formentlig være rum, hvor luftmængden kun er 90 m³/h. I disse rum må reduktionen fra langtidsændringerne højst være ca. 5 %, og det er denne størrelse, der er bestemmende for, hvornår filteret skal udskiftes, varmeplader ses efter osv.

Man kan naturligvis omvendt finde indreguleringstolerancerne ud fra viden om eller krav til de øvrige størrelser. Forlanges det f. eks., at filteret skal renses, når luftmængden er faldet med ca. 10 %, i det betragtede tilfælde til det tilladte minimum 80 m³/h, vil det betyde, at konstante afvigelser og korttidsvariationer højst må reducere luftmængden til ca. 90 m³/h. Er korttidsvariationerne af størrelsesordenen $+10\%$ og $\div 5\%$, skal luftmængden efter indreguleringen være mindst 95 m³/h og højst 110 m³/h svarende til en tolerance på $+10\%$ og $\div 5\%$.

Grundtrinene i problembehandlingen ved tolerancefastsættelsen er vist på fig. 4.

Afsluttende bemærkninger

Med det foranstående er det hensigten at give indtryk af den problemkreds, der må behandles for at give et bedre grundlag for fastsættelse af tolerancer. De anførte eksempler omhandler kun én af de parametre, der må betragtes, nemlig luftmængden, men tilsvarende overvejelser vil kunne gennemføres for flere af de andre variable.

Det må erkendes, at mange af de faktorer, der bør indgå i overvejelserne, kun kan angives efter et skøn.

I første omgang må man derfor tilstræbe et overblik over hele problemkomplekset, så det kan vurderes, hvilke faktorer man har tilstrækkelig viden om, og hvilke faktorer der kræver en særlig forskningsindsats i den kommende tid.

Der findes så vidt vides endnu ikke, hverken her eller i udlandet, noget egentligt materiale vedrørende tolerancer, og de mange problemer er ingen steder behandlet i sammenhæng. Det er imidlertid af stor betydning, at tolerancespørgsmålene afklares bedre. Man vil således uden tvivl opnå en forbedring af ventilationsanlæggene, hvis tolerancespørgsmålene overvejes under projekteringen, så kravene er fastlagt, når anlæggene skal afprøves. Man vil også få et bedre grundlag for tekniske og økonomiske vurderinger i forbindelse med installation af ventilationsanlæg, og på længere sigt vil en afklaring af tolerancespørgsmålene have stor betydning for udformningen af funktionelle krav, normer m. v. for anlæg og indeklimate.

SUMMARY

Tolerances for ventilating plants

In connection with the planning of ventilating plants the permissible tolerances must be considered, and the tolerances must be indicated in the project. In the article the correlation between the different variables in a ventilating plant is exemplified, and further are presented different concepts which can be applied with advantage when treating the problems. An example is given of the way of treating the problem in connection with stipulation of tolerances for air quantities.

Tolerancer for ventilationsanlæg, 2

I den foranstående artikel blev det nævnt, at et ventilationsanlæg er underkastet forskellige påvirkninger, hvis størrelsesorden må kendes, inden der fastlægges tolerancer for anlæggets ydelser. I denne artikel gives en vurdering af størrelsesordenen og betydningen af de tidsafhængige variationer i forbindelse med tolerancefastsættelse for luftmængder.

Civilingeniør E. Christophersen
Statens Byggeforskningsinstitut

I den indledende artikel omtales en metode til fastlæggelse af det tilladelige variationsområde for luftmængden til et rum, når der alene tages hensyn til indeklimaparametrene, idet det for hver indeklimaparameter overvejes, hvor meget luftmængden må variere, når kravene til parametren skal opfyldes. Det blev tillige nævnt, at det tilladelige område ikke umiddelbart kan anvendes som toleranceområde ved indregulering af luftmængden gennem armaturerne, idet anlægget er underkastet forskellige påvirkninger, der vil give variationer, hvis størrelsesorden må kendes, inden de endelige indreguleringstolerancer fastsættes. Variationerne kan skyldes ændringer i udeklimaet, f. eks. vindtryk på bygningen og ændring i de termiske drivkræfter, eller de kan skyldes modstandsændringer i anlægget, f. eks. på grund af filtrets tilnavsning, bevægelse af automatiske spjæld eller ind- og udkobling af ventilationsanlæg, der er bygget sammen med anlægget. Et ventilationsanlæg vil altid i større eller mindre grad være udsat for disse påvirkninger, der f. eks. når det gælder tilnavsning af systemet, vil give ændringer i luftmængden over en længere periode, medens andre af påvirkningerne kan give ændringer fra dag til dag eller fra time til time. Påvirkningerne kan opdeles i

1. påvirkninger, der ændrer anlæggets totale luftmængde, uden at der sker ændringer i luftens fordeling til de enkelte indblæsnings- eller udsugningsåbninger, og
2. påvirkninger, der ændrer luftfordelingen uden eller samtidig med, at totalmængden ændres.

Totalluftmængden er bestemt af de aktuelle modstande, der fastlægger driftspunktet på den til omdrejningstallet svarende ventilator karakteristik, og det gælder generelt, at modstandsændringer har større indflydelse, når driftspunktet ligger på en flad karakteristik, end hvis karakteristikkens er stejl.

For luftfordelingen gælder, at påvirkningernes indflydelse hovedsagelig er bestemt af tryktabene over indblæsnings- og udsugningsåbninger, idet indflydelsen er mindre, jo større modstanden er.

I det følgende omtales forskellige af de vigtigste tidsafhængige variationer nøjere for at give et grundlag for en vurdering af størrelsesordenen og betydningen af disse variationer.

Vindtryk og termisk drivtryk

Vinden og de termiske drivkræfter (skorstensvirkningen) kan forårsage væsentlige ændringer i såvel luftfordeling som totalluftmængde.

Vinden giver ved en vindstyrke på 6–7 m/s, nogenlunde svarende til midelvindstyrken her i landet, et overtryk på ca. 3 mm VS i vindsiden af en bygning og i læsiden et undertryk af næsten samme størrelse, d.v.s. at trykforskellen over en bygning ofte er af størrelsesordenen 5–6 mm VS. Disse trykforskelte vil kunne give væsentlige forskelle i trykkene forskellige steder i bygningen, og trykforskellenes størrelse vil afhænge af, hvor tæt bygningen er og af utæthedernes fordeling over og i bygningen. Trykforskellene kan dels give tværgående luftstrømninger gennem huset, dels en ændret fordeling af ventilationsanlæggets luft-

mængde. Er anlægget f. eks. baseret på luftindtag eller afkast i forskellige højder og i forskellige retninger, eventuelt i hvert rum, er der stor risiko for ændringer i luftfordelingen. Hertil kommer, at over- eller undertryk ved luftindtag eller afkast vil give ændringer i anlæggets totale mængde.

De termiske drivkræfter vil ligesom vindpåvirkningen kunne give ændringer af såvel totalluftmængde som fordeling. Ved en udetemperatur på 0°C og en temperatur inde på +20°C er det termiske drivtryk ca. 0,1 mm VS pr. m, d.v.s. at der allerede ved bygninger på 2–3 etager kan forekomme drivtryk på omkring 1 mm VS. Er der tale om et udsugningsanlæg med ventilatoren på taget, vil ventilationsluftmængden således øges om vinteren, og luftfordelingen vil ændres, så der udsuges forholdsvis mere fra de nederste end fra de øverste etager. Har bygningen kun udsugningsanlæg, skal til disse variationer føjes de ændringer, der skyldes varierende tryk i rummene, når vinduer eller døre åbnes. Har bygningen både indblæsnings- og udsugningsanlæg, er der ikke så stor risiko for ændringer i luftfordelingen, derimod kan totalluftmængden godt ændres.

Anlæggets stabilitet, d.v.s. anlæggets evne til at modstå påvirkningerne fra bl. a. vindtryk og skorstensvirkning, afhænger af trykniveauet i anlægget og af trykfaldet over indblæsnings- og udsugningsåbningerne. Jo højere trykniveau og jo større trykfald over indblæsnings- og udsugningsåbninger, desto mindre indvirkning har forstyrrelserne.

Forudsættes det, at trykfaldet p over en indblæsnings- eller udsugningsåb-

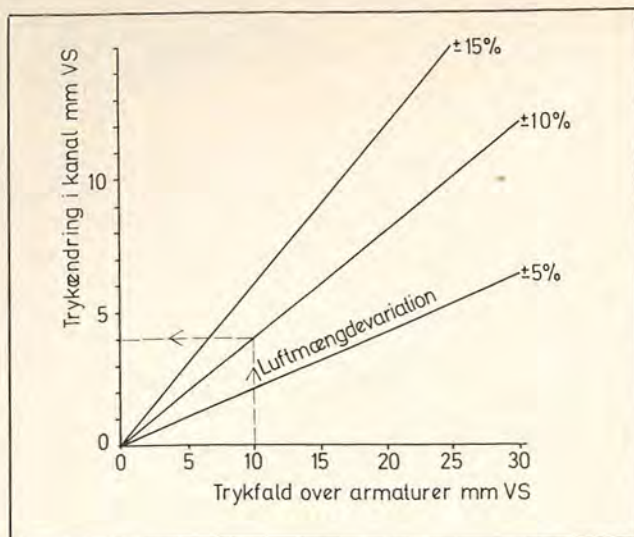


Fig. 1. Figuren viser, hvor meget trykket foran ventilationsarmaturer må variere for forskellige værdier af trykfald over armaturerne, når der tillades en variation i luftmængden på ±5, ±10 og ±15%.

ning varierer med kvadratet på luftmængden q , er

$$\frac{P_1}{P_2} = \left[\frac{q_1}{q_2} \right]^2$$

Tillades for en åbning en afvigelse i luftmængden på ± 10 % fra den nominelle værdi, fås

$$P_{\min} = 0,81 \cdot P_{\text{nom}} \text{ og}$$

$$P_{\max} = 1,21 \cdot P_{\text{nom}}$$

Med et nominelt trykfald over åbningen på f. eks. 3 mm fås da

$$P_{\min} = 0,81 \cdot 3 = 2,43 \text{ mm VS og}$$

$$P_{\max} = 1,21 \cdot 3 = 3,63 \text{ mm VS}$$

Er den tilladte variation i luftmængden ± 10 %, tillades i dette tilfælde en trykvariation foran åbningerne på højst 3,63–2,43 = 1,2 mm VS.

Fig. 1 viser, hvor meget trykket foran armaturerne må variere for forskellige værdier af trykfald over armaturerne, når de tilladte luftmængdevariationer er ± 5, ± 10 og ± 15 %. Ved f. eks. 10 mm VS trykfald over armaturerne tillades ændringer på op til 4 mm VS med en tilladt variation i luftmængden på ± 10 %, ved 3 mm VS trykfald tillades som nævnt kun en ændring på 1,2 mm VS.

Variationer på grund af vindtryk og skorstensvirkning vil således i høj grad kunne modvirkes, såfremt anlægget projekteres med et passende stort trykfald, 5–10 mm VS, over indblæsnings- og udsugningsåbninger. Er der tale om meget høje bygninger, må skorstenseffekten eventuelt begrænses ved en zoneopdeling af anlægget i højden, ved automatisk trykregulering eller på anden måde.

Sammenbyggede anlæg

Det sker ofte, at flere ventilationsanlæg udføres med fælles friskluftindtag eller med fælles afkast. I mange tilfælde er de sammenbyggede anlægs driftstid imidlertid forskellig, eller de enkelte anlæg kører med forskellige hastigheder på forskellige tidspunkter, og der kan herved opstå betydelige trykvariationer i de sammenbyggede anlæg. Også her er trykniveauet i anlæggene afgørende for de luftmængdevariationer, der vil forekomme, idet variationerne bliver større, jo mindre tryk der er i anlægget. Variationerne har normalt udelukkende betydning for anlæggenes totale luftmængder. Det kan nævnes, at Byggeriets Indeklima Målestation i adskillige tilfælde, hvor lavtryksanlæg påvirkede hinanden

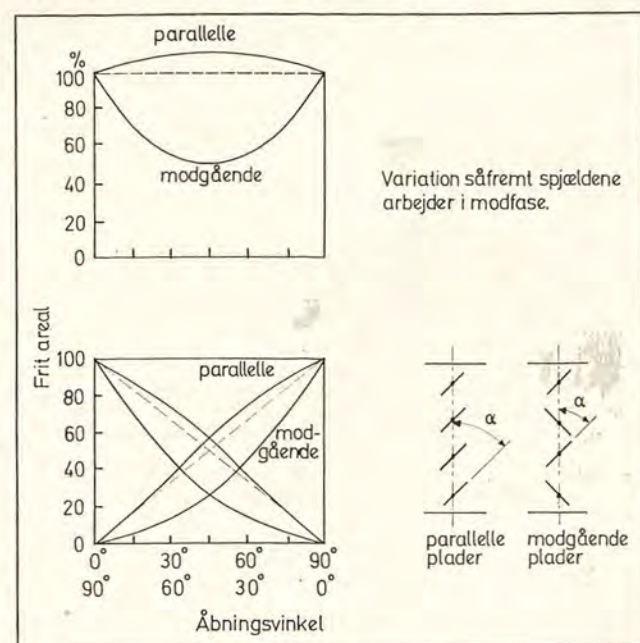


Fig. 2. Eksempler på variationen i det frie areal for spjæld med henholdsvis parallelt og modsat arbejdende spjældplader. Figuren viser yderligere variationen i det frie areal, såfremt spjældene arbejder i modfase i forbindelse med blandekammerregulering.

via friskluftindtag eller afkast, har konstateret variationer i luftmængden på 20–30 % for de enkelte anlæg, afhængigt af om de øvrige anlæg var i drift eller ej. I almindelighed bør ventilationsanlæg ikke bygges sammen, eller sammenbygning bør kun anvendes, når anlæggene også er driftsmæssigt koblet sammen.

Blandekammerregulering

Mange anlæg har recirkulationsmulighed, og blandingsforholdet mellem friskluften og den recirkulerede luft styres f. eks. af en termostat placeret i blandekammeret. Ved omstilling til forskellige blandingsforhold vil totalluftmængden imidlertid ændres, idet ændringens størrelse afhænger af ventilatorens karakteristik og af spjældenes reguleringskarakteristikker. Fig. 2 viser eksempler på variationen i det frie areal for spjæld med henholdsvis parallelt og modsat arbejdende spjældplader. Ved konstant trykfald over spjældet beskrives herved tillige luftmængdevariationen.

Det ses, at såfremt spjældene arbejder i modfase i forbindelse med blandekammerregulering, varierer luftmængden her mindst, når der anvendes parallelt arbejdende spjældplader, men i øvrigt afhænger variationen af ventilatorkarakteristikens form, trykniveauet i anlægget samt af det aktuelle trykfald over spjældene. Størrelsen af variationerne bør vurderes på forhånd under projekteringen, og de må tages i betragtning, når tolerancerne skal fastsættes.

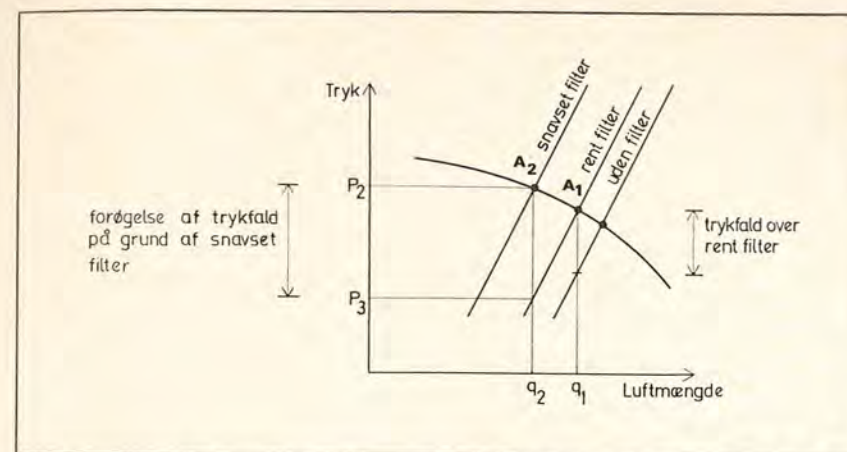


Fig. 3. Eksempel på, hvorledes luftmængden i et anlæg varierer med filtertilstanden. q_1 er luftmængden med rent filter, q_2 luftmængden, når filtret er snavsset.

Filtermodstand og snavs i kanalsystemet

Efterhånden som filtret snavs til, øges trykfaldet over filtret, og luftmængden reduceres. Reduktionen afhænger af ventilatorkarakteristikens hældning omkring arbejds punktet. I fig. 3 er som eksempel vist en ventilatorkarakteristik og en anlægskarakteristik, henholdsvis med og uden filter. Ventilatorens omdrejningstal er valgt således, at arbejds punktet med rent filter er A_1 svarende til en luftmængde q_1 . Trykfaldet over det rene filter fås som den lodrette afstand mellem A_1 og anlægskarakteristikken uden filter. Tillades en luftmængdereduktion fra q_1 til q_2 , findes driftspunktet ved snavsset filter ved skæringen mellem en lodret linie gennem q_2 og ventilatorkarakteristikken, og det ses, at filtret skal udskiftes, når trykfaldet over filtret er øget med $p_2 - p_3$. Den tilladte trykforsøgelse over filtret sættes ofte til 10–20 mm VS, men er i øvrigt bestemt af filtrets akkumuleringsevne eller de tilladte luftmængdevariationer i anlægget.

Ønsker man luftmængdevariationerne mindsket, kan dette opnås f. eks. ved at anvende automatisk regulerede spjæld, motorer med variabelt omdrejningstal eller ved kun at udskifte en del af filtret hver gang.

Tidspunktet for udskiftning kan bestemmes ved at måle trykfaldet over filtret, enten direkte eller ved anvendelse af filtervagter eller anden filterautomatik. Det bemærkes, at denne måling i mange tilfælde er temmelig usikker på grund af fejlagtigt placerede trykslanger og trykudtag, således at luftmængdereduktionen kan være

større end forudsat ved angivelsen af tryktabet over filtret. Det kan derfor være hensigtsmæssigt at supplere trykfaldsmålingen med direkte måling af anlæggets totalmængde, eventuelt ved hjælp af permanent monteret måleudstyr.

Tilsnavsning af varmeplader, indblæsningsåbninger og andre dele af kanalsystemet vil på samme måde, som når filtret snavs til, ændre driftspunktet og reducere luftmængden. Der kan være tale om betydelige luftmængdereduktioner, jfr. artiklen »Snavs«, s. 40, og det er derfor vigtigt, at systemet rengøres med passende mellemrum, der fastsættes under hensyn til den tilladte reduktion af luftmængden. Tilsnavsningens indvirkning på ydelsen kan f. eks. vurderes ved at måle anlæggets totalluftmængde umiddelbart efter, at filtret er skiftet ud eller rensset, men det bemærkes, at såvel totalluftmængde som fordeling kan påvirkes af tilsnavsningen. Kontrollen må derfor eventuelt suppleres med luftmængde- og trykfaldsmålinger for de enkelte komponenter.

Befugtning

Befugtningsaggregater kan ligeledes give anledning til varierende modstande i et anlæg, idet modstanden over befugteren øges, når befugtningsanlægget sættes i gang. Det er ikke ualmindeligt at se variationer på omkring 10 % i totalluftmængden af denne grund, men størrelsen af variationen afhænger naturligvis af befugtertype og -udformning. Virkningen er nøjagtig den samme, som når filter eller anlæg snavs til, og det er i de

fleste tilfælde muligt ud fra katalogoplysninger om befugteren samt kendskab til anlæggets og ventilatorens karakteristik at skønne de variationer, der må ventes. Afgives der kalk ved befugtningprocessen, må der yderligere tages hensyn til luftmængdereduktionen på grund af kalkaflejringer i aggregater og kanaler, og der må tilvejebringes de nødvendige rengøringsmuligheder.

Varmer- og køleflader

Opvarmning af luften i en varmeplade vil mindske luftens densitet og øge strømningsmodstanden. Det dynamiske tryk $\frac{1}{2} \rho v^2$ vil nemlig vokse i samme forhold, som ρ aftager, idet v og ρ er omvendt proportionale. Hertil kommer, at den kinematiske viskositet for luft øges med stigende temperatur, hvilket giver en forøgelse af friktionskoefficienten. Størrelsen af ydelsesreduktionen afhænger foruden af ventilatorkarakteristikens form og driftspunktets beliggenhed på karakteristikken også af varmepladens placering i forhold til ventilatoren, idet ventilatortrykket mindskes med stigende temperatur. Er varmepladen således anbragt på ventilatorens sugeside, vil ventilatoren arbejde med opvarmet luft og derved yde lavere tryk samtidig med, at strømningsmodstanden i systemet øges. Indkobling af en køleflade har den modsatte effekt.

Temperaturændringerne kan for et almindeligt ventilationssystem godt give ændringer i ydelsen på 5–10 %, jfr. artiklen s. 17, og de må derfor tages i betragtning ved fastsættelsen af systemets referencetilstand og tolerancer. Bl. a. bør det fremgå af beskrivelsen, ved hvilke temperaturer i systemet anlægget skal yde de nominelle luftmængder.

Anlæggets referencetilstand

Angivelse af en luftmængdetolerance hænger nøje sammen med nærmere specificerede tilstande for de faktorer, der kan påvirke luftmængden; f. eks. må der forudsættes en nærmere specificeret filtertilstand, og det må fremgå, om befugteren skal være i drift eller ej. Til luftmængdetolerancerne hører altså en bestemt fysisk tilstand i anlæg og omgivelser, og denne tilstand kaldes i det følgende for anlæggets referencetilstand. Ved den nominelle værdi af luftmængden forstås

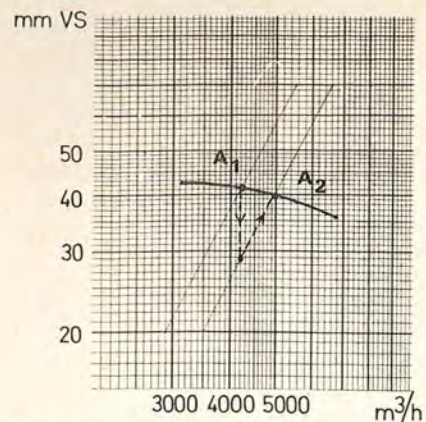


Fig. 4. Eksempel.

da den projekterede luftmængde ved referencetilstanden og luftmængdetolerancen er forskellen mellem største og mindste tilladte værdi for luftmængden ved referencetilstanden.

De forhold, der må specificeres ved angivelse af referencetilstanden, er f. eks.:

for udeluften
lufttemperatur
vindstyrke
vindretning
barometerstand

for anlægget
trykfald over filter
trykfald over batteridele
trykfald over befugter
lufttemperatur ved ventilator
temperatur af indblæsningsluft
blandingspjældenes stilling
stilling af automatiske spjæld
drift af sammenbyggede anlæg

for bygningen
om døre og vinduer skal være åbne eller lukkede.

Ved kontrolmålingen må det tilstræbes, at forholdene er som specificeret for referencetilstanden. For anlæg og bygning vil det i de fleste tilfælde være relativt nemt at opnå forhold svarende til referencetilstanden eller at omregne målte luftmængder til tilsvarende luftmængder ved referencetilstanden. Svarer udeforholdene ikke til referencetilstanden, må måleresultaterne omregnes til luftmængder ved referencetilstanden, men det kan være nødvendigt at udsætte målingerne, såfremt resultaterne ikke umiddelbart kan omregnes; det gælder f. eks. i tilfælde af kraftige vindpåvirkninger. Alle luftmængder må måles ved eller omregnes til referencetilstanden, før det

kan vurderes, om luftmængden kan godkendes eller ej.

Det er vigtigt, at forholdene under kontrolmålingen nøje specificeres på målebladet, så der ikke senere kan opstå tvivl om, under hvilke fysiske forhold målingen er udført. Der er næppe tvivl om, at mange af de diskussioner, der opstår, når der konstateres for store afvigelser i luftmængderne i forbindelse med kontrolmålinger, kan henføres til, at der ikke er taget hensyn til og ført kontrol med de tidsafhængige variationer.

Eksempel på fastsættelse af tolerancer

Et indblæsningsanlæg forsynet med filter, varmemflade og befugter indblæser luft i 6 ens rum. Det antages, at en varmebalanceberegning har vist, at der til hvert rum skal tilføres mindst 700 m³/h, såfremt temperaturen om sommeren skal holdes under 25°C. Den maksimalt tilladte luftmængde pr. rum antages fastlagt til 1000 m³/h under hensyn til risikoen for støj og træk. For den samlede luftmængde er toleranceområdet altså fra 4200 m³/h op til 6000 m³/h, når der alene tages hensyn til indeklimaparametrene.

Ved luftmængden 4200 m³/h antages det, at trykfaldet gennem det rene filter er 6 mm VS og gennem snavset filter 12 mm VS. Tryktabet gennem befugteren antages ved denne luftmængde at være 10 mm VS, når befugteren er i drift, ellers 4 mm VS. Det maksimale trykfald i systemet, dvs. med snavset filter og befugteren i gang, antages for 4200 m³/h bestemt til 41 mm VS; det mindste trykfald er da 29 mm VS.

Ventilatoren vælges, så den kan yde 4200 m³/h ved det maksimale trykfald 41 mm VS. Ved 29 mm VS er ydelsen da 5000 m³/h, idet det nye driftspunkt bestemmes som vist på fig. 4. Ventilatoren bør have sit optimale driftspunkt midt i dette område.

Referencetilstanden kan f. eks. fastsættes som svarende til luftmængden, når filtret er rent, befugteren ude af drift, og når temperaturen er 20°C i kanalsystemet. Den nominelle totalluftmængde er da 5000 m³/h og den nominelle mængde for hvert rum 835 m³/h.

Indreguleres systemet efter proportionalmetoden, begynder indregulerin-

gen ved den yderste rist, referenceristen, idet de enkelte riste indreguleres i forhold til referenceristen, således at luftmængdeforholdet for alle riste inden for tolerancen er større end eller lig med referenceristens luftmængdeforhold. Indreguleringen afsluttes med indstilling af totalluftmængden, idet det tilstræbes, at referenceristen yder 100 % af den nominelle mængde. Da der højst tillades indblæst 1000 m³/h pr. rum svarende til 20 % mere end den nominelle mængde på 835 m³/h, vil det være således, at jo større tolerancen er ved indstillingen af totalmængden, des mindre tolerance tillades ved indreguleringen af ristene. Vælges tolerancen for totalmængden her til -0 % og +10 %, bliver tolerancen for ristene ligeledes -0 % og +10 %, når ydelsen af de enkelte riste måles i forhold til referenceristens ydelse. Det bemærkes, at de angivne tolerancer skal inkludere måleusikkerheden.

Resultatet af overvejelserne bliver da:

nominel totalluftmængde:

$$5000 \text{ m}^3/\text{h} \begin{array}{l} + 10 \% \\ - 0 \% \end{array}$$

nominel luftmængde til rummene:

$$835 \text{ m}^3/\text{h} \begin{array}{l} + 20 \% \\ - 0 \% \end{array}$$

indreguleringstolerance (i forhold til referenceristen):

$$\begin{array}{l} + 10 \% \\ - 0 \% \end{array}$$

referencetilstand:

rent filter (trykfald 6 mm VS)
befugter ude af drift
20°C i kanalsystemet

Konklusion

Som det fremgår, er det ofte kun muligt at skønne en størelsesorden af de tidsafhængige variationer, bl. a. når det gælder påvirkninger, der skyldes vindtryk og skorstensvirkning. Generelt er det imidlertid ønskeligt at reducere de tidsmæssige variationer mest muligt, idet indreguleringstolerancerne herved kan forøges, eller snævre tolerancer, der skyldes krav til indeklimaet, i givet fald overholdes. Af de samme grunde bør måleusikkerheden være så lille som mulig, hvilket understreger betydningen af at udføre anlæggene, så det er muligt at måle og indregulere med størst mulig sikkerhed.

De tidsafhængige variationer kan bl. a. reduceres ved at

placere friskluftindtag og afkast, så de påvirkes mindst muligt af vinden,

udforme systemerne, så indflydelsen fra de termiske drivkræfter bliver lille, f. eks. ved i høje bygninger at anvende trykregulering eller passende zoneopdeling,

udforme systemerne med rimelige store trykfald over indblæsnings- og udsugningsåbninger,

undgå sammenbygning af flere anlæg, så de har fælles friskluftindtag eller afkast,

vælge blandekammerspjæld, der giver mindst mulig ændring i den totale luftmængde,

reducere luftmængdevariationer på grund af filtertilnavnsning, f. eks. ved kun at skifte en del af filtret hver gang,

rense kanalsystem og komponenter jævnlige, bl. a. må der være rensesmuligheder og en instruktion, der gør nøje rede for, hvordan og hvornår systemet skal gøres rent.

De tidsafhængige variationer kan imidlertid kun i de færreste tilfælde helt undgås, og de må derfor altid indgå i overvejelserne i forbindelse med fastsættelse af tolerancer for luftmængder, ligesom der altid må gøres nøje rede for den til luftmængde- og toleranceangivelse svarende referencetilstand.

Der er næppe tvivl om, at man i langt højere grad end hidtil, især når det gælder lavtryksanlæg, bør være opmærksom på de påvirkninger, anlægget er udsat for, og på den måleteknik, der skal anvendes ved indregulering og kontrol. I modsat fald vil en i øvrigt omhyggelig projektering, der skal sikre bygherren tilfredsstillende indeklimaforhold, i mange tilfælde være uden mening.

Litteratur

- (1) E. Christophersen, Tolerancer for ventilationsanlæg (1), VVS nr. 4, 1972.
- (2) Injustering av luftflöden i ventilationssystem, Byggeforskningen informerar, nr. 2, Stockholm 1969.
- (3) Ole Valbjørn, Snavs, VVS nr. 11, 1972.
- (4) Peter Olufsen, Målinger på ventilationsanlæg ved varierende temperatur og tryk, VVS nr. 5, 1972.

SUMMARY

Tolerances for ventilating plants, 2

In the article are evaluated different factors which are influencing the total air flow and the balance of a ventilating plant. The evaluation of these factors is of importance in connection with the determination of tolerances for air flow. In the article it is suggested that for each ventilating plant a reference condition be determined in the specifications. It is further suggested that the tolerances always be stated on the basis of the air flow at the reference condition.

Snavs

Et ventilationsanlægs ydelse reduceres med tiden, når der sætter sig snavs i anlæggets komponenter. Den projekterende ingeniør må gøre sig klart, hvor stor indflydelsen af snavset er, til brug for fastlæggelse af tolerancer for luftmængde og for udformning af en fornuftig driftsinstruktion.

Alle filtre lader noget støv passere, og mange typer luftbefugtere afgiver kalk ved befugtningsprocessen.

Hvor bliver det af?

Enhver, der har arbejdet med ventilationsanlæg, der har været i drift nogle år, har set støv og kalkaflejringer i kanaler og indblæsningsarmaturer. Sådanne aflejringer kan reducere anlæggets ydelse, i nogle tilfælde op mod 50 %.

Hvis støvet bindes i tværsnit, hvor tryktabet er stort i forhold til anlæggets totale tryktab, vil det få stor indflydelse på anlæggets ydelse. Det er derfor nødvendigt at gøre sig klart, at disse kritiske støvaflejringer kan indtræffe, og så tage højde for det ved i driftsinstruktionen at gøre omhyggeligt rede for, hvordan støvet kan fjernes, og samtidig gøre rede for, hvordan det konstateres, om anlæggets komponenter skal renses, helst også hvor ofte det skal ske.

For at kunne angive hvornår det er nødvendigt at rense et ventilationsanlæg for støv, må man vide, hvor store afvigelser fra anlæggets projekterede ydelse der kan accepteres. Men da der er andre faktorer (eks. indreguleringsafvigelserne), der influerer på anlæggets samlede afvigelse fra det projekterede, må der foretages en samlet vurdering af faktorerens indflydelse, som det er beskrevet i E. Christophersen, Tolerancer for ventilationsanlæg, 1, side 31.

Indflydelsen på komponenternes ydelse

Tryktabet i en enkelt modstand kan udtrykkes som

$$\Delta P = \zeta \cdot \frac{1}{2} \rho v^2 \text{ eller}$$

$$\Delta P = \zeta \cdot \frac{1}{2} \rho \left(\frac{L}{A} \right)^2$$

hvor ΔP er tryktabet
 ζ modstandstallet
 ρ luftens massefylde
 v luftens hastighed
 L luftmængden
 A det frie areal.

Reduceres det frie areal i enkeltmodstanden, øges altså hastigheden, og tryktabet stiger med kvadratet på hastigheden. Tilstøves f. eks. dyserne i et induktionsapparat, så dysernes åbningsskæb reduceres fra 4 mm til 3 mm, reduceres arealet til

$$\frac{\frac{1}{4} \pi 3^2}{\frac{1}{4} \pi 4^2} \cdot 100 \% = 56 \%$$

af det oprindelige, og hastigheden i dyserne ved den samme luftmængde stiger da til

$$\frac{100}{56} \% = 178 \%$$

af den oprindelige. Tryktabet over dyserne stiger til $(178)^2 \% = 320 \%$ af det oprindeligt projekterede trykfald. Det forstås heraf, at en måling af dysetrykket til bestemmelse af luftmængden ved hjælp af leverandørens kurver er fuldstændig fejlagtig, når snavs har sat sig fast.

BIM har i laboratoriet foretaget nogle forsøg, der viste, at induktionsapparater, der kun havde været i brug ca. 1 år, og som ikke bar synlige tegn på snavs i dyserne, ydede ca. 10 % mere ved samme dysetryk, efter at dyserne blev rensede med en piberenser.

At det valgte eksempel ovenfor ikke

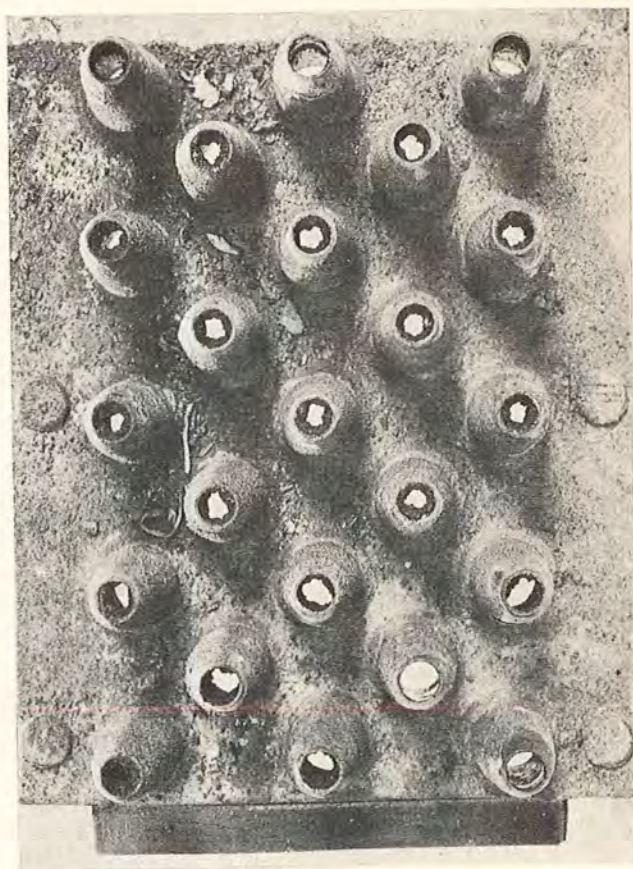


Fig. 1. Snavsede dyser i et induktionsapparat fotograferet mod en lys baggrund. Snavset reducerede luftmængden fra 120 m³/h til 50 m³/h ved samme dysetryk. Enkelte af dyserne er rengjorte.

Civilingeniør Ole Valbjørn,
 Statens Byggeforskningsinstitut.

er overdrevet, fremgår af fig. 1, der viser et udsnit af dyserne i et andet induktionsapparat fotograferet mod en lys baggrund. Anlægget, dyserne var monteret i, havde været i brug i 6 år. Snavset reducerede luftmængden fra induktionsapparatet fra 120 m³/h til 50 m³/h ved samme dysetryk.

Fig. 2 viser et eksempel på, at snavs har lukket hullerne i en perforeret plade, som ventilationsluften blev indblæst gennem.

Støvaflejringer på varmepladers lameller ses hyppigt, oftest på varmeplader efter luftbefugtere. Foruden at øge tryktabet i anlægget, forringer støvet varmeovergangen fra varmepladen til luften.

Indflydelsen på anlæggets samlede ydelse

Betydningen af støv i anlæggets komponenter afhænger af anlæggets samlede tryktab samt af ventilatorens karakteristik.

Som eksempel på, hvordan man kan beregne indflydelsen, foretages en beregning på et anlæg med induktionsapparater med en dysediameter på 4 mm, som af støvet er reduceret til 3 mm. Luftmængden for anlægget er projekteret til 12000 m³/h ved et dysetryk på 30 mm VS og et samlet tryktab i anlægget på 120 mm VS. Der beregnes først, hvor meget dysetrykket og det totale tryktab i anlægget vil stige på grund af snavset, såfremt luftmængden bibeholdes. Som beregnet tidligere i artiklen kræves for at opretholde samme luftmængde et dysetryk, der er 320 % af det projekterede, altså $30 \cdot \frac{320}{100} = 96$ mm VS, når dyserne snavses til. Det samlede tryktab i anlægget vil derfor være 120 + 96 = 186 mm VS, hvis luftmængden blev holdt. Men da driftstilstanden både er bestemt af ventilatorens karakteristik for konstant omdrejningstal og af anlæggets tryktabskarakteristik, sker der i praksis en reduktion af luftmængden, hvorved det samlede tryktab falder lidt. Driftspunktet forskydes mod venstre ad ventilatorens karakteristik for samme omdrejningstal til det punkt, hvor ventilatorens karakteristik skærer anlæggets nye tryktabskarakteristik for det snavsede anlæg. Den nye tryktabskarakteristik findes som en linie parallel med den op-



Fig. 2. Perforeret plade i indblæsningsanlæg næsten helt lukket af snavs.

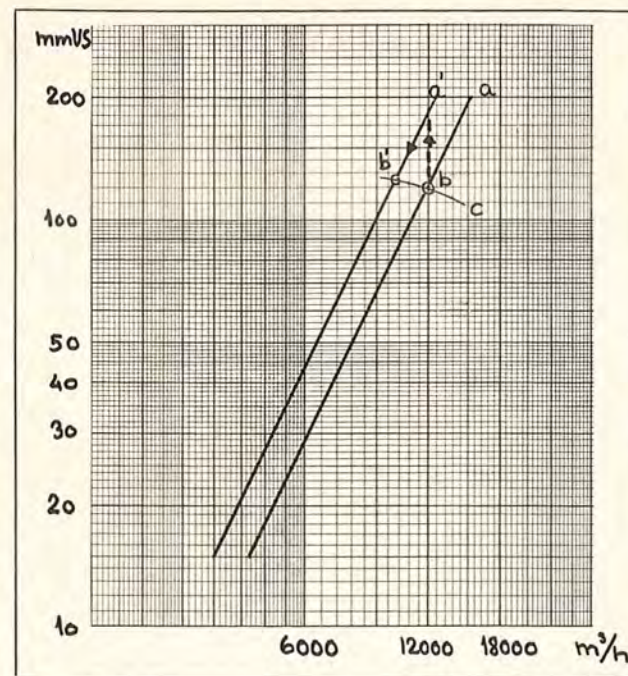


Fig. 3. Driftspunkt for anlægget med rene og snavsede dyser. a er anlæggets tryktabskarakteristik med rene dyser og c er ventilatorens karakteristik ved konstant omdrejningstal. a', som er anlæggets tryktabskarakteristik med snavsede dyser, findes som en linie parallel med (i dobbeltlogaritmisk afbildning) a og gående igennem punktet 12000 m³/h og 186 mm VS. Ved skæringen mellem a' og c findes det nye driftspunkt 9900 m³/h og 125 mm VS.

rindelige og gående gennem punktet 12000 m³/h og 186 mm VS. Dette er vist i fig. 3.

Det fremgår af figuren, at det nye driftspunkt ligger på 9900 m³/h og 125 mm VS, og det svarer til en reduktion i luftmængden på ca. 18 %. Endvidere må man regne med en forøgelse af støjniveauet, når dyserne snavses til.

Den procentuelle reduktion vil være mindre ved et projekteret større samlet tryktab i anlægget og større ved et mindre samlet tryktab i anlægget.

Når det tit sker, at ydelsen falder mere end beregningen her viser, kan det skyldes, at tryktabet i anlægget også øges ud over det projekterede af snavsede filtre, snavsede varmeplader, tilkalkede afslagsmætter.

Yderligere arbejder ventilatoren sjældent på sit optimale punkt, fordi der ved indreguleringen er påtvunget anlægget større modstand end beregnet, og fordi alene ventilatorens indbygningsforhold reducerer ydelse og tryk ca. 10 % (se »Korrektionsfaktorer for ventilatorer med forskellige forbindelser til sugeåbningen«, side 27).

Indblæser anlægget gennem armaturer, der er modtagelige for støvaflejringer f. eks. dyser eller perforeret plade, og samtidig gennem åbne riste, ændres forholdet mellem modstandene katastrofalt, og den reducerede luftmængde fordeles skævt, så luftmængden gennem de åbne riste måske endda stiger til mere end den projekterede værdi.



Fig. 4. Forvarmeplade hvis lameller midt på ud for samlingen mellem to filterrammer er helt lukket af insekter. En sektion af filtrene er fjernet ved fotograferingen.



Fig. 5. Varmebatteri under et induktionsapparat. På grund af støv fra rummet er batteriet helt lukket, og sekundærmængden næsten nedsat til nul.

Er filtrene gode nok?

De anlæg, BIM har konstateret snavs i, har været forsynet med filtre

af typerne oliefiltre, tørfiltre (automatisk fremføring), tørfiltre (bortkastningstypen), og ikke alle anlæg har haft luftbefugter. Filtrene har været af klasse 1, grundfiltre, jfr. Poul Becher, Varme og ventilation 3, Teknisk Forlag, København 1972.

Det er nok hensigtsmæssigt at ofre filtrene større opmærksomhed fremover, både med hensyn til filtrets udskilningsgrad og med hensyn til tæthed omkring filtersektionerne. Fig. 4 viser en forvarmeplade med en sektion af filtret fjernet. Filtret består af 2 rammer med kunststoffilterdug, som skydes ind fra hver side mod midten. Samlingen i midten har ikke været tæt, og forvarmepladen er på midten helt lukket af insekter.

Støv fra rummet

Der dannes støv i ethvert rum, f. eks. fra papir eller tekstiler. Dette støv sætter sig i udsugningsanlægget, og at det kan være kritisk, fremgår af en svensk undersøgelse beskrevet i artiklen »Där rensmöjligheter saknas blir ventilationen kortlivad« af skorstensfejarmästare Henrik Höij i Svensk VVS nr. 5, 1970. I artiklen beskrives en række undersøgelser i boligbyggeri og en undersøgelse i et hospital. Efter rensning øgedes luftmængden gennem de rensede kanaler op til det tredobbelte, og den største støvaflejring i en kanal var et lag på 7 cm!

Forfatteren efterlyser bl. a. rensmuligheder, som sikrer, at alt støvet kan fjernes.

Fig. 5 viser vardebatteriet til opvarmning af sekundærluften til et induktionsapparat, fotograferet fra gulvet op under vardebatteriet. I dette

tilfælde vil varmeydelsen være meget reduceret, men tillige vil den lille sekundærluftmængde, der kan passere, bevirke at lufthastigheden over indblæsningsristen bliver for lav, så ventilationsluften ikke bliver indblæst op langs facaden, som det var tiltænkt, men af kuldenedfaldet fra vinduet tvinges ind i opholdszone med risiko for, at der kan opstå trækgener.

Råd om snavs

Der kan konkluderes i følgende råd:

Undersøg ved beregning, hvilken indflydelse det vil få, at tryktabet i ventilationsanlægget øges, f. eks. af snavs i komponenterne, og tag hensyn hertil ved fastlæggelsen af tolerancer for luftmængderne.

Overvej, om bedre filtre end klasse 1, grundfiltre bør anvendes.

Sørg for, at filtrene slutter tæt langs hele rammen.

Angiv i driftsinstruktionen udføreligt, hvor der kan forekomme snavs, der kan influere på anlæggets funktion, og hvorledes snavs fjernes (man kan ikke støvsuge det væk).

Husk, at alle ventilationskanaler skal kunne renses – og angiv, hvordan rensningen kan udføres.

SUMMARY

Dirt

Ventilating plants will have a reduced effect when the components such as dampers, heating coils and induction units become dirty and the pressure drop across grows. Some examples are given as pictures, and it is shown how the degree of reduction of the air flow can be calculated. It is concluded that the maintenance directions must include in details how the different components should be cleaned and how it should be controlled when cleaning is necessary.

SBI-rapporter

fortsat fra omslagets indersider

- 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.
- 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 række-huse og lignende bebyggelser.** Sound Transmission Between Individual Dwellings in Terrace Houses and Houses of Similar Types. Jørgen Kristensen. 1970. 40 p. + 3 tlv. 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 mellemlæg.** 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 Servicetime.** 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 In-Door 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.
- 80 **BIM 71. SBI's indeklimatiske undersøgelser.** SBI's In-Door Climate Measurements. Poul Becher, Peter Olufsen, Ole Valbjørn, Bo Andersen og Erik Christophersen. 1972. 40 p. A4. Kr. 23,00.
- 81 **Tolerances and Accuracy in Building. Colloquium Organized by CIB Working Commission W49 in Collaboration with FIG.** CIB Report No. 16. 1972. 142 p. A4. English text with a French summary, partly also in French with an English summary. Kr. 74,75.
- 82 **Tæt lav – en boligform: Idékonkurrence om byggesystemer og bebyggelsessystemer.** Low-Rise High-Density Housing: Ideas Competition on Building Systems and Housing Systems. 1972. 304 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 59,80.
- 83 **Tæt lav – en boligform: Realisering.** Low-Rise High-Density Housing: Implementation. Under forberedelse.
- 84 **Forsøg med søms udtræksstyrke.** Withdrawal Resistance of Nails. T. Feldborg og Marius Johansen. 1972. 54 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 46,00.
- 85 **Forskning for fremtiden. Metodesamling om fremtidsorientering med eksempler især fra byggeri og teknologi.** Future Research. Collection of Methods on Futurology with Examples mainly from Housing and Technological Development. Erik Maaløe. 1972. 174 p. A5. Danish text with an English summary. Kr. 46,00.

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.