



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Sunde bygninger og luftfordeling i rum

et delprogram om transportprocesser under rammeprogrammet "Sunde Bygninger"

Nielsen, Peter V.; Brohus, Henrik; Heiselberg, Per; Hyldgård, Carl-Erik; Jensen, Gunnar P.

Publication date:
1994

Document Version
Accepteret manuscript, peer-review version

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Nielsen, P. V., Brohus, H., Heiselberg, P., Hyldgård, C-E., & Jensen, G. P. (1994). *Sunde bygninger og luftfordeling i rum: et delprogram om transportprocesser under rammeprogrammet "Sunde Bygninger"*. Institut for Bygningsteknik, Aalborg Universitet. Indoor Environmental Engineering Nr. 25

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- ? Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- ? You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- ? You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

SUNDE BYGNINGER OG LUFTFORDELING I RUM - et delprogram om transportprocesser under rammeprogrammet "Sunde Bygninger"

af

Peter V. Nielsen, Henrik Brohus, Per Heiselberg, C.E. Hyldgård og Gunnar P. Jensen

Aalborg Universitet

Aalborg Universitet deltager sammen med fire andre danske forskningsinstitutioner i et samarbejde om indeklimaforskning inden for rammeprogrammet "Sunde Bygninger" finansieret af Statens Teknisk-Videnskabelige Forskningsråd. Aalborg Universitet arbejder specielt med transportprocesserne dvs. gassers og dampes transport fra materialeemission til personeksponering.

INDLEDNING

Sunde bygninger er i høj grad et spørgsmål om indendørs luftkvalitet. De processer, der er involveret i luftkvalitetsforhold, kan betragtes som led i en kæde. Det begynder med afgasning fra byggematerialer, emission fra personer, maskiner og ventilationskomponenter. Derefter er der tale om transport med ventilationsluft og eksponering af personer. Kæden slutter med, at personer kan opleve en fornemmelse af dårlig luft, slimhindeirritation, hovedpine og svien i øjnene.

Det er øjensynligt, at man opnår de bedste resultater ved at minimere de kilder til flygtige organiske forbindelser, som nedsætter luftkvaliteten, men der vil altid være nogen afgasning fra byggematerialer samt anden emission af gasser og dampe i bygninger. Derfor bliver transporten med ventilationsluft og rumluft samt tilførsel af "frisk" luft et væsentligt led i kæden. Klimagruppen på Aalborg Universitet har mangeårig erfaring med ventilationsprincipper, luftfordeling i rum og transportprocesser i rumluft, og gruppen deltager derfor primært med løsning af de problemer og muligheder, der ligger i transportprocesserne. I det følgende skal der gives en nærmere beskrivelse af dette arbejde.

TRANSPORT AF GASSER OG DAMPE

Der er tradition for at anvende en simpel transportmodel, der forudsætter fuld opblanding af dampe og gasser i det volumen, der er til rådighed i et lokale og derefter korrigere dette resultat med ventilationseffektiviteten. I "Guidelines for Ventilation Requirements in Buildings", [1], er det skønnet, at man kan få koncentrationer i åndingszonen, som afviger fra den fuldt opblandede værdi med en faktor på 2,5 i tilfælde af opblandingsventilation og med en faktor på ca. 5 i tilfælde af en uheldig anvendelse af fortrængningsventilation. Målinger på Aalborg Universitet bekræfter disse størrelser, [2], og det viser nødvendigheden af at bestemme de virkelige koncentrationsfelter i et lokale.

De store koncentrationsgradienter i lokaler kan betyde, at problemer med luftfordelingen bliver tolket som et byggematerialeproblem. Målinger i nogle bygninger med et uhen-sigtsmæssigt luftfordelingssystem på Aalborg Universitet har vist koncentrationer i

opholdszonen, der er 10 gange værdien ved fuld opblanding. Hvis fx en dørkarm bliver tætnet med fugemasse i et sådant rum, opleves det i praksis, som om fugens længde bliver ganget med 10. Derfor kan det ikke undgås, at der især kommer fokus på afgang fra materialer, selv om problemet i dette tilfælde primært handler om luftfordelingen.

I arbejdet med at bestemme personers eksponering for gasser og dampe (VOC'er) i et lokale med reelle strømningsforhold anvendes den opdeling i delelementer, der er vist i figur 1. Emissionen ved en vægflade (1) er afhængig af fx materiale, temperatur, luftfugtighed og lufthastighed. Stoffet transporteres ved konvektion og diffusion (2) igennem lokalet, og denne del er afhængig af varme- og ventilationsudstyr, rumgeometri, varmekilder og emissionskildens placering. Den termiske strømning omkring en person vil transportere stoffet op i personens indånding, samtidig med at der sker en opblanding med omgivende luft i hele personens højde (3). Et menneske er også en varme- og forureningskilde, som det er vist med (4) på figur 1.

I det følgende beskrives lidt af det arbejde, der foregår på Aalborg Universitet inden for områderne:

- (1) Emission fra byggemateriale og udstyr
- (2) Transport af forurening i et lokale
- (3) Lokal strømning omkring personer og personeksponering
- (4) Emission fra personer

EMISSION FRA BYGGEMATERIALE OG UDSTYR

Mange hyppigt anvendte byggematerialer såsom linoleum, vægmaling, fugemasse etc. afgiver stoffer - typisk flygtige organiske forbindelser -, som påvirker menneskets velbefindende i negativ retning, se figur 2. I bestræbelserne på at bestemme forskellige forureningskilders styrke og påvirkning af mennesker har Statens Byggeforskningsinstitut (SBI) i samarbejde med Arbejdsmiljøinstituttet (AMI) designet et testkammer kaldet CLIMPAQ, hvor byggematerialers forureningsafgivelse kan vurderes under kontrollerede forhold, [3].

Vor del af opgaven er at "oversætte" målingerne i CLIMPAQ til forholdene i fuld skala, hvor der er andre strømnings- og størrelsesforhold. Der opbygges en model, som beskriver forureningsafgivelsen i afhængighed af forholdene i materiale og omgivelser. Specielt er der fokuseret på temperatur- og hastighedsforhold, men luftens fugtighed og materialets alder skal også vurderes.

Det er målet at sammenkæde modellen for forureningsafgivelse med en computermode for transport og spredning af forurening i lokaler.

TRANSPORT AF FORURENING I ET LOKALE

Spredningen af en forurening i et lokale vil være afhængig af forureningskildens placering og af luftstrømningsforholdene.

Figur 3 viser, hvordan koncentrationsfeltet i et lokale med opblandingsventilation varierer ved forskellige placeringer af en forureningskilde i opholdszonen. En placering af forureningskilden i et område med god ventilering giver ensartede koncentrationer i lokalet, mens en placering af forureningskilden i en dårligere ventileret del af lokalet giver høje lokale koncentrationer.

Luftstrømningsforholdene i et lokale er afhængige af ventilations- og opvarmningsformen, af lokalets geometri og af tilstedeværelsen af varmekilder og forhindringer i strømningsfeltet som fx møbler og andet inventar, men også rummets belastningssituation vil være afgørende. Luftstrømningsforholdene i et lokale vil være forskellige på en vinterdag med opvarmningsbehov og på en forårsdag med solindfald og kølebehov. Den samme forureningskilde vil derfor også give forskellige koncentrationsfelter.

Koncentrationsfeltet i et lokale opstår ved et samspil mellem flere faktorer, og en beregning kræver, at alle tages i betragtning samtidigt. Den eneste måde dette kan gøres på er ved hjælp af en computermode, [5].

I computermode, lokalet i tusindvis af delvolumener, og for hvert delvolumen opstilles balanceligninger for masse, impuls, energi samt for hver enkelt forureningskomponent for sig. Randværdimodeller for ventilations- og opvarmningssystem, varmekilde, inventar og belastninger, som klimagruppen har arbejdet med i flere år, indlægges sammen med randværdimode, lokalet forureningsafgivelse fra byggematerialer og koncentrationsfeltet kan herefter beregnes.

LOKAL STRØMNING OMKRING PERSONER OG PERSONEKSPONERING

Det er væsentligt at vide, hvordan personerne i et ventileret rum påvirkes af en given forureningskilde. For at kunne foretage nogle realistiske fuldskalaforsøg, hvor der tages hensyn til personers tilstedeværelse, benyttes der ved målingerne en termisk mannequin med åndingsfunktion, se figur 4.

Mennesker har ved normal komforttilstand en højere overfladetemperatur end den omgivende luft. Det giver anledning til dannelsen af et termisk grænselag langs personen, som medriver luft fra omgivelserne og transporterer den op omkring personen og dermed ind i indåndingszonen. Grænselaget vil således kunne påvirke indeluftkvaliteten lokalt omkring personen, hvis der er koncentrationsgradienter i rummet, [6]. Ved fortrængningsventilation, hvor rummet er opdelt i en øvre foruren zone og en nedre mindre foruren zone, vil medrivning og transport af den "friskere" luft fra den nederste del af rummet lokalt kunne give en bedre luftkvalitet end i omgivelserne, se reference [7] og figur 5.

Aalborg Universitet arbejder i forbindelse med rammeprogrammet blandt andet på udvikling af modeller for personeksponering, som kan forudsige forureningskoncentrationen i indåndingsluften, når forholdene i omgivelserne er kendte, hvilket svarer til delelement (3) på figur 1.

EMISSION FRA PERSONER

En person påvirker den omgivende luft med varme i form af konvektion, ved afgivelse af bioeffluenter og vanddamp, ved ånding og ved rygning.

På Aalborg Universitet er vi netop nu i færd med at måle hastighedsprofiler i konvektionsstrømmen i forskellige højder over en person. Målingerne udføres på en termisk mannequin, kaldet Comfortina, ved forskellige aktivitetsniveauer, stående og siddende, med og uden ånding m.v.. Disse måleresultater skal bruges som inddata til computermodeller.

Sporgasmålinger på Comfortina har vist, [8], at de afgivne bioeffluenter og vanddamp følger konvektionsstrømmen op over hovedet, med mindre personen udsættes for et vandret lufthastighedsfelt af en vis størrelse. I rolig luft og ved fortrængningsventilation vil konvektionsstrømmen således bringe de afgivne stoffer op mod rummets loft, og kun en minimal del af disse vil nå at undslippe konvektionsstrømmen.

Hvad ånding angår, har målingerne utvetydigt vist, at indåndingen tages fra den del af konvektionsstrømmen, der strømmer op langs brystet, med mindre denne konvektionsstrøm forhindres af vandrette lufthastigheder. Et vigtigt spørgsmål er så, om udåndingsluften gribes af denne konvektionsstrøm, eller om den gennemtrænger denne. Hvis udåndingsluften under visse indeklimaforhold bliver grebet af konvektionsstrømmen og ført op til indåndingszonen, kan dette måske også være årsag til en følelse af dårligt indeklima.

Målinger, hvor sporgas er tilført udåndingsluften fra Comfortina, har vist, [8], at udånding gennem næsen gennemtrænger den opadstigende konvektionsstrøm omkring kroppen og slipper helt fri heraf. Hvad der herefter sker med "udåndingsskyerne" afhænger af temperaturforholdene og luftbevægelserne i den omgivende luft. Hvis den omgivende luft er isothermisk og rolig, stiger "skyerne" op mod loftet, men hvis der er en betragtelig temperaturgradient i den omgivende luft, som fx ved fortrængningsventilation, kan man risikere, at "udåndingsskyerne" ikke har tilstrækkelig opdrift til at trænge op gennem et stigende temperaturfelt. Figur 6 viser et eksempel herpå.

Figur 6 viser det meget væsentlige, at fortrængningsventilation ikke er egnet til at fjerne menneskers åndingsforurening fra opholdszonen. Fortrængningsventilation egner sig kun, når varme- og forureningskilde falder sammen, og det har netop vist sig ikke at være tilfældet for åndingsforureningen og den varme konvektionsstrøm fra mennesker.

Rygning vil i mange tilfælde kunne se ud som vist på figur 6. Derfor er fortrængningsventilation ikke egnet til rum, hvor der ryges meget.

PERSPEKTIV

Det endelige resultat af forskningsarbejdet er en model, der giver mulighed for at følge hver enkelt forureningskomponent i rummet og bestemme den samlede virkning på en person i afhængighed af kildens placering, personens placering, rummets geometri og ventilationsudstyr. Dette værktøj vil få stor betydning, når man skal vælge ventilations- og luftfordelingsudstyr. Det er muligt at få en betydelig bedre vurdering af eksponeringen end den, der er tilgængelig i dag, og dette vil være en stor hjælp ved vurdering af fremtidens løsninger.

Rammeprogrammet vil blive afsluttet med et interventionsstudium, hvor der også vil blive arbejdet med ændringer i ventilationsforholdene, og det gennemførte arbejde bliver således afprøvet i en eller flere praktiske situationer.

LITTERATUR

- [1] **Guidelines for Ventilation Requirements in Buildings.** Report No. 11, Commission of the European Communities, EUR 1444 9 EN, 1992.
- [2] Nielsen P.V., **Air Distribution System - Room Air Movement and Ventilation Effectiveness.** 1992 International Symposium on Room Air Convection and Ventilation Effectiveness, ASHRAE, 1993.
- [3] Gunnarsen L., Nielsen P.A. og Wolkoff P., **Design and Characterization of the CLIMPAQ.** Chamber for Laboratory Investigations of Materials, Pollution and Air Quality. Indoor Air 1994, 4: 56-62.
- [4] Nielsen P.V., **Forurenende processer - og den almene ventilation.** Aalborg Universitet, ISSN 0902-8002 U9008, 1990.
- [5] Nielsen P.V., Brohus H., Christensen K.S., Jacobsen T. og Madsen U., **Computerberegning af luftstrømning i rum.** VVS Vol. 29, No. 10, 1993.
- [6] Brohus H. og Nielsen P.V. (1994), **Personal Exposure in a Ventilated Room with Concentration Gradients.** Proc. Healthy Buildings '94, 3rd International Conference, Budapest, Vol. 2, pp. 559-564.
- [7] Brohus H. og Nielsen P.V. (1994), **Contaminant Distribution around Persons in Rooms Ventilated by Displacement Ventilation.** Proc. Roomvent'94, Fourth International Conference on Air Distribution in Rooms, Krakow, Vol. 1, pp. 293-312.
- [8] Hyldgård C.E., **Humans as a Source of Heat and Air Pollution.** Proc. Roomvent'94, Fourth International Conference on Air Distribution in Rooms, Krakow, Vol. 1, pp. 413-433.

Figur 1. Transportprocesser i et rum.

Figur 2. Et typisk lokale i offentligt byggeri. Lokalet indeholder de fem elementer, der specielt sættes fokus på i rammeprogrammet nemlig vægmaling, fugemasse, halvård gulvbelægning, gulvtæpper og lak på træflader.

Figur 3. Koncentrationsfordelingen i et lokale med tre forskellige placeringer af en emissionskilde. Udsugningskoncentrationen har værdien 1,0. Reference [4].

Figur 4. Termisk mannequin med åndingsfunktion. Mannequinen er en model af en 1,7 m høj kvinde af gennemsnitsstørrelse. Mannequinen består af 16 dele, som er individuelt reguleret til at have en overfladetemperatur og varmeafgivelse svarende til en person i termisk komfort. Ved hjælp af en kunstig lunge kan vejrtrækningen reguleres. Foto: Thomas Pedersen.

Figur 5. Lokal forbedring af luftkvalitet ved fortrængningsventilation. Figuren viser vertikalt koncentrationsprofil og koncentrationen i indåndingsluften i et rum, der er ventileret ved fortrængningsventilation. Forskellen mellem koncentrationen i indåndingsluften (0,6) og koncentrationen i omgivelserne (1,0) skyldes effekten af personens termiske grænselag. Her medrives og transporteres luft fra den nederste del af rummet til indåndingszonen, hvilket giver anledning til en forbedret luftkvalitet.

Figur 6. Udånding af røg gennem næsen svarende til aktivitetsniveauet "hvile". Lokalet er ventileret med fortrængningsventilation. Temperaturgradient fra gulvhøjde til 2 m over gulv er 1,6°C. Bemærk at udåndingsluften, der er tilsat røg, ikke har tilstrækkelig overtemperatur til at stige op gennem det stigende temperaturfelt i rummet.

Healthy Buildings and Air Distribution in Rooms

The article describes a number of transport processes which are elements of an air distribution and therefore essential to the air quality in a healthy building.

Emission from building materials and equipment, transport of Volatile Organic Compounds and other gases, local flow around a person and personal exposure as well as emission from a human being are some of these elements.

The research work described in the article is a part of a large Danish research programme called "Healthy Buildings".

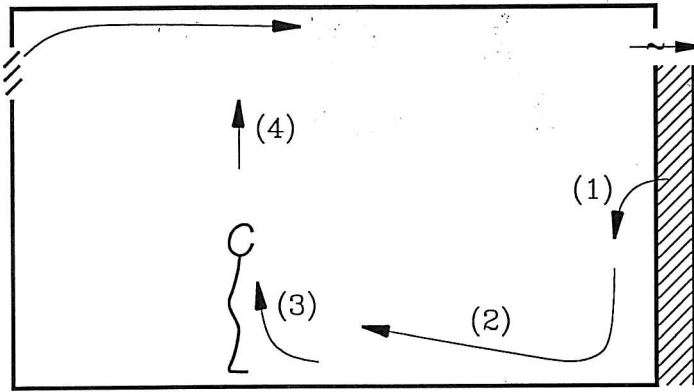


Fig. 1.

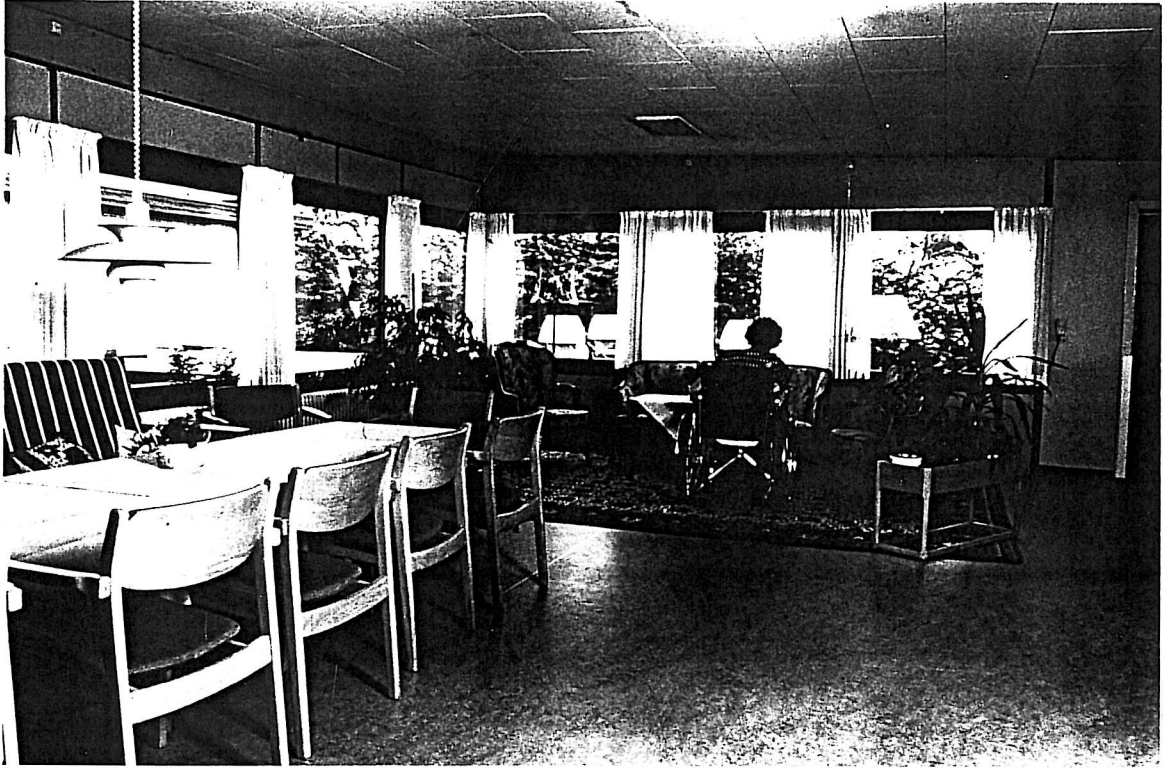


Fig. 2.

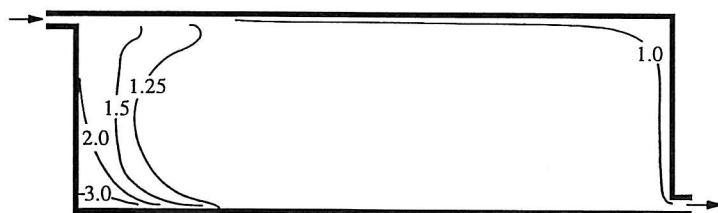
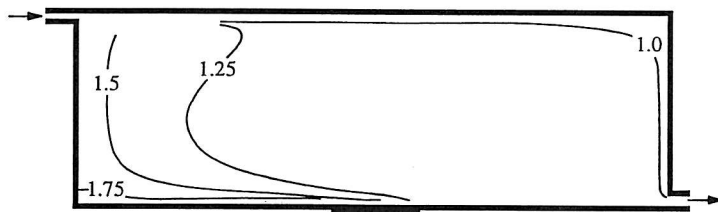
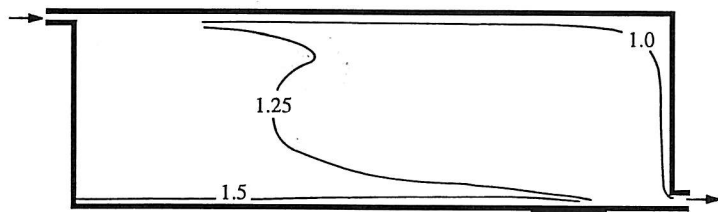
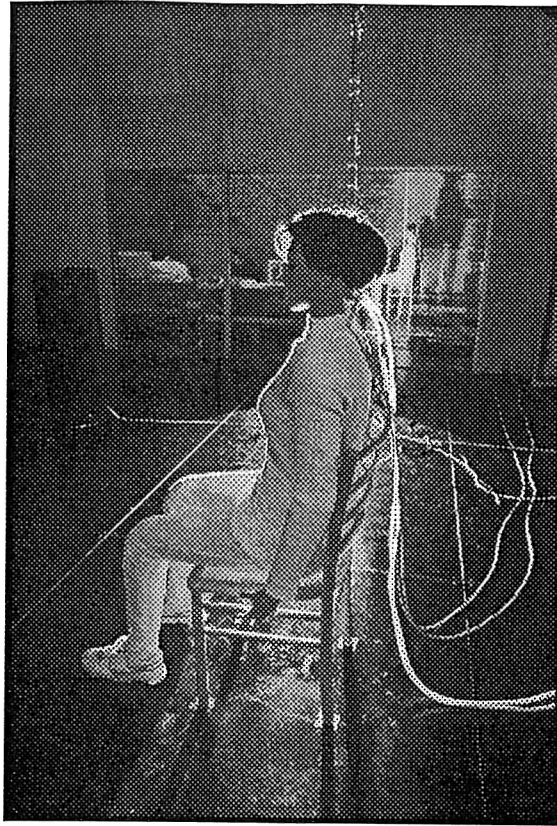


Fig. 3.



Figur 4. Termisk mannequin med åndingsfunktion. Mannequinen er en model af en 1,7 m høj kvinde af gennemsnitsstørrelse. Den består af 16 dele, som er individuelt reguleret til at have en overfladetemperatur og varmeafgivelse svarende til en person i termisk komfort. Ved hjælp af en kunstig lunge kan vejtrækningen reguleres. Foto: Thomas Pedersen.

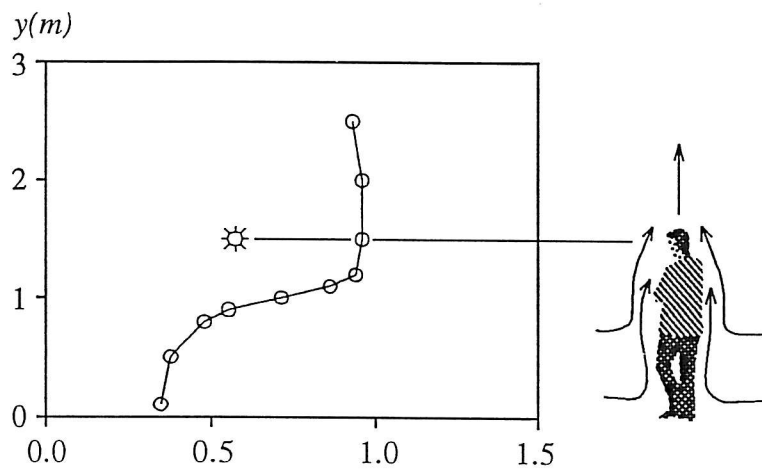
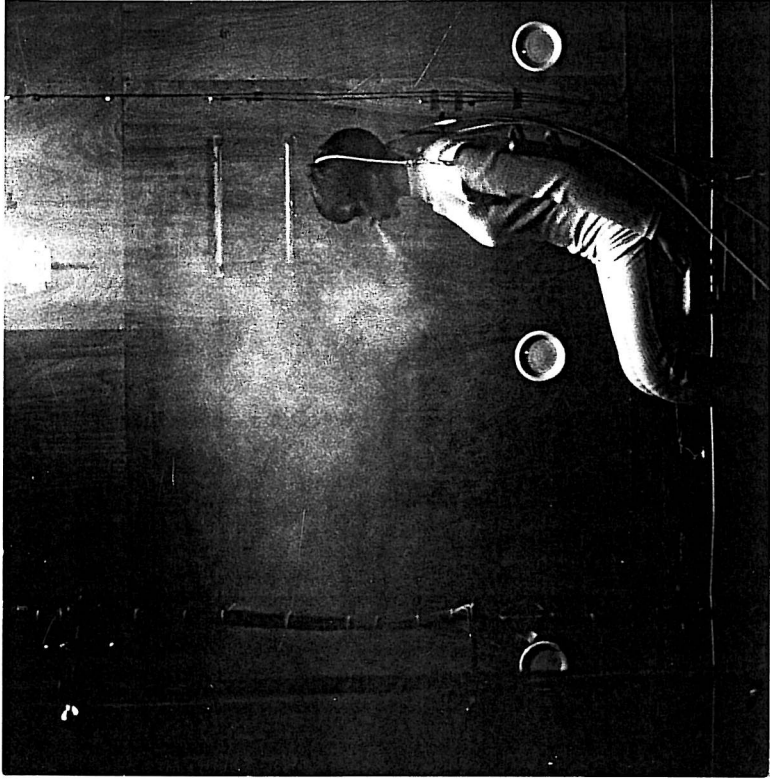


Fig. 5.



Lagdeling af
udåndingsluft



Fig. 6.