

BIM 70

SBI's INDEKLIMATISKE UNDERSØGELSER



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT · SBI-RAPPORT 78
KØBENHAVN 1971 · 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 Gymnastiksalens akustik — Acoustics of Gymnasia. Poul Becher. 1950. 4 p. A4. Danish text with a brief English summary. (Udsolgt — Out of print).
- 3 The Non-Destructive Testing of Concrete with Special Reference to the Wave-Velocity Methods. Johs. Andersen, Poul Nerenst and Niels Munk Plum. 1950. 80 p. A4. In English. (Udsolgt — Out of print).
- 4 Testing of 11 Danish Concrete Mixers. Johs. Andersen, Per Bredsdorff, Niels H. Krarup, K. Malmstedt-Andersen, Poul Nerenst and Niels Munk Plum. 1951. 236 p. A4. In English. (Udsolgt — Out of print).
- 5 Sammenlignende undersøgelse af træ- og stålstilladser til husbygning — Wooden and Steel Scaffolding for Building Construction. Niels H. Krarup. 1951. 40 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt — Out of print).
- 6 Vinterbyggeri, forsøg afholdt af Statens Byggeforskningsinstitut i årene 1947-50 — Winter Construction, Experiments made by the Danish Building Research Institute in 1947-50. Niels Munk Plum. 1951. 108 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt — Out of print).
- 7 Dæk og huse — Floor Constructions and Houses. Niels Munk Plum. 1952. 1. del: Tekst, 178 p. 2. del: Figurer, 46 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt — Out of print).
- 8 Trinlyd i beboelsesejendomme — Impact Sound in Dwellings. Fritz Ingerslev og V. E. B. Ranfelt. 1952. 40 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt — Out of print).
- 9 Tapet, rullelængde og rapportantal — Wallpaper, the Length of Roll and Number of Matches. Philip Arctander og Henry F. Holm. 1952. 64 p. A4. Danish text, partly also in English. (Udsolgt — Out of print).
- 10 Trommelyd, undersøgelse 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. Kr. 3,50.
- 12 Luftlyd i beboelsesejendomme — Airborne Sound in Dwellings. Fritz Ingerslev og Jørgen Petersen. 1954. 40 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 8,05.
- 13 Byggetiden ved 10 eenfamiliehuse — The Construction Time 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. 9,20.
- 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. Kr. 27,60.
- 18 Økonomisk rørisolering — Economic Pipe Insulation. Poul Becher og Kristian Engelsen. 1957. 94 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 13,80.
- 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. Kr. 9,20.
- 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. Kr. 13,80.
- 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).

Fortegnelsen fortsættes på omslagets næste inderside

BIM 70

SBI's indeklimatiske undersøgelser

Civilingeniør, dr. techn. Poul Becher, SBI

Civilingeniør Ole Valbjørn, SBI

Civilingeniør Erik Christophersen, SBI

SÆRTRYK AF VVS NR. 6, 7, 8, 9, 10, 11 og 12, 1970

INDHOLD

| | |
|--|----|
| SBI's INDEKLIMATISKE UNDERSØGELSER civilingeniør, dr. techn. Poul Becher, SBI VVS nr. 6, 1970 | 3 |
| BYGGERIETS INDEKLIMA MÅLESTATION civilingeniør Ole Valbjørn, SBI VVS nr. 7, 1970 | 4 |
| SKEMA TIL FEJLFINDING VED VARME- OG VENTILATIONSANLÆG civilingeniør Ole Valbjørn, SBI VVS nr. 11, 1970 | 6 |
| INDEKLIMAMÅLINGER civilingeniør Ole Valbjørn, SBI VVS nr. 9, 1970 | 8 |
| PLACERING AF FRISKLUFTINDTAG OG AFKASTNINGSÅBNINGER civilingeniør Erik Christophersen, SBI VVS nr. 12, 1970 | 14 |
| VENTILATIONSKANALERS TÆTHED civilingeniør, dr. techn. Poul Becher, SBI VVS nr. 8, 1970 | 19 |
| MÅLEVENLIGE KANALSYSTEMER civilingeniør Erik Christophersen, SBI VVS nr. 6, 1970 | 22 |
| SYSTEMATISK INDREGULERING AF VENTILATIONSANLÆG civilingeniør Erik Christophersen, SBI VVS nr. 10, 1970 | 29 |

SBI's indeklimatiske undersøgelser

Af dr. techn. Poul Becher,
Statens Byggeforskningsinstitut

Der er ingen tvivl om, at kravene til de indeklimatiske forhold vil vokse, både i boligerne og på arbejdspladserne. Det skyldes dels en erkendelse af den hygiejniske betydning og dels den ændrede byggeskik med en mere intensiv udnyttelse af alle bygningens rum og mindre rumvolumen pr. person end i tidligere tiders byggeri.

Selvom mange måske i dag synes, at det er unødvendigt, vil der overalt blive installeret mange flere ventilationsanlæg, således at det bliver muligt at beherske de indeklimatiske forhold bedre end ved at åbne og lukke vinduerne. Dette må vel i sig selv anses for at være et gode, selvom det ikke direkte kan bevises, at det er sundere med bedre ventilation; vi må efterhånden have råd til også at indånde frisk luft inden døre.

Men for at alle disse ventilationsanlæg skal kunne yde, hvad de står for, må der i langt højere grad end tidligere lægges vægt på

1. kvalitetskrav til anlæggene, f. eks. om kanalers tæthed og brandsikring,
2. standardisering, f. eks. af kanaler og reguleringsmodstande,
3. præfabrikation, f. eks. af sammenbyggede ventilationsaggregater og større dele af anlæg,
4. kontrol, f. eks. ved indregulering og aflevering,
5. pasning, f. eks. ved uddannelse af driftspersonale og ved udarbejdelse af instruktioner.

Det er navnlig vedrørende punkterne 1, 2, 4 og 5, at SBI kan gøre en indsats. Men skal der indenfor en overskuelig fremtid gennemføres no-

Statens Byggeforskningsinstitut har gennem nogen tid arbejdet med indeklimatiske problemer. I den kommende tid vil der med mellemrum blive bragt artikler om resultaterne af dette arbejde, og disse artikler vil samlet udgøre et hele.

get nyt på disse områder, med de ændringer både i projektering og udførelse de vil medføre, kan det kun ske i meget nær kontakt med praksis, og SBI har derfor bedt om bistand hos et udvalg bestående af

overingeniør, cand. polyt. H. G. Høvil, Nordisk Ventilator Co. A/S,
civilingeniør Jørgen Mathiesen, Steensen & Varming,

civilingeniør P. E. Olesen, Birch & Krogboe,

overingeniør, cand. polyt. O. Stampe, Glent & Co. A/S,

dr. techn. P. Becher, SBI,

civilingeniør E. Christophersen, SBI.

Det er tanken, at udvalget skal holde møde hver anden, tredje måned for at diskutere de publikationer, det foreslås at udsende, og hjælpe til med at prioritere mellem de mange opgaver, der står på programmet.

Programmet for SBI's arbejde med indeklima og ventilationsanlæg er meget omfattende, så her skal kun nævnes stikordene vedrørende selve anlæggene:

Indregulering

metoder til indregulering måleteknikken ved indregulering kanalsystemets opbygning for indregulering kanalsystemets opbygning for måling skemaer til brug ved indregulering økonomi

Anlæggenes aflevering

måleteknik indarbejdelse i anlægsbeskrivelser tolerancer skemaer til brug ved afleveringen

Anlæggenes drift
daglig drift
vedligeholdelse
økonomi

Uddannelse

Arbejdet må foregå dels i laboratoriet, dels i praksis.

I laboratoriet arbejdes der for tiden med målemetoder for måling af luftmængder i kanaler og senere med måling af luftmængder ved ventilationsåbninger. I denne forbindelse bliver det også nødvendigt at opbygge et anlæg til kalibrering af instrumenter for måling af lufthastigheder og luftmængder.

De praktiske målinger foretages ved hjælp af en laboratoriebil, som har været i drift i 1½ år, BIM-voggen, Byggeriets Indeklima Målestation. Efterhånden er der for en række rekvirenter målt på mange forskellige anlæg, og der er indsamlet en del erfaringer, som man fra tid til anden kan gøre op og drage almene konklusioner af. SBI får i stigende grad anmodninger fra bygherrer, institutioner og rådgivende firmaer om hjælp, og hidtil har vi været i stand til at løse problemerne, selvom sagen var kørt fast, før vi kom til. Forhåbentlig vil der fremover komme mange rekvirerede sager, dels fordi der er en vis tilfredsstillelse ved at kunne hjælpe, men navnlig fordi vi lærer temmelig meget ved at beskæftige os med alle disse forskellige anlæg.

I den kommende tid vil vi begynde at arbejde med indregulering af ventilationsanlæg og forsøge at fastlægge en vis procedure herfor, og den næste opgave bliver afleveringsforretningen.

Byggeriets Indeklima Målestation

Af civilingeniør Ole Valbjørn, Statens Byggeforskningsinstitut

På grund af det stigende antal klager over indeklimaet i nyere bygninger er SBI for ca. 1½ år siden begyndt at indsamle oplysninger, om klagerne er berettigede, og klarlægge eventuelle årsager. Formålet er at få så godt et kendskab til forholdene i praksis, at det bliver muligt at udarbejde netop de vejledninger, den projekterende og udførende ingeniør har brug for.

Klagerne drejer sig i de fleste tilfælde om for høj temperatur og træk, og en del heraf skyldes sikkert den ændrede byggeskik og den mere intensive udnyttelse af bygningerne med anvendelse af lette bygningskonstruktioner med mindre varmeakkumulering, flere ventilationsanlæg m.v.

For at kunne foretage en systematisk indsamling af oplysninger og hjælpe de byggende har SBI indrettet en mobil målestation, Byggeriets Indeklima Målestation, BIM, med det nødvendige måleudstyr. Det er således muligt at foretage målinger overalt i landet, og BIM kan nu rekvireres til undersøgelse af alle indeklimatiske problemer samt varme- og ventilationsanlæg. Prisen for en undersøgelse beregnes efter den medgæede tid med tillæg for general- og rejseomkostninger, for tiden 1000 kr. Men inden undersøgelsen iværksættes, aftales et maksimumbeløb. Der er hidtil foretaget ca. 25 undersøgelser, og for størstedelen har rekvirenterne været brugere.

En af de ting, vi har lært, er, at utilfredshed og klager ofte kan føres langt tilbage, til den første tid hvor varme- og ventilationsanlægget ikke var i orden ved indflytningen. Det er derfor væsentligt, at den rådgivende

Mange klager over varme- og ventilationsanlæg kan spores tilbage til tiden lige efter, at anlæggene blev taget i brug; det er derfor væsentligt, at anlæggene er indregulerede fra begyndelsen, og at de fungerer i overensstemmelse med projektet. BIM kan være behjælpelig med planlægning og udførelse af de nødvendige målinger.

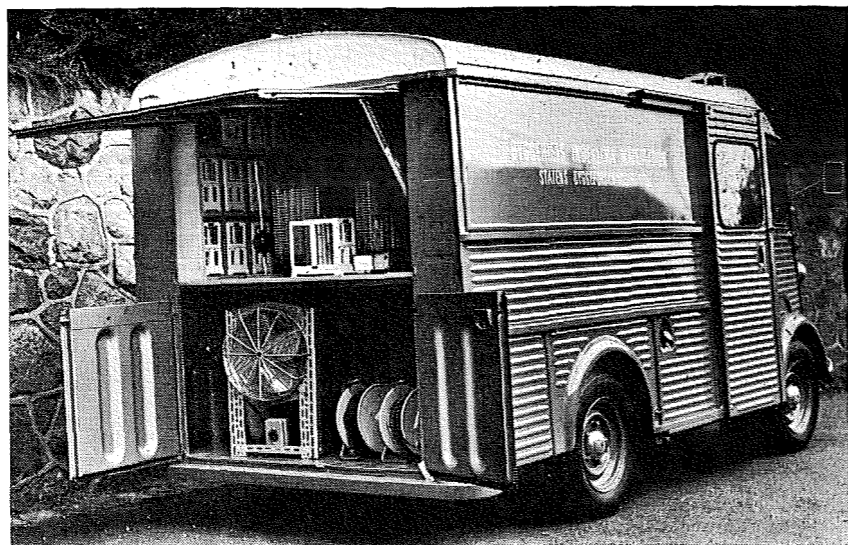


Fig. 1. Byggeriets Indeklima Målestation.

ingeniør eller de udførende firmaer sørger for, at anlægget er helt i orden, så snart det tages i brug, og hvis der opstår klager, øjeblikkelig søger at få dem afhjulpnet og eventuelt tilkalder assistance, hvis man ikke selv har tid eller udstyr til at klare problemerne.

Undersøgelsens omfang

En BIM-undersøgelse omfatter som regel en måling af indeklimaet og en undersøgelse af, om varme- og ventilationsanlægget fungerer i overensstemmelse med projektet, men kan også begrænses til en af delene. En typisk undersøgelse, der foretages for at belyse årsager til utilfredshed med indeklimaet, indledes med samtaler med brugerne, driftspersonalet og den projekterende ingeniør. Sammen med orienterende målinger i flere rum i bygningen fås herved et godt billede af problemerne og baggrund for, hvor-

dan undersøgelsen bør planlægges. Der udvælges så et eller flere typiske rum, hvor indeklimaet måles, karakteriseret ved lufttemperatur, lufthastighed, middelstrålingstemperatur, og der foretages målinger på varme- og ventilationsanlægget til belysning af anlæggets overensstemmelse med projektet, herunder måling af luftmængder, kontrol af indregulering og reguleringsanlæg. Måleresultaterne vurderes sammen med de bygningsmæssige forhold således, at konklusionen af undersøgelsen kan indeholde en vurdering af anlæggets overensstemmelse med projektet og anlæggets evne til at skabe et passende indeklima i bygningen.

Målemetoder

Indeklimafaktorerne måles i et antal punkter således, at de så vidt muligt karakteriserer det enkelte rum. Luft-

temperaturen registreres med termoelementer i de tilfælde, hvor der er stærkt svingende belastninger, f.eks. i skoler, og med almindelige, strålingsbeskyttede termometre, når belastningen er forholdsvis konstant. Lufthastigheden måles med et varmetrådsanemometer, egnet til så lave lufthastigheder som forekommer i rummet, og middelstrålingstemperaturen måles ved hjælp af globetermometre. Der foretages endvidere en bedømmelse af luftkvaliteten, og der kan om nødvendigt måles belysningsstyrke, støjniveau og relativ luftfugtighed.

Undersøgelsen af varme- og ventilationsanlægget omfatter en måling af de totale indblæste luftmængder og friskluftmængder, målt i kanalerne med pitotrør og manometer. I forbindelse med denne måling foretages som regel en relativ måling mellem indblæsnings- eller udsugningsåbningerne ved hjælp af vingehjuls- eller termiske anemometre til belysning af anlæggenes indregulering. For vandvarmeanlægs vedkommende danner temperaturmålinger grundlaget for en undersøgelse af indreguleringen.

I tilfælde, hvor der kan være tvivl

om et ventilationsanlægs tæthed, eller hvor måling i kanaler er vanskelig, findes luftskiftet i de enkelte rum ved at måle fortyndingshastigheden af en sporgas, der er blandet i rumluften. Af det fundne luftskifte beregnes så den indblæste luftmængde. BIM har også udstyr til direkte måling af lækagen i ventilationskanaler. Endvidere måles eller beregnes kastelængderne for kritiske armaturer, ligesom det vurderes, om temperaturreguleringen fungerer tilfredsstillende. I de tilfælde, hvor der forekommer ekstremt høje lufttemperaturer, og årsagen ikke skyldes forkert drift eller brug af anlægget, foretages en beregning af varmebalancen til belysning af, hvad der kan gøres for at få rimelige temperaturforhold.

Undersøgelsen afsluttes med en rapport, hvori målingerne og de eventuelle årsager til klager beskrives, og rapporten indeholder forslag til forbedringer eller ændringer på anlægget eller driften, hvis det menes påkrævet.

Hvorfor tilkalde BIM?

BIM har ved målinger på mange forskellige anlæg opnået erfaring i

brugen af måleinstrumenter og tillige fundet frem til en vis systematik i efterforskningen af fejl, således at der forholdsvis hurtigt opnås relevante resultater. Det tager som regel 4-5 dage at gennemføre en undersøgelse, og det har den projekterende eller udførende ingeniør sjældent tid til, ligesom det kan være svært at vedligeholde den fornødne færdighed i brugen af instrumenter, endstige være i besiddelse af instrumenterne.

Konklusion

Byggeriets Indeklima Målestation, BIM, kan rekvireres til undersøgelse af såvel indeklima som varme- og ventilationsanlæg. BIM råder over udstyr og erfaring til belysning af de i praksis forekommende problemer og vil gerne i så høj grad som muligt rekvireres for dels at hjælpe, dels at indsamle erfaringsmateriale til brug for vejledninger for projekterende og udførende ingeniører, arkitekter og bygherrer.

Adresse: Statens Byggeforskningsinstitut, Lundtoftevej 7, 2800 Lyngby. Tlf. 01) 88 09 00.

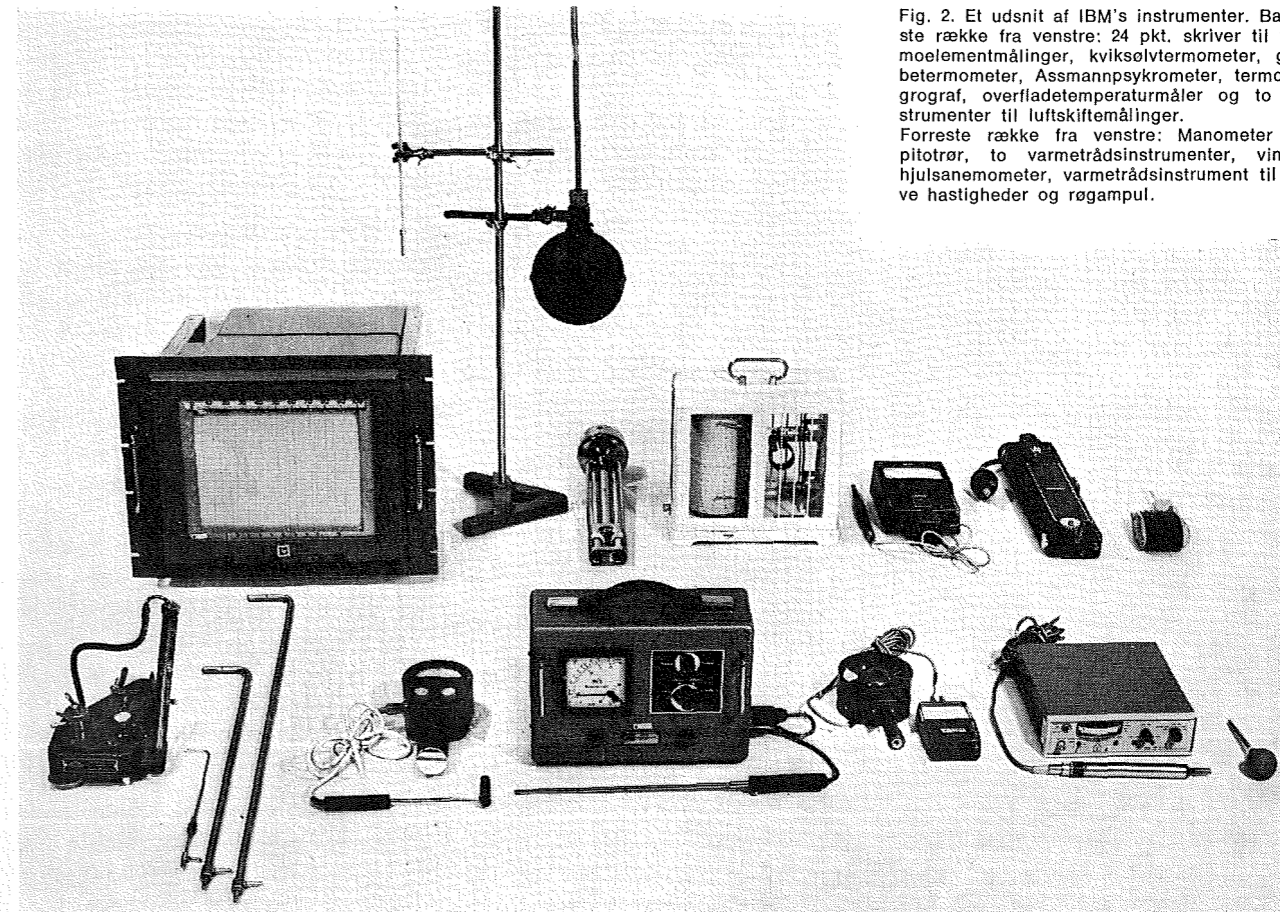


Fig. 2. Et udsnit af IBM's instrumenter. Bageste række fra venstre: 24 pkt. skriver til termoelementmålinger, kviksølvtermometer, globetermometer, Assmannpsykrometer, termohydrograf, overfladetemperaturmåler og to instrumenter til luftskiftemålinger. Forreste række fra venstre: Manometer og pitotrør, to varmetrådsinstrumenter, vingehjulsanemometer, varmetrådsinstrument til lave hastigheder og rogampul.

Skema til fejlfinding ved varme- og ventilationsanlæg

Af civilingeniør Ole Valbjørn,
Statens Byggeforskningsinstitut

Klager over indeklimaet kan ofte føres tilbage til fejl ved varme- og ventilationsanlægget eller bygningen. Sammenhængen mellem klage og fejl er som regel ikke entydig. BIM har samlet nogle af sine erfaringer fra forskellige undersøgelser i et skema, der kan tjene som grundlag for undersøgelser af varme- og ventilationsanlæg.

De fleste af de klager, der forekommer i mekanisk ventilerede bygninger, kan føres tilbage til fejl ved projekteringen, udførelsen, indreguleringen eller driften af varme- og ventilationsanlæggene samt fejl ved bygningen.

Det er vigtigt, når der rettes en fejl ved anlæggene, at have sikkerhed for, at den fundne fejl er den eneste årsag til den opståede klage, og at ændringen ikke medfører nye problemer. BIM har derfor som et forsøg på at anskueliggøre fejlmulighederne og sammenhængen mellem klager og fejl udarbejdet et fejlfindingsskema, som hovedsagelig er baseret på erfaringer, der er gjort ved undersøgelser i praksis. Skemaet omfatter dog ikke fejl ved projekteringen.

Det fremgår af skemaet, at der sjældent er en entydig sammenhæng mellem klage og fejl, en klage kan have flere vidt forskellige årsager, og det kan næppe forventes, at man i det aktuelle tilfælde har samtlige fejlmuligheder stående klart for sig. Det har da også tit vist sig, at der er forsøgt ændringer, som enten ikke har afhjulpet problemerne eller endog har skabt nye

problemer. Et eksempel herpå var en klage over træk fra indblæsningsluften. Den ansvarlige ingeniør nedsatte luftmængden, trækken forsvandt, men til gengæld blev der så klaget over dårlig luft. Havde han undersøgt hastighedsfordelingen over indblæsningsåbningen og sørget for at skabe en jævn fordeling uden at nedsætte den indblæste luftmængde, så var problemet i dette tilfælde blevet løst tilfredsstillende.

Skemaet er opbygget på en sådan måde, at der til venstre i skemaet er opført almindeligt forekommende klager. Følges kolonnen lodret ned for en given klage, aflæses fejl, der kan konstateres ved målinger i rummet, i kolonnen midt i skemaet ud for de enkelte markeringer. Til højre for midterkolonnen er markeringer, der lodret op refererer til de fejl ved anlægget eller bygningen, der kan bevirke de i rummet konstaterede fejl. I nogle tilfælde er klagerne ført direkte over til fejl ved anlægget (vist ved en pil i midterkolonnen).

Eksempel: Klagen er støj.

Fejlen kan være: For stor indblæst luftmængde – for stor ha-

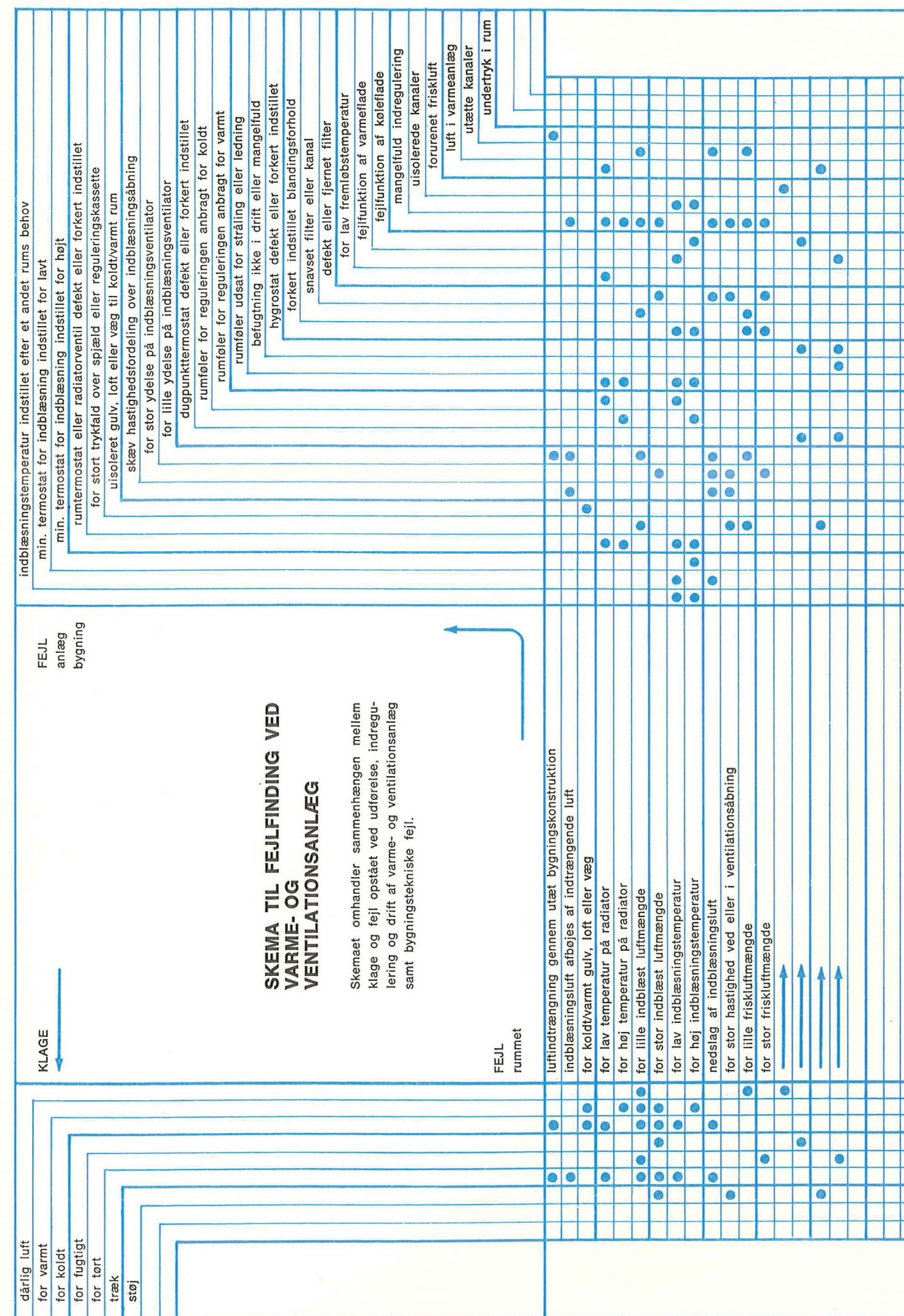
stighed ved eller i ventilationsåbning – luft i varmeanlæg.

»For stor indblæst luftmængde« kan skyldes: for stor ydelse på indblæsningsventilator – defekt eller fjernet filter – mangelfuld indregulering.

De fleste sammenhænge, der fremgår af skemaet, vil være kendt for læseren, og der er kun medtaget helt almindelige fejl. Det vil sikkert for hver af de nævnte fejl ved anlægget være muligt at opstille et lignende skema. Skemaets berettigelse menes også først og fremmest at være den oversigt, det giver over almindeligt forekommende fejl, der kan bevirke klager, og dernæst den sikkerhed for et godt resultat, der opnås, når samtlige de i skemaet angivne fejlmuligheder er undersøgt.

Skemaet er ikke fuldt udbygget, og der vil blive arbejdet videre på det. BIM er derfor interesseret i eventuelle kommentarer, som bedes adresseret til

Byggeriets Indeklima Målestation,
Statens Byggeforskningsinstitut,
Lundtoftevej 7, 2800 Lyngby,
eller telefon (01) 88 09 00.



Indeklimamålinger

Af civilingeniør Ole Valbjørn,
Statens Byggeforskningsinstitut

Et varme- og ventilationsanlæg skal kunne opretholde et passende indeklima under de udeklimaforhold, som er forudsætningen for projekteringen. Når anlægget er færdigt, må det kontrolleres, om de stillede krav kan opfyldes.

MÅLINGER

Det er i bygherrens interesse, at det varme- og ventilationsanlæg, han har ladet installere, er i stand til at opretholde et konstant, passende indeklima, og den projekterende ingeniør må vise, at anlægget kan opfylde de stillede krav til indeklimaet, og nærmere definere for hvilket udeklima og for hvilke indre belastninger, anlægget er dimensioneret. Den projekterende ingeniør må derfor foranledige udført en indeklimamåling, og resultaterne må accepteres af bygherren. Da tendensen går i retning af, at bygherren forlanger en afleveringsrapport med oplysninger om de målinger, der er udført på anlægget, vil det være naturligt, at resultatet af indeklimamålingen indgår i denne rapport.

Hvilke målinger drejer det sig om

Det bedste er, at undersøgelserne finder sted, inden bygningen tages i brug. I dette tilfælde må der udføres målinger under forhold, hvor de belastninger, personer, møblering og maskiner forårsager, ikke er til stede, men alligevel vil en sådan måling give værdifulde oplysninger om f.eks. træk fra indblæsningsåbninger, store forskelle i strålingstemperatur m.m.

Rapporten må da indeholde oplysninger om

1. indeklimaet målt i bygningen med angivelse af, under hvilke ydre og indre betingelser der er målt
2. ved hvilke ydre og indre betingelser anlægget kan opretholde de ønskede indeklimatiske forhold, givet på grundlag af beregninger.
3. begrænsninger i udnyttelsen af de enkelte rum på grund af, at bygningen eller anlæggets udformning skaber særlige afvigende klimatiske forhold.

Efter at bygningen er taget i brug, må der foretages

4. endelige indeklimamålinger, der supplerer målingerne nævnt i 1
5. løbende registreringer af faktorer, der kan variere med de ydre og indre belastninger til supplerende af punkterne 2 og 4.

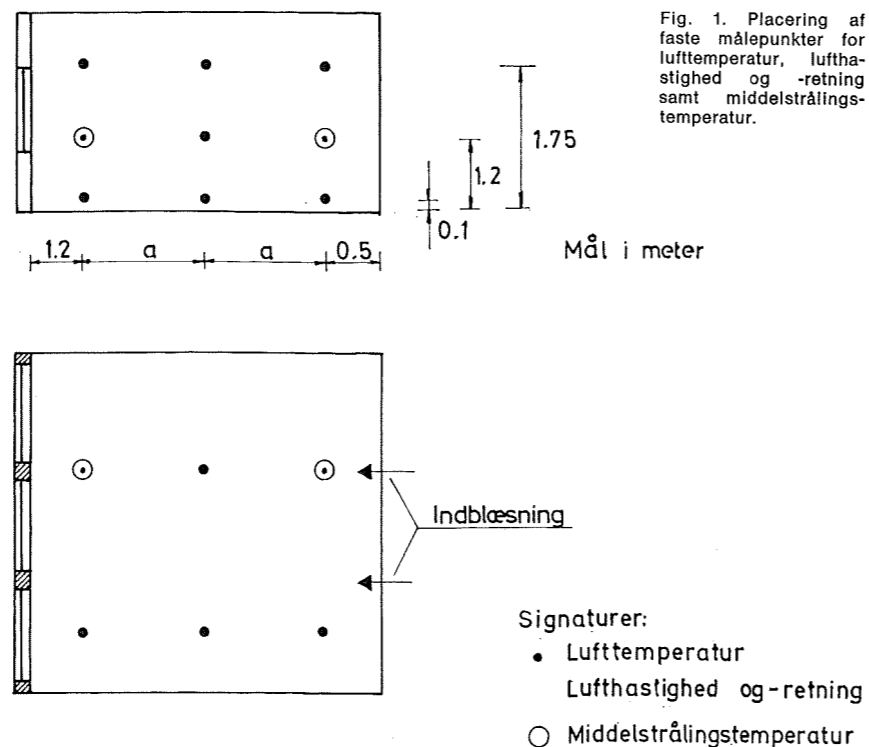
Det vil i senere artikler blive behandlet, på hvilken måde de her nævnte punkter sammen med oplysninger om anlæg m.m. kan indgå i en eventuel afleveringsrapport.

Det er meget væsentligt, at der udføres målinger umiddelbart efter bygningen er taget i brug, for at fange eventuelle fejl, før de giver anledning til klager. Den almindelige fremgangsmåde, først at måle når klagerne opstår, er uheldig, fordi disse katastrofeudrykninger oftest kun løser lokale

problemer, og de hyppige besøg giver brugeren indtryk af, at anlægget fungerer dårligt, og hvad værre er, klagerne vil leve videre, selv om forholdene er bragt i orden.

Forudsætninger for at måle

Det er en forudsætning for at udføre en indeklimamåling, at bygningen er færdig og at anlæggene er klargjorte og i funktion, f.eks. dokumenteret ved en målerapport, udført af entreprenøren. Findes der umiddelbare fejl ved anlæg og bygning, bør de rettes, inden den egentlige måling foretages. Hvis projektet ikke giver begrænsninger for placering af arbejdspladser, bør man foruden at måle i de anbefalede faste punkter (se fig. 1) måle på de mest udsatte steder, f.eks. ved et bord placeret tæt mod facaden,



hvor kuldeneffald kan tænkes at give problemer.

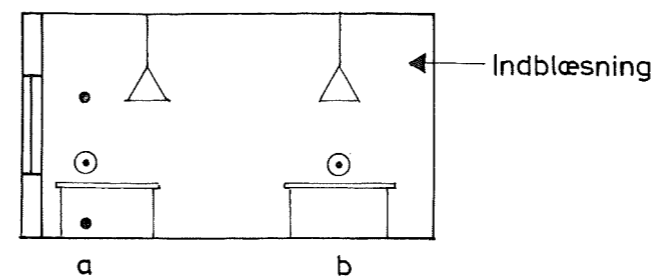
Indeklimaet påvirkes af den indre belastning og af udeklimaet, det er derfor vigtigt, at bygningens indre belastning under målingen svarer til det normale, f.eks. at døre og vinduer er lukkede og belysningen tændt. Det sikreste er at måle under de ydre betingelser, der stiller størst krav til bygning og anlæg. Det kan sjældent opfyldes, og man må derfor ofte anvende indeklimamålingen som beregningsgrundlag til en bedømmelse af indeklimaet under andre, specielt ydre påvirkninger. Det er endvidere vigtigt at holde sig for øje, at udeklimaets indflydelse på indeklimaet for bygninger med stor varmeakkumulering kan være tidsforsinket op til flere døgn.

Målemetoden og instrumenterne må være valgt, så der opnås et resultat, der beskriver indeklimaet bedst muligt, med de variationer der sker over en passende periode, f.eks. således, at man ved måling i et lokale, hvor lufttemperaturen på grund af belastningen varierer flere grader i løbet af dagen, i hvert fald et sted i lokalet foretager en kontinuerlig registrering af temperaturen.

Hvad skal der måles

De vigtigste faktorer, der indvirker på behagelighedsfølelsen, er lufttemperaturen, middelstrålingstemperaturen, lufthastigheden og luftens indhold af lugtstoffer. I forbindelse med de første tre faktorer må opmærksomheden også være rettet mod temperaturgradienter, ensidig afkøling eller opvarmning, f.eks. i form af varmestråling til kolde vinduer og træk fra kuldeneffald ved vinduer og fra indblæsningsåbninger.

Endvidere kan nævnes faktorer som luftens relative fugtighed, støjniveau og belysningsstyrke.



Hvor skal der måles

Ved en generel undersøgelse af indeklimaet, f.eks. i forbindelse med afleveringen af en bygning, gælder det om at vælge en række punkter, der geografisk dækker rummet og samtidig tager tilbørligt hensyn til indblæsningsåbningernes placering og andet, der kan tænkes at påvirke lufttemperatur-, hastigheds- og strålingstemperaturfeltet. Der er i fig. 1 anbefalet nogle generelle placeringer; disse kan suppleres med enkelte andre målinger, der kan tænkes nødvendige (fig. 2), f.eks. ved et bord placeret tæt ved vinduet, eller under et belysningsarmatur. Det er nødvendigt at planlægge målingerne nøje, og det er ofte en fordel at foretage nogle hurtige, vejledende målinger inden den endelige måling.

Skyldes undersøgelsen, at der klages over klimaet, må man naturligvis måle de steder, hvor klagerne forekommer, men det er vigtigt, når man retter en fejl, at man forsøger at løse problemet ud fra en samlet vurdering, så der ikke ved den ændring, der foretages, skabes nye problemer. Således er det ofte set, at en anemostat er blevet blændet, fordi den har givet anledning til træk på grund af for stor kaste-længde, med det resultat, at anemostaten ved siden af på samme kanal har skabt et lignende problem. I det tilfælde burde hele luftmængden i kanalstrengen være nedreguleret. Er der ikke baggrund for klager på det tidspunkt, der måles, må det overvejes, om andre forhold, f.eks. lave indblæsningsstemperaturer på en varmere dag, kan give anledning til klagerne.

Fortolkning af resultaterne

Resultaterne af målingerne må bedømmes ud fra den viden der findes om menneskets termiske komfortkrav, de krav der er til støjniveau og de retningslinier der findes for friskluft-

mængde, belysningsstyrke og relativ luftfugtighed.

De termiske komfortkrav er opstillet som ligninger, der kombinerer de termiske indeklimafaktorer, beklædning og aktivitetsniveau. Ved bedømmelsen er det dog væsentligt at tænke på, at man skal kunne regulere temperaturniveauet, fordi det i praksis ikke er muligt at fastlægge personernes beklædning og aktivitetsniveau. Endvidere må opmærksomheden være rettet mod store temperaturgradienter, høje lufthastigheder og store afvigelser i strålingstemperatur i forskellige retninger altså forhold, som giver asymmetriske påvirkninger og som komfortligningerne ikke tager hensyn til. Ofte glemmes det at tage hensyn til strålingstemperaturens indflydelse ved bedømmelse af indeklimaet, men denne faktor er lige så vigtig som lufttemperaturen, fordi varmeafgivelsen fra personer ved konvektion og ved stråling er praktisk taget lige stor i de fleste tilfælde. For nærmere data henvises til P. O. Fangers artikel: Det termiske Indeklima. Betingelser for komfort (5), P. Becher: Varme og Ventilation (1) og Friberg og Ronge: Hygien (6).

Krav og retningslinier for støjniveau og belysningsstyrke er beskrevet i henholdsvis »Bygningsreglement for købstæderne og landet« af 1966 og DS 700, »Retningslinier for kunstig belysning i arbejdslokaler m. m.«.

Luftens relative fugtighed har termisk set kun lille betydning, men i tilfælde, hvor der kan opstå statisk elektricitet, viser erfaringerne, at der bør holdes ca. 40% relativ luftfugtighed for, at eventuelle gener skal forsvinde.

INSTRUMENTER

Lufttemperatur

Lufttemperaturen kan måles med termometer, aspirationstermometer, termoelement, modstandsføler eller termograf (termohygrograf). Ved brug af de nævnte instrumenter må man være klar over, at visningen påvirkes af strålingstemperaturen. Strålingsindflydelsen er afhængig af følerelementets størrelse – størst ved store følere. Således afviger visningen på et kviksølvtermometer med en følerdiameter på 6 mm med ca. 1/3 af differencen mellem luft- og middelstrålingstempe-

raturen, derfor skal føleren strålingsbeskyttes, når der er store forskelle i luft- og middelstrålingstemperatur (sollys, strålevareløft, radiator), f. eks. kan et tyndvægget aluminiumrør bruges. Diameteren bør være omkring 50 mm, når højden af røret er ca. 50 mm. Strålingsbeskyttelsen forøger dog tidskonstanten, der er et udtryk for den tid, det varer, før visningen er i overensstemmelse med den aktuelle lufttemperatur. Strålingsbeskyttelsens effektivitet bør altid kontrolleres og hertil er et aspirationstermometer velegnet.

Varmeledningen gennem tilledningerne til et termoelement kan også give en fejlvisning, derfor skal termoelementer, anbragt på et forsøgsstativ, have ca. 10–20 cm af kablet frit i luften for at undgå ledning fra stativet. Fig. 3 giver en oversigt over fordele og ulemper ved instrumenter til måling af temperaturer.

Lufthastighed

Lufthastigheden i rummet kan vurderes ved brug af røg eller måles ved hjælp af et katatermometer, eller et termisk anemometer. Det er nødvendigt at kende både lufthastighed og retning til bedømmelse af luftbevægelsens indflydelse på personer i et rum, specielt af hensyn til bedømmelsen af eventuelle trækfænomener, og til angivelse af retningen er det praktisk at anvende røg. Men luftens bevægelsesretning er ofte stærkt skiftende, og observatøren må derfor afgøre, i hvilken retning lufthastigheden skal måles for at give det sikreste billede af forholdene.

Røg kan frembringes på flere måder, mest praktisk er det dog at anvende små ampuller med et indhold, som i forbindelse med atmosfærisk luft danner røg (pris ca. 2 kr. pr. ampul). I de tilfælde, hvor luftbevægelsens retning er forholdsvis konstant, kan røg anvendes til måling af hastigheder fra 0 til ca. 0,5 m/s, der er det normale område i opholdszonen. Lufthastigheden måles ved at udsende en begrænset røgmængde og ved hjælp af et stopur og en målestok måle tiden for en given bevægelse af røgmængden.

Katatermometret (pris ca. 150 kr.) er et alkohol- eller kviksølvfyldt termometer af glas med en stor føler med

Indeklimamålinger

| Instrument | Nødvendigt udstyr | Fordele | Ulemper |
|---|---|--|---|
| termometer pris ca. 35 kr. | | billigt, let at aflæse | følsomt overfor stråling, stor tidskonstant, ej registrerende |
| aspirations-termometer (Assmann-psykrometer) pris ca. 1200 kr. | | hurtigt at aflæse, strålingsbeskyttet, lav tidskonstant på grund af stor hastighed forbi føleren | ej registrerende |
| termoelement pris ca. 3 kr. pr. m | galvanometer*) eller kompensations skriver**) *) pris ca. 3000 kr. **) pris ca. 10000 kr. | lav tidskonstant, velegnet til registrerende målinger, central aflæsning for mange punkter, ikke særlig strålingsfølsomt | dyrt, nødvendigt udstyr hvis målingerne skal registreres automatisk, opstilling noget besværlig, mulighed for fejlkilder i det elektriske system |
| modstandsføler pris 10–50 kr. | Ohmmeter*) eller kompensations skriver**) *) pris ca. 3000 kr. **) pris ca. 10000 kr. | velegnet til registrerende målinger | store tidskonstant og strålingsfølsomhed end termoelementer (afh. af størrelsen), dyrt nødvendigt udstyr hvis målingerne skal registreres automatisk, mulighed for fejlkilder i det elektriske system |
| termograf pris ca. 1200 kr. | | billigt registrerende instrument, simpelt, robust | strålingsfølsomt, stor tidskonstant, d.v.s. ved varierende forhold fås ikke max. og min. |

Fig. 3. Fordele og ulemper ved instrumenter til temperaturmålinger.

eller uden forsølvning og med to målestreger for henholdsvis 38 og 35° C. Afkølingen af et katatermometer, der er opvarmet over 38° C, er afhængig af lufttemperaturen, lufthastigheden og strålingen til omgivelserne og instrumentet er egentlig udviklet for at kunne få en fysisk sammenhæng mellem disse tre faktorer. Måling af lufthastigheden udføres ved at opvarme katatermometret til over 38° C i et vandbad, aftørre det, og anbringe det på målestedet. Tiden for afkølingen fra 38° C til 35° C og lufttemperaturen måles. Anvendes et forsølvvet katatermometer, er strålingsandelen så lille, at den kan negligeres, når det drejer sig om målinger i rum, hvor der ikke er kraftige varmekilder, og man kan da direkte anvende tabeller fra leverandøren til beregning af lufthastigheden.

Målingen er retningsuafhængig og giver en gennemsnitlig lufthastighed over en periode på flere minutter.

Instrumentet er velegnet til brug for bedømmelse af lufthastighedens gennemsnitsværdi over en længere perio-

de, men kan ikke anvendes til belysning af trækforhold, der er tidsbegrænsede. Måleområdet er 0,1 – ca. 2,5 m/s.

Med *termiske anemometre* (prisniveau 2000–5000 kr.) måles i princippet lufthastigheden ved at få et udtryk for luftens afkøling af en opvarmet modstand i en Wheatstones bro.

I konstant-temperatur-anemometre holdes modstanden (tråden) på en konstant temperatur, og den hertil nødvendige strøm er således et mål for hastigheden, i konstant-strøm-anemometre er den tilførte strøm konstant, og spændingsfaldet over modstanden er et mål for hastigheden, og i termoelement-anemometre måles temperaturen af en opvarmet tråd med et termoelement, hvis referencetemperatur kan være luftens temperatur, og termoelementsspændingen er således et udtryk for lufthastigheden.

Nogle instrumenter kompenserer selv for ændringer i lufttemperaturen, nogle skal justeres ved en ændring af lufttemperaturen, og ved andre må lufttemperaturen måles særskilt, og der

må korrigeres herfor ved hjælp af opgivne kurver. Ved lave lufthastigheder spiller egenkonvektionen af den opvarmede tråd en stor rolle, derfor er instrumenterne normalt uegnede til måling af lufthastigheder under 0,1 – 0,2 m/s, selv om de giver udslag i dette område.

Et termisk anemometer, der kompenserer for egenkonvektionen og derfor er anvendeligt ved lave hastigheder, arbejder ud fra det princip at lade den opvarmede tråd vibrere med en kendt hastighed, der følger en sinusvigning. Summen af den målte og den tvungne hastigheds signal behandles elektrisk.

Målingen med termiske anemometre afhænger af apparaternes udformning, for de fleste er det dog nødvendigt at kende lufthastighedens retning, og den findes ved at dreje anemometret til maksimalt udslag opnås, men ofte er det således, at luftens hastighed og retning ændres med tiden, derfor anbefales det at anvende røg til at finde den retning, hastigheden skal måles i. Da afkølingsforholdene af tråden påvirkes af støv, er det vigtigt, at den holdes ren.

Middelstrålingstemperatur

Middelstrålingstemperaturen i forhold til et objekt defineres som *den ensartede temperatur, absolut sorte omgivelser skal have for at give samme varmendeveksling ved stråling mellem objekt og omgivelser som i det aktuelle tilfælde.*

Da menneskets varmeafgivelse ved stråling er næsten lige så stor som ved konvektion, forstås det, at det er lige så vigtigt at kende middelstrålingstemperaturen som lufttemperaturen. Især, hvor der anvendes lettere bygningskonstruktioner, og der tillige er stor belysningsstyrke, kan der være store variationer i strålingstemperaturen.

Middelstrålingstemperaturen måles med et globetermometer, eller med et forsølvvet og et almindeligt katatermometer, eller den kan beregnes.

Fælles for instrumenterne er dog, at man måler middelstrålingstemperaturen i forhold til netop den form de har og ikke i forhold til menneskets form, men almindeligvis er resultatet dog tilstrækkeligt beskrivende for forholdene.

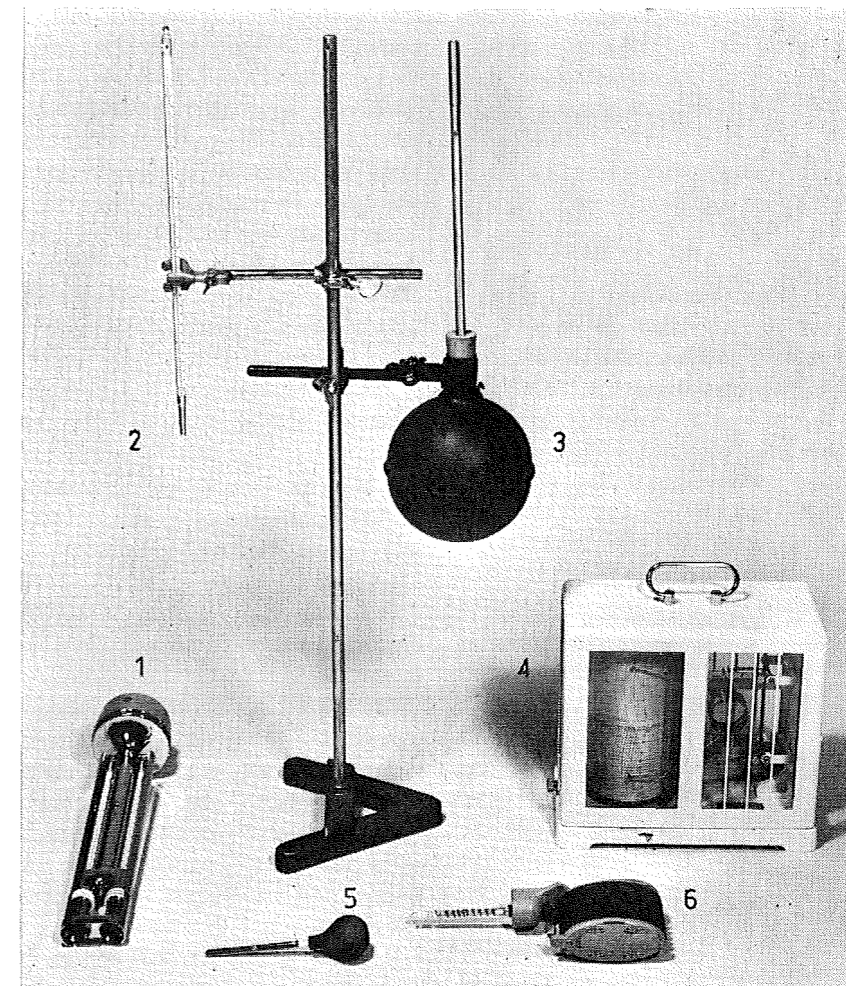


Fig. 4. Simple instrumenter til måling af de vigtigste indeklimafaktorer. 1. Assmannpsykrometer, 2. Kviksølvtermometer, 3. Globetermometer, 4. Termohygrograf, 5. Røggiver, 6. Gasspøringsapparat til CO₂-sporgasmåling.

Hverken med de nævnte instrumenter eller med andre fabriksfremstillede instrumenter er det dog muligt at måle strålingstemperaturen for et bestemt halvrum, f. eks. i halvrummet mod en facade med kolde vinduer. For at bedømme den ensidige strålingspåvirkning må der derfor foretages en beregning, ligesom det nedenfor er beskrevet for middelstrålingstemperaturen.

Globetermometret består almindeligvis af en sort-farvet hul kobberkugle og et termometer, der er placeret med termometerbeholderen i kuglens midte. Traditionelt fremstilles globetermometret med en diameter på 15,2 cm eller 6 inches (pris ca. 150 kr.).

Når globetermometret er i varmebalance med omgivelserne, er de varmestrømme, der overføres ved henholdsvis stråling og konvektion, lige store og modsat rettede. Kendes kon-

vektionsandelen, har man således også strålingsandelen, der er bestemt af middelstrålingstemperaturen, globetermometrets temperatur samt emissionsforholdet for globetermometret. En måling udføres ved, at man bestemmer konvektionsandelen som fås af globetermometret samt middelværdierne af lufttemperatur og lufthastighed. Bedford angiver i (2) et nomogram til bestemmelse af middelstrålingstemperaturen.

En bestemmelse af middelstrålingstemperaturen med *katatermometre* foretages ved at måle afkølingstiderne for to katatermometre samtidig. De to termometre skal have forskelligt emissionsforhold, f. eks. kan det ene være forsølvvet på termometerbeholderen, medens det andet har den ubehandlede glasoverflade. Den forskel, der er på afkølingstiderne på de to katatermometre, skyldes strålingsandelen og beregningsmæssigt kan det opnås,

at den andel, der har relation til konvektionen, dvs. er afhængig af lufttemperatur og -hastighed, som jo er ens for begge katatermometre, falder bort, og at målingen kun afhænger af middelstrålingstemperaturen og de to overfladers emissionsforhold. I (3) beskrives indgående brugen af katatermometre.

De to katatermometre skal placeres så tæt ved hinanden, at de udsættes for samme luftbevægelse, og er påvirket af samme strålingsfelt. En afstand på 20 cm vil være passende, fordi de heller ikke må påvirke hinanden væsentligt ved gensidig stråling eller konvektion.

Målingerne bør gentages nogle gange for at forebygge fejl hidrørende fra ændringer af lufthastigheden i måleperioderne. En måleperiode er af størrelsesordenen 50 – 100 s for et uforsøvet katatermometer og 100 – 150 s for et forsøvet.

Beregning af middelstrålingstemperaturen kan foretages ved at beregne vinkelforholdet for et punkt til de omgivende flader, måle deres temperatur og danne summen af fladernes temperatur multipliceret med de respektive vinkelforhold. Dannes på samme måde strålingstemperaturen i forhold til en flade mod f. eks. kolde vinduesarealer og i modsat retning, fås et udtryk for den øgede afkøling, personerne har til de kolde vinduesarealer. Den praktiske udførelse af beregningerne kan læses i Rietchel/Raiss: *Heizung und Lüftungstechnik* (9).

Relativ luftfugtighed

Luftens relative fugtighed kan måles med aspirationspsykrometer (Assmann psykrometer), hårhygrometer og lithiumchloridhygrometer.

Det er tilstrækkeligt at måle luftens relative fugtighed et sted i rummet, idet man kan regne med, at vanddampenes partialtryk er de samme over alt i rummet, men det er vigtigt ved angivelse af den relative luftfugtighed at måle og angive luftens temperatur. Ellers er vandindholdet i luften ikke bestemt.

Aspirationspsykrometret (pris ca. 1200 kr.) består af to ens termometre, hver anbragt i et poleret metalrør til strålingsbeskyttelse, og af en lille ventilator, der kan trække en veldefineret luftstrøm forbi termometrene. Det ene

termometers føler er forsynet med en bomuldsstrømpe, der holdes fugtig med destilleret vand. Ved hjælp af et Molliardiagram – eller en psykrometertabel – findes den relative luftfugtighed. Ved brug af aspirationspsykrometret opnås en meget nøjagtig måling.

Det er væsentligt, at der anvendes destilleret vand, da bomuldsstrømmen ellers tilkalkes, og de afsatte salte kan bevirke en damptryksænkning omkring det våde termometer. Indstillingstiden varierer fra 2 til 10 min. afhængig af den relative luftfugtighed.

Hårhygrometret (princippet anvendes i termohygrografer, pris ca. 1200 kr.) bygger på den kendsgerning, at hår (som alle organiske stoffer) ændrer form afhængigt af den omgivende lufts relative fugtighed. I termohygrografen omsættes længdeændringen til en vandrings af en skrivende pen. Ved lave fugtigheder ($\phi < 40\%$) forlænger hårene sig, selv ved lave trækspændinger, så det er nødvendigt at aflaste hårene, når instrumentet ikke er i brug. Denne længdeændring forsvinder dog, når hårene i nogle timer har været udsat for næsten mættet luft. Dvs. at hyppig kalibrering og regenerering er nødvendig. Hårene skal også holdes rene for støv.

Man vil se, at der ved pludselige ændringer i den relative luftfugtighed vil forekomme kraftige oversving, der forsvinder i løbet af ca. 20 minutter. Det skyldes sandsynligvis forskellig udvidelseshastighed i længde- og tværetning. Ved 20° C er tidskonstanten ca. 2 minutter. Temperaturændringer har ingen praktisk indflydelse, men over 50° C kan man ikke regne med at anvende hårhygrometre, da de hygroskopiske egenskaber forstyrres væsentligt.

Lithiumchlorid-bygrometret er et termometer (kviksølv eller elektrisk) omgivet af en glasfibervæge, som er fugtet med en opløsning af lithiumchlorid. For ethvert damptryk vil der være en ligevægtstemperatur, ved hvilken saltopløsningen hverken optager eller afgiver fugtighed til den omgivende atmosfære. Under denne ligevægtstemperatur optager opløsningen fugtighed. Over ligevægtstemperaturen tørre opløsningen ud indtil fuldstændig krystallisation. For lithiumchlorid ligger ligevægtstemperaturen

næsten altid over rumtemperaturen, og cellen opvarmes til ligevægt, idet to ædelmetalelektroder på vægen påtrykkes en vekselspænding. Hvis cellen er under ligevægtstemperaturen, vil opløsningen absorbere fugtighed, dens ledningsevne vil stige, og vekselstrømmen vil vokse og opvarme cellen, til ligevægtstemperaturen er nået. Omvendt vil strømmen aftage og cellen afkøles, hvis den er over ligevægtstemperaturen. Som nævnt er ligevægtstemperaturen et mål for vanddamptrykket og dermed også for dugpunktet. Lithiumchloridceller kan anvendes inden for området -30° C – +60° C og 20–100 % relativ fugtighed.

I ren luft og ikke for høje temperaturen kan en LiCl-føler være i drift op til to år uden pasning, men i de fleste tilfælde kræves hyppigere rensning, da støv i luften kan ændre den elektriske ledningsevne. Rensningen foregår med destilleret vand, og der tilsættes til sidst ny saltopløsning. Prisen for et instrument, der både måler lufttemperatur og relativ luftfugtighed, er ca. 2500 kr.

Luftens indhold af lugtstoffer

Det er kun muligt at bedømme luftkvaliteten subjektivt, da luftens indhold af lugtstoffer er et kompliceret fænomen. Den subjektive vurdering må ske, når observatøren kommer ind i lokalet fra den friske luft, fordi lugtesansen hurtigt svækkes over for en konstant mængde af et luftstof. Der er på grundlag af erfaringer opstillet kurver for det lugtniveau, der vil være i et rum, når antallet af personer, m³ rum pr. person, aktivitet samt omfang af tobaksrygning er kendt, og når man tillige kender den tilførte friskluftmængde eller friskluftskiftet for lokalet.

En *luftskiftmåling* foregår ved, at der opblandet en sporgas i lokalet, hvorefter det måles, hvor hurtigt sporgaskoncentrationen aftager. Det er vigtigt, at sporgassen under målingen er godt opblandet i lokalet. Af egnede sporgasser er kuldioxyd mest anvendt. I det målte luftskifte indgår dog også den luftmængde, der stammer fra utætheder i rummet. Arbejder et ventilationsanlæg med recirkulation, må forholdet mellem friskluft og returluft også kendes for at bestemme friskluftmængden. Ved sporgasmålingen

findes nemlig luftskiftet stammende fra den totale indblæste luftmængde, som jo i de fleste tilfælde kan betragtes som fri for sporgassens indflydelse uanset graden er recirkulation, fordi anlæggene betjener flere rum end det, der måles i.

Til brug for målingen af sporgassen kan anvendes ampuller med et salt, hvorigennem en luftprøve trækkes ved hjælp af en håndbetjent bælgepumpe (pris ca. 400 kr.), og som farves afhængigt af koncentrationen. Der kan også anvendes en interferensmåler (pris ca. 3000 kr.), i hvilken en lysstråle brydes mere eller mindre afhængigt af den indsugede lufts koncentration af den anvendte sporgas. Endvidere findes elektriske instrumenter, der måles luftens ledningsevne, som ændres med sporgaskoncentrationen.

Resumé

Der må tilstræbes, at indeklimate målinger foretages i forbindelse med afleveringen af en bygning med varme- og ventilationsanlæg, og at resultaterne foreligger i en rapport, der tilgår bygherren. Målingerne udføres på den

projekterende ingeniørs foranledning for at kontrollere, om det i projektet ønskede indeklimate er opnået.

Resultaterne af en indeklimate måling giver endvidere baggrund for at rette fejl ved anlæg og bygning, at fastsætte begrænsninger i den fulde udnyttelse af opholdszonen samt at kunne beregne indeklimate under andre ydre og indre belastninger.

Forudsætningerne for at måle er, at bygning og anlæg er færdige til aflevering og at anlægget fungerer.

Målingerne skal udføres under forhold, der svarer til det normale under bygningens brug, og udeklimate bør før og under målingerne være så tilpas stabilt, at man kan se bort fra tidsforsinkelsen på grund af bygningens varmeakkumulering.

Der kan anvendes mange forskellige instrumenter til måling af indeklimatefaktorerne, men anvendt rigtigt kan der for de vigtigste indeklimatefaktorer opnås gode resultater med følgende instrumenter, som kan erhverves for ca. 3000 kr.:

Assmannpsykrometer
termograf

røgampul, stopur og målestok
globetermometer
CO₂-sporsingsapparat og CO₂.

I efteråret 1970 vil der udkomme en række monografier om indeklimate som et foreløbigt resultat af ATV's indeklimateudvalgs arbejde. De vil bl.a. indeholde en mere indgående uddybning af målemetoder, instrumenter og måleusikkerhed.

Litteraturhenvisninger:

1. Becher, P.: *Varme og Ventilation* 5, Teknisk Forlag 1965.
2. Bedford, T.: *Basic Principles of Ventilation and Heating*, London, Lewis 1964.
3. Bradtke F. og Liese, W.: *Hilfsbuch für raum- und aussenklimate Messungen*, Springer 1952.
4. DIN 1946 Blatt 1: *Lüftungstechnische Anlagen, Grundregeln*.
5. Fanger, P. O.: *Det termiske indeklimate. Betingelser for komfort*, Ingeniøren, Forskning, Nr. 6, 1969.
6. Friberg og Ronge: *Hygien. Svenska Bokforlaget, Stockholm, 1964*.
7. *Handbook of Fundamentals, ASHRAE 1968*.
8. *Handbook of Systems & Equipment, ASHRAE 1967*.
9. Rietchel og Raiss: *Heizung und Lüftungstechnik*, Springer verlag, Berlin 1962.

Placering af friskluftindtag og afkastningsåbninger

Af civilingeniør E. Christophersen

Forureningen af atmosfæren er internationalt erkendt som et alvorligt problem. Opmærksomheden er oftest og med rette vendt mod primære forureningskilder som forbrænding, motorkøretøjer og fabrikationsprocesser, der forårsager gener i form af lugt og støv, samt mod forureningens sundhedsmæssige ulemper og de forårsagede materielle skader. Hertil må imidlertid føjes luftforureningskilder, der hovedsageligt giver gener i form af ilde lugt og tilsmudsning, og endvidere må man se på den virkning, den udendørs luftforurening har på forureningen af luften inden døre i boliger, kontorer, skoler osv. I denne forbindelse spiller anvendelsen af anlæg for komfortventilation en væsentlig rolle.

Ventilationsteknikeren er på to områder impliceret i luftforureningsproblemet, idet der ligger en opgave i at få ren friskluft til ventilationsanlægget og en lige så stor opgave i at begrænse de gener, der kan opstå ved, at omgivelserne forurenes af afkastningsluften.

Det er således en forudsætning for ordentlig ventilation, at den friskluft, som af ventilationsanlægget blæses ind i rummene, ikke selv bidrager til at forringe kvaliteten af rumluften. Desuden vil tilstrækkelig ren friskluft mindske udgifterne til rengøring, maling og anden vedligeholdelse.

Afkastningsluften fra komfortanlæg indeholder aldrig sundhedsfarlige koncentrationer, men forureninger, der forårsager fysisk og psykisk ubehag som følge af ilde lugt og snavs. Eksempler på luftforureninger i bygnin-

klager over luftkvaliteten kan ofte henføres til uhensigtsmæssigt placerede åbninger for friskluftindtag og afkastning. I artiklen behandles en række forhold, der må tages i betragtning, når disse åbninger skal placeres på den gunstigste måde, set ud fra et luftforurenings synspunkt.

ger er lugte fra køkkener og toiletter samt tobaksrøg.

Friskluftindtag

Renheden af den friskluft, der indblæses i rummene, bestemmes ved et samspil mellem placeringen af friskluftindtaget og valget af udstyr til rensning af luften. Ved at placere friskluftindtaget så den luft, der indtages til ventilationsanlægget, har den bedst mulige kvalitet, dvs. det mindste indhold af støvpartikler, lugtstoffer og uønskede luftarter, er det muligt at mindske belastningen af filtrene, og endvidere kan man opnå, at den indsugede luft har det mindst mulige indhold af partikler og luftarter, der kun vanskeligt kan udskilles. Ved placeringen må man desuden ofte tage hensyn til, at den indsugede luft om sommeren skal være så kold som muligt.

Den gunstigste placering af et friskluftindtag er afhængig af luftforureningens art, af forureningsmængden samt af forureningskildernes placering.

Hovedforureningskilderne vil normalt være trafik, kedelanlæg og industri, og mere lokalt kan luften være forurennet af afkast fra udsugningsanlæg for køkkener, restauranter, mindre virksomheder som levnedsmiddelforretninger og renserier, udsugningsanlæg for toiletter eller blot fra oplukkelige vinduer.

Trafik

Placeres friskluftindtaget nær en trafikeret færdselsåre, vil der være risiko for, at den luft, der suges ind, er stærkt forurennet af bilernes udstødningsgas, dvs. kulilte, bly og sodpartikler. Der kan i nogle tilfælde være tale om koncentrationer, der overskrider de hygiejniske grænseværdier.

Til belysning af sodpartiklernes fordeling samt af koncentrationen af kulilte og kuldioxid skal refereres en undersøgelse, der gennemførtes i sommeren 1965 forskellige steder i Stockholm af partikelstørrelsen i forskellige højder over gadeniveau [2]. Undersøgelsen udførtes om sommeren for at

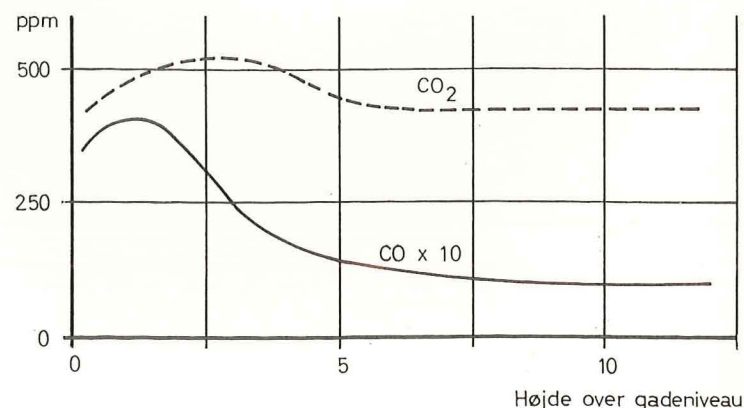


Fig. 1. Koncentration af CO og CO₂ i trafikeret gade [2].

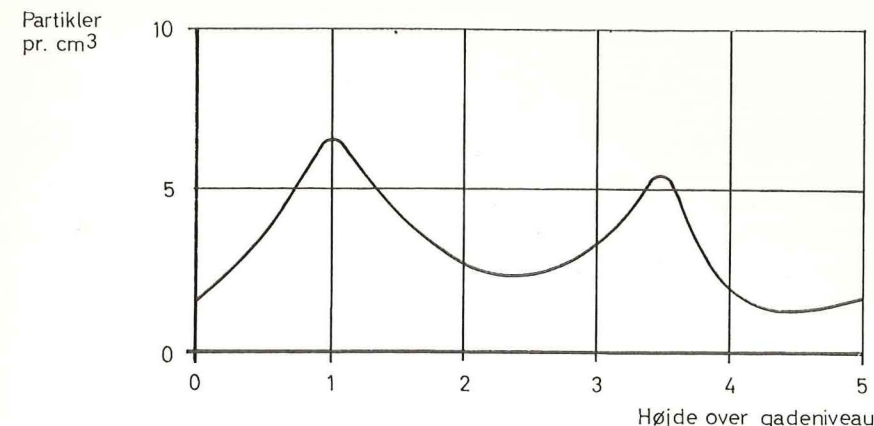


Fig. 2. Støvkonzentration over A-gade [2].

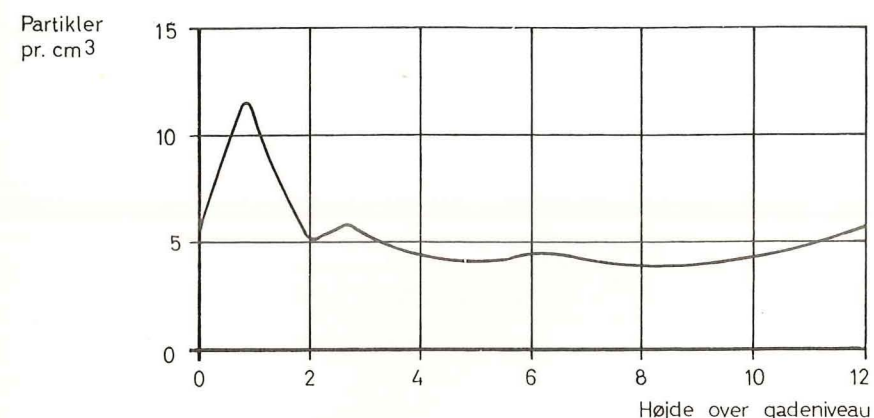


Fig. 3. Støvkonzentration over B-gade [2].

mindske forstyrrende påvirkning fra opvarmningsanlæggene.

For en stærkt trafikeret gade var indholdet af CO og CO₂ i forskellige højder over gadeniveau som angivet i fig. 1. Det fremgår, at maksimumkoncentrationen af CO 40 ppm blev målt ca. 1 m over gaden, og at koncentrationen først i ca. 6 m højde var faldet til ca. 10 ppm. Til sammenligning kan nævnes, at den hygiejniske grænseværdi for CO normalt angives til 50 ppm.

Støvkonzentrationen i forskellige højder over gadeniveau var for 2 forskellige, stærkt trafikerede gader som angivet på fig. 2 og 3. Det ses, at kurverne har 2 maxima, det ene ved ca. 1 m, det andet ved ca. 3,5 m over gadeniveau. Denne tendens bekræftes i undersøgelsen af måleresultater fra andre målesteder, og endvidere fremgår det, at man i over 4 m højde ikke kan vente nogen væsentlig formindskelse af koncentrationen.

Partikelstørrelsen i de indsamlede prøver i forskellige højder op til 10 m over gadeniveau blev også undersøgt. Det fremgik, at partiklerne på nær

2-3% alle var mindre end 3 μm, og at den relative andel af store partikler faldt med højden.

Partikler under 3 μm udskilles ofte kun ufuldstændigt i filtrene, de holder sig længe svævende og hæfter let ved vægge og genstande. Endvidere er det især de mindre partikler, der giver risiko for lungeskader, idet de let trænger ned i lungerne, hvor størsteparten tilbageholdes i alveolerne, hvis retention har et maksimum for partikler på 1-2 μm. Partikler af størrelsen 5-10 μm tilbageholdes normalt fuldstændig i de øvre luftveje.

Konklusionen af den udførte undersøgelse var, at friskluftindtag ikke bør placeres lavere end 4-5 m over gadeniveau i områder med stærk trafik.

Skorstene

Skal den indsugede friskluft være mindst muligt forurennet af udstødningsgas, må friskluftindtaget anbringes så højt som muligt, men herved øges risikoen for, at luften er forurennet af forbrændingsprodukter fra husenes opvarmningsanlæg, dvs. af sod, olieokoks, SO₂ og SO₃. De faste par-

tikler i røgen er oftest større end 5 μm og dermed af en sådan størrelse, at de vil kunne udskilles i filteranlægget med en udskilningsgrad på 95-99%. Det er endvidere karakteristisk for partikler af denne størrelse, at de hurtigt sedimenterer og altså ikke når langt væk fra kilden.

Spredningen af røgen fra en skorsten kan beregnes, og det viser sig, at røggkoncentrationen i terrænniveau ved normale meteorologiske forhold vil vokse med afstanden fra skorstenen indtil en vis afstand, hvorefter den mindskes, når afstanden øges. Erfaringsmæssigt findes den maksimale røggkoncentration i en afstand fra skorstenen på 10-15 gange skorstenenshøjden. I bebyggede områder vil røgspredningen imidlertid i høj grad være bestemt af forhold, der skyldes bygninger eller bygningers indbyrdes påvirkning, f. eks. udstrækningen af læområder, hvirveldannelser samt temperaturgradienter forårsaget af solopvarmning på bygningerne. Endvidere afhænger røgspredningen af røgtætheden og af forholdet mellem røgens udløbshastighed og vindhastigheden samt skorstensmundingens højde over eventuelle læområder. Forholdene er endnu ikke tilstrækkeligt opklarede, og generelt kan det kun siges, at et friskluftindtag ikke bør placeres i bygningens læområde, hvis der er risiko for røgnedslag, og endvidere bør det ikke placeres i den fremherskende vindretning efter eventuelle skorstene.

Afkastningsåbninger

For placering af friskluftindtag i forhold til afkastningsåbninger for ventilationsanlæg gælder stort set de samme retningslinier som for placering i forhold til skorstene.

Således bør friskluftindtag i facaden ikke placeres i husets læside for de fremherskende vindretninger, da forurennet luft fra afkastningsåbninger på taget på grund af trykforskellene omkring huset kan suges ned i læsiden. Endvidere må et friskluftindtag på taget ikke placeres i den fremherskende vindretning efter eventuelle afkastningsåbninger.

Yderligere gælder det, at friskluftindtag i facaden ikke bør placeres på samme side af bygningen som afkastningsåbninger, da der kan være risiko for kortslutning, samt at et friskluftindtag aldrig må placeres lige over et

oplukkeligt vindue til et køkken eller lignende.

Efter det anførte kan gives følgende generelle regler for placering af friskluftindtag:

- 4-5 m eller højere over gadeniveau eller terræn,
- fortrinsvis mod gårdsiden,
- ikke på samme side af bygningen som afkastningsåbninger,
- ikke i vindretningen efter afkastningsåbninger og skorstene,
- ikke i husets læside, hvis der er risiko for nedslag af forurenede luft, men så vidt muligt heller ikke i vind-siden, da det kan medføre store trykvariationer; eventuelt placeres friskluftindtaget i facader, der ligger parallelt med den fremherskende vindretning,
- ikke over oplukkelige vinduer til køkken og lign.,
- ikke så der er risiko for, at der indtages store røgmængder i tilfælde af brand i nabobygninger, dette gælder navnlig teatre og forsamlingslokaler,
- af økonomiske grunde helst på bygningens nordside, da den indsugede luft om sommeren skal være så kold som muligt.

Den bedste placering af et friskluftindtag vil ofte være i facaden umiddelbart under taget og ned til den halve bygningshøjde over terræn.

Krav til den indblæste friskluft

Kravet til den indblæste friskluft må være, at friskluften ikke selv bidrager til at forringe kvaliteten af rumluften. Der stilles i øjeblikket ingen krav til renheden (støvindholdet) af den luft, der blæses ind i rummene, men det må antages, at et krav om maksimalt 0,1 mg/m³, svarende til årsgennemsnittet for de fleste mindre byer, med rimelighed vil kunne forlanges overholdt de fleste steder. For et støvindhold i udeluften på 0,5 mg/m³ skal filtret have en totaludskilningsgrad på mindst $\frac{0,5-0,1}{0,5} = 80\%$, hvilket uden vanskelighed skulle kunne opnås. Et sådant krav vil uden tvivl medvirke til at nedbringe udgifterne til rengøring, maling og anden vedligeholdelse.

Det skal nævnes, at det er vanskeligt at foretage en objektiv sammen-

Fig. 4. Ugemiddelværdien af SO₂-koncentrationen i forskellige rum i % af SO₂-koncentrationen i udeluften. Længst til højre er angivet den totale middelværdi [3].

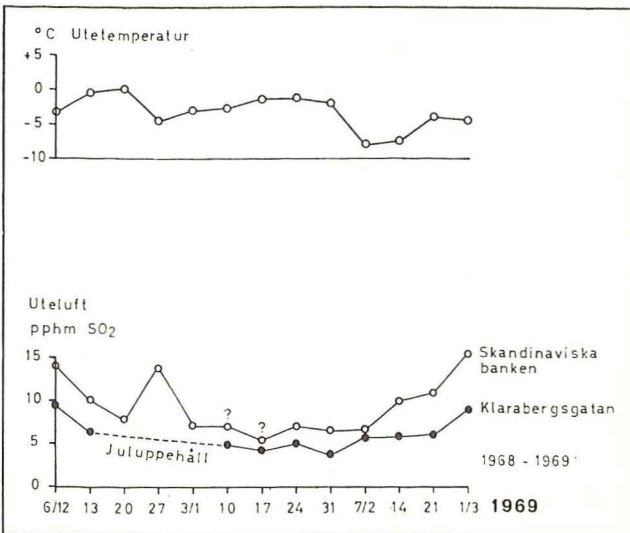
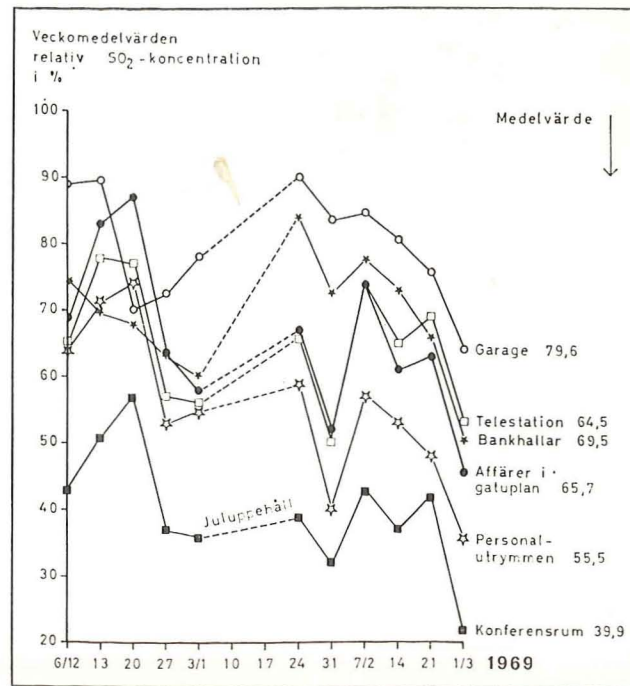


Fig. 5. Udelufttemperatur og absolutværdier af SO₂-koncentrationen i udeluften svarende til resultaterne i fig. 4 [3].

ligning af forskellige filtertyper, da der ikke på international basis er udarbejdet entydige metoder til bestemmelse af filters effektivitet. Endvidere savnes et realistisk dimensioneringsgrundlag for filtre, dvs. målinger af luftens støvindhold og af partikelstørrelsernes fordeling i forskellige højder i land og by.

Ukontrolleret friskluftindtag

I alle bygninger sker der et luftskifte, idet skiftende tryk mellem inde og udeluften bevirker luftstrømninger - ufrivillig ventilation - gennem døre, sprækker ved oplukkelige vinduer samt gennem selve bygningskonstruktionen. I bygninger, hvor ventilations-

anlægget giver undertryk i rummene, vil endvidere udeluft suges ind gennem utæthederne som erstatning for den overskydende mængde af udsuget luft.

I ingen af tilfældene kan den tilførte udeluft kontrolleres og renses, og den vil altså være lige så forurenede som luften udenfor. Problemet er især aktuelt for forretninger og lign. beliggende i bygningens stueetage, idet hyppige døråbninger vil bevirke, at forureningen i gadeniveau let suges ind i lokalerne eller ligefrem pumpes ind via svingdøre. Installering af ventilationsanlæg, der giver overtryk i lokalerne, vil kunne mindske denne forurening.

I denne forbindelse skal omtales en svensk undersøgelse i vinteren 1968-69 [3], hvor svovldioxidkoncentrationen blev målt i forskellige lokaler i en citybygning med moderne ventilationsanlæg. Undersøgelsen viste, at sod og støv, som med ventilationsluften føres ind i en bygning, har stor tendens til at sætte sig fast i selve ventilationssystemet, så luften inde i bygningen i denne henseende er væsentlig bedre end udeluften. Resultaterne er vist på fig. 4, hvor koncentrationen af SO₂ i rumluften for forskellige rum er angivet i % af SO₂-koncentrationen i udeluften; endvidere er procentangivelserne af ugemiddelværdien angivet. Absolutværdierne af SO₂-koncentrationen i udeluften er angivet i fig. 5. Friskluften blev taget ind mellem 7 og 14 m over gadeniveau og af ventilatoren presset gennem et automatisk filter og befugtningsanlæg. Der var projekteret et svagt overtryk i rummene. Det ses, at koncentrationen er størst for forretninger m.v., hvor der er hyppig oplukning af døre (svingdøre) direkte mod gaden. Generelt fremgår det, at der i en bygning med moderne ventilationsanlæg opnås en betydelig reduktion i SO₂-koncentrationen, selv om der ikke er truffet specielle foranstaltninger til rensning af luften, som f. eks. anvendelse af luftvasker.

I efteråret 1969 udførtes i den samme bygning målinger af CO-koncentrationen i forskellige lokaler [4]. Denne undersøgelse viste ikke nogen signifikant forskel i CO-koncentrationen mellem de forskellige lokaler, dog med undtagelse af et banklokale, hvor svingdøre medvirkede til at pumpe stærkt CO-holdig udeluft ind i lokalet. Derimod fremgik det, at CO-koncentrationen i bygningen var stærkt afhængig af friskluftindtagets højde over gadeniveau, idet koncentrationen i rummene stort set var lig med middelværdien af CO-koncentrationen ved friskluftindtaget.

Forskellen i resultaterne af de to undersøgelser kan forklares ved, at SO₂-koncentrationen er den samme i forskellige højder, men at SO₂ elimineres delvis i ventilationssystemet, hvorfor al ukontrolleret tilførsel af udeluft vil forøge koncentrationen af SO₂. For CO er det derimod forskellen mellem koncentrationen i gadeni-

veau og i friskluftindtagets højde, der er afgørende for indekoncentrationen, da CO til forskel fra SO₂ ikke i større omfang absorberes i ventilationssystemet.

En hollandsk undersøgelse [5] af røg- og SO₂-koncentrationen i luften uden for og i 65 beboelseshuse i Amsterdam viste, at røggkoncentrationen i rummene var 80 % af koncentrationen udenfor og SO₂-koncentrationen 20 %.

Sammenhængen mellem luftforureningen ude og inde samt spørgsmålet om, i hvor høj grad den indendørs luftforurening er påvirket af anvendelsen af ventilationsanlæg, har stor betydning, når man skal vurdere nytten af at installere ventilationsanlæg i f. eks. forretninger i gadeniveau. Problemerne er ikke helt afklarede og til yderligere belysning af spørgsmålene bør der formentlig iværksættes supplerende forskning. Af de refererede undersøgelser fremgår det dog, at man kan opnå en væsentlig forbedring af luftkvaliteten, dvs. lavere indhold af SO₂ og CO, ved at anvende ventilationsanlæg for lokaler i luftforurenede områder. En væsentlig del af den indsugede lufts SO₂indhold vil absorberes i kanalsystemet, derimod vil indblæsningsluftens CO-indhold være bestemt af friskluftindtagets højde over gadeniveau. Den indblæste lufts indhold af svævestøv vil kunne holdes lavt ved anvendelse af filtre med passende udskilningsgrad. Det fremgår endvidere, at ukontrolleret tilgang af friskluft skal holdes lavest muligt, anlæggene må derfor udføres, så der opretholdes et svagt overtryk i rummene. Man må dog være opmærksom på, at overtrykket skal være ringe. Der kan ellers, især for anlæg med befugtning være risiko for, at den fugtige luft presses ud i ydervægskonstruktionerne, hvor der sker kondensation, som kan føre til vidtrækkende ødelæggelser. Det kan nævnes, at amerikanske vejledninger for projektering af supermarkeder angiver, at det statiske tryk skal være større end 0,5 mm VS, men ikke højere end 1,25 mm VS. Da det statiske tryk ikke kan beregnes på forhånd, må trykforholdene kontrolleres, når anlæggene er taget i brug.

Afkast fra komfortanlæg

De forureninger, som med afkastningsluften fra komfortanlæg sendes

ud i omgivelserne, giver hovedsagelig gener på grund af ilde lugt og snavs, eksempler er afkast fra udsugningsanlæg for køkkener, toiletter og lokaler, hvor der ryges. Afkastningsluften vil normalt ikke være egentlig sundhedsfarlig, en undtagelse herfra kan dog være afkastning fra parkeringsanlæg i bygningerne.

Afkastningsåbninger må udformes og placeres, så omgivelserne generes mindst muligt af afkastningsluften.

Åbninger for afkastning af ventilationsluft er normalt udformet som

riste enten i en ventilationsopbygning på taget eller i husets facade, mindre udsugningsventilatorer placeret i vinduer eller facader i restauranter, butikker, kontorer osv., skakte placeret i terræn.

Man kan nå langt i retning af at mindske generne for omgivelserne ved at iagttage ganske simple forholdsregler, når en afkastningsåbning skal placeres.

Riste eller hætter med nedadrettet kast på tage bør ikke placeres i vind-siden for friskluftindtag eller oplukkeligt ovenlys. Endvidere må der tages hensyn til, at afkastningsluften på grund af vindpåvirkninger kan suges ned i bygningens læside og her give anledning til gener på f. eks. altaner eller ved åbentstående vinduer i de øverste etager. Det bedste er, at afkastningen sker i lodret retning så nær tagryggen som muligt, og det må tilstræbes, at afkastningsåbningen udformes, så opblandingen med den omgivende luft sker så nær ventilatoren som muligt. På flade tage bør afkastningen altid ske i lodret retning af hensyn til oplukkelige ovenlysvinduer og mulige opholdsarealer på taget.

Afkastningsåbninger i facaden bør ikke placeres på samme side af bygningen som friskluftindtag.

Afkastnings-skakte i terrænet må have en sådan højde og udformning, at afkastningsluften er tilstrækkelig opblandet, inden den når områder, hvor der færdes mennesker. Spørgsmålet må vurderes i hvert enkelt tilfælde.

Afkastningsluft fra små udsugningsventilatorer placeret i vinduer eller facader kan give alvorlige gener for omgivelserne; f. eks. kan udsugningsventilatorer for køkkener, restauranter eller andet give lugtgener for

beboerne længere oppe i huset, når den forurenede og ofte varme luft stiger op langs facaden og ind gennem åbentstående vinduer, ligesom afkastningsluften kan være til gene for forbipasserende. Sådanne virkninger bør altid ventileres således, at den forurenede luft afkastes over tag.

Generelt kan gener fra afkastningsluften mindskes ved at forøge den højde, hvori afkastningen sker, eller man kan forøge hastigheden på afkastningsluften. Ved at sende afkastningsluften ud i tilstrækkelig højde kan man opnå, at luften sendes ud i den uforstyrrede vind over bygningen, og at den ikke føres ned mod opholdsområdet ved tilbagestrømning i læområdet bag bygningen.

Endelig kan man mindske emissionen af forureninger, og denne løsning kan være nødvendig, såfremt bygningens udformning eller konstruktion ikke gør det muligt fuldt ud at tilgodese de øvrige nævnte forhold. Den emitterede mængde kan f. eks. nedsættes ved anvendelse af filtre for støv og lugt i afkastningskanalen, evt. kan generne mindskes ved, at afkastningskanalen fortyndes med udeluft, inden den sendes ud i omgivelserne.

Der kan gives følgende generelle regler for placering af afkastningsåbninger:

- ikke i vindsiden for friskluftindtag og oplukkelige ovenlys,
- ikke på samme side af bygningen som friskluftindtag,
- ikke i vinduer og facader, når afkastningsluften er forurenede.
- Den bedste placering vil normalt være på taget med afkastning med stor hastighed i lodret retning, så den forurenede luft føres op i den uforstyrrede vind.

Krav til afkastningsluften

Spørgsmålet om afkastningsluftens renhed henhører under sundhedsmyndighederne. Lovhjemmelen, de arbejder efter, ligger først og fremmest i sundhedsvedtægten, hvor lovbestemmelserne findes i »normalvedtægten« § 30, der omhandler »sundhedsfarlige virkninger«. Bestemmelserne sigter på fabrikker, slagterier og andre virksomheder, der kan medføre sundhedsfare eller andre væsentlige ulemper for de omboende ved udvikling af sundhedsfarlige luftarter eller ved ud-

bredelse af røg, støv eller stank. Bestemmelserne omfatter altså ikke anlæg for egentlig komfortventilation, men vil formentlig kunne anvendes for virksomheder af servicekarakter som slagter- og viktualieforretninger, bagerier, restaurationskøkkener, vaske- rier, renserier og andre mindre virksomheder, der ofte er placeret i beboelseshuse. Ifølge bestemmelserne påhviler det virksomheder, som kan tænkes at genere omboende, at søge sundhedskommissionens godkendelse af placering og indretning allerede på projekteringsstadiet, og dette gælder såvel for nye virksomheder som for bestående. Skulle gener opstå, selv om sundhedskommissionens tilladelse foreligger, kan sundhedskommissionen stille krav om afhjælpning af generne, og hvis dette ikke kan lade sig gøre eller ikke finder sted, kan virksomhedens fortsatte drift forbydes.

Der findes ingen specificerede danske krav til afkastningsluftens renhed. For afkastningsluft fra virksomheder støtter man sig hovedsagelig på udenlandsk litteratur, navnlig VDI-Handbuch, Reinhaltung der Luft, eller eventuelt på angelsaksiske krav.

Bygningers lokalklima

Det fremgår af det foregående, at rigtig placering af friskluftindtag og afkastningsåbninger kræver kendskab til det klima, der hersker umiddelbart omkring bygningerne, bygningernes lokalklima, dvs. kendskab til vindhastigheder, trykforhold, temperaturgradienter osv. Af forhold, der også kan have betydning, kan nævnes risikoen for nedslag af luft i områder nær høje bygninger ved vindtryk på højhusets facader samt den indflydelse, nærliggende huse øver på tryk- og hastighedsforhold umiddelbart omkring det enkelte hus. Hertil kommer indflydelsen på trykforholdene inde i husene og på ventilationssystemernes funktion. Disse spørgsmål er langt fra afklarede, og til bedre belysning af problemerne vil yderligere forskning være påkrævet. Først med et rimeligt kendskab til lokalklimaet kan der angives sikre retningslinier for placering af ventilationsåbningerne og for den nødvendige højde af skakte for friskluftindtag eller afkast, men i øvrigt har spørgsmålet betydning for hele problematikken omkring luftforure-

ningernes spredning i afhængighed af bebyggelser og terrængenstande.

Slutning

Der er næppe tvivl om, at man kan opnå en væsentlig reduktion af luftforureningen indendøre, såfremt der installeres ventilationsanlæg. Betingelsen er imidlertid, at luftindtaget placeres på et gunstigt sted i forhold til forureningskilderne i nærheden af bygningen, så luftens indhold af CO og støvpartikler ud for friskluftindtaget er lavest muligt. CO-indholdet vil ikke mindskes på vejen gennem kanalsystemet, derimod vil støvindholdet kunne holdes på et rimeligt niveau ved anvendelse af et passende filter; men filterøkonomien afhænger naturligvis af luftens forureningsgrad. SO₂-koncentrationen vil normalt altid reduceres på vejen gennem kanalerne.

Afkastningen må foregå på en sådan måde, at der ikke opstår gener for omgivelserne, men også sådan at der ikke er fare for kortslutning til friskluftindtaget, med mindre der ligefrem ønskes recirkulation.

For alle lokaler, beliggende i et luftforurenede område, bør der være mulighed for at etablere hensigtsmæssig ventilation, hvilket bl. a. vil sige adgang til gunstigt placerede luftindtag og afkastningsåbninger. I de fleste tilfælde vil dette krav kunne opfyldes, hvis lokalerne har adgang til lodrette skakte til taget. I alle bygninger, hvor der er sandsynlighed for, at der kan opstå ønske om ventilation, bør der derfor afsættes lodrette skakte med fornødent areal. Herved kan man undgå de problemer der opstår, når der f. eks. i et hus, der er taget i brug, opstår ønsker om ventilation af forretninger og virksomheder i gadeniveau.

Litteratur

- [1] P. Becher, Varme og Ventilation 5, Teknisk Forlag 1965
- [2] Niels Lindblad og Folke Petersen, Placering av friskluftindtag, VVS, Stockholm 1966, årgang 37, nr. 7
- [3] H. von Ubisch og L. G. Kjellgren, Svovldioxid-reduktion i inomsluft, VVS, Stockholm 1970, årgang 41, nr. 2
- [4] H. von Ubisch og K. Westerlund, Kolmonoxid i inomsluft i en citybyggnad, VVS Stockholm 1970, årgang 41, nr. 8
- [5] H. de Graaf og K. Biersteker, Luftverontreiniging in Rotterdam, een vergelijking onderpoek von luchtverontreiniging binnen en buiten de wonigen, Ned. T. Geneesk. 109, I, 17 (1965)

Ventilationskanalers tæthed

Af dr. techn. Poul Becher,
Statens Byggeforskningsinstitut

De traditionelle ventilationskanaler er ikke tilstrækkelig tætte; der må fastlægges normer for kanalers tæthed.

Ventilationskanaler skal være tætte. Hvor kanalerne passerer udnyttede loftsrum, er betydningen af tætte kanaler åbenbar. Men også hvor kanalerne passerer gennem udnyttede rum, der skal ventileres, er det væsentligt, at de udføres med fornøden tæthed for ikke at vanskeliggøre indreguleringen og kontrollen med anlægget.

I bygningsreglementet er indført en bestemmelse om, at boligventilationskanaler skal udføres med en sådan tæthed, at der højst lækker 1 m³ luft pr. time pr. m² indvendig kanaloverflade gennem kanalvægge og samlinger ved det herskende undertryk, for kanaler over 0,5 m² kanalværsnit kan luftmængden dog tillades at stige til 1,5 m³/hm². Disse krav er ikke tilstrækkeligt varierede, det må tilrådes at følge klassifikationen fra den svenske VVS-AMA 1966, punkt Ic9, som gengivet i tabel 1.

Lækagen fra ventilationskanaler og luftbehandlingsaggregater må højst være kanalsystemets totale, uisolerede

indre overflade multipliceret med den lækagefaktor, som svarer til den foreskrevne tryknorm og trykklasser. Til den totale overflade henregnes også overfladen af aggregater og andet anlægsudstyr. Hvis der indgår varmeflader med rørgennemføringer i kappen, anses de udfra lækagehensyn ækvivalente med en overflade på 10 m² pr. m² frontareal og rørrække. Hvis der forekommer andre apparater, som nødvendigvis må afstedkomme store lækager, må der opgives en hertil svarende overflade. Ved beregning af lækagen kan kanalnettet opdeles i trykklasser, og den totale, tilladte lækage er summen af de til den respektive trykklasser hørende deles lækage.

Trykklassen bestemmes af den højeste under drift forekommende statiske trykforskel mellem trykket i anlægget og atmosfæretrykket.

Kanalsystemer, der består af såvel høj- som lavtryksdele adskilte af reduktionsorganer, opdeles i trykklasser. Lækagen må ikke være punktfor-

met koncentreret, så støjniveauet kan hæves.

Tætheden af anlæg og kanaler undersøges ved stikprøver. Den prøvede overflade skal mindst være 10 m² plus eventuelle ækvivalente overfladearealer for apparater. Hvis lækagen måles med måleblende, tillades ikke højere målefejl end 10 %, på den anden side forlanges intet måleudstyr med mindre målefejl end 5 %.

Forsøg har vist, at både for feltmålinger og laboratoriemålinger varierer lækagen G efter

$$G = \text{const. } p^n \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$$

hvor p er overtrykket i kp/m² og n for feltmålinger ved rektangulære kanaler 0,625
cirkulære kanaler 0,685

For laboratoriemålinger er eksponenterne noget større. Kendes lækagen ved et tryk, kan den omtrentlige værdi ved et andet tryk beregnes af formlen.

På figur 1 er vist nogle eksempler på tværsamlinger, der kan tilfredsstille tæthedsnorm A, for tæthedsnorm B må ved rektangulære kanaler tages ganske særlige hensyn og udførelsen være meget omhyggelig.

Udførelsen er meget afgørende for tætheden:

- der kan ikke uden tætningslister påsættes grene på byggepladsen,
- fabrikanternes nøjagtighed skal være god, ved større afvigelser klemmes tætningslisterne ikke hårdt nok mod anlægsfladerne,
- transport og oplagring må ske, så kanalerne ikke deformeres, bedst er at anvende endebeskyttere på alle kanaler, navnlig på cirkulære.
- neoprenstrimlerne må ikke udsættes for solpåvirkning. Neoprenen skal i det hele taget være af en type, der ikke ældes og sprækker.

| tæthedsnormens betegnelse | trykklasser | trykområde kp/m ² | lækagefaktor m ³ /m ² h | prøvetryk kp/m ² |
|---------------------------|-------------|------------------------------|---|-----------------------------|
| A | 1* | 0-40 | 4,0 | 20 |
| | 2* | 41-100 | 8,0 | 70 |
| | 3 | 101-250 | 12,0 | 150 |
| B | 1 | 0-40 | 1,0 | 20 |
| | 2 | 41-100 | 2,0 | 100 |
| | 3 | 101-250 | 2,0 | 100 |
| efter specifikation | efter spec. | efter spec. | efter spec. | efter spec. |

Tabel 1

Tæthedskrav til ventilationskanaler med klassifikation efter VVS-AMA 1966.
* En kanaldel, som kun anvendes til fordeling af luft i et bestemt rum, kan udføres med lækagefaktoren 10. Dette gælder dog ikke, hvis både indblæsnings- og udsugningskanalen er anbragt over et nedhængt loft. I så tilfælde skal den ene kanal være tæt.

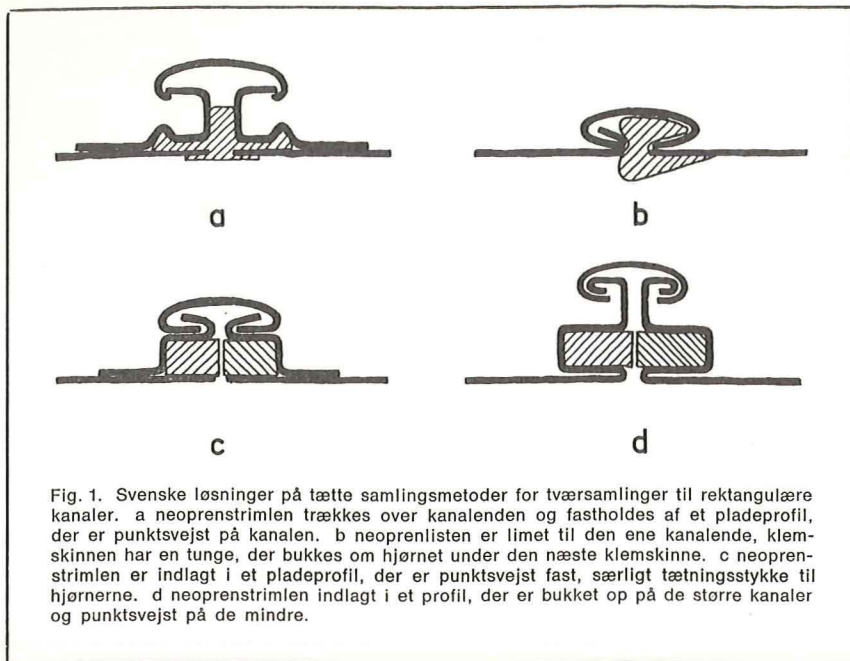


Fig. 1. Svenske løsninger på tætte samlingsmetoder for tværsamlinger til rektangulære kanaler. a neoprenstrimlen trækkes over kanalenden og fastholdes af et pladeprofil, der er punktsvejet på kanalen. b neoprenlisten er limet til den ene kanalende, klemskinne har en tunge, der bukkes om hjørnet under den næste klemskinne. c neoprenstrimlen er indlagt i et pladeprofil, der er punktsvejet fast, særligt tætningsstykke til hjørnerne. d neoprenstrimlen indlagt i et profil, der er bukket op på de større kanaler og punktsvejet på de mindre.

I almindelighed må tæthedsnorm A anvendes, og kravene kan opfyldes med rektangulære pladejernskanaler med klemlister og tætningslister ved omhyggelig udførelse. Også bygningsmæssige kanaler af beton eller eternit kan tilfredsstillende kravene. De må dog kontrolleres omhyggeligt, og ansvaret for deres tæthed være placeret hos en enkelt entreprenør. Kanalerne må udføres, så der ikke kan opstå revner. Ved anlæg med normale kanallængder kan der ved tæthedsnorm A regnes med en lækage på 10 % af den samlede luftmængde.

Tæthedsnorm B opnås normalt med cirkulære pladejernskanaler med nøjagtigt fabrikerede formstykker og omhyggelig montage. For rektangulære kanaler er det vanskeligt at tilfredsstillende tæthedsnorm B. Ved anlæg med normale kanallængder kan der regnes med en lækage på 5 % af den samlede luftmængde ved tæthedsnorm B.

Hvis et anlæg skal kunne indreguleres og levere de påregnede luftmængder de rigtige steder, skal kanalerne altså være af en helt anden kvalitet end hidtil anvendt. Man kunne så spørge: Hvor tætte er de kanaler, der hidtil er blevet anvendt?

Tidligere udførte målinger tyder på, at lækagetabene for kanaler til boligventilationsanlæg i uheldige tilfælde kan nå så højt op som til 45 m³/h pr. m² indvendig kanaloverflade ved 10

kp/m² undertryk. Det betyder, at luftfordelingen i anlægget kan blive totalt forrykket og luftmængderne utilstrækkelige i visse dele af anlæggene.

Ved Institutionen för luftbehandlingsteknik på Chalmers tekniska högskola er der gennemført en række målinger af ventilationskanalers tæthed, og rapporten herom giver nogle oplysninger om lækagetabets størrelse for kanaler af forskellige materialer og med forskellige udførelsesformer for samlingerne. Også forskellige tætningsmidler afprøvedes i samme forbindelse.

Forsøgene viste, at det ved rektangulære pladekanaler er tværsamlingerne, som forårsager den største lækagemængde. Det er derfor nødvendigt, at disse samlinger tætnes overalt med et egnet tætningsmiddel. Forsøgene viste tillige, at en tætning alene af hjørnerne i tværsamlingerne ikke gav nogen nævneværdig tæthedsgevinst. For falsede rektangulære pladekanaler med helt utætnede tværsamlinger med to meters mellemrum beløb tabene sig gennemsnitligt til ca. 5 m³/m²h. Ude i anlægget vil lækagetabene imidlertid stige, hvor der forekommer passtykker, spjæld, afgreninger o.s.v.

Spiralfalsede kanaler viste sig ved forsøgene på Chalmers at have god tæthed. Ved at anvende denne kanaltype med muffesamlinger og egnede passtykker til afgreninger og arealfor-

andringer samt passende tætningsmidler til disse samlinger opnås god tæthed. Denne kanaltype er endvidere ved sin stivhed særlig godt egnet til indstøbning. Den anvendes nu mest til højtryksanlæg, men det vil være fordelagtigt ud fra et tæthedssynspunkt, hvis denne kanaltype anvendes ved andre anlægstyper med lavere tryk.

Kanaler af kobber og aluminium er i almindelighed vanskeligere at få tætte end kanaler af jernplade.

Kanaler af almindelige byggematerialer, beton, tegl, letbeton, monier eller rabitz, udviser foruden lækagetab gennem utætheder i samlinger tillige tab gennem selve materialet, gennem kanalvæggene.

Forsøg udført i laboratoriet viser ganske vist relativ god tæthed, idet der her arbejdes under ideelle forhold, og kanalerne, der bygges i et laboratorium, uundgåeligt vil blive udført med ekstra omhu. Ude på byggepladsen arbejder man under mindre gunstige forhold. Der opstår let revnedannelser i fugerne ved sætninger, sammenkrømpning under fugernes udtørring, opretning af kanalerne, efter at fugerne er begyndt at hærde, osv.

Oplysninger om lækagetabene for sådanne kanaler opsat i færdigt byggeri er derfor af større værdi end resultater fra laboratorieforsøg, og til eksempel kan angives nogle lækagetab, målt ved feltundersøgelser ved middeltrykforskel på 10 kp/m²:

| | |
|--------------------------|---------------------------------------|
| murede teglkanaler | 17,9 m ³ /m ² h |
| murede letbetonkanaler | 13,4 " |
| kanaler af eternit, | |
| isolerede med glasuld, | |
| overpudsede | 18,0 " |
| murede kanaler af beton- | |
| blokke, lodrette | 10,9 " |
| præfabrikerede etagehøje | |
| elementer udført af | |
| beton | 10,6 " |

Eternitrørene var samlede med mørtel efter fabrikkens forskrifter, men der viste sig svindrevner i mørtelen inden en uges forløb.

Da det er fugerne, som forårsager det største lækagetab, bør kanalerne udfra et tæthedssynspunkt bygges med det mindst mulige antal fuger. Derfor må murede kanaler af tegl, betonblokke og -elementer anses for mindre tilfredsstillende. Forsøg med letbeton-

og eternitkanaler viser, at samlingerne bliver tættere ved anvendelse af gips som fugemiddel end ved brug af cementmørtel. Forsøg med præfabrikerede betonblokke med false i fugesamlingerne viser, at man kan få tætte kanaler dermed; det store antal fuger medfører dog, at der optræder store lækagetab ved den sædvanlige mindre omhyggelige montering. Alt i alt må det som før sagt frarådes at anvende bygningsmæssige ventilationskanaler.

Med kanaler af plastmaterialer kan

der uden større vanskelighed opnås tætte kanalsystemer, da samlingerne kan svejdes eller limes. Der bør dog tages særligt hensyn til materialets store temperaturudvidelseskoefficient.

Litteratur

Bengt E. Erikson, Bostadsventilation, Fältundersökningar av bostadsventilationens funktion och ventilationskanalers tæthed, rapport 77, Statens Råd för Byggnadsforskning, Stockholm 1962, 36 sider.
Bengt E. Erikson, Läckage i ventila-

tionskanaler av plåt, rapport 40/69, Statens Institut för Byggnadsforskning, Stockholm 1969, 47 sider.

Bengt E. Erikson, Sigvard Olsson, Ventilationskanalers tæthed, Byggnadsforskningens Informationsblad 1962:57, Statens Institut för Byggnadsforskning, Stockholm.

Märkning av rörledningar och kanaler, VVS AMA 1966, Allmänna material- och arbetsbeskrivning för VVS-tekniska arbeten, side 119-121.

Ventilationskanalers och luftbehandlingsanlægningars tæthed, VS AMA 1966, Råd och anvisningar, side 161-162.

Målevenlige kanalsystemer

Af civilingeniør E. Christophersen
Statens Byggeforskningsinstitut

Nye bygninger udstyres i stigende omfang med ventilationsanlæg, og der investeres betydelige summer i sådanne anlæg. Mange anlæg kommer imidlertid aldrig til at fungere i overensstemmelse med projektet. Dette kan medføre, at anlægget fra begyndelsen giver anledning til en utilfredshed, som senere – hvis anlægget bliver bragt i orden – kan være vanskelig at overvinde. Årsagen til problemer af denne art er ofte manglende mulighed for at kunne udføre de målinger og den kontrol, der er nødvendig ved anlæggenes indregulering, aflevering og drift. Der er ikke ved udformningen af kanalnettet taget fornødent hensyn til, at der senere skal foretages måling og kontrol af de forskellige lufttekniske parametre, og der er måske ikke indbygget de nødvendige muligheder for indregulering.

Det er indlysende, at det ikke har nogen mening at ofre tid på omfattende beregningsarbejde eller at opstille strenge tolerancekrav til anlæggets ydelser, hvis der ikke senere er mulighed for at kontrollere, om kravene er opfyldte. Ofte angives snævre tolerancer for luftmængden ved de forskellige indblæsnings- og udsugningsåbninger, men der er ikke samtidig gjort rede for, hvordan luftmængderne skal kontrolleres, eller for kravene til de instrumenter, der skal anvendes. Instrumenterne kan nemt alene på grund af manglende kalibrering give fejl af samme størrelsesorden som de angivne tolerancer. Endvidere kan manglende mulighed for at komme til kanalsystemet bevirke, at der måles i punkter, hvor f. eks. ujævn

I artiklen behandles en række faktorer, der må tages i betragtning, hvis de nødvendige målinger ved indregulering, aflevering og drift skal kunne gennemføres forsvarligt. Der gives en oversigt over de instrumenter og den måleteknik, der kan komme på tale ved målinger i praksis, og konsekvenserne for kanalnettets udformning på projektstadiet, i udbudsmaterialet og under udførelsen behandles.

strømning giver meget usikre resultater. Det er ikke tilstrækkeligt at beherske måleteknikken – der må også være praktiske muligheder for at måle. Der er mange ting, man let kan og bør tage hensyn til allerede ved projekteringen. Muligheden for kontrol og måling bør på lige fod med andre faktorer (komponenter, automatik m. v.) overvejes på projektstadiet, således at forudsætningerne for målingen samt tilgængeligheden til målepunkterne er i orden.

Nedenfor behandles en række af de faktorer, der må overvejes, når det målevenlige kanalsystem skal udformes. De hensyn, der må tages for at gøre indregulering mulig, vil blive behandlet i en efterfølgende artikel.

Måleobjekter

De parametre, man normalt er interesseret i at måle i et kanalsystem, er temperatur, fugtighed, tryk, hastighed og luftmængde. Temperatur og fugtighed måles ofte med fast indbyggede instrumenter – dels for visning under drift, dels i forbindelse med den automatiske regulering. Måling af disse størrelser giver som regel ikke anledning til vanskeligheder.

Måling af tryk, hastighed og luftmængde vil derimod stille krav om særlige hensyn til målepunkternes placering i kanalsystemet.

Ved afprøvning af og måling i kanalsystemer kan man skelne mellem to former for afprøvning: komponentafprøvning og systemafprøvning (funktionsprøve). Komponentafprøvningen omfatter afprøvning af en enkelt komponents præstation, f. eks. af

prøvning af en ventilators ydeevne, lyd-niveau o. s. v. En sådan afprøvning vil normalt være fabrikkens ansvar, og målinger af denne art vil ikke blive omtalt.

Funktionsafprøvningen omfatter en undersøgelse af, hvordan komponenterne fungerer som system, f. eks. ved måling af rumlufttemperatur, fugtighed, luftskifte, og om de rigtige luftmængder når frem til de enkelte rum. Funktionsprøver kommer på tale ved anlæggenes aflevering og under driften. Endvidere skal anlægget indreguleres, hvorfor der også hertil må være fornødne målemuligheder. Eksempler på målinger, der vil kunne forekomme, er:

- måling af luftmængde, hastighed og tryk i store og små kanaler, såvel bygningsmæssigt udførte kanaler som pladejernkanaler,
- måling af luftmængde og hastighed ved indblæsnings- og udsugningsåbninger,
- måling af tryk i trykkamre,
- måling af luftmængder ved luftindtag,
- måling af differenstryk ved filtre, varme- og køleflader,
- måling af luftmængder gennem perforerede lofter,
- måling af hastigheder over varme- og køleflader,
- lækagemåling.

Måleinstrumenter og -metoder

Nedenfor gennemgås kort de måle-metoder, der kan komme på tale ved målinger i praksis. Målemetoderne vil blive detaljeret behandlet i efterfølgende artikler. Problemet er at finde

den metode, der i det aktuelle tilfælde giver tilstrækkelig nøjagtighed med det mindste tidsforbrug.

Ved måling i kanaler er det bedst og nemmest at måle i punkter, hvor strømmingen er jævn og ensrettet. Antallet af målepunkter er afhængig af kanalens størrelse og den grad af nøjagtighed, man vil opnå.

Til målingerne kan anvendes pitotrør og manometer, statisk anemometer (velometer) eller et varmtrådsinstrument, der er udformet, så det ikke påvirkes af turbulens.

Ved måling i rektangulære kanaler deles tværsnittet i et antal lige store rektangler, og hastigheden måles i midten af hvert rektangel. Luftmængden bestemmes ved at multiplicere den aritmetiske middelværdi af hastigheden med åbningsarealet. Antallet af målepunkter fremgår af fig. 1.

I cirkulære kanaler måles normalt i punkter på 2 (evt. 4) diametre, der står vinkelret på hinanden. Punkterne placeres således, at middelværdien af hastigheden over tværsnittet er lig med den aritmetiske middelværdi af de målte hastigheder. Antallet og placeringen af målepunkter fremgår af fig. 2.

Når der måles i de i fig. 1 og 2 angivne punkter, kan der regnes med,

| b meter | a meter | <0,2 | 0,2-0,4 | 0,4-0,9 | >0,9 |
|---------|---------|------|---------|---------|------|
| <0,2 | | 2 | 2 | 3 | 4 |
| 0,2-0,4 | | 2 | 4 | 6 | 8 |
| 0,4-0,9 | | 3 | 6 | 9 | 12 |
| >0,9 | | 4 | 8 | 12 | 16 |

Fig. 1. Antal målepunkter i rektangulære kanaler med siderne a · b.

| Kanal diameter m | Antal målepunkt på hver diam. | Antal diam. | Målepunktafstand fra væg i % af diam. | | | | | |
|---|-------------------------------|-------------|---------------------------------------|----|----|----|----|----|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| <0,15 | 2 | 1 | 12 | 88 | | | | |
| 0,15-0,25 | 2 | 2 | 12 | 88 | | | | |
| 0,25-0,45 | 4 | 2 | 4 | 29 | 71 | 96 | | |
| 0,45 og derover | 6 | 2 | 3 | 14 | 32 | 68 | 86 | 97 |
| Ved forstyrret strømning for alle diam. | | 2 el. 4 | 3 | 14 | 32 | 68 | 86 | 97 |

Fig. 2. Antal målepunkter i cirkulære kanaler.

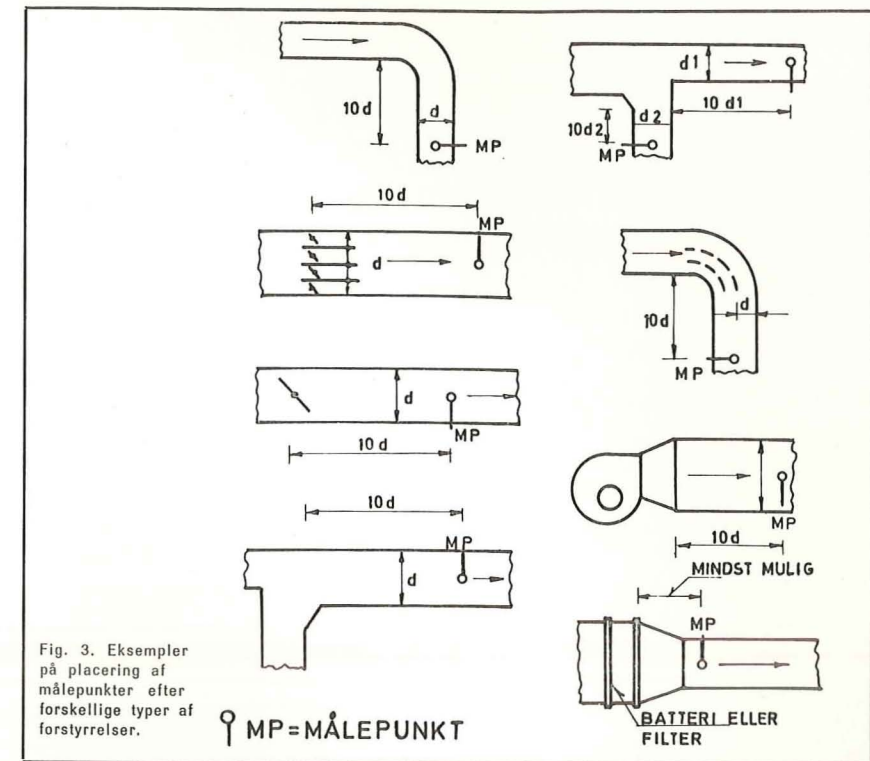


Fig. 3. Eksempler på placering af målepunkter efter forskellige typer af forstyrrelser.

at målingens usikkerhed er mindre end 10 %.

Strømningen skal være ensrettet og jævn på målestedet, hvilket først opnås i en afstand af ca. 10 gange diameteren fra bøjninger, hastighedsændringer og andre forstyrrelser og med

ca. 3 gange diameteren til den næste enkeltmodstand. Fig. 3 viser eksempler på placering af målepunkter efter forskellige typer af forstyrrelser.

Måles der nærmere ved en forstyrrelse, må der måles i flere punkter end angivet ovenfor, såfremt samme nøjagtighed ønskes. Det kan anbefales at foretage en grov, foreløbig måling til en vurdering af, om hastighedsfordelingen er ujævn eller ej, hvorefter antallet af målepunkter bestemmes.

For mindre, cirkulære kanaler med jævn strømning kan det være tilstrækkeligt at foretage en måling af hastigheden i centrum, hvorpå middelhastigheden bestemmes ved multiplikation med 0,9. Fejlen herved er for normalt forekommende hastigheder og diameter i lavtryksanlæg mindre end 5 %.

Lufthastigheden måles sikrest ved anvendelse af et pitotrør og manometer. Ved hjælp af pitotrøret måles det dynamiske tryk p_d , og endvidere måles luftens temperatur, tryk og fugtighed for at fastlægge massefylden. Hastigheden bestemmes af

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot p_d}{\rho}}$$

hvor ρ er massefylden kg/m^3
 p_d er dynamisk tryk N/m^2
 v er hastigheden m/s

Indsættes p_d i mm VS, kan hastig-

heden ved normale tryk og temperaturer bestemmes af

$$v = 4\sqrt{p_a} \text{ m/s}$$

Manometret sætter en nedre grænse for hastighedsmålingen. Ved anvendelse af skrårørsmanometer kan måles ned til 3 m/s, med mikromanometer ned til 2-3 m/s.

Det skal nævnes, at pitotrør og manometer kan benyttes til måling ved ventilationsåbninger efter ristefabrikantens anvisninger. Endvidere kan ydelser fra indblæsningsunits måles ved hjælp af et manometer ved bestemmelse af det statiske tryk foran dyserne og anvendelse af de af fabrikanten opgivne kurver for sammenhængen mellem dysetryk og luftmængde.

Pitotrøret er et simpelt og robust instrument, det skal ikke kalibreres og normalt kan man nøjes med at bore små huller i kanalen til at stikke det ind igennem. Det er vigtigt, at rørets spids placeres i den korrekte afstand fra kanalsiden, idet selv små afvigelser kan give væsentlige afvigelser i resultatet. Derimod er målingen ikke særlig ømfindtlig over for mindre afvigelser i spidsens parallelitet med strømretningen.

I *statiske anemometre* (velometre) ledes en del af luftstrømmen gennem instrumentet, hvori der sidder en fjederbelastet klap i forbindelse med en viser. Klappens stilling er afhængig af luftens dynamiske tryk og altså også afhængig af luftens massefylde.

Velometrene kan anvendes i fri luft eller i kanaler ved anvendelse af sonde. Måleområdet kan ligge fra 0,2 til 20 m/s og fastlægges ved brug af forskellige dyser. Støv i dyser og instrument kan give fejlvisning, og instrumentet bør kalibreres jævnlige, så man kender de afvigelser, der er mellem instrumentets visning og den virkelige målte størrelse.

Vingehjulsanemometre anvender omdrejningstallet for en propel som udtryk for hastigheden. Propellen kan stå i forbindelse med en tæller, der viser en gennemløbet vejlængde for luften i den tid, målingen er foretaget. Omsætningen kan også ske via en dynamo, hvis producerede spænding registreres på et viserinstrument som et mål for omløbshastigheden. Instrumenterne er retningsbestemte og måler på grund af deres udstrækning gennemsnitshastigheden på et område med en diameter på 0,05-0,15 m. Måleområdet er normalt 1-20 m/s. Vingehjulsanemometrene er velegnede til måling i let tilgængelige tværsnit i jævne luftstrømme, f. eks. i store kanaler, ved luftindtag o. s. v., eller til relative målinger ved ens udformede ventilationsåbninger. Altså ikke til absolutte målinger ved indblæsnings- eller udsugningsriste, da de ikke er kalibrerede under disse forhold. Det er vigtigt, at instrumenterne kalibreres jævnlige.

Anvendes vingehjulsanemometret til måling ved riste, skal risten opdeles i

sektioner, hvorpå der måles midt i hver sektion og middelværdien bestemmes. Målingen bør ikke foretages ved at bevæge instrumentet frem og tilbage hen over risten. Referencearealet for risten skal være det af fabrikanten opgivne effektive areal.

Varmetrådsanemometre anvender luftens afkøling af en opvarmet modstand i en Wheatstone bro som udtryk for lufthastigheden. Målingen kan bygge enten direkte på varmetrådens modstandsændring eller indirekte på spændingsfaldet over modstanden, når den tilførte strøm holdes konstant. Endvidere anvendes et princip, hvor temperaturen af en opvarmet tråd måles med et termoelement, hvis referencetemperatur er luftens temperatur. Nogle instrumenter kompenserer selv for ændringer i lufttemperaturen, ved andre må lufttemperaturen måles særskilt og korrektion foretages ved hjælp af opgivne kurver. Ved meget lave hastigheder spiller egenkonvektionen for den opvarmede tråd en stor rolle, og instrumenterne er derfor normalt uegnede til måling af hastigheder under 0,1-0,2 m/s; kun instrumenter, der kompenserer for egenkonvektionen, kan da anvendes. Anemometrene kan fås til målinger i hastighedsområdet 0-20 m/s.

For de fleste varmetrådsanemometre er det nødvendigt at kende lufthastighedens retning, som kan findes ved at dreje instrumentet til maksimalt udslag opnås. Det er vigtigt, at tråden

holdes ren, da tilstøvnin ændrer afkølingsforholdene. Endvidere bør instrumenterne kun anvendes i luftstrømme, der svarer til dem, de er kalibrerede i. Jævnlig kalibrering er nødvendig. Instrumenterne kan anvendes såvel i kanaler som ved ventilationsåbninger, og er især velegnede ved måling af lave hastigheder, f. eks. hvor pitotrøret vanskeligt kan anvendes. Til absolut måling af luftmængder er typen næppe så anvendelig, da varmetråden ikke skelner mellem virkelig hastighed og turbulens.

Fig. 4 angiver karakteristika for instrumenter til måling af hastighed.

Luftskiftmåling kan udføres ved hjælp af en sporgas, f. eks. kuldioxid, idet sporgassen opblandes i rumluften, hvorefter det måles, hvor hurtigt sporgaskoncentrationen aftager. Sporgaskoncentrationen vil efter opblandingen have et eksponentielt aftagende tidsforløb

$$c = c_0 e^{-nt}$$

hvor c er koncentrationen til tiden t
 c_0 er koncentrationen til tiden 0
og n er antallet af luftskifter pr. tidsenhed.

Heraf fås luftskiftet

$$n = 2,3 \frac{\log \frac{c_1}{c_2}}{t_2 - t_1}$$

hvor c_1 er koncentrationen til tiden t_1 og c_2 koncentrationen til tiden t_2 . Afbildes koncentrationen logaritmisk og tiden lineært i et koordinatsystem, fremkommer en ret linie, hvis hældning er et udtryk for luftskiftet. Metoden kan være nyttig, såfremt den til lokalet fremførte luftmængde vanskeligt kan måles i kanaler eller ved indblæsningsåbninger.

Lækagemåling kan komme på tale dels for forudbestemte, eventuelt vanskeligt tilgængelige dele af kanalnettet, dels ved stikprøvekontrol af udførelseskvaliteten. Der kan anvendes et lækagemålingsapparat bestående af en ventilator fast monteret i et rør med måleblænde til måling af luftmængden. Røret sluttes med en fleksibel slange til den af undersøgelsen omfattede kanaldel, der på forhånd må være omhyggeligt tætnet ved alle åbninger. Ved hjælp af ventilatoren opbygges det ønskede statiske tryk i kanaldelen, og den nødvendige luftmængde til opretholdelse af trykket

bestemmes og sammenlignes med de stillede tæthedskrav, se f. eks. Svensk Byggnorm 1967 eller VVS-AMA 1966. Det er meget vigtigt, at kanaltætheden er i overensstemmelse med kravene, idet angivelse af tolerancer for ydelserne i modsat fald ikke har megen mening.

Sammenligning af metoder, målefejl

Af de omtalte metoder er pitotrørsmålingen så afgjort at foretrække ved absolut måling af luftmængder. Metoden kan f. eks. anvendes til en absolut måling af hovedluftmængderne i et kanalsystem, hvorefter luftens fordeling på de enkelte riste bestemmes ved fordeling efter forholdstal, der fastlægges ved relativ måling ved en af de andre omtalte metoder.

Måling med pitotrør og skrårørsmanometer vil af en omhyggelig og erfaren tekniker kunne udføres med en fejl mindre end 3-5 %, mindst for højere hastigheder. Hertil kommer usikkerheden på op til 10 % ved bestemmelse af middelhastigheden i en kanal på grund af uregelmæssigheder i hastighedsprofilen. Denne usikkerhed vil mindskes, såfremt der anvendes flere målepunkter end angivet i fig. 1 og 2.

Udføres relative målinger f. eks. med et vingehjulsanemometer for en gruppe riste af samme type, er det vigtigt, at målingen foretages af samme person med det samme måleinstrument. Udføres sådanne målinger af en erfaren tekniker med et instrument af god kvalitet, vil fejl ved sammenligning af værdier være mindre end 2-5 %, mindst når de værdier, der sammenlignes, ligger nær hinanden. Afvigelsen fra den absolutte værdi kan godt være væsentlig større.

Anvendes forskellige typer af riste og diffusorer på samme kanalstreng, kan man ikke direkte sammenligne de målte værdier ved ventilationsåbningerne. Sammenligningen må ske via en pitotrørsmåling i en delkanal af tilstrækkelig længde til hver af typerne. Forholdet mellem pitotrørsmålingen og målingen ved ventilationsåbningen er den faktor, hvormed målinger ved riste af samme type omsættes til »pitotrørsværdier«, der så kan sammenlignes med pitotrørsværdier for andre typer. Metoden er dog ofte be-

sværlig og forbundet med mange fejlmuligheder; kanalsystemet bør derfor være opdelt, så der ikke på samme kanalstreng findes forskellige armaturtyper.

Målingernes forberedelse

Det er overordentlig vigtigt, at instrumenterne er kalibrerede, så man kender de afvigelser, der er mellem instrumentets visning og den virkelige målte størrelse. Disse afvigelser 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. Kalibreringen bør kun udføres ved indsendelse af instrumentet til fabrikanten eller til laboratorier med det fornødne apparatur.

Det er ligeledes vigtigt, at målingerne foregår under forhold, der er karakteristiske for anlæggenes driftsforhold, f. eks. at vinduer og døre er lukkede i normalt omfang samt at rummenes belastning og anvendelse svarer til det normale.

Vinden kan ved over- eller undertryk ved friskluftindtag eller afkast forøge eller formindske systemets totalluftmængde. Man må derfor være opmærksom på, om vindpåvirkning kan have betydning og i givet fald ved relative målinger undersøge, om vindretningen ændres under målingerne.

Målinger ved friskluftindtag bør omregnes til en på forhånd defineret lufttilstand.

Valg af målemetode

Før målemetoden vælges, er det nødvendigt at vide, med hvilken nøjagtighed resultatet skal foreligge. Det er med andre ord nødvendigt at kende de tolerancer, som man ønsker et givet anlæg skal kunne arbejde indenfor. Man må i hvert fald sikre sig, at der ikke fastsættes tolerancer, hvis overholdelse ikke kan kontrolleres med det tilgængelige måleudstyr. Man må f. eks. gøre sig klart, om målinger over riste i sugekamre, over filtre eller varmeklader giver tilstrækkelig nøjagtighed ved måling af totalluftmængder, eller om måling i kanaler med pitotrør eller andet vil være nødvendigt. Endvidere bør man på forhånd tage stilling til, om fordelingen til

| instrument | tilbehør | måleområde m/s | nøjagtighed | retn.følsomhed største afvigelse fra strømn.retn. | anvendelse | bemærkninger |
|---------------------------------|---------------|---------------------------------------|-------------|---|--|---|
| pitotrør | manometer | ≥ 3 m/s 2-3 m/s med mikromanometer | ± 3-5 % | ± 15° | måling i kanaler og ved riste | robust kalibrering unødvendig |
| statiske anemometre (velometre) | div. dyser | 0,2-20 | ± 10 % | ± 10° | måling i kanaler og ved ventilationsåbninger | Lette at anvende Følsomme overfor støv, fugt, svingninger i specifik vægt af luft. Kalibreres ofte. |
| vingehjulsanemometre | evt. stopur | 0,3-20 | ± 10 % | ± 10° | måling i kanaler og ved ventilationsåbninger (i jævne luftstrømme) | Lette at anvende Giver for høje værdier ved svingende hastighed. Kalibreres jævnlige. |
| varmetrådsanemometre | div. eludstyr | 0,05-20 | ± 20 % | ± 20° | måling i kanaler og ved ventilationsåbninger | Lette at anvende, følsomme overfor støv, fugt. Kalibreres ofte. |

Fig. 4. Karakteristika for instrumenter til måling af hastighed.

anlæggets indblæsnings- og udsugningsriste skal checkes ved relative målinger, eller om enkelte delmængder skal måles absolut. Generelt kan det siges, at man normalt må kræve større præcision ved måling i store kanaler med store luftmængder, hvor små afvigelser kan betyde meget, end i små kanaler, hvor variationer i luftmængden på 15–20 % i forhold til det projekterede måske i virkeligheden er uden betydning.

Krav til kanaler og måleudstyr

Målinger på ventilationsanlæg kommer normalt på tale ved indregulering, aflevering og drift af anlæggene.

Indregulering. Ved indregulering efter proportionalmetoden påbegyndes indreguleringen i systemets yderste gren ved anvendelse af den yderst beliggende rist som reference. De øvrige riste på grenen indstilles til at give samme procentuelle luftmængde som referenceristen. Således fortsættes for de øvrige grene, der én efter én indreguleres i forhold til hinanden. Hovedluftmængden ændres ved indstilling af hovedspjældet eller ved ændring af ventilatorens omdrejningstal.

En af fordelene ved at anvende proportionalmetoden er, at metoden bygger på relative målinger for riste og grene, medens kun hovedluftmængden bestemmes ved en absolut måling – bedst med pitotrør og manometer. Måling i kanaler indskrænkes således til et minimum. Relative målinger bør inden for samme gruppe af ventilationsåbninger foretages af samme person med samme instrument. Endvidere bør en gruppe kun indeholde riste eller diffusorer af samme type, da målingerne ellers ikke kan sammenlignes. Findes forskellige typer, må målingerne sammenlignes ved måling i kanalerne. Relative målinger kan undertiden med fordel udføres ved anvendelse af et af de omtalte instrumenter, f. eks. et vingehjulsanemometer, placeret i en tragt, der kan omslutte åbningerne. Målingerne kan yderligere lettes ved anvendelse af 2 tragte med indbyggede elektroniske anemometre. Den ene tragt placeres over referenceristen, og den anden anvendes til justering af de øvrige riste, idet de målte værdier omsættes til elektriske impulser, der via et kabel overføres til et instrument, hvor sam-

menligningen sker. Ved indblæsning og udsugning gennem perforerede lofter må der være mulighed for at måle i tilgangskanalen eller ved indblæsnings-/udsugningsåbninger over loftet. Kravet til kanalsystemet bliver derfor, at sekundære grene bør have tilstrækkelig længde, når måling i kanalen er nødvendig. Hovedgrene og hovedkanaler bør have let tilgængelige og rigtigt placerede – helst forudprojekterede – målepunkter, hvor absolutte målinger kan foretages. Ud for målepunkter skal der være aftagelige lemme, plader, paneler eller lignende.

Indreguleringen foregår ofte i byggeperioden og stiller derfor særlige krav til måleudstyr og teknik. Til de relative målinger kan anvendes et af de tidligere omtalte anemometre, eventuelt monteret i en tragt; de absolutte målinger udføres sikrest med pitotrør og manometer. Det er vigtigt, at måleudstyret er robust.

Aflevering. Anlæggenes aflevering til bygherren er endnu ikke lagt i faste rammer. Tendensen går imod en procedure, hvor bygherren forlanger en afleveringsprotokol med de nødvendige »juridiske« data, samt en afleveringsrapport med oplysning om resultaterne af de ved afleveringen foretagne målinger, om anlæggets udførelse, om funktionen af anlægget samt eventuelle bemærkninger. Afle-

veringsforretningens omfang kan være specificeret i udbudsmaterialet. Der kan f. eks. stilles krav om måling af hovedluftmængder for indblæsnings- og udsugningsventilator, statisk tryk, recirkuleret mængde, friskluftmængde samt stikprøvekontrol for indregulering. Der skal således være mulighed for at eftermåle hovedluftmængder, målemulighed i recirkulationskanal (tilstrækkelig længde), eventuelt i friskluftindtag. Desuden bør der være kontrolmuligheder i diverse delkanaler. Antallet og placeringen af målepunkter er bestemt af de kontrol- og tolerancekrav, der stilles i udbudsmaterialet. Tilgængelighed til punkterne bør være som omtalt under indreguleringen.

Drift. Korrekt drift af anlæggene kræver mulighed for løbende kontrol med anlæggenes præstationer, d.v.s. check af hovedluftmængder, filterkontrol (differenstryk), kontrol af tryktab over varme-/køleflader, temperatur efter varme-/køleflader, indblæsnings-temperaturer o.s.v. Så vidt muligt bør sådanne målepunkter gøres permanente. Permanente målepunkter kan etableres ved fast placerede manometre for differenstrykmåling over filtre, ved indbygning af venturidysse i forbindelse med manometer til løbende kontrol af luftmængder, eller blot som tilproppede, let tilgængelige huller for

måling med pitotrør. Det må understreges, at alle målepunkter, der skal anvendes til løbende kontrol, skal være let tilgængelige, da man ellers ikke kan forvente kontrollen udført. Sådanne målepunkter bør derfor planlægges på projektstadiet. Endvidere bør punkterne markeres tydeligt på de til maskinmesteren udleverede tegninger, eventuelt suppleret med en afmærkning på selve målestedet. Ved planlægning af systemet og placering af målepunkterne må det overvejes, i hvor høj grad anlægget skal udstyres med fjernkontrol for de forskellige lufttekniske parametre. Principielt må det anbefales at undgå spredning af anlæggene, da den løbende kontrol herved besværliggøres – og eventuelt forsømmes.

Generelt kan det siges, at såfremt det ikke er muligt at opnå rimelige måletekniske forhold – f. eks. tilstrækkelig kanallængde efter forstyrrelser – må der træffes foranstaltninger, så strømmingen bliver så jævn som muligt i målepunkterne ved anvendelse af ledeplader el. lign.

Skal der måles i bygningsmæssigt udførte kanaler, må der afsættes de nødvendige bøsninger for målingernes gennemførelse.

Huller i kanalerne for udførte eller kommende målinger kan tilproppes med plastic- eller gummipropper; eventuelt lukkes huller, der ikke mere skal anvendes, ved tildækning med en plade, der popnitted på kanalen. Hull-

er bør normalt ikke lukkes ved anvendelse af tape.

Ved valg af måleteknik og -punkter må det overvejes, hvem der skal udføre målingerne. Ved indregulering og aflevering er der normalt tale om rutinerede folk med det nødvendige udstyr, medens det ved driften kan være en fuldt uddannet og erfaren maskinmester, men også en tilfældig udvalgt blandt øvrigt driftspersonale eller en mand uden særlige tekniske forudsætninger. Rigtigt valg af målemetoder kan eliminere typiske fejlkilder som manglende kalibrering, retningen instrumentet holdes i, ristetypens betydning samt de fejlkilder, der indføres ved, at hver person indfører visse karakteristika ved udførelse af målingerne.

Fig. 5 viser et indblæsningssystem med angivelse af målepunkter, der er nødvendige ved indregulering, aflevering og drift af anlægget.

Tolerancer

Tolerancekravene er i høj grad bestemt af hvilke rum, der betjenes af anlægget. Kravene vil naturligvis være forskellige for en foredragssal, hvor temperatur, støj og luftbevægelser må være under nøje kontrol, og for et fabrikslokale, hvor sådanne faktorer måske spiller mindre rolle. Ligeledes er det væsentligt, om en kanalstreng betjener et stort lokale eller en hel række separate rum.

Rimelige tolerancer ved indregule-

ring af et normalt ventilationsanlæg kan f. eks. være som angivet i fig. 6.

Det må i hvert enkelt tilfælde vurderes, hvilke tolerancer der skal anvendes. Kravene må ikke være strengere end højst nødvendigt, da omkostningerne ved anlæggets udformning og indregulering i høj grad er afhængige af de stillede krav.

Konklusion

Følgende forhold bør tages i betragtning og vurderes ved udformningen af kanalsystemet:

På projektstadiet

hvor er målepunkter nødvendige af hensyn til indregulering, aflevering og drift. Punkterne bør markeres på tegningerne.

hvilke tolerancer vil man forlange overholdt, og hvilken indflydelse vil det få på den nødvendige måleteknik.

hvilke målemetoder skal anvendes, hvem skal foretage målingerne, er målestederne tilgængelige, vil permanente målepunkter være fordelagtige.

I udbudsmaterialet

angivelse af ydelser, angivelse af tolerancer, angivelse af målemetoder, angivelse af kontrolpunkter ved aflevering og drift, forudsætninger for målingernes gennemførelse, angivelse af måleudstyr, der skal leveres.

Under udførelsen

målepunkter skal forblive tilgængelige – målepunkter for hyppig kontrol let tilgængelige, alle målepunkter markeres på en oversigtstegning, vigtigere punkter markeres eventuelt på stedet.

Under driften

målepunkter skal bevares tilgængelige, permanent placeret måleudstyr skal vedligeholdes.

Slutning

Det er vigtigt, at beslutninger vedrørende måleteknikken, placering af målepunkter m.v. træffes under projekteringen. Når anlægget står færdigt, kan det være vanskeligt – undertiden umuligt – at foretage de nød-

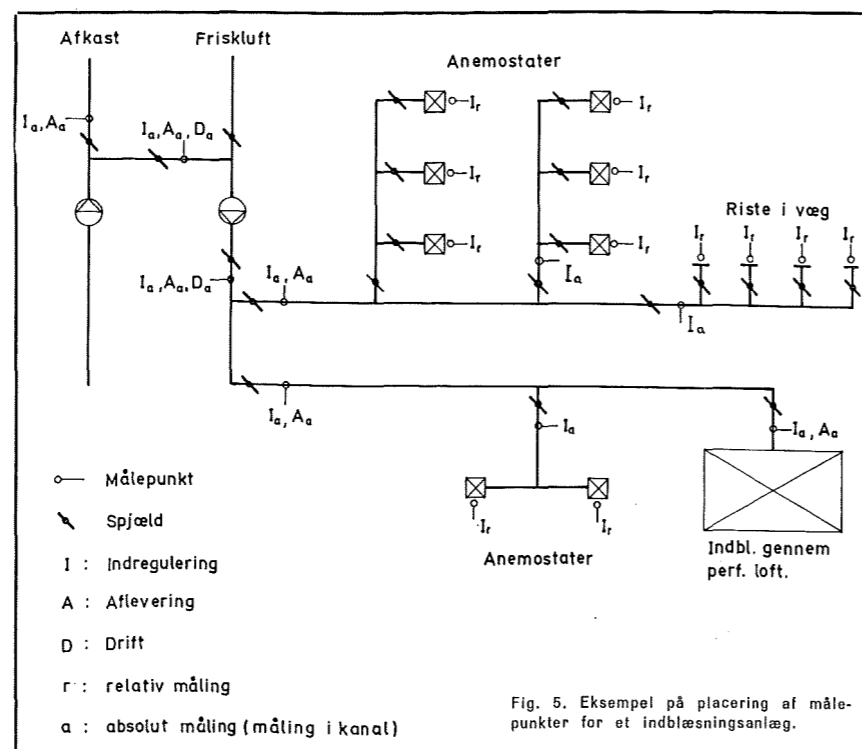


Fig. 5. Eksempel på placering af målepunkter for et indblæsningssystem.

| | Armaturer på samme afgrening ¹⁾ | | Afgreninger ²⁾ % | Samlet luftmængde % |
|--------------------|--|----------------------|-----------------------------|---------------------|
| | Betjener ét rum % | Betjener flere rum % | | |
| Indblæsningssystem | + 20 — 0 | + 15 — 0 | + 10 — 0 | + 10 — 0 |
| Udsugningssystem | + 30 — 0 | + 20 — 0 | + 10 — 0 | + 10 — 0 |

¹⁾ Er den målte luftmængde ved referencearmaturet x % af den projekterede mængde, skal luftmængden ved alle andre armaturer på afgreningen indstilles ved hjælp af spjældene til den er inden for området (x + de nævnte tolerancer) % af den projekterede værdi for det pågældende armatur.

²⁾ Er den målte luftmængde ved referenceafgreningen y % af den projekterede mængde, skal luftmængden ved alle andre afgreninger i gruppen indstilles ved hjælp af spjældene, til den er inden for området (y + de nævnte tolerancer) % af den projekterede værdi for den pågældende gren.

Fig. 6. Eksempel på tolerancer for indregulering af luftmængder. De angivne tolerancer for armaturer og afgreninger gælder for selve indreguleringen. Er luftmængderne under indreguleringen alle steder større end 50 % af den projekterede værdi, vil armaturerne (grenene) efter indreguleringen højst afvige ± (den angivne tolerance) % fra den projekterede værdi, når de projekterede mængder for armaturerne (grenene) er af samme størrelsesorden.

vendige målinger, hvilket kan medføre, at indreguleringen vanskeliggøres, at bygherren ikke kan checke den »vare«, han har betalt for, samt at driften af anlægget i overensstemmelse med projektet vanskeliggøres.

Udbudsmaterialet må indeholde nødvendige oplysninger om den ønskede måleteknik i forbindelse med angivelse af tolerancer for ydelserne. Endvidere bør det nødvendige udstyr

til udførelse af målinger i forbindelse med driften medtages i udbudsmaterialet, så det foreligger, når anlægget skal tages i brug. Udover de sædvanlige termometre og manometre bør altså også foreskrives nødvendige pitotrør, anemometre, hygrometre o.s.v. Foreligger der ikke tilstrækkelige muligheder for at måle, er det tvivlsomt, om man får det i projektet forudsete udbytte af anlægget.

Litteratur

Balansering av luftflöden i kanalsystem för ventilation, Arbetshandling 10, 1967, Statens Institut för Byggnadsforskning, Stockholm 1967.

Klargöring af ventilationsanlæg, SBI-rapport nr. 63, Statens Byggeforskningsinstitut, København 1969, 44 sider.

National Standards for Field Measurements and Instrumentation, Total System Balance, Air Distribution and Hydronic System, Associated Air Balance Council, Los Angeles 1967.

Systematisk indregulering af ventilationsanlæg

Af civilingeniør E. Christophersen,
Statens Byggeforskningsinstitut

De projekterede indeklimatiske tilstande kan kun opnås, såfremt ventilationsanlægget er indreguleret, så de projekterede luftmængder når frem til eller udsuges fra alle dele af kanalsystemet. Indreguleringen af luftmængderne for et ventilationsanlæg har væsentlig større betydning end indreguleringen af vandmængderne i et vandvarmeanlæg. Reduceres vandmængden til en radiator med 50 % vil varmeafgivelsen kun blive 10 % mindre, medens varmeafgivelsen eller køleeffekten for et ventilationsanlæg er proportional med luftmængden. Yderligere kan afvigelser i luftmængderne i forhold til de projekterede mængder af hygiejniske årsager være af betydning.

Klager over ventilationsanlæggenes funktion kan ofte henføres til mangelfuld eller manglende indregulering. De fleste projekterende og udførende teknikere er klare over sammenhængen og man kan undre sig over, at problemerne får lov til at opstå. Den manglende indregulering skyldes imidlertid ofte uhensigtsmæssigt udformede kanalsystemer, manglende eller vanskeligt tilgængelige spjæld, utilstrækkelige målemuligheder eller manglende kendskab til måleteknikken i forbindelse med indreguleringen. En vigtig årsag kan også være at indreguleringsarbejdet ikke udføres systematisk og derfor bliver unødvendigt tidskrævende, med deraf følgende tendens til at arbejdet ikke gøres færdigt. Endelig er der ikke altid afsat de fornødne penge til at indreguleringsarbejdet kan udføres forsvarligt.

Nedenfor gennemgås en systematisk metode til indregulering af ventila-

I artiklen beskrives en systematisk metode til indregulering af ventilationsanlæg. Endvidere behandles en række faktorer, der har betydning for indreguleringsforberedelse under projekteringen samt for den praktiske gennemførelse af indreguleringsarbejdet.

tionsanlæg og endvidere behandles en række faktorer, der har betydning for indreguleringsforberedelse under projekteringen samt for den praktiske gennemførelse af indreguleringsarbejdet.

Metoder til indregulering

Man kan principielt skelne mellem 3 forskellige metoder til indregulering af ventilationsanlæg.

Metode 1.

Indreguleringen foretages ved mere eller mindre tilfældig indstilling af spjældene, indtil de ønskede luftmængder opnås.

Metode 2.

Indreguleringen foretages ved indstilling af spjældene til en ved en tryktabsberegning forudbestemt position; de ydede luftmængder kontrolleres stikprøvevis. Metoden kaldes undertiden *forindstillingsmetoden*.

Metode 3.

Indreguleringen udføres ved systematiske relative luftmængdemålninger og spjældindstillinger begyndende i systemets yderste grene. Metoden kaldes *proportionalmetoden*.

Et væsentligt problem ved indregulering er, at indstilling af ét spjæld i systemet ikke blot ændrer luftmængden i den pågældende gren, men også luftmængden i den øvrige del af systemet. Det vil normalt betyde, at et stort antal efterjusteringer er nødvendige for at opnå den endelige, korrekte luftmængde, og for hver efterjustering skal luftmængden måles.

Metode 1 vil oftest være overordentlig tidskrævende og bør kun an-

vendes for simple og meget begrænsede systemer.

Metode 2, forindstillingsmetoden, stiller krav om anvendelse af kalibrerede spjæld samt riste, diffusorer, kanaler, overgangsstykker osv. med kendte modstande. I praksis vil dette imidlertid sjældent kunne gennemføres. Anlæggene er ofte »skræddersyede« med specielle kanaldele tilpasset det givne projekt; desuden angiver kun få fabrikanter kalibreringskurver for spjæld. Endvidere er metoden normalt kun anvendelig, når der er stor modstand ved indblæsnings- og udsugningsåbningerne, idet selv små unøjagtigheder i tryktabsberegningen kan give for store afvigelser i luftmængderne.

Metoden indebærer den fordel, at alle spjæld på forhånd kan stilles i den rigtige position uafhængigt af udetemperatur, vindforhold osv. Endvidere ligger der en fordel i, at den projekterende, når tryktabsberegningen udføres, tvinges til at sikre sig, at forudsætningerne for at indregulere anlægget er til stede.

Der er næppe tvivl om, at metoden fremover vil finde større anvendelse, især hvis anlæggene opbygges af standarddetaljer og kanalberegninger hurtigt og sikkert kan udføres ved hjælp af EDB.

Metode 3, proportionalmetoden, bygger på den antagelse, at ved fikserede modstande er forholdet mellem luftmængderne i en forgrening uafhængigt af ændringer i den samlede luftmængde til forgreningen. Dette kan anvendes til en systematisk indregulering, idet forholdet mellem luftmængderne i de enkelte grene succes-

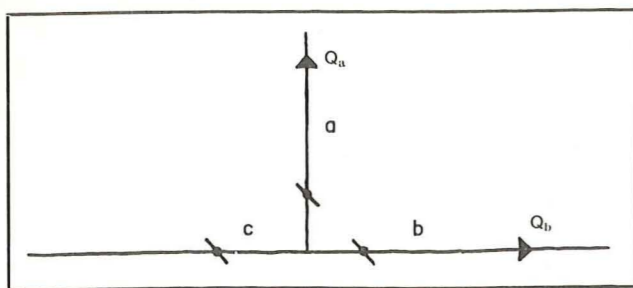


Fig. 1. Afgrening med luftmængderne Q_a og Q_b .

sivt indstilles til den korrekte værdi. Det er således ikke nødvendigt at foretage absolutte målinger ved indreguleringen.

I praksis vil man undertiden med fordel kunne kombinere forindstillingsmetoden og proportionalmetoden. F. eks. kan grupper af indblæsnings- og udsugningsåbninger projekteres, så indstilling kan foretages efter forindstillingsmetoden, medens grupperne indbyrdes indreguleres efter proportionalmetoden.

I mange tilfælde vil proportionalmetoden dog være den eneste realistiske indreguleringsmulighed.

Teoretisk grundlag for proportionalmetoden

Metoden forudsætter, at forholdet mellem luftmængderne i en forgrening er konstant ved ændring af totalluftmængden, når forholdet mellem grenenes modstande holdes konstant.

Det totale tryktab i en kanal består dels af friktionstab i kanalens lige dele, dels af tryktabet over enkeltmodstande. Tryktabet over en enkeltmodstand kan udtrykkes som et produkt af hastighedstrykket og modstandstallet for den pågældende enkeltmodstand, hvor modstandstallet er næsten konstant for de i ventilationskanaler normalt forekommende hastigheder.

Friktionstab pr. længdeenhed er et produkt af hastighedstrykket og forholdet mellem friktionskoefficienten for kanalen og kanalens hydrauliske diameter. Friktionskoefficienten varierer imidlertid for en given kanal med Reynolds tal, idet ændringen sker hurtigst ved lave Reynolds tal, medens koefficienten er næsten konstant ved høje Reynolds tal. Sammenhængen fremgår af det såkaldte Moody diagram [2]. Dette medfører, at ved store forskelle i Reynolds tal for grenene fås en disproportional ændring af de respektive friktionskoefficienter,

når totalluftmængden ændres, hvorfor også forholdet mellem mængderne i grenene ændres.

En beregning viser, at for de i ventilationsanlæg normalt forekommende hastigheder vil forholdet mellem luftmængderne Q_a og Q_b i en kanalforgrening med 2 grene a og b (fig. 1) selv for en stor forskel i Re for kanal a og b kun variere i størrelsesordenen 5 %, når totalluftmængden varierer mellem 50 % og 150 % og når der regnes med at trykfaldene i grenene alene skyldes friktionen. Fejlen vil mindskes, når også enkeltmodstandene medtages i beregningerne.

Proportionalprincippet kan således med rimelighed anvendes, når luftmængden Q i alle dele af systemet under indreguleringen antager værdierne $0,5 Q_{proj} < Q < 1,5 Q_{proj}$, hvor Q_{proj} er den projekterede luftmængde.

Proportionalmetodens praktiske udformning

I det følgende anvendes terminologien:

rist:

enhver form for indblæsnings- eller udsugningsåbning

gruppe af riste:

riste, der betjenes af samme spjæld

referencerist:

den rist, der ligger længst væk fra ventilatoren

indeksrist:

den rist, der giver den mindste luftmængde i forhold til det projekterede. Referencerist og indeksrist vil ofte være den samme

luftmængdeforhold:

forholdet mellem den målte og den projekterede mængde

terminal:

indblæsningsunit i højtryksanlæg.

Indregulering af en afgrening

Afgreningen fig. 1 skal indreguleres,

så luftmængden gennem a og b bliver henholdsvis $Q_{a\ proj}$ og $Q_{b\ proj}$. Spjældene a og b skal i henhold til proportionalmetoden indstilles således, at

$$\frac{Q_{a\ målt}}{Q_{a\ proj}} = \frac{Q_{b\ målt}}{Q_{b\ proj}}$$

$$\text{eller} \quad \frac{Q_{a\ målt}}{Q_{b\ målt}} = \frac{Q_{a\ proj}}{Q_{b\ proj}}$$

Dette forhold vil være meget nær konstant ved ændringer af totalluftmængden, når blot alle luftmængder ligger inden for $\pm 50\%$ af den projekterede værdi. Den systematiske fremgangsmåde bliver da

1. Spjældene på grenene åbnes helt
2. Luftmængderne Q_a og Q_b måles og luftmængdeforholdet $\frac{målt}{proj}$ beregnes for hver af grenene
3. Spjæld a (eller b) lukkes så meget, at grenenes luftmængdeforhold er lige store
4. Spjæld c indstilles derpå således, at $Q_{c\ målt} = Q_{c\ proj}$. Forholdet mellem grenenes luftmængder ændres ikke, når totalluftmængden ændres, såfremt indstillingen af spjæld a og b ikke ændres. Det fremgår, at ingen afgrening må indreguleres, før alle spjæld længere væk fra ventilatoren på den pågældende gren er indstillede.

Indregulering af en gren med flere riste

Ved indregulering af en kanal med flere afgreninger anvendes den rist, der ligger længst væk fra ventilatoren som referencerist, idet luftmængdeforholdene for kanalens øvrige riste sammenlignes med referenceristens luftmængdeforhold.

Såfremt referenceristen giver det laveste luftmængdeforhold, kan hver af de øvrige grene indreguleres ved lukning af spjældet i den pågældende gren.

Giver referenceristen ikke det mindste luftmængdeforhold kan den systematiske indregulering kun fortsættes, hvis der indbygges et spjæld i kanalen umiddelbart efter den rist, der giver det mindste luftmængdeforhold. Dette vil i praksis være en temmelig besværlig fremgangsmåde, så derfor findes på forhånd ved en hastig gennemmåling den rist, der giver det mindste forhold (risten kaldes indeksri-

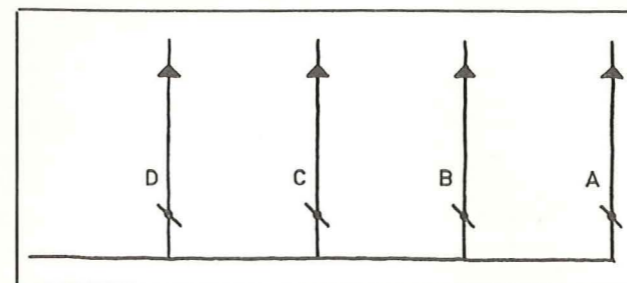


Fig. 2. Eksempel på en gren med flere riste.

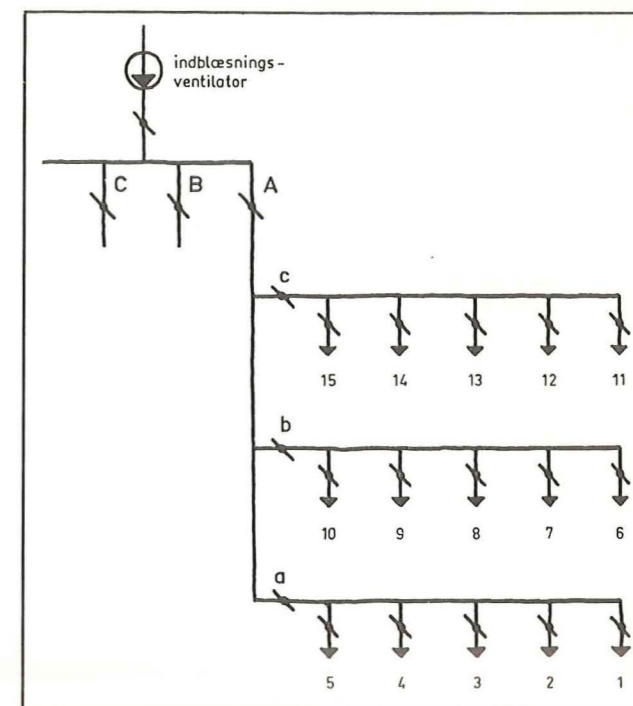


Fig. 3. Eksempel på indregulering af et indblæsningsanlæg. Indblæsningsristene på hver af de sekundære grene a, b og c indreguleres først i forhold til hinanden, derpå indreguleres de sekundære grene og endelig hovedgrenene A, B, C, ... Den projekterede luftmængde opnås ved ændring af ventilatorens omdrejningstal.

sten), og referenceristens spjæld indstilles, så luftmængdeforholdet bliver lig indeksristens. Referenceristens spjæld må ikke lukkes mere end højst nødvendigt, og det bør tilstræbes, at indeksristens spjæld efter indreguleringen står helt åben. Fremgangsmåden ved indregulering af en gren bliver da (fig. 2)

1. Samtlige spjæld åbnes helt
2. Risten, der giver det mindste luftmængdeforhold (indeksristen) findes ved en hastig gennemmåling, f. eks. C
3. Referenceristen justeres således, at den giver samme luftmængdeforhold som indeksristen
4. B, C og D justeres ved sammenligning med A, så alle riste A-D giver samme luftmængdeforhold. Bemærk at forholdet for referenceristen ændres ved justeringen af de øvrige riste; efterhånden som forholdet ændres, indreguleres nye riste til det ændrede forhold.

Indregulering af et komplet ventilationsanlæg

Først indreguleres risterne på de enkelte grene i forhold til hinanden som angivet i det foregående. Derpå indreguleres grenene i forhold til hinanden ved anvendelse af nøjagtig samme metode som for risterne. Rækkefølgen i indreguleringsarbejdet bestemmes nor-

malt ud fra de indledende målinger, idet man fortrinsvis ved indreguleringen begynder med de grene, der har givet de største luftmængdeforhold. Er f. eks. A (fig. 3) grenen med det største forhold, vil arbejdet normalt starte med A. Giver den sekundære gren b på gren A højest luftmængdeforhold, vil risterne på b blive indreguleret først. Derpå indreguleres den sekundære gren med næsthøjest luftmængdeforhold o.s.v. Ved at arbejde i denne rækkefølge opnås, at luftmængderne ved indblæsningsstederne under målingerne har værdier, der ligger så nær som muligt ved de projekterede. Til sidst indstilles til den rigtige luftmængde ved ændring af ventilatorens omdrejningstal. Fremgangsmåden ved indregulering af et komplet anlæg bliver da (fig. 3):

1. Alle spjæld åbnes helt
2. Det kontrolleres ved en hurtig gennemmåling, om alle luftmængder er inden for intervallet 50-150 % af de projekterede mængder. Er betingelsen ikke opfyldt, reguleres på ventilatorens omdrejningstal eller på spjældene, indtil luftmængderne falder indenfor det angivne område
3. Riste på sekundære grene, a. b. c. . . , indreguleres som angivet tidligere
4. De sekundære grene indreguleres,

idet grenen længst fra ventilatoren anvendes som reference, og justeres så dens luftmængdeforhold er mindre end eller lig med forholdet for de øvrige grene

5. Hovedkanalerne, A, B, C, . . . , indreguleres på samme måde som angivet under 4, idet luftmængderne måles i kanalerne med pitotrør
6. Den samlede luftmængde måles i hovedkanalen med pitotrør
7. Ventilatoren bringes til at yde den projekterede luftmængde ved indstilling af hovedspjældet eller ved ændring af ventilatorens omdrejningstal. Det nye omdrejningstal for ventilatoren beregnes af

$$n_2 = n_1 \frac{Q_2}{Q_1}$$

hvor Q_2 og Q_1 angiver henholdsvis den nye (projekterede) og den oprindeligt målte mængde i hovedkanalen.

Det skal bemærkes, at såfremt modstandene ved armaturerne i grupperne a, b og c er store i forhold til kanalmodstanden i samme gruppe, kan gruppen eventuelt indreguleres efter forindstillingsmetoden, medens proportionalmetoden så kun anvendes til indregulering grupperne imellem.

Endelig skal det anføres, at proportionalmetoden kan anvendes for ud-

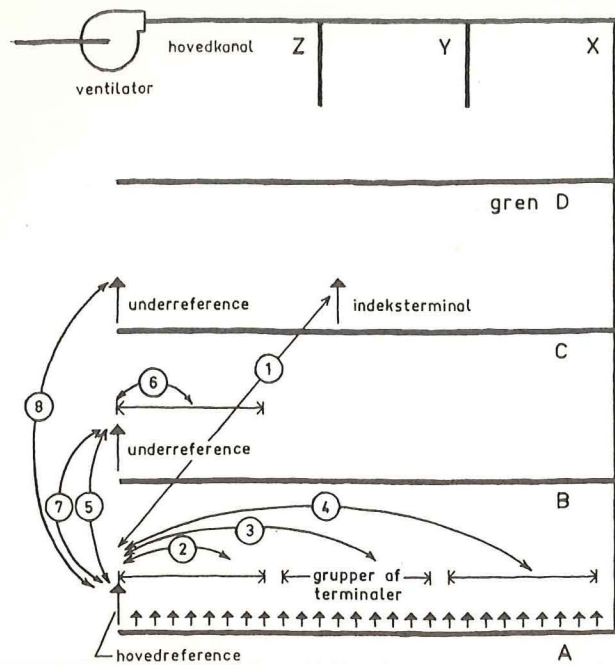


Fig. 4. Fremgangsmåden ved indregulering af et højtryksanlæg efter proportionalmetoden. Hovedreferencen er den sidste terminal og indeksterninalen den, der giver mindst før indreguleringen. Der gås frem i den orden, som tallene angiver, se i øvrigt skemaet i teksten.

sugningsanlæg på nøjagtig samme måde som angivet i det foregående for indblæsningsanlæg, idet indreguleringen begynder i systemets yderste grene og slutter ved ventilatoren

Proportionalmetodens anvendelse på højtryksanlæg

I højtryksanlæg medfører det høje trykfald over terminalerne, at indstillingen af luftmængden for een terminal kun har ringe indflydelse på luftmængden i naboterminalerne. Dette kan udnyttes til en forenklet procedure ved indregulering efter proportionalmetoden, idet den fjernest beliggende terminal under hele indreguleringen anvendes som hovedreference for indregulering af grupper af terminaler. Antallet af målinger ved hovedreferencen reduceres herved væsentligt. For at lette arbejdsgangen anvendes for hver gren en underreference, der indreguleres i forhold til hovedreferencen inden grupperne på grenen indreguleres. Målingerne kan udføres ved bestemmelse af trykfaldet over dyserne.

Metoden kan anvendes på systemer uden spjæld ved de sekundære afgreninger, men der må naturligvis være mulighed for at regulere luftmængden ved selve terminalen.

Fremgangsmåden ved indregulering af et højtryksanlæg er vist på fig. 4.

Inden indreguleringen påbegyndes, åbnes alle spjæld helt og ventilatoren

bringes til at yde det projekterede statiske tryk. I øvrigt anvendes følgende fremgangsmåde:

1. Ved en hurtig gennemmåling findes den terminal, der giver det mindste luftmængdeforhold – indeksterninalen. Det er ikke nødvendigt at måle på samtlige terminaler, idet en måling på typiske terminaler på kanalstrengene hurtigt vil vise, hvilken kanalstreng, der giver det mindste forhold. På denne kanal findes indeksterninalen.
2. Ligger indeksterninalen på samme gren som hovedreferencen, nedreguleres denne til samme luftmængdeforhold som indeksterninalen. Er indeksterninalen på en anden kanal end hovedreferencen, nedreguleres referencen i første omgang til en omtrentlig ydelse lig middelværdien af referenceforhold og indeksforhold. Hvis referencen nedreguleres til indeksterninalens forhold vil dette være for meget, da reguleringen af de øvrige terminaler vil øge trykket ved indeksterninalen, der da må nedreguleres, hvilket betyder unødvendig modstand for ventilatoren
3. Den næste gruppe på 5–10 terminaler indreguleres til et luftmængdeforhold lig med det ændrede referenceforhold, hvorpå referenceforholdet igen måles og noteres
4. Således fortsættes indtil hele grenen A er indreguleret
5. Luftmængdeforholdet for hovedreferencen måles og den yderst beliggende terminal på gren B (underreference for B) indreguleres til hovedreferenceforholdet
6. Gren B indreguleres som angivet i 2., 3. og 4. ved anvendelse af underreferencen
7. Det kontrolleres om underreferencen for gren B viser samme luftmængdeforhold som hovedreferencen indenfor de foreskrevne tolerancer. Falder luftmængdeforholdet udenfor toleranceområdet, hvilket kun sjældent vil være tilfældet, må gren B indreguleres på ny
8. Indreguleringen fortsættes på lignende måde for grenene C, D ...

Findes flere hovedkanaler X, Y, Z ..., anvendes en hovedreference for hver hovedkanal og hovedkanalerne indreguleres i forhold til hinanden ved justering af spjældene i hovedkanalerne.

Til sidst bringes ventilatoren til at yde den projekterede luftmængde ved indstilling af hovedspjældet eller ved ændring af ventilatorens omdrejningstal. Ydelsen måles med pitotrør i hovedkanalen.

Systemets udformning

Det er den projekterende, der må sørge for, at kanalsystemet har en sådan udformning, at indreguleringen kan foretages. Endvidere skal der være mulighed for at udføre de nødvendige målinger.

Spjæld

Et lavtryksanlæg må være udformet med spjæld ved alle indblæsningsriste, diffusorer o.s.v. samt i alle sekundære afgreninger. Normalt vil det dog være unødvendigt at montere spjæld i kanaler som fører til færre end fire riste, som selv er forsynet med spjæld. Der skal være spjæld i alle hovedgrene samt i hovedkanalen. Grenen med den

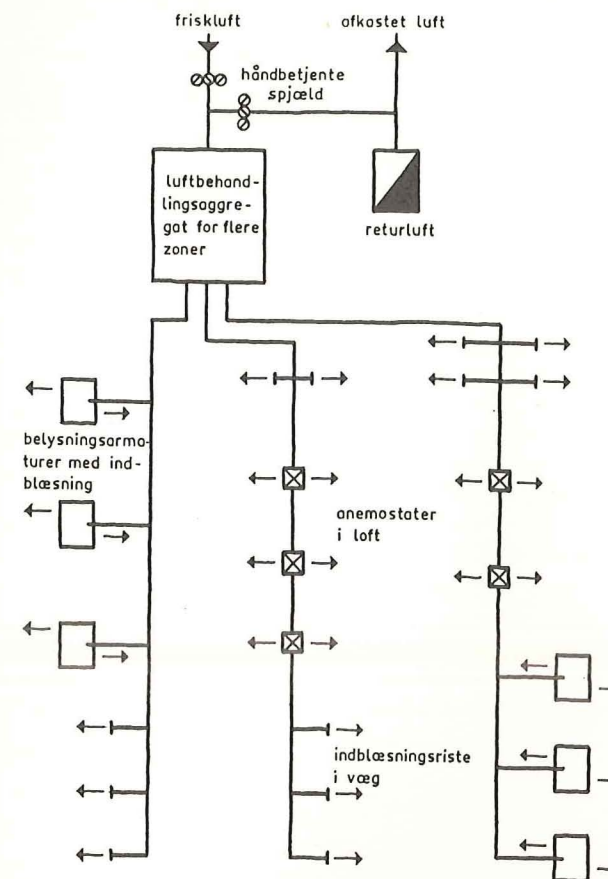


Fig. 5. Ventilationssystem, der ikke kan indreguleres ved en standardmetode, idet systemet ikke er sektioneret og forsynet med spjæld i et omfang, så relative målinger kan anvendes med fordel.

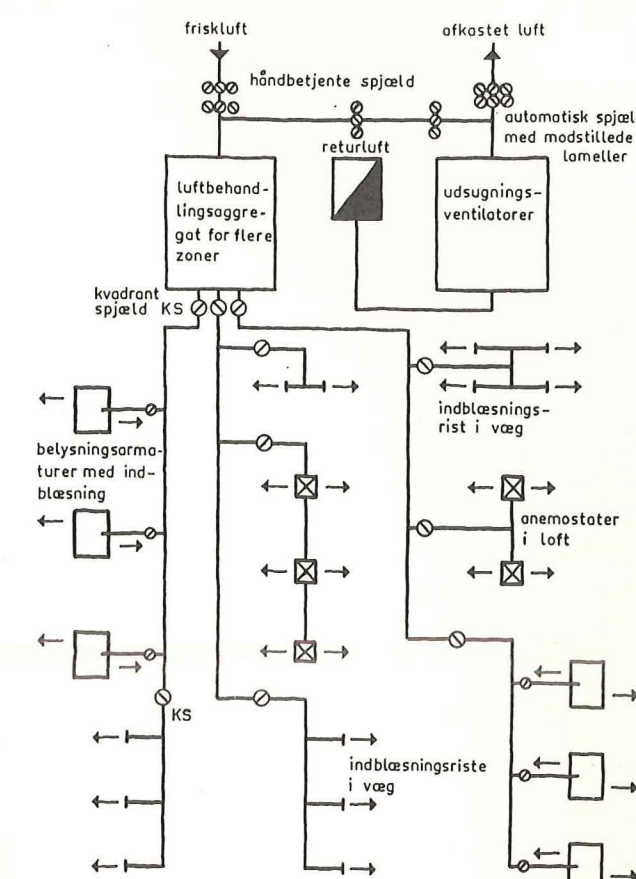


Fig. 6. Systemet på fig. 5 med de rettelser, der må udføres for at gøre indregulering mulig. Kanalføringen er ændret og de nødvendige spjæld er monteret. Det forudsættes, at riste og anemostater har indbygget luftmængderegulering.

teoretiske indekstrist skal også være forsynet med spjæld, idet risten måske ikke i praksis viser sig at være indekstrist. Lange kanaler med et stort antal riste bør opdeles i parallelle grene, da man ellers kan risikere støj ved for stor nedregulering af nogle riste. Symmetri i kanalføringen vil ofte kunne reducere antallet af spjæld og i øvrigt lette indreguleringsarbejdet. Ligeledes bør der om muligt anvendes indblæsnings- og udsugningsåbninger med stor modstand.

I højtryksanlæg kan spjældene på de sekundære afgreninger undlades.

Fig. 5 viser et system, som ikke kan indreguleres ved en standardmetode, idet systemet ikke er sektioneret og forsynet med spjæld i et omfang, så relative målinger kan anvendes med fordel.

Fig. 6 viser det samme system med de rettelser, der må udføres for at gøre indreguleringen mulig. Der er dels ændret noget på kanalføringen, dels monteret det nødvendige antal spjæld.

Det er forudsat, at riste og anemostater har indbygget luftmængderegulering.

Måleteknik og -udstyr

Proportionalmetoden bygger som allerede omtalt på relative målinger for riste og grene, medens kun hovedluftmængden bestemmes ved en absolut måling – bedst med pitotrør og manometer. Måling i kanaler indskrænkes således til et minimum. Relative målinger bør inden for samme gruppe af riste foretages af samme person med samme instrument. Endvidere bør en gruppe kun indeholde riste af samme type, da målingerne ellers ikke kan sammenlignes. Findes forskellige typer målingerne sammenlignes ved måling i kanalerne. Relative målinger kan undertiden med fordel udføres ved anvendelse af f. eks. et vingehjulsanemometer placeret i en tragt, der kan omslutte risten. Målingerne kan yderligere lettes ved anvendelse af 2 tragte med indbyggede elektroni-

ske anemometre. Den ene tragt placeres over referenceristen, og den anden anvendes til justering af de øvrige riste, idet de målte værdier omsættes til elektriske impulser, der via et kabel overføres til et instrument, hvor sammenligningen sker. Ved indblæsning og udsugning gennem perforerede lofter må der være mulighed for at måle i tilgangskanalen eller ved indblæsnings-/udsugningsåbninger over loftet. Kravet til kanalsystemet bliver derfor at sekundære grene bør have tilstrækkelig længde, når måling i kanalen er nødvendig. Hovedgrene og hovedkanaler bør have let tilgængelige og rigtigt placerede – helst forudprojekterede – målepunkter, hvor absolutte målinger kan foretages. Udfor målepunkter skal der være aftagelige lemme, plader, paneler m.v.

Det skal nævnes, at der til indbygning i kanalsystemet på markedet findes kanalelementer med indbygget spjæld og udstyr til måling af den luftmængde, der passerer elementet.

Luftmængdemålingen udføres ved måling med et manometer af trykfaldet over en på forhånd kalibreret »måleblænde«, der er udformet som en perforeret plade.

Indreguleringen foregår ofte i byggeperioden og stiller derfor særlige krav til måleudstyr og teknik. Til de relative målinger kan anvendes et af de tidligere omtalte anemometre, eventuelt monteret i en tragt; de absolutte målinger udføres sikrest med pitotrør og manometer. Det er vigtigt, at måleudstyret er robust.

Tolerancer

Tolerancekravene er i høj grad bestemt af hvilke rum, der betjenes af anlægget. Ligeledes er det væsentligt, om en kanalstreng betjener eet stort lokale eller en række separate rum.

Rimelige tolerancer ved indregulering af et normalt lavtryksanlæg kan f. eks. være som angivet i fig. 7.

For højtryksanlæg vil en afvigelse på $\pm 10\%$ fra den projekterede mængde ved terminalerne være et normalt krav. Hvis hovedkanalerne er forsynet med spjæld, vil anlægget kunne indreguleres indenfor denne tolerance, medens man for et anlæg uden spjæld i hovedkanalerne må regne med en tolerance på $\pm 15\%$.

Det må i hvert enkelt tilfælde vurderes, hvilke tolerancer, der skal anvendes. Kravene må ikke være strengere end højst nødvendigt, da omkost-

| | Armaturer på samme afgrening ¹⁾ | | Afgreninger ²⁾ % | Samlet luftmængde % |
|--------------------|--|-------------------------|--------------------------------|------------------------|
| | Betjener ét rum % | Betjener flere rum % | | |
| Indblæsningssystem | +20 - 0 | +15 - 0 | +10 - 0 | +10 - 0 |
| Udsugningssystem | +30 - 0 | +20 - 0 | +10 - 0 | +10 - 0 |

¹⁾ Er den målte luftmængde ved referencearmaturet $x\%$ af den projekterede mængde, skal luftmængden ved alle andre armaturer på afgreningen indstilles ved hjælp af spjældene til den er inden for området $(x \pm \text{de nævnte tolerancer})\%$ af den projekterede værdi for det pågældende armatur.

²⁾ Er den målte luftmængde ved referenceafgreningen $y\%$ af den projekterede mængde, skal luftmængden ved alle andre afgreninger i gruppen indstilles ved hjælp af spjældene, til den er inden for området $(y \pm \text{de nævnte tolerancer})\%$ af den projekterede værdi for den pågældende gren.

Fig. 7. Eksempel på tolerancer for indregulering af luftmængder. De angivne tolerancer for armaturer og afgreninger gælder for selve indreguleringen. Er luftmængderne under indreguleringen alle steder større end 50% af den projekterede værdi, vil armaturerne (grenene) efter indreguleringen højst afvige \pm (den angivne tolerance)% fra den projekterede værdi, når de projekterede mængder for armaturerne (grenene) er af samme størrelsesorden. Ingen af de angivne tolerancer omfatter fejl, der skyldes målemetoden.

ningerne ved anlæggets udformning og indregulering i høj grad er afhængige af de stillede krav.

Forberedelser til indreguleringen

Før indreguleringen påbegyndes må alt nødvendigt tegningsmateriale foreligge. Det kan være fordelagtigt på grundlag af tegningsmaterialet at lave simple principdiagrammer, hvor alle oplysninger vedrørende indreguleringen fremgår, d.v.s. oplysning om projekterede luftmængder, spjæld og evt.

tolerancer. Principdiagrammerne anvendes direkte under indreguleringsarbejdet, medens projekttegningerne anvendes til at lokalisere kanalerne.

I forbindelse med indreguleringsarbejdet kan det være praktisk at anvende et skema som angivet i fig. 8. Kolonne 1 udfyldes på forhånd på grundlag af projektmaterialet. Kolonne 2 anvendes ved bestemmelse af indekstristen I, på grundlag af de orienterende målinger. Indekstristen I og referenceristen R markeres. I kolonne 3 bestemmes udgangsværdien for referenceforholdet, efter evt. nedregulering af referenceristen. I kolonne 4 noteres de målte værdier for de enkelte riste under de tilhørende ændrede referenceforhold. I kolonne 5 angives de faktiske afvigelser sammen med de foreskrevne tolerancer og i kolonne 6 noteres eventuelle bemærkninger.

| betegnelse | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | | | | 5 | | 6 | |
|------------|-------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|--|---|----------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|-------------------|---|-------------------------------------|
| | projekteret mængde a | orienterende måling b _a | I og R b _a /a | indreg. af reference b ₁ | indregulering af armatur b ₁ /a | b ₂ | b ₂ /a | b ₃ | b ₃ /a | b ₄ | b ₄ /a | b ₅ | b ₅ /a | | afvigelse i % beregnet tolerance |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |

Fig. 8. Eksempel på skema, der kan anvendes ved indreguleringen. Kolonne 1 udfyldes på forhånd på grundlag af projektmaterialet. Kolonne 2 anvendes ved bestemmelse af indekstristen I, på grundlag af de orienterende målinger. Indekstristen I og referenceristen R markeres. I kolonne 3 bestemmes udgangsværdien for referenceforholdet, efter evt. nedregulering af referenceristen. I kolonne 4 noteres de målte værdier for de enkelte riste under de tilhørende ændrede referenceforhold. I kolonne 5 angives de faktiske afvigelser sammen med de foreskrevne tolerancer og i kolonne 6 noteres eventuelle bemærkninger.

renceforholdet, efter evt. nedregulering af referenceristen. I kolonne 4 noteres de målte værdier for de enkelte riste under de tilhørende ændrede referenceforhold. I kolonne 5 angives de faktiske afvigelser sammen med de foreskrevne tolerancer og i kolonne 6 noteres eventuelle bemærkninger.

Under indreguleringen skal døre og vinduer være lukket i normalt omfang.

Fordele ved proportionalmetoden

Den store fordel ved at anvende proportionalmetoden er, at der kun kræves relativ nøjagtighed ved målingerne, idet metoden bygger på sammenligning af de målte mængder. Absolutte målinger indskrænkes til et minimum, og endvidere nedsættes antallet af målinger i kanalerne, der jo ofte vil være vanskeligt tilgængelige. Naturligvis kan der opstå fejl ved relative målinger, men disse fejl vil være små sammenlignet med usikkerheden på absolutte målinger. For fuldt ud at opnå fordelene ved relativ måling må man sørge for, at målingerne inden for en gruppe riste udføres af en person med det samme måleinstrument.

Metoden indebærer endvidere den fordel, at indreguleringen, der jo for et større system kan tage mange dage, kan opdeles arbejdsomt i en række deloperationer, idet indreguleringen af en gruppe riste er et afsluttet arbejde, der vil kunne udføres inden for relativ kort tid. Det betyder, at ydre forhold

som vindens påvirkning og ændring af de termiske stigræfter ved ændrede udetemperaturer er uden indflydelse på målingerne, når blot der ikke sker ændringer i det korte tidsrum, der behøves til indregulering af en gruppe riste. Derimod er det vigtigt, at de ydre forhold svarer til projekteringsforudsætningerne, når den endelige, absolutte måling af hovedluftmængden udføres.

Endelig skal nævnes den fordel, der ligger i, at ventilatoren vil komme til at arbejde mod den mindst mulige modstand. Når indreguleringen er udført, vil der være mindst en vej gennem systemet, hvor alle spjæld er åbne. Støjmæssigt opnås den fordel, at spjældet ved en ventilationsåbning kun skal optage ubalancemodstanden inden for samme gruppe, medens ubalancemodstanden grupper imellem optages af hovedspjældene. Støjniveauet kan herved holdes lavest muligt.

Slutning

Det er vigtigt, at indreguleringen forberedes under projekteringen, så indreguleringen kan udføres systematisk ved proportionalmetoden, ved forindstillingsmetoden eller ved en kombination af de 2 metoder. Anlægget skal være forsynet med de nødvendige spjæld og kanalnettet være udformet så indreguleringen lettes mest muligt. Uanset om indreguleringen sker på basis af forindstilling af spjæld og forudberegning af fordelingen til kanalerne, må anlægget være forsynet med de nødvendige

spjæld til endelig indregulering af luftmængderne. Endvidere skal kanalsystemet være målevenligt, så der er mulighed for at udføre de målinger, der er nødvendige i forbindelse med indreguleringsarbejdet. Projektmaterialet må angive tolerancerne for anlæggets ydelser efter indreguleringen og det må anbefales, at det i forbindelse med afleveringen ved stikprøvekontrol undersøges, om ydelserne ligger indenfor toleranceområderne.

Skal indreguleringen virkelig gennemføres forsvarligt for det enkelte projekt er det afgørende, at der er afsat penge tid til indreguleringsarbejdet. Det tager lang tid at indregulere et ventilationsanlæg selv ved anvendelse af systematiske metoder, men de nødvendige penge må anvendes og spørgsmålet i forbindelse med indreguleringen må behandles med tilstrækkelig opmærksomhed, hvis anlægget skal præstere de ønskede indeklimatiske forhold.

Litteratur

Balansering av luftflöden i kanalsystem för ventilation, Arbetshandling 10, 1967, Statens institut för byggnadsforskning, Stockholm 1967.

Poul Becher, Varme og ventilation, bd. 4, Teknisk Forlag, København 1965, 2. udg., 371 sider.

Injustering av luftflöden i ventilationssystem, Byggeforskningen informerar, nr. 2, 1969.

Klargøring af ventilationsanlæg, SBI-rapport nr. 63, Statens Byggeforskningsinstitut, København 1969, 44 sider.

SBI-rapporter *fortsat fra omslagets anden inderside.*

- 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 i alt 160 kartotekskort — Supplement: 20 sheets, size A4, with 160 index cards. Separate translation in German and French. Kr. 18,40.
- 29 Problemer ved licitations- og udførselsgrundlaget for beton- og jernbetonarbejder — Problems Relating to the Conditions and Specifications for Tenders of Concrete and Reinforced Concrete Work. R. A. Larsen. 1958. 18 p. A4. Kr. 4,60.
- 30 Træskeletvæggen som ydervæg i lavt boligbyggeri — Timber Frame Walls as Load-Bearing Exterior Walls in One Storey Houses. Jørgen Bryrup. 1958. 108 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt — Out of print).
- 31 Brandtekniske forsøg med entredøre — Testing of Fire-Resisting Front Doors. Gerhard Hansen og H. Winkelmann. 1959. 18 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 9,20.
- 32 Beregning af bærende konstruktioner ved hjælp af elektronisk cifferregnemaskine. 1. Plane konstruktioner sammensat af lige stænger — Analysis of Loadbearing Structures by Means of Electronic Digital Computer. 1. Two-Dimensional Structures Composed of Straight Members. V. Galløe. 1959. 68 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 18,40.
- 33 Forsøg med en større centralvarmekedel i Stationsparken — Test on a Boiler in a Central Heating Plant. P. Olufsen og Poul H. Rasmussen. 1959. 54 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 13,80.
- 34 Virkningen af byggetekniske fejl og mangler på vedligeholdelsesomkostningerne — The Effect of Faults in Building Techniques on Maintenance Costs. Erik Allin. 1959. 46 p. A4. Kr. 13,80.
- 35 Affølsledninger og dræn — Waste Pipes and Drains. Ove Hyllested. 1959. 22 p. A4. Kr. 9,20.
- 36 Røgundersøgelser ved større centralvarmeanlæg — Smoke Problems at Big Heating Plants. Knud Hansen. 1960. 60 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 18,40.
- 37 Om rengøringsudgifter — deres afhængighed af bygningens materialer og udformning — Cleaning Expenses — how they are Affected by the Materials and Planning of a Building. Alfred Born. 1960. 36 p. A4. Kr. 9,20.
- 38 Samlingsproblemer i montagebyggeri — Problems of Joining Room-Sized Building Units. Johs. F. Munch-Petersen og Ove Eriksson. 1960. 2. reviderede udgave 1963. 24 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 11,50.
- 39 Lydisolation i boligbyggeri — Sound Insulation of Dwellings. Fritz Ingerslev og Jørgen Kristensen. 1960. 114 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 37,60.
- 40 Bestrykningsmidler til fugtige ydervægge — Water Repellents for Exterior Brickwork. H. Dührkop og C. Falk. 1960. 48 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 18,40.
- 41 Bedre arbejdstegninger — et svensk forslag udarbejdet af HALTH-gruppen — Better Working Drawings — a Swedish Proposal presented by the HALTH-committee. Sven A. Tyrén. 1960. 32 p. A4. Kr. 9,20.
- 42 Facadebeklædningslementer — Facing Elements. Knud E. C. Nielsen. 1961. 28 p. A4. (Udsolgt — Out of print).
- 43 Projektmaterialers rationalisering — Rationalization of Contract Documents. Bjørn Bindslev. 1961. 80 p. A4. Kr. 17,25.
- 44 Boligventilation — Ventilation of Houses. Poul Becher og L. Evensen. 1961. 84 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 34,50.
- 45 Villakvarterets udformning — Planning of Garden Suburbs. Peter Bredsdorff. 1962. 22 p. A4. Kr. 11,50.
- 46 Bibliography on Building Documentation 1938-1962. R. Mølgaard Hansen. 1962. 40 p. A5. In English. Kr. 9,20.
- 47 Dagophold og sovesteder i etageboligen. En undersøgelse af rummenes brug i 3- og 4-rums lejligheder — Living Areas and Sleeping Places in Flats. A Study of the Utilization of the Rooms in 3- and 4-Room Flats. Aage Dalgas Rasmussen. 1963. 48 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 20,70.
- 48 Vejledning i bedømmelse af kvaliteten af den ældre bygningsbestand til brug ved kondemnering efter lov om boligtilsyn — Manual in Appraisal of the Quality of the Older Housing Stock According to the Rules for Condemnation Established by the Danish Building Inspection Act. Troels Smith. 1963. 64 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 28,75.
- 49 Spredningen på radiatorventilers strømningsmodstand — A Study of the Dispersion Displayed by Radiator Valves. Sven Mandorff, Kaj Ovesen og Hanne Spøhr. 1963. 82 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 28,75.
- 50 Fukt og fukttransport i porøse materialer — Moisture and Migration of Moisture in Porous Materials. Annanias Tveit. 1964. 20 p. A4. Norsk tekst med engelsk resume. Norwegian text with an English summary. Samtidig udsendt som rapport 39 fra Norges Byggeforskningsinstitut. Kr. 9,20.
- 51 Fjernvarmens økonomiske og juridiske problemer — Economical and Legal Problems of District Heating. Frederik E. Olsen. 1964. 32 p. A4. Kr. 23,00.
- 52 Sammenligning af varme- og lydtekniske forhold ved koblede vinduer og hermetikruder — A Comparison between Double Windows and Sealed Double-Glazed Windows from a Thermal and Acoustic Point of View. Georg Christensen. 1965. 24 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 17,25.
- 53 Et forsøgsapparat til bedømmelse af ydervægges frostbestandighed — A Test Apparatus for Evaluation of the Frost Resistance of Outer Wall Constructions. Georg Christensen. 1965. 22 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 17,25.

Fortegnelsen fortsættes på omslagets bagside.

SBI-rapporter *fortsat fra omslagets indersider*

- 54 Malings holdbarhed. Forsøg med maling af vinduer i nybygninger. Forsøg med maling af jernpladetag. En sammenligning af bygningsmalings holdbarhed udendørs og i weather-Ometre — The Durability of Paint. The Durability of Paint on Windows of New Houses. Testing the Paint of Galvanized Roofing Sheets. Correlation of the Durabilities of House Paints after Outdoor Exposure and after Testing in Weather-Ometers. Poul Becher, Karl Otto Juel Rasmussen og H. K. Raaschou Neilsen. 1965. 50 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 28,75.
- 55 Undersøgelse af et mindre fjernvarmeanlæg — Investigation of a Small District Heating Plant. Peter Olufsen. 1965. 2. oplag 1967. 44 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 28,75.
- 56 Måltypisering — Preferred Dimensions. 1966. 112 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 18,40.
- 57 Indendørsklima i skoler — In-Door Climate in Schools. Ib Andersen og G. R. Lundqvist. 1966. 100 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 52,35.
- 58 Charlottetøj. Erfaringer fra opførelsen af et muret højhus — Charlottetøj. Experience Gained in the Erection of a Multi-Storey Brickwork Building. 1967. 24 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 15,90.
- 59 Full Scale Fire Tests. The Spread of Fire from a Chamber to a Corridor. 1967. 56 p. + Enclosure. A4. In English. Kr. 52,35.
- 60 Boligundersøgelse i bebyggelsen Værebros Park — User Study in the Housing Estate: »Værebros Park«. Ingrid Gehl og Finn Vedel-Petersen. 1969. 54 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 36,80.
- 61 Elektrisk opvarmning ved vinterstøbning af beton — Electric Heating by Winter-Concreting. Alice Kjær. 1969. 2. oplag 1969. 38 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 23,00.
- 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 lydisolations mellem boliger i rækkehus og lignende bebyggelse — Sound Transmission Between Individual Dwellings in Terrace Houses and Houses of Similar Types. Jørgen Kristensen. 1970. 40 p. + 3 tvlr. A4. Danish text with an English summary. Kr. 23,00.
- 65 Styrke- og stivhedsforsøg med brædder og plader til tage og gulve — Strength and Rigidity of Boards and Sheets for Roofs and Floors. T. Feldborg Nielsen og Marius Johansen. 1970. 62 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 27,60.
- 66 A Method to Determine the Dimensions of a Structural Element Corresponding to a Given Probability of Failure. Eero Paloheimo. 1970. 26 p. A4. In English. Kr. 23,00.
- 67 Forsøg med træforbindelser med bolte og 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. *Under forberedelse.* In preparation.
- 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. *Under forberedelse.* In preparation.
- 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. *Under forberedelse – In preparation.*
- 76 Tæt lav – en boligform: Boligundersøgelse — Low-rise High-density Housing: User Reactions in 11 Projects around Copenhagen. *Under forberedelse – In preparation.*
- 77 Tæt lav – en boligform: Planlægning — Low-rise High-density Housing: *Under forberedelse – In preparation.*

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 SBIs publikationsfortegnelser.