



# VENTILATIONS OCH LUFTUTBYTES EFFEKTIVITET

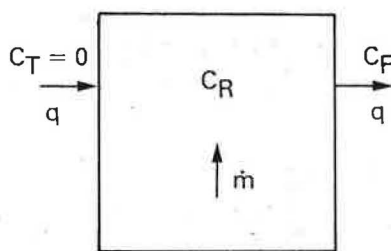
## NYA BEGREPP FÖR PROBLEMSTRUKTURERING OCH UTVÄRDERING AV MÄTRESULTAT

De två relativt nya begreppen ventilations-effektivitet och luftutbyteseffektivitet underlättar bl a konstruktörernas val av ventilationssystem. Här utreds och konkretiseras dessa begrepp.

Av Tor-Göran Malmström, Avd för Installationsteknik, KTH

Ventilationseffektivitet och luftutbyteseffektivitet är viktiga begrepp som kan användas för att strukturera ventilationsproblem samt för att redovisa och jämföra mätresultat. Men vilken är deras innebörd? Begreppen förtydligas bäst genom att man utgår från ett enkelt fall, ett tätt rum med ett tilluftsdon, ett frånluftsdon och en föroreningskälla, se figur 1.

Det förutsätts att jämvikt råder. All förorening som avges i rummet till luften måste föras bort med frånluften. (Det förutsätts alltså att sedimentation, vidhäftning vid ytor, kemiska reaktioner o d ej förekommer.) För koncen-



Figur 1. Ventilerat rum med föroreningskälla.

- $q$  = luftflöde ( $m^3/s$ )  
 $\dot{m}$  = föroreningsavgivning ( $kg/s$ )  
 $C_T$  = föroreningskoncentration i frånluften ( $kg/m^3$ )  
 $C_R$  = föroreningskoncentration i rummet, medelvärde ( $kg/m^3$ )

trationen i frånluften gäller, med dessa förutsättningar:

$$C_F = \frac{\dot{m}}{q}$$

Koncentrationen  $C_F$  i frånluften är alltså fix, vid givna värden på  $\dot{m}$  och  $q$ . Koncentrationen  $C_R$ , rumsmedelvärdet, beror däremot på hur föroreningen avges och på hur luften strömmar i rummet.

$$C_R = \frac{M}{V}$$

$M$  = rumsluftens totala innehåll av förorening ( $kg$ )  
 $V$  = rummets luftvolym ( $m^3$ )

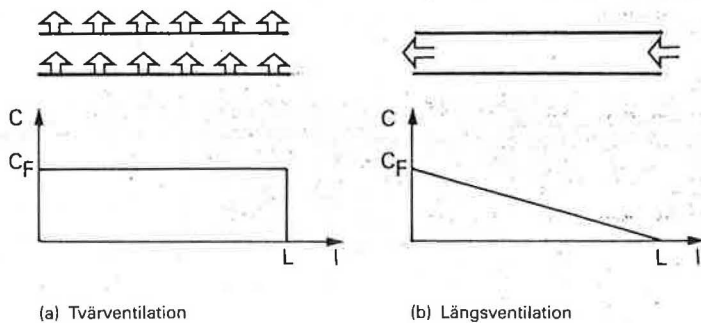
Självklart vill man ha så lågt  $C_R$  som möjligt. Ett sätt är att studera hur föroreningskoncentrationen varierar inom rummet och placera frånluftsdonet där den är högst. Då ligger koncentrationen i övriga rummet lägre. Det mått som används för att beskriva hur man lyckats är ventilationseffektiviteten  $\langle \epsilon \rangle$  för rummet:

$$\langle \epsilon \rangle = \frac{C_F}{C_R}$$

$\langle \epsilon \rangle = 1$  innebär alltså att medelkoncentrationen i rummet är densamma som koncentrationen i frånluften.  $\langle \epsilon \rangle$  större än 1 innebär ett väl fungerande system,  $\langle \epsilon \rangle$  mindre än 1 ett sämre fungerande.

Fallet  $\langle \epsilon \rangle = 1$  används ofta som referensvärde, bl a eftersom det vid dimensionering är enklast att räkna med detta värde.

$\langle \epsilon \rangle$  beror på föroreningskällans placering. Två extremfall är att den är belägen i eller invid frånluftsdonet eller i tilluftsdonet, jämför figur 1. Är den belägen in-



Figur 2. Exempel på tunnelventilation.

vid frånluftsdonet kan i bästa fall föroreningarna evakueras utan att spridning till rumsluften sker. Därvid kan  $\langle \epsilon \rangle$  bli mycket stort, eftersom  $C_R$  blir nära noll.

Detta är *punktutsugets* princip. Normalt kan dock ett punktutsug inte fånga in alla föroreningarna. Därför brukar man vid diskussioner om allmänventilationens effektivitet inskränka sig till att endast räkna med den andel av den totala föroreningsavgivningen som verkligen tillförs rumsluften. På så sätt erhålls mer rättvisande värden på  $\langle \epsilon \rangle$ . Det är dock viktigt att poängtera att den självklara utgångspunkten vid planeringen av hur nivån av hälsovådliga föroreningar i rumsluften skall begränsas är att minska källstyrkan så långt möjligt är:

- genom val av ren process
- genom inbyggnad eller inkapsling
- genom punktutsug.

Det andra ytterlighetsfallet är att föroreningskällan är placerad i tilluften. Då kommer denna att redan när den tillförs rummet vara uppblandad med föroreningen och ha koncentrationen

$$\frac{\dot{m}}{q} = C_F$$

För detta fall blir således i jämvikt föroreningskoncentrationen densamma,  $C_F$ , i hela lokalen och

således  $\langle \epsilon \rangle = 1$ . Från teknisk synpunkt är detta fall speciellt, men det är ändå en god illustration av *utspädningsventilationens* princip: kan inte föroreningarna fångas in, späd ut dem så att hälsofarliga koncentrationer undviks. Man offerar chansen till hög ventilationseffektivitet men vinner en ökad säkerhet mot att alltför höga koncentrationer lokalt kan uppträda i vistelsezonen. I en industrilokal med många föroreningskällor i vistelsezonen kan det dock vara svårt att på ett effektivt sätt späda ut föroreningarna; blandning av luftflöden är som bekant inte alltid så lätt att åstadkomma. Att föroreningarna av luftströmmen bara transporteras till grannens andningszon är ju inget eftersträfvansvärt.

Dålig ventilationseffektivitet,  $\langle \epsilon \rangle$  mindre än 1, erhålls då föroreningar avges i eller utspädda transporteras till delar av lokalen där luftutbytet är mindre än det genomsnittliga, så att tillräcklig utspädning ej sker där. En sådan zon karakteriseras av att den endast är indirekt ventilerad. Om man jämför med en lägenhet motsvarar den ett rum med varken tilluftsdon eller frånluftsdon och med endast en strömningsväg till resten av lägenheten, t ex en dörr där dörrspringan tjänar som överluftsdon då dörren är

stängd. Avges inga föroreningar i ett sådant "rum" uppstår inga höga koncentrationer, men avges föroreningar där kan som sagts stora koncentrationer uppstå om inte det indirekta luftutbytet med resten av "lägenheten" är mycket stort.

För att  $\langle \epsilon \rangle$  mindre än 1 skall erhållas måste alltså två förutsättningar vara uppfyllda. Dels skall det finnas delar av lokalen som har dåligt luftutbyte, dels skall föroreningsavgivning ske där. Men för ventilationsteknikern kan det vara bra att veta om det finns delar av lokalen där luftutbytet är dåligt. De kan ju innebära en potentiell risk även om just för tillfället inga föroreningar avges där. För att mäta detta behövs ett begrepp där vi gjort oss oberoende av den inverkan som en ojämn, eventuellt punktvis, avgivning av förorening i lokalen innebär. Det mest närliggande sättet att åstadkomma detta är *ventilationseffektiviteten för specialfallet att föroreningen avges likformigt i hela lokalens luftvolym*.

#### Exempel från biltunnel

Ett exempel från praktiken konkretiserar bra innebörden av detta begrepp, nämligen biltunnelventilation. Föroreningen är bilarnas avgaser och spridningen sker jämnt fördelad i hela tunnelns längd. Ett system är sk tvärventilation, vilket innebär att tunneln i hela sin längd är försedd med både tillufts- och frånluftskanaler. Även fördelningen av tilluft och frånluft är således också jämn längs hela tunneln. För ett fall då biltrafiken inte inkluderar något resulterande luftflöde genom tunneln, t ex dubbelriktad trafik, kommer avgaskoncentrationen att vara lika stor i hela tunneln (omblandningen på grund av biltrafiken torde vara tillräcklig för att koncentrationsfördelningen över tunnelns tvärsnitt skall vara jämn):

$$C_R = \frac{\dot{m}/L}{q/L} = C_F$$

$\dot{m}/L$  = avgasavgivningen per m tunnel

$q/L$  = till- och frånluftsflödet per m tunnel

För detta fall blir alltså

$$\langle \varepsilon \rangle = \frac{C_F}{C_R} = 1$$

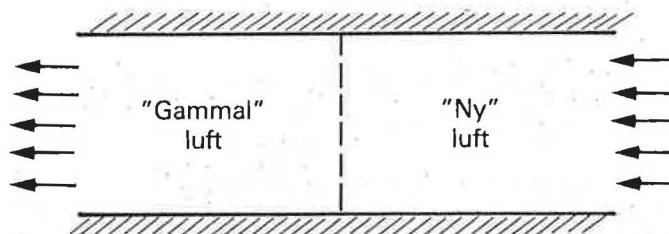
Ett annat system som särskilt lämpar sig för tunnlar med enkelriktad trafik är längsventilation. Luften tillförs här genom tunnelinfarten, eller nära denna, och lämnar tunneln genom mynningen, eller nära denna. Hela luftflödet genomströmmar således tunnelns hela längd. Eftersom luften i detta fall för varje längd-meter upptar samma mängd förörening, kommer avgaskoncentrationen att stiga rätlinjigt längs tunneln, se figur 2. För detta fall erhålls alltså

$$C_R = \frac{C_F}{2}$$

$$\langle \varepsilon \rangle = 2$$

För tunnelfallet blir också  $C_R$  ett mått på storleken av den medelkoncentration och därmed den dos som en trafikant som åker genom tunneln utsätts för, åtminstone om han åker i en öppen bil.

Men på vilket sätt kan ventilationseffektiviteten vid en i hela luftrummet jämnt fördelad föroreningskälla vara ett mått på luftutbytet? Tänker man sig luftvolymen indelad i ett stort antal små delvolym,  $\Delta V$ , var och en med sin egen lilla föroreningskälla  $\Delta m_i$  och om man vidare tänker sig att varje sådan liten delvolym inte har något luftutbyte med omgivningen utan att utbytet av luft inom lokalen sker genom utbyte av delvolym, inser man lätt svaret. Koncentrationen av förorening i delvolymen kommer att öka i direkt proportion till den tid som delvolymen befunnit sig i rummet.  $C_R$  blir alltså för detta fall samtidigt ett mått på rumsluftens genomsnittliga uppehållstid i rummet. På motsvarande sätt blir  $C_F$  ett mått på frånluftens genomsnittliga uppehållstid i rummet, dvs hur lång tid luften befunnit sig i rummet innan den passerar ut genom frånluftsdonet. Frånluftens genomsnittliga uppehållstid i rummet blir dock alltid  $\tau_n$  ( $\tau_n = \frac{V}{q}$  är den nominella tiden



Figur 3. "Kolströmning" är det snabbaste sättet att byta luften i en lokal. Om den luft som tillförs efter en viss tidpunkt,  $t = 0$ , kallas för "ny" luft kommer frånluften som lämnar lokalen helt och hållet vara gammal luft ända till tidpunkten  $t = \tau_n$ , då fronten med "ny" luft når frånluftssidan.

för ett luftutbyte). Liksom  $C_F$  alltid har ett fixt värde bestämt av  $q$  och  $m_i$ , är  $\tau_n$  alltid fixt, bestämt av  $q$  och  $V$ . En delvolym med stor uppehållstid  $t$  kompenseras då i jämvikt alltid av en annan delvolym med motsvarande lägre  $t$ .

Man kan naturligtvis för specialfallet med jämnt fördelad föroreningskälla tänka sig fall med mycket stort värde på rummets medelkoncentration,  $C_R$ , och därmed också på den genomsnittliga uppehållstiden för hela rumsluften. Sådana fall är då praktiskt taget all tilluft går direkt till frånluftsdonet och evakueras där. Endast en liten del av tilluften når verkligen rummet för att späda ut föroreningarna där. Då kan givetvis mycket stora koncentrationer erhållas i rummet. Luftutbytet är dåligt.

Vilket är det lägsta tänkbara värdet på  $C_R$  för specialfallet? Jo, det värdet erhålls då strömningen är sådan att alla delvolym i frånluften har större föroreningskoncentrationer (innebärande också längre uppehållstid  $t$ ) än någon delvolym som ännu befinnet sig i rummet. För att detta skall uppnås får alltså ingen omblandning av luften ske och luften måste hela tiden röra sig åt samma håll, från tilluftssidan till frånluftssidan. Man brukar kalla fallet "kolströmning", figur 3 illustrerar. Detta fall motsvarar vår idealiserade längsventilation i tunnelexemplet. Som visades där blir då

$$C_R = \frac{C_F}{2} \text{ och } \langle \varepsilon \rangle = 2$$

Som tidigare sagts blir alltså

ventilationseffektiviteten ett mått på hur effektivt luftutbytet är, om den beräknas för fallet jämnt fördelad föroreningskälla. Det har också visats att för detta fall  $\langle \varepsilon \rangle$  motsvarar kvoten mellan frånluftens medeluppehållstid i rummet och rumsluftens och att detta värde maximalt kan bli 2. Till skillnad från det allmänna ventilationseffektivitetsfallet, med en godtyckligt placerad föroreningskälla, har alltså detta specialfall ett övre gränsvärde. Detta gör att det har karaktär av *verkningsgrad*. För att framhäva detta har Nordiska Ventilationsgruppen (NVG) rekommenderat att värdet skall normaliseras genom division med 2. Det så erhållna värdet kallas

luftutbyteseffektivitet,  $\varepsilon_a$ .

$$\varepsilon_a = \frac{\tau_n}{2 \cdot \langle \bar{T} \rangle}$$

där  $\tau_n$  = nominella luftutbytestiden ( $\frac{V}{q}$ )

$\langle \bar{T} \rangle$  = rumsluftens medeluppehållstid i rummet.

Det minsta värdet  $\langle \bar{T} \rangle$  kan ha är  $\frac{\tau_n}{2}$ , vilket erhålls för kolströmning.  $\varepsilon_a$  är alltså kvoten mellan rumsluftens medeluppehållstid vid kolströmning och i det aktuella fallet.

Användningen av de båda begreppen  $\langle \varepsilon \rangle$  och  $\varepsilon_a$  exemplifieras i uppsatsen "Effektiv industriventilation", (T-G Malmström, O Strindehag), se detta nummer av VVS & Energi, 10 1985.



Verkstadslokal med omblandande ventilation.

## EFFEKTIV INDUSTRIVENTILATION

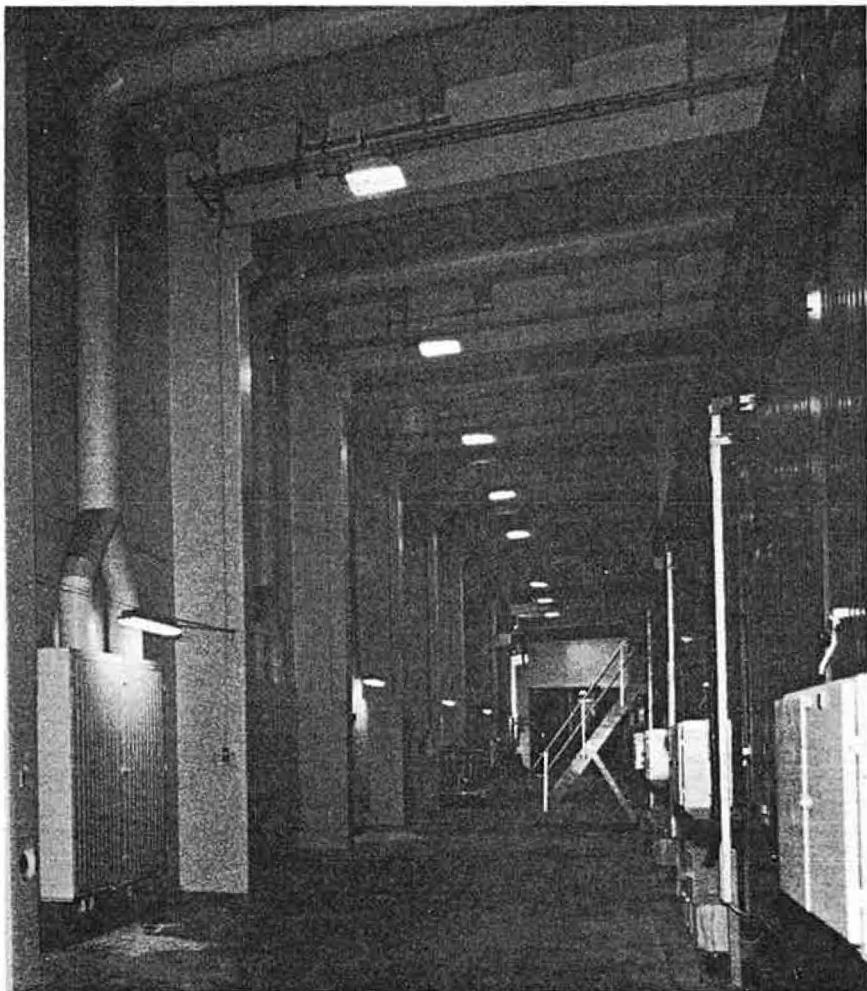
Föroreningskoncentrationer och exponeringsvärden i industri-lokaler diskuteras i artikeln med utgångspunkt från begreppen ventilationseffektivitet och luftutbyteseffektivitet. Som framgår av de beräkningsexempel som redovisas har sättet att tillföra och bortföra luften från en lokal stor inverkan på luft-

kvaliteten. Enbart begreppen ventilations-effektivitet och luftutbyteseffektivitet ger ej tillräcklig information när man skall välja systemlösning, men de är värdefulla hjälpmedel vid problemanalysen.

Av Tor-Göran Malmström, Avd för Installationsteknik, KTH och Ove Strindehag, Fläkt AB

Ventilationseffektivitet och luftutbyteseffektivitet är begrepp som är tänkta att användas vid val av ventilationssystem för olika slag av byggnader. De är baserade på hela lokalens luftvolym. En viktig fråga är då hur dessa begrepp kan tillämpas i industrilokaler med kraftiga föroreningskällor. Det är tämligen klart att man i en stor industrihall, som kanske är 10 m hög, inte kan bedöma de anställdas exponeringsvärden enbart med hänsyn till medelvärdet av föroreningarna i lokalluften.

Eftersom förhållandet mellan exponeringsvärden och medelvärdet kan vara olika för olika



Ugnshall med deplacerande ventilation.

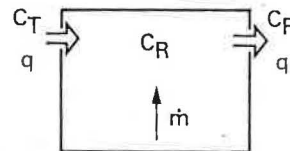
ventilationssystem kan ett systemval med hänsyn till medelvärden leda till felbedömningar. Då det gäller hälsovådliga föroreningar är det självfallet exponeringsvärdena som är avgörande.

Förhållandet mellan exponeringsvärden och medelvärden beror naturligtvis inte enbart på luftströmningen i lokalen. Föroreningskällans utsträckning, värmeavgivning m m inverkar också på ett dominerande sätt. Att olika individer utför arbetsmomenten olika kan också leda till olika exponering. Det är alltså en mängd faktorer som bestämmer förhållandet mellan exponeringsvärden och medelvärden.

För att begränsa såväl medelvärden som exponeringsvärden bör man givetvis först och främst kapsla in föroreningskällorna så

långt det är praktiskt möjligt. Dessutom bör man försöka minska spridningen av föroreningar i lokalluften med hjälp av punktutsug. I lokaler där hälsovådliga ämnen hanteras får man trots dessa åtgärder ändå räkna med att föroreningshalten i lokalluften blir dimensionerande för allmänventilationen.

För allmänventilation av industrilokaler kan man använda sig av ventilationssystem som arbetar enligt principen omblandande eller system som arbetar enligt principen deplacerande. I denna artikel ges exempel på hur ventilationseffektivitet och luftutbyteseffektivitet vid omblandande och deplacerande system kan beräknas med utgångspunkt från en tvåzonsmodell. Valet av systemlösning diskuteras sedan mot bakgrund av de erhållna re-



$q$  = ventilationsluftsfloede (m<sup>3</sup>/s)

$C_R$  = föroreningshalt i rummet, medelvärde (kg/m<sup>3</sup>)

$C_T$  = föroreningskoncentration i tilluften (kg/m<sup>3</sup>)

$C_F$  = föroreningskoncentration i frånluften (kg/m<sup>3</sup>)

$V$  = rummets volym (m<sup>3</sup>)

$\dot{m}$  = föroreningsavgivning (kg/s)

$\langle \epsilon \rangle = \frac{C_F}{C_R}$  = ventilationseffektivitet

$\epsilon_a = \frac{\tau_n}{2 \langle \tau \rangle}$  = luftutbyteseffektivitet

$\tau_n = \frac{V}{q}$  = nominella luftutbytestiden

$\langle \tau \rangle$  = rumsluftens medeluppehållstid i rummet

Figur 1. Beteckningar och definitioner.

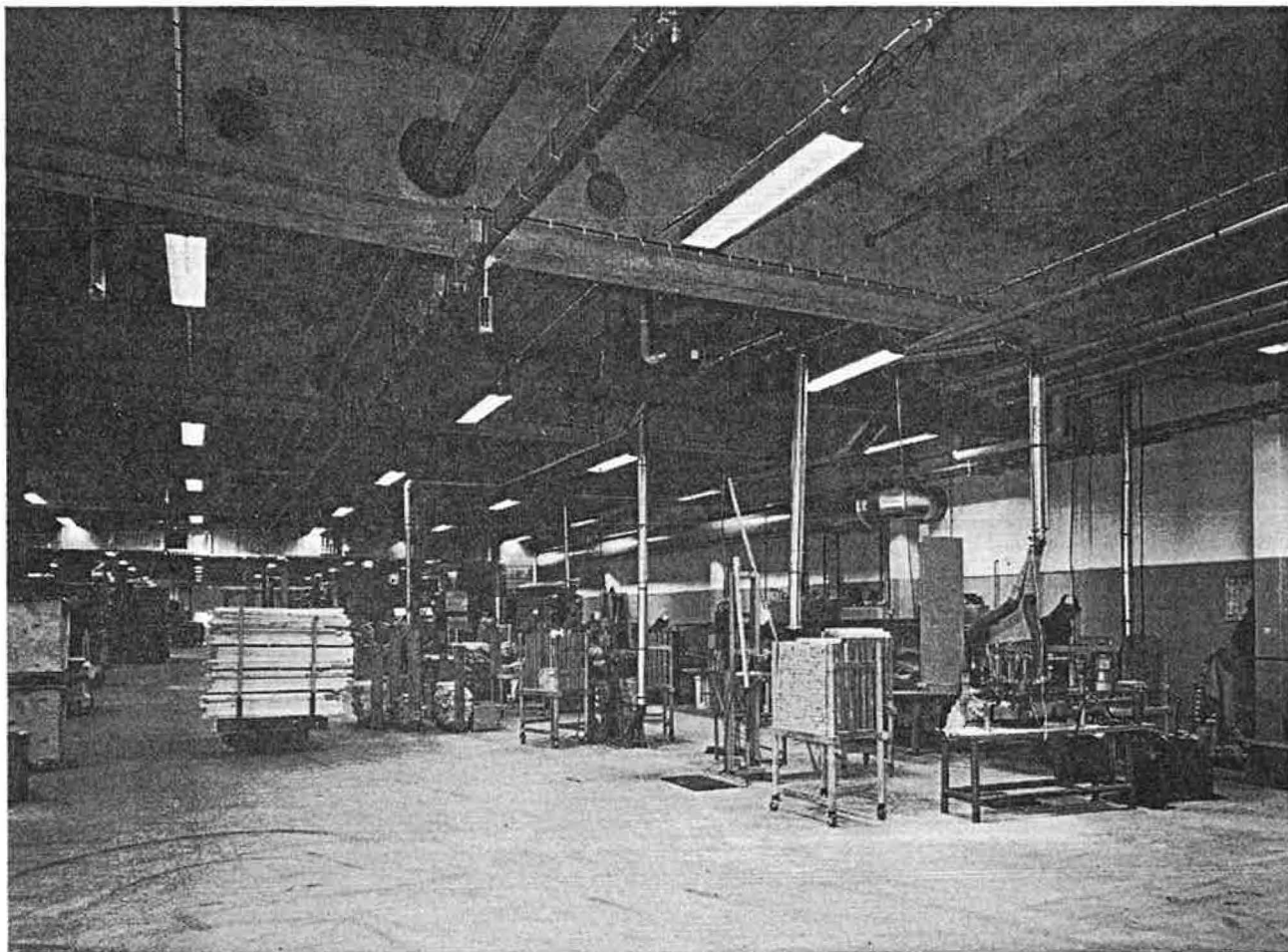
sultaten. De beteckningar som kommer att användas framgår av figur 1. I övrigt hänvisas till referens [1], där begreppen ventilationseffektivitet och luftutbyteseffektivitet närmare diskuteras.

### Beräkningsexempel

Här skall redovisas några beräkningar med en mycket enkel och idealiserad modell för luftströmningen i en lokal, en tvåzonsmodell. Man tänker sig att lokalen är indelad i två zoner. Inom varje zon är inblandningen av tilluft och förorening jämnt fördelad så att föroreningskoncentrationen blir jämn i hela zonen. Parametrar som varierar är hur tilluft, frånluft och föroreningsavgivning är fördelade på de båda zonerna och hur stort utbytet av luft mellan zonerna är. En konsekvens av förenklingen är t ex att om all frånluft tas i en zon föroreningskoncentrationen där blir

$$C = \frac{\dot{m}}{q} = C_F$$

I många fall kan dock modellen ge ganska rättvisande resultat vad gäller medelvärden. Att ett rum



Träindustri med punktutslug.

är uppdelat i två cirkulationszoner är inte direkt ovanligt. Ibland försöker man också stärka denna tendens som fallet är vid sk deplacerande inblåsning. Anpassningen går till så att man försöker tillföra precis så mycket tilluft till den nedre zonen som konvektionskällorna där kräver för de luftströmmar som de alstrar. Från luften tas sedan från den övre zonen. På detta sätt undviks recirkulation av luft från lokalens övre del till den nedre zonen, uppehållszonen. Är luften i den övre zonen föroreningsbemängd kan givetvis på detta sätt stora vinster göras vad gäller luftkvaliteten i uppehållszonen. Genom att ha liten återströmning mot den resulterande strömningsriktningen närmar man sig något idealfallet från ventilationseffektivitetssynpunkt, kolvströmning.

I vårt exempel skall vi nu med hjälp av tvåzonsmodellen studera vad som händer i ett sådant fall med litet luftutbyte mellan zonerna, då placering av luftdon

och föroreningskällor ändras. Beräkningen har utförts för ett luftutbyte mellan zonerna, överlagrat ventilationsflödet, av  $0,1 q$  (där  $q$  är ventilationsflödet). Ett sådant lågt luftutbyte eftersträvas vid deplacerande ventilation. För att beräkningen skall gälla förhållanden motsvarande en stor hall kan uppehållszonen svara för 20 % av hela volymen. Två fördelningar av föroreningen har antagits vid beräkningen, dels att all förorening sprids i uppehållszonen, dels att endast 20 % sprids i uppehållszonen. Detta senare fall har tagits med först och främst för att illustrera förhållandena när en stor del av föroreningarna direkt transporteras upp till den övre zonen, men det är också valt så att föroreningsavgivningen är proportionell mot zonen volym. Det svarar således mot jämn förorenings-spridning i hela lokalen [1]. Ventilationseffektiviteten för detta fall kommer därför också att vara ett mått på hur effektivt utbytet av luft är. Luftutbyteseffek-

tiviteten har då ett siffervärde som är hälften av ventilationseffektivitetens. Det kan därför vara av intresse att påpeka att det maximala värdet av  $\epsilon_a$  för detta fall för tvåzonsmodellen är 0,59, svarande mot  $\langle \epsilon \rangle = 1,17$ . Alla fallen är vidare beräknade för ett och samma totala luftflöde.

Av intresse är i första hand medelkoncentrationen i uppehållszonen,  $C_1$  se tabell 1. Som framgår av tabellen blir  $C_1 = C_F = 1000$  för de fall all frånluft tas i zonen. Vidare gäller att koncentrationen blir lika med  $C_F$  om tilluft tillförs zonerna i samma proportion som föroreningen. Detta är fallet då all tilluft och all förorening tillförs vistelsezonen. Störst koncentration i vistelsezonen erhålls i exemplet för det fall tilluft och frånluft är lika fördelade på de båda zonerna, men all förorening avges i vistelsezonen. I de övriga fallen med all föroreningsavgivning i vistelsezonen är vill-

| $\dot{m}/q = C_F = 1000$       |                   |       |                               |                    |       |                               |
|--------------------------------|-------------------|-------|-------------------------------|--------------------|-------|-------------------------------|
| $0,8 V \ C_2$<br>$0,2 V \ C_1$ | $\dot{m}/q = 800$ |       |                               | $\dot{m}/q = 1000$ |       |                               |
|                                | $C_1$             | $C_2$ | $\langle \varepsilon \rangle$ | $C_1$              | $C_2$ | $\langle \varepsilon \rangle$ |
|                                | 273               | 1000  | 1,17                          | 1000               | 1000  | 1                             |
|                                | 333               | 1667  | 0,71                          | 1000               | 1000  | 1                             |
|                                | 600               | 4600  | 0,26                          | 1000               | 1000  | 1                             |
|                                | 1000              | 9000  | 0,14                          | 1000               | 1000  | 1                             |
|                                | 571               | 1429  | 0,80                          | 1714               | 286   | 1,75                          |
|                                | 1000              | 1500  | 0,71                          | 1000               | 167   | 3,00                          |
|                                | 1000              | 818   | 1,17                          | 1000               | 90    | 3,63                          |

Tabell 1. Data för de olika beräkningsfallen och resultat av koncentrations- och effektivitetsberäkningar enligt tvåzonsmodellen.

förs den övre zonen. Därigenom erhålls ingen vinst i vistelsezonen utan istället blir den övre zonen renare.

Exemplet visar alltså att ventilationseffektivitet och luftutbyteseffektivitet är viktiga hjälpmedel. De avslöjar existensen av dåligt ventilerade zoner eller dåligt genomluftade zoner i lokalen. De kan dock ej användas så att ett fall med bättre genomsnittlig effektivitet ovillkorligen skall föredras framför ett fall med sämre. Hur föroreningskoncentrationerna är fördelade i lokalen har givetvis den största betydelse.

Exemplet har beräknats för ett mycket litet luftutbyte mellan zonerna. Är luftutbytet större, t ex på grund av någon störning, närmar sig värdena dem som gäller för fullständig omblandning. För detta extremfall gäller att koncentrationerna överallt blir 1000 och att ventilationseffektiviteten blir 1. Tabell 1 kan lämpligen läsas så att värdena för de olika redovisade ventilationsfallen ligger mellan de i tabellen angivna värdena och dem som gäller för fullständig omblandning.

Exemplet belyser då också egenskaperna hos system med "deplacerande" respektive "omblandande" ventilation. Det deplacerande systemet har sin stora styrka då föroreningen snabbt transporteras ut ur vistelsezonen, t ex av konvektionsströmmar, eller avges direkt till den övre delen av lokalen. Då kan relativt sett mycket låga föroreningskoncentrationer erhållas i vistelsezonen. Det "omblandande" systemet, där luft tillförs lokalens övre zon, har sin stora styrka i en situation då frånluften tas i uppehållszonen, t ex via punktut sug.

**Exponeringsvärdena**

Som påpekades i inledningen är det den dos av förorening som den enskilde arbetaren utsätts för som är avgörande. Detta innebär att det inte är tillräckligt att studera genomsnittsvärden med idealiserade beräkningar. De lokala

korret för kontroll av koncentrationen uppfyllt, nämligen att antingen all tilluft skall tillföras zonen eller att all frånluft skall tas från zonen.

För att koncentrationer lägre än 1000 skall erhållas i vistelsezonen fordras i exemplet att en del av föroreningen skall avges i den övre zonen. Som synes erhålls för de fall 80 % av föroreningsavgivningen sker i den övre zonen lägst koncentration, då all tilluft tillförs vistelsezonen och all frånluft tas från den övre zonen. Detta motsvarar utgångsfallet, "deplacerande" ventilation. Så fort kontrollvillkoret inte är uppfyllt i den övre zonen stiger dock koncentrationen där till värden över 1000. Huruvida detta kan accepteras kan inte sägas generellt. För de flesta fall torde det dock innebära en alltför stor risk att tillåta en ökning av föroreningskoncentrationerna i en stor del av lokalen till värden överstigande gränsvärdena.

Hur återspeglas nu dessa för-

hållanden i värdena på ventilationseffektiviteten? Ja, av tabell 1 framgår direkt att något samband mellan låga värden på föroreningskoncentrationen i vistelsezonen och god ventilationseffektivitet inte finns. Men om vi inte accepterar höga koncentrationer, större än 1000, i den övre zonen blir bilden annorlunda. Sådana höga koncentrationer avslöjas nämligen omedelbart av dåliga värden på ventilationseffektiviteten.

I många fall inom t ex verkstadsindustrin är föroreningskällorna placerade inom vistelsezonen. För att ta bort så mycket förorening som möjligt nära källan har punktut sug installerats. Det luftflöde som dessa ut sug kräver är många gånger tillräckligt för lokalens allmänventilation. Man har då en situation med all frånluft i vistelsezonen. Av tabellen framgår att luftutbytet och därmed ventilationseffektiviteterna då blir bättre ju mer seriekopplade zoner är, dvs ju mer luft som till-

värdena av föroreningskoncentrationen måste studeras och kontrolleras. Ofta uppehåller sig personalen i omedelbar anslutning till föroreningskällan som ofta är den maskin de arbetar med. Det är självfallet viktigt att ventilationsluften späder ut föroreningarna så snabbt och effektivt som möjligt så att höga koncentrationer undviks. Men en sådan snabb utspädning kräver höga strömningshastigheter. Dessa får dock inte bli så höga att de stör punktutsugets funktion! Då kan den mängd förorening som avges till lokal luften dramatiskt öka. Luftströmningen har också en riktning och denna måste vara sådan att föroreningen transporteras bort från arbetaren. Men den får inte istället transportera föroreningen till grannen, annat än i väl utspätt skick. Dragproblem sätter också ofta en gräns för de hastigheter som kan tillåtas.

För att stora doser med någon säkerhet skall undvikas fordras alltså detaljutformning av varje enskild arbetsplats från ventilationsteknisk synpunkt. Svårigheterna att kontrollera de lokala föroreningshalterna med allmänventilation är uppenbara. Detta accentuerar starkt att inbyggnad,

inkapsling och, i tredje hand, punktutsug är de åtgärder som bör prioriteras.

En intressant punkt är människans egen inverkan på luftströmningen nära andningszonen. Exempelvis har lävirvlar stor inverkan. Också egenkonvektionen kring människor har betydelse. Den kan transportera föroreningar upp till andningszonen, men den kan även transportera dit frisk luft. Detaljförloppet, också vid deplacerande ventilation, där tilluft sprids längs golvet, och sedan förs upp av konvektion, skulle vara intressant att studera från denna synpunkt.

### Sammanfattning

För storleken av den dos en person utsätts för har den ventilationstekniska detaljutformningen av arbetsplatsen en avgörande betydelse. Här torde fortfarande föreligga ett betydande forsknings- och utvecklingsbehov. Den allmänna luftströmningen i lokalen har dock också stor betydelse. Punktutsugsfunktionen får inte störas av starka luftströmmar. Föroreningen skall transporteras bort från de personer som arbetar i lokalen. Men lokalen skall också genomluftas på bästa sätt. Hur detta skall ske för att bästa kon-

troll och okänslighet för störningar och vädervariationer skall erhållas är likaså ett angeläget forskningsområde.

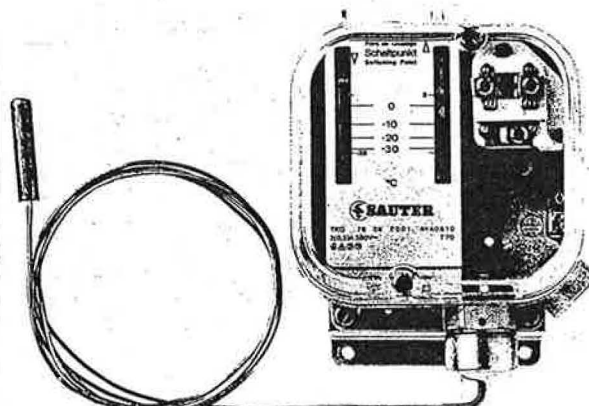
Här innebär begreppen ventilationseffektivitet och luftutbyteseffektivitet viktiga hjälpmedel för att strukturera problemen, redovisa experimentella resultat och möjliggöra jämförelser mellan olika fall. De båda begreppen kan dock inte isolerade användas som underlag för systemval.

Två typfall är sk "deplacerande" ventilation och sk "omblandande" ventilation. Båda dessa system kan ha goda värden vad gäller ventilationseffektiviteten. I nuvarande utvecklingskede synes "deplacerande" ventilation innebära större chans till höga effektivitetsvärden, medan "omblandande" ventilation i många fall synes ge en mindre känslighet för störningar och därmed större säkerhet. Det föreligger dock fortfarande ett stort forskningsbehov, inte minst vad gäller koncentrationerna i andningszonen.

### Referens

[1]. Malmström, T-G: Ventilationseffektivitet och luftutbyteseffektivitet, VVS & Energi, nr 10 1985.

# Temperaturpedanten.



Temperaturpedanten hjälper dig att hålla energikostnaden nere. Han reglerar temperaturen väldigt noga, men är ändå lätt att samarbeta med. Han har stora, lättavlästa skalor och enkel inställning av de bägge kopplingspunkterna var för sig.

Temperaturpedanterna är termostater från Sauter. De finns med olika arbetsområden inom intervallet -70 till +295 C och med upp till 10 meter långa kapillärrör. De finns också som frostskyddstermostater eller säkerhetstermostater.

Ring oss så berättar vi mer om våra pedantiska termostater.

**automation**



**ZANDER & INGESTRÖM**  
ALFA-LAVAL GROUP

Stockholm 08-80 90 00, Göteborg 031-42 01 40. Malmö 040-757 60, Sundsvall 060-12 32 60.



# LYCKAT OCH MINDRE LYCKAT NÅGRA PRAKTISKA EXEMPEL

**Hur olika resultaten blir vid olika luftdonsplaceringar och driftförhållanden i ett kontorsrum ger Mats Sandberg, Statens Institut för Byggnadsforskning, SIB, här några exempel på. Dessutom visas resultat från en barnstuga.**

I figurerna 1-11 redovisas luftutbytes- och ventilationseffektiviteten, uppmätt i ett cellkontor uppbyggt i SIB:s laboratorium. Cellkontoret är ett hörnrum med en fönstervägg. Rummets golvarea är 15 m<sup>2</sup> och rumsvolymen är 38 m<sup>3</sup>. Ventilationsluften har använts för både uppvärmning och kylning av rummet. Försöken har gjorts med två olika tilluftsflöden, q.

$q = 76 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $n = 2$  rumsvolymer/h,  $\tau_n = 0,5 \text{ h}$

$q = 152 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $n = 4$  rumsvolymer/h,  $\tau_n = 0,25 \text{ h}$

På den horisontella axeln anges den med rumsluften till- eller bortförda effekten per m<sup>2</sup> golvarea. Effekten har beräknats enligt formeln nedan:

Effekt/m<sup>2</sup> golvarea =  $pCq\Delta T/A$  (W/m<sup>2</sup> golvarea)

$p$  = luftens densitet

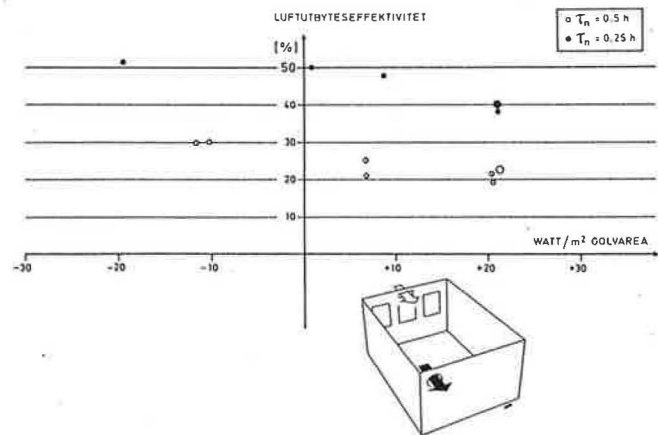
$C$  = luftens värmekapacitet

$\Delta T$  = temperaturskillnaden mellan till- och frånluftens temperatur

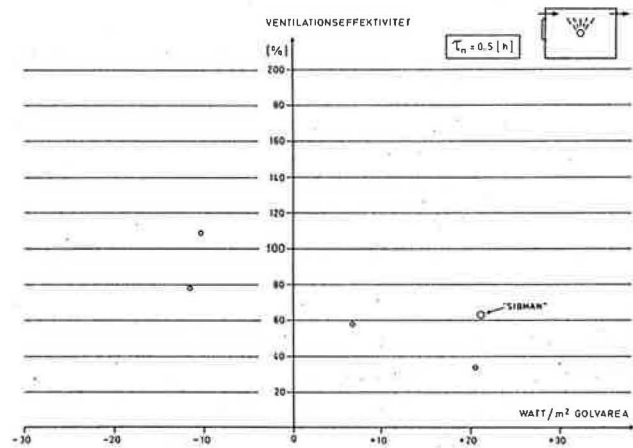
$A$  = rummets golvarea (= 15 m<sup>2</sup>).

I alla i figurerna 1-11 redovisade fall har frånluftsdonet varit placerat i bakkantsväggen medan

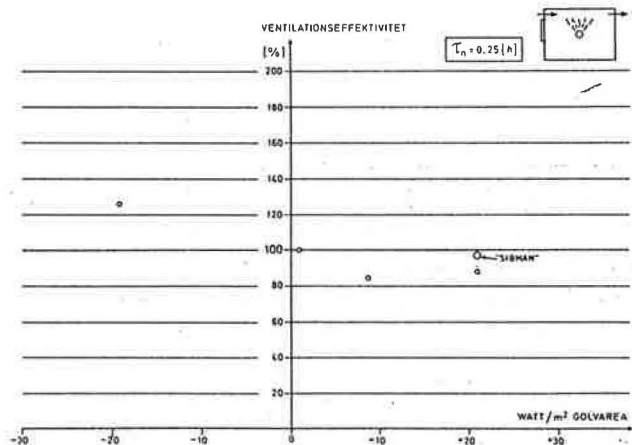
FIGUR 1. Framkantsinblåsning över fönstret. Luftutbyteseffektivitet

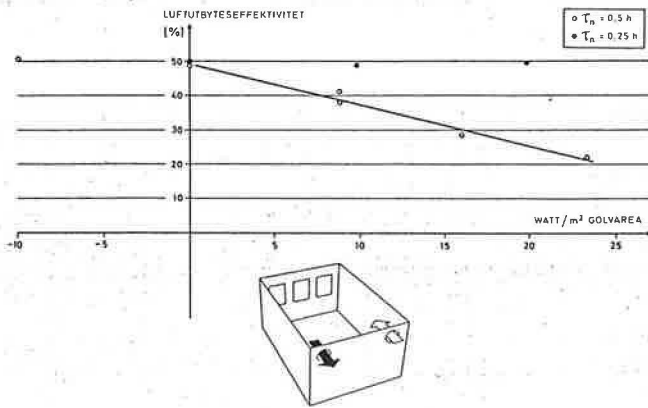


FIGUR 2. Framkantsinblåsning över fönstret. Ventilationseffektivitet vid utsläpp av lätt förorening (O). Lägre flödet ( $\tau_n = 0.5 \text{ h}$ ,  $n = 2$  rumsvolymer/h)

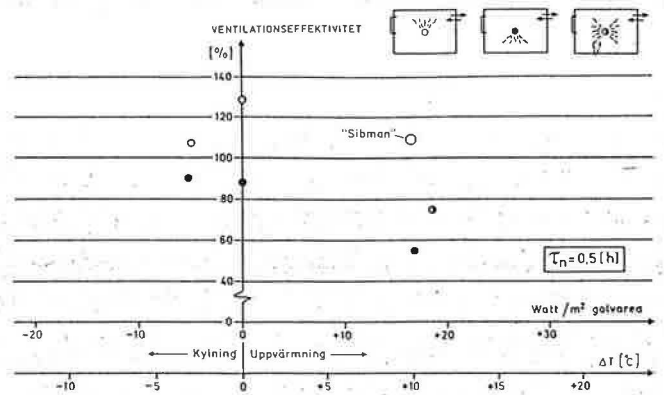


FIGUR 3. Framkantsinblåsning över fönstret. Ventilationseffektivitet vid utsläpp av lätt förorening (O). Högre flödet ( $\tau_n = 0.25 \text{ h}$ ,  $n = 4$  rumsvolymer/h)





FIGUR 4. Bakkantsinblåsning. Luftutbyteseffektivitet.



FIGUR 5. Bakkantsinblåsning. Ventilationseffektivitet vid utsläpp av lätt (O), neutral (●) och tung (●) förorening. Lägre flödet ( $\tau_n = 0.5$  h,  $n = 2$  rumsvolymer/h)

däremot tilluftsdonets placering varierat.

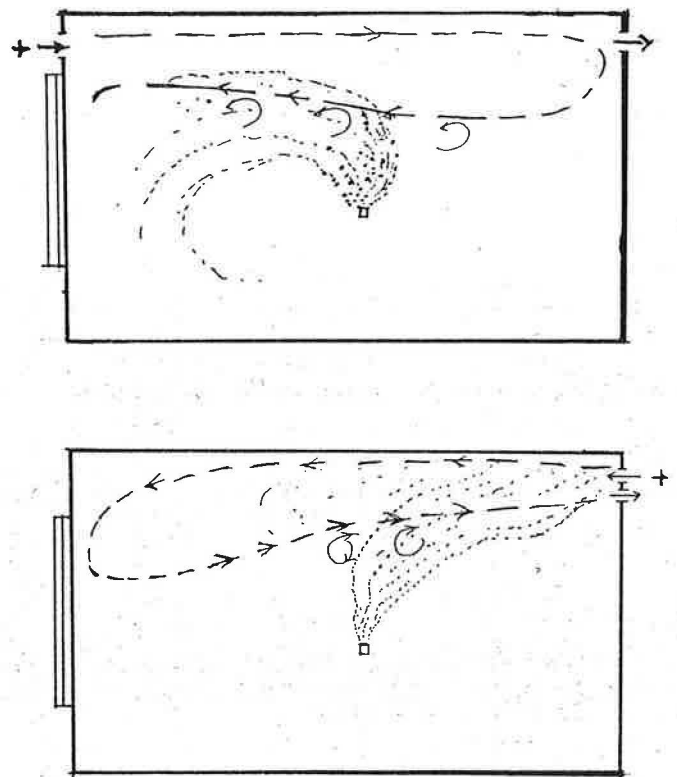
Figurerna 1-3 redovisar resultaten från framkantsinblåsning ovan fönstret. Vid det lägre flödet och varmluft får vi en mycket dålig luftutbyteseffektivitet, ca 25 %. Med undertemperatur på luften stiger luftutbyteseffektiviteten något till ca 30 %. Utsläpp av tobaksrök har simulerats och redovisas i figurerna 2 och 3.

Med varmluftsinsblåsning och det lägre luftflödet blir ventilationseffektiviteten endast 60 %. Enligt definitionen (5) av ventilationseffektiviteten innebär detta att koncentrationen i rummet är 1,7 gånger koncentrationen i frånluften. Ökas flödet till det dubbla ökar luftutbyteseffektiviteten vid varmluftsinsblåsning till mellan 40-50 %. Ventilationseffektiviteten ökar vid samma förhållanden till mellan 80-100 %.

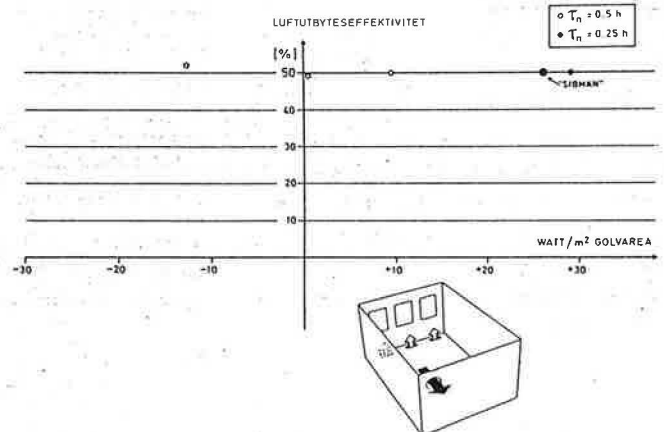
Sammanfattningsvis kan man säga att denna donplacering bör man undvika om man avser att eller riskerar att blåsa in övertempererad luft.

I figurerna 4 och 5 redovisas resultaten från bakkantsinblåsning. Med lägre flödet och varmluftsinsblåsning får man vid ökad tillufts-temperatur allt sämre luftutbyteseffektivitet. Figur 5 visar att för den lätta föroreningen får vi, trots den dåliga luftutbyteseffektiviteten, en relativt bra ventilationseffektivitet. Detta är kanske ett något överraskande resultat med tanke på erfarenheterna från framkantsinblåsning. I figur 6 visas schematiskt den troliga skillnaden

FIGUR 6. Varm-luftssystem. Skillnad i funktionsätt mellan framkantsinblåsning ovan fönstret respektive bakkantsinblåsning



FIGUR 7. Framkantsinblåsning under fönster. Luftutbyteseffektivitet



mellan framkantsinblåsning ovan fönstret och bakkantsinblåsning med övertemperatur på luften. Skillnaderna är cirkulationsriktningen på luften i den övre zonen. Vid framkantsinblåsning ovan fönstret dras tobaksröken ner i vistelsezonen medan vid bakkantsinblåsning den transporteras mot frånluftsdonet. Bakkantsinblåsning med det högre flödet ger 50 % luftutbyteseffektivitet och ca 100 % ventilationseffektivitet. Men vid det högre flödet blir hastigheterna i rummet så höga att risk för dragproblem finns.

Sammanfattningsvis kan man med tanke på den dåliga luftutbyteseffektiviteten knappast heller rekommendera denna donplacering vid varmluftsinsblåsning.

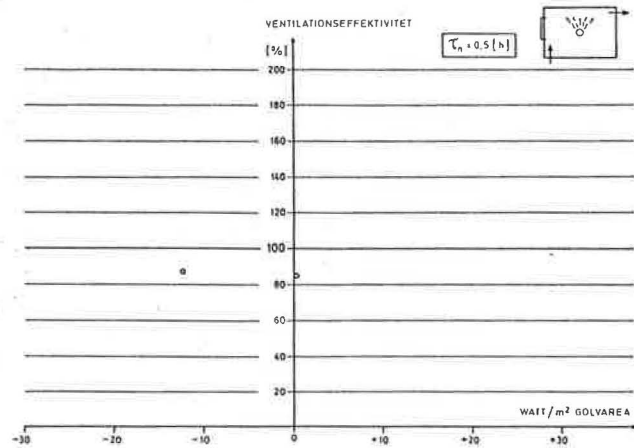
Vilken donplacering är då lämplig för varmluftsinsblåsning? Figurerna 7-9 visar troligtvis den optimala lösningen för varmluftsinsblåsning. Luften blåses in med hög hastighet under fönstren.

Med det lägre flödet uppnår vi 50 % luftutbyteseffektivitet och ventilationseffektiviteten blir ca 80 %. När flödet ökas till det dubbla ökar ventilationseffektiviteten till ca 120 %. Figurerna 10-11 redovisar försök med lågimpulsinsblåsning och med tilluftsdonet placerat vid golvet. Med undertemperatur på tilluften får vi deplacerande verkan med en mycket hög luftutbyteseffektivitet som följd. Likaså blir ventilationseffektiviteten mycket hög för en lätt förorening (tobaksrök). Luftens och föroreningens utbredning samverkar vilket gör att föroreningen snabbt lyfts bort från vistelsezonen. En tung förorening däremot går först mot luftens utbredning och kvarhålls därmed längre tid i vistelsezonen med följd att ventilationseffektiviteten blir dålig.

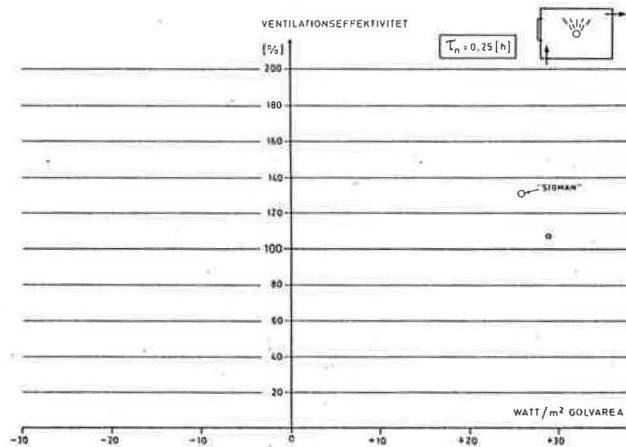
**Resultat från en barnstuga**

I figur 12 visas resultatet från ett försök i en barnstuga i Malmö. Vid tiden noll gick femton personer in i rummet och koldioxid-

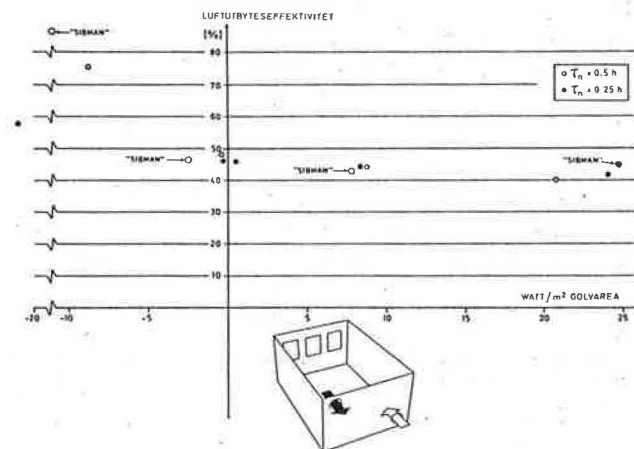
FIGUR 8. Framkantsinblåsning under fönster. Ventilationseffektivitet vid utsläpp av lätt (O) förorening. Lägre flödet ( $\tau_n = 0.5$  h,  $n = 2$  rumsvolymer/h)



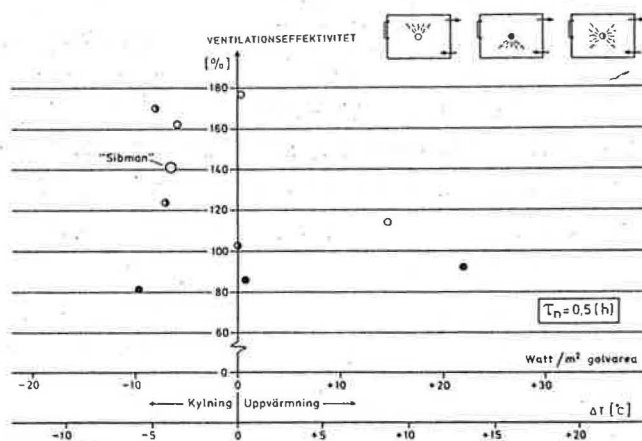
FIGUR 9. Framkantsinblåsning under fönster. Ventilationseffektivitet vid utsläpp av lätt (O) förorening. Högre flödet ( $\tau_n = 0.25$  h,  $n = 4$  rumsvolymer/h)

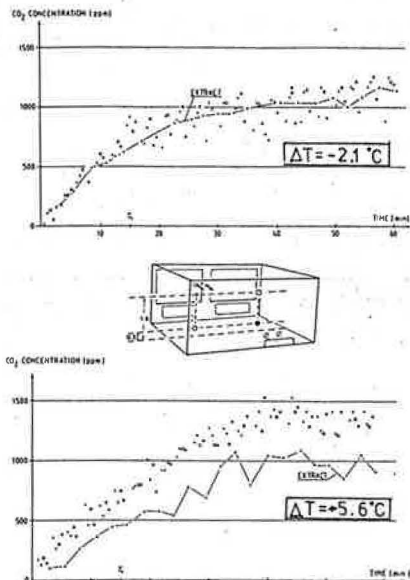


FIGUR 10. Lågimpulsdon. Luftutbyteseffektivitet



FIGUR 11. Lågimpulsdon. Ventilationseffektivitet vid utsläpp av lätt (O), neutral (●) och tung (●) förorening. Lägre flödet ( $\tau_n = 0.5$  h,  $n = 2$  rumsvolymer/h)





FIGUR 12. Lågimpulsdon i barnstuga. Koldioxidkoncentrationen från 15 personer som funktion av tiden. Koncentrationen i frånluften har subtraherats.

koncentrationen mättes kontinuerligt (bakgrundskoncentrationen har subtraherats). Övertemperaturen var +4,1°C. Koldioxidkoncentrationen i vistelsezonen är mycket högre än i frånluften (extract) och ventilationseffektiviteten blev ca 70 % medan luftutbyteseffektiviteten blev ca 40 %.

En slutsats blir här att lågimpulsdon och den placering av donen som redovisas i figurerna 10–12 aldrig skall användas för tillförsel av varmluft.

REFERENSER

Grundläggande teori:  
 Sandberg, M., Sjöberg, M., 1983. 'The use of moments for assessing air quality in ventilated rooms'. Building and Environment, Vol 18, No. 4, eller reprint series no 7, SIB, Gävle.  
 Lite populärare om teori, mätningar och resultat:  
 Sandberg, M., 1983. 'Vad är ett effektivt ventilationssystem?' VVS nr 1.  
 Sandberg, M., 1984. 'Föroreningsexponeringar, luften och föroreningens åldersfördelning i ventilerade rum'. TM 279-280, 1984:4. Institutionen för uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH, Stockholm.  
 Sandberg, M., 1984. 'Basventilationssystem - samband luftfördelning - Föroreningsexponering'. VVS & Energi 4, 1984.  
 Andersson, R., Boman, C.-A., Sandberg, M., 1984. 'Indoor Climate Problems in a Kindergarten, and how they were solved'. Proceedings Indoor Air 1984, Vol. 3.  
 Mätmetodbeskrivningar:  
 Nordtest method: NT VVS 019. 'Buildings - Ventilation Air. Local mean age'.  
 Nordtest project. 366-82 Part 2. 'A proposed method for: Determination of mean-age of air in a ventilated space'.

Så definieras nyckelbegreppen  
 Här en kort repetition av de nyckelbegrepp som används i vidstående resultatpresentation.

Vi anger hur mycket ventilationsluft vi tillför genom det specifika flödet vilket vi definierar som tilluftsflödet av 'ren' luft (uteluft), q, i förhållande till den totala ventilerade volymen, V. Specifika flödet betecknar vi med n, och det beräknas som:

$$\text{Specifika flödet; } n = \frac{q}{V} \left[ \frac{\text{Antal rumsvolymen}}{h} \right] \text{ eller } \left[ \frac{m^3/h}{m^3} \right]$$

Ventilationssystemets nominella tidskonstant  $\tau_n$  definieras:

$$\tau_n = \frac{V}{q} \quad (h)$$

Den tid det i medel tar att byta ut luften i rummet är lika med två gånger luftens medelålder,  $\langle \bar{\tau} \rangle$ , i rummet. Den tid det tar att byta ut rumsluften kallar vi för luftutbytestiden och vi betecknar den med  $\bar{\tau}_r$ . Vi har alltså:

$$\text{Luftutbytestiden } \bar{\tau}_r = 2 \cdot \langle \bar{\tau} \rangle$$

Luftutbyteseffektiviteten,  $\epsilon_a$ , definierar vi som kvoten mellan den nominella tidskonstanten och utbytestiden för luften i rummet. Vi betecknar den med  $\epsilon_a$ , alltså:

$$\epsilon_a = \frac{\tau_n}{2 \langle \bar{\tau} \rangle} \times 100 = \frac{\tau_n}{\bar{\tau}_r} \times 100 \quad (\%)$$

Luftutbyteseffektiviteten är en verkningsgrad med värden mellan 0-100 %. I tabell 1 ges en sammanställning av luftutbytestiden och luftutbyteseffektiviteten vid några olika luftströmningsfall.

Medelventilationseffektivitet,  $\langle \epsilon \rangle_C$ , vid ett visst föroreningsutsläpp i rummet definierar vi som kvoten mellan koncentrationen i frånluften,  $C_e(\infty)$ , och medelkoncentrationen i rummet,  $\langle C(\infty) \rangle$ :

$$\langle \epsilon \rangle_C = \frac{C_e(\infty)}{\langle C(\infty) \rangle} \times 100 \quad (\%)$$

Detta är i överensstämmelse med den klassiska definitionen av ventilationseffektivitet som tillämpats av bl a Yaglou och Witheridge (1937) i USA samt Rydberg och Kulmar (1947) i Sverige.

När medelkoncentrationen i rummet är mindre än koncentrationen i frånluften blir ventilationseffektiviteten större än 100 %.

Tabell 1. Utbytestiden för luften i rummet vid olika luftströmningsförhållanden.

| Luftströmning                             | Utbytestiden, $\bar{\tau}_r$ , för luften i rummet | Luftutbyteseffektivitet $\epsilon_a$ |
|---|--|--------------------------------------|
| Kolvströmning                             | $\tau_n$   | 100 %                                |
| Deplacerande (tendens till kolvströmning) | $\tau_n < \bar{\tau}_r < 2\tau_n$                  | $50 < \epsilon_a < 100 \%$           |
| Fullständig omblandning                   | $\bar{\tau}_r = 2\tau_n$                           | $\epsilon_a = 50 \%$                 |
| Kortslutningsströmning                    | $\bar{\tau}_r > 2\tau_n$                           | $\epsilon_a < 50 \%$                 |

Ragnar Järmyr, AB Bahco Ventilation

Begreppet ventilationseffektivitet har fått en renässans i och med att man började skapa ventilationssystem som ger en bättre effektivitet i vistelsezonerna. Hur har vi på Bahco Ventilation använt effektivitetsbegreppet? Ja, det hela började redan 1972 med att vi introducerade deplacerande ventilation i större industrihallar.

En planerad utbyggnad av vår egen svetsverkstad började med modellförsök. En skalmodell med relevanta belysnings- och maskineffekter byggdes. Olika till- och frånluftsplaceringar testades. Spärgas (N<sub>2</sub>O) användes. Det bästa resultatet erhöles med lufttillförsel i vistelsezonen och frånluft i tak.

Ventilationseffektiviteten, så som den framgår nedan

$$\epsilon = \frac{C_e - C_s}{C_p - C_s}$$

C = PARTIKLAR  
GASER

$$\epsilon = \frac{T_e - T_s}{T_p - T_s}$$

T = TEMPERATURER

INDEX e = FRÅNLUFT  
s = TILLUFT  
p = MÄTPUNKT I RUMMET

# SÅ TILLÄMPAR VI BEGREPPEN

blev i detta fall 7 och detta bedömdes som så bra att principen användes i verkligheten. När utbyggnaden var färdig kunde jämförelse mellan modell och verklighet göras.

Men hur skulle jämförelsen ske? Skulle man fylla hela verkstadsvolymen på 60 000 m<sup>3</sup> med spärgas?

Nej, det bedömdes som helt orealistiskt, med tanke på att hus inte är gastäta, och på svårigheten att då mäta läckaget. Därför valde man istället att mäta de realistiska föroreningarna i lokalen. Alltså dem som alstras av produktionen.

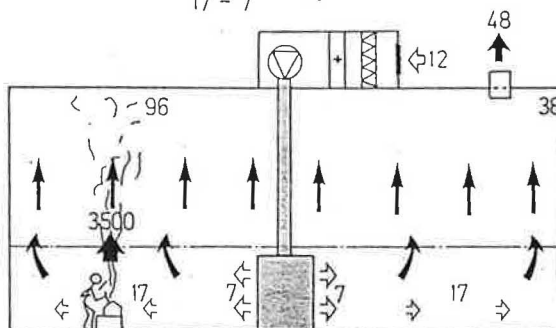
Dessa föroreningar är till största delen partikulära. Uppmätning av klimatet i verkstaden har utförts med en partikelmätare typ Sibata, där olika mätpunkter uppmäts cykliskt under ett arbetspass. Mätningen påbörjades 1,5 timme efter svetsarbetets början för att föroreningskoncentrationen skulle ha intagit ett så stationärt värde som möjligt. Koncentrationen mättes i tilluften, i frånluften, på olika ställen i taknivån och på olika platser i vistelsezonerna.

## Mycket god överensstämmelse

Effektivitetstalet för den verkliga anläggningen blev 4,1, se figur 1. Jämförs den siffran med modellförsökens  $\epsilon = 7$  och om man samtidigt beaktar att siffrorna framtagits med olika mätmetoder, kan man konstatera att överensstämmelsen är mycket god.

REL. PARTIKELKONC.

$$\text{VENT. EFF.} = \frac{48 - 7}{17 - 7} = 4,1$$



Figur 1.

Här har vi lyckats skapa en lägre föroreningsnivå i vistelsezonen i förhållande till takzonen och förbättrat ventilationseffektiviteten. Mätningar från andra svetsverkstäder verifierar resultaten:

## SVETSVERKSTAD KONCENTRATION I RUMSLUFT:

MÄTPUNKTER PÅ  
6 m ÖVER GOLV  
1,6 m ÖVER GOLV  
PÅ AVSTÅNDET  
1 RESP > 5 m FRÅN  
DONYTAN

PÅ 1 m AVSTÅND BLIR

$$\epsilon_R = 36$$

PÅ > 5 m AVSTÅND BLIR

$$\epsilon_R = 2,7$$

Här kommer vi in på praktiska problem. I detta fall var det omöjligt att mäta koncentrationen i frånluften, effektivitetstalet får här ses som en relation mellan takzonens medelkoncen-

tration och vistelsezonens medelkoncentration.

Floormaster är avsett för allmänventilation och skall användas i hela lokalen. Detta innebär att mätpunkter för medelvärdet i vistelsezonen bör förläggas utanför tilluftsdonets absoluta närfält för att man skall erhålla realistiska värden på effektivitetsbegreppet. Eftersom tilluften är mycket ren erhåller man lätt mycket höga värden på effektiviteten i närzonen av tilluftsdonen, även i övrigt smutsiga miljöer.

Hur skall man då värdera effektivitetstalet? Ja, det låter ju naturligt att det är bättre ju högre effektiviteten är, men vid mätning i vistelsezonen och i frånluften i takzonen kan en hög effektivitet innebära att frånluften har onödigt hög föroreningskoncentration på grund av dåligt fungerande punkt- och platsutsug nära föroreningskällan.

Om alla punkt- och platsutsug fungerade till 100 procent i alla lägen skulle

I följande tre artiklar diskuteras de praktiska tillämpningarna av begreppet ventilationseffektivitet, dels i ett par svenska inlägg, dels i ett från Norge.

Exemplen visar att man uppnått goda – ibland mycket goda – resultat trots att metoderna ännu befinner sig i början av sin utveckling.

kravet på allmänventilation minskar väsentligt.

Men ersättningsluft till olika utsugningar måste tillföras, och det är väsentligt hur detta sker. Tilluften får inte störa anströmningshastigheter mot olika utsug. Deplacerande ventilation med låga tilluftshastigheter ger alltså inte bara bättre ventilationseffektivitet i hela rummet utan skapar dessutom förutsättningar för bättre infångningsmöjlighet.

Samma ventilationsprincip har använts för lokaler med oljedimma. Även här har två mätnivåer i lokalen använts, en i vistelsezonen och en i takzonen.

En äldre industrilokal i mellansverige har ändrats så att tilluftspunkterna flyttats från tak till vistelsezon. Ändringen skedde först i en mindre del av lokalen. Där kunde konstateras att föroreningsnivån sjönk till en fjärdedel av nivån bland motsvarande maskinpark i den del av lokalen som var oförändrad.

Det är också en självklarhet att återluftskörning återför föroreningskoncentrationen från taknivån till vistelsezonen. Vid just detta mättillfälle kördes anläggningen med full återluft, med dåligt resultat som följd. Efter omställning till fullt uteluftsflöde erhöles betydligt lägre koncentration i vistelsezonen:

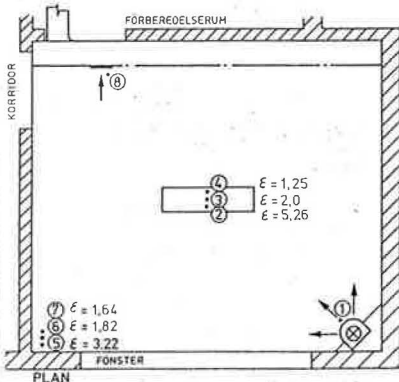
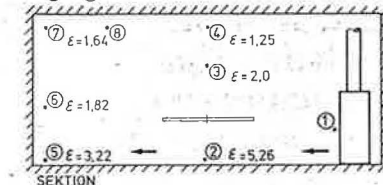
|                                       |
|---------------------------------------|
| <b>OLJEDIMMA</b>                      |
| KONCENTRATIONER I RUMSLUFT:           |
| MED RETURLUFT                         |
| 4 m ÖVER GOLV 250                     |
| μg/m <sup>3</sup>                     |
| 1 m ÖVER GOLV 220                     |
| μg/m <sup>3</sup>                     |
| $\epsilon_R = \frac{250}{220} = 1,14$ |
| MED UTELUFT                           |
| 4 m ÖVER GOLV 200                     |
| μg/m <sup>3</sup>                     |
| 1 m ÖVER GOLV 91 μg/m <sup>3</sup>    |
| $\epsilon_R = \frac{200}{91} = 2,20$  |
| EFTER FÄRDIG OMBYGGNAD                |
| $\epsilon_R = 1,75 - 4$               |

Figur 2.

OP. RUM SAL 1 Datum 84.01.19  
VENTILATIONSEFFEKTIVITET KL 10<sup>40</sup> - 11<sup>00</sup>

UNDER PÅGÅENDE OPERATION  
PARTIKELMÄTNING: STORLEKSOMRÅDE > 5 μm

• MÄTPUNKT MED NUMMER ○  
 $\epsilon = \frac{⑧ - ①}{⑤ - ①} =$

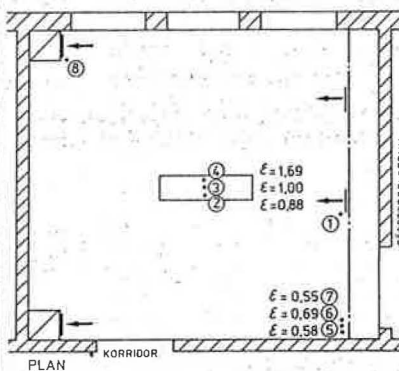
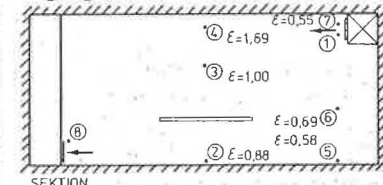


Figur 3.

OP. RUM SAL 3 Datum 84.01.19  
VENTILATIONSEFFEKTIVITET KL 10<sup>10</sup> - 10<sup>30</sup>

UNDER PÅGÅENDE OPERATION  
PARTIKELMÄTNING: STORLEKSOMRÅDE > 5 μm

• MÄTPUNKT MED NUMMER ○  
 $\epsilon = \frac{⑧ - ①}{⑤ - ①} =$



**Upplivedes positivt**

Efter justering av luftbalans och installation av värmeväxlare m m kunde det konstateras att förhållandet i vistelsezonen på enmetersnivån jämfört med fyrametersnivån låg mellan ε = 1,75 och 4,0 beroende

på var i lokalen mätningen utfördes. Helt klart ligger den över 1, alltså ger ändringen en renare vistelsezon än takzon. Personalen upplevde också installationen mycket positivt. Det finns en lång rad olika

installationer där just lufttillförsel i vistelsezonen har skapat bättre effektivitet hos ventilationssystemet. Inte bara partikulära och gasformiga föroreningar är ju att betrakta som oangeneväma eller ohälsosamma.

Alltför höga lokaltemperaturer är inte heller önskvärda i vistelsezonen om prestationsförmågan hos personalen skall kunna bibehållas.

Att skriva om temperaturmätningar till termisk effektivitet kan synas vara något krystat. De flesta människor har så bestämda erfarenheter av begreppet temperatur, att redovisning i Celsius-grader i de flesta fall är mer övertygande redovisning. Vill man av något skäl redovisa en temperatureffektivitet kan den lätt anta ganska höga värden.

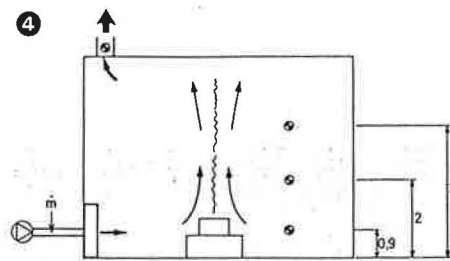
Låt oss titta på ett helt annat verksamhetsområde.

Operationsrum är lokaler som är mycket krävande från ventilationssynpunkt. Stora krav ställs på luften som tillförs rummet vad gäller renhet och bakteriehalt. För att hålla vissa givna kriterier har luftväxlingen fastställt till 17 oms/h. I alla operationsrum tillförs luften i taknivå och sugts ut i golvnivå.

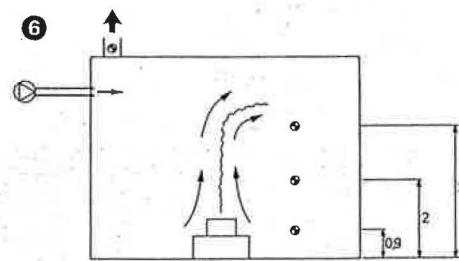
Tillförseln av luft brukar ske med perforerat undertak eller snedställda skärmar, spridare eller galler. Att blåsa in ett luftflöde motsvarande 17 oms/h i ett rum kan mycket lätt ge dragproblem. Inblåsningshastigheten måste vara låg.

Tilluften brukar alltid vara undertempererad, eftersom belysnings-, maskin- och personbelastning brukar vara höga. Största föroreningskällan i operationsrummet är personalen.

Termikströmningen runt en människa för med sig bakterier upp till taknivån. Även operationsrumslampor ger kraftiga termiska strömningar.

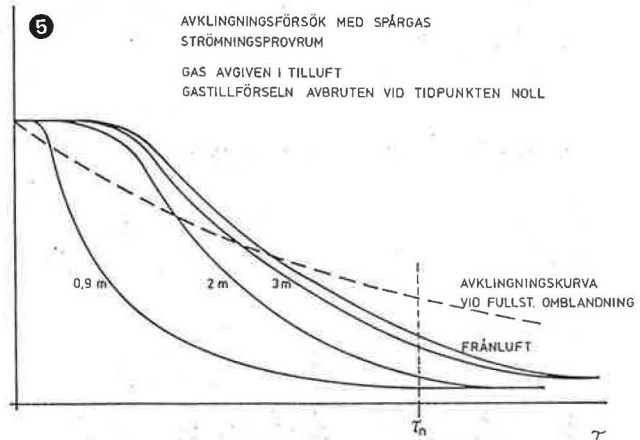


Figur 4. Floormaster, mätpunkter i strömningsprovrum.



Figur 5.

Figur 6. Omblandande system, mätpunkter i strömningsmodul.



### Vände luftriktning i operationssal

På Sahlgrenska Sjukhuset i Göteborg kom frågan upp om man inte skulle vända på luftriktningen i operationsrum och tillföra luften enligt Floormaster-principen, dvs tilluft vid golv och frånluft vid tak.

Ett första trevande försök gjordes för mer än ett år sedan. En ändring av befintligt ventilationssystem för ett operationsrum utfördes så att ett Floormaster-don monterades i ett hörn och frånluft arrangerades vid tak.

Hur effektiv var då ventilationen efter ombyggnaden? Här kommer man direkt in på hur och vad som skall mätas.

Prov utfördes dels med rök, dels med partikelräknare under pågående operationer, och givetvis utfördes även bakteriologiska mätningar under samma betingelser. Jämförande prov utfördes samtidigt i angränsande ej ombyggda operationsrum.

Meningen med att göra prov direkt i en anläggning är att få realistiska förhållanden och att direkt få reaktioner av arbetande personal. Ombyggnad och rökprov utfördes under en helg och partikelmätningar under pågående operationer.

Partikelmätningarna utfördes så att mätutrustning och mätpersonal placerades utanför operationsrummet. Slangar drogs in till en mätsond som flyttades runt till förutbestämda mätställen, i tilluft, i frånluft, i olika nivåer vid operationsbord. Temperaturen registrerades samtidigt. Operationerna varade mellan 2 och 4 timmar och mätningarna gjordes vid början, några gånger under och vid slutet av varje operation. Se figurerna 2 och 3.

Resultaten kan omräknas till statistisk ventilationseffektivitet.

Vi jämförde det omblandande (alltså tilluft vid tak och frånluft vid golv) och det deplacerande golv - taksystemet.

Den deplacerande ventilationsprincipen gav på varje mätpunkt en lokal effektivitet på mer än 1, vilket innebär att koncentrationen är lägre än i frånluften. Med det omblandande systemet blir koncentrationerna på vissa ställen högre i rummet än i frånluften, vilket ger en låg effektivitet.

Dessa första prov i operationsrum med deplacerande ventilation har senare följts upp med prov i speciellt uppbyggda operationsrum, dels på Bahco Ventilation i Enköping dels på JLLC i Jönköping. Vid dessa prov har spårgasmätningar utförts. Bakteriologiska prov fortgår alltjämt på Sahlgrenska.

Vi började med spårgasmätningar i modellförsök för svetsverkstäder, när det gäller deplacerande ventilation. Idag görs fortfarande spårgasmätningar, men modellen har bytts ut mot en fullskalemodul. Se figur 4.

I fullskalemodulen har vi tittat på effektiviteten i olika tillämpningsfall. Här kan-

Av Anders Odelros, Gavle Verken AB, Gävle:

**Gavle Verken har sedan slutet av 70-talet utvecklat produkter och system för effektiv ventilation. Till en början var det utslutande fråga om arbetsplatsorienterande ventilation där enstaka arbetsplatser försågs med ren luft.**

Arbetsplatserna utgjordes främst av platser där föroreningar av hälsovådlig art annars riskerade uppstå i andningszonen.

Efter en tid tillämpades vidare en teknik med allmän ventilation av lokalerna, där den största vikten lades på att skapa en ren vistelsezon. Denna teknik utnyttjades främst till olika industriapplikationer där tilluftsdonen kunde utgöra avskärmningar mellan olika arbetsplatser och avdelningar i lokalen, och tillförde ren sval luft direkt till vistelsezonen medan värme och föroreningar tilläts stiga mot tak.

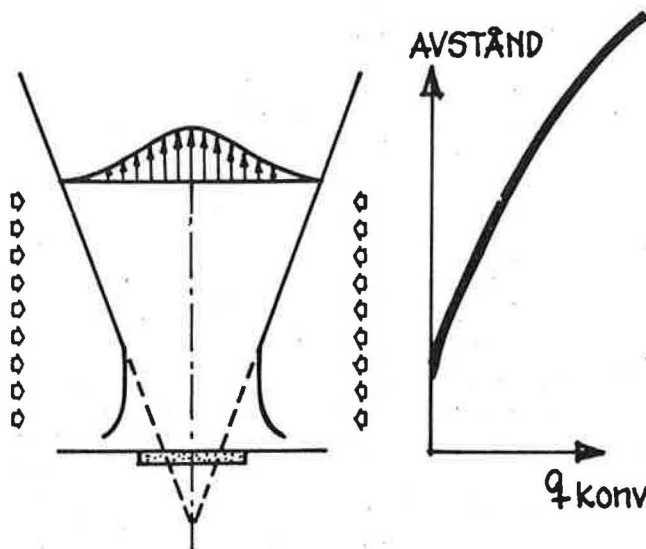
Under senare år har en liknande teknik med framgång utvecklats även för komfortanläggningar. Med ett korrekt utformat system har man även här möjlighet att skapa effektiva ventilationssystem trots de till synes låga takhöjderna.

Erfarenheterna med dessa system i praktiska tillämpningar är mycket goda och stärker oss i tron att vi måste utforma våra ventilationssystem så att de får en chans att fungera.

#### **Hur skapa effektiva ventilationssystem?**

Redan i systemvalsskedet läggs grunden till ett effektivt ventilationssystem. Konstruktören måste ges möjlighet att i ett tidigt skede få insikt i problemet och då

## SÅ ANVÄNDER VI OSS AV BEGREPPEN



*Karaktäristisk form av konvektionsström från punktkälla. Konvektionsflöde  $Q_{konv}$  ökar med avståndet från värmekällan. Konvektionsströmmen drar alltså åt sig luft från rummet.*

*En återcirkulation från takzonen mot golv av förorenad luft skulle snart uppstå om inte tilluften tillfördes vid golv.*

*Den nedre rena zonen är alltså det område där konvektionsflöde och tilluftsflöde är lika.*

kunna påverka byggnadens utformning samt även dess tänkta verksamhet så att minsta möjliga olägenhet orsakad av överskottsvärme och föroreningar uppstår i vistelsezonen.

För varje enskilt rum eller verksamhet måste vissa grundläggande frågor besvaras. Med utgångspunkt från dessa kan man enkelt bygga upp ett system som kännetecknas av hög effektivitet. Vi kommer här att beröra de viktigaste frågorna som bör ställas och kortfattat kommentera svaren.

#### **Vilken verksamhet förväntas i lokalen?**

Här fås svar på personbelastning och övriga belastningars form och storlek, var vi har vistelsezonen samt vilka krav på klimat och luftkvalitet som ställs på rummet.

Som vi tidigare nämnt skall dessa frågor besvaras i så tidigt skede som möjligt. Kanske vi redan här kan göra vår största insats, nämligen styra rumsindelningar och verksamheter vilket kan innebära att vi inte tillför så mycket luftburna föroreningar till annars rena utrymmen.



**Varför skall vi ventilera?**

Därför att vi vill: ta bort värme, tillföra värme, och ta bort föroreningar.

Att ta bort värme med luft är mycket vanligt både inom industri och komfortanläggningar: Detta lämpar sig normalt alldeles utmärkt. Den undertempererade tilluften är tung vilket innebär att den strävar mot en låg nivå i rummet. Risken för sk kortslutning är liten varför effektiviteten här ofta blir god.

Att tillföra värme via ventilationssystemet innebär däremot ofta problem både från drifts- och energisynpunkt. Den varma luftens rörelser blir svårkontrollerbara p g a stigrkraften. Tilluften når alltså sällan ner i vistelsezonen utan passerar direkt ut till frånluftssystemet. Rummet blir därmed ofta dåligt ventilerat, ventilationseffektiviteten blir låg.

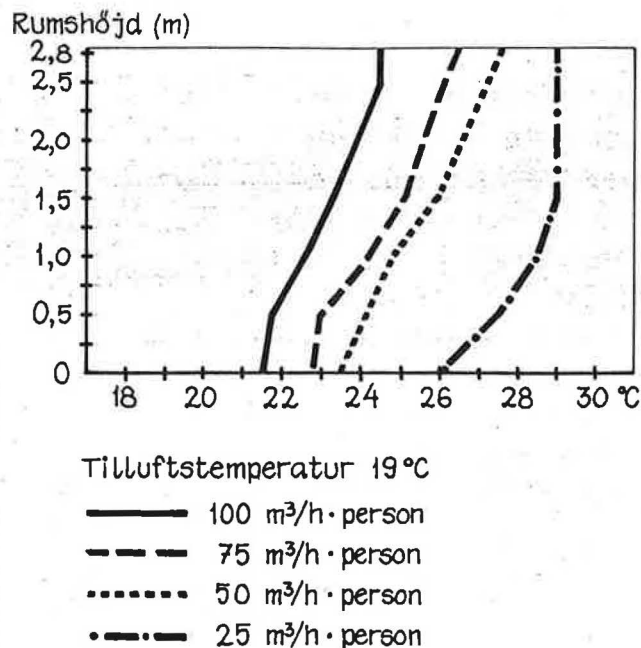
Att ta bort föroreningar som är luftburna inom rummet är den egentliga anledningen till att vi ventilerar.

Det går oftast alldeles utmärkt att ventilerar bort uppkomna luftföroreningar, frågan är bara vilken insats man gör för att erhålla önskad luftkvalitet. Ventilationseffektiviteten är ett mått på denna insats. På frågan om varför vi skall ventilera har vi således fått ett svar på om vi behöver ett värme-, kyl- eller ventilationssystem.

Låt oss komma ihåg att det är mycket svårt att erhålla ett system som är effektivt för alla dessa funktioner.

Om vi önskar att kunna klara funktionerna, värmning, kylning, ventilation, beroende på olika driftsfall, bör man således separera systemen och utforma vart och ett så effektivt som möjligt med tanke på vad dessa skall utföra.

I de frågor som härefter följer förutsätts att vi ventilerar med avseende på föroreningar. (Under vissa betingelser kan vi likna över-skottsvärme med föroreningar från ventilationssynpunkt).



**KONFERENS-RUM:**

Olika temperaturgradienter för konstant belastning och variabelt flöde.

Vid det lägsta luftflödet erhöles inte den temperaturdifferens mellan till- och frånluft man förväntat. Detta kan bero på ökad transmission ut ur rummet, värmemagasinerings, samt att värmeavgivningen från människor och belysning knappast ger varmare konvektionsströmmar.

För de övriga luftflödena är dock differensen lika i relation till luftflödet. Bortventilerad effekt är här således ca 1100 W.

**Vilka egenskaper har föroreningen?**

Här måste vi först se hur föroreningen alstras. Sker det i samband med en process (aktivitet) eller passivt? Är föroreningen varm eller kall, lätt eller tung?

Ofta kan man tro att en förorening är tung vilket den kanske även är i mättat tillstånd. I normala fall rör det sig dock om mycket små föroreningskoncentrationer (mg/m<sup>3</sup> luft).

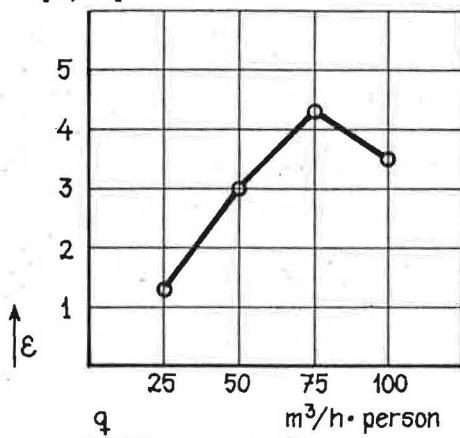
Det behövs således mycket små temperaturskillnader mellan luftlagren i rummet för att densitetskillnaden skall styras av luftens temperatur i stället för föroreningskoncentrationen. Det räcker med mycket små värmeavgivare för att ge den förorenade luften den stigrkraft som erfordras för att även en sk tung förorening skall stiga mot tak.

**Vilka luftrörelser kan förväntas i rummet?**

Luftrörelserna påverkas av en rad faktorer såsom inblåsnings-teknik, varma och kalla ytor, läckflöden och mekaniskt arbete. Vår princip som gäller för skapandet av effektiva system innebär att vi studerar de rörelser vi kan förvänta oss utan ventilationssystem. Därefter utformar vi systemet så att detta hindrar de oönskade luftrörelserna i största möjliga grad samtidigt som vi önskar ta bort föroreningarna så snabbt som möjligt från vistelsezonen.

Först när vi besvarat dessa frågor vet vi hur vi skall placera luftdonen och efter vilken teknik ventilationssystemet skall utformas för att ge bästa möjliga effektivitet. Det finns koncept för hur ventilationssystemet kan utformas för att ge en god effektivitet

[Cf/Cv]



vid olika driftsfall.

Att talsätta denna effektivitet till generella värden för olika ventilationsprinciper är med nuvarande kunskaper inom tekniken inte möjligt.

Detta beror på de många systemfaktorer som påverkar slutresultatet. Då erfarenheten säger oss att effektiviteten kan variera högst avsevärt kan vi på förhand endast bestämma om den kommer att överstiga eller understiga 1,0. I följande exempel kommer detta vidare att belysas.

### Effektivitetsmätning i konferensrum med varierande luftflöden

När detta konferensrum skulle projekteras följdes den mall vi tidigare redovisat.

*Vilken verksamhet?*

Sittande människor, stilla verksamhet, rökning.  
Vintertid +22°C,  
Sommartid +25°C.

Max antal personer: 6

Intern värmeavgivning:

Belysning: 225 W  
Personer: 510 W  
735 W

Externt värmetillskott: 500

Totalt max kylbehov: 1235 W

Värmebehov under vintertid täcktes med radiatorer.

*Varför ventilera?*

Pga föroreningsalstring från byggnadskropp, inventarier och personer. Klimatkrav under sommartid. (kyla)

*Vilka egenskaper har föroreningen?*

*Stationära effektiviteten i ett konferensrum med konstant belastning och varierande luftflöde.*

Föroreningen alstras i första hand av människor och är varmare (= lättare) än omgivande luft. Ovanstående gäller också naturligtvis den överskottsvärme som alstras i lokalen.

### Vilka luftförelser?

I vertikalled kan vi här förvänta oss konvektionsströmmar kring människorna i lokalen.

De nedåtgående konvektionsströmmar som kan förväntas vid de i vissa fall kalla fönsterytorna bromsas och stoppas av radiatorernas värmeavgivning.

I detta fall valde vi således att placera tilluftsdonen lågt och därigenom släppa tilluften med en viss undertemperatur direkt till vistelsezonen.

Luftflödet regleras via reglerdon för variabelt flöde så att effektiviteten här kunde mätas vid olika luftflöden vid samma belastning.

Målsättningen var därmed att vi skulle kunna sätta riktlinjer för hur stora luftflöden vi behöver för att optimera ett ventilationsystem för en liknande lokal. Grundförutsättningen sade oss följande:

Den ena, nedre zonen i rummet, skall vara ren medan den övre zonen innehåller förorenad luft. Avsikten är att den rena zonen skall vara lika med vistelsezonen. I sådant fall ville detta innebära en hög ventilationseffektivitet.

Då höjden på den rena zonen teoretiskt sett sammanfaller med den nivå över värmeavgivarna där tilluftsflöde och konvektionsflöde är lika stora, bestäms denna höjd av tilluftsflöde och belastning.

Vi arrangerade ett prov där människorna utgjordes av modeller liknande en människas storlek, yttemperatur och effekt. Tilluftsflödet fick variera från 150 m³/h (= 25 m³/h person) till 600 m³/h (= 100 m³/h person).

Genom att släppa spårgas vid varje människa kunde vi enkelt mäta spårgaskoncentrationen i vistelsezon respektive frånluftsdon. Eftersom koncentrationen i tilluft, C<sub>t</sub> här är noll blir alltså effektiviteten förhållandet mellan C<sub>f</sub> och C<sub>v</sub>.

## Exempel på tillämpningar

**Gavle Verken har erfarenhet även från andra typer av byggnader, där man arbetar med begreppet ventilationseffektivitet, exempelvis djurstallar och industrilokaler.**

### LOKAL MED HÖG DAMMHÅLT, TEX DJURSTALL

Konstant tilluftsflöde, som motsvarar konvektionsflödet kring djuren upp genom gränsskiktet.

Återluft tas via grund och finfilter, så att rätt temperatur erhålles i rummet. Frånluften hämtas högt. Frånluftsflödet styrs i sekvens med blandningsdel för tilluft.

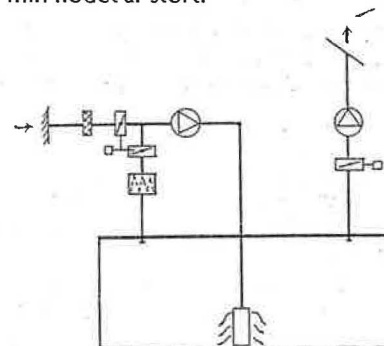
Min. uteluftsflöde dimensioneras efter den fuktighet och ammoniakhalt som kan accepteras i lokalen.

Eftersom dammalstringen är så stor blir uteluftsflödet mycket litet i förhållande till lokala flödet vintertid.

Sommartid är återluftsmängden mycket liten.

I liknande byggnader finns normalt ej behov av tillskottsvärme för tilluft eller lokaluppvärmning.

I vissa lokaler kan dock värmeåtervinning värderas vilket gäller främst då min flödet är stort.



### INDUSTRILOKAL MED "SMUTSIG" PRODUKTION, T EX SVETSNING

Tilluften tillförs med konstant temperatur. Uppvärmning via aerotemperar med horisontell luftriktning eller strålningsvärmare via tak. Tilluftsdonen placeras lågt och tillför luften direkt till vistelsezonen. Frånluften hämtas vid tak. Genom att separera uppvärmnings- och ventilationssystemen kan tilluftsaggregatets storlek och drifttid optimeras.

### INDUSTRILOKAL MED STORA VÄRMEÖVERSKOTT OCH "REN" PRODUKTION

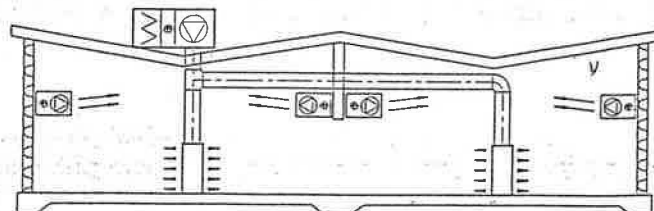
Tilluftsdonen placeras i vistelsezonen. Frånluftsdonen placeras vid tak. Under vintertid minskas uteluftsflödet med avseende på temperaturen i vistelsezonen. Om aggregatet kan utformas för återluft kan värmebatteri ofta uteslutas. Om värmebehov kan förväntas under vintertid kan nedåtriktade fläktluftvärmare installeras högt i lokalen. Dessa kan startas via rumsgivare i vistelsezonen. En temperaturgivare vid fläktluftvärmaren stoppar dock energitillförseln till värmebatteriet i det fall att temperaturen i den övre varmare zonen överstiger vistelsezonens temperatur med t ex 5°C.

### KONTORSBYGGNAD MED RELATIVT SMÅ KYLLASTER

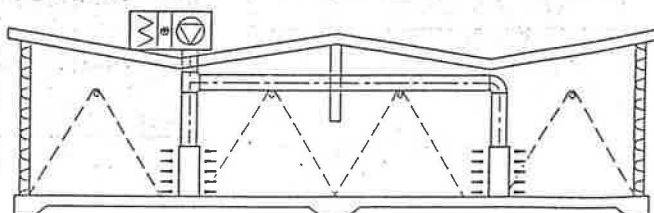
Tilluften tillförs med konstant temperatur, gärna svagt utekompenserad till ca + 20°C under vintertid och + 18°C sommartid. Uppvärmning via radiatorer under fönster. I lokaler med mycket varierande ventilationsbehov kan variabelt flöde nyttjas. Tilluftsdonen placeras lågt, gärna i mellanvägg mot korridor. Frånluftsdonen placeras så högt som möjligt. På att behovet av undertemperatur i detta system är litet kan utetemperaturen nyttjas för kylning under stor del av året.

### KONTORSBYGGNADER MED STORA KYLLASTER

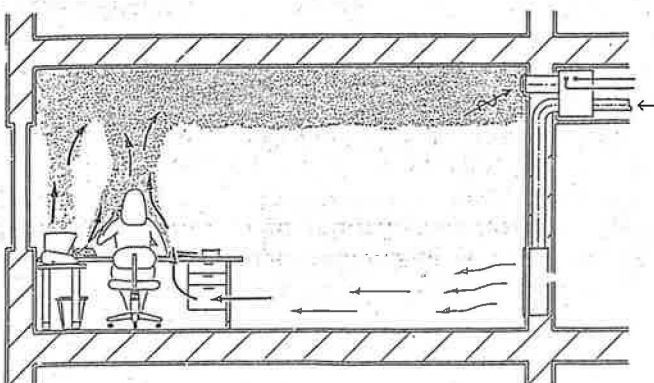
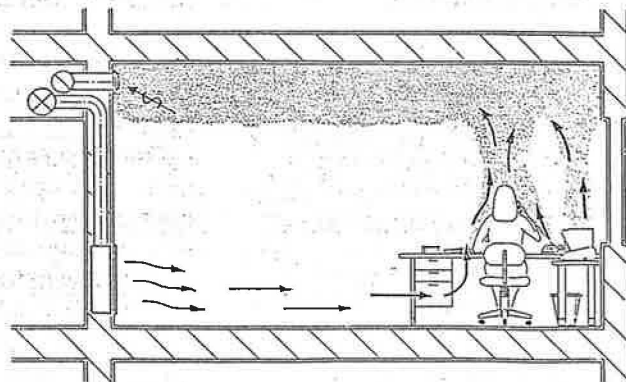
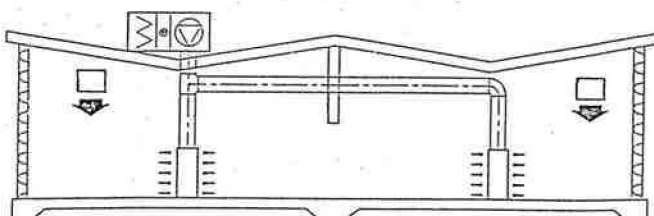
Tilluften tillförs med konstant tilluftstemperatur eller svagt utekompenserad. Ett system byggs upp med till-, och frånluft samt köldbärarsystem (vatten). Genom att bära fram kylan med hjälp av kylvatten kan tilluftsflödet hållas på en låg nivå som motsvarar ventilationsbehovet. Fan-coil installeras i korridor för varje rum där kylbehovet förväntas bli stort. Fan-coil ansluts på trycksidan till ett tilluftsdon som tillför en blandning av cirkulerande kylrumsluft och det uteluftsflöde som erfordras från hygien-synpunkt. Resultatet blir här ett system med individuell reglering av temperatur. Naturligtvis kan man tänka sig att detta ingår som en liten del av det tidigare redovisade systemet med fullflöde. Systemet går utmärkt att kombinera med kyltak då samma köldbärartemperaturer med fördel kan användas, (15-17°C) och har på dess höga framledningstemperatur stora möjligheter till skrikylning.



Uppvärmning med aerotemperar med horisontell luftriktning, vilka placeras ca 1 m ovan vistelsezonen.



Uppvärmning via strålningsvärmare. Den projekterade ytan från strålningsvärmarna skall täcka hela golvytan.



I Norge blir deplacerende ventilasjon ofte omtalt med den meget uklare betegnelsen "DIFF" eller diffus ventilasjon. Vi har i de seneste 10-15 årene hatt meget gode erfaringer med å bruke deplacerende ventilasjon med diffus lufttilførsel i industrisammenheng.



Av Siviling. Håkon Skistad,  
Norsk VVS-teknisk forening

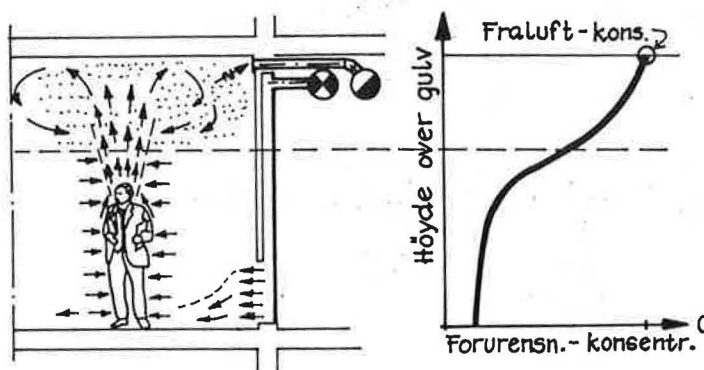
For 2-3 år siden begynte vi å utvikle disse prinsippene for komforttillempninger, og det er nå mer enn 100 anlegninger som er i drift i Norge hvor vi anvender deplacerende ventilasjon i restauranter, møtelokaler, kontorer m.m. Men deplacerende ventilasjon er IKKE svaret på alle ventilasjonsproblemer.

Min innfallspport til effektiv ventilasjon har vært smelteverksindustrien, hvor det ikke var tilstrekkelig å benytte omblående ventilasjon. Målet var først og fremst å gi tilstrekkelig god luftkvalitet i vistelsesonene, men også temperaturkontroll.

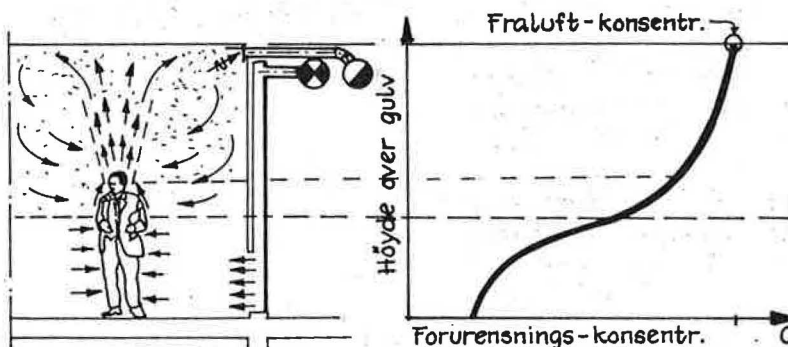
Løsningen var å arbeide med luftstrømningsmønstre i rom, og samarbeide med naturkreftene.

Det finnes ikke ett enkelt ventilasjonssystem eller -prinsipp som er effektivt til alle anvendelser, og man kan ikke dele det opp

# DEPLACERENDE VENTILASJON



Figur 1. Innlagring av forurensninger fra en enkelt person i et rom med fortrengningsventilasjon.



Figur 2. For små luftmengder gir lavere innlagingshøyde for forurensningene, men luftkvaliteten i hodehøyde er fortsatt bedre enn med omrøringsventilasjon og den samme luftmengden.

i ett prinsipp som er mest effektivt for industritillempninger og ett prinsipp som er mest effektivt for komfortventilasjon. Man må hele tiden ta utgangspunkt i hvorfor man ventilerer. Man må spørre seg selv: "Hva er problemet?" og "Hva vil vi oppnå?"

## Hvorfor ventilerer vi?

Det er vanligvis en eller fler av de følgende funksjonene vi ønsker å dekke med klimaanleggene: Oppvarming, kjøling, luftkvalitet.

Oftest ønsker vi at ventilasjonsanlegget ikke bare skal fylle en av disse oppgavene, men sørge for t.eks. både kjøling og luftkvalitet. Det er min erfaring at man oppnår det beste resultatet om man forsøker å separere de ulike funksjonene i ulike anlegg, dvs. ventilasjon til å gi luftkvalitet, varmeanlegg (strålevarme, konvektorer el. annet) til å gi oppvarming.

Om man skal anvende luften både til å gi luftkvalitet og opp-

varming, så må man gå inn på kompromisser som forringer hver enkelt funksjon. Når det gjelder kjøling, oppnår man også det beste komfortmessige resultatet om man kan skille kjølefunksjonen ut i et eget kjøleinstallasjon, t.eks. kjøletak.

Hva er effektiv ventilasjon? Vi må først spørre: Effektiv til hva? Effektiv til oppvarming? Effektiv kjøling? Eller effektiv utnyttelse av luften for god luftkvalitet?

**Effektiv deplacerende ventilasjon med termisk lagdeling**

**Grunnleggende prinsipp.** I figur 1 ser vi en person som står i et rom med deplacerende ventilasjon. Fordi han er varmere enn omgivelsene stiger det en konveksjonsstrøm opp fra ham.

Denne konveksjonsstrømmen bærer med seg forurensningene fra personen. Konveksjonsstrømmen trekker med seg luft fra omgivelsene slik som vist i figur 1. Hvis vi tilfører luften med lav hastighet nede ved gulvet, vil friskluften mate konveksjonsstrømmen opp til den høyden hvor luftflødet i konveksjonsstrømmen er like stort som friskluftflødet.

Over denne høyden vil mate-luften til konveksjonsstrømmen tas som returluft fra luftvolumet oppe under taket.

Fraluftåpningen plasseres oppe under taket, slik at den mest forurensete luften trekkes ut fra rommet.

**Fordeling av forurensninger**

Når luftflødet er tilpasset konveksjonsstrømmene i rommet vil vi få en konsentrasjonsfordeling som vist til høyre på figur 1. Oppe under taket er luften mest forurenset, konsentrasjonen her er like stor som den ville vært overalt i rommet med oblandende ventilasjon og ellers like forhold.

Dersom tilluftflødet ikke er tilstrekkelig til å mate konveksjonsstrømmen opp til hodehøyde, kan vi få et strømningsmønster som vist på figur 2. Laget

**''Hvordan oppnår vi effektiv ventilasjon og hvordan anvender vi begrepet ventilasjonseffektivitet?''**

hvor luften er renest rekker nå ikke opp til åndingssonen for en stående person.

Men legg merke til at luften som personen puster inn allikevel er renere enn hva den ville vært om vi hadde brukt oblandende ventilasjon og ellers like forhold.

**Temperaturfordeling i rommet**

I figur 3 er det skissert en typisk temperaturfordeling i et kontorlokale med deplacerende ventilasjon. Temperaturen stiger noen-

lunde lineært fra gulv til tak. Vi får vanligvis ikke den lagdelingen i temperatur som vi får i forurensning. Lufttemperaturen ved gulvet blir høyere enn tillufttemperaturen.

Tilluftdonets ytelser er av stor betydning. Fordi tillufttemperaturen i de fleste tilfeller er lavere enn lufttemperaturen i oppholdssonen, vil luften falle ned mot gulvet når den strømmer inn i rommet. (Når man visualiserer dette med røk ser det ut som et vattenfall).

Derved kan det lett oppstå dragproblemer ved gulvet i en sone nær donet. Disse dragproblemene kan unngås dersom man bruker et riktig tilluftdon og dimensjonerer i henhold til donets dokumenterte ytelser.

**Hva sier de ulike begrepene for ventilasjonseffektivitet?**

Hvilken nytte har vi av de ulike definisjonene når vi skal vurdere hva som er effektiv ventilasjon? Vi forsøker å bruke følgende begreper på eksemplene ovenfor:

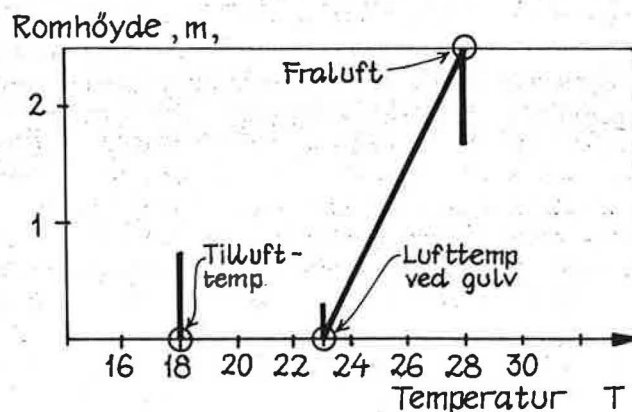
Stasjonær effektivitet, lokalt ventilasjonsindeks

Luftbyttes-effektivitet

**Forskrifter**

Spesifikasjonsforskrifter har vist seg lite anvendbare. (Med spesifikasjonsforskrifter mener jeg spesifisering av hvilken måte lokalet skal klimatiseres på, t.eks. luftvekslingstall eller luftfløde pr. m<sup>2</sup> golvareal.

Figur 3. Diagram for temperaturfordelingen i et rom med diffus lufttilførsel



Funktionsföreskrifter er det man må ha som utgangspunkt når man skal konstruere et effektivt ventilasjonssystem. (Med funksjonsföreskrifter mener jeg angivelse av miljøkrav, dvs. krav til klimaanleggets funksjon).

**Konklusjon**

Målet med ventilasjonen er i første rekke å skape god luftkvalitet. Målet er ikke luftutskiftingen i seg selv.

Det finnes ikke noe prinsipp eller system som er mest effektivt for alle anvendelser.

Deplacerende ventilasjon har ofte store fordeler når man skal oppnå god luftkvalitet, men deplacerende ventilasjon gir ikke svaret på alle problemer.

Funktionsföreskrifter (spesifiser klimaet, ikke midlene for å oppnå klimaet).

Pr. dags dato finner jeg at begrepet "Stasjonær ventilasjons-effektivitet" (eller Lokal ventilasjonsindeks) er det mest hensiktsmessige når ventilasjonssystemer skal bedømmes mht. luftkvalitet.

Når man skal måle den stasjonære ventilasjons-effektiviteten i praksis må man se til at man har

en stasjonær driftssituasjon. I industri med kontinuerlig løpende prosesser er dette som oftest ivarettatt. I enkelte tilfeller kan dette kreve lange måleperioder.

Begrepene luftutbyttes-effektivitet og luftvekslingstall fører oppmerksomheten bort fra målene for ventilasjonsoppgaven (luftkvalitet), og over til midlene (luftutveksling). Begreppet luftutbyttes-effektivitet bør etter min mening videreutvikles til noe i retning av effektivitet mht. akkumulering av forurensninger, og slutt-sifferet må få en annen form som gir større skilnad mellom dårlige og gode løsninger. ■■

**DE NYA BEGREPPEN INOM ALLMÄNVENTILATION - KOMMER SOM VVS-PUBLIKATION**

De delvis helt nye begrepp for främst allmänventilationens funktion vid olika driftsförhållanden som Nordiska ventilationsgruppen (NVC) har föreslagit samlas i en separat informationskrift som kommer att kunna beställas

hos VVS-Tekniska Föreningen, Hantverkargatan 8, 112 21 Stockholm, tel 08-54 08 30. Skriften är baserad på en uppsats av Mats Sandberg, SIB och Eimund Skåret, NTH.

De aktuella begreppen är i första hand:

○ *luftutbyteseffektiviteten*; anger hur snabbt luften i rummet byts ut i förhållande till den teoretiskt kortaste luftutbytestiden.

○ *luftens lokala medelålder*; är den tid det tar för luften att komma från tilluftsdonet fram till området det är fråga om.

○ *ventilationseffektiviteten*; anger medelkoncentrationen i hela rummet i förhållande till koncentrationen i frånluften (står i överensstämmelse med den klassiska definitionen).

○ *ventilationsindex*; anger den lokala koncentrationen i förhållande till koncentrationen i frånluften. Indexet definieras som kvoten mellan koncentrationen i frånluften och i den aktuella punkten. ■■

**43 SÅ ANVÄNDER VI OSS AV BEGREPPEN**

man variera luftflöden, ändra till- och frånluftpunkternas lägen, variera belastningen, flytta belastningen, använda punktut-sug osv. Variationsmöjligheterna tycks vara obegränsade. Rummet är tätat för spårgasmätningar.

**Mycket god effektivitet**

Vi kan nu titta på ett exempel. Rummet är möblerat med en maskin som ger en termisk luftström upp mot tak, den kanske vanligaste applikationen som vi möter ute i en arbetslokal. Luft tillförs rummet från ett Floor-master-don till vänster och samma luftflöde sugs bort i

taknivå ovanför tilluftsdonet. Se figur 4.

Spårgas avges kontinuerligt i tilluften så att man uppnår en statisk koncentration i alla mätpunkter. Gastillförseln avbryts och tiden sätts då till noll. Avklingningen för de olika mätpunkterna får ett utseende som framgår av figur 5 där den vänstra nedersta kurvan utgör mätvärdet i vistelsezonen och den översta kurvan representerar frånluften.

Samma prov kan också köras med ett omblandande tilluftssystem, som i figur 6.

Avklingningskurvorna får då ett utseende som stämmer överens med ventilationsekvationen för fullstän-

dig omblandning som också framgår av figur 5.

Lägger man samman kurvorna, se figur 5, för de båda principerna så kan man konstatera att avklingningen sker snabbt i vistelsezonen och att avklingningen startar långsammare i takzonen vid den deplacerande ventilatonen. Man åstadkommer en mycket god effektivitet i vistelsezonen. Men eftersom luftflödet genom rummet passerar två zoner och först så att säga renas vistelsezonen mycket snabbt, och därefter takzonen, sker avklingningen även i takzonen efter en avklingningskurva som kan beräknas på bara takzonens volym. Därigenom töms

även takzonen snabbare på sin förorening än om man blandar om föroreningen i hela lokalvolymen.

Detta är bara ett försök som visar på skillnader i systemval och där dessa skillnader kan redovisas i diagramform eller effektivitetstal.

Variationsmöjligheter på till- och frånluftssida kan värderas och ställas i relation till effektiviteten, antingen som ventilationseffektivitet eller som luftutbyteseffektivitet.

Att sedan omsätta dessa effektivitetstal till verkliga anläggningar och dra riktiga slutsatser med hänsyn till alla störningar och praktiska konsekvenser kräver sunt förnuft och gott omdöme. ■■