



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R69:1983

Luftjoner i ventilerade lokaler

Lars Johnsson
Ove Strindegag

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	Plac <i>Ser</i>

R
B/W

Byggeforskningsrådet

BYGGDOK

Institutet för byggdokumentation

Hälsingegatan 4847

113 31 Stockholm · SWEDEN

Tel. 08-34 01 70 Telex 12563

R69:1983

LUFTJONER I VENTILERADE LOKALER

Lars Johnsson
Ove Strindehag

Denna rapport hänför sig till forskningsan-
slag 810607-4 från Statens råd för byggnads-
forskning till Fläkt Evaporator AB, Jönköping

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R69:1983

ISBN 91-540-3950-9
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm
LiberTryck Stockholm 1983

INNEHÅLL

1	INLEDNING	5
2	LUFTENS JONHALT	7
3	UPPLÄGGNING AV FÖRSÖKEN	9
3.1	Målsättning	9
3.2	Yttre miljöförhållanden	9
3.3	Försökslokal	11
3.4	Instrumentplacering	12
4	MÄTTEKNIK	15
4.1	Partikeldetektering	15
4.2	Blandningsprocesser	15
4.3	Mätning av luftjoner	18
4.3.1	Jonernas egenskaper	18
4.3.2	Jondetektor	19
4.3.3	Störningseffekter	21
5	FAKTORER SOM PÅVERKAR LUFTENS JONHALT	23
5.1	Jondestruktion	23
5.1.1	Rekombination	23
5.1.2	Luftburna partiklar	23
5.1.3	Väggeffekter	24
5.1.4	Elektrostatiska fält	24
5.2	Jonproduktion	25
5.2.1	Joniserande strålning	25
5.2.2	Övriga effekter	26
6	JONBALANS	27
6.1	Jonernas livslängd	27
6.2	Empirisk jämvikt jonbildning- partikelhalt	27
6.3	Teoretisk jämvikt vid ventilation	28
7	SLUTSATSER	33
7.1	Jonbalans	33
7.2	Ventilationseffekter	33
7.3	Elektrostatiska fält	34
7.4	Jonmätningar i arbetslokaler . .	34
BILAGA 1	Sambandet mellan jonhalt och luftomsättning	35
BILAGA 2	Beräknade jonhalter	37
BILAGA 3	Exempel på registrerade jon- och partikelhalter	39
LITTERATUR	47
SAMMANFATTNING	49

1 INLEDNING

Åtskilliga undersökningar har visat att halten av lätta luftjoner i inomhusluften kan vara betydligt lägre än i uteluften. Detta förhållande har anförts som förklaring till att miljön i arbetslokaler ofta upplevs som tröttande och anses ge upphov till koncentrationssvårigheter, huvudvärk och andra symtom. Även fördelningen mellan positivt och negativt laddade luftjoner har härvid antagits vara av stor betydelse.

Att halten av lätta luftjoner kan påverka välbefinnandet, och eventuellt även ge skadliga hälsoeffekter, har bl.a. förklarats med den inverkan som jonhalten tycks ha på serotoninproduktionen i kroppen. Serotoninhaltens variation med luftjonhalten har undersökts såväl vid laboratorieprov som i samband med onormala luftjonhalter i uteluften under speciella väderleksbetingelser (Kreuger 1973, Sulman 1974). Trots att omfattande undersökningar genomförts kan det ännu ej anses klarlagt om, och i vilken grad, luftjonhalten påverkar människans hälsotillstånd.

Föreliggande undersökning har syftat till att belysa vilka ventilationstekniska och byggnadstekniska åtgärder som kan vidtas för att skapa ett önskat jonklimat. Eftersom de flesta klagomål som framförts beträffande jonklimatet gäller kontorslokaler har undersökningen begränsats till sådana lokaler. Experimentprogrammet har utförts i en befintlig kontorslokal, där det var möjligt att på ett relativt enkelt sätt modifiera ventilationssystemet.

De låga jonhalter som i vissa fall uppmätts i ventilerade lokaler har ibland satts i samband med tilluftssystemets utformning. Experimentprogrammet har därför i hög grad inriktats på mätning av jonhalten i den aktuella kontorslokalen då denna ventileras med, respektive utan mekaniskt tilluftssystem. Speciellt har inverkan av olika kanallängder i tilluftssystemet undersökts. Den obetydliga inverkan av tilluftssystemets kanaler som härvid konstaterats är i god överensstämmelse med de teoretiska beräkningar som genomförts. Resultatet av dessa beräkningar redovisas i föreliggande rapport som en separat bilaga.

Ventilationssystemets inverkan i övrigt har undersökts genom att luftomsättningen varierats och genom att tilluftssystemet fått arbeta med eller utan filter. Luftomsättningens sekundära inverkan, som sammanhänger med att radonhalten påverkas, har även studerats. Vidare har inverkan av tilluftsfläkten undersökts genom att denna tidvis startats och stoppats.

Halten av lätta luftjoner påverkas i hög grad av halten av partiklar i inomhusluften. Detta framgår såväl av de i BILAGA 1 och 2 redovisade beräkningarna som av det genomförda experimentprogrammet. Under större delen av experimentprogrammet har partikelhalten i för-

sökslokalen kontinuerligt uppmätts med hjälp av en optisk partikelräknare. Sambandet mellan jonhalt och partikelhalt har studerats både genom dosering av rök till rumsluften och genom att följa jonhaltens variation i samband med förändringar av uteluftens partikelhalt. Ytterligare undersökningar inom detta område utöver de som kunnat genomföras inom projektets ram är dock önskvärda. Bl.a. skulle inverkan av submikrona partiklar närmare behöva studeras.

I lokaler där människor vistas påverkas jonhalten också i hög grad av elektrostatiske fält. Experimentprogrammet har därför även inriktats på att mäta den sänkning av jonhalten som kan uppkomma på grund av elektrostatisk uppladdning av heltäckningsmattor och plastföremål. Det bör härvid observeras att de arbetsmoment som normalt förekommer i en kontorslokal är tillräckliga för att åstadkomma ifrågavarande uppladdning.

De lätta luftjonerna bildas under inverkan av bl.a. kosmisk strålning och radioaktiv bakgrundsstrålning - den senare främst från ur berggrunden frigjort radon och dess sönderfallsprodukter. Jonbildningen balanseras av att redan existerande joner av olika polaritet kolliderar med varandra eller av att de söker sig mot fasta föremål i omgivningen eller slår sig ned på kringsvävande dammkorn. I normalfallet är luften i stort sett elektriskt neutral och innehåller några tiotal till några tusen jonpar per kubikcentimeter. Stora variationer i såväl jonernas antal som sammansättning kan emellertid förekomma i samband med t.ex. koronarladdningar i starka elektriska fält eller vid laddningsseparation i fallande nederbörd.

I grova drag har principerna för luftens jonbalans varit kända sedan början av nittonhundratalet. Under årens lopp har ett stort antal detaljstudier utförts, främst i laboratoriemiljö, där bl.a. partikelradier, laddning och rörlighet undersökts. Ganska snart började man ställa sig frågan huruvida de uppmätta jonhalterna kunde påverka människans välbefinnande - tusen miljoner jonpar per kubikmeter kan ju låta mycket.

Jämfört med det totala antalet molekyler per volymenhet är dock de normalt uppmätta jonhalterna mycket små vilket lätt går att beräkna. Med Avogadros tal $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ och molvolymen för en ideal gas $V_0 = 2,24 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{mol}$ erhåller man antalet molekyler per kubikmeter till

$$N_A/V_0 = 2,7 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$$

Således går det cirka $3 \cdot 10^{25} \cdot 10^{-9} = 3 \cdot 10^{16}$ vanliga molekyler på varje jonpar i luften - en nästan ofattbart låg koncentration. Som jämförelse kan nämnas att ozon, som är en kemiskt mycket aggressiv gas, är tillåten i en koncentration av 0,1 ppm i arbetslokaler. Detta motsvarar $3 \cdot 10^{25-7} = 3 \cdot 10^{18}$ ozonmolekyler per kubikmeter, vilket är jämt 10^{10} gånger mer än en normal jonkoncentration av $300 \cdot 10^6$ jonpar per kubikmeter.

Trots att luftens jonhalt under normala förhållanden således är mycket låg råder det dock sedan flera årtionden tillbaka en tämligen allmänt utbredd uppfattning att de lätta luftjonerna kan påverka människans hälsotillstånd. Ett överskott av positiva joner anses härvid vara skadligt, medan ett överskott av negativa joner anses välgörande (Sulman, 1980).

3 UPPLÄGGNING AV FÖRSÖKEN

3.1 Målsättning

Målsättningen med föreliggande arbete har främst varit att undersöka hur ventilationssystemet påverkar jonhalten i en lokal. Intressanta parametrar i detta sammanhang har bland annat varit:

- luftomsättningstal,
- tilluftssystem kontra frånluftssystem,
- tilluftskanalens längd,
- inverkan av fläktar, filter m m i tilluftsströmmen.

Inte oväntat visade det sig nödvändigt att även utreda flera andra effekter, såsom:

- inverkan av luftens partikelhalt,
- inverkan av elektriska fält,
- störningar på mätutrustningen.

I samband med den experimentella undersökningen har även teoretiska härledningarna och beräkningar av jonhalten i en ventilerad lokal utförts. En utredning om hur olika meteorologiska processer påverkar jonhalten inomhus har vidare genomförts.

3.2 Yttre miljöförhållanden

Försöken har utförts under tiden maj-november 1982 vid Fläkt Evaporators laboratorium i Jönköping, se figur 3.1. Utomhusluften vid mätplatsen kan karakteriseras som en ej alltför hårt nedsmutsad stadsmiljö med en typisk dygnsrytm - gradvis allt renare luft under natten, en plötslig ökning av luftens partikelhalt i samband med morgontrafiken på den närbelägna Åsenvägen och sedan varierande partikelhalt under dagen beroende på den rådande vädersituationen. Tillfälliga störningar från omgivningen har främst berott på rök från passerande dieseldrivna truckar och från ett antal värmepannor på industriområdet, vilket för övrigt får betraktas som relativt rent.

Klimatet i Jönköping är i princip kontinentalt, med kyliga nätter och varma dagar sommartid. Stora avvikelser från detta mönster förekommer dock i samband med de regelbundet återkommande lågtrycksvandringarna från väster till öster, under vilka luftmassan under loppet av några timmar kan skifta från kraftigt nedsmutsad kontinental varmluft till mycket ren och kall polarluft. Periodvis utsätts också mätplatsen för en kraftig sjöbris från den djupa och sommartid kalla sjön Vättern.

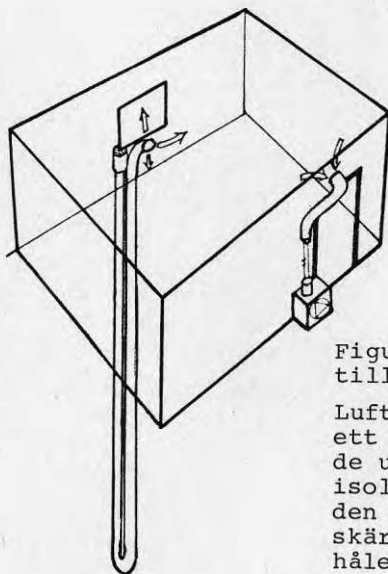


Figur 3.1.

3.3 Försökslokal

Som försökslokal har använts ett isolerat kontorsrum på andra våningen i laboratoriet. Rummet, som har en volym av 46 m^3 , vetter mot en kringbyggd gårdsplan med ringa trafik och har före försöken tätats så, att det vid provtryckning visar samma täthetsklass som en modern villa (två luftomsättningar per timme vid ett övertryck av 50 Pa). Eftersom rummet inte är perfekt tätt, kommer vid enbart frånluftssystem en del av den omsatta luften att läcka in i rummet via springor i väggarna, medan detta läckage praktiskt taget försvinner vid balanserad ventilation (fläktar i både frånluft- och tilluftssystemen). Det kan redan här nämnas, att någon mätbar skillnad i rumsluftens jonhalt på grund av de olika ventilationsystemen inte har kunnat påvisas.

De olika tilluftssystemen har monterats längs husets fasad på så sätt, att luftintaget alltid skett på samma ställe, ca 6 m över marken, se figur 2. Kanalsystemet har bestått av 120 mm spirorör och har mynnat ut i ett inloppshål ca 20 cm under fönstret. Innanför inloppshålet har funnits en skärm, bland annat för att förhindra interferens med fläktarna i jonmätarna. Frånluftssystemet har placerats i en korridor utanför mättrummet, med ett utsugningshål rakt ovanför dörren.



Figur 3.2. Försökslokal med tillufts- och frånluftssystem.

Luften sugs eller trycks genom ett tilluftssystem av varierande utförande. Väl inne i det isolerade provrummet fördelas den därefter i sidled av en skärm ca 15 cm framför inloppshålet under fönstret.

Rummet har haft normal kontorsinredning med gardiner för fönstret och med möbler av stålrör och trä. Ytterväggen är av tegel; innerväggar och tak av trä och gipsplattor. Golvet av betong är klätt med en heltäckande nålfiltmatta. Praktiskt taget samtliga ytor

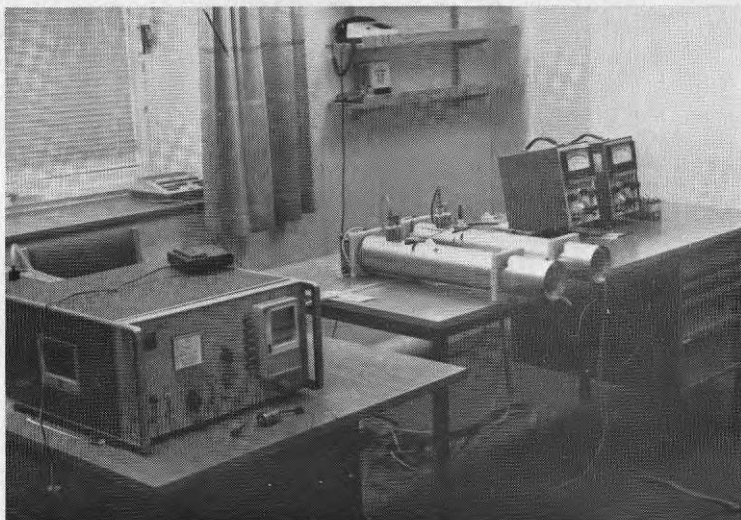
i rummet är alltså elektriskt oledande, något som är mycket vanligt i kontorslokaler. Detta är dock av avgörande betydelse för jonhalten i rumsluften.

Den enda jordade ytan i rummet utgörs av det elektriska värmeelementet under fönstret. Inverkan av detta element på mätningarna är ej helt klar - försök med förhöjd rumstemperatur (och därmed minskad relativ fuktighet) har inte givit någon signifikant inverkan på jonhaltens medelvärde. Icke desto mindre återfinns värmeelementets on/off-reglering som en sågtandsformad överlagring på motsvarande mätkurvor (som t.ex. i figur B3:6). För att undvika denna störningseffekt har därför de flesta försöken ägt rum med avstängt värmeelement. Några extrema temperatursvängningar har likväl inte kunnat förmärkas - uppenbarligen har värmeledningen genom väggarna till angränsande rum haft en utjämnande effekt.

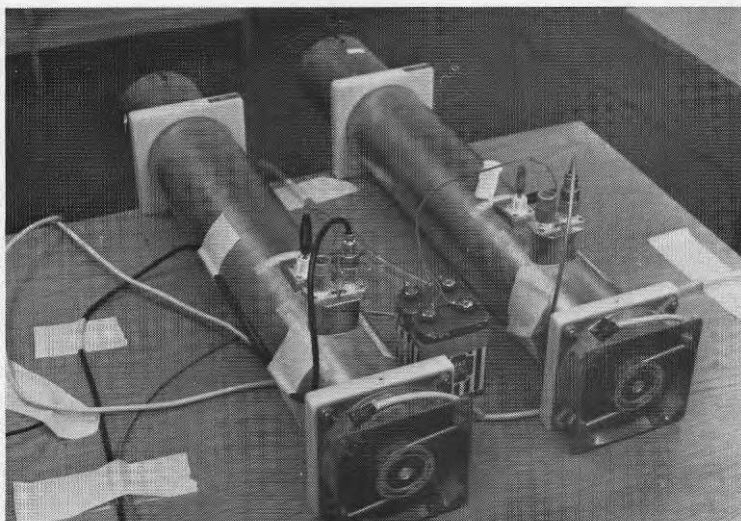
3.4 Instrumentplacering

Vid alla systematiska försök har instrumenten varit placerade som i figur 3.3 och 3.4, d.v.s. provtagningen har skett mitt i rummet på en höjd av 85 cm över golvet. De mycket känsliga jonmätarna kan inte kopplas om under försöken, varför två mätsystem har använts - ett för positiva och ett för negativa joner. Som framgår av bilderna sker luftintaget till jondetektorerna ett stycke utanför bordskanten, vilket minimerar den annars ej försumbara inverkan av bordskivan. På samma ställe görs en kontinuerlig bestämning av luftens partikelhalt (i normalfallet alla partiklar större än $0,5 \mu\text{m}$).

All registrering har skett vid en mätplats utanför provrummet, varifrån även luftflöden och till- och frånslag av mätfläktar, batterier och högspänningskälla har kunnat styras. Det enda som inte har kunnat ske utifrån har varit den nödvändiga periodvisa nollställningen av de batteridrivna elektrometrarna.



Figur 3.3. Instrumentplacering i försökslokalen. Vid mätningarna sugs luften kontinuerligt genom de båda jondetektorerna mitt i rummet (en för positiva, en för negativa joner). Strömmarna genom dessa registreras av de två elektrometrarna i bakgrunden. Mellan jondetektorerna skymtar munstycket till partikelräknaren.



Figur 3.4. Jondetektorer med anslutningar. Batterierna till mätelektroderna har nominellt en spänning av 67,5 V, i praktiken högre (72,5 V), eftersom de är helt obelastade. För ett gott mätresultat är det nödvändigt att fixera mätkablarna i orörligt läge.

4 MÄTTEKNIK

4.1 Partikeldetektering

Den använda partikelräknaren är av typ ROYCO 225. Provlufsten sugts med en noggrant bestämd hastighet förbi ett mätställe, i vilket en ljusstråle fokuseras för att sedan fångas upp av en ljusfälla, d.v.s. inget ljus når normalt fram till den känsliga fotomultiplikatorn. Då en partikel av storleksordningen en ljusvåglängd eller större passerar mätstället, sprids emellertid ljuset så, att en ljuspuls proportionell mot partikelns storlek når fram till detektorn.

Risken att två partiklar skall detekteras samtidigt kan beräknas statistiskt, och mätutslaget korrigeras automatiskt för detta i en särskild koincidenskrets. Genom att sortera pulserna från fotomultiplikatorn i olika storleksintervall kan man erhålla fördelningskurvor över olika partikeldiametrar. Vid försöken har i regel samtliga partiklar med en diameter över 0,5 μm uppmätts.

Det bör i detta sammanhang observeras att de optiskt detekterbara partiklarna bara utgör högst en tusendel av det totala antalet partiklar. Så länge som storleksfördelningen av luftpartiklarna är konstant, spelar den låga detekteringsgraden inte så stor roll - de erhållna mätvärdena utgör ju då ett mått på den totala mängden partiklar (även om några absolutmätningar inte kan utföras). De erhållna mätresultaten tyder på att så ofta är fallet, åtminstone under vissa väderförhållanden och under begränsade perioder.

Partikelmätningarna har utgjort ett viktigt komplement till jonmätningarna, inte minst vid verifieringen av de generella teoretiska formlerna. Tolknigen har dock fått ske med urskiljning - i många fall har förändringar av luftens jonhalt väl kunnat förklaras som förändringar av luftens partikelhalt på grund av kända processer, utan att motsvarande utslag erhållits vid partikelmätningen. För det mesta stämmer dock mätningarna, åtminstone kvalitativt, så att en högre partikelhalt medför lägre jonhalt, även om olika jämviktskonstanter erhålls vid olika försökstillfällena.

4.2 Blandningsprocesser

För att kunna tolka de erhållna mätresultaten måste man ta hänsyn till att den undersökta luften är utsatt för ett antal blandningsprocesser såsom:

- utvädring av radon (halveringstid = 3,8 dygn),
- utvädring och tillförsel av rök,
- utvädring och tillförsel av luftjoner.

Tolknigen underlättas av att vi redan i förväg gör klart för oss hur ett antal typfall bör se ut.

Vi tänker oss att vi har ett rum med volymen V och att vi via ventilationssystemet tillför ny luft med ett flöde av V' m³/s, samtidigt som vi naturligtvis bortför rumsluft i samma takt. En tidskonstant (T) för rummet kan då definieras så att

$$T = \frac{V}{V'} \quad (1)$$

Inversen av T utgör luftomsättningstalet eller ventilationsgraden.

Vi tänker oss vidare att den tillförda luften hela tiden blandas fullständigt med rumsluften. Om vi kallar koncentrationen av det vi vill mäta för C i rumsluften och för C_0 i tilluften, kan vi uppställa följande ekvation:

$$V' \cdot C_0 - V' \cdot C + V \cdot \frac{dC}{dt} = 0 \quad (2)$$

eller:

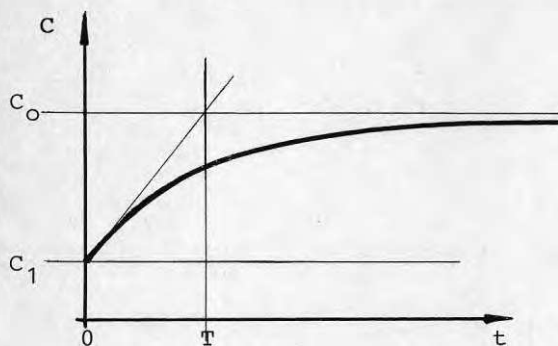
$$\frac{dC}{dt} - \frac{1}{T} \cdot C + \frac{1}{T} \cdot C_0 = 0 \quad (3)$$

Denna ekvation har lösningen

$$C = C_0 - (C_0 - C_1) \cdot e^{-\frac{t}{T}} \quad (4)$$

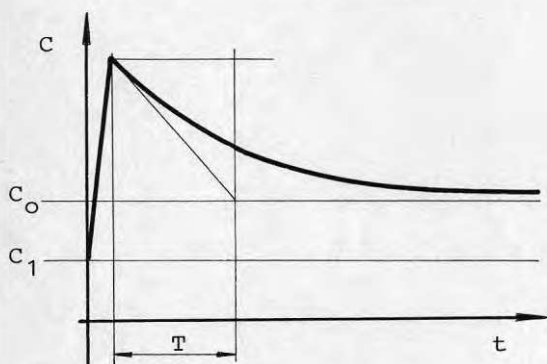
där C_1 är koncentrationen i rumsluften vid tiden $t=0$. Förloppet åskådliggörs i figur 4.1.

I figur 4.2 visas ett förlopp där den långsamma blandningsprocessen har föregåtts av en kort tids tillförsel av luft med mycket högre koncentration. Två typiska sådana förlopp framgår av figur B3:7. Resultaten av blandningsförloppen ger i dessa fall entydiga utslag i våra diagram. Tyvärr är detta långt ifrån alltid fallet. Tag som exempel vad som händer vid en plötslig fördubbling av luftomsättningstalet, något som man i förstörne tycker borde ge stora utslag. Kurvan i figur 4.3 visar dock något helt annat - en obehagligt tydlig puckel som lätt försvinner bland alla störningar som normalt förekommer.



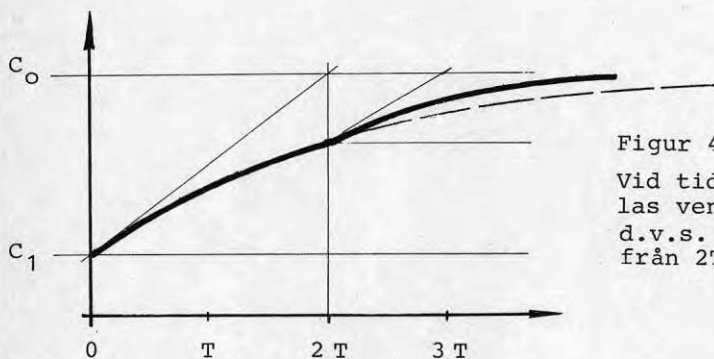
Figur 4.1.

Blandningsförlopp vid konstant tillförsel av luft med koncentrationen C_0 .



Figur 4.2.

Under en kort tid sker först inblandning av luft med mycket hög koncentration, sedan fortsätter inblandning med koncentrationen C_0 som i figur 4.1.



Figur 4.3.

Vid tiden $t = 2T$ fördubblas ventilationsgraden, d.v.s. tidskonstanten går från $2T$ till T .

4.3 Mätning av luftjoner

4.3.1 Jonernas egenskaper

Som tidigare nämnts sker joniseringen i regel under inverkan av strålning, varvid en elektron slås ut från en luftmolekyl och lämnar efter sig en positiv jon (Israël 1957, Kilinski 1958). Den frigjorda elektronen kan i sin tur slå sig ner på en annan luftmolekyl och bilda en negativ jon. Vid normalt atmosfärstryck händer detta inom 10^{-6} s, och inom ytterligare 10^{-8} s har såväl positiva som negativa "primärjoner" på grund av elektrostatisk inverkan sugit åt sig ett hölje av dipolära molekyler (t.ex. H_2O), två ä tre molekyler tjockt. Dessa s.k. lätta luftjoner är sedan mycket stabila - ytterligare tillväxt motverkas av kollisioner med andra molekyler.

De lätta luftjonerna är alltså inte exakt definierade till storlek, men de återfinns alla inom ett begränsat intervall, något som återspeglas i deras egenskaper. Eftersom de dipolära anliggningsmolekylerna naturligtvis orienterar sig olika kring positiva och negativa kärnor, är det inte att förvåna att olikladdade joner i genomsnitt har något olika egenskaper. De negativa jonerna tenderar att vara något lättrörligare, vilket i sin tur något ökar sannolikheten för att de skall slå ned på de i luften befintliga kondensationskärnorna. I regel återfinns därför de negativa jonerna i något lägre koncentrationer.

I närvaro av ett elektriskt fält (E) kommer luftjonerna att driva i fältets riktning med en jämviktshastighet (v_j) enligt formeln

$$v_j = k_j \cdot E \quad (5)$$

där den s.k. jonrörligheten, k_j , i regel sätts till:

$$k_j^+ = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{Vs} \quad (\text{för positiva joner}) \text{ och}$$

$$k_j^- = 1,9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{Vs} \quad (\text{för negativa joner}).$$

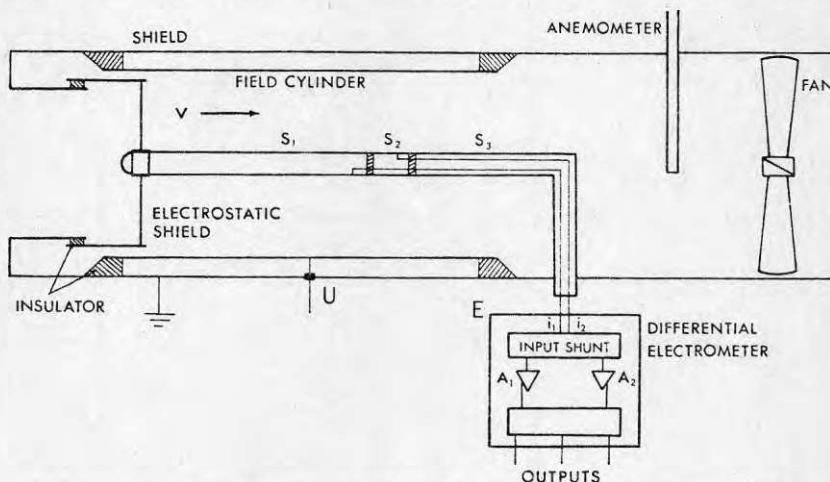
För samtliga joner kan man använda ett gemensamt medelvärde:

$$k_j = 1,7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{Vs}$$

De laddade partiklar som uppstår vid kollision med de lätta jonerna kallas med ett samlingsbegrepp för tunga joner. Massan för de tunga jonerna är genomgående mycket större än för de lätta, med åtföljande i genomsnitt flera hundra gånger lägre rörlighet. De brukar trots sitt stora antal inte tillmätas någon medicinsk betydelse. Med lämplig mätmetodik ger de också i regel ett försumbart bidrag vid mätning av delätta luftjonerna.

4.3.2 Jondetektor

Jondetektorns uppbyggnad framgår av skissen i figur 4.4. Ytterhöljet består av en jordad skärm, innanför vilken ligger en fältcylinder, uppladdad till en spänning (U) av knappt 100 V. Centralelektroden är ansluten till en potential nära noll. Genom detektorn sugs en luftström med en hastighet (v) av ca 5 m/s.



Figur 4.4. Jondetektor och elektrometer (Jonassen,1970).

Inne i detektorn rör sig jonerna vinkelrätt mot luftströmmen med en hastighet (v_j) proportionell mot den elektriska fältstyrkan enligt ekvation (5). Med formeln för en cylinderkondensator och med beteckningar enligt figur 4.5 erhåller vi alltså:

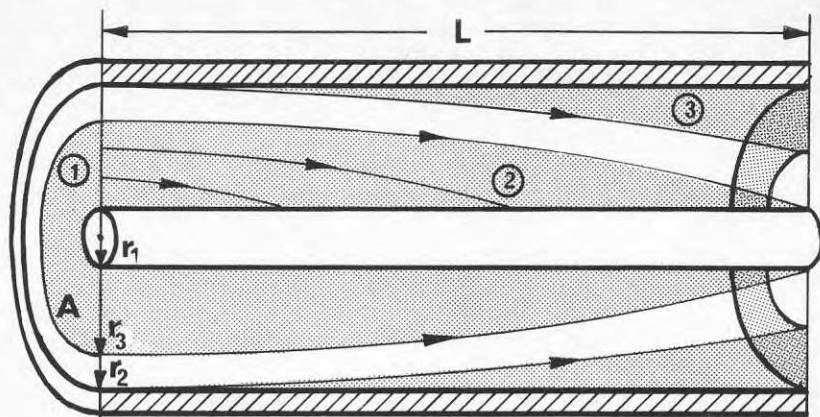
$$v_j = k_j \cdot \frac{U}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \cdot \frac{1}{r} \quad (6)$$

Som framgår av figuren, kommer alla joner av det aktuella slaget som passerar genom den streckade inträdesytan (storlek A) att absorberas av centralelektroden. Om vi gör det förenklade antagandet att k_j är lika för alla lätta luftjoner, kan vi erhålla ett uttryck för den radie r_3 , innanför vilken alla joner fångas upp. Från detta avstånd blir en jons passagetid in mot centralelektroden

$$T_p = \int_{r_1}^{r_3} \frac{dr}{v_j} \quad (7)$$

vilken i gränsläget måste vara samma som passagetiden genom apparaten

$$T_p = \frac{L}{v} \quad (8)$$



Figur 4.5. Jonernas rörelse inne i en cylinderkondensator. Jonerna rör sig in mot centralelektroden i krökta banor, varvid samtliga joner som inträder genom den streckade ytan (1) kommer att registreras efter att ha passerat genom volymen (2). En motsvarande volym (3), utarmad på den uppmätta typen av joner, uppstår vid yttrelektroden.

Kombineras ekvationerna (6), (7) och (8) erhålles då

$$\frac{L}{v} = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{k_j \cdot U} \cdot \int_{r_1}^{r_3} r \cdot dr = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{k_j \cdot U} \cdot \frac{r_3^2 - r_1^2}{2} = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{k_j \cdot U \cdot 2\pi} \cdot A$$

d.v.s. uppfångningsytan A blir

$$A = \frac{L \cdot k_j \cdot U \cdot 2\pi}{v \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (9)$$

Vi ser att om vi ökar elektrodspänningen U tillräckligt mycket, kommer jonuppfångningsytan bli så stor, att den helt täcker inloppet till jondetektorn. Använder vi denna metod måste vi emellertid noggrant känna hastigheten v genom apparaten, vilket ofta är opraktiskt. Vi skall istället välja den driftmod som visas i figur 4.5, vilket innebär att endast en del av de passerande jonerna fångas upp. Om den inkommande luften har jontätheten n , erhåller vi då för strömmen genom elektrometern:

$$I = n \cdot e \cdot A \cdot v = nev \cdot \frac{L \cdot k_j \cdot U \cdot 2\pi}{v \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (10)$$

där e är elementarladdningen $1,602 \cdot 10^{-19}$ As. Som vi ser medför en ökad lufthastighet att uppfångningsytan krymper i samma mån som flera joner per tidsenhet sugs genom detektorn, och den resulterande strömmen blir densamma. Med insatta värden på rörlighet och apparatparametrar ($k_j = 1,7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{Vs}$, $U = 72,5$ V, $L = 0,29$ m, $r_1 = 0,005$ m, $r_2 = 0,045$ m) erhåller vi en formel för utvärdering av våra diagram:

$$n = I \cdot \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{k_j \cdot e \cdot 2\pi UL} = I \cdot 6,1 \cdot 10^{20} \text{ (joner/m}^3\text{)} \quad (11)$$

I samtliga redovisade diagram motsvarar en skaldel 10^{-13} A, eller omräknat $60 \cdot 10^6$ joner/m³ (68 för positiva, 50 för negativa).

Vid försöken har de uppmätta jonhalterna varit som högst $n_+ \approx 1000$ joner/cm³ (vid klar arktisk luft) och som lägst ca 150 joner/cm³ (vid en period med stabil kontinental varmluft). På grund av nedan beskrivna störningseffekter torde de verkliga jonhalterna vara något högre. I detta sammanhang bör det nämnas att radonhalten i försökslokalen har uppmätts vid ett måttillfälle, varvid en halt av ca 15 Bq/m³ erhöles (luftomsättning = 0,5 h⁻¹).

4.3.3 Störningseffekter

En elektrometer är utomordentligt känsligt instrument, och anslutningstekniken måste därför ägnas speciell omsorg. Lyckligtvis räcker det i praktiken med en koaxialkabelförbindelse mellan instrument och jon-detektor för att eliminera såväl elektrostatiska som elektromagnetiska störningar. Mätkabeln är emellertid så känslig, att även obetydliga förskjutningar av densamma ger våldsamma utslag på instrumentet. Problemet kan dock lösas genom att kablarna tejpas fast vid bord och instrument på det sätt som visas i figur 3.4.

Känsliga elektroniska mätinstrument brukar ha en besvärande tendens att driva både med tiden och med temperaturen, så också en elektrometer (i vårt fall Keithley 602). Den periodvis nödvändiga nollställningen sker genom att man med en knapp på instrumentet kortsluter mätängden, varefter mätförstärkaren kan justeras. För att minska driften vid långtidsmätningar har elektrometrarnas inbyggda batterier ersatts med yttre batteripaket. Långtidsstabiliteten har härvid blivit acceptabel för det ena instrumentet

(använt för mätningar av positiva joner), medan den har varit mer nyckfull för det andra (ett inlånat äldre instrument med identisk beteckning).

En annan viktig frågeställning är om turbulens påverkar mätvärdena. Vi har tidigare sett (ekvation 10), att med en ej alltför hög elektrospänning blir den uppfångade jonströmmen oberoende av lufthastigheten genom jondetektorn. Härledningen för detta baseras på en strömningsbild enligt figur 4.5, d.v.s. det är underförstått att strömningen är i stort sett laminär. Vad händer då om vi trots allt har en viss turbulens i den inströmmande luften? Som framgår av figuren bör detta innebära att den på joner utarmade luften i zon 3 blandas med luften närmast centralelektroden, vilket måste minska vårt mätvärde. Att så också är fallet kan lätt demonstreras genom att placera ett virvelbildande hinder (t.ex. en smal tejp) framför inloppet till jondetektorn. Detta ger en minskning av mätutslaget med ca 20 %.

De elektrostatiske störningarna har befunnits vara så omfattande att de får anses som en del av rummets jonklimat och behandlas därför i ett separat avsnitt.

5 FAKTORER SOM PÅVERKAR LUFTENS JONHALT

5.1 Jondestruktion

5.1.1 Rekombination

Betrakta t.ex. en positiv jon. Under sin passage genom luften kommer den förr eller senare att råka stöta ihop med en negativ jon, varvid de ofta båda mister sin laddning - de rekombinerar. Sannolikheten för att detta skall ske bör vara proportionell mot sannolikheten att samtidigt finna en positiv och en negativ jon inom samma volym, d.v.s mot produkten av respektive jonkoncentration n_+ och n_- . Antalet rekombinerade joner per tidsenhet bör då kunna skrivas som

$$\frac{dn_+}{dt} = \frac{dn_-}{dt} = -\alpha \cdot n_+ \cdot n_- \quad (12)$$

Eftersom n_+ och n_- oftast är ungefär lika stora kan de två ekvationerna (12) i regel förenklas till en gemensam:

$$\frac{dn}{dt} = -\alpha \cdot n^2 \quad (13)$$

Värdet på rekombinationskoefficienten α varierar rimligtvis såväl med tryck och temperatur som med joner- nas egenskaper (rörlighet, d.v.s. indirekt relativ fuktighet). Vid normaltillstånd brukar man räkna med:

$$\alpha = 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ m}^3/\text{s} \quad (14)$$

5.1.2 Luftburna partiklar

Motsvarande resonemang som för jonrekombination kan föras för det fall att jonerna fångas upp av i luften kringsvävande partiklar. Jämviktsekvationerna kommer att likna ekvationerna (12), men med den ena jonkoncentrationen ersatt av en partikelkoncentration. Ett stort antal ekvationer kan här erhållas om man kombinerar olika laddade joner med olika laddade eller o- laddade partiklar av varierande slag. I genomsnitt bör denna uppfångning på partiklar kunna sammanfattas i formeln:

$$\frac{dn}{dt} = -\eta \cdot n \cdot N \quad (15)$$

där N står för det totala antalet partiklar av alla slag per volymenhet. Förutom av tryck och temperatur bör genomsnittsvärdet på konstanten η även vara beroende av bl.a. partiklarnas storleksfördelning och laddningsfördelning. Olika värden uppges också i litteraturen, men ett användbart medelvärde tycks vara:

$$\eta = 5 \cdot 10^{-12} \text{ m}^3/\text{s} \quad (16)$$

5.1.3 Väggeffekter

Allt eftersom partiklarna blir större och större ökar deras förmåga att ta åt sig mer än en elementarladdning, de förlorar gradvis sin specifika karaktär av just partiklar och börjar mer och mer fungera som jon-uppfångande ytor. Tillräckligt stora sådana ytor kan vi sammanföra under samlingsbegreppet väggar, vilka vi får betrakta som störande randzoner. Inom några centimeters avstånd från en vägg kommer vi att finna en zon med allt färre joner ju närmare väggen vi kommer, något som gäller oberoende av väggens material. Hur långt ut denna zon sträcker sig bör bl.a. bero på luftens turbulensgrad och partikelinnehåll.

Inne i en ventilationskanal är avståndet till väggarna relativt kort, varför väggeffekterna blir förhållandevis stora. Rent allmänt kan sägas att jon-uppfångningen bör öka med turbulensgraden, minska med lufthastigheten, öka med tilltagande kanallängd (till en viss gräns då jämvikt råder med jonproduktionen inne i kanalen) samt öka starkt med minskande kanaldiameter. Inverkan kan dessutom förväntas variera med partikelkoncentrationen.

De beskrivna effekterna bekräftas i stort sett av utförda försök. Som exempel kan nämnas att efter 2 m passage genom ett flexibelt rör med diametern 120 mm har jonkoncentrationen i ett typiskt försök avtagit med 40 % om röret är rakt och med 60 % om röret är krökt ett varv. Försök har också visat att effekten i stort sett är oberoende av väggarnas material.

Ovanstående resonemang visar att vi måste räkna med att den luft som lämnar ett ventilationssystem är högradigt utarmad på lätta joner. Fläktar, filter och värmeväxlare i ett ventilationssystem fungerar ju alla som finmaskiga hinder i luftströmmen och utgör alltså effektiva jonfällor. Som resonans framhållits har dock detta en försumbar inverkan på jonhalten i lokalen.

5.1.4 Elektrostatiska fält

Vi har redan konstaterat att de lätta jonerna rör sig relativt snabbt i närvaro av elektriska fält. Vid en fältstyrka av exempelvis $E = 1000 \text{ V/m}$ erhåller vi jonernas drifhastighet ur ekvation (5):

$$v_j = k_j \cdot E = 1,7 \cdot 10^{-4} \cdot 10^3 = 0,17 \text{ m/s}$$

De drivande jonerna når så småningom fram till väggytorna i fältets ändpunkter, där de neutraliseras. Vi kan alltså förvänta oss att jonkoncentrationen sjunker inom några tiotal sekunder efter anbringandet av ett sådant fält, vilket också bekräftas av försök - två plattor ($0,3 \text{ m}^2$) uppladdade till 15 kV och placerade på 3 m avstånd från varandra sänker snabbt jonhalten med 30-50 %.

Ännu bättre än med ett spänningsaggregat kan inverkan av elektrostatiska fält visas genom att en plastskiva laddas genom gnidning med en trasselsudd och sedan placeras på olika ställen i rummet. Detta illustreras på ett slående sätt i figur B3:4. Varje gång plastskivan ställs in i rummet sjunker jonhalten snabbare än mätsystemets responstid (30 s), varje gång skivan tas ut igen återgår instrumentutslaget till tidigare värde inom ett par minuter (= återbildningstiden för jonerna). Som vi märker, ökas rummets jonhalt under försökets gång (partikelkoncentrationen sjunker), men genom att växelvis flytta skivan in i och ut ur rummet kan vi studera fältets inverkan. Resultatet är överraskande - effekten kan vara tydlig fortfarande efter ett halvt dygn! Som framgår av figur B3:6 stiger naturligtvis utarmningsgraden ju närmare skivan vi kommer, och på 1,5 m avstånd har jonhalten sjunkit med hela 85 %.

Som bekant ökar risken för uppkomst av elektrostatiska laddningar starkt vid låg luftfuktighet. Även under relativt normala förhållanden kan vi emellertid påverka rumsluftens jonhalt kraftigt genom att vi producerar elektriska laddningar, t.ex. när vi går över en nålfiltmatta. I figur B3:5 framgår detta med all tydlighet. Så länge som rummet är ostört är också mätkurvan jämn, men så fort en människa arbetar i rummet, splittras den på ett mycket karakteristiskt sätt med en rad språngvisa minskningar följda av kortare eller längre perioder med långsam återhämtning. Även vid tillsynes helt stillasittande arbete kan man påverka jonhalten fullt märkbart med ofrivilliga rörelser som t.ex. att skifta ett par korsade ben.

5.2 Jonproduktion

5.2.1 Joniserande strålning

Den kortvägiga joniserande strålningen från solen har knappast någon betydelse vid marken. Den energirikaste strålningen bromsas redan på hög höjd (i termosfären, över 80 km), och den kortvägiga ultravioletta strålningen absorberas effektivt av ozonskiktet i stratosfärens övre del (30-50 km). Det mesta av partikelstrålningen från solen bromsas upp redan i Van Allen-bältena på ännu högre höjd, medan däremot den betydligt energirikare kosmiska strålningen lättare kan tränga genom det jordmagnetiska fältet och till en liten del förorsaka jonisation även i de lägre luftlagren. Jonisationsbidraget från den kosmiska strålningen uppges i regel till 1,5-1,8 joner/cm³/s.

Över oceanerna sker all jonisation via den kosmiska strålningen. Inne över land måste man däremot även räkna med bidraget från radioaktiva ämnen i jordskorpan. Förutom i ett randskikt på någon decimeters tjocklek består detta bidrag dels av γ -strålning direkt från

marken, dels av all sorts strålning från i luften närvarande radioaktiva gaser och partiklar (väsentligen radon och dess sönderfallsprodukter). Bidraget från dessa båda jonisationseffekter varierar naturligtvis beroende på underlagets beskaffenhet (radiumhalt och porositet). Mängden radioaktiva ämnen i luften beror också på luftmassans ursprung, passageväg och omrörning de senaste tio dagarna (den väsentligaste halveringstiden är knappt fyra dagar).

Den totala inverkan av den joniserande strålningen kan uttryckas i formeln:

$$\left(\frac{dn_+}{dt} = \frac{dn_-}{dt} =\right) \frac{dn}{dt} = q \quad (17)$$

Jonproduktionshastigheten q kan alltså förväntas variera i både rum och tid, och spridningen på publicerade värden är också avsevärd. Som ett representativt medelvärde över land brukar man ofta anta värdet

$$q = 10 \text{ jonpar/cm}^3/\text{s} \quad (18)$$

5.2.2 Övriga effekter

Nära vattenfall, och ofta i fallande nederbörd, brukar man notera ett överskott av negativa joner, vilket brukar förklaras med laddningseffekter i samband med sönderdelning av vattendropparna. Som framgår av diagrammen i BILAGA 3 kan man inte finna någon motsvarande förändring inomhus t.ex. vid regn; jonbalansen inomhus inställer sig uppenbarligen så snabbt, att måttliga skillnader i tilluftens jonhalt inte märks. Av figur B3:1 framgår dock att ett friblåsande ångmunstycke kan ge en fullt märkbar effekt.

I tillräckligt starka elektriska fält hinner fria elektroner i luften samla så mycket energi mellan varje kollision med luftmolekylerna, att dessa kan joniseras. Vid ej alltför hög potential (ca 5 kV) kan det lokala fältet runt en metallspets på så sätt ge upphov till en kontinuerlig s.k. koronarladdning. Kommersiellt tillgängliga jongeneratorer arbetar ofta med så låga strömstyrkor som 0,1 μA , vilket icke desto mindre ger drygt 10^{12} elektroner per sekund.

6.1 Jonernas livslängd

Vi har tidigare sett hur jonerna återskapas helt inom 3-4 minuter efter det att en störningskälla avlägsnas (figur B3:4) och hur ett överskott av joner försvinner endast obetydligt långsammare (figur B3:1). Dessa avklingningstider stämmer väl med jonernas förväntade medellivslängd, vilken med ett antaget värde av $n = 1000$ jonpar/cm³ och med $q = 10$ jonpar/cm³/s blir av storleksordningen 100 s. Här finns alltså en förklaring till varför samtliga försök visar att ventilationssystemet som sådant inte påverkar rummets jonhalt på ett mätbart sätt - jonerna återskapas i rummet i alltför snabb takt.

6.2 Empirisk jämvikt jonbildning-partikelhalt

Vi lämnar tillfälligtvis beteckningarna i kapitel 5 och betraktar enbart våra instrumentutslag. Om vi betecknar vår uppmätta, optiskt detekterbara, partikelkoncentration med C och antar att denna står i ett konstant förhållande till den totala partikelkoncentrationen, bör vi med försumbara ventilationseffekter erhålla ett samband av typen

$$\frac{dn}{dt} = k_0 - k_1 \cdot n^2 - k_2 \cdot n \cdot C \quad (19)$$

Eftersom jämvikten har konstaterats vara snabb, kan vi vidare hoppas på en kvasistationär jämvikt, även om partikelkoncentrationen C varierar, d.v.s.

$$0 = k_0 - k_1 \cdot n^2 - k_2 \cdot n \cdot C \quad (20)$$

vilket kan skrivas om som

$$n \cdot \left(C + \frac{k_1}{k_2} \cdot n \right) = \frac{k_0}{k_2} \quad (21)$$

Efter logaritmering erhålles

$$\log n = \log \left(\frac{k_0}{k_2} \right) - 1,0 \cdot \log \left(C + \frac{k_1}{k_2} \cdot n \right) \quad (22)$$

vilket i ett $\log n - \log C$ diagram ger oss en krökt kurva, vars asymptot vid stora C -värden får lutningen $-1,0$. Vid små C -värden åter erhåller vi direkt ur ekvation (21)

$$\lim_{C \rightarrow 0} n = \sqrt{\frac{k_0}{k_1}} \quad (23)$$

Resultatet av ett rökprov med titandioxidpartiklar

redovisas i figur 6.1. Som vi ser, ligger våra mätvärden varken vid takkoncentrationen för ren luft eller vid asymptoten för smutsig luft utan någonstans mitt emellan. För att se om denna kurva satisfierar ekvation (22) antar vi nu ett värde på k_1/k_2 , väljer ut ett antal punkter på kurvan, avläser motsvarande värden på C och n och prickar in det nya värdet på $(C+n \cdot k_1/k_2)$. Kan de nya punkterna inte sammanbindas med en rät linje, upprepas proceduren med ett annat värde på k_1/k_2 . Efter några försök erhåller vi med $k_1/k_2 = 0,34$ en rät linje med just den teoretiska lutningen $-1,0$. Med detta värde och med värdena på en godtycklig punkt på vår mätkurva kan vi nu erhålla förhållandet k_0/k_2 ur ekvation (21) och därmed kan vi även beräkna att

$$\sqrt{\frac{k_0}{k_2} \cdot \frac{k_2}{k_1}} = \sqrt{\frac{k_0}{k_1}} = 13,7$$

vilket motsvarar 822 joner i absolut ren luft (enligt ekvation 11).

Motsvarande procedur för normal rumsluft ger också en rät linje enligt figur 6.1. Här erhåller vi emellertid ett helt annat och mindre värde på k_1/k_2 (0,095 mot tidigare 0,34), vilket dock knappast är att förvånas över - den tjocka vita titandioxidröken innehåller säkert större partiklar, detekteras alltså lättare och ger då också ett skenbart mindre värde på k_2 och därmed ett större värde på k_1/k_2 .

Även i detta fall kan vi räkna ut ett värde för absolut ren luft:

$$\sqrt{\frac{k_0}{k_1}} = 14,2$$

vilket stämmer mycket väl med det tidigare värdet 13,7. Vi kan därför dra den slutsatsen att jonisationsgraden endast kan ha ändrat sig obetydligt under mätningarnas gång.

6.3 Teoretisk jämvikt vid ventilation

Vid försöken har tilluftssystemet varierats på en rad olika sätt med olika kanallängder och varierande flöden, med eller utan fläktar, filter och jonfällor, varvid det har kunnat konstaterats att ventilations-systemet inte på något mätbart sätt har påverkat rumsluftens jonhalt på annat vis än genom utvädring av rök och radon.

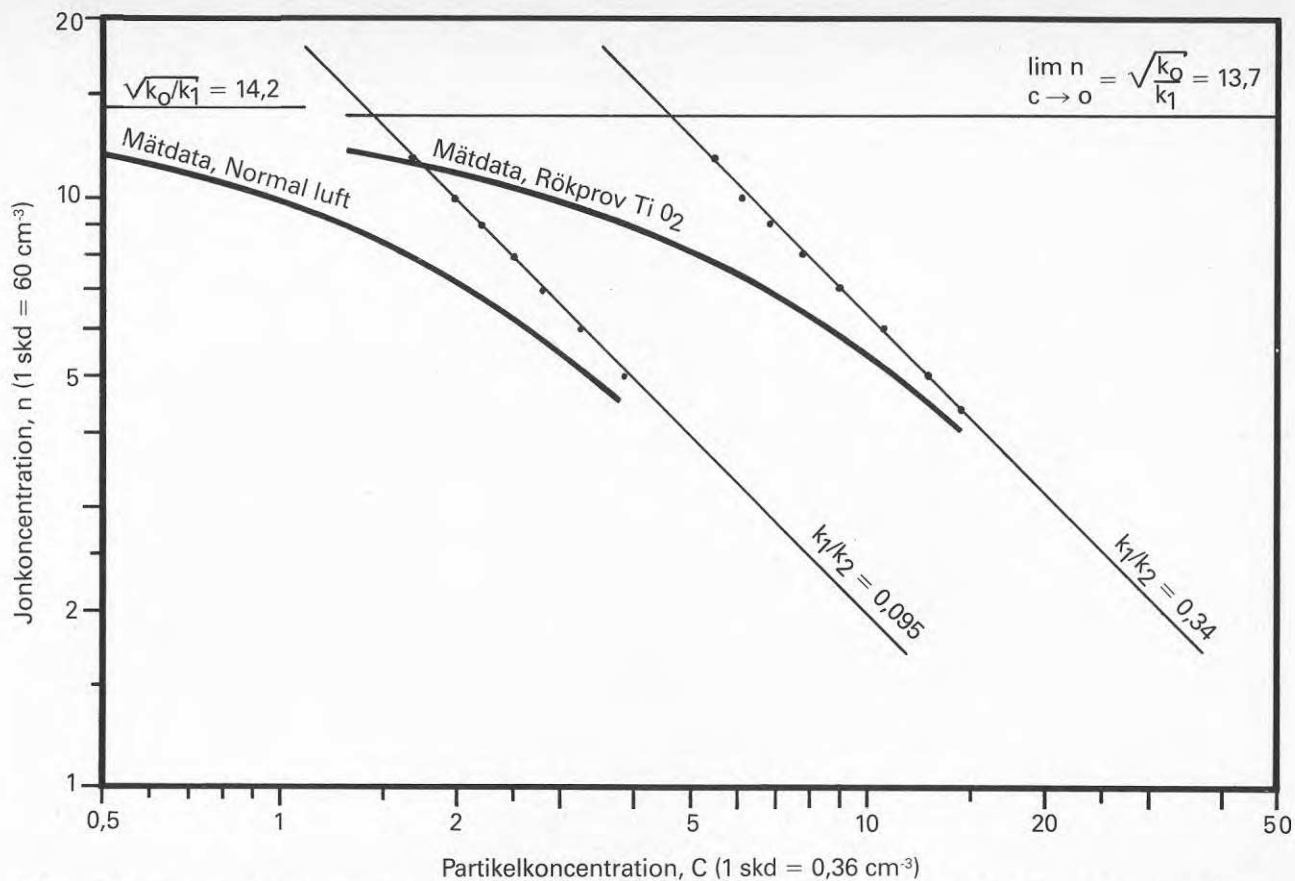
En teoretisk beräkning av ventilationssystemets maximala inverkan framgår nedan (jämför BILAGA 1). Om rummets ventilationsgrad är R luftomsättningar per tidsenhet bortför vi ständigt $R \cdot V \cdot n$ jonpar/s från rummet. Om den tillförda luften helt saknar joner, erhåller vi vid kvasistationär jämvikt enligt ekvatio-

nera (13), (15) och (17)

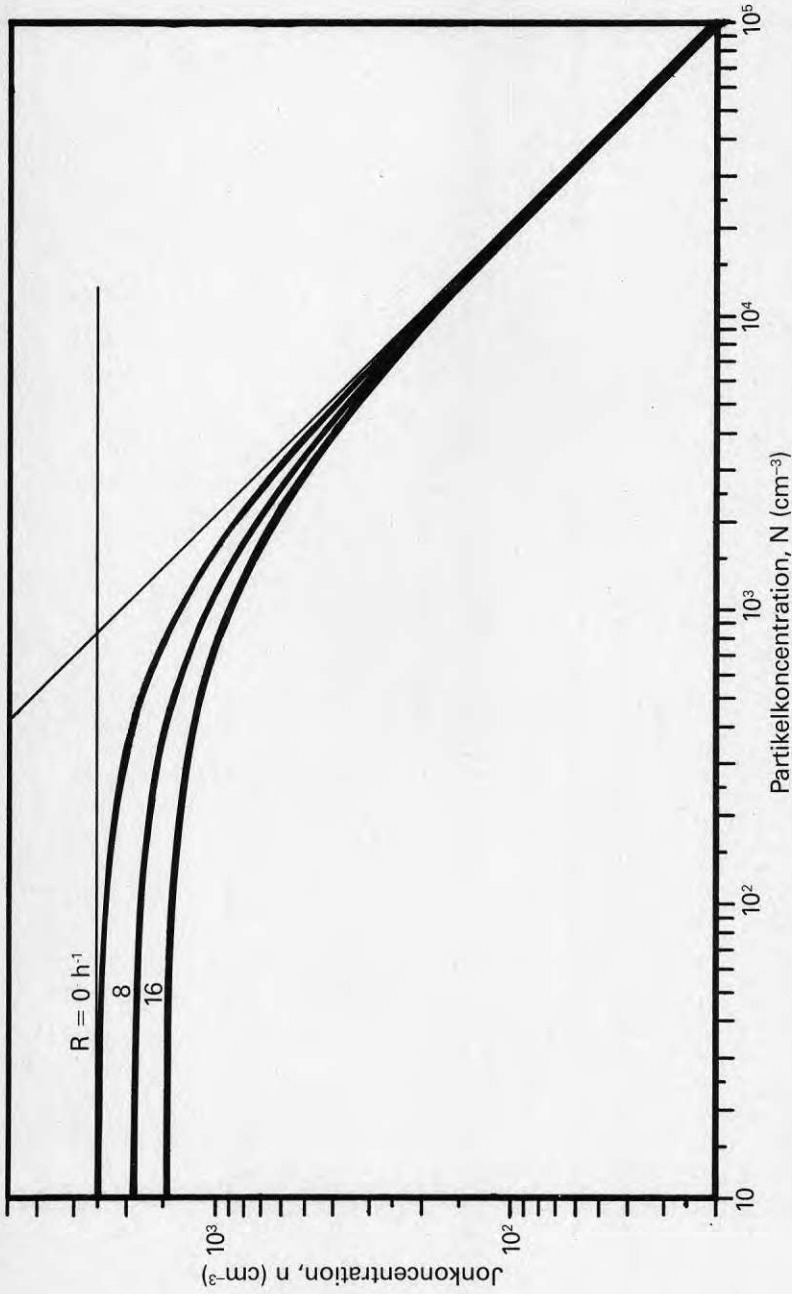
$$\frac{dn}{dt} = 0 = q - \alpha \cdot n^2 - \eta \cdot n \cdot N - n \cdot R \quad (24)$$

Med de vanligast antagna värdena på q , α och η , enligt (14), (16) och (18), erhåller vi värdena i tabell B2:2, vilka visas som kurvor vid olika ventilationsgrad i figur 6.2. Kurvorna är helt analoga med våra mätresultat, och vi ser att vi först vid mycket höga luftomsättningar i kombination med mycket ren luft kan förvänta oss någon väsentlig reduktion av luftens jonhalt. Helt analoga resultat erhålles vid lägre jonproduktion (tabell B2:1) och vid andra värden på parametrarna α och η (tabell B2:3 och B2:4).

Av tabellerna framgår att sänkningen av rummets jonhalt vid våra försök som högst bör ha varit ca 5 %, i de flesta fall betydligt lägre.



Figur 6.1. Jonkoncentration som funktion av mängden optiskt detekterbara partiklar. Sambandet $\log n = \log(k_0/k_2) - 1,0 \cdot \log(C + n \cdot k_1/k_2)$ gäller både vid rökprov och vid normal rumsluft, men med olika värden på k_2 . Gränsvärdet för absolut ren luft blir nära nog samma i båda fallen.



Figur 6.2. Luftens jonkoncentration n som funktion av partikkelkoncentrationen N vid några olika ventilationsgrader R . Teoretiska jämviktskurvor enligt formeln:

$$\frac{dn}{dt} = 0 = q - \alpha \cdot n^2 - \eta \cdot n \cdot N - n \cdot R \text{ där: } \begin{array}{l} q = 10 \cdot 10^6 \text{ jönpär producerade per m}^3 \text{ och sekund} \\ \alpha = 1,6 \cdot 10^{-12} \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3 \text{ s}^{-1}} \\ \eta = 5 \cdot 10^{-12} \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3 \text{ s}^{-1}} \end{array}$$

7 SLUTSATSER

Utförda försök och teoretiska betraktelser leder båda fram till nedanstående slutsatser beträffande jonhaltarna i ventilerade lokaler.

7.1 Jonbalans

Under inverkan av bl.a. kosmisk strålning och radioaktivt sönderfall av radon och radondöttrar sker en ständig nybildning av joner i luften. Båda strålningskällorna varierar något såväl under året som under dygnet, medan större variationer mellan olika platser på jorden kan förekomma. I ett isolerat rum stiger luftens radonhalt, och därmed joniseringen, till ett jämviktsvärde, vilket beror på byggnadsmaterial och berggrund. Stora variationer kan här uppkomma. I ett någotsånär välventilerat rum dominerar jonproduktionen i stället av radonhalten i den tillförda uteluften. Vid de flesta försök kan denna halt anses relativt konstant, även om variationer uppkommer på grund av luftmassans ursprung och egenskaper. Ofta är jonproduktionen av storleksordningen $q = (5-10) \cdot 10^6$ jonpar per kubikmeter och sekund.

Parallellt med nybildningen av luftjoner sker en kontinuerlig jondestruktion, och vid jämvikt, vilken uppnås inom någon minut, blir den resulterande jonkoncentrationen typiskt $n = (100-1000) \cdot 10^6 \text{ m}^{-3}$.

Högsta möjliga jonkoncentration ($n = 2000-3000) \cdot 10^6 \text{ m}^{-3}$) erhålles i absolut ren luft, då rekombinations-effekter dominerar. Jonerna kan också försvinna genom att de slår sig ned på de kringsvävande partiklar som normalt finns i stor mängd även i klar luft. Över en viss partikelkoncentration, ca $1000 \cdot 10^6 \text{ m}^{-3}$, börjar den senare processen dominera, och vid högre koncentrationer kommer jonhalten så småningom att helt bestämmas av mängden partiklar i luften.

7.2 Ventilationseffekter

Nära rummets väggar (på cm-avstånd) försvinner även en del joner genom diffusion till dessa ytor, något som normalt inte påverkar joninnehållet i den fria luften. Effekten kan däremot bli betydande, t.o.m. dominerande, inuti själva ventilationssystemet, där luften efter passage av bl.a. filter och värmeväxlare kanske bara innehåller 5-10 % av de ursprungliga jonerna. (Denna typ av jonuppfångning har för övrigt inget att göra med att ventilationskanalerna är av plåt.) Även om man räknar med att den tillförda friskluften är helt utarmad på joner efter passagen av ventilationssystemet, så blir emellertid inverkan på jonhalten i rummet helt obetydlig - en minskning med högst 1 % vid normala ventilationsförhållanden. Först vid extremt höga luftomsättningar, och då endast

i mycket ren luft, kan ventilationssystemet tänkas spela någon roll (50 % reduktion av luftens jonhalt vid 20 luftomsättningar per timme).

7.3 Elektrostatiska fält

I normala fall påverkas visserligen inte luftens jonhalt av rummets väggar, men i närvaro av ett elektrostatiskt fält kan detta förhållande ändras radikalt - inom något tiotal sekunder har en betydande del av jonerna sökt sig till de laddade ytrorna, med därmed åtföljande minskning av jonkoncentrationen. Sådana fält uppkommer lättare än man tror - det räcker med att man går över en nålfiltmatta, tar i ett plasthandtag, stryker handen genom håret eller t.o.m. gör något så obetydligt som att korsna benen när man sitter vid ett bord, för att elektrostatiska laddningar skall uppstå.

De uppkomna effekterna kan vara allt från minimala (i fuktig och rökig luft) till dramatiska (i torr och ren luft) och de kan kvarstå förvånansvärt länge - åtskilliga timmar även i normal rumsluft, om laddningarna är bundna på en plastyta.

7.4 Jonmätningar i arbetslokaler

Det är helt klart, att jonhalten i ett arbetsrum väsentligen beror på radonhalt, partikelhalt (cigarrettrök) och elektrostatiska fält. Ventilationen inverkar indirekt genom att den renar luften, men knappast på något annat sätt.

Att verkligen mäta jonhalten i ett rum där arbete pågår är emellertid ganska vanskligt. Det är visserligen relativt lätt att få ett utslag av rätt storleksordning på en modern elektrometer, och mätförfarandet är i princip inte svårt - men det krävs att man är noggrann, det rör sig ju om strömmar av storleksordningen en hundramiljondels mikroampère. Alla mätkablar måste fixeras i orörligt läge, instrumentet måste periodvis nollställas, temperaturen bör vara konstant, etc. Vidare påverkar själva jondetektorn jonhalten i dess omgivning och den är dessutom känslig för turbulens.

Även med ett någorlunda riktigt mätvärde ställs man genast inför frågan "Hur många joner motsvarar detta värde?" Svaret på frågan ges bl.a. av vilken rörlighet jonerna har, något som inte är entydigt utan kan ändra sig med luftens sammansättning.

BILAGA 1: Sambandet mellan jonhalt och luftomsättning.

De av Niels Jonassen vid Danmarks tekniska högskola härledda sambanden mellan jonhalt och luftomsättning återges nedan in extenso.

ON THE INFLUENCE OF VENTILATION SYSTEMS ON ION CONCENTRATIONS IN ROOM AIR

It is a well-known fact that the ion concentration decreases when air passes ducts, filters, fans etc. in a ventilation system. The ion losses are due to processes like diffusion, field-induced removal and filtration.

It is thus reasonable to assume that (ventilation) air has an ion concentration of zero when it enters a room. In the room air, however, ions are constantly being produced, primarily by radioactive decay of radon (and its daughter products), and the actual ion concentration in the room air is determined by the competition between the production and the following major removal processes: 1) recombination with oppositely charged (small) ions, 2) combination with nuclei (neutral and oppositely charged), and 3) removal by ventilation air.

Let n be the concentration of small ions (positive and negative) in the room air, q the production rate (number of small ion pairs being produced per unit volume per unit time), N the concentration of nuclei with which a given polarity of small ions may combine, a the small ion coefficient of recombination, g the coefficient of combination between small ions and nuclei and r the ventilation rate for the room.

We will make the assumption that q and N are not affected by the ventilation. This means essentially, that the radon concentration is the same in the room air as in the make-up air, and that either this is also true as far as the nucleus concentration is concerned, or that the nucleus production in the room can keep up with the dilution caused by the ventilation.

The concentration n of small ions (for instance negative) in the room air is then given by

$$\frac{dn}{dt} = q - a \cdot n^2 - g \cdot n \cdot N - n \cdot r \quad (1)$$

or

$$\frac{dn}{dt} = q - n \cdot (a \cdot n + g \cdot N + r) \quad (2)$$

It is realized, that equation (1) does not take into account such processes as diffusion to the walls, and it does not distinguish between combination with uncharged and charged nuclei. It is still believed, however that the equation adequately demonstrates the influence of the ventilation rate r on the ion concentration n .

For the constants appearing in the equations the following values may be used

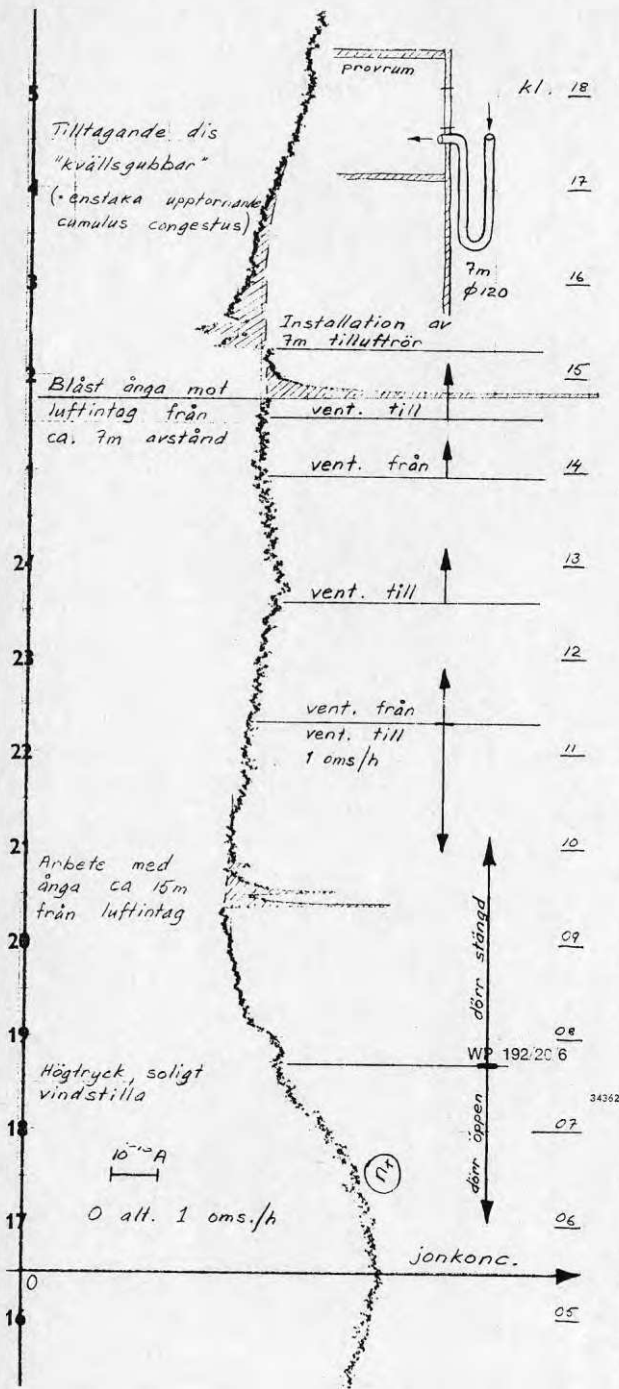
$$a = 1.6 \cdot 10^{-12} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}; \quad g = 5 \cdot 10^{-12} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

Typical values for the production rate may be $q = 5 \cdot 10 \cdot 10^6 \text{ m}^{-3} \text{ s}^{-1}$ and for the concentrations $n = 2 \cdot 10^8 \text{ m}^{-3}$ and $N = 3 \cdot 10^{10} \text{ m}^{-3}$. Introducing these values in equation (2) we find that at ventilation rates in the range of 1 - 5 times per hour, or $r = 3 \cdot 15 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$, the ventilation term varies from 0.2 to 1 % of the combination terms. The average life time for an ion will under these conditions be about $1/(a \cdot n + g \cdot N)$ or about 6 - 7 sec.

At very low nucleus concentrations like $N = 10^9 \text{ m}^{-3}$, n will often be of the order of $1 \cdot 2 \cdot 10^9 \text{ m}^{-3}$ and in such a case the ventilation term may dominate, and a ventilation rate of 3 times per hour may reduce the ion concentration 10 % compared to the unventilated value. The average life time of an ion would in this case be about 2 min.

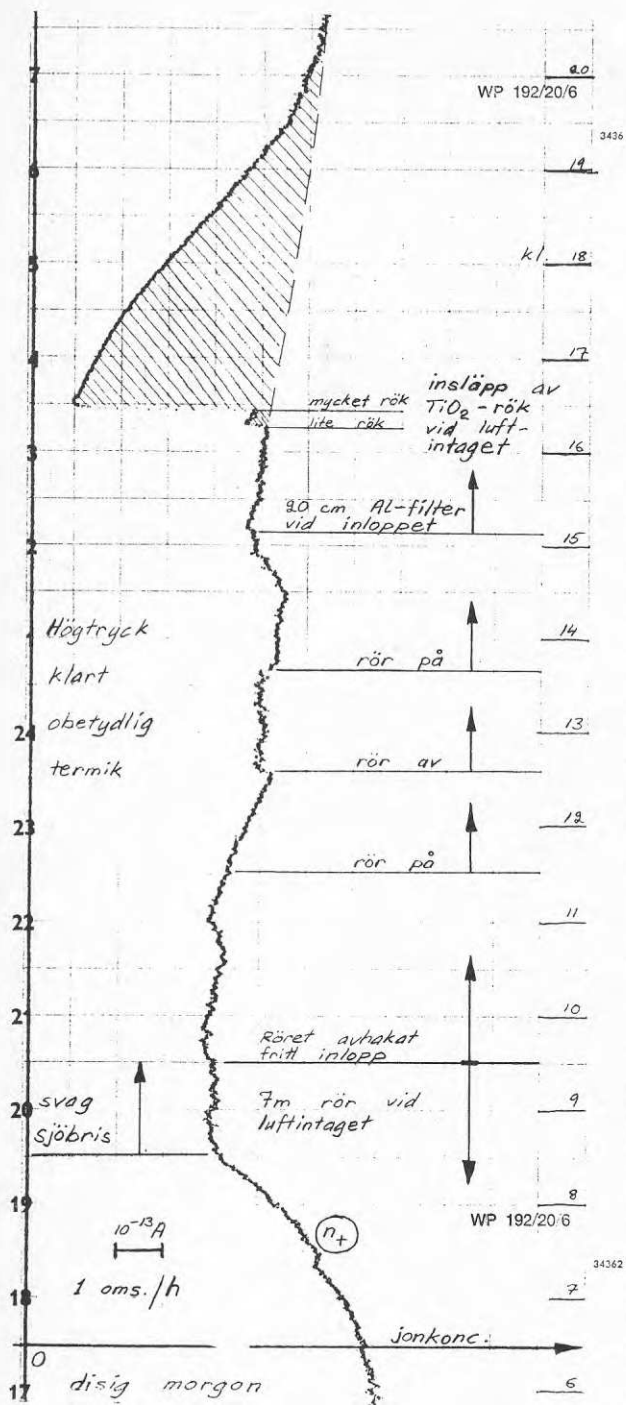
There is no doubt, that the most likely starting-conditions are the ones with $N = 3 \cdot 5 \cdot 10^{10} \text{ m}^{-3}$, and if the ventilation system does not reduce the nucleus concentration significantly, the ion concentration will be virtually unaffected by the ventilation system. If on the other hand the nucleus concentration is significantly reduced because of the ventilation system, the final effect on the ion concentration is determined by the sum of the combination and ventilation term. If this term as a whole is lowered, the end effect will be an increase in the ion concentration.

BILAGA 3: Exempel på registrerade jon- och partikelhalter.



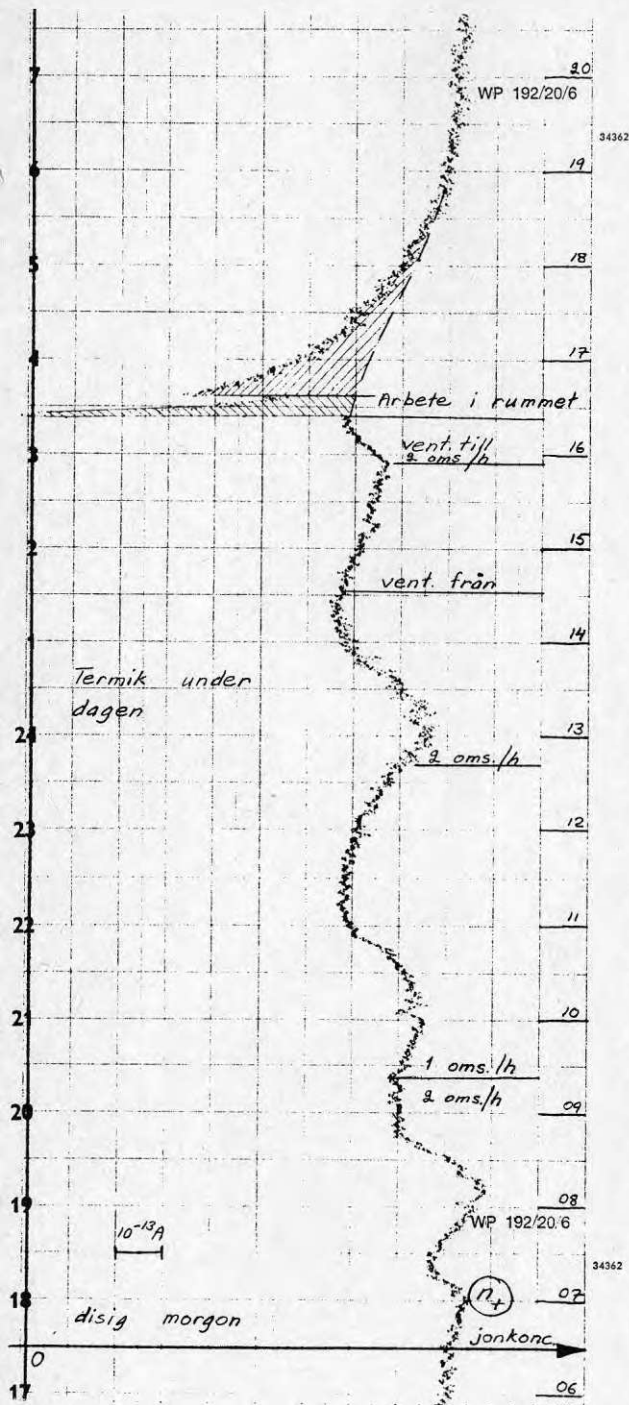
Figur B3:1. Registrerad jonhalt vid olika luftomsättning. (Stabilt högtryck sommartid.)

- Jonkoncentrationen sjunker under morgontimmarna, troligen på grund av bilavgaser.
- Jonkoncentrationen konstant under dagen (konstant konvektion under kraftigt inversionsskikt).
- Jonkoncentrationen stiger något under eftermiddagen (svag termik, enstaka genombrött av inversionskikt).
- Dörr öppen/stängd: ingen märkbar inverkan.
- Ventilation till/från: svag inverkan möjlig (utvädring av radon?)
- 7 m långt tillufttrör: typiska störningar på grund av el.stat. laddning. Ingen märkbar inverkan av röret.
- Försök med ångstråle (intensiv jonbildning vid munstycket): Jonhalten stiger på ca 20 s. Rekombination med tidskonstant ca 1 minut.

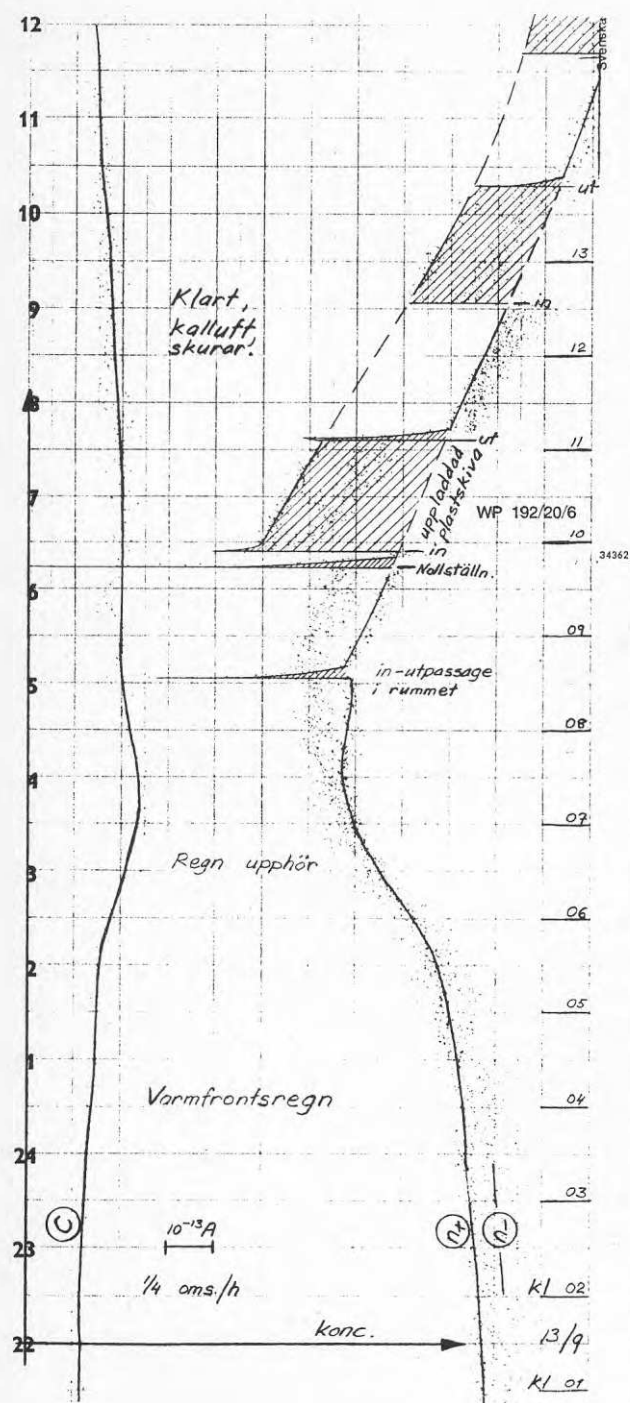


Figur B3:2. Registrerad jonhalt vid olika längder på tilluftskanalen samt vid dosering av rök. (Sjöbris vid stabilt högtryck.)

- Jonkoncentrationen sjunker under morgontimmarna, troligen på grund av bilavgaser.
- Sjöbris ca kl. 08.30. Stabila förhållanden under dagen; nästan konstant jonkonc.
- Inverkan av tilluftsrorets längd knappt påvisbar, under alla förhållanden mycket mindre än naturliga variationer.
- Inverkan av luftens partikelhalt mycket stor. Jonkoncentrationen i mycket snabb jämvikt med partikelkoncentrationen.

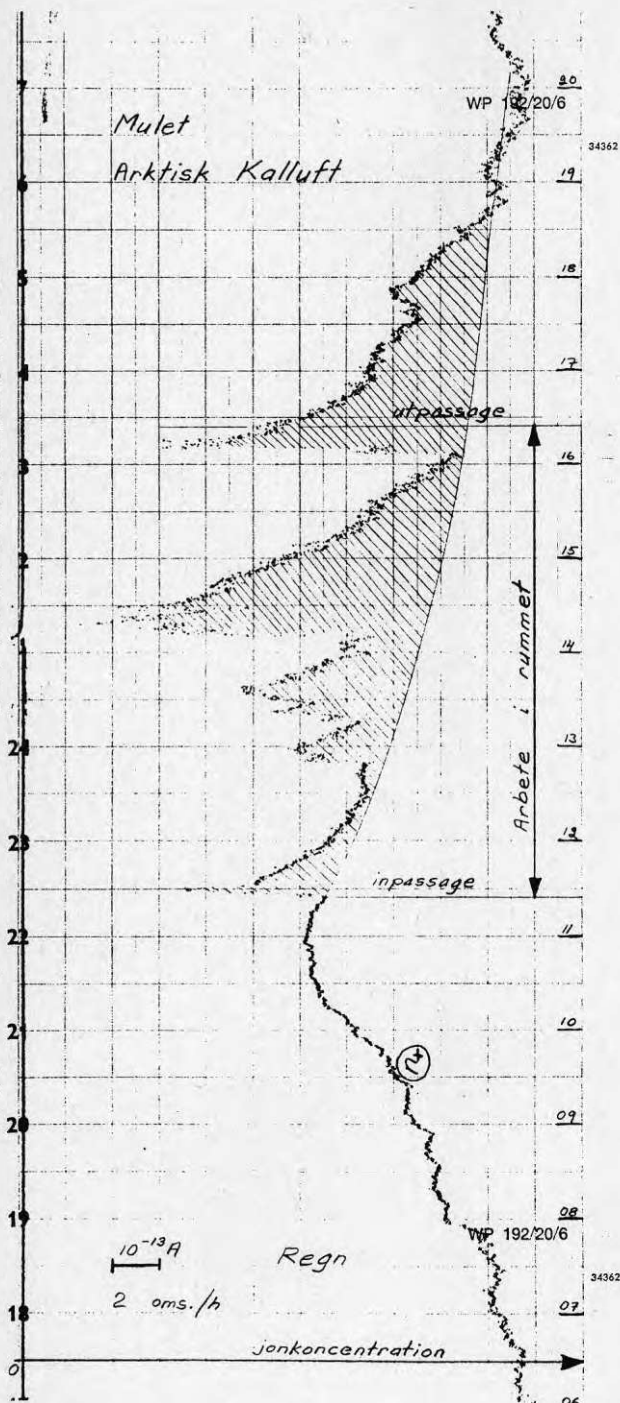


- Figur B3:3. Registrerad jonhalt vid olika luftomsättning. (Sommardag med kraftig termik.)
- Termik under dagen ger pulserande inblandning av renare luft (⇒ högre jonkoncentration).
 - Ingen märkbar skillnad mellan 1 respektive 2 luftomsättningar per timme.
 - Helt avstängd ventilation kan möjligen ge långsamt ökande jonhalt (Radon?).
- Mycket kraftig inverkan av elektrostatiska laddningar efter arbete i rummet.



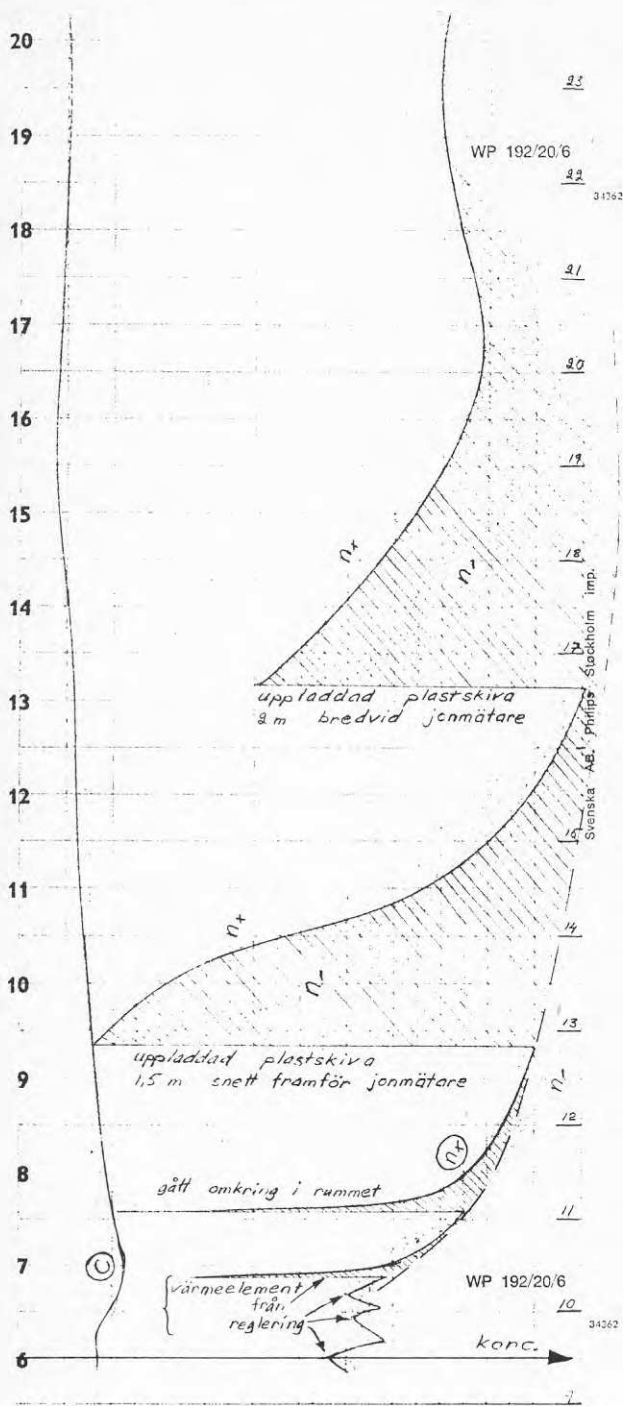
Figur B3:4. Registrerade jon- och partikelhalter vid inverkan av elektrostatiska fält.
(Lågtryckspassage från väster.)

- Allteftersom varmfronten närmar sig vrider vinden på syd, och den ursprungliga rena polarluften ersättes med nedsmutsad kontinentaluft - partikelkonc. C stiger och jonkonc. n sjunker.
- Extra nedsmutsning av luften mellan kl. 06 och 07, troligen på grund av bilavgaser.
- Varmfronten passerar ca kl. 06.30, kallfronten ca kl. 09. Den rena kallluften ersättes därefter långsamt luften i rummet - jonkonc. stiger.
- Varje in-utpassage i rummet ger kraftiga, men kortvariga, störningar på grund av elektrostatiska fält.
- En 0,3 m² stor plastskiva laddades kl. 09.50 och flyttades därefter med jämna mellanrum in i och ut ur rummet. Vid varje tillfälle försvinner jonerna på några tiotal sekunder, resp. återbildas till jämvikt på några minuter. Laddningarna på plastskivans yta ligger uppenbarligen kvar i många timmar.



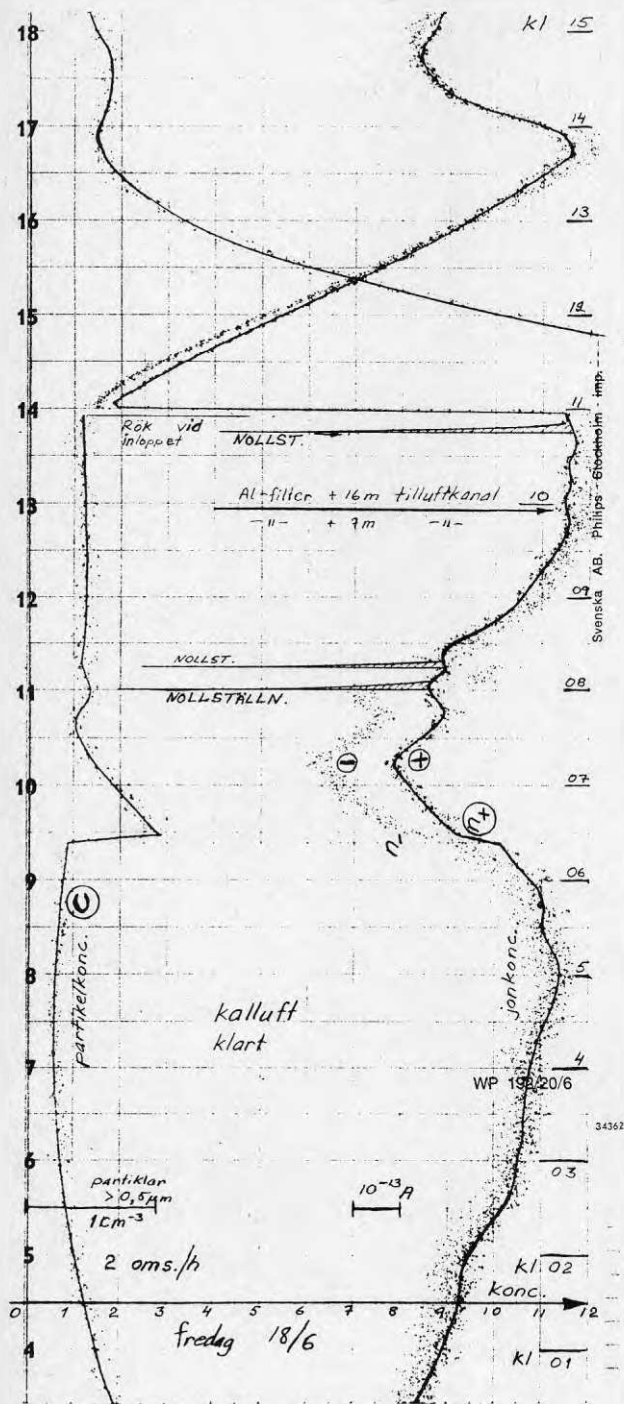
Figur B3:5. Registrerad jonhalt vid arbete i rummet. (Passage av ocklusionsfront, ca kl. 10.30.)

Typisk inverkan av elektrostatiska fält uppkomna vid arbete i rummet. Jonkoncentrationen avtar språnghvis varje gång laddningar bildas vid t.ex. gång över näfiltmatta eller beröring av plastföremål. Återbildning sker i takt med att ytladdningarna neutraliseras (mycket långsammare än luftomsättningen). Genomsnittlig jonkoncentration stiger hela eftermiddagen i takt med att renare kallluft införes.



Figur B3:6. Registrerad jon- och partikelhalt vid inverkan av elektrostatiska fält.

- Den relativa fuktigheten i rummet har sänkts genom att rumstemperaturen höjts. Värmeelementens on/off-reglering påverkar jonmätningarna.
- Inpassage i rummet för att slå av värmeelementet ger elektrostatiska laddningar som försvinner inom fem minuter.
- Större elektrostatiska laddningar genereras genom mer omfattande rörelser i rummet.
- Kraftiga störningar som ligger kvar i flera timmar erhålles genom gnidning av en ca 0,3 m² stor plastskiva (som fått stå kvar i rummet).



Figur B3:7. Registrerade jon- och partikelhalter vid rökprov. (Klart kallluftsväder.)

- Hög och jämn jonhalt i den ostörda uteluften på grund av den rena och väl omrörda luftmassan.
- Partikelkonc. (C) stiger och jonkonc. (n) sjunker under de tidigare morgontimmarna, troligen på grund av bilavgaser.
- Kl. 06.25 registreras en kraftig rökpuff med följande minskning av jonhalten. Först kl. 09.30 är ursprungsförhållandena någorlunda återställda.
- En förlängning av tilluftskanalen från 7 m till 16 m ger ingen mätbar inverkan.
- Vid prov med TiO_2 -rök sjunker jonhalten inom några total sekunder till en bråkdel av ursprungsvärdet för att sedan åter stiga i takt med att röken vädras ut.

LITTERATUR

Israël, H, 1957, Atmosphärische Elektrizität (Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K-G.) Leipzig.

Jonassen, N, 1970, Measurement of Small-Ion Concentrations. Journal of Geophysical Research, Vol. 75, No. 24, p. 4491-4498.

Jonassen, N, 1982, On the influence of ventilation systems on ion concentrations in room air. /Opublicerad./

Kilinski, E, 1958, Lehrbuch der Luftelektrizität (Akademische Verlagsgesellschaft, Geest & Portig K-G.) Leipzig.

Krueger, A P, 1973, Are negative ions good for you? New Scientist, June 14, p. 668-670.

Sulman, F G, Levy, D, Levy, A, Pfeifer, Y, Superstine, E & Tal, E, 1974, Air-Ionometry of Hot, Dry Dessert Winds (Sharav) and Treatment with Air Ions of Weather - Sensitive Subjects. Int. J. Biometeor., Vol. 18, No. 4, p. 313-318.

Sulman, F G, 1980, The Effect of Air Ionization, Electric Fields, Atmospherics and other Electric Phenomena on Man and Animal (Charles C Thomas' Publisher.) Springfield.

SAMMANFATTNING

Föreliggande undersökning har syftat till att belysa vilka ventilationstekniska och byggnadstekniska faktorer som påverkar jonklimatet i en byggnad. Undersökningen har begränsats till att i första hand omfatta moderna kontorslokaler. Experimentprogrammet har utförts i en befintlig kontorslokal, där det var möjligt att på ett relativt enkelt sätt modifiera ventilationssystemet.

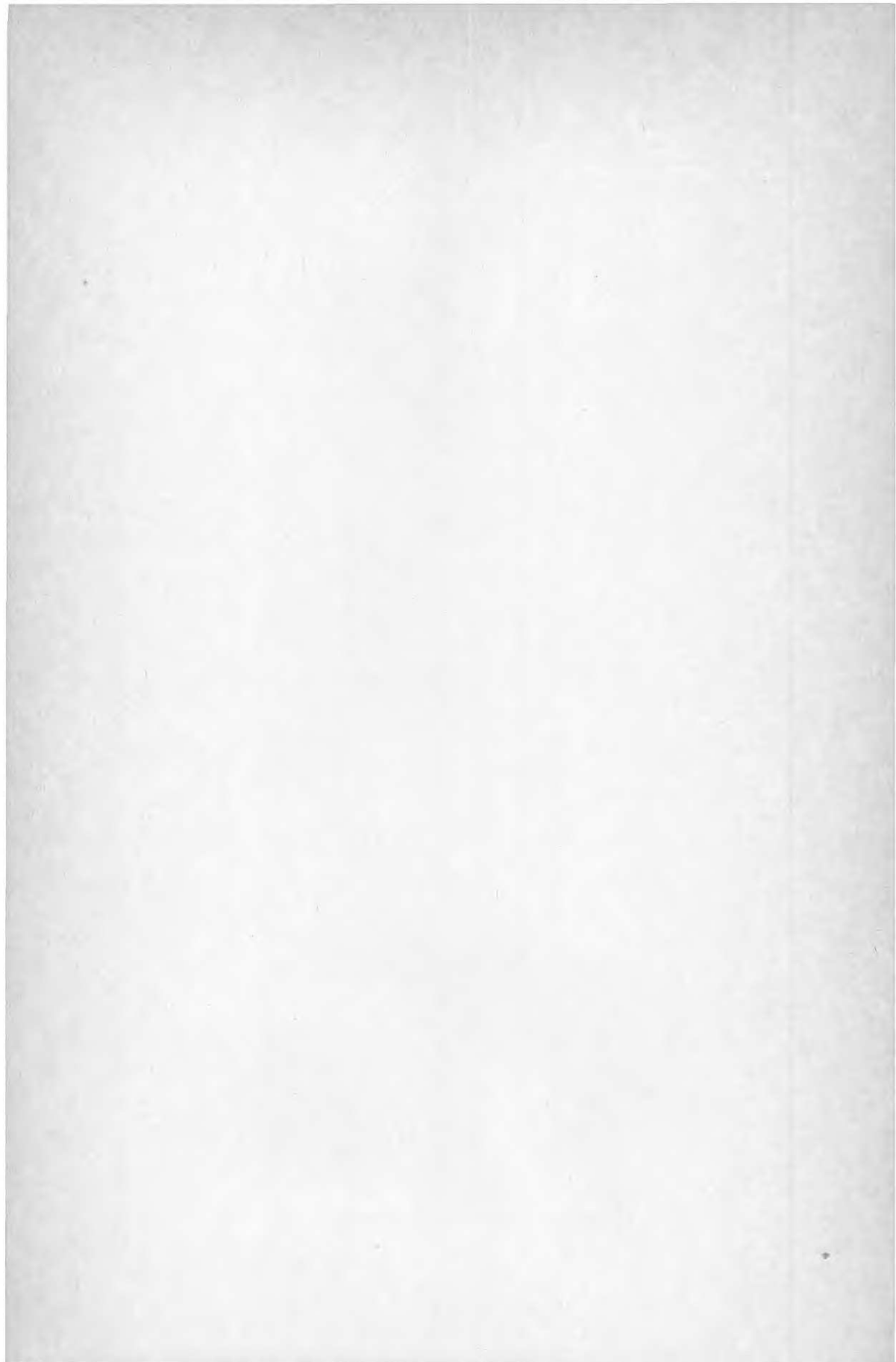
I hög grad har experimentprogrammet inriktats på att mäta halten av lätta luftjoner i den aktuella kontorslokalen då denna ventilerades med olika tilluftssystem. Jonhalten har således mätts både då uteluft tillförts via ett mekaniskt tilluftssystem och då uteluft tillförts via en öppning i lokalens fönstervägg. Speciellt intresse har ägnats åt att undersöka hur olika kanallängder i tilluftssystemet påverkar jonhalten i lokalen. Mätresultaten visar härvid att tilluftssystemet har försumbar inverkan på jonhalten, vilket också är i överensstämmelse med de teoretiska beräkningar som utförts. Förklaringen härtill är helt enkelt att jonerna i snabb takt återskapas i lokalluften.

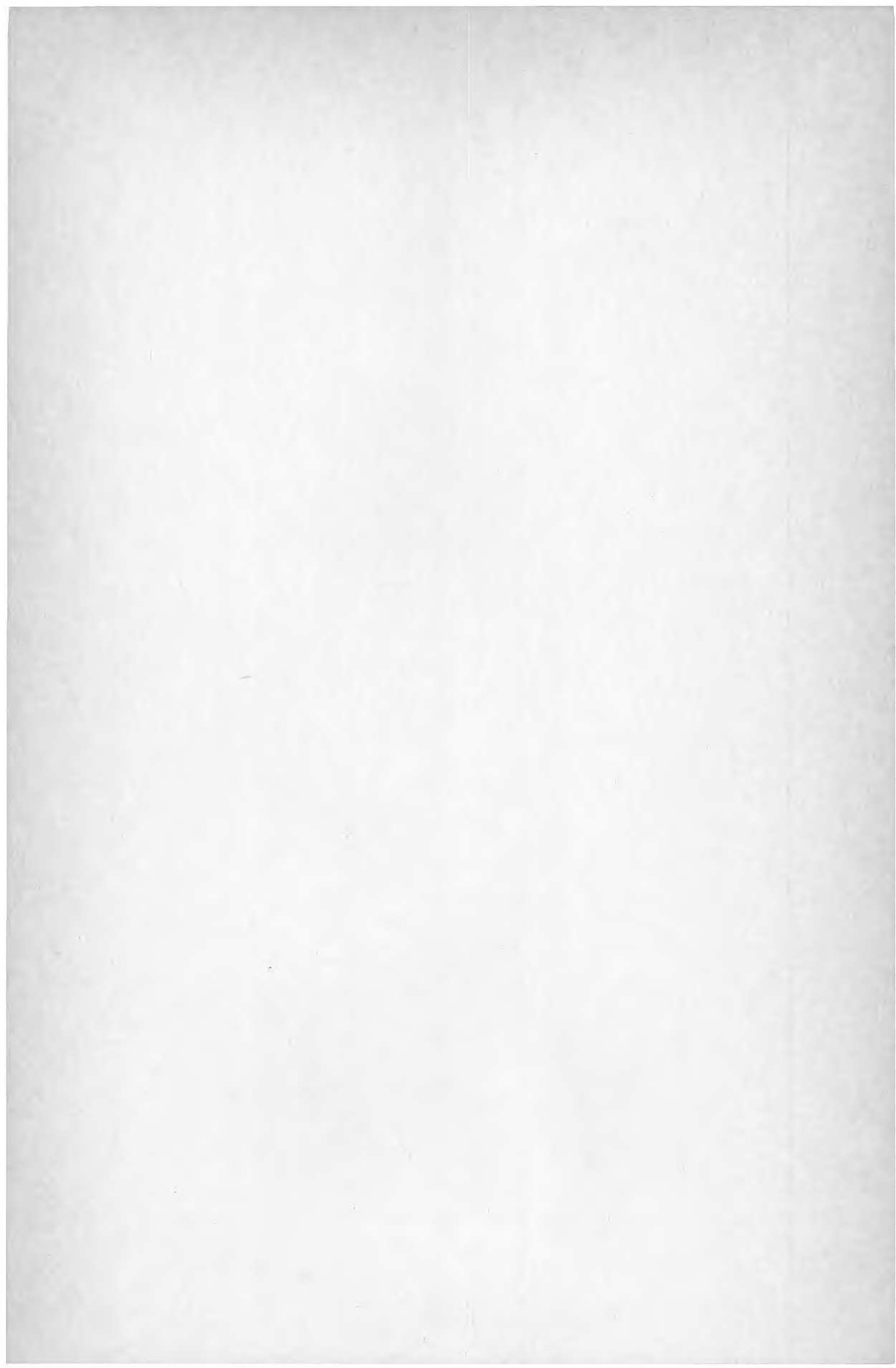
Ventilationssystemets inverkan i övrigt har undersökts genom att luftomsättningen varierats och genom att tilluftssystemet fått arbeta med och utan filter. Radonhalten i rummet har mätts vid ett mättillfälle, medan halten av partiklar kontinuerligt uppmätts med en optisk partikelräknare under en stor del av experimentprogrammet.

Resultatet av mätningarna, liksom av genomförda beräkningar, visar ett klart samband mellan jonhalt och partikelhalt. Detta samband har konstaterats både genom att dosera rök till lokalluften och genom att följa jonhaltens variation vid förändringar av uteluftens partikelhalt. Meteorologiska effekter förefaller i detta sammanhang vara av mycket stor betydelse.

Experimentprogrammet har också visat att jonhalten i lokaler där människor vistas påverkas i överraskande hög grad av elektrostatiska fält. En betydande sänkning av jonhalten kan härvid uppkomma på grund av uppladdning av heltäckningsmattor och plastföremål. Anmärkningsvärt är att de arbetsmoment som normalt förekommer i kontorslokaler är fullt tillräckliga för att åstadkomma ifrågakvarande uppladdning.







**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
810607-4 från Statens råd för byggnadsforskning
till Fläkt Evaporator AB, Jönköping.**

Art.nr: 6700769

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

R69: 1983

ISBN 91-540-3950-9

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Cirka pris: 25 kr exkl moms