



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

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



Rapport

R67:1983

# Behovsstyrd ventilation

Pilotstudie där ventilationen styrs av  
koldioxidhalten i inomhusluften

David Södergren  
Antero Puntila

K  
Ante

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	Plac ser

Byggeforskningsrådet

R67:1983

BEHOVSSTYRD VENTILATION

Pilotstudie där ventilationen styrts av  
koldioxidhalten i inomhusluften

David Södergren  
Antero Puntila

Denna rapport hänförs till forsknings-  
anslag 801037-0 från Statens råd för bygg-  
nadsforskning till Paul Petersson AB, Stockholm

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

R67:1983

ISBN 91-540-3947-9  
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm  
LiberTryck Stockholm 1983

## FÖRORD

Ett utvidgat samarbete för forskning och utveckling inom byggnads- och installationssektorn rekommenderades av Handels- och Industridepartementet i Helsingfors och Byggforskningsrådet i Stockholm vid ett möte i Helsingfors i oktober 1979.

Några månader därefter framförde Vidar Westerholm, EKONO, Helsingfors förslaget att styra ventilationen med CO<sub>2</sub>-kontroll och studera funktion och lönsamhet i en prövanläggning. Via EKONO:s filial i Seattle, USA kunde den speciella reglerutrustning som erfordras anskaffas och som lämplig lokal valdes EKONO:s nya kontorsbyggnad i Otnäs utanför Helsingfors.

I den arbets- och referensgrupp som tillsattes för projektet har från Helsingfors deltagit:

Vidar Westerholm	EKONO
Antero Punttila	"
Leena Kuusela	"

och från Stockholm

	Gruppen Luftteknik inom
Bo Göstring	Sveriges Mekanförbund
Thomas Lindvall	Statens Miljötekn. lab.
Jan Sundell	Arbetskyddsstyrelsen
Leif Tegman	Statens Planverk

Forskningssekreterare från BFR har varit  
Nina Dawidowicz.

Jag vill tacka alla dessa medarbetare för ett utomordentligt fint och stimulerande samarbete som jag anser har bidragit till ett bra forskningsresultat.

Stockholm i juli 1982

David Södergren

## INNEHÅLL

1	INLEDNING .....	6
2	KVALITETSKRAV PÅ INOMHUSLUFT .....	7
3	PROV MED BEHOVSSTYRD VENTILATION ...	10
3.1	Provanläggning .....	10
3.2	Mätningar av inneluftskvalitet .....	11
3.3	Resultat .....	13
4	KONTROLL AV LUFTKVALITETEN MED GASKROMATOGRAF .....	21
5	ENERGIBESPARING .....	23
6	KOMPONENT- OCH SYSTEMUTVECKLING .....	24
7	DISKUSSION .....	25

## BILAGOR

## LITTERATUR

## SAMANFATTNING

Stora besparingar i anläggningskostnader och driftkostnader skulle kunna uppnås om ventilationen anpassades till det för tillfället rådande behovet - ventilation av tomma rum är ett ofta förekommande slöseri.

Bland de möjligheter som finns för att indikera personbelastningen och därmed ventilationsbehovet är koldioxidmätning för närvarande en av de mest lovande.

Projektet omfattar ett prov med utrustning för CO<sub>2</sub>-styrning av uteluftsflödet i en befintlig kontorsbyggnad.

Samtidigt som luftflödet genom byggnaden reglerats så att en förutbestämd CO<sub>2</sub>-nivå hållits, har förekomsten av andra föroreningar kontrollerats. Vidare har lokala koncentrationer av CO<sub>2</sub>-halten registrerats. Inga oroväckande koncentrationer har uppmärksammats i något avseende.

Personalen har tillfrågats om deras uppfattning av inneklimatet vid normala förhållanden och under CO<sub>2</sub>-styrda luftflödesförhållanden. Någon signifikant skillnad har ej kunnat iakttagas.

Provet har visat att metoden fungerar tillfredsställande. Utrustningen är inte dyrare än att energibesparingen betalar investeringen på något år - avskrivningstiden bestäms givetvis av den aktuella anläggens utförande.

Utvecklingsbehovet för komponenter och system har analyserats. Ur ventilationsbranschens synpunkt anses principen kunna införas med dagens komponentutbud förutsatt att styrsystemet är driftsäkert.

## 1 INLEDNING

Om ventilationen kunde styras så att luftflödet hela tiden anpassades till det för tillfället rådande behovet skulle stora besparingar och komfortförbättringar kunna åstadkommas. Hittills har variationer i luftflöden huvudsakligen styrts av klockor som programmerats enligt förväntade behov. Ofta har dessutom temperaturen eller värmeutvecklingen fått vara styrande för uteluftsmängden.

Ett första villkor för att behovsanpassade ventilationssystem skall kunna utvecklas är att finna en metod att mäta luftkvaliteten.

Den väsentligaste faktorn för fastställande av ventilationsbehovet är antalet personer som vistas i byggnaden och deras aktivitet. Flera principer för registrering av personbelastningen finns men en av de mest intressanta för närvarande är koldioxidmätning.

I detta projekt har en koldioxidmätare installerats i en befintlig kontorsbyggnad och koldioxidhalten i frånluften har fått styra uteluftsmängden så att  $\text{CO}_2$ -halten hållits konstant. Syftet har varit att se hur utrustningen fungerar samt att studera andra effekter av luftflödesregleringen exempelvis hur  $\text{CO}_2$ -halten kan variera lokalt, hur andra föroreningar i luften varierar, vilken energibesparing som kan erhållas etc.

Projektet har begränsats till undersökning av förhållandena i en kontorsbyggnad med återluftssystem och med luft som bärare av värme för temperaturhållning i huset. Byggnaden ligger i Helsingfors och är hemvist för konsultföretaget EKONO. Personal från EKONO har utfört den stora delen av mätningsarbetet och projektet har därmed blivit ett exempel på värdefullt FoU-samarbete mellan Finland och Sverige inom byggsektorn.

Arbeten som berör samma område har rapporterats från Japan och USA. Ännu förekommer inte så många publikationer. Ett preprint från Engineering Research Institute, Iowa State University, USA kan dock nämnas. Det är sammanställt av James E. Woods m fl och har titeln Subjective and Objective Evaluation of a  $\text{CO}_2$ -Controlled Variable Ventilation System. Sammandraget är gjort för ASHRAE:s konferens i Houston, Texas, Januari 1982 och beskriver hur en anläggning för  $\text{CO}_2$ -styrning av ventilationen i en flygel av en skola fungerar. Resultatet antyder att avsevärd energibesparing kan erhållas utan subjektiva besvär.



I Kongl Svenska Vetenskapsacademiens Handlingar år 1757 skrev Pehr Wargentín angående behovet av ventilation följande:

"De Naturkunnige hafva genom ostridiga rön bevist, at intet djur kan lefva, ja ingen ört växa, utan luft. At de ock icke länge trifvas, utan omväxling av luft, och at människan i synnerhet stundeligen behöfver ny och frisk luft, är lika otvivelaktigt: ty såsom eld ej länge kan brinna uti et täpt rum, utan slocknar, så snart han förtärt den tilgång af luft han funnit, eller så snart man röfvat ifrån honom de particlar eller de egenskaper, som gifva elden lif, så kan ock icke människan länge uthärda utan väder-växling."

Luftkvaliteten inomhus är en funktion av alstringen av föroreningar inomhus och den tillförda uteluftens mängd och kvalitet. Vi tillbringar mer än 4/5 av vår tid inomhus; för de allra flesta av oss i bostäder, kontor och liknande lokaler. Det medför att i ett samlat miljöperspektiv får luftkvaliteten i icke-industriella lokaler stor betydelse.

Hygieniska gränsvärden för arbetsplatser kan ej direkt användas vid värdering av luftkvaliteten i icke-industriella sammanhang. I jämförelse med industrilokaler är den utsatta gruppen en annan (med avseende på ålder, hälsa m m), exponeringstiden är ofta längre och exponeringsmönstret är mer komplext. Trots det stora behovet för särskilda gränsvärden för icke-industriella inomhusmiljöer finns endast ett fåtal sådana framtagna. Nya material, ny teknik, ändrade subjektiva preferenser och beteenden är några av de faktorer som måste beaktas i detta sammanhang.

Kvalitetskrav på inomhusluft i icke-industriella lokaler är nästan alltid uttryckta som krav på bestämda uteluftflöden och ej uttryckta som maximalt tillåtna koncentrationer av olika ämnen. Denna enkla kravfilosofi, baserad på decenniernas praktiska erfarenhet, förutsätter att luftföroreningsavgivningen inte har tilltagit, att uteluftens kvalitet inte har försämrats och att de marginaler som tidigare tillämpade uteluftflöden givit, inte minskats. Utvecklingen har dock i själva verket varit en annan; mängder av nya byggnadsmaterial har tillkommit samtidigt som effektiv produktkontroll saknats och energikostnaderna tvingat fram lägre uteluftflöden. I dagens situation står vi inför ett val: antingen måste säkerhetsmarginalerna ökas genom större uteluftflöden, produktkontroll etc, eller måste de ökas genom ett effektivare utnyttjande av de låga uteluftflöden vi nu har. Behovsstyrd ventilation skulle kunna vara ett sätt.

Till de föroreningar som utvecklas inomhus hör lukt och koldioxid från människor och djur, tobaksrök, förbränningsprodukter som kväveoxider och koloxid,

formaldehyd, kolväten och partiklar (Södergren et al. 1981). Joniserande strålning från radon och radondöttrar är ett problem i vissa byggnader. Andra problem är damm kvalster och mögelsporer vilka kan ge upphov till allergiska reaktioner. Det är mycket sannolikt att hälsoriskerna är förknippade inte bara med de enskilda föroreningarna i sig utan fastmer med samverkan mellan olika ämnen och andra klimatfaktorer.

Energimässigt har den relativa betydelsen av ventilationen ökat som en följd av att byggnaderna i dag är väl tätade och isolerade. Behovsstyrd ventilation är ett sätt att angripa ventilationsförlusterna och därigenom hålla byggnadernas energiförbrukning låg utan att därför försämra luftkvaliteten. Behovsstyrd ventilation förutsätter emellertid att en rad kritiska aspekter beaktas, varav några är biologiska (Berglund, Johansson, Lindvall 1982). För det första måste de styrvariabler som används vara biologiskt baserade. Förutom föroreningar från personer måste även beaktas föroreningar från byggnadsmaterial, aktiviteter och uteluft. För det andra måste placeringen av de sensorer som känner av styrvariabeln väljas så att en acceptabel luftkvalitet garanteras för alla befolkade delar av byggnaden.

Förutsatt att föroreningsalstringen från byggnaden i sig, från inventarier och från processer är låg, blir luktkriteriet bestämmande för ventilationsbehovet. Redan för över 100 år sedan visade Max von Pettenkofer på sambandet mellan kroppslukt,  $\text{CO}_2$ -koncentrationen och personbelastning i ett rum. Som en approximativ övre gräns för acceptabel luftkvalitet föreslog han en nivå av 1500 ppm  $\text{CO}_2$ . Över den gränsen menade han att luftintensiteten blev besvärande.

Yaglou et al (1936) visade på ett något mer komplicerat samband mellan lukt och människor, uteluftflöde och rumsvolym per person. De samband som påvisats är fortfarande i stort sett styrande för de krav på ventilation som anges i byggnadsbestämmelser i stora delar av världen, (se fig 3.3). Nyligen har hävdats att sambandet mellan lukt från personer och uteluftsflöden inte alls beror på rumsvolymer per person (Cain et al 1981; Madsen 1982). Som en acceptabel luftkvalitet med avseende på kroppslukt föreslog Cain et al ett uteluftsflöde av 4 l/s p. Detta flöde ger i jämvikt en  $\text{CO}_2$ -nivå som i stort sett överensstämmer med vad von Pettenkofer föreslog, d v s 1500 ppm, under förutsättning att personerna bifinner sig i vila. Berlund och Lindvall (1978) föreslog emellertid ett lägre gränsvärde, 700 ppm. Över den nivån visades att lukten av personer dominerade över den bakgrundslukt som fanns i lokalerna.

Vid sidan av betydelsen av  $\text{CO}_2$  som indikator på kroppslukt, kan  $\text{CO}_2$  i sig ha negativa effekter på hälsan vid höga koncentrationer. Gränsvärdet för arbetslokaler är i Sverige i dag 5000 ppm. För icke industri-

ella inomhusmiljöer har ASHRAE (1981) i sin nya ventilationsstandard ett gränsvärde av 2500 ppm. Detta motsvarar i jämvikt med en metabolism av ca 120 W ett uteluftsbehov av ca 2,5 l/s p. Till skillnad från detta har NKB (Nordiska kommittén för Byggnadsbestämmelser 1982) i riktlinjer för byggnadsbestämmelser rörande luftkvalitet angivit ett krav på lägsta uteluftsflöde av 4 l/s p. NKB-riktlinjerna har utgått från en antagen aktivitetsnivå hos personerna i byggnaden, det hygieniska gränsvärdet för CO<sub>2</sub> på arbetsplatser samt en säkerhetsfaktor (3 för kontor, 5 för bostäder). Enligt NKB:s arbetsgrupp, skall detta flöde betraktas som ett definitivt minivärde som rekommenderas enbart på grund av det nuvarande starka behovet av att spara energi.

Det förefaller lämpligt att i CO<sub>2</sub>-kontrollerade ventilationssystem, inte sätta gränsen högre än de CO<sub>2</sub>-halter som normalt erhålls i konventionellt ventilerade byggnader. I Skandinavien är typiska CO<sub>2</sub>-nivåer i kontorshus som högst ca 800 ppm (Berglund, Johansson och Lindvall 1982; Seppinen 1981). I nuvarande undersökning har valts ett börvärde av 700 ppm.

I en kontorsbyggnad studerad av Berglund, Johansson och Lindvall (1982) varierade CO<sub>2</sub>-koncentrationen med personbelastningen på ett väntat sätt medan däremot andra ämnen kunde visa ett annat mönster. Vid t ex ändringar av återluftsgraden ökade halterna av CO<sub>2</sub> och C<sub>9</sub>-alkaner med ökad återluftsgrad, medan NO<sub>x</sub> minskade och mönstret för andra organiska föreningar och CO låg mitt emellan. Undersökningen visar att även andra ämnen än CO<sub>2</sub> kan behöva beaktas vid behovsstyrd ventilation.

### 3 PROV MED BEHOVSSTYRD VENTILATION

#### 3.1 Provanläggning

Mätningarna har gjorts i den nyaste delen av EKONO:s kontorsbyggnad i en av förörterna till Helsingfors. Den togs i bruk i slutet av 1979. Kontoret har en bruttoyta som uppgår till 4 700 m<sup>2</sup> och den totala volymen beräknas till 14 800 m<sup>3</sup>. Anläggningen har ett datorsystem med mikroprocessor som kontrollerar uppvärmning och ventilation och möjliggör genomförandet av ett flertal olika undersökningar.

##### 3.1.1 Systemet för uppvärmning och ventilation

Ventilationssystemet fungerar normalt mellan kl 8.00 och 17.00 med full fläkthastighet och sedan med halv hastighet till kl 20.00. Ventilationssystemet utnyttjas för att fördela värmen i huset - inga radiatorer förekommer - och under uppvärmningssäsongen startar fläktarna på morgonen enligt ett förutbestämt program, som beräknar tidpunkten för påbörjande av föruppvärmning.

Personalbelastningen i byggnaden uppgår till 180 och lufttillförseln beräknas till 7,3 m<sup>3</sup>/s, vilket innebär ca 2.5 växling av den totala luftmängden per timme. Ventilationsflödet för ett kontor, där en person vistas, är 32 l/s och 2 personer 48 l/s. Luften tillförs genom ihåliga byggnadsblock och sugas ut genom frånluftsfönster enligt fig. 3:1.

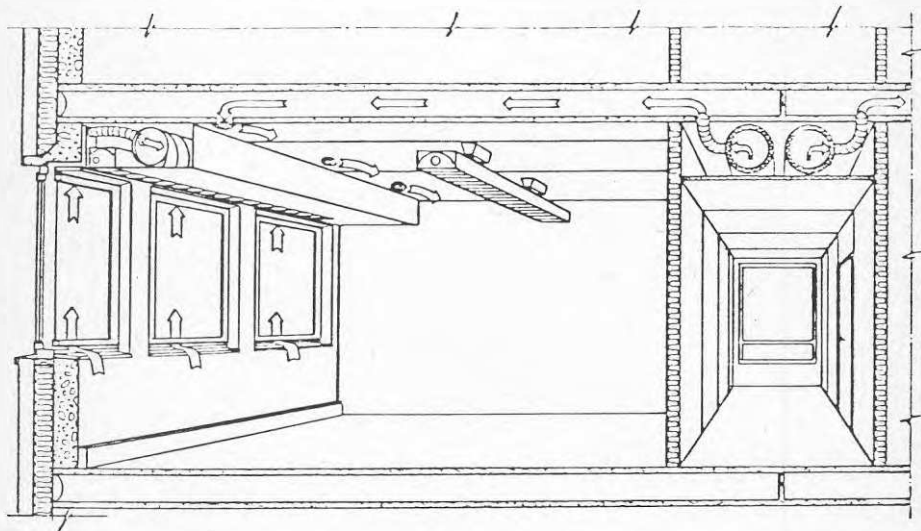


Fig. 3:1 Tvärsnitt av ett typiskt kontor

De anställda arbetar enligt "flectids-schema" och börjar mellan 7.00-9.00 och slutar mellan 15.00-17.00. Lunchtiden är en halvtimme mellan 11.00-13.00. Lunchrummet är beläget i en närliggande byggnad.

Luftläckaget i byggnaden har beräknats genom spårgasteknik ( $N_2O$ ). Med 100% återluft fann man, att ventilations-systemets infiltrationsnivå var 0.15 oms/h under vinterförhållanden. När fläktarna var avstängda sjönk denna nivå till 0.1 oms/h i medeltal.

### 3.2 Mätningar av inneluftskvalitet

#### 3.2.1 Ventilationskontrollsystem

I den aktuella undersökningen har tre olika ventilationskontrollsystem studerats, fig. 3:2.

1. Konstant uteluftsflöde
2.  $CO_2$ -baserat ventilationskontrollsystem
3. Tidstyrt system

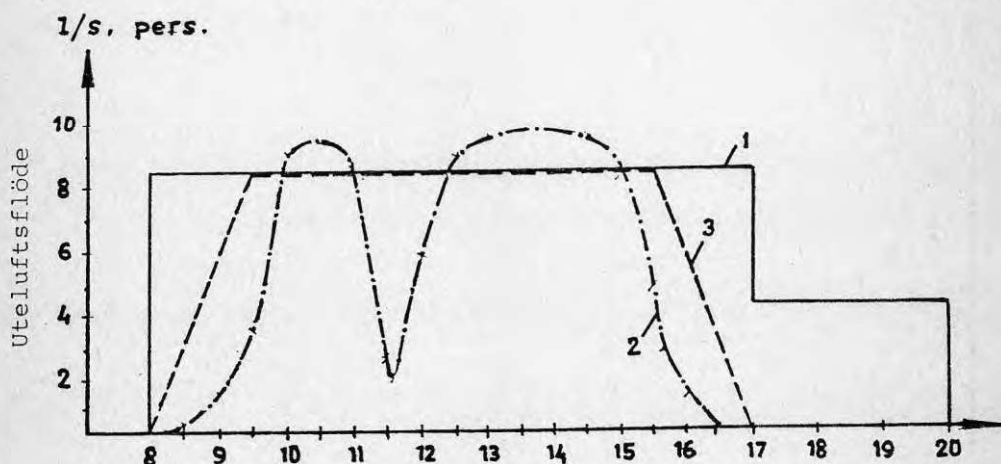


Fig. 3:2 Uteluftsflöde vid olika ventilationskontrollsystem

I första fallet fastställdes uteluftsflödet så att det motsvarar det minsta rekommenderade uteluftsflödet enligt Byggnadsbestämmelser för Finland, fig. 3:3. Detta är idag 4.5 l/s, person i tvåpersonersrum. Av hänsyn till ventilationsanläggningens temperaturstyrande funktion var tilluftsflödet ganska stort, 42 l/s varvid återluftsmängden blir 80% av totala flödet.

I kontrollsystem 2 anslöts en  $CO_2$ -analysator till huvudkanalen för frånluft, fig. 3:4.

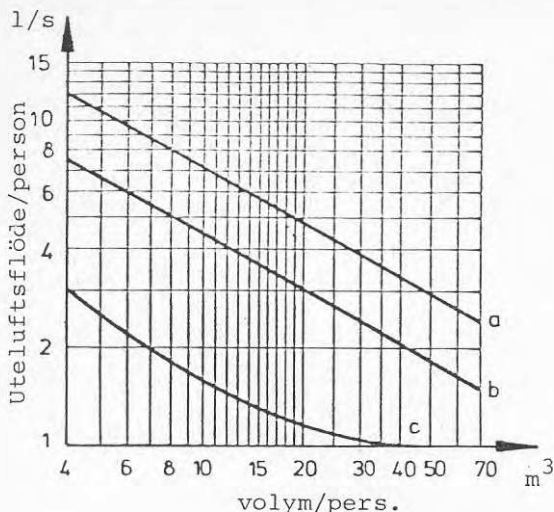


Fig. 3:3 Uteluftsflöde per person enligt Byggnadsbestämmelser för Finland och Sverige.

CO<sub>2</sub>-analysatorn var via en dator ansluten till spjällmotorer för reglering av återluftsflödet. Datorn justerade återluftsflödet så att konstant CO<sub>2</sub>-halt (t ex 700 ppm) upprätthölls i frånluften.

Det tredje alternativet med tidstyrt system karakteriseras av att uteluftsflödet genom tidstyrning av spjället efterliknar den anpassning till behovet som iakttagits vid mätning av CO<sub>2</sub>-halten. Uteluftsspjället börjar då öppnas kl. 7.45 och stängs kl. 15.30. Det tar ca 1,5 tim för spjället att röra sig från helt öppen till helt stängd position.

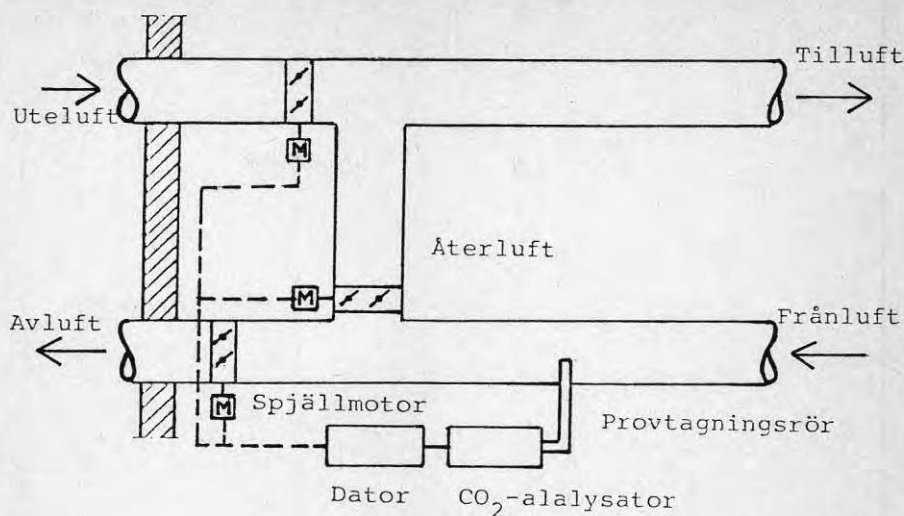


Fig. 3:4 Principen för CO<sub>2</sub>-kontrollerat ventilations-system

### 3.2.2. Mätningmetoder för inneluftskvalitet

Ett antal parametrar som indikerar inneluftskvaliteten kan väljas. Vi har i första hand studerat hur koncentrationen av alstrad CO<sub>2</sub> varierat med olika ventilationskontrollsystem.

Koldioxidkoncentrationen uppmättes i huvudkanalen för frånluft med ett absorptionsinstrument, ANDROS 302. Även i kontorsutrymmen uppmättes koncentrationen på samma sätt i ett tiotal punkter i rummet. Dessutom registrerades radonkoncentrationen i frånluftskanalen och i ett kontorsrum.

Personalen intervjuades under den första och den andra ventilationskontrollstrategien. Intervjuformuläret redovisas i bilaga 1. Intervjuerna gjordes mellan kl. 14.00 - 15.00, när inneluftskvaliteten förmodades vara sämst.

## 3.3 Resultat

### 3.3.1 Svängningarna av CO<sub>2</sub> i återluften

Figurerna 3:5, 3:6 och 3:7 visar hur koldioxidkoncentration dagligen växlade under de tre ventilationskontrollstrategierna. Koldioxidkoncentrationen mättes i flera punkter i kanalen efter fläkten. Samma värde

registrerades i alla lägen, vilket visar att koncentrationen inte varierar i frånluftskanalens tvärsektion. Koncentrationen av  $\text{CO}_2$  i uteluften var 350 ppm.

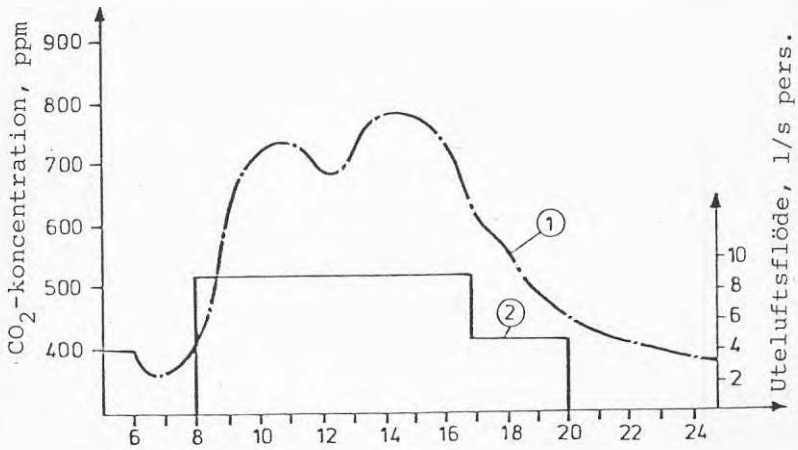


Fig. 3:5  $\text{CO}_2$ -koncentrationen under dygnet (1) och uteluftsflöde (2) med ventilationskontrollsystem 1

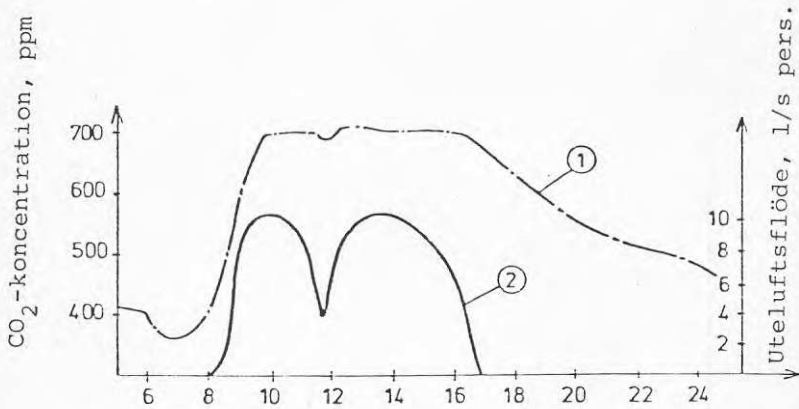


Fig. 3:6  $\text{CO}_2$ -koncentrationen i huvudkanalen för återluft (1) och uteluft (2) när flödet styrdes av en  $\text{CO}_2$ -analysator. (System 2)



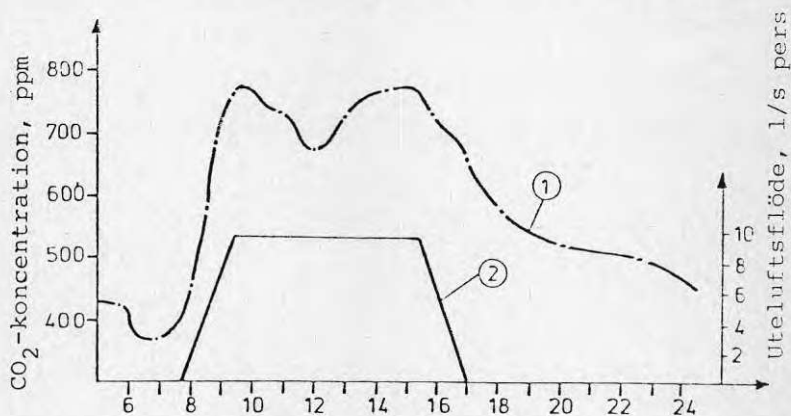


Fig. 3:7 Koncentrationen av  $\text{CO}_2$  i huvudkanalen för återluft (1) och uteluftsflöde (2) när flödet reglerats av tidstyrda spjäll anpassade till de behov som registrerats i system 2. (System 3)

Koncentrationen i frånluftskanalen gick dagligen upp till 800-900 ppm när kontrollstrategi 1 tillämpades.

Koncentrationen var högst kl. 15.00. Växlingarna av koldioxid följer väl växlingarna av uppehållstiden i kontoret. Personalen kommer till kontoret mellan kl. 7.00 och 9.00. Lunchrummet är öppet från kl. 11.00 till 13.00 (lunchen är 30 min lång) och mellan kl. 15.00 - 17.00 lämnar personalen normalt kontoret.

Under kontrollstrategi 2 hölls  $\text{CO}_2$ -koncentrationen i återluften vid omkring 700 ppm. Mängden uteluft varierade då mellan 1.5 - 2.3  $\text{m}^3/\text{s}$ . Genom att ändra börvärdet för  $\text{CO}_2$ -koncentrationen med 50 ppm ändrades medelvärdet av uteluftsflödet med 10%.

När uteluftsflödet reglerades enligt en fastlagd tidsfunktion följde koldioxidkoncentrationen ganska väl förhållandena som registrerades i kontrollstrategi 2.

### 3.3.2 Lokala variationer av CO<sub>2</sub>-koncentration i ett kontorsrum

Lokala variationer av CO<sub>2</sub>-koncentrationen uppmättes i ett typiskt kontorsrum med 18 m<sup>2</sup> golvyta avsett för två anställda. Mätningar gjordes i fem punkter på tre nivåer, (fig. 3:8), kl. 14.00 när CO<sub>2</sub>-koncentrationen i husets frånluftskanal var 830 ppm. (Kontrollstrategi 1).

Enligt dessa mätningar var koncentrationen högst under takkanten nära ett fönster (fig. 3:9). Koncentrationen i tilluft var 540 ppm och i frånluften 700 ppm.

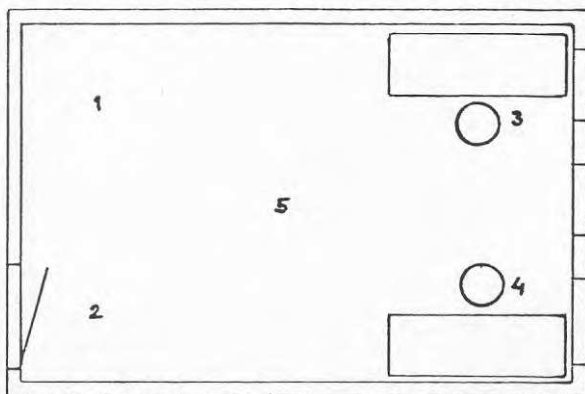


Fig 3:8 CO<sub>2</sub>-koncentrationen i ett kontorsrum uppmättes på 5 platser i rummet med 3 nivåer över golvet på varje plats.

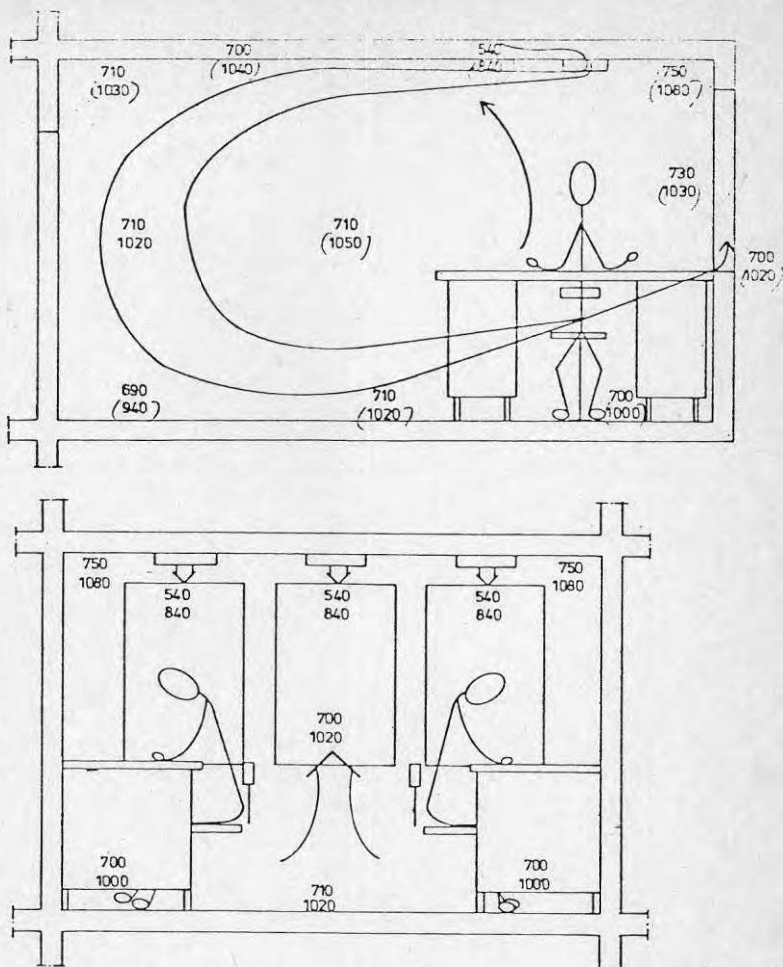


Fig. 3:9 Lokala variationer av CO<sub>2</sub>-koncentration i ett typiskt kontorsrum för två anställda. (Siffror inom parentes gäller för halvt flöde).

### 3.3.3 Variation av CO<sub>2</sub>-halten vid jämförelser mellan olika rum.

Kl. 14.00 varierade koncentrationen av CO<sub>2</sub> i skilda rum mellan 670 och 1020 ppm. Koncentrationen uppmättes intill utsugningen vid ett frånlufts-fönster. I korridorerna var koncentrationen ungefär 670 ppm. Den högsta koncentrationen (1020 ppm) uppmättes i ett kontorsrum för två anställda, där tillfälligtvis tre personer hade arbetat hela dagen. Slutsatsen blir att om ett kontor används, som förutsatts vid projekteringen, kommer CO<sub>2</sub> halten att variera endast obetydligt.

### 3.3.4 Radon

Radonkoncentrationen i huvudkanalen för återluft varierade under dagen som kurva 1, fig. 3:10 visar. Koncentrationen börjar stiga omedelbart när uteluftsspjällen och fläktarna stängs kl. 20.00 och sjunker när fläktarna startas kl. 5.30. Nivån under dagtid var 10-15 Bq/m<sup>3</sup> och nattetid 60-120 Bq/m<sup>3</sup>. I samma figur visas också hur radonkoncentrationen varierar i frånluftskanalen under dygnet, när fläktarna går med full hastighet och 100 % återluft hela natten, kurva 2. Den maximala koncentrationen var i detta fall betydligt lägre, vilket kan bero på läckaget i spjäll och andra byggnadsöppningar. Nivån i skilda delar av byggnaden var dessutom utjämnad.

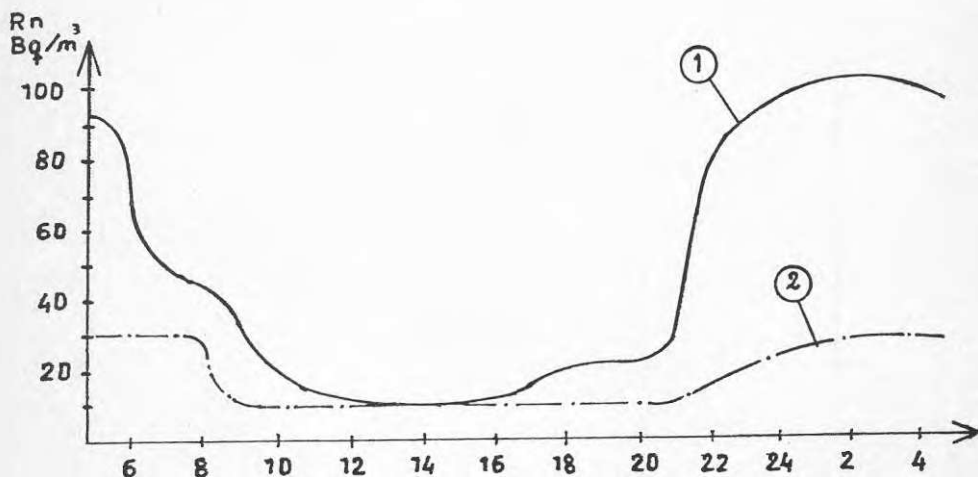


Fig. 3:10 Radonkoncentration under dygnet i huvudkanalen för återluft. 1 normal drift. 2 full fläkthastighet med 100% återluft hela natten.

### 3.3.5 Aerosoler

Aerosoler skulle kunna vara en lika god indikator för inneluftkvalitet som koldioxid, fig. 3:11. Emellertid påverkas koncentrationen av aerosoler i mycket hög grad av antalet rökare, vilket inte i lika stor utsträckning gäller CO<sub>2</sub>-halten.

Vidare förefaller det som det uppstår speciella toppar i aerosolkoncentration i samband med att personalen kommer till sin arbetsplats och när de lämnar den. Troligen beror detta på att det virvlar omkring dammpartiklar i samband med den rörelse som åstadkommes på luften i lokalerna.

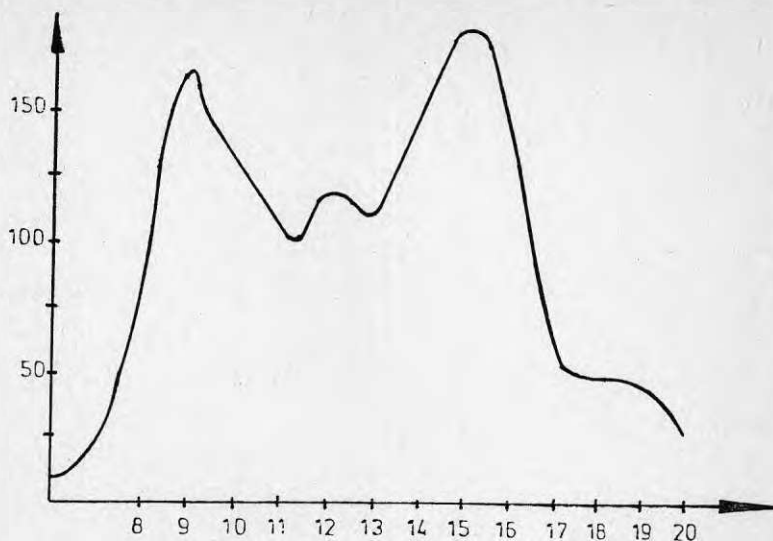


Fig. 3:11 Koncentration av aerosoler i frånluftkanalen

### 3.3.6 Resultat av den subjektiva analysen

Av figur 3:12 framgår vad de anställda ansåg om temperatur, ventilation och luftkvalitet när kontrollsystem 1 (tidstyrt) och system 2 (CO<sub>2</sub>-styrt) tillämpades.

Någon påtaglig skillnad mellan åsikterna om komfortförhållandena när det ena eller det andra systemet tillämpades kan inte utläsas av resultatet.

Av de 180 anställda intervjuades 99 under driftsfallet med kontrollsystem 1 och 88 under kontrollsystem 2. Frågeformuläret framgår av bilaga 1.

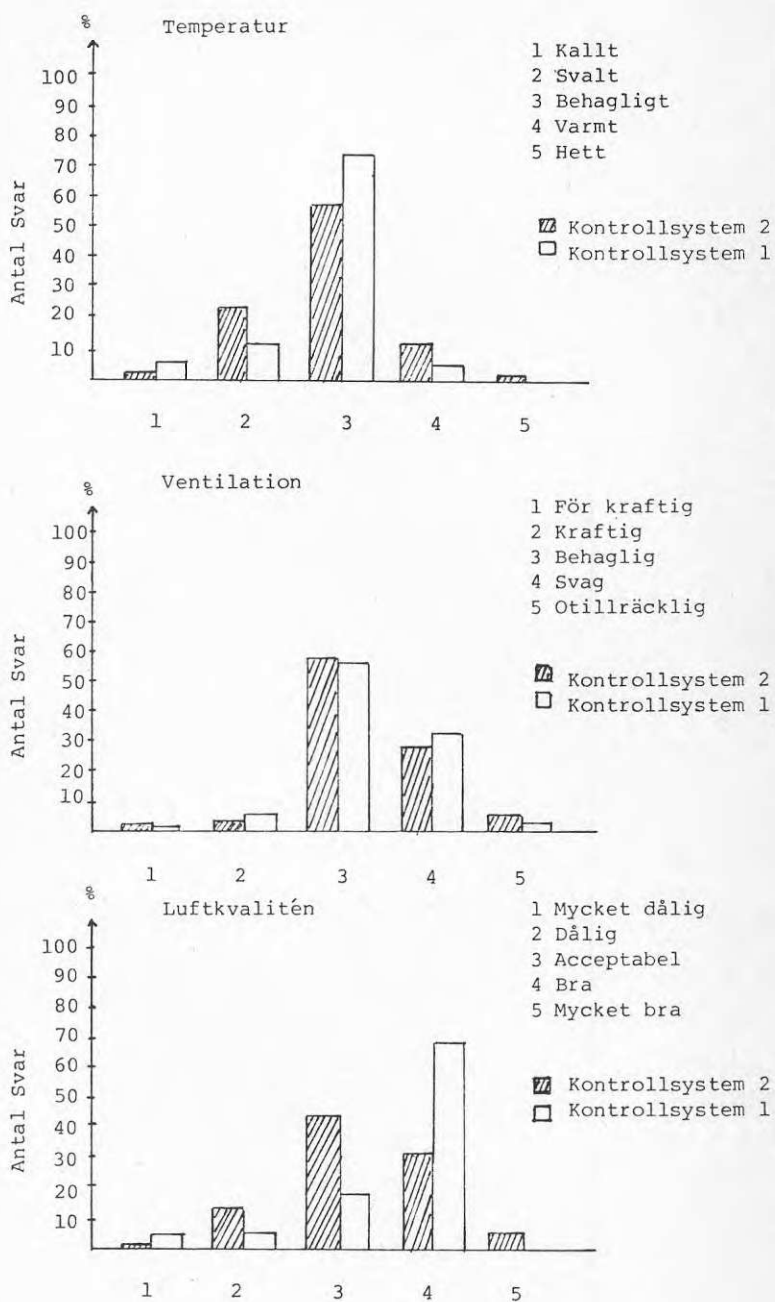


Fig. 3:12 Resultat av intervjuerna

## 4 KONTROLL AV LUFTKVALITETEN MED GASKROMATOGRAF

Samtidigt som mätningarna av  $\text{CO}_2$ -halten pågick i byggnaden genomfördes en gaskromatografisk analys av inomhusluften under ett par dygn. Avsikten var att studera sambandet mellan  $\text{CO}_2$ -halten och förekomsten av andra luftföroreningar. En utförlig beskrivning av hur den gaskromatografiska analysen genomfördes lämnas i bilaga 2. I bilagan meddelas även resultatet av undersökningen med kommentarer.

Kortfattat kan resultatet redovisas med ett utdrag från ett av diagrammen, figur 4:1.

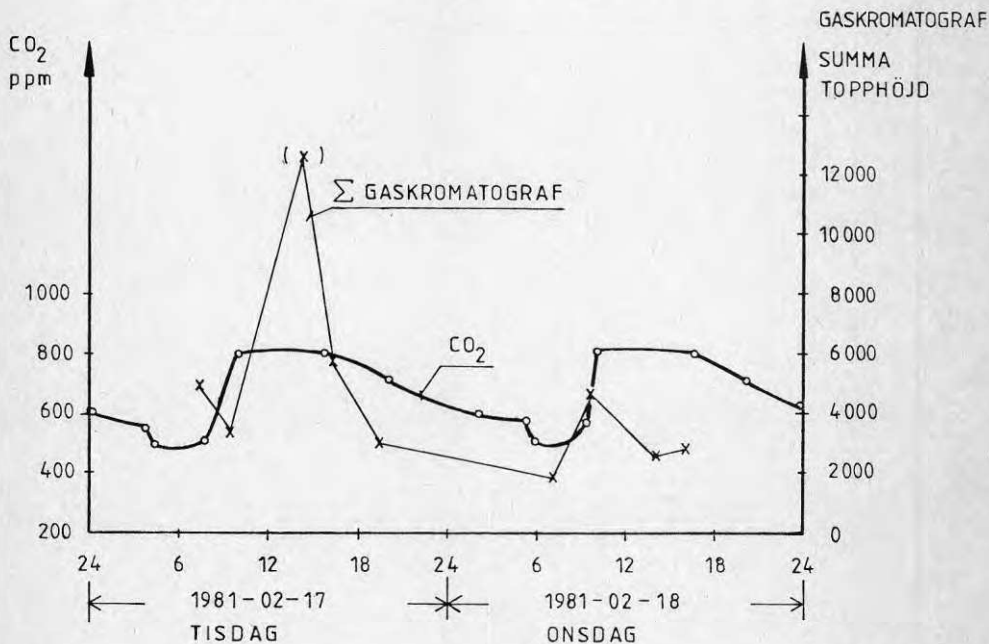


Fig 4:1 Koncentration av andra gaser i relation till  $\text{CO}_2$ .

Någon påtaglig överensstämmelse mellan  $\text{CO}_2$  och andra gaser kan inte sägas föreligga. Den onormalt höga halten av andra gasföroreningar kl 14 första dagen kan dock, som sägs i kommentarerna, bero på tillfälliga gaser från exempelvis en kopiator. Bortses från denna topp i kurvan kan möjligen en viss tendens till likhet mellan kurvorna iakttagas. Det understryks att  $\text{CO}_2$ -kurvan i stort sett bör vara proportionell mot antalet personer i byggnaden medan kurvan för GC-analysen också innehåller emissioner från byggnadsmaterial.

I en kompletterande undersökning har en identifikation av förekommande ämnen gjorts. I stort sett är det

samma ämnen som normalt förekommer i rumsluft vid analyser i Sverige och Danmark. En del nya ämnen har dock observerats däribland diklorbensen. En isomer av detta ämne används bl a i lösningsmedel.



Energibehovet för uppvärmning av uteluft bestäms av uteluftsmängden. Denna har vid CO<sub>2</sub>-styrning, kontrollsystem 2, beräknats och jämförts med mängden uteluft när flödet är konstant under driftstiden, kontrollsystem 1. En stor del av året bestäms uteluftsflödet naturligtvis av temperaturförhållandena. Detta inträffar när den interna värmeutvecklingen i huset är tillräcklig för att värma den akutella uteluftsmängden. Vid lägre utetemperatur blir emellertid hygienkraven bestämmande för flödet och då ger den behovsanpassade CO<sub>2</sub>-styrningen en årlig besparing av ca 40%. Detta värde gäller när börvärdet för CO<sub>2</sub>-koncentrationen är inställt på 700 ppm. Sänks börvärdet till 650 ppm blir besparingen endast 10% och på motsvarande sätt höjs besparingen om börvärdet höjs över 700 ppm.

Med kontrollsystem 3 när uteluftsflödet kontrolleras av tidsstyrda spjäll som efterliknar kurvorna för CO<sub>2</sub>-styrda spjäll inställda för 700 ppm kan en besparing av 30% uppnås.

Ett styrsystem som baseras på mätning av  $\text{CO}_2$ -koncentrationen har sitt största värde i lokaler där människorna själva är den dominerande föroreningskällan. Vid planering av sådant system är det en fördel om byggnaden kan uppdelas i zoner med likartade personbeläggningar.

Rum med begränsad eller liten användning bör i princip behandlas som separata kontrollzoner. I kontorsbyggnader bör till exempel sammanträdesrummens ventilation avskiljas från det övriga kontorets.

Om en sådan uppdelning kan göras är det önskvärt att analysatorutrustningen kan utföras som en gemensam centralenhet för provtagning i flera zoner. D v s analysatorn skall vara försedd med en så effektiv luftpump att ledningar för provtagning kan dras till flera platser i byggnaden. En 30 minuters cykel torde vara tillfredsställande i de flesta fall då  $\text{CO}_2$ -koncentrationen sällan varierar så snabbt.

$\text{CO}_2$ -analysatorer finns idag av flera fabrikat. Det är viktigt att den är driftsäker och att den lätt kan kalibreras exempelvis med uteluft. Den bör tåla att stå i dammiga lokaler men ändå bör övervägas om det går att placera den i ett avskilt skåp eller rum. Dess noggrannhet bör vara ca - 10 ppm mellan 300 och 2500 ppm.

Luftpumpen bör vara så pålitlig att enda underhållet skall vara att byta pumpfilter.

Regulatorerna arbetar bäst för de långsamma förändringar som förekommer i  $\text{CO}_2$ -halten om det är en microprocessorbaserad PID-regulator där derivationen är omkring 30-40 minuter. För standardregulatorer är derivationstiden endast 1-10 minuter vilket orsakar olämpliga svängningar i uteluftsflödet.

För att beskriven princip skall komma till mer allmänt utförande fordras att  $\text{CO}_2$ -analysatorn blir billigare. En större efterfrågan torde resultera i utveckling av nya och billigare komponenter. Som exempel på en viktig komponent kan nämnas ett tättslutande spjäll med en enkel och billig styranordning.

Synpunkter på komponentutvecklingen för  $\text{CO}_2$ -styrda ventilationssystem har lämnats av Bo Göström, Gruppen luftteknik inom Sveriges Mekanförbund. Bilaga 2.

## 7 DISKUSSION

Den genomförda studien har visat att ett styrsystem baserat på konstant  $\text{CO}_2$ -koncentration i inneluften har arbetat tekniskt väl. Att bestämma ett lämpligt börvärde för  $\text{CO}_2$ -koncentration kräver emellertid mer experimentarbete<sup>2</sup> och erhållen energibesparing är starkt beroende av vilket börvärde som inställes. Uppmärksamhet behöver riktas mot val av antal och platser för mätpunkterna i en byggnad.

Intervjuer bland de anställda gav ingen ytterligare klarhet i behovet av uteluftsmängd och ventilations-effektivitet. De flesta personer visade sig vara nöjda med den rådande kvaliteten på inneluften oberoende av vilket kontrollsystem som tillämpades.

Aerosolkoncentrationen skulle kanske kunna användas som ett referensämne för styrning av uteluftflödet men det förutsätter mer arbete med mätningssystem och ett säkrare underlag för bestämning av lämpligt börvärde.

Kalibreringen av de  $\text{CO}_2$ -analysatorer (2 st. olika) som använts under proven visade sig inte vara något större problem. En långsam vandring av ärvärdet i förhållande till inställt börvärde kunde iakttagas för det ena instrumentet men en kontroll ca 1 gång per år torde vara tillfylllest och rekommenderas tills vidare.

Någon riskabelt hög koncentration av andra föroreningar har ej kunnat uppmärksammas vare sig från mätningar eller från intervjuer. Om radonkoncentrationen bedömes som hög under morgontimmarna kan detta åtgärdas genom en snabb genomvädring innan personalen anländer.

Principen med behovsstyrd ventilation har sitt största värde i lokaler eller byggnader där persontätheten varierar mycket och oregelbundet. Som exempel på sådana lokaler kan nämnas skolor, varuhus, banker, postkontor, expeditioner, samlings-salar, teatrar, biografier, restauranger etc.

Det genomförda pilotprojektet har visat principens funktion när god övervakning av utrustningen förekom. Innan en allmän tillämpning kan påräknas fördras säkert ytterligare några utvecklingsprojekt där lönsamheten kan äventyras på grund av övervakningsbehov och osäkerhet i projektering och utförande.



BILAGA 1 FRÅGEFORMULÄR FÖR DEN SUBJEKTIVA  
REGLERINGEN

1. Våning
2. Fasad            a. öst            b. väst
3. Kön              a. kvinna      b. man
4. Hur är temperaturen i Ditt rum idag?
  1. Kallt
  2. Svalt
  3. Behagligt
  4. Varmt
  5. Hett
5. Ändrar sig temperaturen i Ditt rum under dagen?
  1. Inte alls
  2. Väldigt lite
  3. Lite grann
  4. Ganska mycket
  5. Väldigt mycket

Om den varierar, hur?

6. Hur är ventilationen i Ditt rum?
  1. För kraftig
  2. Kraftig
  3. Lagom
  4. Otillräcklig
  5. Mycket otillräcklig
7. Hur är luftkvaliteten nu?
  1. Mycket dålig
  2. Ganska dålig
  3. Godtagbar
  4. Ganska bra
  5. Utmärkt
8. Varierar luftkvaliteten under dagen?
  1. Inte alls
  2. Lite grann
  3. Något lite
  4. Ganska mycket
  5. Väldigt mycket

Om den varierar, hur?

Hur många cigaretter röker Du per arbetsdag?

BILAGA 2

GRUPPEN LUFTEKNIK  
INOM SVERIGES MEKANFÖBUND

PROMEMORIA

Bo Göstring

1982-04-14

BG/KE

CO<sub>2</sub>-styrda ventilationssystem, komponenter och installation

Komponenter De komponenter, som till konstruktion och/eller funktion kan påverkas av att de installeras i ett CO<sub>2</sub>-styrt system är främst styrsystem och spjäll.

Styrsystem Vilka krav som skall ställas på styrsystemets komponenter och funktion (sensor, CO<sub>2</sub>-analysator, mikrodator) måste utredas ytterligare, eftersom det rör sig om en ny, kommersiellt prövad applikation.

Styrsystemet (främst gasanalysatorn) är för närvarande betydligt dyrbarare än konventionella system.

En ny marknad för dessa produkter bör sannolikt kunna leda till utveckling av funktionsanpassade, driftsäkra och billigare produkter.

Om någon form av "scanning" kunde tillämpas, så att en CO<sub>2</sub>-analysator kunde utnyttjas för avkänning i flera punkter skulle detta medföra ett mer flexibelt system.

Sålunda kunde som alternativ till avkänning av CO<sub>2</sub>-halten i samlingskanalen, sensorer kunna placeras i frånluftskanalen från ett antal "kritiska rum" det vill säga konferensrum och andra rum med tidvis hög personalbelastning.

Även i de fall separata aggregat används i vissa rum, kunde nämnda system användas.

Spjäll En förutsättning för noggrann och stabil reglering är att valda spjäll har en lämplig (idealiskt linjär) regleringskaraktäristika. Det bör finnas möjligheter att utveckla spjäll med bättre egenskaper i detta avseende än de som i dag finns på marknaden.

Vad gäller spjällfunktionen är det principiellt enklare att styra luftflödena med utgångspunkt från CO<sub>2</sub>-halten än kravet på viss återluftsgrad.

#### Installation

Installationstekniskt skiljer sig inte behovsstyrda system nämnvärt från konventionella system, fränsett styrsystemet, som installationsmässigt inte bör vålla några problem.

Kravet på god täthet måste beaktas såväl vid montage som projektering (täthetsklass B).

Ett problem för installatören av entreprenadjuridisk karaktär kan bli ansvaret för funktionen hos det hittills oprövade styrsystemet.

#### Injustering

Speciell omsorg måste ägnas åt injustering av luftflödena. Intrimning av styrsystemet torde på grund av sin speciella karaktär kräva specialutbildad personal.

#### Drift

Även frågor som rör drift, skötsel och underhåll av styrsystemet måste ägnas speciell uppmärksamhet exempelvis regelbunden kalibrering av CO<sub>2</sub>-analysatorn.

#### Ekonomi

Generellt bedöms CO<sub>2</sub>-styrd ventilation ha förutsättning att bli ett ekonomiskt fördelaktigt alternativ. En kvantifiering av lönsamheten kräver dock en särskild utredning med beaktande av bland annat följande faktorer

Typ och konstruktion av byggnad

System- och komponentval

Driftstid

Lönsamhetskriterier (energipris, återbetalningstid)

---

Sammanfattningsvis kan konstateras att CO<sub>2</sub>-styrda ventilationssystem, från ventilationsbranschens synpunkt bör kunna införas med dagens produktutbud och installationstekniska kunnande, förutsatt ett driftsäkert styrsystem.





## LITTERATUR

1. Gustavsson, J, 1977. Återluft. Tekniska Meddelanden nr 106 (Institutionen för Uppvärmnings- och Ventilationsteknik) Stockholm.
2. Yaglou, C.P, Rilley, E.C, Coggings, D.J. 1936, Ventilation requirements, Heating, Piping and Air Conditioning, January p 65-76.
3. Kerka, W, Humphreys, C, 1956, Temperature and humidity effect on odor perception, Heating, Piping and Air Conditioning, April, p. 129-136.
4. Budnitz, R.J, Berk, J.V, Hollowell, C.D, Nazaroff, W.W, Nero, A.V, Rosenfeld, A.H, Human disease from radon exposures, the impact of energy conservation in residential buildings, Energy and Buildings 2 (1979).
5. Åtgärder mot radon i bostäder, Statens Planverk, Aktuellt 5 (1979) s. 172...183.
6. Swedeamark, G.A, Problemet med radon och radondöttrar inomhus, VVS 3 (1979) s. 51...52.
7. Klauss, A.K, Tull, R.H, Roots, L.M, Pfaffin, J.R, History of the changing concepts in ventilation requirements, ASHRAE Journal 12 (1970), s. 51...55.
8. Turiel, I, Hollowell, C.D, Thursten, B.E, Automatic variable ventilation control systems based on air quality detection, Energy Conservation in the Built Environments 3 (1979), s. 247...256.
9. Jennings, B.H, Armstrong, J.A, Ventilation theory and practice, ASHRAE Transactions part 2, 1936, s. 423...429.
10. Liptak, B, Savings through CO<sub>2</sub> based ventilation, ASHRAE Journal, July (1979) s. 38...41.
11. Kusuda, T, Control of ventilation to conserve energy while maintaining acceptable indoor air quality, ASHRAE Transaction 1 (1976), s. 1169...1176.
12. Pettenkoffer and Flugge 1881, cited by M.S. Gorosomov, The indoor atmosphere and air circulation, World Health Organization, Geneva, (1968), Public Health Paper No. 33.
13. Hayman, E, Bidrag till kännedomen om luftens beskaffenhet i skolor, 1978, Tekniska Meddelanden från Institutionen för uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH, s. 47.

14. Hunt, C.M, Ventilation measurements in the Norris Cotton Federal Office Building in Manchester, ASHRAE Transactions part 1 (1979), s. 828...839.
15. Woods, J.E, Winakor, G, Maldonado, E.A.B, Kipps, S, 1981, Subjective and Objective Evaluation of a CO<sub>2</sub> controlled Variable Ventilations System, (Iowa State University) Preprint for presentation at the ASHRAE Semi-Annual Meeting in Texas, January 1982.
16. Fanger, P.O, 1982, Menneske og Indeklimat - Ny Viden, Nye Muligheder, Föredragsresuméer, XII Nordiske VVS Kongres, Köpenhamn.
17. Berg-Munch, B, 1982, Ventilationsbehov og Krops-lugt, Nye data för Acceptabel Luftkvalitet, Föredragsresuméer, XII Nordiske Kongres, Köpenhamn.
18. Berglund, B, Johansson, I, Lindvall, T, 1981, Underlag för ventilationsnormer, Etapp II, Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm.
19. Löfgren, I, 1981, Hälsoskydd i byggnader, FoU-program 1981-1984, Stockholm.
20. Södergren, D, et al., 1981, Ventilation, Underlag för programplan 1981-1984, Stockholm.
21. Berglund, B, Johansson, J, Lindvall, T, 1982, The influence of ventilation on indoor/outdoor air contaminants in an office building. The National Institute of Environmental Medicine, Stockholm.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
801037-0 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Paul Petersson AB, Stockholm.**

**Art.nr: 6700767**

**Abonnemangsgrupp:  
W. Installationer**

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

**R67: 1983**

**ISBN 91-540-3947-9**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Cirka pris: 20 kr exkl moms**