

10/67

LTH 65
BYGGNADSTEKNIK I

Enno Abel och Claës Allander:

Undersökning av nytt inblåsningssystem för rena rum

Särtryck ur tidskriften VVS 8:1966

Rapport från Byggforskningen, Stockholm

SUMMARY

UDC 697.94

ABEL, E.—ALLANDER, G.: Study of new forced ventilation system for Clean Rooms.

The article sets out the physical bases and results of studies of a new ventilation system for clean rooms. The essence of the system is the use of thin air-seal streams in a room to limit the area sensitive to particles to an inner zone where a stable rate of air exchange higher than that in the rest of the room can be maintained by the introduction of air through a perforated ceiling. An experimental system of this type has been installed in an operating theatre at the Karolinska Hospital in Stockholm. It has been found here through the use of tracer gas that the inner zone remains stable even when a considerable amount of heat is generated there, and that the air-seal streams effectively limit the movement of particles. Particle-count measurements have been made while operations were in progress both in the theatre equipped with the experimental system and in a control theatre with a conventional ventilation system. The new system has proved capable of reducing the particle count in the particle-sensitive area to one-quarter as compared to a conventional ventilation system having the same capacity.

AUSZUG IN KURZFASSUNG

DK 697.94

ABEL, E.—ALLANDER, G.: Prüfung eines neuen Zuluftsystems für "Clean Rooms".

In dem Aufsatz werden physikalischen Voraussetzungen eines neuen Luftführungssystems für "Clean Rooms" und die Ergebnisse seiner praktischen Erprobung behandelt. Durch einen dünnen Luftschiefer wird in einem Raum der besonders gefährdete Teil in einer Innenzone abgegrenzt, in welcher durch Luftzufuhr über eine perforierte Zwischendecke örtlich ein stabiler Luftwechsel hergestellt werden kann, der höher ist als in dem Raum in übrigen. Eine Versuchsanlage wurde in einem Operationsaal des Karolinischen Krankenhauses in Stockholm installiert. In dieser hat man durch Spürgas feststellen können, dass die Innenzone selbst bei starker Wärmeentwicklung in dieser stabil bleibt und die Luftschieferstrahlen wirkungsvoll das Eindringen von Partikeln verhindern. Während der Operationen wurden Messungen des Partikelgehalten in der Versuchsanlage und in einem Vergleichsraum mit herkömmlicher Ventilation durchgeführt. Bei dem neuen Lüftungssystem hat der Partikelgehalt in dem besonders gefährdeten Bereich im Vergleich zu einem herkömmlichen Lüftungssystem mit dem gleichen Luftdurchsatz auf 1/4 gesenkt werden können.

Vid institutionen för Värmeteknik KTH har ett nytt luftförlingssystem för rena rum konstruerats och undersökts. Grundprincipen för detta system är att medelst tunna luftstrålar avgränsa en inre zon där en hög luftomsättning upprätthålls medelst lufttillförsel genom ett perforerat tak. I artikeln framläggs grundtankarna bakom konstruktionen och redogörs för de utförda mätningarna och deras resultat. De utförda undersökningarna har möjliggjorts genom välvilligt bistånd från Statens Råd för byggnadsforskning och Kungl. Byggnadsstyrelsen.

Undersökning av nytt inblåsnings-system för rena rum

Civilingenjör ENNO ABEL och professor CLAËS ALLANDER
institutionen för Värmeteknik, Kgl. Tekniska Högskolan, Stockholm

1. Inledning

697.94

För att kravet på låg partikelhalt i ett rent rum skall kunna uppfyllas, fordras att speciella åtgärder vidtas dels för att förhindra införsel av luftburna partiklar till rummet och dels för att så snabbt som möjligt bortföra där alstrade partiklar. Tillförseln av partiklar kan alltid förhindras genom lämpligt filterval under förutsättning att okontrollerat inläckage ej förekommer. De i rummet alstrade partiklarna är emellertid betydligt svårare att bemästra. Spridningen av dessa kan med säkerhet endast kontrolleras om luftens grundströmning i rummet är bestämd och stabil. Härför krävs en så hög grundströmningshastighet, att strömningens bildning ej väsentligen förändras av exempelvis termiska störströmmar. Det ventilationsluftflöde, som erfordras för att uppnå en tillfredsställande stabilitet blir emellertid så stort, (luftomsättningar av storleksordningen 500 gånger per timme erfordras) att det svårigen kan tillgripas annat än i mycket speciella fall. Därför är man normalt tvingad att acceptera okontrollerbara luftrörelser. Omfattningen av dessa beror givetvis helt på arten av verksamhet i rummet.

Med de okontrollerbara luftrörelserna följer oundvikligen okontrollerbara partikeltransporter. Ofta är dessa transporter så dominerande, att de lokala variationerna av partikelhalten blir av underordnad betydelse. I sådana fall är det berättigat att endast beakta rummets genomsnittliga partikelhalt. På så sätt har begreppet ventilation enligt "utspädningsprincipen" motiverats. Motsatsen härtill, den stabila ventilationen enligt "strömningens principen", exemplifieras av det amerikanska "laminar air flow"-systemet. Partikelspridningen vid strömning har teoretiskt undersökts av bl. a. Allander [1].

[1] Allander, C.: *Ventilation av rum med extrema renhetskrav*. VVS 1965, 4, s. 183.

Verksamheten och strömningförhållandena i de rum, som behandlas i det följande, är emellertid av sådan natur, att varken utspädningsbegreppet eller strömningens princip enligt ovan utgör en tillräcklig grund för de nödvändiga kvalitativa resonemangen.

Man kan formulera de viktigaste förutsättningarna för partikelproblemet i det i denna uppsats behandlade fallet enligt följande:

1. Av ekonomiska skäl är ventilationsluftflödet så begränsat, att stabil strömning under inga omständigheter kan upprätthållas över hela rummet.
2. Partikelgenereringen är begränsad till en centralt belägen och relativt väldefinierad del av rummet.
3. Den del där partikelgenerering sker sammanfaller med dels det för partiklar känsliga området och dels med det område, där de kraftigaste störströmningarna kan förväntas råda. Detta förutsätts vara en följd av verksamhetens natur och kan således inte påverkas.

Av dessa förutsättningar framgår, att man, oberoende av sättet för luftförling, måste räkna med en ojämn fördelning av partikelhalten över rummet med en tendens till maximalvärde i det känsliga området. Om begreppet "utspädningsprincip" önskas bibehållas, är endast utspädningen inom detta område intressant. Denna utspädning kan med säkerhet ej förväntas sammanfalla med den för hela rummet teoretiskt beräknade. Med denna terminologi är sålunda uppgiften att nå så hög grad av utspädning som möjligt i ett avgränsat område i rummet. *Vid ett givet luftflöde är sålunda partikelhalten inom det nämnda området ett mått på luftförlingssystemets effektivitet och därmed även ett mått på utnyttjandet av de gjorda ekono-*

miska uppoffringarna för luftbehandlingsanläggningen.

Vid många ventilationssystem tillförs luften på ett sådant sätt, att makroskopiska virvlar uppstår. I den tidigare nämnda uppsatsen [1] har frågan om sådana virvlar diskuterats. I denna har visats att inverkan av virvlar vid en parallellströmning ej behöver vara farlig för partikelspridningen, förutsatt att partikelgenerering ej sker i närheten av virvelcentrum. Om däremot partikelgenerering sker i närheten av ett sådant centrum, kan höga partikelhalter förväntas där. Ofta utformas inblåsningssystemet så att en enda virvel väsentligen dominerar strömningsbilden. Centrum för denna virvel är då beläget i rummets mitt och sammanfaller på så sätt med det där belägna partikelgenererande känsliga området. Med ett sådant system erhålls med nödvändighet en dålig borttransport av partiklar och en stor inblåsningssimpuls kan ej förväntas råda bot härför. Det bör beaktas, att risken för uppkomsten av en sådan virvel kan öka med ökad grad av temperaturavvikelse mellan tilluft och rumsluft. Vid arbete på att förbättra det rena rummets luftföringssystem måste man därför söka en lösning som omöjliggör uppkomsten av en makroskopisk virvel med ett centrum beläget i närheten av det känsliga området.

2. Zonavgränsning medelst luftstrålar

I den nämnda uppsatsen [1] har antytts möjligheten av att i ett rum med tillhjälp av plana strålar avgränsa en zon skild från det övriga rummet. Med särskild tillförsel av luft till denna zon, skulle det sålunda vara möjligt att lokalt stabilt upprätthålla en större luftomsättning än för rummet i dess helhet. Man kan fråga sig om en sådan lokal avgränsning ej kan erhållas helt enkelt genom inblåsning, exempelvis genom ett perforerat tak ovanför det känsliga området, utan omgivande luftstrålar. För att ge svar på denna fråga, måste de teoretiska förutsättningarna härför något beröras.

Det luftflöde, som enligt nuvarande ekonomiska förutsättningar kan antas stå till buds, är av storleksordningen $2.000 \text{ m}^3/\text{h}$. Ytan av det känsliga området, räknat vinkelrätt mot detta flöde, är c:a 8 m^2 . Den genomsnittliga nedåtriktade lufthastigheten blir under dessa förhållanden endast c:a $7 \text{ cm}/\text{sek}$. Med hänsyn till de termiska uppströmmarna, kan man vänta sig att den inblåsta luften redan på ett kort avstånd från det perforerade taket är helt uppblandad med övrig rumsluft. Denna tendens till blandning accentueras av den horisontella tillförsel av rumsluft, som sker invid taket på grund av de många små strålarnas medejekterande verkan. Problemet är sålunda, att utan tillförsel av omgivningsluft försörja ett på större avstånd från det perforerade taket beläget område med luft. För att uppnå detta mål, kan de plana, relativt

tunna luftridastrålarna utnyttjas. Dessa strålar ger i sig själva en avgränsande inverkan gentemot omgivningen och kräver på ömse sidor tillförsel av sekundärluft. På strålarnas utsida tillförs sekundärluften från omgivningen och på deras insida från den inre känsliga zonen. På så sätt tvingas, genom strålarnas sekundärluftinblandning, den genom det perforerade taket tillförda luften att strömma nedåt i den inre zonen. Man erhåller en principiell strömningsbild enligt fig. 1. Givetvis kommer även här de termiska störningarna att i viss mån dominera förhållandena, men dessa strömningar måste fysikaliskt sett betraktas som överlagrade på den i fig. 1 visade grundströmningen. Därmed skulle det vara berättigat att tala om en till den inre zonen lokaliserad utspädning, större än utspädningen räknad på hela rummet.

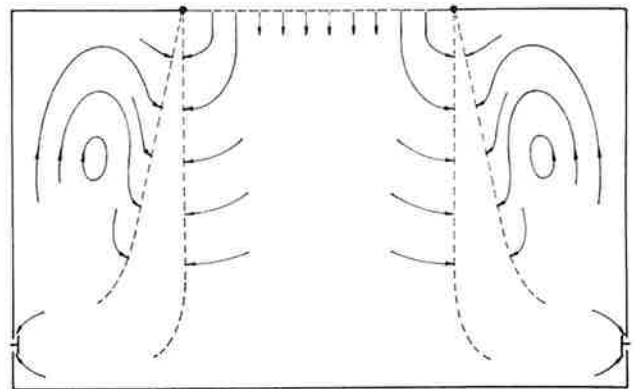


Fig. 1. Luftströmningar vid avgränsning medelst luftstrålar av en inre zon.

De avgränsande luftstrålarna borde, vid lämpligt val av inblåsningens anordningens geometri och dimensioner samt vid lämplig utströmningshastighet, kunna utöva en så stabiliserande inverkan, att den lokalt höga luftomsättningen skulle kunna bibehållas även vid relativt stark värmeutveckling i den inre zonen. Det skydd strålarna utgör mot transport av luftburna partiklar från den yttre delen av rummet till den inre borde medföra, att yttre belägna makroskopiska virvlar ej påverkar partikelhalten i den inre zonen. Man inser även, att strålarna minskar risken för uppkomsten av en makroskopisk virvel i rummet med centrum vid det känsliga området, oberoende av om lufttillförseln är isoterm eller nonisoterm.

Författarna har ansett det nödvändigt att närmare undersöka, om de här framlagda teoretiska antagandena står sig under praktiska förhållanden. Den efterföljande framställningen avser att utgöra en redogörelse för denna undersökning.

3. Val av provningslokal

Valet av provningslokal betingas väsentligen av följande faktorer.

1. Lokalen måste tillhöra gruppen rena rum, där verksamheten automatiskt hålls vid låg partikelalstrande nivå. Detta kräver god arbetsdisciplin och skapar på så sätt vid likartad verksamhet minsta möjliga variationer hos partikelhalterna.
2. Verksamheten bör vara möjligast uniform över en lång tidsperiod, eftersom endast statistiska resultat av tillräcklig omfattning kan läggas till grund för partikelhaltsbedömningar.
3. Likartade lokaler med samma verksamhet men försedda med andra ventilationssystem bör finnas tillgängliga för jämförande prov.

Efter genomgång av olika lokaltyper har författarna kommit till slutsatsen, att operationsrum för större operationer bäst uppfyller de nu nämnda fordringarna. Provanläggningen har därför installerats i Stockholm vid Karolinska Sjukhusets Thoraxklinik i operationsrum nr. 3.

4. Beskrivning av provanläggningen

Luftinblåsningssystemet har, som fig. 2 och 3 visar, utformats i enlighet med de i avsnitt 2 framlagda synpunkterna.¹⁾ Det väsentliga ventilationsluftflödet (ca 90 % av det totala flödet) tillförs genom det perforerade undertaket, vars perforerade area uppgår till 6 %. Perforeringen är utförd med runda 5 mm hål. Orsaken till att så små hål valts var en viss osäkerhet om dragrisken. Senare undersökningar har visat, att betydligt större hål kan väljas med åtföljande ökad stabilitet.

Operationsrummet är försett med två Amsco-lampor med vardera 55 cm diameter. Traversskenor för dessa lampor har förlagts mellan det perforerade taket och de omgivande luftridåslitsarna.

Slitsarna har en bredd av 2 mm och är snett utåtriktade. Omfattande prov med slitsar av olika dimensioner och med olika utblåsningsriktningar har lett fram till det slutliga utförandet.

Det rum som den inre zonen bildar är så stort, att såväl patient som kirurger och operationssköterska helt befinner sig inom detsamma.

Såsom framgår av fig. 2, sker utsugningen runt rummets väggar ca 30 cm över golv med avbrott för dörrar. Senare utförda prov har dock visat, att detta system kan ersättas med ett lämpligt utfört punktutsugningssystem.

5. Undersökning av luftstrålarnas avgränsande verkan

Spridningen av föroreningar i rum av här disku-

¹⁾ Ventilationsanläggningen har detaljkonstruerats, levererats och installerats av Ventilations AB Ahlsell-Rylander. Författarna ber att få framföra sitt tack härför.

terad art sker genom turbulent diffusion. Därvid gäller i allt väsentligt samma lagar för gaser och små partiklar, dvs. partiklar med försumbar fallhastighet. Med hänsyn till enkelheten i mätmetodik, är spårgasmätningar mer lämpade än partikelmätningar för kartläggning av den turbulenta transporten.

Luftstrålarnas avgränsande verkan har stor praktisk betydelse, eftersom den avgör den inre zonen lufttekniska isolering. Med en god avgränsning blir den inre zonen renhet oberoende av omgivningens, givetvis under förutsättning att partikelkoncentrationen i omgivningen ej når extremt höga värden. På så sätt skulle frågan om över- eller undertrycksventilation i operationsrummet förlora sin betydelse, och det absoluta kravet på effektiva luftsussar skulle eventuellt kunna mildras.

För att söka klarlägga denna fråga har spårgasmätningar utförts dels vid den i avsnitt 4 beskrivna anläggningen och dels vid en senare laboriemässigt uppbyggd provanläggning. Vid denna laboriemässigt anläggning kan provbetingelserna varieras inom mycket vida gränser. I den mån försöksresultaten influeras på ett avgörande sätt, kommer i det följande dessa betingelser att närmare diskuteras.

Som spårgas har konsekvent använts en blandning av N₂O och He i sådana proportioner, att tätheten blir densamma som luftens (ca 63 vol.% N₂O och ca 37 vol.% He). Halten av N₂O har registrerats med en infrarödanalysator, vars känslighet ligger på 0,1 vol.% fullt utslag.

Vid varje prov har 20 l gasblandning utsläppts under en tid av 45 sek. Med tillhjälp av en sfäriskt formad strypanordning av tätt tyg har utsläppet skett sfäriskt symmetriskt med en hastighet understigande 1 cm/s. Den punkt i rummet där utsläpp skett benämns i det följande utsläppspunkt, och den punkt där N₂O-koncentrationen mätts och registrerats som funktion av tiden benämns mätpunkt.

Utsläppspunkten har vid samtliga i detta avsnitt diskuterade prov förlagts till den yttre zonen. Motivet härför är givetvis att det, som tidigare framhållits, är luftstrålarnas avgränsande inverkan mot överläckning utifrån och inåt, som tilldrar sig det största intresset. Vid andra typer av rum, exempelevis inom processtekniken, kan förhållandet vara det omvända.

För att erhålla numeriska värden på inläckningen av spårgas till den inre zonen, har koncentrationen bestämts dels på olika punkter i den yttre zonen och dels i en centralt belägen punkt i den inre zonen. Genomgående har ett konstant avstånd sökt hållas mellan mätpunkterna och utsläppspunkten. Detta framgår närmare av fig. 4. I denna figur har utsläppspunkten med tillhörande mätpunkter markerats vid zongränsen, sidan 1—2. Vid mätningarna har på sam-

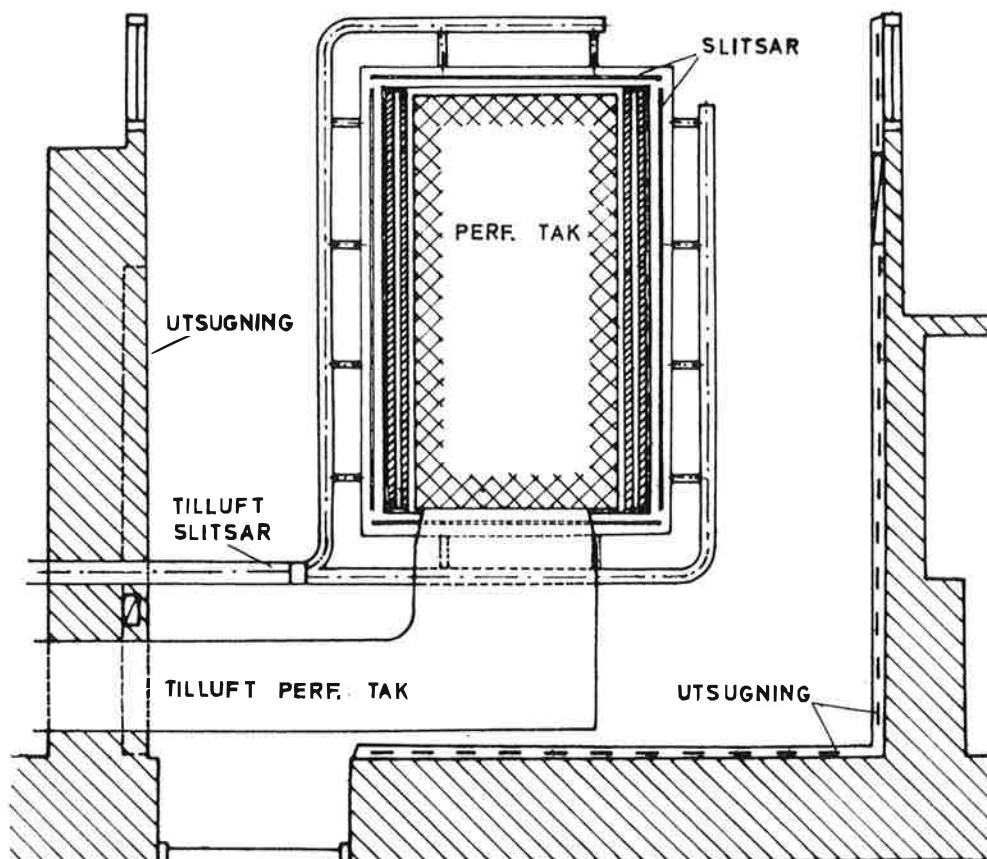
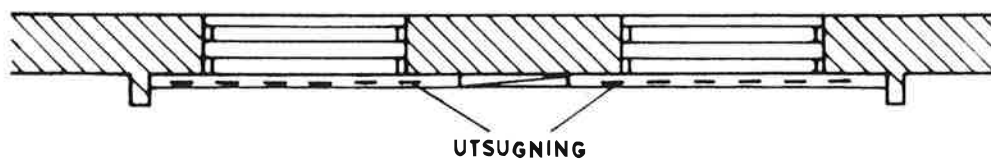
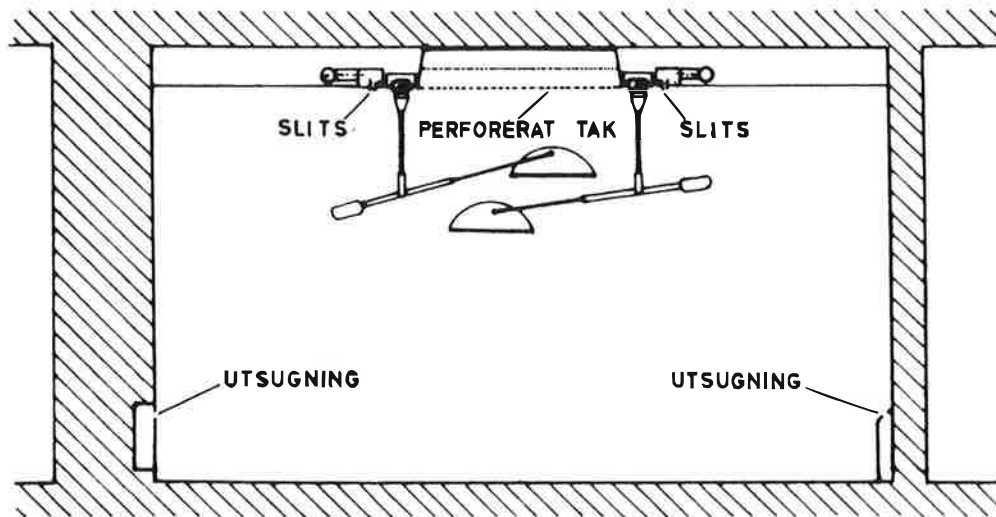


Fig. 2. Provrummet vid Karolinska Sjukhusets Thoraxklinik med inblåsnings- och utsugningsanordningar. Skala 1:50.

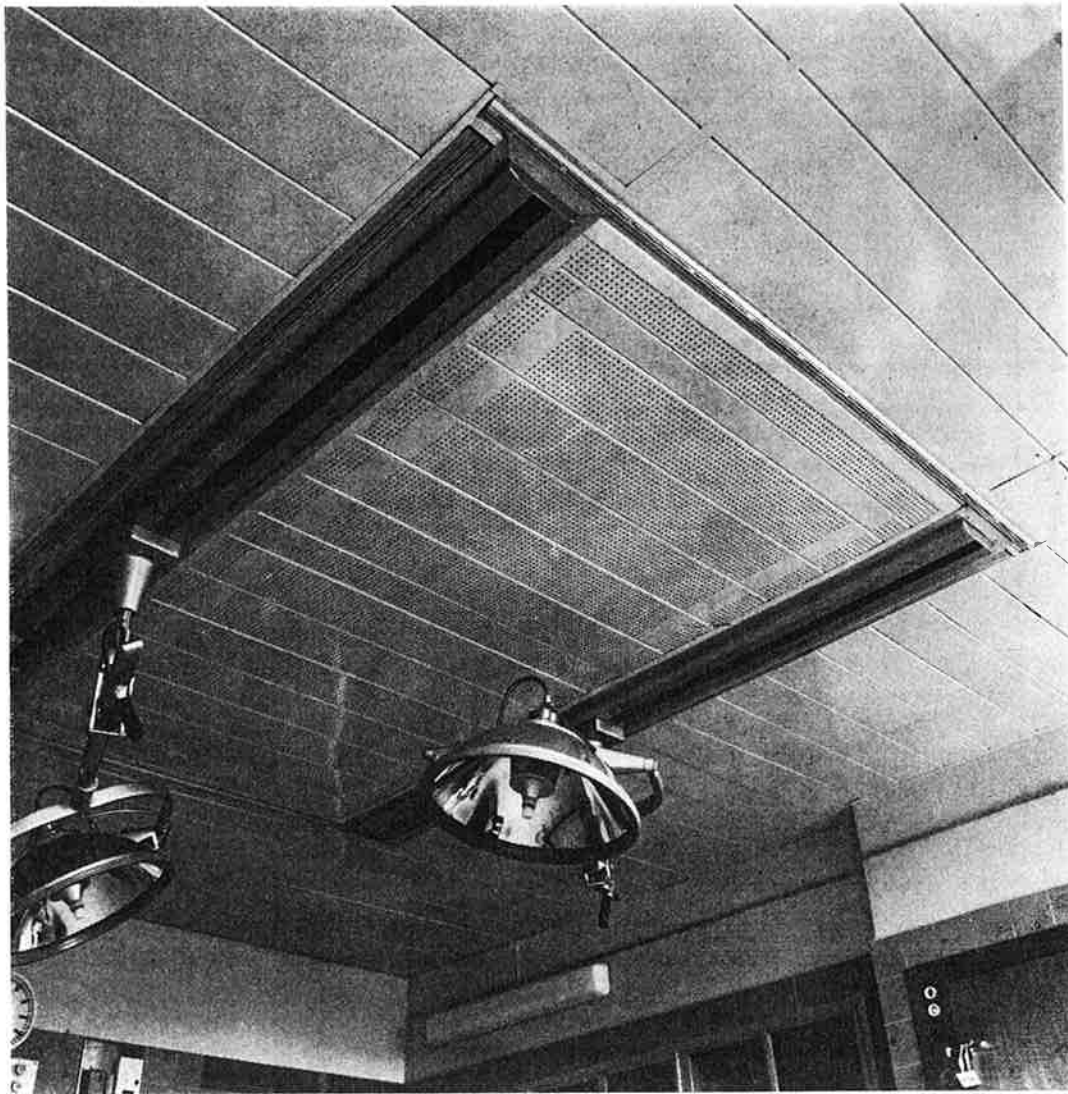


Fig. 3. Inblåsningsanordningen i provrummet vid Karolinska Sjukhusets Thoraxklinik.

ma sätt utsläppspunkterna i den yttre zonen förlagts vid de övriga zongränssidorna.

Som framgår av avsnitt 1 och 2 är inverkan av termiska luftrörelser väsentlig. Mätningarna har därför

utförts med viss konvektiv värmeutveckling i den inre zonen, vanligen ca 500 W, fördelad på ett antal olika värmekällor.

Principiellt erhålls vid dessa mätningar koncentration—tidkurvor av det utseende fig. 5 visar. Den övre kurvan i figuren $c_y(t)$ visar koncentrationen i en mät-

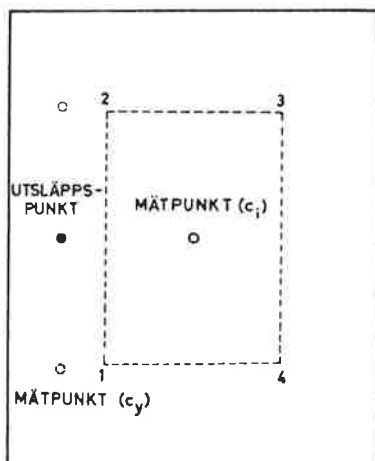


Fig. 4. Placering av utsläpps- och mätpunkter vid spårgasmätning.

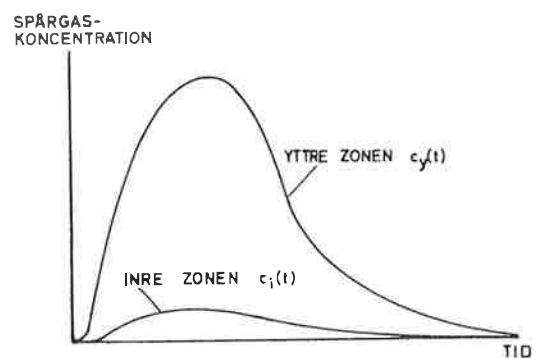


Fig. 5. Principiella koncentration-tidkurvor vid spårgasmätning.

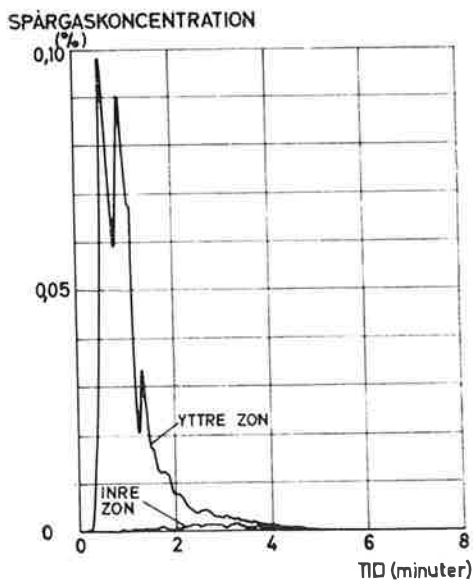


Fig. 6. Exempel på koncentration—tidkurvor erhållna vid spårgasmätningar i provanläggningen vid Karolinska Sjukhusets Thoraxklinik.

punkt i den yttre zonen, och den undre kurvan $c_i(t)$ koncentrationen i den centralt belägna mätpunkten i den inre zonen. Givetvis får båda kurvorna så småningom ett exponentiellt asymptotiskt avklingande förlopp. Man kan nu definiera ett mått på luftstrålarnas avgränsande verkan genom att beräkna kvoten

mellan ytorna under respektive kurvor. Betecknas detta mått med S fås därmed för det enskilda utsläppet

$$S_v = \frac{\int_0^{\infty} c_y(t) dt}{\int_0^{\infty} c_i(t) dt}$$

Man inser, att ju högre talet S_v är, desto bättre är avgränsningen. Det naturliga måttet på den resulterande avgränsningen hos hela systemet blir medelvärdet av de enskilda S_v dvs.

$$\bar{S} = \frac{1}{n} \sum_{v=1}^n S_v$$

där n är antalet enskilda mätningar. Orsaken till att tidsintegralerna valts i stället för maximivärdena är, att ej endast koncentrationen utan även exponeringstiden är avgörande för kontaminationsrisken.

Det skulle i detta sammanhang föra alltför långt att redogöra för alla utförda mätningar och därför skall endast några väsentliga resultat redovisas.

Vid anläggningen i Karolinska Sjukhusets Thoraxklinik har, som framgått av anläggningsbeskrivningen, den inre zonen avgränsats med en omslutande stråle. Efter omfattande orienterande mätningar har ett värde av $\bar{S} \approx 40$ kunnat uppnås. Detta värde har erhållits

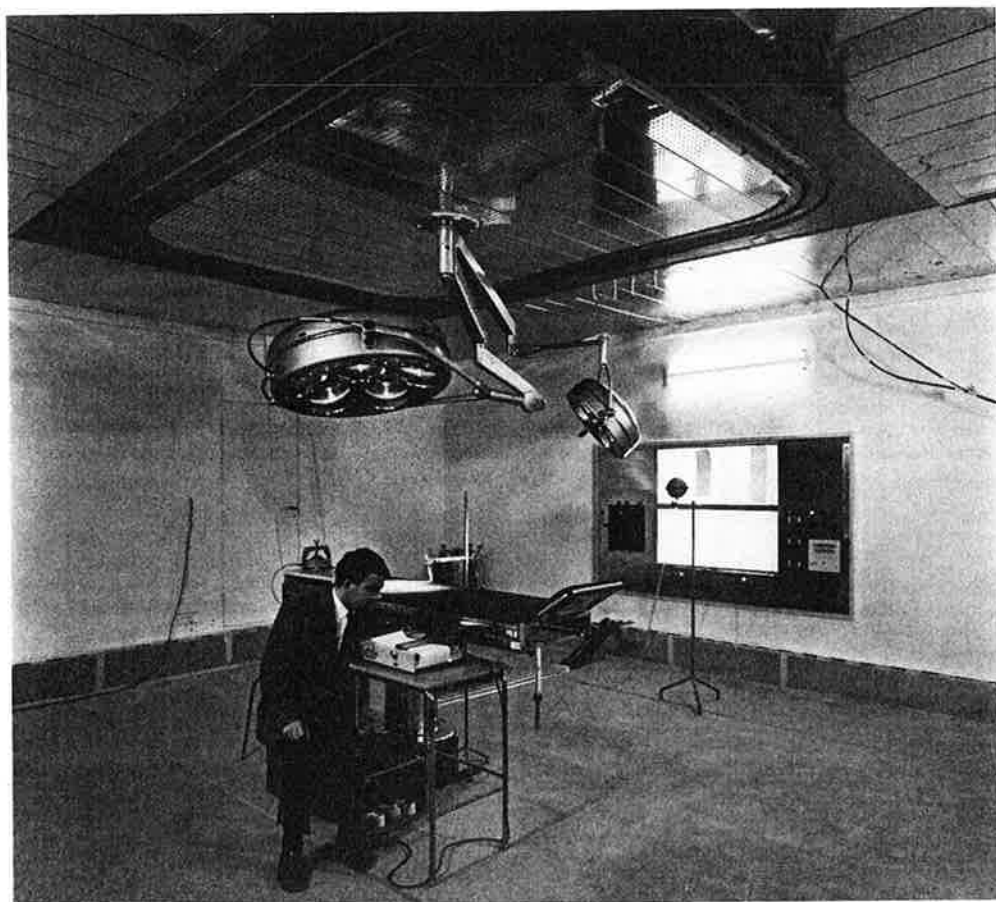


Fig. 7. Laboratorieanläggning för spårgasmätningar.

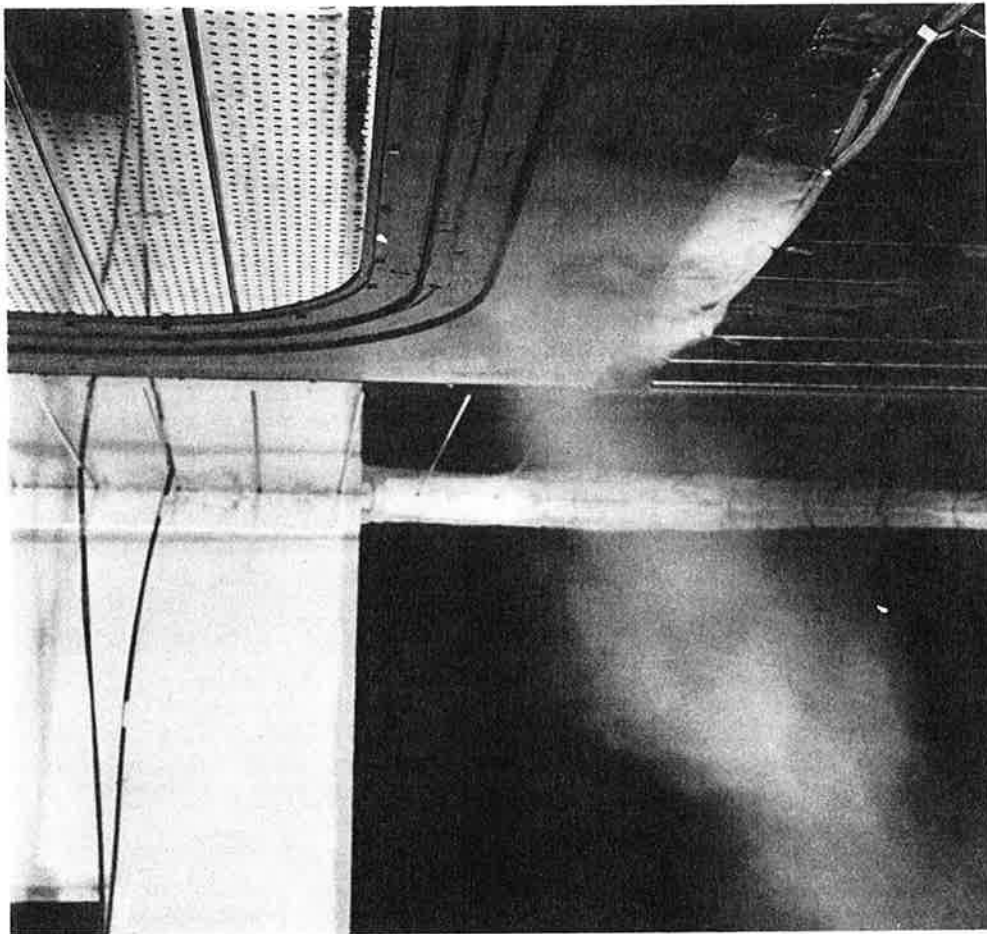


Fig. 8. Gränsen mellan den yttre och den inre zonen då rök släpps ut vid taket i den yttre zonen.

vid luftflödena $1.900 \text{ m}^3/\text{h}$ genom det perforerade undertaket och sammanlagt $230 \text{ m}^3/\text{h}$ genom slitsarna. Ett exempel på därvid erhållna koncentrationskurvor visas i fig. 6. Det erhållna \bar{S} -värdet har författarna emellertid ansett kunna förbättras och därför sökt närmare analysera orsakerna till överläckning. Med hjälp av rökprov har därvid följande kunnat konstateras.

1. Utformningen av slitssystemets hörn är betydelsefull. Vid det utförande som tidigare beskrivits kan en viss inläckning ej undvikas.
2. På grund av en statistisk sammanlagring av turbulensvirvlarna i de enskilda ridåstrålarna, kan "hål" tillfälligt uppstå i dessa.

Det naturliga sättet att minska inläckningen i hörnen är att utföra dessa utan diskontinuiteter och avbrott. Närmast till hands ligger då att göra dem cirkelbågformade, vilket lätt kan genomföras laboriemässigt, men tillverkningstekniskt kan medföra vissa nackdelar.

De statistiskt uppkommande "hål", som uppstår i luftstrålarna, kan knappast elimineras genom förändring av inblåsningens geometri inom de gränser, som är bestämda av realistiska anläggningstekniska förhållanden. De okulära proven har gett vid

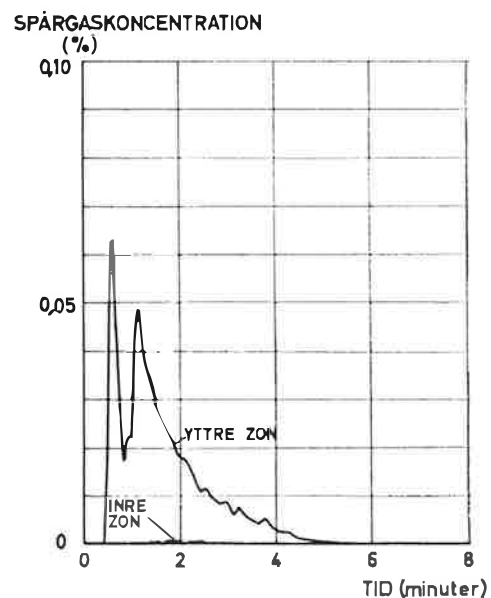


Fig. 9. Exempel på koncentration—tidkurvor erhållna vid spårgasmätningar i laborieanläggning.

handen, att den huvudsakliga inläckningen på grund av denna orsak sker relativt nära slitsöppningen, dvs. där strålarna är relativt tunna. Det ligger då nära till

hands att ersätta den enkla strålen med dubbelstrålar.

Båda de nu nämnda åtgärderna har vidtagits i den nämnda laboratorieanläggningen såsom framgår av fig. 7. Här framgår även utsläpps- och mätpunkterna vid ett spårgasprov. Strålarnas spärrverkan vid denna anläggning demonstreras av fig. 8, som visar gränsen mellan den yttre zonen och strålarna då rök släpps ut vid taket i den yttre zonen.

Det ändrade utförandet har medfört ett väsentligt förbättrat resultat. Några representativa kurvor framgår av fig. 9 och \bar{S} -värdet har kunnat höjas från 40 till c:a 300. Enligt författarnas mening visar detta, att tillfredsställande avgränsning väl kan erhållas med ett genomtänkt inblåsningssystem.

6. Partikelhaltsmätningar

Vid partikelhaltsmätningarna¹⁾ har använts en automatisk partikelhaltsanalysator av typ ROYCO 220 kompletterad med en digitalskrivare. Partikelhaltsanalysatorn är linjär vid mätning av partiklar inom området $0,5 \mu\text{m}$ — $50 \mu\text{m}$ och vid partikelkoncentrationer under 10^5 partiklar per liter luft. På grund av att de i luften befintliga partiklarna oftast inte är sfäriska, kan storleksgränserna vid klassificeringen av partiklarna i storleksgrupper inte bli helt skarpa. Vid större mätserier är emellertid detta av underordnad betydelse.

¹⁾ Till ing. Marc Bouleau vid Ventilations AB Ahlsell-Rylander, som biträtt vid dessa mätningar, framför författarna sitt varma tack.

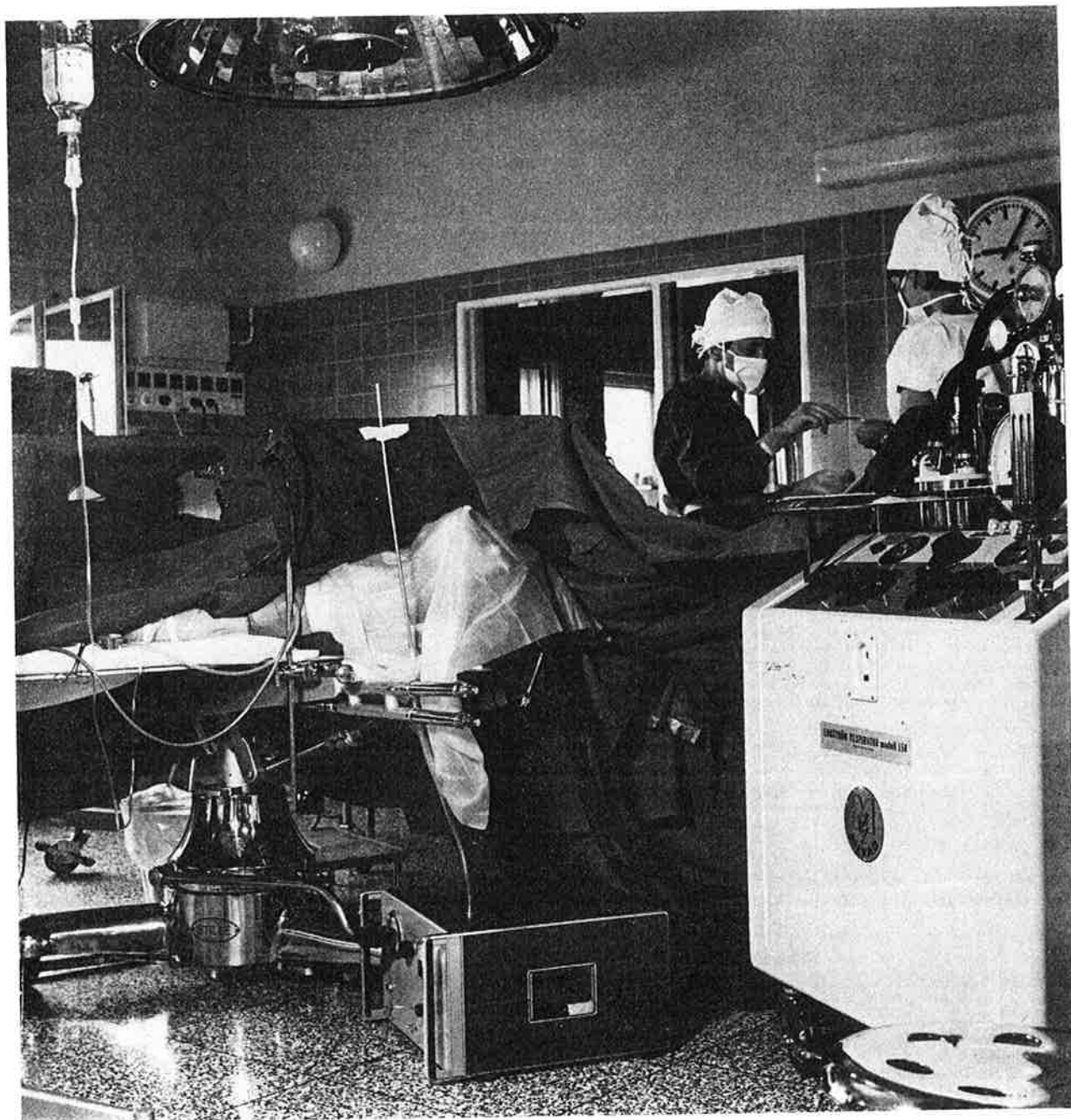


Fig. 10. Mätsondens och analysatorns läge vid partikelhaltsmätningar.

Konsekvent har vid samtliga prov samma provtagningssond, provluftflöde och sonduppställning använts. På så sätt har variationer i försöksbetingelserna i möjligaste mån sökt undvikas. Det har ansetts önskvärt, att erhålla mätvärden så nära intill det för partiklar känsliga såret som möjligt. Erfarenhetsmässigt har det visat sig, att det lämpligaste provstället vid thoraxoperationer erhållits, då sonden fästas vid anestesibågen, såsom fig. 10 visar, och partikelanalysatorn placerats under operationsbordets huvudände. Genom denna placering har sondens intag genomgående varit beläget c:a 40 cm från såret.

På grund av den intensiva verksamhet, som råder under en operation, har det inte kunnat undvikas, att sonden under mätningarna ibland störts genom att någon råkat täcka eller skaka den, vilket givetvis medfört felvisande mätvärden. Till operationen hör verksamhet såsom diatermi och sprayning, två kraftigt partikelalstrande processer. De kraftiga koncentrationstoppar, som därvid erhålls, är helt beroende av tillfälligheter och omöjliggör jämförande värderingar. Därför har det visat sig nödvändigt att eliminera mätvärden, som kan hänföras till någon av de nu nämnda orsakerna. För att möjliggöra detta har verksamheten under ope-

rationerna noggrant följts upp och antecknats parallellt med partikelhaltsmätningarna. Anteckningarna har överförts till de från skrivaren erhållna remsorna, och vid utvärderingen har sedan sådana värden kunnat strykas.

Då det tidigare, författarna veterligt, inte utförts mätningar av här behandlat slag, har det inte varit möjligt att finna värden på luftens partikelhalt under operationer i rum med konventionella luftförings-system. För att kunna bedöma det undersökta systemets effektivitet, har det därför varit nödvändigt att utföra jämförbara mätningar i andra operationsrum. Sådana mätningar har utförts i de två operationsrummen i Thoraxkliniken vid Lunds Lasarett. Dessa operationsrum har valts, eftersom de, jämförda med andra rum för thoraxoperationer i Sverige, har det modernaste ventilationssystemet, med luftflöden av samma storleksordning som i provanläggningen vid Karolinska Sjukhuset. Lufttillförseln sker här via en snedställd perforerad skärm vid taket längs ena långväggen, och luftbortförslsen sker dels via frånluftsdon vid golvet i den motsatta väggen och dels via överluftsdon till anslutande tvätt- och steriliseringsrum.

Vid samtliga mätningar har noggrant kontrollerats,

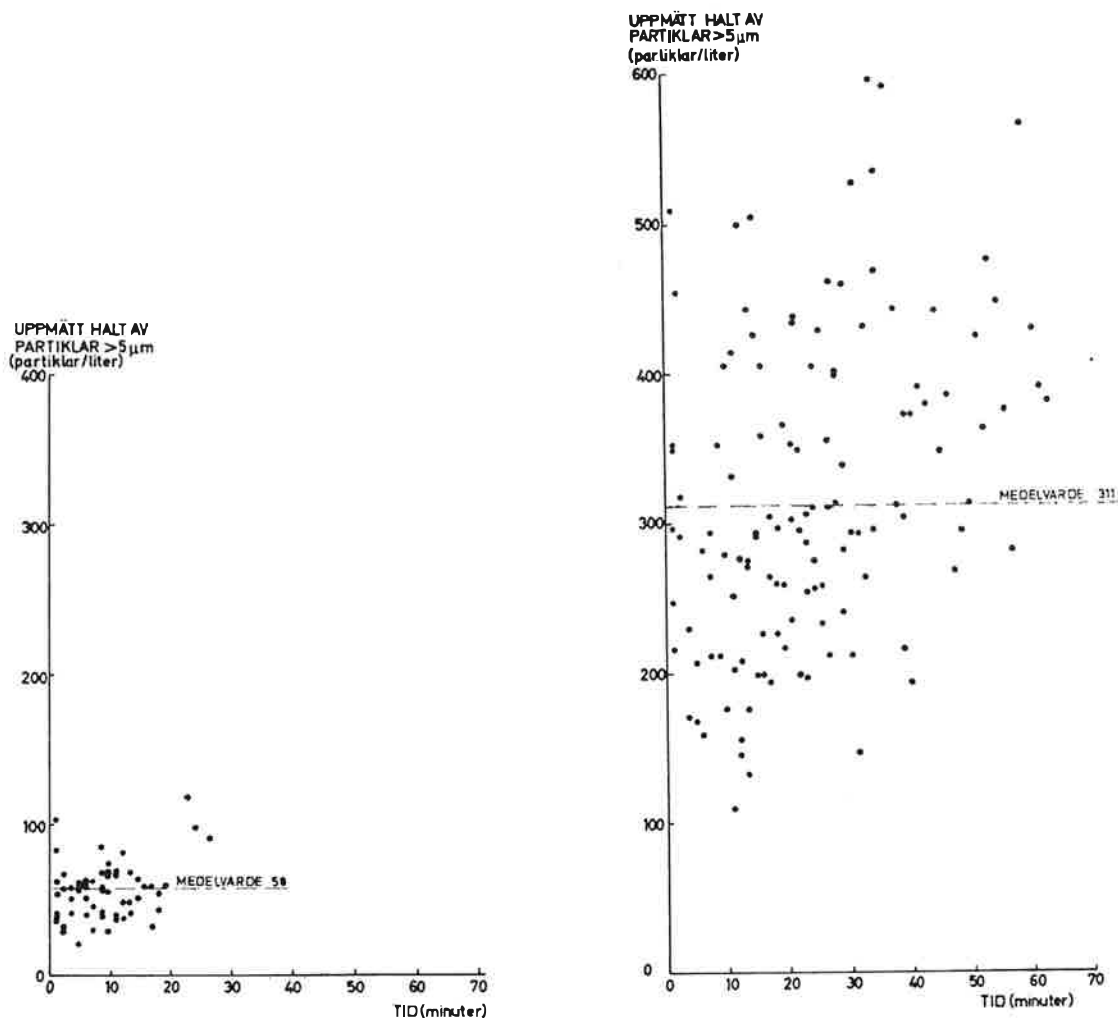
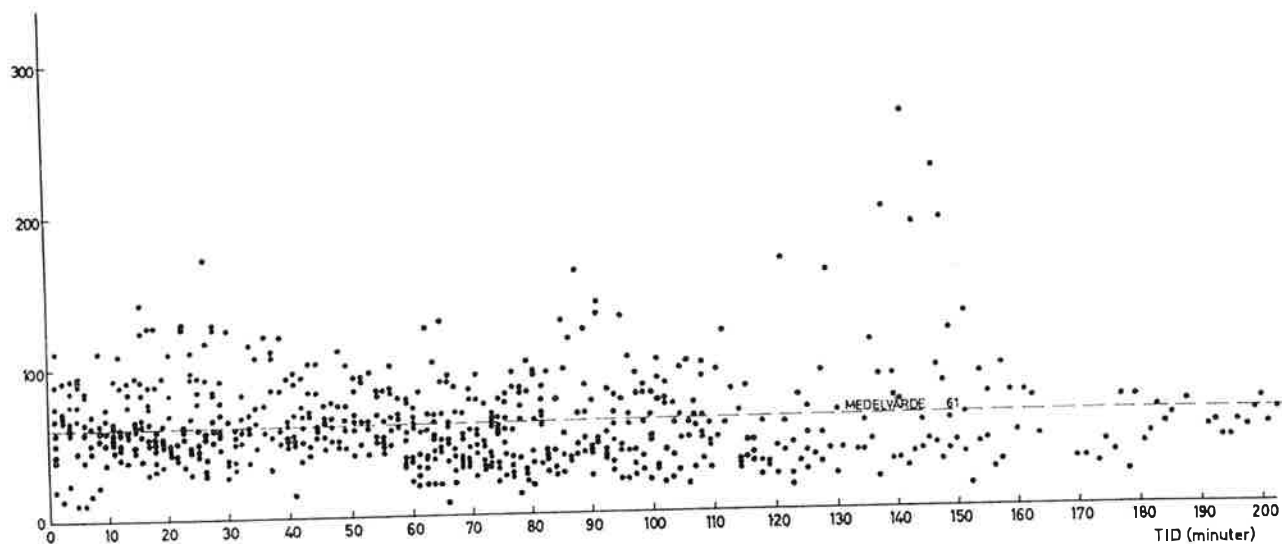


Fig. 11. Partikelhalter under öppningsperioden. Till vänster provanläggningen, till höger jämförelserummen.

UPPMÄTT HALT AV
PARTIKLAR > 5 μ m
(partiklar/liter)



UPPMÄTT HALT AV
PARTIKLAR > 5 μ m (partiklar/liter)

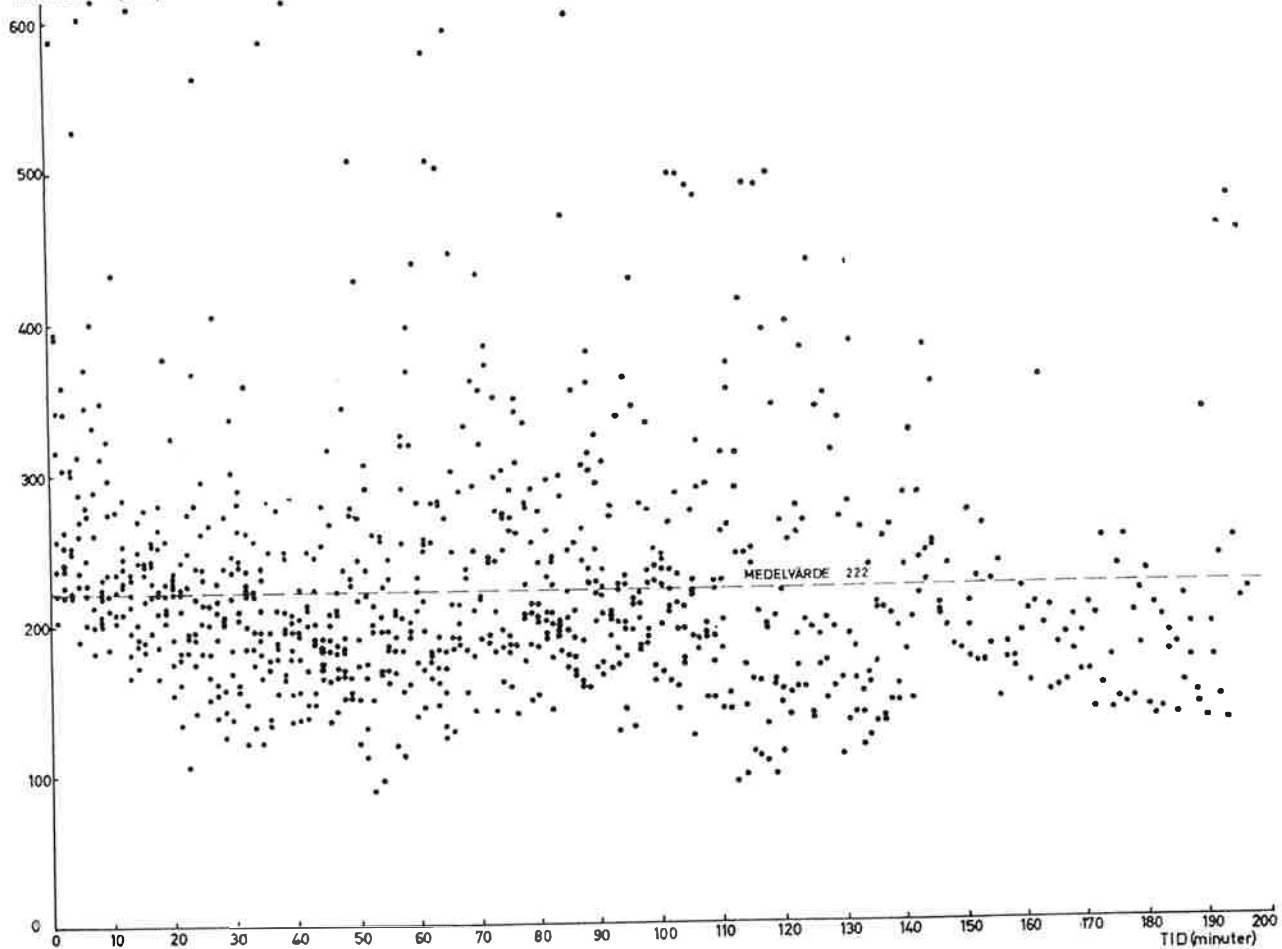


Fig. 12. Partikelhalter under operationsperioden. Överst provanläggningen, nederst jämförelserummen.

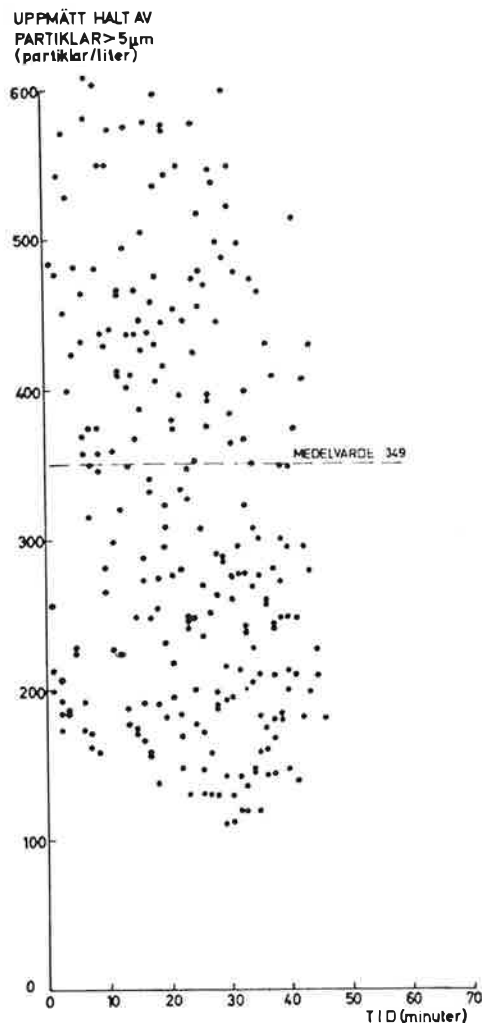
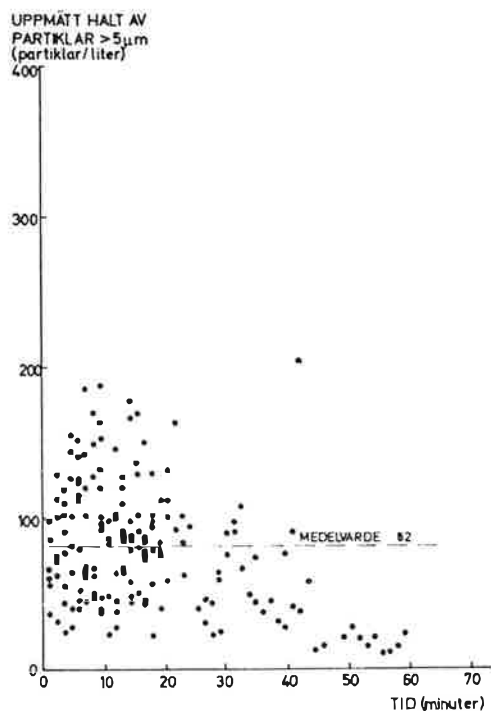


Fig. 13. Partikelhalter under suturperioden. Till vänster provanläggningen, till höger jämförelserummen.

att inga partiklar inom det använda mätområdet, större än $5 \mu\text{m}$, tillförts rummet med ventilationsluften.

En tillförlitlig jämförelse mellan luftens partikelhalter i provanläggningen och jämförelserummen fordrar att verksamheten är likartad. Lungoperationer utförs relativt ofta på båda ställena och är till sitt förlopp sins emellan rätt lika, varför mätvärdena på partikelhalten vid de uppföljda lungoperationerna utvalts att representera effektiviteten hos de båda luftföringsystemen. Hitintills föreligger mätvärden från 10 lungoperationer från vardera platserna. Vid samtliga ingrepp har patientens thorax varit öppnad en längre tid, vanligen mer än en timme.

Man kan uppdelat operationsförloppet i vissa, sins emellan väsensskilda verksamhetsperioder. I det följande har uppdelning skett i tre sådana perioder benämnda: öppning, operation och sutur. Öppningsperioden omfattar tiden från det första snittet till dess tvingarna, som håller thorax öppen, är på plats, operationsperioden den följande tiden fram till första stygnet för slutning av periost och suturperioden slutligen tiden fram till det sista stygnet i ytterhuden.

I fig. 11—13 visas de erhållna mätresultaten in-

prickade i diagram med koordinataxlarna, partikelhalt och tid. I samma diagram har införts samtliga provvärden under de definierade verksamhetsperioderna. Tiden har i diagrammen genomgående räknats från respektive verksamhetsperiods början.

Den avsevärda, med hänsyn till verksamhetens art helt naturliga spridning av mätpunkterna, som diagrammen uppvisar, gör dem något oöverskådliga. Medelvärden och standardavvikelser för luftens partikelhalt under de enskilda operationerna har därför redovisats i tabell 1 för operationerna i provanläggningen och i tabell 2 för operationerna i jämförelserummen. Medelvärdet \bar{x} av de enskilda mätvärdena x_ν har därvid beräknats ur

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{\nu=1}^n x_\nu$$

där n är antalet mätvärden under verksamhetsperioden och standardavvikelsen σ ur

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{\nu=1}^n (x_\nu - \bar{x})^2$$

I de nämnda tabellerna har även angetts den verk-

liga tiden för varje verksamhetsperiod och det antal mätvärden, som medelvärde och standardavvikelse grundas på.

Normalt har förutom patienten sex till tio personer vistats i rummen under operationen. Av dessa har tre till fyra (två eller tre kirurger och en operationssköterska) varit verksamma i sårets omedelbara närhet. Ur de hittills frambagna mätresultaten har inget samband mellan personantalet i rummen och den uppmätta partikelhalten kunnat konstateras. Nämnas kan, att det i provanläggningen tillfälligtvis varit upp till 18 personer i rummet utan att mätvärdena stigit.

Det har däremot visat sig, att den uppmätta halten av luftburna partiklar varit starkt beroende av kirurgernas verksamhet. Framför allt har såväl i provanläggningen som i jämförelserummen kunnat konstateras en markant ökning av partikelhalten, då kirurgernas rörelser varit häftiga vid handhavandet av kompresser, och då kompresser fått ligga kvar vid sidan av såret. De gjorda observationerna tyder på att om man vill undvika höjningar av luftens partikelhalt, bör kirurgen genast efter användandet avlägsna kompresserna från den känsliga zonen genom att ej för häftigt föra dem nedåt—bakåt till ett operationsbiträde.

Under de tio månader som provanläggningen varit i drift, har den opererande personalen kontinuerligt

Tabell 1

Uppmätta halter av luftburna partiklar $> 5 \mu\text{m}$ vid lungoperationer i operationsrum nr. 3 vid Karolinska Sjukhusets Thoraxklinik

Datum	Verksamhetsperiod	Periodens längd [minuter]	Antal mätvärden	Partikelhaltens medelvärde [part./liter]	Partikelhaltens standardavvikelse [part./liter]
24.9.65	Öppning	14	9	58	12
	Operation	78	49	58	9
	Sutur	23	17	75	16
7.10.65	Öppning	14	7	65	17
	Operation	125	86	45	25
	Sutur	62	34	41	33
26.10.65	Öppning	7	—	—	—
	Operation	79	43	70	18
	Sutur	36	22	77	25
22.11.65	Öppning	14	7	48	12
	Operation	111	53	77	23
	Sutur	37	13	105	26
29.11.65	Öppning	12	4	76	7
	Operation	195	108	56	24
	Sutur	18	12	115	32
29.11.65	Öppning	3	—	—	—
	Operation	28	14	81	22
	Sutur	22	18	123	27
9.12.65	Öppning	12	5	66	17
	Operation	16	7	112	37
	Sutur	19	10	90	15
10.12.65	Öppning	19	10	47	15
	Operation	94	66	64	23
	Sutur	22	13	88	28
27.12.65	Öppning	30	10	65	33
	Operation	170	135	55	26
	Sutur	43	34	59	23
7.2.66	Öppning	11	5	52	8
	Operation	146	77	71	49
	Sutur	22	17	130	37

utfrågats om huruvida de besvärats av drag eller på annat sätt störts av ventilationen. Det har därvid inte framkommit några klagomål.

Sammanfattningsvis har i tabell 3 och 4 angetts genomsnittsvärdena för samtliga av de i tabell 1 och 2 enskilt redovisade operationerna. Uppdelningen i verksamhetsperioder har därvid bibehållits.

Tabell 2

Uppmätta halter av luftburna partiklar $> 5 \mu\text{m}$ vid lungoperationer i Thoraxkliniken vid Lunds Lasarett

Datum	Verksamhetsperiod	Periodens längd [minuter]	Antal mätvärden	Partikelhaltens medelvärde [part./liter]	Partikelhaltens standardavvikelse [part./liter]
11.11.65	Öppning	10	5	288	38
	Operation	109	85	238	96
	Sutur	42	36	369	131
16.12.65	Öppning	38	8	475	66
	Operation	62	26	719	105
	Sutur	42	33	661	258
17.12.65	Öppning	29	12	296	48
	Operation	111	87	202	41
	Sutur	36	30	168	39
17.12.65	Öppning	12	3	266	12
	Operation	202	145	213	76
	Sutur	39	33	297	116
17.2.66	Öppning	61	38	398	95
	Operation	158	118	252	72
	Sutur	28	18	503	81
18.2.66	Öppning	32	18	331	124
	Operation	132	104	185	59
	Sutur	44	31	511	159
3.3.66	Öppning	41	22	243	87
	Operation	63	52	211	70
	Sutur	49	34	237	191
4.3.66	Öppning	29	11	181	35
	Operation	131	86	230	111
	Sutur	42	26	262	117
31.3.66	Öppning	27	18	230	95
	Operation	180	139	147	46
	Sutur	34	22	233	61
14.4.66	Öppning	27	12	311	55
	Operation	204	161	221	65
	Sutur	38	29	239	98

Tabell 3

Medelvärdet av under tiden 24.9.65—7.2.66 uppmätta halter av luftburna partiklar $> 5 \mu\text{m}$ vid 10 lungoperationer i operationsrum nr. 3 vid Karolinska Sjukhusets Thoraxklinik

Verksamhetsperiod	Antal mätvärden	Partikelhaltens medelvärde [part./liter]
Öppning	57	58
Operation	638	61
Sutur	190	82

Tabell 4

Medelvärdet av under tiden 11.11.65—14.4.66 uppmätta halter av luftburna partiklar $> 5 \mu\text{m}$ vid 10 lungoperationer i Thoraxkliniken vid Lunds Lasarett

Verksamhetsperiod	Antal mätvärden	Partikelhaltens medelvärde [part./liter]
Öppning	147	311
Operation	1003	222
Sutur	292	349