



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Aalborg Universitet

Støv i ventilationsanlæg

Bach Nielsen, J.; Valbjørn, O.; Gravesen, S.; Mølhav, L.

Publication date:
1990

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Bach Nielsen, J., Valbjørn, O., Gravesen, S., & Mølhav, L. (1990). *Støv i ventilationsanlæg*. SBI forlag. SBI-rapport Nr. 206

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.

Støv i ventilationsanlæg

SBI

Udarbejdet for Byggestyrelsen

SBI-RAPPORT 206 · STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT 1990



Støv i ventilationsanlæg

JAN BACH NIELSEN
OLE VALBJØRN
SUZANNE GRAVESEN
LARS MØLHAVE



SBI-rapporter er beretninger om afsluttede forskningsprojekter og afsluttede faser i fasedelte projekter samt beretninger fra visse konferencer og symposier.

SBI-publikationer. Statens Byggeforskningsinstituts publikationer findes i følgende serier: Anvisninger, Rapporter, Meddelelser, Byplanlægning, Landbrugsbyggeri og Beton. Salg sker gennem boghandelen eller direkte fra SBI. Instituttets årsberetning og publiceringsliste er gratis og kan rekvireres fra SBI.

SBI-abonnement. Instituttets publikationer kan også fås ved at tegne et abonnement. Det sikrer samtidig løbende orientering om alle nye udgivelser. Information om abonnementernes omfang og vilkår fås hos SBI.

ISBN 87-563-0749-7.

ISSN 0573-9985.

Pris: Kr. 79,00 inkl. 22 pct. moms.

Oplag: 800

Tryk: Bjørvig Offset, Hvidovre.

Renskrivning: Annette Charlotte Hansen

Tegninger: Børge Holmen

Omslag: Henning Holmsted.

Statens Byggeforskningsinstitut.

Postboks 119, 2970 Hørsholm. Telefon 42865533.

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen:

SBI-rapport 206: Støv i ventilationsanlæg. 1990.

Indhold

	side
Forord	4
Sammenfatning og konklusion	5
Indledning	9
Undersøgelser- og analysemetoder	13
Resultater	17
Karakteristika for ventilationsanlæggene	17
Støvmængder i kanaler	18
Mikrobielle analyser af støvet	22
Organiske gasser og dampe	26
Støvets lugt	28
Sammenhænge mellem forureningerne	29
Summary	30
Litteratur	34

Forord

Af Bygningsreglementet og Dansk Ingeniørforenings Norm for ventilationsanlæg fremgår, at ventilationsanlæg skal være udformet således, at ventilationskanalerne kan renses. Dette begrundes med, at volumenstrømmen skal kunne holdes inden for angivne tolerancer, samt at der ikke må kunne opstå risiko for spredning af brand eller for hygiejniske gener.

Tidligere undersøgelser har vist, at især tilsnavsning af varmeblader og af indblæsnings- og udsugningsarmaturer har reduceret volumenstrømmen betydeligt. I de seneste år er opmærksomheden yderligere blevet rettet mod behovet for rensning af kanalerne af hygiejniske grunde. Statens Byggeforskningsinstitut (SBI) har derfor fundet det hensigtsmæssigt at undersøge, hvor meget støv der er i ventilationsanlæg, og om dette støv udgør en hygiejnisk ulempe.

I fællesskab med Allergologisk Laboratorium (ALK), Hørsholm, og Institut for Miljø-og Arbejdsmedicin (IMA), Århus, har SBI fået bevilget midler af Byggestyrelsen til en undersøgelse af støvet i et antal ventilationsanlæg. Resultatet af denne undersøgelse fremlægges i denne rapport.

Foruden rapportens forfattere har teknisk assistent Hans Per Jeppesen, SBI, laborant Jane Piasecki, ALK og laborant Dorte Benmouny, IMA, medvirket i undersøgelsen.

Undersøgelsen er udført under Byggestyrelsens journal nr. 722-11:6-85.

Statens Byggeforskningsinstitut
Afdelingen for indeklimateknik, oktober 1989.
Erik Christophersen

Sammenfatning og konklusion

Undersøgelsen af støv i ventilationsanlæg omfattede 13 ventilationsanlæg uden køling eller befugtning. 7 af anlæggene var udeluftsanlæg og 6 var recirkulationsanlæg. Anlæggene der ventilerede skoler og kontorer var fra 5 til 29 år gamle. Der blev udtaget støvprøver fra vandrette kanalstrækninger, og der blev taget prøver af filtrene.

Formål

Formålet var at undersøge om det støv, der er aflejret i ventilationskanaler til indblæsning af luft i ikke-industrielle bygninger kan have betydning for luftkvaliteten i bygningerne.

Undersøgelsen

Ventilationskanalerne blev undersøgt for aflejret støvmængde, og støvet blev undersøgt for indhold af makromolekylære organiske komponenter, mikrosvampe og bakterier. Desuden målt afgangningen af organiske gasser og dampe af opløsningsmiddeltypen, og lugtafgivelsen fra støvet blev vurderet af et lugtpanel af personer. De to sidstnævnte undersøgelser udførtes på støvet i gennemluftet tilstand, som det vil være under konstant drift af ventilationsanlæggene.

Støvmængde

Størstedelen af støvet blev fundet i bunden af kanalerne. Den aflejrede støvmængde i ventilationsanlæggenes indblæsningskanaler var fra 1,1 til 50,9 g pr. m² kanalbundflade. Gennemsnitlig var der 6,8 g pr. m², når der ses bort fra den ekstreme værdi på 50,9 g pr. m². Der var ingen umiddelbar forklaring på, hvorfor dette ventilationsanlæg afveg fra de øvrige.

Der var ikke forskel på den fundne gennemsnitlige

støvmængde i indblæsningskanalerne for henholdsvis anlæg med og uden recirkulation. Tre af anlæggene med recirkulation havde filtre med væsentlig bedre filtreringsevne end de øvrige. Når der tages hensyn til driftstid, filterets effektivitet og lufthastigheden i kanaler, udfældes der dog mindre støv i udeluftsanlægs indblæsningskanaler.

Indblæsningskanalernes støvmængde pr. driftsår, der er driftstiden omregnet til år, var 0,7 g pr. m² kanalbundflade pr. driftsår. De fundne støvmængder i kanalerne kan ikke give anledning til nogen væsentlig reduktion af volumenstrømmen.

Udsugningskanalernes støvmængde blev undersøgt for recirkulationsanlæggenes vedkommende. Der var gennemsnitlig 2,7 gange mere støv i disse end i indblæsningskanalerne.

Organisk støv

Støvet fra indblæsningskanalerne indeholdt både makromolekylære organiske komponenter, mikrosvampe, og bakterier. Der var dog ingen synlig vækst af mikrosvampe.

Indholdet af makromolekylære organiske komponenter var fra 0,9 til 8,9 mg pr. g støv fra kanaler og fra 0,2 til 5,1 mg pr. g støv fra filtre. Der var ikke forskel på indholdet i støv fra indblæsnings- og udsugningskanaler. Indholdet af makromolekylære organiske komponenter var ikke forskelligt fra det, der ved andre undersøgelser er fundet i støv opsuget fra gulve i kontorer, hvor det har vist sig at variere sammen med hyppigheden af slimhindegener hos de ansatte.

Mikrosvampe

Antallet af levedygtige mikrosvampe var fra 70-6200 pr. g støv i indblæsningskanalerne. Gennemsnitlig var der flere i udsugningskanalerne. I filtrene var der fra 70-3400 mikrosvampe pr. g støv. Det er samme størrelsesorden som i støv fra gulve i kontorer. De dominerende mikrosvampeslægter var *Penicillium*, *Chaetomium*, *Aspergillus*, *Alternaria*, *Mucor* og *Rhizopus*.

Bakterier

Antallet af levedygtige bakterier pr. g støv var fra 50-5000 i ventilationsanlæggenes indblæsningskanaler. Tilsvarende indeholdt filterstøvet fra 100-6700 leve-

dygtige bakterier pr. g. Der var tendens til færre bakterier i udeluftsanlæggenes indblæsningskanaler end i recirkulationsanlæggenes. Størrelsesordenen af bakterieantallet var væsentligt mindre i det undersøgte støv end i støv fra gulve i kontorer.

Generelt kan man sige om de mikrobiologiske forhold, at det støv, der var i de undersøgte indblæsningskanaler, ikke adskiller sig fra det støv, som findes på gulve i kontorer, samt at støvet er "renere" i indblæsningskanaler end i udsugningskanaler.

Afgasning og lugt

Undersøgelsen af afgasningen af organiske gasser og dampe viste, at støvet, når det var gennemluftet og tørt, som det vil være under konstant drift af et ventilationsanlæg, afgav gasser og dampe (TVOC) i en størrelsesorden der svarer til under 1 pct. af, hvad der findes i rumluften. Denne egenafgasning forventes derfor ikke at have betydning under drift. Lugten fra støvet var ligeledes så svag, at den må være uden betydning med anlæggene i drift.

Konklusion

Undersøgelsen af ventilationsanlæg i skoler og kontorer peger på, at der generelt er lav forekomst af støv i disse ventilationsanlægs kanaler, og at denne forekomst i langt de fleste tilfælde ingen betydning har for volumenstrømmen. Det undersøgte støv adskiller sig ikke mikrobiologisk fra gulvstøv i kontorlokaler med hensyn til makromolekylære organiske komponenter og mikrosvampe. Der var færre bakterier end i gulvstøvet. Støvet's egenafgasning og lugtafgivelse er uden betydning for indeklimaet, men denne undersøgelse kan ikke vise om støvet har betydning, ved at det kan binde gasser og dampe, fx når ventilationsanlægget er standset, og afgive dem igen ved start. Støvet er i sin mængde og sammensætning i nogle anlæg en potentiel risiko i tilfælde af at vækstvilkårene ændres, fx ved brug af befugtning eller køling, der vil give fugtige flader i anlægget. Filtrenes betydning for de undersøgte mikrobielle forhold kan tænkes at være stor, men da de fleste filtre var af en type, som ikke havde virkning over for mikrobielle forureninger, kan der

ikke uddrages entydige resultater herom.

Yderligere undersøgelser

Da flere indeklimaundersøgelser peger på at ventilationsanlæg med indblæsning, køling, befugtning eller recirkulation kan være medvirkende årsag til indeklimate problemer, bør følgende forhold undersøges nærmere:

- Undersøgelse af mikrobiel forurening og lugt fra støv fra ventilationsanlæg med befugtning og køling.
- Undersøgelse af støvets betydning som "lager" for forureninger, inklusiv lugt, fra enten recirkuleret luft eller anlæggenes komponenter.
- Undersøgelse af temperatur- og fugtændringers betydning for en eventuel lagringseffekt.

Indledning

Baggrund

Det har længe været kendt at komponenter og kanaler i ventilationsanlæg med tiden tilsnævses. Der er således både i Bygningsreglementet og i Dansk Ingeniørforenings Norm for Ventilationsanlæg krav om at ventilationssystemet skal udformes, så det kan renses. Dette begrundes både med hensynet til at volumenstrømmen ikke må reduceres og til hygiejniske forhold.

Rensning af anlæg

Af (1) fremgik det, at en rensning af udsugningsanlæg i ca. 10 år gamle etageboliger øgede volumenstrømmen 100 pct. og af (2) fremgik det, at rensning af ventilationsanlæg i kontorer kunne resultere i en forøgelse af volumenstrømmen op til 45 pct. I begge tilfælde var det dog rensningen af enkeltkomponenter som filter, varmeblade samt indblæsnings- og udsugningsarmaturer, der betød mest.

Skjulte forureninger

I en undersøgelse, der omfattede kontorer i 15 kontorbygninger beskrevet i (3), blev det fundet, at lugtbelastningen i gennemsnit svarede til lugtbelastningen fra 8 gange flere personer, end der var tilstede. I artiklen angives, at alene ventilationsanlæggene var årsag til ca. 3 gange større lugtbelastning end personerne. Undersøgelsen indebar dog ikke en vurdering af ventilationsluften direkte, men af det ventilerede lokale i forhold til det uventilerede lokale. Den fundne forskel i lugtniveau kan således delvis skyldes ændrede afgasningsforhold for lokalets materialer.

Lugten kan
"skylles" bort

Et forsøg udført i SBI's bygninger med brug af et ikke-trænet lugtpanel på 5 personer til at vurdere lugten af indblæsningsluften fra et friskluftanlæg viste, at indblæsningsluften fra anlægget afgav en ubehagelig lugt i 5-6 timer, når anlægget havde været afbrudt i nogle døgn.

Anlæggets tilsnavsning blev undersøgt og støvet mikrobiologisk analyseret. Kanaler og filtre var ikke specielt snavsede, men filteret afgav en ubehagelig lugt, som svarede til indblæsningsluftens. Den mikrobiologiske undersøgelse viste, at der i kanalstøvet og i filterstøvet kun var få svampesporer og aktinomyce-ter, men der var mange bakterier i kanalstøvet. Luftindtaget er i jordniveau, og luften føres gennem en støbt kanal under jorden. I denne kanal stod en smule vand. Dette vand var uacceptabelt forurenset med svampesporer og bakterier. Hvorvidt lugten havde sammenhæng med bakterievæksten blev ikke undersøgt.

Organiske gasser
og dampe

I et projekt (4), hvor især de organiske gasser og dampe fra et ventilationsanlæg med recirkulation blev undersøgt, konkluderes det (omend forsigtigt), at der kunne være større kilder til forurening i anlægget, end der var i de rum, anlægget betjente. Undersøgelsen viste desuden, at start af anlægget efter at det var stoppet blot én nat, bevirkede en kortvarig, kraftig stigning i ventilationsluftens koncentration af organiske gasser og dampe.

Mikrobiel foru-
rening

Ventilationsanlæg med befugtning har en indbygget risiko for mikrobiel forurening, idet visse befugtere skaber gode forhold for svamp- og bakterievækst i befugteren. Arbejder anlæggene med høj fugtighed, kan der ligeledes i perioder være risiko for vækst af svampe i kanalsystemet. Sygdomsfremkaldende bakterier, hvoraf Legionella anses for den farligste, tilføres oftest udefra, især hvor luftindtaget er placeret tæt ved steder med stillestående vand, der forstøves i dråbeform, som f.eks. ved et køleanlægs kondensatordel.

Hypoteser

Det fremgår af de nævnte erfaringer, at der er behov for en detaljeret undersøgelse af, om ventilationsanlæg

bidrager til forurening af de ventilerede lokaler fremfor at reducere forureningen. Fra de refererede undersøgelser kan der opstilles flere hypoteser:

1. Ventilationsanlæggenes komponenter afgiver forureninger til luften.
2. Det akkumulerede støv er en kilde til lugt, mikrobiel forurening eller afgasning, der frigives afhængig af de fysiske omstændigheder.
3. Kombinationer af hypoteserne 1 og 2.
4. Virkningen af de forhold, der er nævnt under hypoteserne 1 og 2, forstærkes af, at anlæggenes indre overflade herunder også støvbelægningen, adsorberer forureninger i visse perioder, fx. i stilstand eller periodevis recirkulation, og afgiver disse forureninger over en kort tid, men til gengæld med stor kildestyrke ved start.

Den undersøgte hypotese

I denne undersøgelse blev hypotese 2 afprøvet, dvs. det blev undersøgt, om det støv, der kan opsamles i ventilationsanlæggenes indblæsningskanaler, i sig selv, dvs. uden at der er adsorberet lette, flygtige komponenter, kan udgøre en hygiejnisk ulempe.

Formål

Projektets formål var således at undersøge og vurdere den luftkvalitetsmæssige betydning af det støv, der er aflejret i ventilationskanaler til indblæsning af luft i ikke industrielle bygninger.

Metode

Det aflejrede støv blev opsamlet og vejlet. Støvet blev analyseret for allergene bestanddele, lugt og afgasning for at undersøge, om det kan udgøre en risiko for at forurene ventilationsluften. Resultaterne blev sammenholdt med anlægstype, filtertype, anlæggenes alder, driftstid og andre anlægskarakteristika for at kunne bedre grundlaget for at vejlede i rensning af ventilationsanlæg.

Projekts begrænsning

Undersøgelsen omfattede alene støvets mængde og bestanddele, og ikke dets adsorptionsegenskaber, omtalt i hypotese 4. Undersøgelsen blev desuden begrænset til to anlægstyper: Udeluftsanlæg og anlæg med recirkulationsmulighed, alle uden roterende varmevekslere, køling og befugtning.

Projekt organi-
sering

Projektet gennemførtes med Statens Byggeforskningsinstitut, (SBI), som projektansvarlig i samarbejde med Allergologisk Laboratorium (ALK), Hørsholm, og Institut for Miljø- og Arbejdsmedicin (IMA), Århus.

SBI har udvalgt ventilationsanlæggene og foretaget indsamling og vejning af støv, samt tilvejebragt diverse oplysninger om driftforholdene. ALK har analyseret for mikrobiologiske komponenter. IMA har analyseret for lugtstyrke og indhold af organiske gasser og dampe af opløsningsmiddeltypen.

Undersøgelles- og analysemetoder

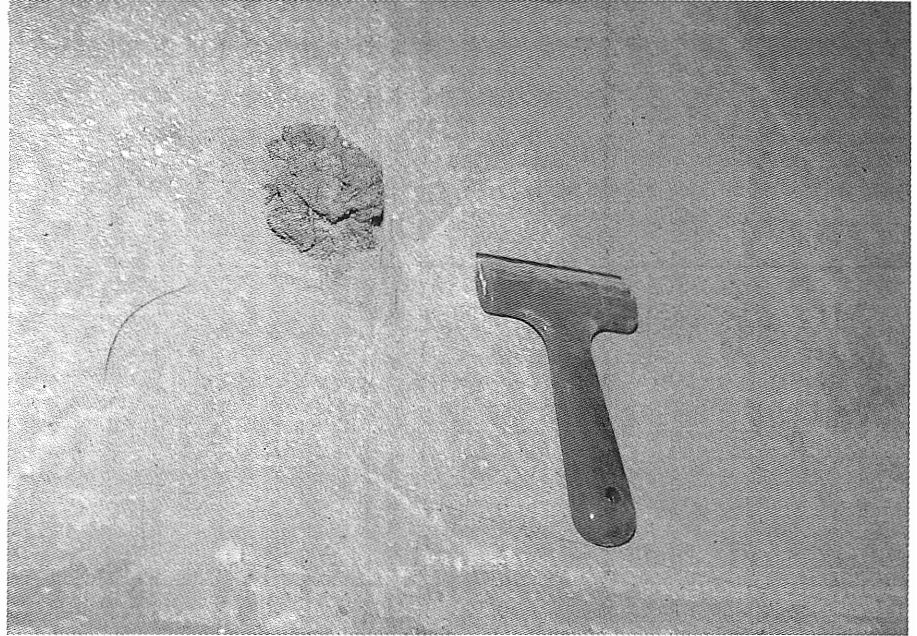
Udvælgelse af anlæg

Der blev i alt undersøgt 13 ventilationsanlæg, heraf 6 recirkulationsanlæg og 7 udeluftsanlæg. 5 af de 6 recirkulationsanlæg betjente folkeskoler. Det sidste betjente kontorrum. De 7 udeluftanlæg var anlæg i kontorbygninger. Anlæggenes alder var mellem 5 og 29 år. Anlæggenes var placerede i Københavns omegn i ikke industrielle omgivelser. Et var dog tæt ved et kulfyret fjernvarmeværk. Tilgængeligheden til kanalstrækningerne spillede en vis rolle ved udvælgelsen.

Udtagning af støvprøver

Støvprøverne blev udtaget et eller flere steder i kanalsystemet, ligesom der blev indsamlet hele eller dele af anlæggenes filtre. Der søgtes primært indsamlet støv fra lange, lige kanalstrækninger, således at den indsamlede støvprøve kunne referere til et defineret kanalareal. Da ingen af anlæggenes havde brugbare inspektions- eller renselomme, måtte der fræses en åbning til støvprøveudtagning, hvorefter der blev monteret inspektionslemme. Jernspåner fra udfræsningen blev frasorteret ved hjælp af en magnet. Støvet blev skrabet løs og samlet med barberbladsskraber, hvorefter det blev overført til glas med skruelåg. Tilbageblevne støvresten blev opsugt på et milliporefilter. I kanaler med indvendig isolering anvendtes kun opsugning på milliporefilter.

Efter udtagningen af prøverne (hovedsageligt fra bundfladen i kanalerne) opmåltes kanaltværsnittet, samt det areal, prøven var taget fra. Middelluftshastigheden under normal drift blev målt. Da hovedparten af støvet



Figur 1. Barberbladsskraber og støv samlet i en kanal.



Figur 2. Adgang til kanalerne skete gennem udfrasede åbninger.

var på bundfladen, valgtes som reference bundfladearealet, hvorfra prøven blev taget. I cirkulære kanaler defineredes bundfladearealet som diameteren gange længden.

Behandling af støvprøver

Støvprøverne blev vejret og delt i prøver til mikrobiologisk analyse, samt til lugt- og afgangsanalyser. Prøverne blev leveret i glas med skruelåg. Filtrene blev leveret i plastposer. Fra filtrene rystedes støv af til mikrobiologisk analyse.

Mikrobiologisk analyse

Mængden af den makromolekylære organiske del (MOD) af støvet, dvs. de potentielle antigene komponenter, blev bestemt ved vejning efter ekstraktion, filtrering, dialyse og frysetørring og angivet i mg MOD pr. g støv.

Den mikrobiologiske karakterisering af støvet blev udført ved bestemmelse af det totale antal levedygtige bakterier i støv dyrket på Plate Count Agar ved 25 °C. Mængden angives som antal kolonidannende enheder pr. g støv.

Det totale antal levedygtige svampekim blev bestemt ved dyrkning ligeledes ved 25 °C på V-8-agar tilsat antibiotica og angivet som antal kolonidannende enheder pr. g støv. Endvidere blev de forekommende svampekolonier slægtsbestemt efter deres makro- og mikroskopiske morfologi.

Lugt og afgangning

Prøverne blev indtil analysetidspunktet opbevaret i kølerum. På grund af den begrænsede støvprøvemængde anvendtes hele den leverede snavsprøve til analyserne (fra 0,6 til 18 g). Af filtrene blev der udskåret et stykke, der repræsenterede et tværsnit af hele fladen. Før analysen anbragtes støvprøverne i 4 stk. 6,5 l eksikatorer, der blev ventileret med 0,95 l/min. Der blev tilført rensed luft til eksikatoren under en perforeret keramisk bundplade, hvorpå støvet var anbragt. Lugtudtaget var i toppen af eksikatoren. Hele udstyret var anbragt i 23 °C, 45% luftfugtighed i et ventileret rum med 5 gange luftskifte pr. time. Prøven var anbragt i ca. 24 timer før analyserne udførtes for at skabe ligevægt mellem koncentration og forureningsafgivelse, men også for at ventilere ("lufte") støvet for foru-

reninger, der måtte være adsorberet fra luften.

Lugtmålinger

Lugtmålingerne foregik ved hjælp af et triangelinstrument (5) og et lugtpanel på 8-10 medarbejdere ved IMA, der var vant til tilsvarende undersøgelser. I triangelinstrumentet tilførtes én ufortyndet og 4 lugtprøver i forskellige fortyndinger. Lugtpanelets deltagere lugtede enkeltvis til lugtprøven og angav ved hvilken fortyndning, lugten netop kunne registreres. Der blev derefter beregnet den værdi af fortyndingen (ED-50), hvor netop 50 pct. af personerne kan registrere lugten. Værdien er altså et mål for lugtens styrke.

Afgasning af TVOC

Støvets afgivelse af de samlede organiske gasser og dampe (TVOC) blev målt med kulrørsmetoden (6), idet der blev udtaget prøver på henholdsvis 100 l og 1000 l. Analysen blev foretaget med en flammeionisationsdetektor, og resultaterne blev omregnet til toluen-ækvivalenter.

Statistiske analyser

Det blev undersøgt, om der var indbyrdes sammenhænge mellem resultaterne af støvanalyserne og mellem de enkelte resultater og visse karakteristiske forhold ved ventilationsanlæggene. Dette blev udført, dels ved simple middelværdi- og varianstests dels med regressionsanalyser med en eller flere variable inddraget. Hvor der anvendes udtrykket signifikant menes, at der er en statistisk sikker sammenhæng på 5 pct-niveau.

Resultater

Karakteristika for ventilationsanlæggene

I forbindelse med udtagning af støvprøverne blev der målt lufthastighed og volumenstrømme i de kanalstrækninger, prøverne blev udtaget i, og der blev gennem driftspersonalet fremskaffet oplysninger om filtrets filtreringsevne (anført som afsvævningsgrad jf. DS 447) samt anlæggenes totale driftstid. En oversigt over disse oplysninger fremgår af tabel 1.

Af oversigten fremgår at de valgte anlæg var lavhastighedsanlæg uden betydende forskel på hastighederne i udsugningskanaler og indblæsningskanaler i udeluftsanlæg og recirkulationsanlæg. Filtereffektiviteten var generelt ikke særlig høj. Dog var der gode filtre i 3 af recirkulationsanlæggene. Driftstiderne opgjort for anlæggenes brugstid varierede for alle anlæggene fra 29.000-254.000 timer, der omregnet til år svarer til 3 til 29 år. Der var signifikant længere driftstid for udeluftsanlæggene. Både filtereffektiviteten, driftstiden og lufthastigheden og måske volumenstrømmen må forventes at have indflydelse på den udfældede støvmængde i ventilationsanlæggene. Dette omtales i næste afsnit. Støvprøverne blev indsamlet i perioden oktober 1988 - april 1989. Ingen af de kanaler, som støvprøverne blev taget fra, havde været rensset.

Anlægs- og kanaltype	Hastighed m/s	Volumenstrøm m ³ /s	Filterklasse, afsværtnings- grad	Driftstid 1000 timer
<u>Anlæg med recirkulation</u>				
<u>Indblæsningskanal</u>				
gennemsnit	3,5	0,44	0,40	76
spredning	1,6	0,24		26
område	1,1-6,1	0,17-0,83	0,20-0,85	35-101
<u>Udsugningskanal</u>				
gennemsnit	3,4	1,30	-	76
spredning	1,6	1,1	-	26
område	1,8-6,1	0,16-2,48	-	35-101
<u>Udeluftsanlæg</u>				
<u>Indblæsningskanal</u>				
gennemsnit	3,2	0,66	0,20	142
spredning	1,5	0,32		109
område	1,7-5,2	0,22-1,03	0,15-0,20	29-254

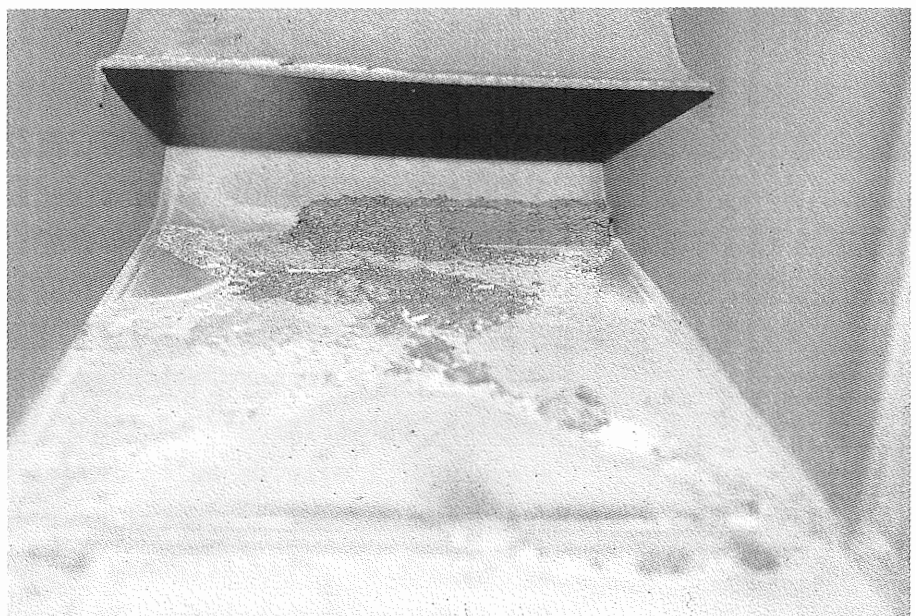
Tabel 1. De undersøgte anlægs hastighed og volumenstrøm samt filterklasse og driftstid i de kanaler, hvor prøverne blev udtaget.

Støvmængder i kanaler

De største ansamlinger af støv fandtes, hvor der forekom forhindringer. Især hvor luftstrømmen ændrede retning, fx fra vandret til lodret, var der som regel større partikler og døde insekter. I to anlæg fandtes døde, indtørrede mus i kanalen. En del af de større bestanddele kunne se ud til at være partikler fra bygningsdele stammende fra byggeperioden. Generelt var indblæsningskanalerne dog umiddelbart rene at se på, og det var svært ved kun én udfrysning at få støv nok til de planlagte analyser. Støvet havde forskellig farve fra lys grå i nogle anlæg til kulsort i andre.



Figur 3. Størstedelen af støvet i de vandrette kanaler sad på bundfladen.



Figur 4. Større partikler og insekter samledes ved overgange fra vandret til lodret.

Anlægs- og kanaltype	Støvmængde gram pr. m ² kanalbundflade		
	gennemsnit	spredning	område
<u>Anlæg med recirkulation</u>			
Indblæsningskanal	7,1	6,0	1,1-18,0
Udsugningskanal	18,3	7,7	9,4-30,0
<u>Udeluftsanlæg</u>			
Indblæsnings- kanal	1) 6,6	4,3	3,3-12,8
	2) 15,4	20,1	3,3-50,9
Alle indblæsningskanaler	6,8	5,4	1,1-18,0

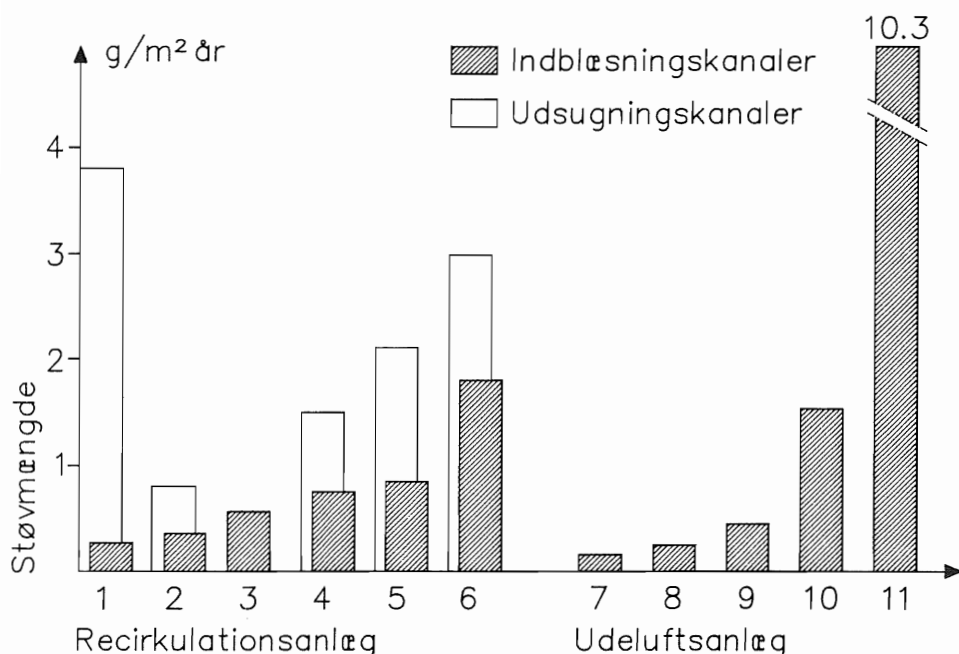
1) ekskl. ét anlæg med ekstrem høj, men uforklarlig støvmængde.

2) Alle anlæg.

Tabel 2. Støvmængde pr. m² kanalbundflade i de undersøgte ventilationsanlæg.

Det støv, der blev indsamlet til vejning og analyse, stammede fra lige vandrette kanalstrækninger og for analysernes vedkommende også fra filtrene. Støvet i de lige vandrette kanalstrækninger sad hovedsagelig i bunden af kanalerne, men også støvet fra de øvrige sider blev samlet. Vægten af støvet blev henført til m² kanalbundflade. Tabel 2 viser støvmængden pr. m² kanalbundflade. Der er signifikant større støvmængde i recirkulationsanlæggenes udsugningskanaler end i anlæggenes indblæsningskanaler. Der er en tendens til en mindre mængde støv i udeluftsanlæggenes indblæsningskanaler end i recirkulationsanlæggenes indblæsningskanaler. Dette fremgår af figur 5, der viser den målte støvmængde i alle de anlæg, hvori der blev indsamlet støv i kanalerne. Inden for hver anlægstype er anlæggen placeret efter stigende vægtmængde pr. driftsår for indblæsningskanalerne. På figur 5 har anlæg 1, 2 og 5 filtre med en høj afsvævningsgrad over 0,7 (finfil-

tre), mens de øvrige er omkring 0,2 (grundfiltre). I anlæggene med gode filtre ville indblæsningskanalerne have været mere støvbelastede, hvis de havde haft lige så grove filtre som de øvrige. I anlæg 1 tjente ventilationsrummet yderligere som "faldkammer" for støvet, før det blev recirkuleret gennem filteret. En analyse af indflydelsen af lufthastigheden i kanalerne, hvor filterklassen og kanaltypen blev inddraget, viser at støvmængden pr. m² pr. driftsår er stigende for faldende hastighed.



Indblæsningskanaler: gennemsnit 0,69 g/m² år (ekskl.11)

Udsugningskanaler: gennemsnit 2,26 g/m² år

Figur 5. Støvmængden pr. m² bundflade og driftsår i ventilationskanaler. Anlæggene 1,2 og 5 har filtre med høj effektivitet. To anlæg er ikke medtaget, da resultaterne ikke er sammenlignelige med de øvrige.

Støvbelastningen

De fundne støvmængder i kanalerne fra 1,1 g/m² til 50,9 g/m² begrænsede ikke kanaltværsnittet væsentligt og belastede næppe anlæggenes evne til at levere den projekterede volumenstrøm, selv om friktionskoefficienten ændres med den ændrede ruhed af kanaloverfladen.

Støvet kan muligvis belaste luftens kvalitet. Det er derfor beregnet hvor meget støv, der totalt kan forventes at være i ventilationsanlægs kanaler. Beregningen er udført for ventilationsanlæg på en skole, der har lange kanalstrækninger og hvor der behandles 11 m³ luft pr. s. Beregningen viser, at der vil være ca. 7,5 kg støv i indblæsningskanalerne og ca. 20 kg i udsugningskanalerne.

Filtres
støvmængde

Der blev ikke foretaget nogen bedømmelse af den akkumulerede støvmængde i filtrene.

Mikrobielle analyser af støvet

De mikrobielle analyser havde til formål at karakterisere støvet. Støvet indhold af makromolekylære organiske dele af biologisk oprindelse (MOD), svampekim og bakterier er udtryk for den potentielle påvirkning af indeklimaet. Den kan udløses ved frigørelse af støvet ved mekanisk påvirkning eller i forbindelse med vækst af mikroorganismer ved tilførelse af fugt.

MOD-indholdet har ved Rådhusundersøgelsen (7) vist sig at være en indikator i gulvstøvet for påvirkninger, der signifikant varierer sammen med bla. slimhindesymp-
tomer.

MOD-indhold

Tabel 3 viser de fundne MOD-indhold i støvet fra både ventilationskanaler og filtre. Der er fundet mellem 0,9 og 8,9 mg MOD pr. g støv. I Rådhusundersøgelsens målinger af opsugt gulvstøv fandtes fra 0 til 6,2 mg MOD pr. g støv. Der er således ingen forskel på kanal- og gulvstøv hvad MOD angår. Der var tendens til at støvet i udsugningskanalerne havde et højere MOD-indhold end indblæsningskanalerne. Der var stor variation i det samlede MOD indhold, der varierede fra 4 til 100 mg pr. m² kanalbundflade. På basis af gennemsnitstal for støvmængde og MOD-indhold må der forventes ca. 3,5 gange mere MOD pr. m² kanal i udsugningsanlæg end i indblæsningsanlæg. I tabellens tal er medtaget værdier for et anlæg med indvendig mineraluldsbeklædning uden egentlig overfladebeklædning, hvor den opsugede støvmængde sandsynligvis indeholder en del af mineralfibre-

ne. Derved må MOD-indholdet pr. gram støv - uden mineralfibre - forventes at være større end anført.

Anlægs- og kanaltype	Makromolekylære organiske komponenter, mg pr. g støv		
	gennemsnit	spredning	område
<u>Anlæg med recirkulation</u>			
Indblæsningskanal	1,9	0,9	0,9-3,0
Udsugningskanal	3,6	2,4	0,9-7,7
Filtre	2,1	1,8	0,2-5,1
<u>Udeluftsanlæg</u>			
Indblæsningskanal ¹⁾	3,5	2,7	1,9-8,9
Filtre	1,5	1,3	0,1-3,3
Alle indblæsningskanaler	2,8	2,1	0,9-8,9
Alle filtre	1,8	1,5	0,2-5,1

¹⁾ inkl. anlæg med mineraluldsforede kanaler med 8,9 mg pr. g.

Tabel 3. Makromolekylære organiske komponenter (MOD) i mg pr. g støv i ventilationskanaler og filtre.

Mikrosvampe

Antallet af fundne, levedygtige mikrosvampe fremgår af tabel 4. Der er flere mikrosvampe i udsugningskanalernes støv end i de tilsvarende indblæsningskanalernes støv, og signifikant flere i støv fra filtre i anlæg med recirkulation end i støv fra udeluftsfiltre. Selvom støvet fra filtre i udeluftsanlæg synes at have et mindre mikrosvampeindhold end støvet fra de samme anlægs kanaler, holder dette dog ikke ved en nærmere analyse. I øvrigt er det næppe rimeligt at sammenligne disse tal, da filterets indhold af svampe pr. g støv må være meget årstidsbestemt.

Der blev ikke fundet vækst af svampe i kanalstøvet. Rådhusundersøgelsens indhold af mikrosvampe i gulvstøv var gennemsnitlig 990 kolonier pr. g støv, område 0-

3000 kolonier pr. g. Der er således ikke nogen markant forskel i støvets karakter hvad angår mikrosvampenes antal. Der var stor variation i mikrosvampeindholdet i indblæsningskanaler. Det varierede fra under 100 til ca. 35.000 kolonier pr. m². Baseret på gennemsnitsværdier for støvmængde og mikrosvampe vil der kunne forventes ca. 5 gange flere mikrosvampe i udsugningskanaler end i indblæsningskanaler.

Anlægs- og kanaltype	Levedygtige mikrosvampe, antal (kolonier) pr. g støv		
	gennemsnit	spredning	område
<u>Anlæg med recirkulation</u>			
Indblæsningskanal	1100	1600	70-4200
Udsugningskanal	2400	1000	1000-4000
Filtre	1400	1200	170-3400
<u>Udeluftsanlæg</u>			
Indblæsningskanal ¹⁾	1200	2500	100-6200
Filtre	300	150	70- 500
Alle indblæsningskanaler	1300	2000	70-6200
Alle filtre	900	1000	70-3400

¹⁾ inkl. anlæg med mineraluldsforede kanaler med 100 kolonier pr. g støv.

Tabel 4. Mikrosvampe i støv fra ventilationskanaler og filtre.

Der blev påvist 22 mikrosvampeslægter, herunder samlegruppen *Mycelia sterilia*, som udgøres af kolonier af ikke-sporedannende svampe. Disse kolonier stammer hovedsageligt fra paddehattesporer tilført fra udeluften. Mikrosvampeslægterne forekommer langt fra i alle prøver.

De 6 mest dominerende mikrosvampeslægter var Penicillium, Chaetomium, Aspergillus, Alternaria, Mucor og Rhizopus. Af disse er især Chaetomium, men også Mucor og Rhizopus, knyttet til støv. Disse slægter forekom hyppigere i udsugningskanaler end i indblæsningskanaler. De øvrige slægter er typiske for svævestøv og er almindeligt forekommende i inde- og udeluft. De formodes alle at have betydning for allergikeres symptomforekomst. Enkelte Aspergillusarter kan i sjældne tilfælde give infektion. De øvrige fundne mikrosvampe er ikke årsag til infektionssygdomme.

Bakterier

Antallet af bakterier pr. g støv fremgår af tabel 5. Der var flere bakterier i støvet i udsugningskanaler end i indblæsningskanaler i samme anlæg, hvilket også kunne forventes. Der var endvidere færre bakterier i udeluftsanlæggenes indblæsningskanaler end i recirkulationsanlæggenes. Forskellen er dog ikke signifikant. En lignende forskel kunne ikke ses for svampenes vedkommende. En sammenligning med Rådhusundersøgelsens tal for gulvstøv viser, at der var væsentligt færre bakterier i ventilationskanalernes støv end i gulvstøv, der gennemsnitligt har ca. 7.400 kolonier pr. g støv, område ca. 1.400 - ca. 15.000. I et enkelt tilfælde udsuges ventilationsluften i gulvniveau. Her fandtes den højeste værdi, 10.000 kolonier pr. g kanalstøv.

Anlægs- og kanaltype	Bakterier, antal kolonier pr. g		
	gennemsnit	spredning	støvområde
<u>Anlæg med recirkulation</u>			
Indblæsningskanal	1300	1900	50- 5000
Udsugningskanal	2500	3700	100-10000 ¹⁾
Filtre	2300	2400	600- 6700
<u>Udeluftsanlæg</u>			
Indblæsningskanal	850	650	300- 2100
Filtre	750	700	100- 1900
Alle indblæsningskanaler	1100	1400	50- 5000
Alle filtre	1000	1400	100- 6700

¹⁾ fra anlæg med udsugningsåbning i gulvniveau.

Tabel 5. Bakterier i støv fra ventilationskanaler og filtre.

Der var stor variation i bakterieindholdet i indblæsningskanalers støv. Det varierede fra ca. 130 til ca. 9000 kolonier/m². I et enkelt tilfælde, hvor der var en ekstraordinær stor støvbelastning svarede det til ca. 100.000 kolonier/m². På basis af gennemsnitstal for støvmængde og bakterieantallet kan der forventes ca. 6 gange flere bakterier i udsugningskanaler end i indblæsningskanaler.

Organiske gasser og dampe

Kanalstøv

Støv fra kanaler og stykker af filtre blev undersøgt for afgivelse af gasser og dampe, angivet som totale toluen-ækvivalenter. Prøvevægtene for støvet var fra under 1 til ca. 18 g, normalt ca. 5 g.

Støvet blev ventileret i eksikatoren med 0,0158 l/s hvilket med 5 g støv i eksikatoren svarer til 0,0032

l/s pr. g støv. På side 21 er støvbelastningen i et ventilationsanlæg beregnet. Resultatet kan omregnes til, at støv i ventilationsanlæg typisk er ventileret med 1,5 l/s pr. g støv i indblæsningskanaler og ca. 0,5 l/s pr. g støv i udsugningskanaler, altså mindst 150 gange mere end under prøvningen. Dette betyder således at prøvningsbetingelserne forventes at give væsentlig højere koncentrationer end støvet ville give i ventilationsanlæg. Disse betragtninger gælder også lugtbemødelserne. De højest målte værdier i eksikatorene for organiske gasser og dampe fra kanalstøv var $72 \mu\text{g TVOC}$ pr. m^3 . Til sammenligning er koncentrationen af TVOC i rum ca. $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der er altså tale om meget lave koncentrationer, der i ventilationsanlæg i drift vil være under $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tabel 6 angiver de målte afgasningshastigheder for støv fra kanaler.

Anlægs- og kanaltype	Afgasningshastighed for organiske gasser og dampe, $10^{-6} \mu\text{g}/\text{s}$ pr. g støv		
	gennemsnit	spredning	område
<u>Anlæg med recirkulation</u>			
Indblæsningskanal	83	73	0-201
Udsugningskanal	35	24	0- 59
<u>Udeluftsanlæg</u>			
Indblæsningskanal	55	74	0-193

Tabel 6. Afgasningshastighed for organiske gasser og dampe fra kanalstøv.

Den gennemsnitlige afgasningshastighed for støv i indblæsningskanaler var $64 \cdot 10^{-6} \mu\text{g}/\text{s}$ pr. g støv. Forudsættes denne afgasning konstant, kan det omregnes til, at indblæsningsluftens indhold af organiske gasser og dampe gennemsnitlig forøges med ca. $40 \cdot 10^{-3} \mu\text{g}/\text{m}^3$

ved normal drift af et ventilationsanlæg.

Filterstøv

Filtrene blev undersøgt ved, at filtermaterialet (800-4000 cm²) inklusiv støv blev anbragt i eksikator-en. Også her konstateres meget lave værdier, alle under de førnævnte 72 µg/m³. En beregning viser at der gennemsnitlig afgasses $0,32 \cdot 10^{-6}$ µg/cm² pr. s af organiske gasser og dampe fra filtermateriale og støv. Forudsættes samme afgasningshastighed under normal drift med en volumenstrøm pr. m² filterareal på 2 m³/s svarende til en hastighed på 2 m/s gennem filtret, betyder det at ventilationsluftens koncentration af TVOC øges med $1,6 \cdot 10^{-3}$ µg/m³ på grund af filterafgasningen.

Støvet's lugt

Kanalstøv

Som omtalt under afgasningsresultaterne blev støvet fra kanalerne prøvet under forhold, der svarede til en væsentlig forstærkning hvad angår en koncentration af lugtstofferne. Når der derfor, for det kraftigst lugtende kanalstøvs vedkommende, blev målt, at støvet's lugt netop var mærkbar for 50 pct. af lugtpanelets deltagere ved en fortynding på 16 gange (ED50), skal dette tal ses i forhold til, at det i praksis ved normal drift af anlæggene ville blive fortyndet ca. 10 gange mere end under prøvningsbetingelserne (gennemsnitlig 30 gange mere). For en stor del af undersøgelsen af kanalstøvet var lugten så svag, at beregningen af ED50 var behæftet med stor usikkerhed. Der var således kun 6 målinger af kanalstøv med tilfredsstillende statistisk sikkerhed.

Filterstøv

Filterstykkerne, der anbragtes i eksikatorerne, var fra ca. 800 til 4000 cm². Et filterstykke på 1000 cm², ventileret med 0,0158 l/s i eksikatorens, vil være ventileret ca. 12.000 gange mindre end i filtre i ventilationsanlæg under drift. Der må således konstateres væsentlig kraftigere lugt under prøvningsbetingelserne end under normal drift. Selv om der målttes ED50-værdier på op til 50 gange, har lugtafgivelsen ingen praktisk betydning.

Sammenhænge mellem forureningerne

Eventuelle sammenhænge mellem MOD, bakterier, svampe og TVOC blev undersøgt, men ingen viste parvis, indbyrdes samvariation.

Summary

SBI-report 206; Dust in Ventilation Systems

	<p>The investigation of dust in ventilation systems included 13 ventilation systems without cooling or humidification. Seven of the systems were fresh air systems and six of the systems had recirculation. The systems, ventilating schools or offices, were from 5 to 29 years old. There were taken dust samples from the horizontal duct sections, and also from the filters.</p>
Purpose	<p>The purpose was to investigate if the dust deposited in ventilation ducts for supply air in non-industrial buildings can influence the air quality of the buildings.</p>
Investigation	<p>A study of the ventilation ducts was made to quantify the dust deposited, and the dust was analysed in order to quantify the macromolecular organic components, micro fungi and bacteria. Furthermore, the off-gassing of total volatile organic gases and vapours was measured, and the odour from the dust was evaluated by an odour panel.</p>
Amount of dust	<p>The greater part of the dust was found at the bottom of the ducts. The amount of dust deposited in the supply air ducts of the ventilation systems was from 1.1 to 50.9 g per m² duct bottom. The average was 6.8 g per m², excluding the extreme value of 50.9 g per m². There was found no immediate explanation to why this single ventilation system deviated from the others. There was no difference between the average amount of</p>

dust found in the supply air ducts, respectively for systems with or without recirculation. Three of the systems with recirculation had filters that were far more effective than the others. Considering the operating period, the effectivity of the filter and the air velocity in the ducts, less dust must, however, be expected in the supply air ducts of ventilation systems without recirculation than in systems with recirculation.

The dust amount of the supply air ducts per operating year, i.e. the operation period converted into years, was 0,7 g per m² duct bottom per operating year. The dust amount found in the ducts is not expected to cause any considerable reduction of the air flow rate. The dust in the exhaust ducts was investigated as regards the recirculation plants. The average amount of dust here was 2.7 times higher than in the supply air ducts.

Organic dust

The dust from the supply air ducts contained macromolecular organic components of biological origin, micro fungi, and bacteria. There was no visible growth of micro fungi.

The content of the macromolecular organic components was from 0.9 to 8.9 mg per g of dust from the ducts and from 0.2 to 5.1 mg per g of dust from filters. There was no difference of the content of the dust from supply air ducts and from exhaust ducts. The content of macromolecular organic components did not differ from what was found in dust from floors in offices in another investigation. In this investigation the macromolecular organic components correlated the frequency of mucosal irritation among the employees.

Micro fungi

The number of viable micro fungi was from 70 to 6200 per g of dust in the supply air ducts. The average was higher in the exhaust ducts. In the filters there were from 70 to 3400 micro fungi per g of dust. The same magnitude as in floor dust in offices. The dominant micro fungus genera were *Penicillium*, *Chaetomium*, *Aspergillus*, *Alternaria*, *Mucor* and *Rhizopus*.

Bacteria

The number of viable bacteria per g of dust was from 50 to 5000 in the supply air ducts of the ventilation systems. The dust from the filters contained from 100 to 6700 viable bacteria per g. The trend was towards less bacteria in the supply air ducts of the outdoor air supply systems than in the systems with recirculation. The magnitude of bacteria was much less in the investigated dust than in floor dust in offices.

Generally, about the microbiological conditions, it can be said, that the dust found in the investigated supply air ducts do not differ from the floor dust in offices, and that the dust is "cleaner" in supply air ducts than in exhaust ducts.

Off-gassing and odour

The investigation of off-gassing from organic gasses and vapours showed that the dust when ventilated and dry, as it would be during continuous operation of the ventilation system, only emitted gasses and vapours (TVOC) in a magnitude of less than 1 p.c. of what is found in the room air. This off-gassing is, therefore, not expected to be of any importance when operating the system. The odour from the dust was also so weak that it may be considered to be without importance when the systems are operating continuously.

Conclusion

The investigation of ventilation systems in schools and offices points out that the occurrence of dust is low in the ducts of these ventilation systems, and in far the most cases of no importance to the air flow rate. The investigated dust do not differ microbiologically from floor dust from offices as to macromolecular organic components and micro fungi. There were less bacteria than in the floor dust. The off-gassing and odour emission of the dust was insignificant, but this investigation did not show whether the dust itself may be of any importance the way that it can adsorb gasses and vapours, e.g. when the ventilation system has stopped, and give them off again when starting the system.

Depending on the amount and composition the dust may in some systems be a potential risk factor in case that

the growing conditions are changed, e.g. by use of humidification or cooling, which will create wet surfaces inside the system. The influence of the filters as to the investigated microbiological conditions may be big, but as most of the filters were of a type, that had no effect on particles sized like micro fungi and bacteria there cannot be drawn any clear conclusion about it.

New investigations

As indoor climate investigations point out that ventilation systems with fresh air supply, cooling, humidification or recirculation could be a contributory cause of indoor climate problems the following conditions have to be investigated further:

- Investigation of microbiological contamination and odour from dust in ventilation systems with humidification and cooling.
- Investigation of the significance of the dust as a "storage" for contamination, including odour from either recirculated air or from the components of the systems.
- Investigation of the importance of changes in temperature and humidity, as to a possible storage effect.

Litteratur

- (1) Effekten af rengøring af ventilationskanaler. Ove Nielsen. Dansk VVS nr. 1. 1979.
- (2) Rengøring af ventilationsanlæg. Ove Nielsen. Dansk VVS nr. 3. 1984.
- (3) A Solution to the Sick Building Mystery. Proceedings of the 4th International Conference on Indoor Air Quality and Climate. Institute of Water, Soil and Air Hygiene. Berlin. 1987.
- (4) Indeklimaforureninger fra et mekanisk ventilationssystem. Lars Mølhav og Michael Thorsen. Institut for Miljø- og Arbejdsmedicin. Århus. 1989.
- (5) Instructions for Dynamic Triangle Olfactometer 1977 model. ITT-Research Institute. Chicago. 1977.
- (6) Kulrørsmetoden til måling af organiske gasser og dampe i luftprøver. Licentiatafhandling Lars Mølhav. Hygiejnisk Institut, Århus Universitet. Århus. 1982.
- (7) Rådhusundersøgelsen, Indeklima i kontorer, Peder Skov, Ole Valbjørn, Finn Gyntelberg og DISG. Arbejdsmiljøfondet. København. 1989.

Ventilationsanlæg snavser til med tiden. Men hvilken betydning har denne tilnavsning for indeklimaet? Dette spørgsmål var baggrunden for en undersøgelse af støvet fra 13 ventilationsanlægs kanaler. Støvet fra kanalerne blev vejet og analyseret for mikrobielle forureninger, lugt og afgivelse af gasser og dampe. Rapporten henvender sig til rådgivende ingeniører, ventilationsfirmaer og driftspersonale.

