



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.



Behovsstyrd ventilation

Styrning av CO₂-halten i ett storkontor
samt utveckling av en prisvärd
mätgivare

Ingmar Jansson
Bertil Ahlbeck
Sven Andersson

K/A

INSTITUTET FÖR
BYGGDOKUMENTATION

Accnr

Plac

Ser

BEHOVSSTYRD VENTILATION

Styrning av CO₂-halten i
ett storkontor samt utveckling
av en prisvärd mätgivare

Ingmar Jansson
Bertil Ahlbeck
Sven Andersson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 820629-3 från
Statens råd för byggnadsforskning till AF-Energikonsult,
Malmö.

REFERAT

Genom att styra flödet av tillförd friskluft till en lokal i förhållande till personbelastningen är det möjligt att göra stora energibesparingar. Speciellt gäller detta lokaler där personbelastningen varierar starkt, exempelvis skolor, butiker, samlingslokaler, kontor etc.

Föreliggande arbete behandlar metod och resultat vid styrning av ventilationen i ett typiskt storkontor, Malmö Sjukvårdsförvaltnings Lönekontor i Malmö. Anläggningen, vars totala yta är ca 1270 m², har en betydande inre värmebelastning vilket medfört att luftomsättningstalen nominellt är höga.

I projektet påvisas att årsenergiebehovet för anläggningen kan minskas med 65-70% utan att personalens uppfattning om rumsklimatet påverkas mätbart. Emellertid torde en del av den kraftiga besparingen bero på att anläggningen dimensionerats för stora luftflöden och dessutom tidvis varit otillräckligt underhållen.

Projektet har även omfattat utveckling av en prisvärd mätgivare för luftens koldioxidhalt. Två mätgivare har därvid tagits fram i prototyp och använts inom projektet. Givarna har fungerat störningsfritt och även i övrigt visat sig innehålla uppställda krav på mätnoggrannhet, stabilitet och tillverkningskostnad.

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

R17:1987

ISBN 91-540-4681-5
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm
Svenskt Tryck Stockholm 1987

INNEHÅLL

	SAMMANFATTNING	5
1.	INLEDNING	7
1.1	Projektets inriktning	7
1.2	Syfte	7
1.3	Organisation	8
1.4	Andra projekt	8
2.	TEORETISKA SAMBAND	9
2.1	Värmebalans	9
2.2	Koldioxidbalans	9
2.3	Numerisk beräkning för mätobjekt	10
3.	UTVECKLING AV EN PRISVÄRD MÄTGIVARE	14
3.1	Ventilationsbehov och luftkvalitetsmätning	14
3.2	Nuvarande CO ₂ -mätgivare	15
3.3	Utvecklad mätgivare och dess egenskaper	15
4.	MÄTPROGRAM	16
4.1	Mätobjekt	16
4.2	Mätgivare och registrerade mätvärden	17
4.3	Datorprogram för utvärdering	19
4.4	Mätningar av luftomsättning	19
4.5	Arbetsplatsmätningar	21
4.6	Enkät	21
5.	STYRNING AV LUFTBEHANDLINGS- UTRUSTNING	21
5.1	Befintlig utrustning	21
5.2	Åtgärder	22
5.3	Styrning efter CO ₂ -halt	24
6.	MÄTFAS 1	24
6.1	Mätplan	24
6.2	Genomförande	25
6.3	Resultat	25
6.4	Värdering	29
7.	MÄTFAS 2	30
7.1	Mätplan	30
7.2	Genomförande	31
7.3	Styrning	32
7.4	Resultat	32
7.5	Värdering	37
8.	SLUTSATSER	38
8.1	Energiåtgång och CO ₂ -halt	38
8.2	CO ₂ -halt och ventilationseffektivitet	38
8.3	Klimatuppfattning och CO ₂ -halt	39
8.4	Fältstyrka och jonkoncentration	39
9.	FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE	40

		4
BILAGA 1	Formulär. Upplevelse av inomhusklimat inom lönekontoret vid Malmö Sjukvårdsförvaltning.	59
BILAGA 2	Diagram över enkätsvar från mätfas 1.	61
BILAGA 3	Diagram över enkätsvar från mätfas 2.	73
BILAGA 4	Diagram över CO ₂ -haltens dygnsförlopp enligt två olika analysator typer.	85

SAMMANFATTNING

Att behövsstyra ventilationen i en lokal kan vara en effektiv metod för energibesparing. Genom att vid varje tillfälle anpassa det till en lokal tillförda uteluftflödet till den för lokalen aktuella individbelastningen minimeras energibehovet för luftbehandlingsutrustningen. För ett stort antal lokaler av typ kontor, butiker, samlingslokaler, skolor etc är det härigenom möjligt att spara en betydande del av årsenergiebehovet.

Det här aktuella projektet har omfattat mätning av olika energi- och klimatparametrar i samband med styrning av ventilationen i ett storkontor. Det valda mätobjektet, Malmö Sjukvårdsförvaltnings Lönekontor, utgör ett relativt typiskt storkontor med höga luftomsättningstal för att tillgodose kylbehovet sommartid. Lokalarean utgör totalt 1270 m² med en genomsnittlig personbelastning av ca 23 personer och den inre värmebelastningen uppgår till ca 24 kW, vilka siffror väl torde motsvara förhållandena vid många andra storkontor i landet. Det som förhoppningsvis kan sägas vara unikt med det valda mätobjektet är att anläggningens service tycks ha fungerat mycket dåligt under en följd av år. Detta har bl a inneburit relativt omfattande ansträngningar inom och utom projektet för att återföra anläggningen till ett välfungerande tillstånd.

Under de två mätperioder som genomförts, varav den första blev något kortare än vad som avsetts på grund av ovan nämnda förhållande, har följande huvudresultat kunnat noteras:

- Årsenergiebehovet för anläggningen kan minskas med 65-70 % endast genom en mycket måttlig ökning av CO₂-halten till ca 500 ppm i frånluften, vilket motsvarar drygt 700 ppm intill arbetsplatserna. Den kraftiga besparingen måste tillskrivas det faktum att anläggningen är dimensionerad för stora luftflöden och dessutom otillräckligt underhållen.
- Personalens uppfattning om rumsklimatet påverkades i ringa utsträckning av de förändringar som mätningarna innebar. Om någon förändring över huvudtaget kan konstateras tycks en reducering av uteluftflödet i varje fall ej ha minskat välbefinnandet.
- Genomförda mätningar av lokalens ventilationseffektivitet och lokala klimatparametrar visar att såväl ventilationseffektiviteten nominellt och lokalt samt temperatur och lufthastighet lokalt är klart tillfredsställande.

Som ett andra led i projektet har även ingått utveckling av en prisvärd mätgivare för CO₂-halt.

En dylik givare har således tagits fram i två exemplar, vilka för övrigt använts under mätfas 2 för styrning av ventilationsaggregaten. Givarna, som har mätområde 0-2000 ppm,

uppfyller med god marginal ställda krav på mätnoggrannhet upp till några veckor efter kalibrering och kan för att full långtidsstabilitet skall uppnås förses med en referenskanal.

Givarna, beräknas vid en seriestorlek av ca 1000 st få en självkostnad på strax under 1 500 kr i ett utförande som inkluderar referenskanal.

1. INLEDNING

1.1 Projektets inriktning

För svenska förhållanden är det i allmänhet så att ventilationsanläggningen i en fastighet svarar för 30 till 40 % av värmebehovet totalt. Denna relativt höga siffra sammanhänger åtminstone delvis med att ventilationsanläggningen normalt sett har en tämligen ofullständig styrning eller anpassning till det egentliga ventilationsbehovet.

Det utan jämförelse vanligaste sättet att anpassa ventilationsflödet till det förväntade behovet i kontors- och butiksfastigheter, skolor etc är att tidsstyra utrustningen efter ett förvalt program. Vissa mera sofistikerade system med avancerad reglerutrustning och ibland också mikrodatorstyrning förekommer även för att anpassa ventilationen till ett predikterat behov.

Ett annat sätt är att anpassa luftomsättningen till det verkliga behovet genom att styra ventilationsflödet efter individbelastningen. Vid ett minskat antal personer i lokalerna kommer således luftomsättningen att minska så att luftkvaliteten hålls konstant.

Åtskilliga lokaltyper har ett i tiden mycket varierande behov av uteluft. I idrottshallar, varuhus och andra likartade lokaler varierar personbelastningen kraftigt. Även i stor-kontor finns ofta stora tidsmässiga skillnader. Olika metoder är möjliga för att vid ett givet tillfälle påvisa antalet personer i en lokal. Bland dessa är mätning av koldioxidhalten i lokalen en av de mest intressanta. Koldioxid ingår i människans utandningsluft i bestämda proportioner. Det finns därför ett klart samband mellan inomhusluftens kvalitet och halten koldioxid i lokalen.

Uppmätt koldioxidhalt kan omvandlas till en signal som styr graden av luftväxling. På så vis kan en konstant halt av koldioxid erhållas i en lokal och inomhusluftens kvalitet kan därmed också anses konstanthållas. För att få tillräcklig noggrannhet i både mätning och reglering kan det i vissa fall krävas flera mätgivare. Det är därför väsentligt att priset för varje mätgivare inte är för högt. De mätgivare av någorlunda kvalitet som finns tillgängliga på marknaden i dag kostar 10 000 - 20 000 kronor. I projektet ingår därför som en väsentlig del utveckling av en mer prisvärd mätgivare.

1.2 Syfte

Projektet har som mål att skapa ytterligare praktisk erfarenhet av behovsstyrd ventilation genom styrning av CO₂-halten.

I projektet skall därför undersökas i vilken mån ventilationens värmebehov kan reduceras utan att det inre klimatet försämrars. Vidare skall sambandet mellan den lokala CO₂-

halten och ventilationens effektivitet undersökas.

Som ovan nämnts ingår det också i projektet att utveckla och skapa erfarenhet av en enkel och prisvärd givare för CO₂-halt i luft.

1.3 Organisation

Projektet har drivits under ledning av överingenjör Ingmar Jansson, AF-Energikonsult, Malmö. I projektgruppen har ingått Bertil Ahlbeck, Mats Johansson och Christina Sahlin, samtliga AF-Energikonsult, Malmö samt Sven Andersson, Malmö Kommuns Fastighetskontor.

Statens institut för byggforskning (SIB) har medverkat i projektets båda mätfaser och utfört mätningar av lokala och nominella luftomsättningar.

I samråd med BFR tillsattes en referensgrupp bestående av

- Ing Carl Axel Boman, SIB, Gävle
- Prof Lars Jensen, LTH Inst. för byggnadskonstr., Lund
- Ing Anders Lindén, SPRI, Stockholm
- Tekn.lic Kjell Lindström, MAS, Malmö
- Lars Göran Månsson, BFR, Stockholm
- Gun Nise, MAS, Yrkesmedicin, Malmö
- Univ.lekt Åke Svenstam, Lunds Universitet Miljövärd-programmet, Lund
- Civ.ing David Södergren, Bengt Dahlgren Stockholm AB, Stockholm

1.4 Andra projekt

David Södergren och Antero Puntilla har på forskningsuppdrag från BFR utfört prov i en fastighet i Helsingfors med cellkontor. Ur undersökningens resultat märks bl a

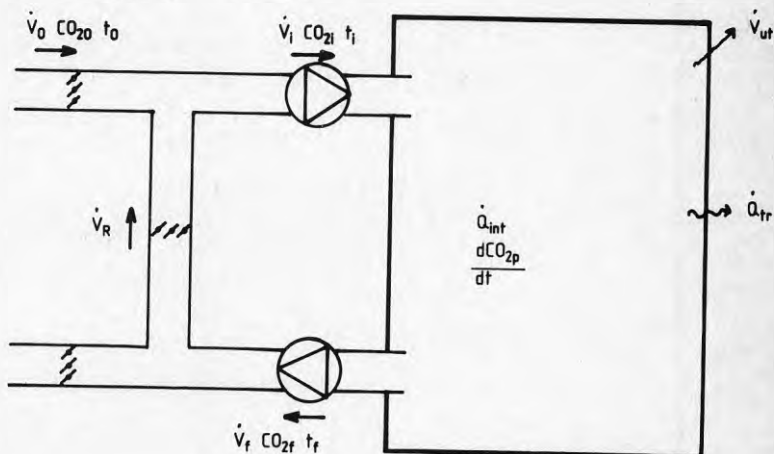
- Stora besparingar i anläggnings- och driftskostnader kan uppnås om luftväxlingen anpassas till det rådande behovet.
- Koldioxidmätning anges vara den metod som för närvarande är mest lovande.
- Personalen har inte reagerat negativt på de CO₂-halter som uppnåtts (700-800 ppm).
- Andra föroreningar (radon, aerosoler) har inte ökat på något oroväckande sätt.
- Komponenter och system behöver utvecklas.

David Södergren håller för närvarande på med ytterligare ett forskningsuppdrag från BFR som avser behovsstyrd ventilation i varuhus.

2. TEORETISKT SAMBAND

Som bakgrund till mätningarna kan ett par enkla, men generella, samband beträffande värmebalans och koldioxidbalans tas fram.

Figur 2.1 visar schematiskt en lokal med tillhörande luftbehandlingsutrustning av generellt slag. De beteckningar som använts i figuren och i uttrycken nedan har den innebörden som framgår av Tabell 2.1.



Figur 2.1 Schematisk lokal med luftbehandlingsanläggning.

2.1 Värmebalans

Lokalens värmebalans kan enkelt formuleras som

$$\dot{Q}_{\text{behov}} = \dot{V}_o \times c_p \times (t_f - t_o) + \dot{Q}_{\text{tr}} - \dot{Q}_{\text{int}} \quad (2.1)$$

Såväl lokalens värmetransmission (\dot{Q}_{tr}) som den interna värmealstringen (\dot{Q}_{int}) kan beräknas för en given lokal och för det aktuella mätobjektet gäller följande uttryck

$$\dot{Q}_{\text{tr}} = 0,84 \left(\frac{t_f + t_i}{2} - t_o \right) \text{ kW} \quad (2.2)$$

$$\dot{Q}_{\text{int}} = 24,0 \text{ kW} \quad (2.3)$$

Eftersom den interna värmealstringen i lokalen (\dot{Q}_{int}) för mätobjektet också omfattar belysningsarmaturens värmeproduktion skall frånluftstemperaturen (t_f) ingå i högerledets första term. Med hänsyn till att en av mätprojektets deluppgifter är att påvisa uppvärmningsbehovets beroende av CO_2 -halten i lokalen är det av intresse att finna ett teoretiskt samband mellan dessa två storheter.

2.2 Koldioxidbalans

Fig 2.1 ger följande volymflödesbalans

$$\dot{V}_i = \dot{V}_o + \dot{V}_R \quad (2,4)$$

$$\dot{V}_i = \dot{V}_{ut} + \dot{V}_f \quad (2,5)$$

och följande koldioxidbalans

$$\dot{V}_i \times CO_{2i} = \dot{V}_o \times CO_{2o} + \dot{V}_R \times CO_{2f} \quad (2.6)$$

$$(\dot{V}_f + \dot{V}_{ut}) CO_{2f} = \dot{V}_i \times CO_{2i} + \frac{dCO_{2p}}{dt} \quad (2.7)$$

Ekvation (2.6) och (2.7) ger

$$(\dot{V}_f + \dot{V}_{ut} - \dot{V}_R) \times CO_{2f} = \dot{V}_o \times CO_{2o} + \frac{dCO_{2p}}{dt} \quad (2,8)$$

samt ekvation (2.4) och (2.5)

$$\dot{V}_o = \dot{V}_f + \dot{V}_{ut} - \dot{V}_R$$

som tillsammans med definitionen

$$\Delta CO_2 = CO_{2f} - CO_{2o} \quad (2.10)$$

ger den slutliga uttrycket för koldioxidbalansen

$$\dot{V}_o \times \Delta CO_2 = \frac{dCO_{2p}}{dt} \quad (2,11)$$

Ekvationerna (2.1) och (2.11) ger slutligen sambandet mellan värmebehovet och CO₂-halten i inomhusluften.

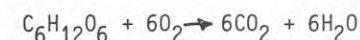
$$Q_{behov} = \frac{\frac{dCO_{2p}}{dt}}{\Delta CO_2} \times c_p \times (t_f - t_o) + Q_{tr} - Q_{int} \quad (2.12)$$

För att numeriskt lösa ovanstående samband krävs att koldioxidproduktionen internt i lokalen kan beräknas. Denna beräkning kan enkelt genomföras om varje persons värmeavgivning är känd och denna värmeproduktion förusätts ske genom människokroppens förbränning av ett ämne med känd sammansättning, t ex druvsocker med den kemiska summaformeln C₆H₁₂O₆.

2.3 Numerisk beräkning för mätobjektet

Under antagande av att den interna koldioxidproduktionen i lokalen genereras genom förbränning av druvsocker i människokroppen görs nedan en beräkning av volymflödestillskottet koldioxid

Druvsocker har som ovan nämnts kemiska summaformeln C₆H₁₂O₆ med molvikten 180 kg/Kmol. Förbränning (oxidering) av druvsocker sker enligt formeln



där oxideringen av C till CO_2 respektive H_2 till H_2O har värmevärdet 33,8 respektive 140 MJ/kg. Den aktuella viktsammansättningen ger därvid en förbränningsenergi motsvarande 22,85 MJ/kg druvsocker.

Vid kontorsarbete kan värmealstringen per person antas vara ca 120 W vilket motsvarar förbränning av ca $5,25 \times 10^{-6}$ kg druvsocker per sekund och person. Omräknas denna mängd till motsvarande koldioxidproduktion enligt

$$\dot{m}_{\text{CO}_2} = \dot{m}_{\text{DS}} \times \frac{m_{\text{C}}}{m_{\text{DS}}} \times \frac{M_{\text{CO}_2}}{M_{\text{C}}}$$

erhålls

$$m_{\text{CO}_2} = 5,25 \times 10^{-6} \times 0,40 \times \frac{44}{12} = 7,70 \times 10^{-6} \text{ kg/s}$$

eller omräknat till volym

$$\dot{V}_{\text{CO}_2} = \frac{\dot{m}_{\text{CO}_2}}{\rho_{\text{CO}_2}} = \frac{7,70 \times 10^{-6}}{1,997} = 3,90 \times 10^{-6} \text{ Nm}^3/\text{s}$$

Under mätningarna var medelantalet personer i lokalen $n = 23$ vilket ger den totala interna koldioxidproduktionen

$$\frac{d\text{CO}_2\text{p}}{dt} = 23 \times 3,90 \times 10^{-6} = 8,96 \times 10^{-5} \text{ Nm}^3/\text{s}$$

Insättning i ekvation (2.11) och omräkning till ppm (vol) ger

$$\Delta\text{CO}_2 = \frac{8 \times 96 \times 10^{-5}}{3,75 \times \varphi} \times 10^6 = \frac{23,9}{\varphi} \quad (2,13)$$

där φ är andelen uteluft i det totala tilluftflödet $\dot{V}_{\text{in}} = 3,75 \text{ m}^3/\text{s}$

Under mätperioden 1 respektive 2 var skillnaden mellan frånluftens temperatur och utetemperatur i genomsnitt 19,0 respektive 20,9 °C vilket tillsammans med förenklingen att lokalens värmetransmission baseras på samma temperaturskillnad ger det numeriska sambandet enligt ekvation (2.12)

$$\dot{Q}_{\text{behov}} = 19,0 \left(\frac{8,96 \times 10^{-5} \times 1,005}{\Delta\text{CO}_2} + 0,84 \right) - 24,0 =$$

$$\frac{1,71 \times 10^{-3}}{\Delta\text{CO}_2} - 8,04 \quad (\text{mätperiod 1})$$

$$\dot{Q}_{\text{behov}} = \frac{1,88 \times 10^{-3}}{\Delta\text{CO}_2} - 6,44 \quad (\text{mätperiod 2})$$

För jämförelse med de praktiskt uppmätta värdena har värmebehov och motsvarande uteluftandel enligt ekvation (2.13) beräknats i tabell 2.2 samt inritats i figur 6.6 och 6.7 för mätperiod 1 respektive i figur 7.6 och 7.7 för mätperiod 2.

Beteckning	Storhet	Sort
Q_{behov}	Lokalens värmebehov	kW
Q_{tr}	Lokalens värmetransmission	kW
Q_{int}	Intern värmealstring i lokalen	kW
c_p	Luftens specifika värme	$\text{kJ/Nm}^3 \text{ } ^\circ\text{K}$
CO_{2o}	Uteluftens CO_2 -halt	ppm (vol)
CO_{2i}	Tilluftens CO_2 -halt	ppm (vol)
CO_{2f}	Frånluftens CO_2 -halt	ppm (vol)
$\frac{d\text{CO}_{2p}}{dt}$	Intern CO_2 -produktion	ppm (vol)/s
t_o	Utetemperatur	$^\circ\text{C}$
t_i	Tilluftstemperatur	$^\circ\text{C}$
t_f	Frånluftstemperatur	$^\circ\text{C}$
\dot{V}_o	Uteluftflöde	Nm^3/s
\dot{V}_i	Tilluftflöde	Nm^3/s
\dot{V}_f	Frånluftflöde	Nm^3/s
\dot{V}_r	Returluftflöde	Nm^3/s
\dot{V}_{ut}	Läckageluftflöde från lokalen	Nm^3/s
φ	Andel uteluft	-

Tabell 2.1 Använda beteckningar enligt figur 2.1

ΔCO_2 (ppm vol)	MÄTPERIOD I		MÄTPERIOD II	
	Uteluft φ	\dot{Q}_{behov} (kW)	Uteluft φ	\dot{Q}_{behov} (kW)
50	0,48	26,2	0,48	31,2
60	0,40	20,5	0,40	24,9
80	0,30	13,3	0,30	17,1
100	0,24	9,1	0,24	12,4
120	0,20	6,2	0,20	9,2
150	0,16	3,4	0,16	6,1
200	0,12	0,5	0,12	3,0

Tabell 2.2 Teoretiskt samband mellan ΔCO_2 , uteluftandel och värmebehov, mätperiod 1 respektive 2.

3. UTVECKLING AV EN PRISVÄRD MÄTGIVARE

3.1 Ventilationsbehov och luftkvalitetsmätning

Ventilationen av en byggnad, dvs tillförsel av utomhusluft och bortförsl av "använd" inomhusluft, skall generellt tillgodose följande krav:

- Upprätthålla en godtagbar balans av metaboliska gaser, syre och koldioxid.
- Transportera bort fuktighet som alstras i lokalerna.
- Transportera bort eller späda ut luktämnen från människor och material.

Utöver ovanstående krav utnyttjas ventilationssystemet oftast också som bärare för en större eller mindre del av lokalernas behov av värme och/eller kyla, men detta funktionskrav kan i och för sig sägas vara frikopplat från uteluftmängden. Kylbehovet kan tillgodoses även vid fullt returluftflöde även om detta i allmänhet är oekonomiskt om värmeöverskottet ej kan nyttiggöras.

De luftmängder som anses erforderliga för att tillgodose ovan nämnda tre huvudkrav är olika i olika länder med det gemensamma draget att erforderligt luftflöde är relaterat till individbelastningen och angivet som volym per person och tidsenhet.

Problemet att åstadkomma en väl fungerande behovsanpassad ventilation i en lokal är således i huvudsak ett mättekniskt problem. För att medge en tillförlitlig styrning av uteluftflödet i ventilationssystemet erfordras att den aktuella luftkvaliteten i lokalerna kan konstateras på ett tillförlitligt och relevant sätt.

Teoretiskt sett står då ett flertal olika möjligheter till buds. Luftkvaliteten borde självfallet sammanhånga med halten av syrgas, koldioxid, vattenånga, luktämnen samt under vissa omständigheter med halten av kolmonoxid i luften. Av dessa gaser är det främst syrgas och koldioxid som kan förutsättas vara direkt och enbart beroende av individbelastningen i lokalerna. Vattenånga produceras förutom genom människans metabolism även av ett flertal andra källor och halten av luktämnen och kolmonoxid sammanhänger framförallt med rökvanor, vilket gör att även dessa i och för sig tänkbara mätobjekt är olämpliga.

I valet mellan syrgas (O_2) och koldioxid (CO_2) som mätobjekt är det framförallt den troliga mätnoggrannheten eller upplösningen som är avgörande. Halten CO_2 uppgår i frisk utomhusluft till ca 340 ppm och kan lokalt i lokaler som ventileras med minimiluftflöden enligt Svensk Byggnorm uppnå 1500 - 2000 ppm. Syrgashalten i frisk utomhusluft uppgår till 20,6 % och minskar under samma omständigheter storleksordningen 0,3 - 0,5 %-enheter.

Ur mätteknisk synvinkel är det därför klart att det lämpligaste mätobjektet är CO₂-halten. Detta är även omvittnat i litteraturen (ex vis ref 1).

3.2 Nuvarande CO₂-mätare

De befintliga CO₂-mätgivare som användes i praktiska sammanhang utanför ren laboratoriemiljö bygger på den s k absorptionsprincipen och utnyttjar det faktum att CO₂ har ett par mycket distinkta våglängdsområden, ca 2,6 mikrometer respektive ca 4,3 mikrometer, inom vilka absorptionen av infrarött ljus är nästan total.

Sättet att kvantitativt detektera absorptionen varierar sedan något mellan olika instrumenttyper. Ett vanligt förekommande instrument utnyttjar tryckskillnaden mellan två identiskt lika, CO₂-fyllda kammare, den ena belyst med infrarött ljus som passerat en provgaskammare och den andra belyst med samma ljus som gått genom en referensgaskammare.

Gemensamt för de på marknaden förekommande CO₂-mätgivarna är att priset ligger kring 15 000 kronor för enkanalsutförande. En mätgivare av Siemens fabrikat har av den svenska representanten, AB Nissmo i Malmö, kompletterats med ett styrbart ventilarrangemang så att en och samma mätgivare kan mäta upp till tio kanaler. I detta utförande kostar utrustningen ca 25 000:-.

Denna prisnivå är dessvärre alltför hög för att på marknaden befintliga mätgivare framgångsrikt skall kunna användas för att styra ventilationen. En överslagsmässig kalkyl av den energibesparing som kan förväntas genom att behovsanpassa ventilationen ger som resultat att mätgivaren knappast får kosta mer än 1 500 - 2 000 kronor om metoden skall kunna tillämpas för lokaler med en golvyta på något 100-tal kvadratmeter.

3.3 Utvecklad mätgivare och dess egenskaper

En del i projektet "BEHOVSSTYRD VENTILATION" har omfattat utveckling av en CO₂-mätgivare. Utvecklingsarbetet har haft följande grundförutsättningar:

- Mätgivaren måste vara billig, självkostnad i större serier 1 000 - 1 500 kr.
- Mätgivaren skall kräva ett minimum av underhåll.
- Arbetsområdet för mätgivaren bör vara 0 - 2000 ppm med mätnoggrannhet bättre än ca \pm 100 ppm över längre tid.

Den mätgivare som utvecklades bygger även den på absorptionsprincipen. Emellertid har, genom att ny teknik kommit till användning, sättet att detektera absorptionen väsentligt förenklats med påföljd att hela mätgivaren har beräknats

kunna tillverkas för under 1 500 kr i 1983 års prisläge och vid en seriestorlek på 1 000 mätgivare. Priset avser en givare med referenskanal och intern spänningsförsörjning, dvs matning med 220 V, 50 Hz, och med utsignalen 4 - 20 mA för mätområdet 0 - 2000 ppm.

Givaren har hittills utförts i två exemplar som varit i drift sedan början av januari 1984 och använts under mätfas 2 för att styra mätobjektets två ventilationsaggregat. Givare-exemplaren saknar referenskanal, men har trots detta en korttids mätnoggrannhet som är ± 20 ppm eller bättre. Däremot uppvisar givarna efter ca 6 veckors långtidstest en felvisning på + 200 ppm resp +100 ppm vid 2 000 ppm CO₂-halt och +35 ppm resp +25 ppm vid ca 600 ppm CO₂-halt, vilket talar för att en referenskanal bör inkluderas i givarna. Med en dylik referens torde det uppsatta målet ± 100 ppm med lätthet kunna innehållas även över mycket långa tider. Bilaga 4 visar CO₂-haltens dygnsförlopp mätt med dels den nyutvecklade mätgivaren (heldragen kurva) dels med Siemens mätgivaren (streckad kurva).

Vidare kan nämnas att mätgivaren mycket enkelt kan modifieras för andra mätområden för CO₂. Beräkningar visar att givaren bör kunna utföras för halter upp till ca 50 % CO₂ men detta har ej provats. Mätgivaren kan även enkelt ändras för att registrera andra gaser, ex vis metan, vattenånga etc.

4 MÄTPROGRAM

4.1 Mätobjekt

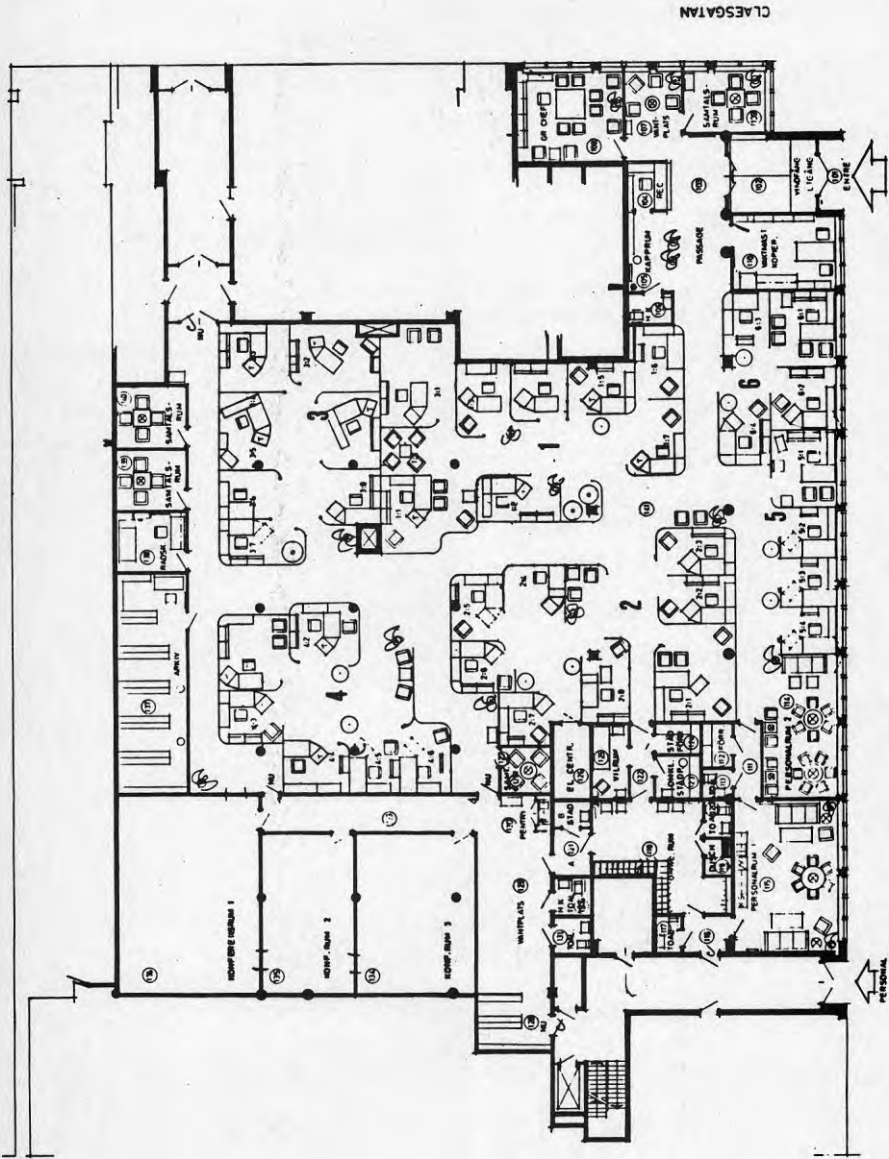
Den lokal som valdes för de praktiska proven var Malmö Sjukvårdsförvaltnings lönekontor. Lokalen omfattar såväl kontorsutrymmen i landskap som enskilda cellkontor, se layoutritning figur 4.1. Verksamheten omfattar till mycket stor del arbete vid bildskärmsterminaler, varför mätningar av bland annat elektrostatisk karaktär ingår.

Byggnaden är uppförd kring 1970 vid hörnet av Fricksgatan och Claesgatan i Malmö. Kontorsutrymmena är belägna på bottenvåningen. Total area är omkring 1270 m² varav själva kontorslandskapet omfattar 770 m².

Antalet anställda är 30 personer. Genomsnittlig personbelastning är kring 23 st. Belysningen består av dels armatur infälld i undertaket och dels nedhängande armatur för arbetsplatsbelysning. Omkring 280 st 40 W lysrörsarmaturer är tända samtidigt i kontorslandskapet. Vid varje arbetsplats finns en bildskärmsterminal med effekten cirka 300 W.

Den inre värmebelastningen omfattar i huvudsak:

- personbelastning 2 800 W
- belysningsarmatur 11 200 W



Figur 4.1 Mätobjektets layout.

FRICKSGATAN

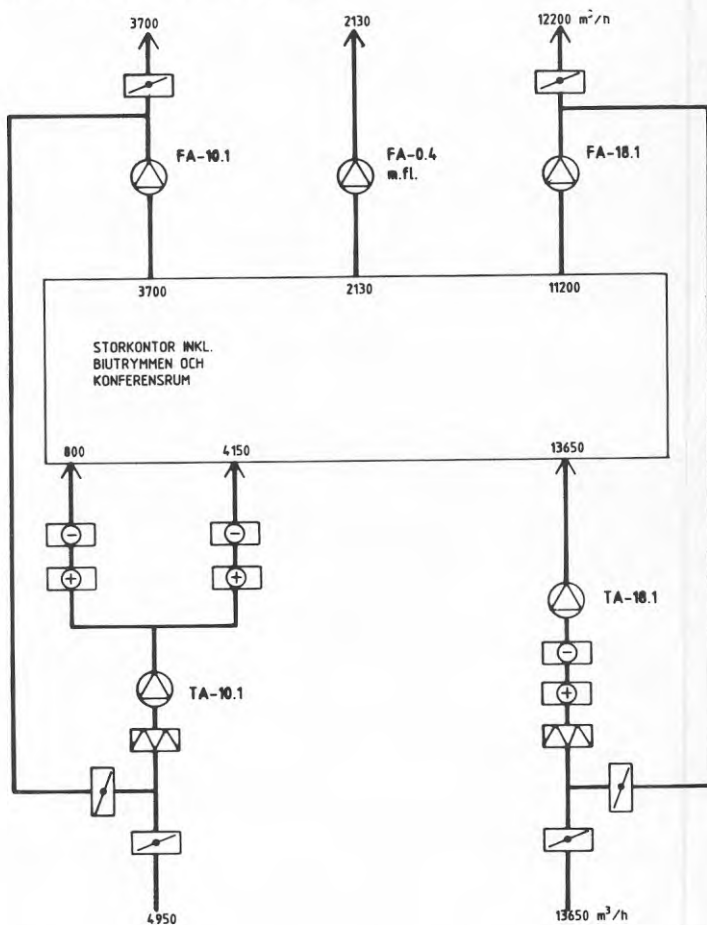
- bildskärmsterminaler 8 100 W
- diverse 1 900 W

Totalt 24 000 W

Transmissionsförlusterna har beräknats till 840 W/°C.

Lokalerna inreddes ursprungligen som bingolokal. Vid ombyggnaden till lönekontor skedde en del omdisponeringar. Vad avser ventilationsinstallationerna gjordes dock endast absolut nödvändiga förändringar. Detta fick då till följd att lokalerna kom att betjänas av två oberoende ventilationsaggregat för till- och frånluft och en separat frånluftsfläkt för toalettutrymmen etc. Dessutom tas viss frånluft via två andra frånluftsfläktar, som även betjänar andra utrymmen.

Systemets uppbyggnad framgår av figur 4.2 där även projekterade luftflöden angivits.



Figur 4.2 Systemschema. Angivna luftflöden avser nominella (projekterade) värden.

Aggregaten TA/FA-10.1 och -18.1 är av Bahco Ventilations typ KSN.

Ventilationsaggregaten svarar enbart för luftväxling. Under sommartid utnyttjas kylbatterierna för klimatstyrning. Till-satsvärme sker med radiatorer företrädesvis placerade vid fasad.

Värmeavgivning från personal, belysningsarmatur och ut-rustning, totalt 24 kW, ger vid maximal luftväxling en temperaturstegring på cirka 6°C om man bortser från transmissionsförlusterna.

Figur 4.3 ger en sammanfattning av de viktigaste data för lokalen.

MÄTOBJEKT

MALMÖ SJUKVÅRDSFÖRVALTNINGS LÖNEKONTOR

AREA:	1 270 M ² VARAV 770 M ² STOR-KONTOR
PERSONALBELASTNING:	MEDELTAL CA 23 PERSONER
VÄRMEBELASTNING:	INTERNT CA 24 kW
VENTILATIONSSYSTEM:	TVÅ AGGREGAT TA/FA TOTALT CA 16 000 M ³ /H
TRANSMISSIONSFÖRLUSTER:	840 W/°C

Figur 4.3 Sammanställning över mätobjektets huvuddata.

4.2 Mätgivare och registrerade mätvärden

Under vardera mätperioden mättes och registrerades med hjälp av datalogger 20-30 värden. Dessa utgjordes av temperaturer, flöden, CO₂-halt och relativ fukthalt, som tillsammans utgjorde underlag för energi- och klimatberäkningar.

Förutom de dataloggerinsamlade mätningarna utfördes:

- mätningar av lokal och nominell luftomsättning i kontorslandskapet med hjälp av den s k spårgasmetoden. Se vidare punkt 4.4
- mätningar av lufttemperatur, lufthastighet, CO₂-halt och fältstyrka vid två arbetsplatser. Se vidare punkt 4.5
- enkätundersökning bland personalen, som två gånger per dag svarade på frågor om arbetsmiljön och inomhusklimatet. Se vidare punkt 4.6.
- vissa manuella mätningar.

De olika typer av mätgivare som användes var:

- För vätskeburna flöden utnyttjades i anläggningen befintliga strypventiler tillsammans med dp-celler. Dp-cellerna omvandlar en tryckdifferenssignal till en mV-signal. De kalibrerades före och efter varje mätperiod och kalibrerades även tillsammans med kablar vid varje mätperiod.
- Temperaturer mättes med termoelement av typ E-chromel-konstantan (kopparsnickel). Termoelementen tillsammans med kompensationskablar kalibrerades vid varje mätperiod.
- Relativ fukthalt mättes med kapacitiva fuktgivare. Denna har en tunnfilm vars kapacitans ändras med fukthalten. Mätomvandlare som omvandlar kapaciteten till mV signal är inbyggd i givaren. Givarna kalibrerades på AF-gruppens instrumentlaboratorium före och efter mätningarna.
- Koldioxidhalten mättes med Siemens CO₂-analysator. Denna är kortfattat beskriven under 3.2.

En förutsättning för att mätningarna av alla intressanta energiflöden skulle kunna hanteras samtidigt var att mätvärdena insamlades med en automatisk mätutrustning, så kallad datalogger. Dataloggern avläser de olika mätpunkternas ögonblicksvärden med konstanta tidsintervaller och lagrar dessa värden på något medium som medger överföring till en dator. Vid detta projekt används en hålstansad pappersremsa. Tidsintervallet mellan avläsningarna, det så kallade samplingsintervallet, kan på loggern ställas in på önskat värde, från mindre än 1 minut till flera timmar.

Till dataloggern kan olika typer av termoelement samt alla givare som ger en utsignal i form av en spänning kopplas. Mätarna kopplas till dataloggern på motsvarande sätt som de kopplas till vanliga skrivare.

Samtliga luftflödesmätningar utfördes manuellt. Önskvärdt hade varit att mäta också luftflödena med registrerande instrument. Med hänsyn till kanalsystemets utformning hade detta emellertid varit alltför invecklat och kostsamt. Därför beslöts att mätningar skulle utföras genom traversering med prandtlrör i kanaler med cirkulärt och rektangulärt tvärsnitt. (Metod A11 och A12 enligt "Metoder för mätning av luftflöden i ventilationsinstallationer" utgiven av Nordiska ventilationsgruppen). Av de uppmätta delflödena beräknades totalflöden.

I övrigt mättes utomhustemperaturen manuellt med ett par timmars mellanrum under dagtid. Dessa värden användes för att korrigera uppmätt temperatur i uteluftskanalen till TA-18.1. Korrigeringen gjordes vid bearbetningen i datorn.

Lufthastigheten i vistelsezonen mättes vid arbetsplatserna med en termoanemometer som har en motståndstråd i spetsen på en utdragbar sond. Resistansen på denna tråd ändras med förbipasserande lufts hastighet. Mätområde på det valda instrumentet var 0 - 3 m/s eller 0 -12,5 m/sek, onoggrannhet

Den elektrostatiska fältstyrkan mättes med en E-fältmätare med mätbländare som avkänner potentialskillnaden mellan luftens potential och jord. Luftjonkoncentrationer uppmättes med en luftjonmätare typ ILMA-NEPO, denna mäter både positiva och negativa joner i omgivningsluften.

4.3 Datorprogram för utvärdering

De mätvärden som var registrerade på hålemsor lästes in på dator och bearbetades där främst med hjälp av dataprogrammet IDPAC.

Programmet IDPAC är avsett för mätvärdesanalys och processidentifiering och är uppbyggt för interaktiv användning, vilket innebär att användaren växelverkar med programmet genom att ge kommandon som verkställs ett och ett. Det slutgiltiga resultatet presenteras oftast i grafisk form, dvs visas som ett diagram på en bildskärm. Denna graf kan lätt kopieras över till vanliga pappersdiagram.

4.4 Mätningar av luftomsättning

Ventilationseffektiviteten i en lokal kan beräknas om man känner den lokala och den nominella luftomsättningen.

Med lokal luftsättning, r (h^{-1}), menas det uteluftflöde som når en speciell punkt i en lokal under normala driftsförhållanden. Med nominell luftomsättning, n (h^{-1}), menas medelvärdet av det uteluftflöde som når alla punkter i en lokal.

Dessa luftomsättningar har mätts med hjälp av sk spårgasmetoden. Spårgas, N_2O , sprids i rumsluften till en koncentration av max 100 ppm varefter den minskar efterhand som lokalens luft byts genom ventilationens inverkan. Avklingningen registreras i en mätutrustning, varefter luftomsättningen kan beräknas.

Samtliga mätningar av luftomsättning har utförts av Statens institut för byggforskning (SIB) under ledning av ing Carl Axel Boman och resultatet har presenterats i två rapporter, en för vardera mätperioden.

Ventilationseffektiviteten beräknas enligt uttrycket:

$$e = \frac{r}{n} \cdot 100 \quad (\%)$$

där

e = ventilationseffektiviteten i en punkt i rummet

r = lokal luftomsättning (h^{-1})

n = nominell luftomsättning för hela lokalen (h^{-1})

4.5 Arbetsplatsmätningar

De lokala mätningarna utfördes under båda mätfaserna och kring två arbetsplatser. Totalt mättes i 27 punkter per arbetsplats fördelade på tre nivåer (0,1, 1,2 och 1,8 m). Se figur 4.7. Mätningarna omfattade:

- CO₂-halt
- lufttemperatur
- lufthastighet
- fukthalt (endast under mätfas 2)

Dessutom mättes elektrostatiskt fält mellan terminalarbetsplatsens bildskärm och en punkt som motsvarar operatörens ansikte.

Under mätfas 2 mättes också jonhalten i inomhusluften.

4.6 Enkät

I samband med mätfas 1 och 2 gjordes även en studie av personalens uppfattning om rumsklimatet. Ett frågeformulär besvarades varje förmiddag klockan 10.00 och varje eftermiddag klockan 14.00. De frågor som ställdes behandlade ålder, rökvanor, arbetstid, normal arbetsbelastning samt uppfattning om arbetsplatsens rumsklimat som t ex temperatur och luftfuktighet. Formuläret modifierades något från mätperiod 1 till 2. Dessa ändringar är marginella och kan därför anses vara betydelselösa när man jämför resultaten. Formuläret finns redovisat i bilaga nr 1. Yrkesmedicinska avdelningen vid MAS har konsulterats vid utformningen.

De framkomna svaren har sammanställts i tre olika typer av diagram. Den första visar hur personalens uppfattning om rumsklimatet varierar mellan de olika enkätstillfällena. I den andra typen visas hur klimatuppfattningen under veckan varierar mellan de olika åldersgrupperna. Den tredje typen av diagram visar i sin tur hur personalens rökvanor påverkar deras uppfattning om rumsklimatet.

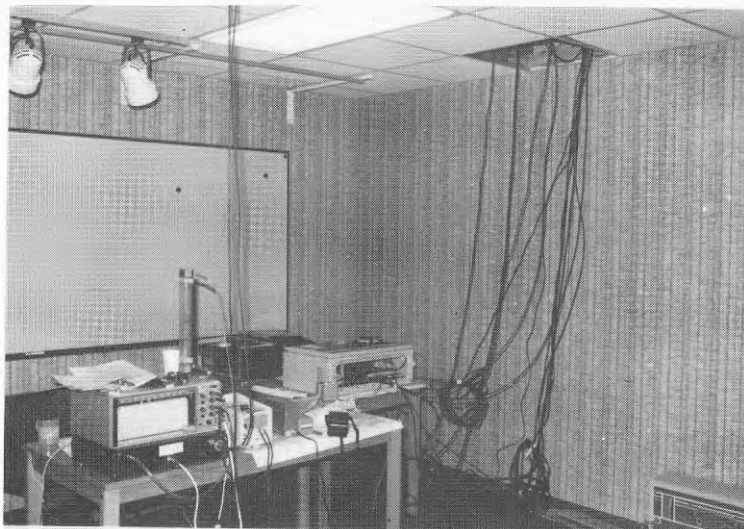


Bild 4.4 Mätcentral med 2-kanalskrivare, CO₂-analysator och datalogger.

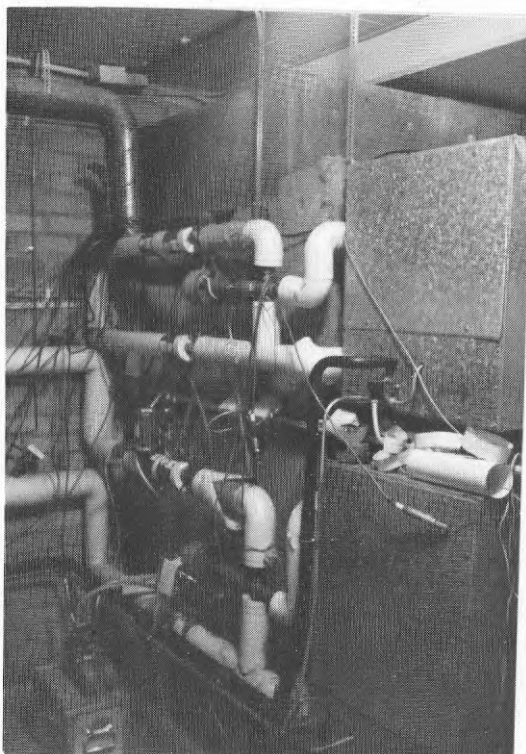


Bild 4.5 Mätgivare anslutna vid luftvärmväxlare för TA-10-1.

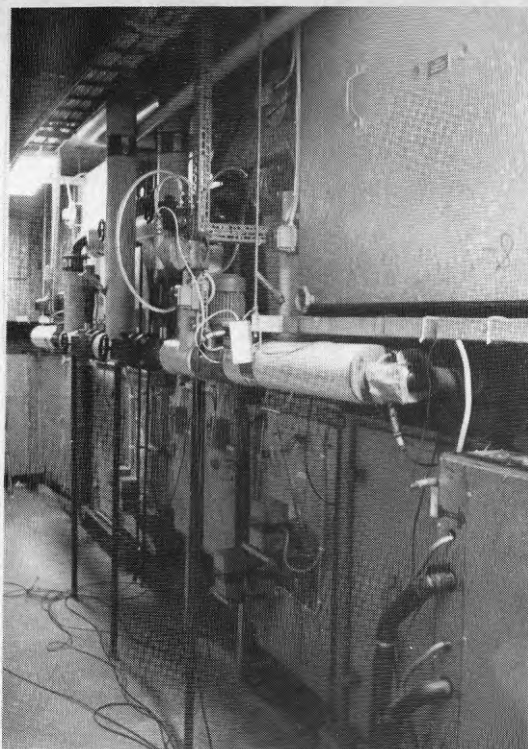


Bild 4.6 Aggregatrum för TA-18.1 med mätgivare.

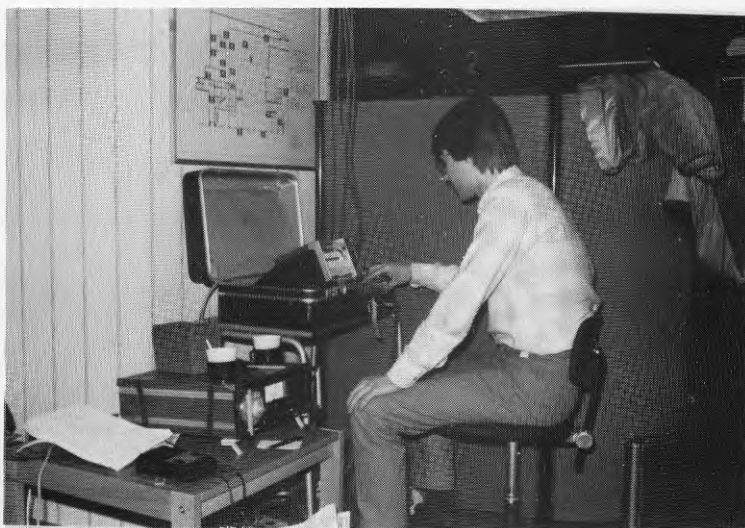
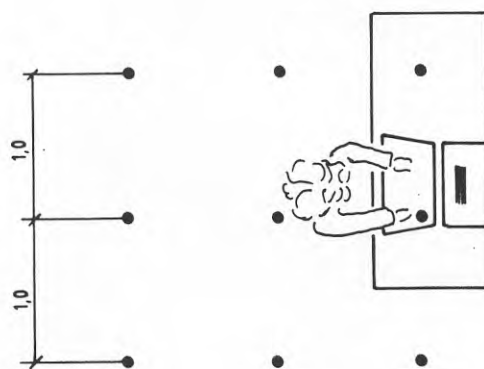
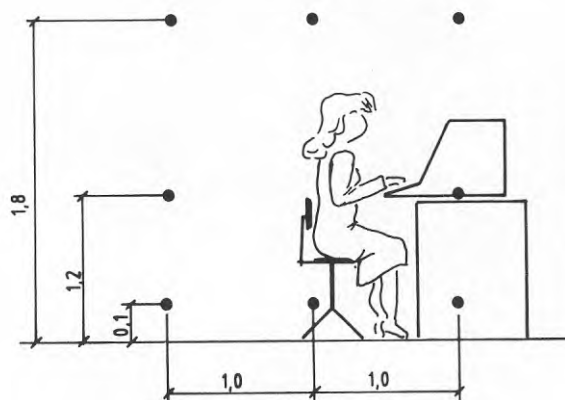


Bild 4.7 Spärgasmätning pågår.



Figur 4.8 Mätpunkter kring en arbetsplats.



Bild 4.9 Arbetsplatsmätningar pågår.

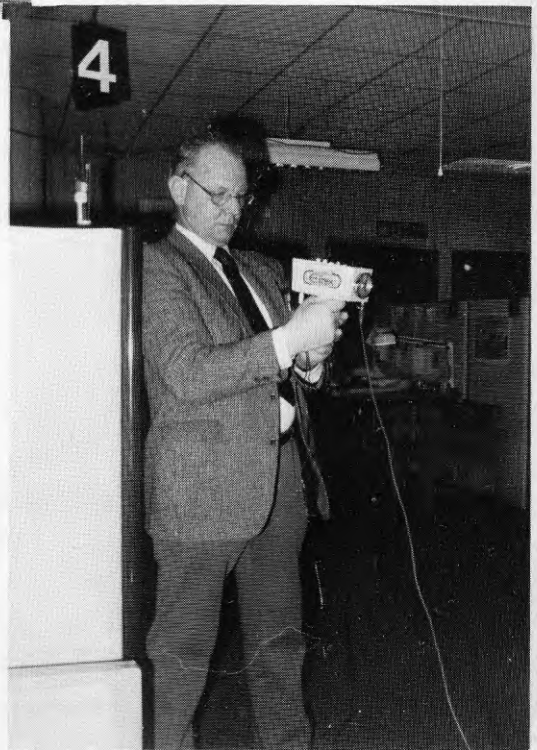
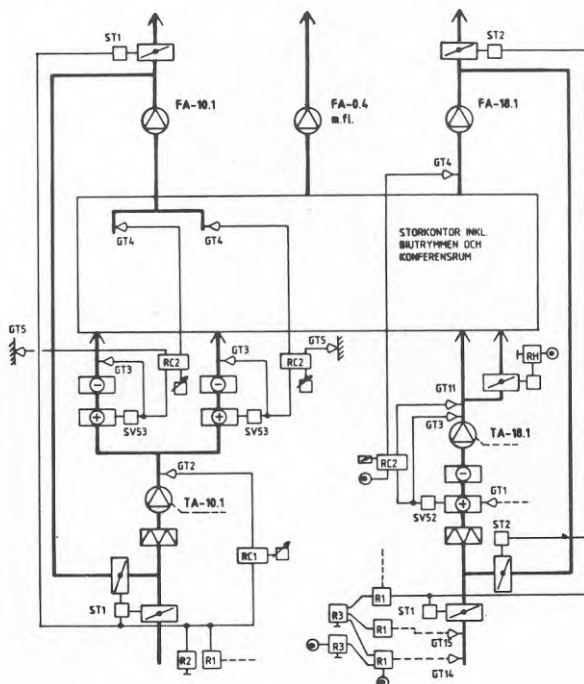


Bild 4.10 Elektrostatisk mätning.

5. STYRNING AV LUFTBEHANDLINGSINSTALLATION

5.1 Befintlig utrustning

De båda ventilationsaggregaten är tillverkade omkring 1970, fabrikat Bahco Ventilation typ KSN. De är i standardutförande och förhållandevis välbehållna. Styrutrustningen var ursprungligen av pneumatisk typ fabrikat Honeywell. På det stora aggregatet (TA/FA-18.1) hade denna bytts ut mot elektronik för ett par år sedan. Det lilla aggregatet hade kvar pneumatisk reglering. Figur 5.1 visar systemschemat för de båda aggregaten.



Figur 5.1 Systemschema med delar av styr- och reglerutrustning.

Funktionen på de båda aggregaten är i huvuddrag följande:

Utegivaren och frånluftsgivaren på det lilla aggregatet konstanthåller lokaltemperaturen. Tilluftsgivaren (GT3) förhindrar att alltför kall tilluftstemperatur blåses in. Via tilluftsgivaren (GT2) regleras halten uteluft. En minsta andel uteluft (cirka 70 %) kan ställas in på en omställare.

Via frånluftsgivaren och tilluftsgivaren (GT11) till det stora

aggregatet konstanthålls önskad lokaltemperatur. Tilluftsgivaren (GT3) förhindrar att alltför kall tilluftstemperatur blåses in. En minsta andel uteluft (cirka 25 % inställt) kan ställas in på omställare för både sommar-och vinterfallen. Luftflödet till konferensrummen kan forceras vid behov.

5.2 Åtgärder

I augusti 1983 företogs en undersökning av installationernas kondition. Följande anmärkningar påtalades:

- Två av totalt fyra tilluftskanaler var stängda genom att befintliga spjäll med pneumatiska don gått till stängt läge, troligen i samband med att pneumatiken bortkopplades.
- Kraftigt läckage på minst ett ställe i tilluftskanalerna.
- Tilluftsdonens lamellelement (laminar-flow-don) var totalt nedsmutsade. Tilluftsdonen byttes ut mot perforerade tilluftsdon av Stifabs fabrikat.

Vid genomgång med fastighetsägaren överenskomms att anmärkningarna skulle vara åtgärdade och installationerna justerade och kontrollerade till mätfas 1.

Vid den kontroll som gjordes direkt inför mätfas 1 upptäcktes emellertid ytterligare avvikelser från ett normalt fungerande system. Under pågående mätperiod upptäcktes även vissa fel. Följande noterades:

- Frånluftsmängderna var väsentligt mindre än projekterade värden.
- Kopplingsur gick en timme för tidigt.
- Pneumatisk omställare för spjäll till TA/FA-10.1 fungerade otillfredsställande.
- Omställare i avluftkanal fungerade inte alls.
- Styrning av TA/FA-18.1 hade som anges under 5.1 ändrats från pneumatik till elektronik. Spjället i avluftskanalen, som satt lite svåråtkomligt, hade dock inte bytts ut. Här satt fortfarande ett pneumatiskt don, som när tryckluften bortkopplades hade gått till stängt läge. Under ett par år har således avluftskanalen i det största aggregatet varit stängd.

- Tvåvägsventil för värmetillförsel till luftvärmaren på TA-18.1 pendlade kraftigt.
- Spjällfunktion hos båda aggregaten var helt otillfredsställande med mycket stora läckageflöden i stängt läge.

Eftersom dessa fel upptäcktes omedelbart före eller under pågående mätperiod kunde dessa inte till fullo åtgärdas och kom därför att påverka resultatet av mätfas 1. Installationerna skulle enligt uppgift vara noggrant genomgångna före mätfas 1 av det serviceföretag som fastighetsägaren anlitar. Detta företag kände till syftet med genomgången och det får anses vara högst anmärkningsvärt att så pass många fel ändå upptäcktes.

Inför mätfas 2 hade fastighetsägaren valt att byta ut den pneumatiska regleringen på TA-10.1 till ett nytt elektro-niskt system.

Funktionen på TA-10.1 kvarstod i huvudsak oförändrad, dock har utetemperaturkompenseringen utgått.

Vid förberedelserna till mätfas 2 upptäcktes fel, dock inte av samma omfattning som under mätfas 1. Följande noterades och åtgärdades:

- Väggen mellan samtalsrum 140 och intilliggande lokal som är en matserverings läskförråd skulle enligt ritning vara en brandvägg. Vid en kontroll, som gjordes veckan före mätfas 2 upptäcktes att ovan undertak var denna vägg aldrig efterlagad utan här fanns en minst en kvadratmeter stor öppning. Genom öppningen kunde märkas att kyligare luft strömmade in i samtalsrummet. Här fanns således ett påträngigt byggfusk, som förutom sina övriga aspekter även innebar en onödigt stor ofrivillig ventilation i lokalerna. Tänkbart är också att man här fick förklaringen till varför det ibland luktade matos i kontorslandskapet. Öppningen tätades provisoriskt med plastfolie varvid läckaget till största delen eliminerades.
- Under förberedelserna upptäcktes att det lilla aggregatet trots utförd injustering inte kunde drivas i fullt återluftsläge utan att luften strömmade baklänges i avlufts-kanalen. Möjlighet att täta avluftsspjället fanns inte utan omfattande demonteringsarbeten. I stället beslöts att täcka avluftsöppningen på tak med en träskiva. På så vis eliminerades detta oönskade flöde till största delen.
- Kopplingsur gick fortfarande en timme för tidigt.
- Tvåvägsventil för värmetillförsel till luftvärmaren på TA-18.1 pendlade kraftigt (samma fel som under mätfas 1).

Genom ovannämnda åtgärder återställdes anläggningen till ett korrekt fungerande tillstånd även om åtgärderna i sig var av provisorisk art.

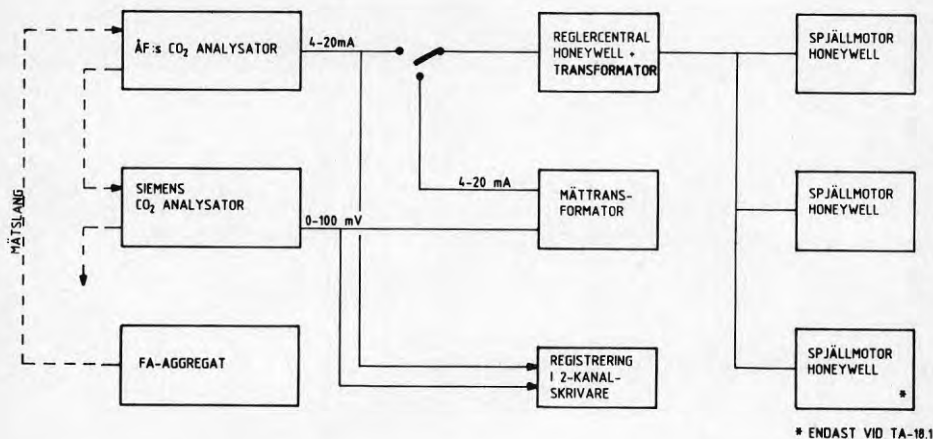
5.3 Styrning efter CO₂-halt

Den princip som valdes var styrning av uteluftsmängden efter halten CO₂ i frånluften. Detta medger styrning proportionellt mot personbelastningen i hela den aktuella byggnadsdelen.

Under hela mätfas 2 styrdes anläggningens luftväxling efter CO₂-halten medan styrning ej skedde under mätperiod 1 p g a ovanstående problem.

För att kunna styra spjällen till önskad CO₂-halt användes den utrustning som i princip visas i figur 5.2. Det enda ingrepp som gjordes i den befintliga reglerutrustningen var att spjällmotorerna demonterades. I stället monterades nya spjällmotorer direkt på spjällaxeln för resp spjäll. Via en reglercentral där börvärdet ställdes in styrdes spjällmotorerna på signal från den CO₂-analysator som utvecklats inom projektet.

Som framgår av figur 5.2 fanns även möjlighet att i reservfall styra på signal från en Siemens CO₂-analysator.



Figur 5.2 Princip för styrning av TA-10.1 resp TA-18.1 efter CO₂-halt.

Mätslangen anslöts till kanalsystemet strax före frånlufts-
aggregatet. Luftflödet från frånluftskanalen upprätthölls
med en luftpump och kontrollerades med en rotameter.
Bild 5.3 visar den praktiska uppkopplingen.

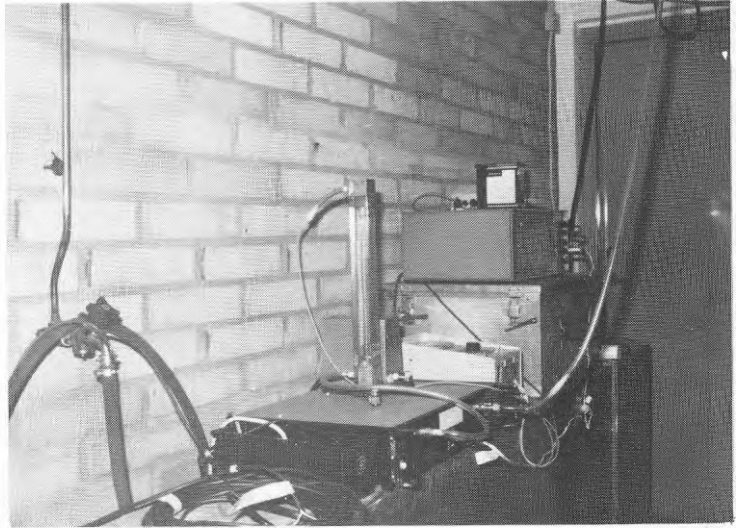
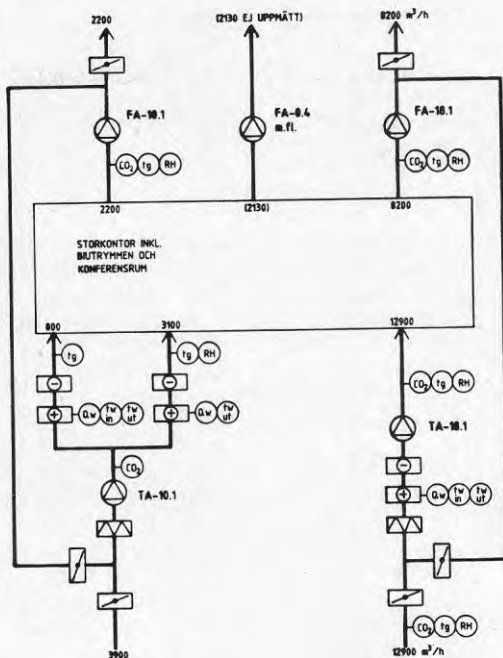


Bild 5.3 Styrutrustning för TA-10.1, CO₂-analysator,
reglercentral och 2-kanalskrivåre.

6.1 Mätplan

De mätpunkter som var anslutna till dataloggern var 24 st placerade i enlighet med figur 6.1.



Figur 6.1 Systemschema med inmarkerade mätpunkter.
Angivna luftflöden avser manuellt uppmätta värden.

Koldioxidhalten (CO_2)	mättes i 5 punkter
Relativ fukthalt (RH)	mättes i 5 punkter
Lufttemperatur (t)	mättes i 6 punkter
Vattentemperatur (t)	mättes i 5 punkter

För TA-10.1 mättes ingående temperatur endast till den ena luftvärmaren, eftersom båda har samma ingående temperatur.

Vattenflödet (Q) mättes till alla tre luftvärmarna.

Vid arbetsplatsmätningarna mättes lufttemperatur, lufthastighet och CO_2 -halt på två arbetsplatser. Fältstyrkan mättes också.

Mätningar av lokal och nominell luftomsättning genomfördes i fyra resp sex punkter. Två av dessa var samma platser som arbetsplatsmätningarna ovan omfattade. Under mätningarna mättes lokaltemperaturen i sex punkter.

6.2 Genomförande

Under perioden mättes och registrerades med hjälp av dataloggern. Dessutom utfördes arbetsplatsmätningar, spär-gasmätningar och vissa manuella mätningar. Perioden omfattade måndag - fredag vecka 46 år 1983.

Den befintliga styr- och reglerutrustningen var i drift under hela mätperioden. Trots att installationerna var kontrollerade av det ventilationsföretag som normalt utför service, upptäcktes under mätperioden ett flertal fel. Dessa har redovisats under punkt 5.2 och fick till följd att regleringen fick ske för hand.

CO₂-mätaren av Siemens fabrikat som användes tillsammans med dataloggern skulle enligt uppgift vara kalibrerad vid leveransen. Under måndagseftermiddagen framkom emellertid tvivel på CO₂-mätarens tillförlitlighet och därför fattades beslut om att denna skulle omkalibreras, vilket skedde under tisdagen. Omkalibreringen blev såpass omfattande att mätvärdena från måndagen och tisdagen ej kunde användas.

Under onsdagen utförde SIB mätningar på lokal och nominell luftomsättning samtidigt som mätningar utfördes vid två arbetsplatser.

Spjällen "reglerades" enligt följande:

- Onsdag fram till cirka 15.30 full återluftmängd på båda aggregaten
- Onsdag från cirka 15.30 till torsdag cirka 9.00 kördes båda aggregaten på normaldrift dvs med den inställning som fanns när mätperioden inleddes
- Torsdag cirka 9.00 till fredag cirka 10.15 inställning för cirka 20 % uteluft
- Fredag cirka 10.15 till 17.00 full återluftmängd.

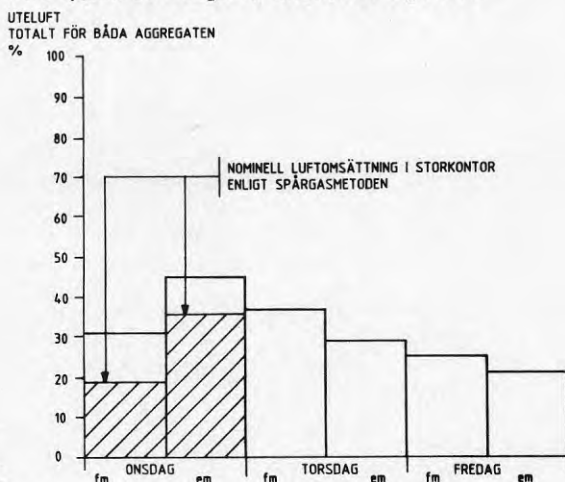
6.3 Resultat

Vid utvärderingen av de på dataloggern registrerade värdena indelades dagen i två delar, förmiddag kl 8.00 - 12.30 och eftermiddag kl 12.30 - 17.00. Medelvärden har beräknats för

- tillförd värmeeffekt för vardera aggregatet
- andel uteluft för vardera aggregatet
- uteluftens temperatur före aggregatet
- CO₂-halt i uteluften
- CO₂-halt i frånluften från vardera aggregatet samt sammanvägt i förhållande till luftmängderna.

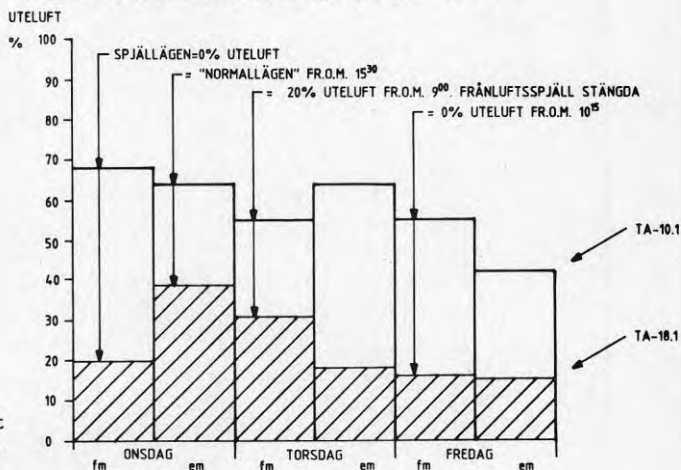
Figur 6.2 redovisar andelen uteluft för vardera aggregatet. Denna har beräknats utifrån uppmätta CO_2 -halter och luftmängder. Av figuren framgår att framförallt TA-10.1 har anmärkningsvärda läckflöden. Under onsdagen var avluftsspjället öppet varvid kunde konstateras att uteluft strömmade baklänges in i avluftskanalen. Under fredagen var avluftsspjället stängt. Då sjönk uteluftsandelen från 60-70 % till 40-55 %.

Även TA-18.1 redovisar hög andel uteluft vid stängda uteluftsspjäll. Som lägst är andelen kring 15 %.



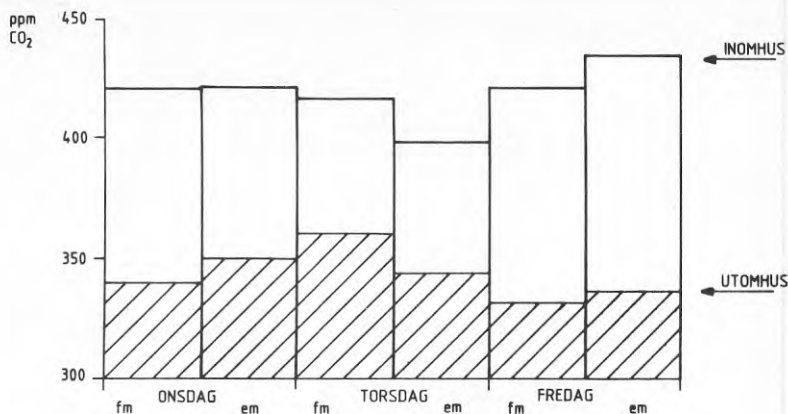
Figur 6.2
Andel uteluft för
vardera aggregatet.

Andelen uteluft totalt för båda aggregaten redovisas i figur 6.3. Under onsdagen kan denna jämföras med mätning av nominell luftomsättning enligt spärgasmetoden.



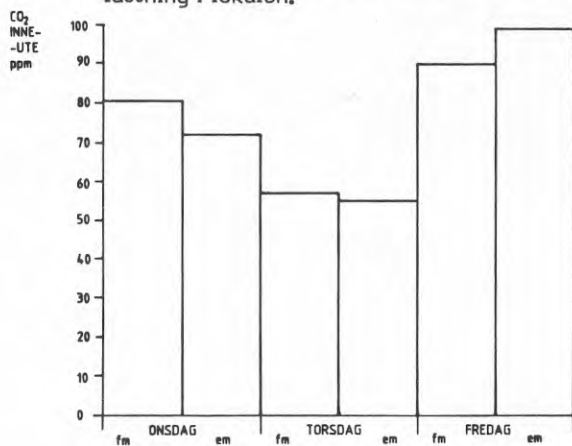
Figur 6.3
Andel uteluft totalt
för båda aggregaten.

Figur 6.4 visar halterna CO_2 i utomhusluften och i frånluften. Det sistnämnda värdet är representativt för lokal-luften.



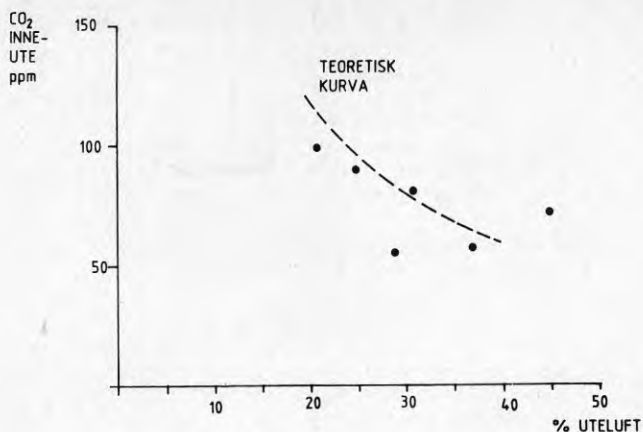
Figur 6.4 CO₂-halt i utomhusluft och i frånluft.

Skillnaden i CO₂-halt mellan lokalluften och utomhusluften kan man se i figur 6.5. Trots stängda spjäll blir ökningen inte mer än cirka 100 ppm över utelufts-nivån. Detta beror främst på spjällens dåliga funktion men har även andra orsaker såsom brister i byggnadens täthet och låg personbelastning i lokalen.



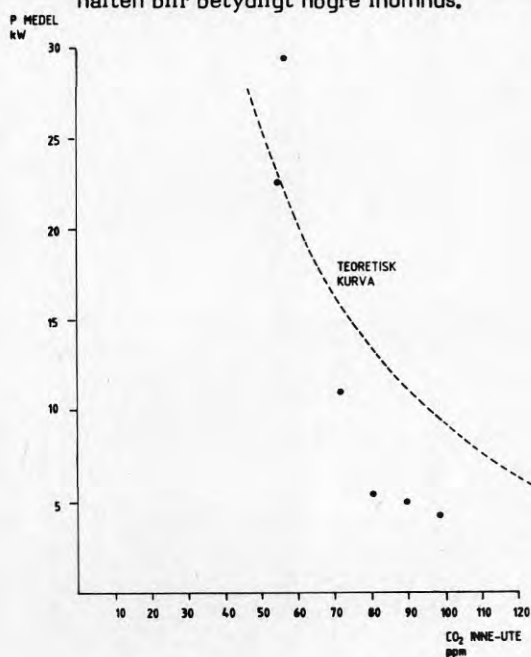
Figur 6.5 Skillnad i CO₂-halt mellan lokalluft och utomhusluft.

Figur 6.6 visar andelen uteluft i förhållande till CO₂-halten. Minskad uteluftsandel leder ju till högre CO₂-halt inomhus. Detta framgår också av figuren, Antalet värden är dock för litet för att få fram sambandet på ett entydigt sätt vilket emellertid visas av den inlagda teoretiska kurvan.



Figur 6.6 CO₂-halten inomhus i förhållande till andel uteluft för båda aggregaten.

Figur 6.7 är av stort intresse. Av figuren framgår att om man kan tillåta sådana luftomsättningar som ger något högre CO₂-halt inomhus reduceras energianvändningen drastiskt. Den högsta uppmätta effekten (kring 30 kW) kan anses representera de förhållanden som råder under normal drift. Om man kan tillåta en CO₂-halt som endast är 25 - 30 ppm högre inomhus minskar avgiven värmeeffekt från 30 till 5 kW. Ytterligare minskningar av värmeeffekten kan uppnås men då måste man också kunna acceptera att CO₂-halten blir betydligt högre inomhus.



Figur 6.7 Energianvändning vid varierande CO₂-halt inomhus.

Mätningar av lokal och nominell luftomsättning gav till resultat att vid de två utvalda arbetsplatserna var ventilationseffektiviteten mellan 92 - 94 % under mätningar med "full återluftsmängd". När spjällen stod i "normallägen" ändrades förhållandena något. Vid arbetsplatsen längst in i landskapet blev resultatet 73 - 79 % och vid den andra arbetsplatsen 95 - 100 %. Allmänt kan sägas att några större skillnader i ventilationseffektivitet inte föreligger mellan olika arbetsplatser i kontoret. Den nominella luftomsättningen blev 1,1 - 1,2 omsättningar/timme under mätning med "full återluftsmängd" och omkring 2,2 omsättningar/timme när spjällen stod i "normallägen".

Onsdagens arbetsplatsmätningar omfattade lufthastighet, lufttemperatur, koldioxidhalt och fältstyrka. Lufthastigheten var genomgående låg. I genomsnitt var hastigheten mindre än 0,05 m/s och inget värde översteg 0,2 m/s. Koldioxidhalten var i genomsnitt 540 ppm att jämföras med 420 ppm i frånluften. Däremot skiljer det på temperaturen med i genomsnitt 0,8°C, vilket är förvånansvärt eftersom arbetsplatserna är belägna intill varandra. I tabell 6.8 redovisas ytterligare mätvärden.

Fältstyrkan mättes till -0,3 kV/m på arbetsplatsen längst in i storkontoret och -0,8 kV/m vid den andra. Vid mätningarna var arbetsplatserna bemannade. Som jämförelse mättes även några olika obemannade arbetsplatser. Vid dessa var fältstyrkan +1 kV/m. Önskvärt är att fältstyrkan ligger kring ± 0 kV/m.

Mätpunkt	Temperatur °C	Lufthastighet m/s	Koldioxidhalt ppm
Arb.plats 4:1			
- 0,1 m ö.g.	20,7	<0,05	500
- 1,2 "	21,0	<0,05	550
- 1,8 "	21,0	<0,05	585
- Genomsnitt	20,9	<0,05	545
Arb.plats 4:2			
- 0,1 m ö.g.	21,3	<0,05	515
- 1,2 "	21,8	<0,05	540
- 1,8 "	22,0	<0,05	555
- Genomsnitt	21,7	<0,05	535

Tabell 6.8. Mätvärden från arbetsplatsmätningar.

Studerar man de olika diagrammen från enkäten (se bilaga 2) finner man ett par tendenser. Ser man på temperaturen finner man att de flesta anser den var bra. Av de som inte var nöjda fann flertalet att temperaturen var för låg. De som inte var nöjda återfanns i åldersgrupperna 20-30 år respektive 41-50 år. I båda fallen tyckte man att temperaturen var för låg. I de högre åldersgrupperna 51-60 år respektive 61-65 år var man däremot nöjda. Det framkom ingen skillnad i temperaturuppfattning mellan grupperna rökare och icke rökare.

Luftfuktigheten var man som helhet nöjd med. Inte någon tyckte att den var för hög. Det var som regel fler som tyckte att luftfuktigheten var låg under eftermiddagen jämfört med förmiddagen.

Man hade inga större problem med drag. De som upplevde drag återfinns främst inom åldersgrupperna 31-40 år respektive 41-50 år. Gruppen rökare upplevde lite mer drag än gruppen icke rökare.

Belysningen var man nöjd med. Det finns dock en andel på i medeltal 18 % som upplevde reflexer.

Frågan om ljudnivån var tydligen felformulerad eftersom en del undvek att svara på den. Tydligen fann inte alla något

lämpligt alternativ. Intrycket är dock att de flesta var nöjda med ljudnivån.

Den sista rumsklimatfrågan behandlade lukt. Syftet med denna fråga var att även undersöka uppfattningen om CO₂-halt. Även här blev svaren som helhet positiva. Ett märkbart undantag var tisdag eftermiddag då matos från intilliggande matservering tydligen trängde in i lokalen. De som tyckte att det kändes inestängt återfinns främst i åldersgrupperna 20-50 år samt bland gruppen icke rökare.

Som helhet finner man således att rumsklimatet är ganska bra. De som inte är nöjda återfinns främst i de lägre åldersgrupperna.

Figur 6.9 - 6.12 visar ett försök att i diagramform åskådliggöra klimatuppfattningen enligt enkät i förhållande till inomhusklimatet (CO₂-halten) enligt mätvärden.

Vi har använt oss av följande värden på klimatuppfattning:

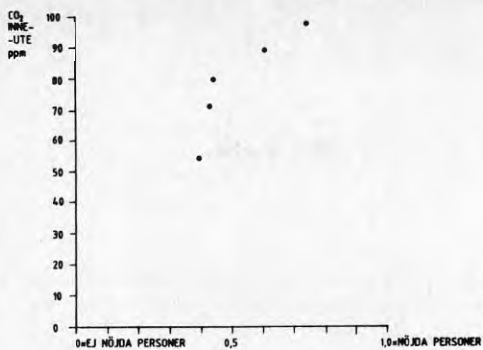
Temperatur för hög = 0 lagom = 1 för låg = 0

Luftfuktighet för hög = 0 lagom = 1 för låg = 0

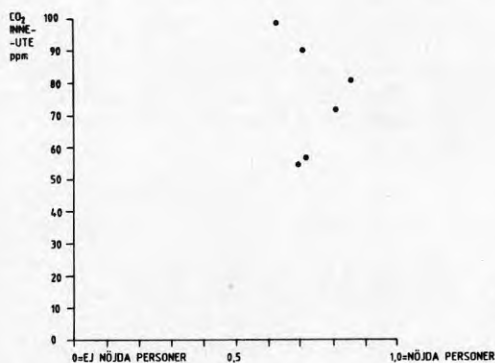
Drag mycket = 0 något = $\frac{1}{2}$ inget = 1

Lukt avgaser, os = 0 instängt = 0 märks ej = 1

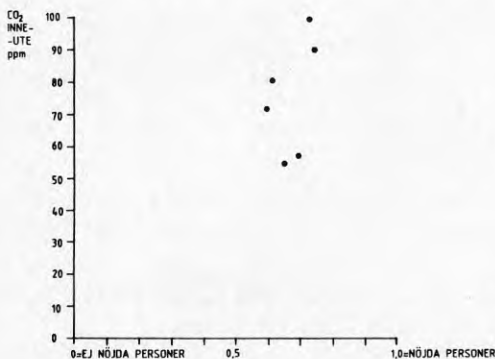
Vi har summerat svaren och beräknat medelvärden. Ju närmare värdet 1 vi kommer desto positivare är klimatuppfattningen. Diagrammen visar att klimatuppfattningen, som i stort är positiv, är indifferent i förhållande till den uppmätta CO₂-halten. Möjligen kan man i förhållande till temperaturen se en tendens till att högre CO₂-halt ger större andel nöjda personer. En kontroll mot uppmätta temperaturvärden påvisar dock inget samband.



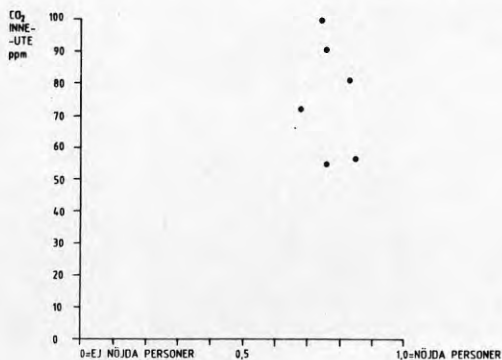
Figur 6.9
Temperaturuppfattning i förhållande till CO₂-halt inomhus.



Figur 6.10
Fuktuppfattning i förhållande till CO₂-halt inomhus.



Figur 6.11
Draguppfattning i förhållande till CO₂-halt inomhus.



Figur 6.12
Luktuppfattning i förhållande till CO₂-halt inomhus.

6.4 Värdering

Som helhet blev värdet av mätfasen inte helt det avsedda. Som framgått ovan var installationerna i så dåligt skick att försök att styra efter CO₂-halten inte kunde göras. Dessutom fick mätvärdena från måndagen och tisdagen borträknas på grund av CO₂-mätarens (typ Siemens) dåliga kalibrering.

Installationernas dåliga skick innebar att resultatet påverkades i negativ riktning. Bland dessa omständigheter kan nämnas:

- Luftbehandlingsaggregatets spjälldelar var till stor besvikelse. Läckluftandelen (vid helt stängda spjäll) blev inte vid något tillfälle lägre än kring 20 %. Detta får anses vara helt oacceptabelt eftersom detta faktum begränsar möjligheterna till god energihushållning i kombination med tillfredsställande arbetsmiljöförhållanden.
- Anledningen till spjälldelarnas dåliga funktion är främst avsaknaden av tätningsanordningar mellan spjällbladen. De olika länkarmarnas inbördes styrning är inte heller fria från "glapp" vilket leder till att bladen stänger i olika hög grad. Vid det stora aggregatet finns spjällmotorn på ena sidan medan länkarmarna sitter oåtkomliga på aggregatets baksida. Frånsett underhållsaspekten får man troligen också påverkan på spjällaxlarna genom skjuvningskrafter.
- Att det lilla aggregatet hade så stor andel uteluft berodde främst på obalansen mellan tilluft och frånluft och att olika stor tryckuppsättning över fläktarna inte medgav "full återluftdrift". Tryckdifferensen över spjällbladen i kombination med den bristande tätheten förklarar det dåliga resultatet.

Trots ovanstående omständigheter kom en hel del resultat av intressant värde fram. Bland dessa kan följande framhållas.

- CO₂-mätarens (Siemens) funktion var starkt beroende av en fackmannamässigt utförd kalibrering.
- Som installationerna "normalt" fungerar under den kalla årstiden är energiåtgången onödigt hög. För en minskning av CO₂-halten på cirka 25 ppm inomhus får man offra en effekt på (under mätperioden) 30-5 = 25 kW. Under denna vecka innebär detta med drifttiden 50 timmar totalt en onödig energiåtgång på 25 x 50 = 1250 kWh. "Nödvändig" energiåtgång kan beräknas 5 x 50 = 250 kWh. Den onödiga energianvändningen innebär vid marginalkostnaden 22 öre/kWh en merkostnad på cirka 220 kronor på en vecka.
- Spärgasmätningarna redovisade en lägre luftomsättning än

den indirekta mätningen genom att jämföra CO₂-halter. En anledning kan vara de olika mätmetodernas noggrannhet. Spärgasmätningarna bör man kunna lita mest på.

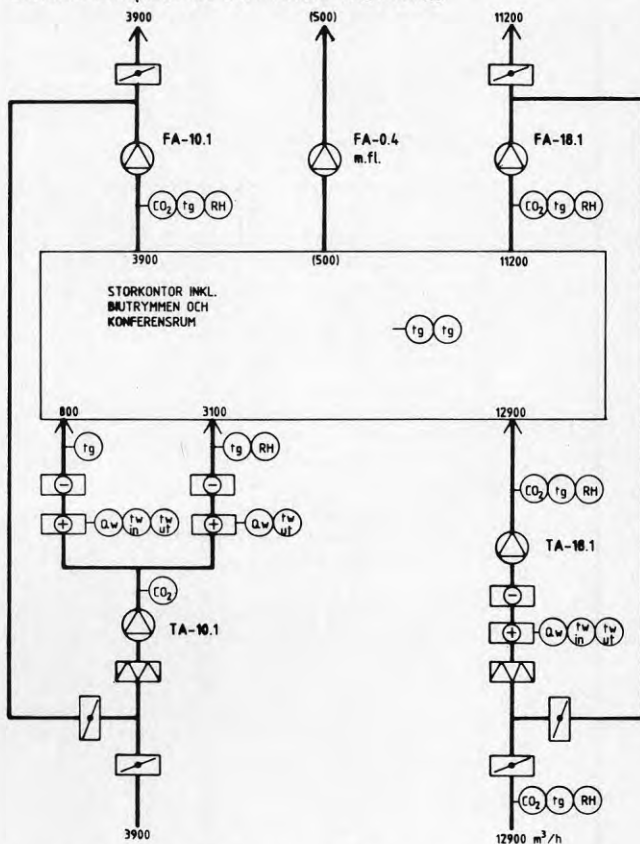
- Ventilationseffektiviteten var fullt acceptabel vilket troligen främst beror på att nya tilluftsdon av högre kvalitet än de ursprungliga hade installerats.
- Vid mätning av det elektrostatiska fältet har noterats värden som är alltför höga. En ur statisk-elektrisk synpunkt neutral miljö bör eftersträvas. Arbetsplatsmätningarna visade i övrigt inga onormala värden. Tvärtom får de flesta värdena anses vara mycket goda ur komfortsynpunkt.

7. MÄTFAS 2

7.1 Mätplan

De mätpunkter som var anslutna till dataloggern var 26 st placerade i enlighet med figur 7.1.

Lufttemperaturen mättes i 8 punkter. För övrigt mättes i samma mätpunkter som under mätfas 1.



Figur 7.1 Systemschema med inmarkerade mätpunkter. Angivna luftflöden avser manuellt uppmätta värden.

Vid arbetsplatsmätningarna mättes denna gång även relativ fukthalt och koncentrationen av luftjoner. Mätningar av lokal och nominell luftomsättning genomfördes lika mätfas 1.

För att få möjlighet till hög CO₂-halt inomhus beslöts att luftflödet från de separata frånluftsfläktar som betjänar bl a toaletter skulle minskas radikalt. Eftersom fläktarna även betjänar andra hyresgäster kunde vi inte stänga av dem. I stället täcktes kontrollventilerna med bred tejp. I vissa fall t ex i toaletter lämnades en liten springa. Avsugningen från personalrum 1 (300 m³/h) kvarstod oförändrat. Detta rum används som pausrum och endast där är rökning tillåten. Totalt bör frånluftsflödet ha minskat från 2130 m³/h (nominellt) till cirka 500 m³/h.

7.2 Genomförande

Under perioden mättes och registrerades med hjälp av dataloggern. Dessutom utfördes arbetsplatsmätningar, spär-gasmätningar och vissa manuella mätningar. Perioden omfattade måndag-fredag vecka 9 år 1984.

Den befintliga styr- och reglerutrustningen var i drift under hela mätperioden med undantag av spjällstyrningen, se under 5.3.

Under onsdagen utförde SIB mätningar på lokal och nominell luftomsättning samtidigt som mätningar utfördes vid två arbetsplatser.

Spjällstyrningen reglerades enligt följande:

- Under måndagen börvärde 100 mV, vilket motsvarar maximal CO₂-halt. I praktiken innebar detta helt stängda spjäll mot uteluften.
- Under tisdagen lika måndagen men med den förändringen att spjällen mot uteluften var preparerade genom att breda tejprensor klistrades längs med spjällbladen i syfte att minimera läckflödet genom de stängda uteluftsspjällen för att på så vis få upp CO₂-halten inomhus så mycket som möjligt.
- Under onsdagen fram till cirka klockan 15 styrdes lika tisdagen. Därefter revs tejprensorna av och börvärdena ändrades så att en CO₂-halt kring 525 ppm kunde erhållas.
- På onsdag kväll ändrades inställningen till 80 mV för TA-10.1 och 88 mV för TA-18.1. Denna inställning kvarstod under hela torsdagen.
- På torsdag kväll ändrades inställningen till 87 mV för TA-10.1 och 92 mV för TA-18.1. Denna inställning kvarstod mätperioden ut.

7.3 Styrning

Under hela mätperioden styrdes luftväxlingen för vardera aggregatet genom spjällstyrning med AF:s nyutvecklade CO₂-analysator. Som reserv fanns en Siemens-analysator inkopplad för att kunna användas om AF-analysatorn inte skulle klara uppgiften. Siemens-analysatorn behövde dock inte nyttjas för styrningen utan båda AF-analysatorerna fungerade utmärkt under hela driftsperioden.

Analysatorernas utsignal registrerades under hela mätperioden på en 2-kanalskrivare för TA-10.1 och en för TA-18.1. På så vis kan jämförelse ske mellan de båda analysator-typerna. Dessutom framgår hur reglerförloppet ser ut och med vilken noggrannhet styrningen sker.

2-kanalskrivarnas remsor har bearbetats så att de registrerade mV-signalerna omräknats till CO₂-halt i ppm. Dessa värden har inritats i diagram, se bilaga 4 figur 1-10.

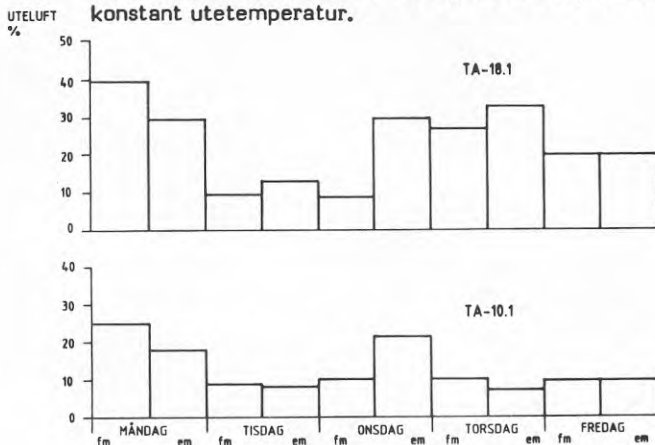
Av diagrammen framgår:

- Båda analysator typerna följs åt med god noggrannhet. Undantag möjligen för fredagen vid det stora aggregatet där värdena av okänd anledning kommer på olika nivåer.
- Siemens-analysatorn är känsligare för förändringar, medan AF-analysatorn reagerar mera dämpat.
- Dygnsrytmen vad avser antalet personer i lokalerna framgår klart. Under morgonen och förmiddagen ökas värdena efterhand och når ett maximalt värde vid 10.00 -11.00. En viss avmattning i ökningstakten kring klockan 9.00 beror på förmiddagskaffet som dricks i pausrummet. Lunchtiden framgår klart i diagrammen, då sjunker CO₂-halten inomhus, för att på eftermiddagen åter öka. Efter 16.00 sjunker CO₂-halten. Värden mellan 17.00 och 7.00 är registrerade men är ointressanta eftersom fläktarna då står stilla.
- Under torsdagen har styrenheten varit inställt på ett börvärde och under fredagen på ett annat. Från dessa två dagar kan man bäst se hur styrning med konstant inställd CO₂-halt blir. Det framgår då att diagrammen från det lilla och det stora aggregatet ser delvis annorlunda ut. Från det lilla aggregatet är resultatet mera obestämt. Från det stora aggregatet däremot ser man klart att regleringen har fungerat utmärkt och att CO₂-halten konstanthållits väl. Anledningen till denna skillnad mellan aggregaten är troligen den, att det stora aggregatet med sitt betydligt större luftflöde dominerar lokalens klimatstyrning.

7.4 Resultat

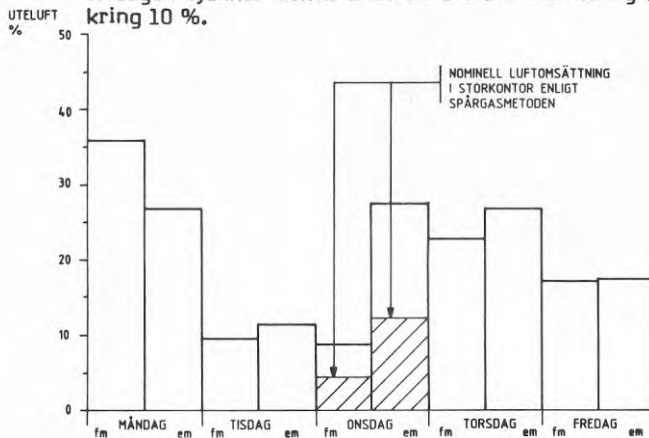
Vid utvärderingen av de på dataloggern registrerade värdena, indelades dagen liksom under mätfas 1 i två delar,

förmiddag kl 8.00 -12.30 och eftermiddag kl 12.30 - 17.00. Medelvärdena har beräknats för samma mätvärden som under mätfas 1 samt för energianvändning normerat till konstant utetemperatur.



Figur 7.2 Andel uteluft för vardera aggregatet.

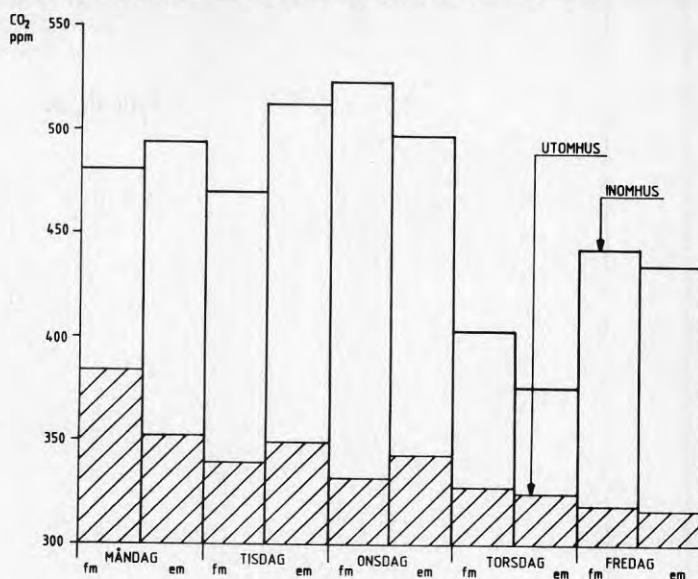
Figur 7.2 redovisar andelen uteluft för vardera aggregatet. Denna har beräknats utifrån uppmätta CO_2 -halter och luftmängder. Av figuren framgår att trots att spjällen kompletterats med tätningslister kvarstår ett anmärkningsvärt stort läckflöde på båda aggregaten. Detta visas av måndagsvärdena. Måndag kväll tejpades de horisontella springorna. Under tisdagen sjunker också andelen uteluft från kring 30 % till kring 10 %.



Figur 7.3 Andel uteluft totalt för båda aggregaten.

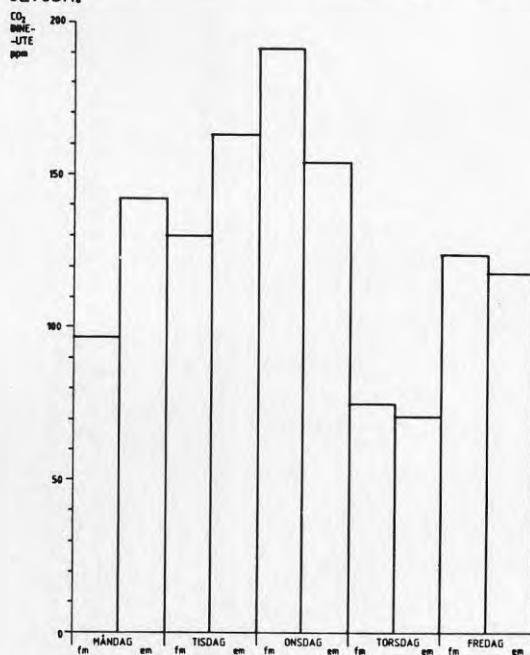
Andelen uteluft totalt för båda aggregaten redovisas i figur 7.3. Under onsdagen kan denna jämföras med mätning av nominell luftomsättning enligt spargasmetoden. Liksom under mätfas 1 visar spargasmätningarna ett lägre värde på

Luftomsättningen än de dataloggerinsamlade värdena.



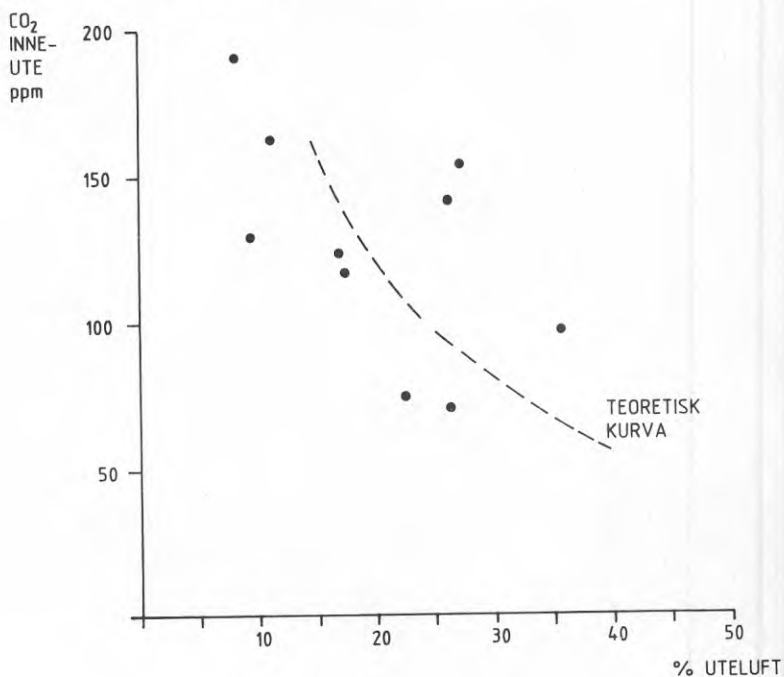
Figur 7.4 CO₂-halt i utomhusluft och i frånluft.

Figur 7.4 visar halterna CO₂ i utomhusluften och i frånluft. Det sistnämnda värdet är representativt för lokal-luften.



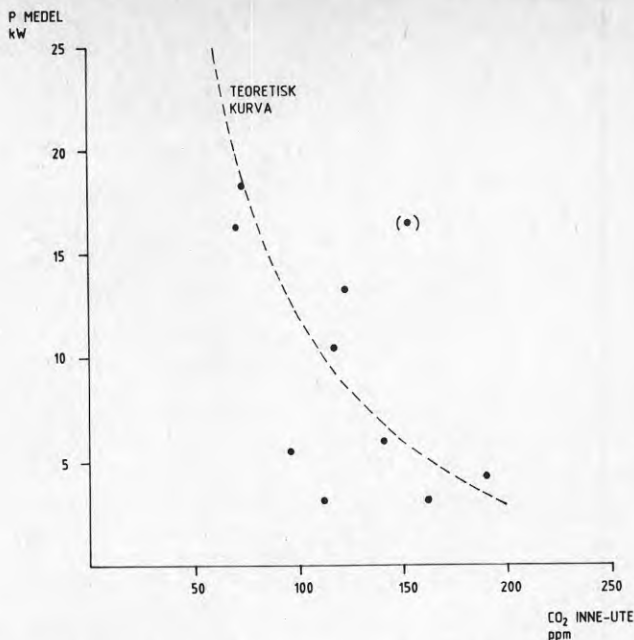
Figur 7.5 Skillnad i CO₂-halt mellan lokalluft och utomhusluft.

Skillnaden i CO_2 -halt mellan lokalluften och utomhusluften framgår av figur 7.5. Som mest blir inomhusvärdet kring 200 ppm större än utomhusvärdet. Detta är dubbelt så stort som under mätfas 1. Uteluftandelen är också kring hälften av vad den var under mätfas 1.



Figur 7.6 CO_2 -halten inomhus i förhållande till andel uteluft för båda aggregaten.

Figur 7.6 visar andel uteluft i förhållande till CO_2 -halten. Med relativt stor spridning i värdena framgår det väntade sambandet att minskad andel uteluft leder till högre CO_2 -halt inomhus. En teoretiskt beräknad kurva enligt avsnitt 2 har lagts in i figuren.



Figur 7.7 Total effekt på luftbehandlingsaggregatens luftvärmväxlare i förhållande till CO₂-halten.

Figur 7.7 är liksom motsvarande figur från mätfas 1 av stort intresse. Liksom under förra mätperioden varierar energianvändningen kraftigt vid olika CO₂-halter inomhus. De båda resultaten kan sägas bekräfta varandra och indikerar att energibehovet för ventilationen kan reduceras med 80 till 90 % jämfört med anläggningens normala drift vilket också visas med den teoretiskt beräknade kurvan. Energibesparingen avser de utomhusförhållanden som rådde under mätperioden.

Mätningar av lokal och nominell luftomsättning påvisade att ventilationseffektiviteten var ungefär lika eller något bättre än under förra mätperioden. Vid "full återluft" erhöles mellan 105 och 113 % och under eftermiddagen då inomhusvärdet 525 ppm eftersträvades mellan 93 och 102 %. Ventilationseffektiviteten visar således ingen större differens. Detta gäller båda dessa två arbetsplatser och som helhet för storkontoret. Den nominella luftomsättningen blev 0,52 - 0,56 omsättningar/timme vid "full återluft", vilket är ungefär hälften av motsvarande värde under mätfas 1. Under eftermiddagen erhöles 1,25 - 1,72 omsättningar/timme.

Onsdagens arbetsplatsmätningar visade att lufthastigheten i vistelsezonen liksom tidigare var låg. I genomsnitt noterades mindre än 0,05 m/s medan högsta noterade värde var 0,05 m/s. Koldioxidhalten var i genomsnitt 725 ppm på den ena arbetsplatsen och 755 ppm på den andra. Lufttemperaturen var under denna mätning lika på båda arbetsplatserna, nämligen 21,4°C. I tabell 7.12 redovisas ytterligare mätvärden.

Fältstyrkan vid arbetsplatsen längst in i i storkontoret mättes upp till +2 kV/m på förmiddagen och +3 kV/m på eftermiddagen. Vid den andra arbetsplatsen blev motsvarande värden +1,6 kV/m resp -0,8 kV/m. Vid mätningarna var arbetsplatserna bemannade. Även koncentrationen av luftjoner mättes under onsdagseftermiddagen. Mätningarna visade att koncentrationen av plusjoner var under 50 st/cm³ medan koncentrationen av minusjoner inte var mätbart.

Enkäten gav i stort samma resultat som under förra mätfasen (se bilaga 3). Temperaturen ansågs vara låg i början av veckan och därefter mera lagom. Åldersgrupperna 30-50 år tyckte som helhet att temperaturen var förskjuten till att vara för låg, medan åldersgrupperna över 50 år tycker att temperaturen snarare är lite för hög. Någon direkt skillnad mellan rökare och icke rökare kunde inte märkas. Om man jämför enkätsvaren med uppmätt temperatur finner man inget samband.

Luftfuktigheten ansågs som regel vara för låg. Detta är i och för sig riktigt eftersom den var 24 - 29 % under mätperioden. Den ansågs däremot vara högre i slutet av veckan, vilket inte stämmer med de faktiska förhållandena.

Vad avser drag fick man i stort samma resultat som under mätfas 1, men svaren är nu mera jämnt fördelade mellan åldersgrupperna. I stället kan man se att icke rökare upplever det som mer dragigt än rökare, vilket är något förvånande.

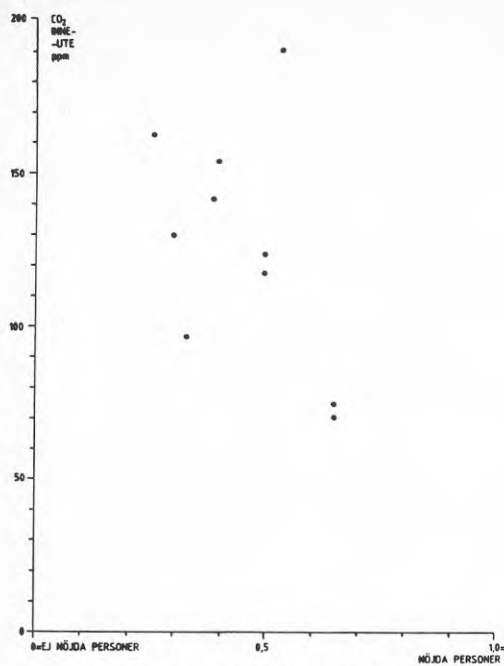
Belysningen var man liksom under mätfas 1 nöjd med. Det fanns dock en andel på i medeltal 13 % som upplevde reflexer.

Frågan om ljudnivå var omformulerad. Alternativen var lagom, ibland bullersamt och störande högt. Total fördelning blev 43 %, 25 % resp 27 %, dvs ganska jämnt mellan de tre alternativen. En viss förskjutning finns dock åt det mer positiva svaret "lagom".

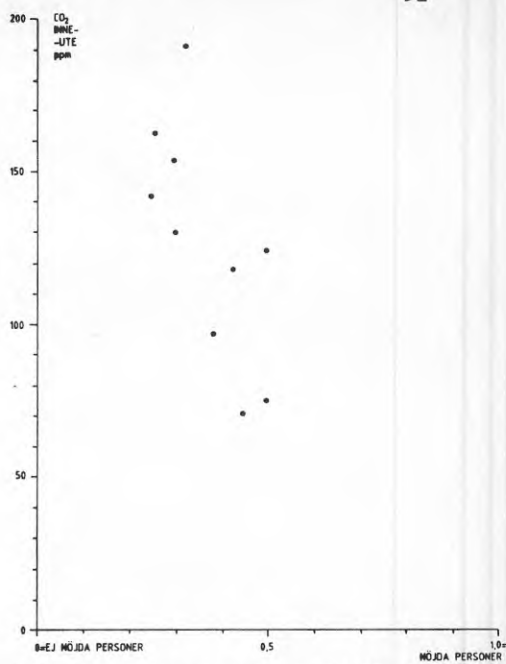
Att vi under mätfas 2 hade en högre CO₂-halt inomhus återspeglas, om än svagt, i enkätsvaren på lukt. En större andel upplever klimatet som instängt. Denna gång var det främst de i åldersgrupperna över 40 år som reagerade. Ser man på rökvanorna finner man att denna gång fler icke rökare anser det instängt. I jämförelse med förra mätfasen är svaren mer utjämnade mellan åldersgrupperna.

Liksom under mätfas 1 visas i figur 7.8 - 7.11 ett försök att i diagramform åskådliggöra klimatuppfattningen enligt enkät i förhållande till inomhusklimatet (CO₂-halten) enligt mätvärden. Vi har använt oss av samma värden på klimatuppfattning som i mätfas 1. I diagrammen för temperatur och luftfuktighet finns en viss samstämmighet i värdena. Det finns också en svag tendens att högre CO₂-halt leder till färre nöjda personer. Även diagrammet över lukt och drag visar samma tendens, dock finns här ett mera svagt

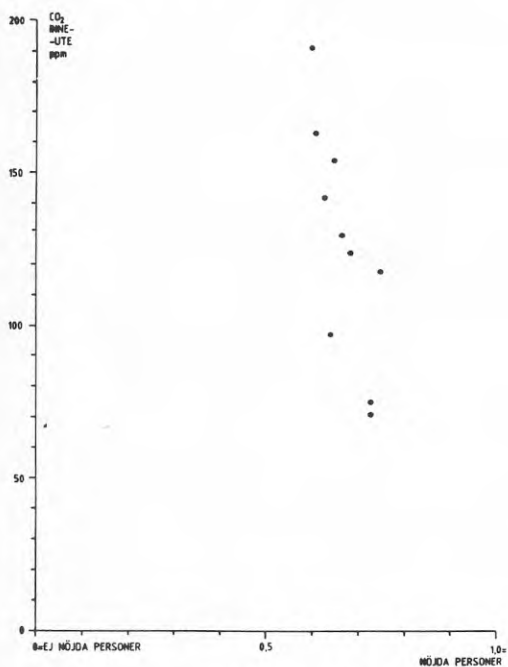
samband. Man kan således finna ett visst samband mellan de olika faktorerna som hänför sig till klimatuppfattningen och CO₂-halten men detta återspeglas inte i de faktiska mätvärdena över temperatur och luftfuktighet. Där sambandet borde vara starkast (lukten) är det istället svagast.



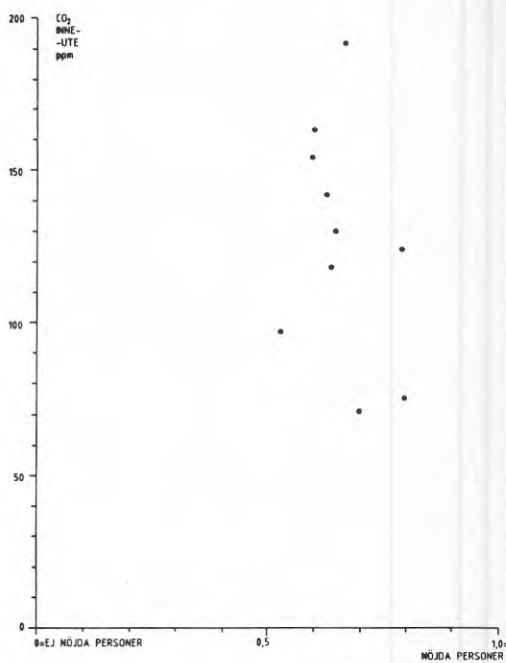
Figur 7.8 Temperaturuppfattning i förhållande till CO_2 -halt inomhus.



Figur 7.9 Fuktuppfattning i förhållande till CO_2 -halt inomhus.



Figur 7.10 Draguppfattning i förhållande till CO_2 -halt inomhus.



Figur 7.11 Luktuppfattning i förhållande till CO_2 -halt inomhus.

Mätpunkt	Temperatur °C	Fukt- halt %	Luft- hastighet m/s	Kol- dioxid- halt ppm
Arb.plats 4:1				
- 0,1 m ö.g.	21,0	24,2	<0,05	726
- 1,2 "	21,5	24,9	<0,05	758
- 1,8 "	21,7	25,0	<0,05	781
- Genomsnitt	21,4	24,7	<0,05	755

Arb.plats 4:2				
- 0,1 m ö.g.	20,9	24,4	<0,05	721
- 1,2 "	21,5	24,5	<0,05	732
- 1,8 "	21,8	24,6	<0,05	723
- Genomsnitt	21,4	24,5	<0,05	725

Tabell 7.12 Lokala arbetsplatsmätningar

7.5 Värdering

Mätfas 2 blev av stort intresse. Installationerna fungerade i stort sett bra och inga värden behövde borträknas. Försöken att styra luftväxlingen så att konstant CO₂-halt kunde hållas inomhus utföll väl. Försöken att uppnå så hög CO₂-halt inomhus att detta gav ett klart utslag i enkätsvaren lyckades däremot inte helt.

Kvarstående brister i installationernas skick påverkade emellertid resultatet:

- Luftbehandlingsaggregatens spjälldelar var trots utförda tätningsåtgärder alltför otäta. Som lägst uppnåddes kring 10 % läckageflöde.
- Vid det lilla aggregatet hade man trots en ny injustering problem med balansen mellan tilluft och frånluft. Drift med "full återluft" inte var möjlig utan att uteluft strömmade baklänges in i avluftskanalen. Detta är otillfredsställande men avhjälpes provisoriskt under mätfasen.

Av de resultat som framkom under mätfasen märks främst:

- Styrning efter konstant inomhushalt av CO₂ fungerade utmärkt.
- Den nyutvecklade CO₂-analysatorn styrde under hela mätfasen och fungerade bra.
- Liksom under förra mätfasen framgår att energiåtgången under "normaldrift" är flera gånger större än vad som kan anses rimligt.
- Spärgasmätningarna redovisar liksom under förra mätfasen en lägre luftomsättning än den indirekta mätningen genom att jämföra CO₂-halter.
- Vid mätning av det elektrostatiska fältet har liksom under mätfas 1 noterats alltför höga värden.
- Vid uppmätning av luftens innehåll av negativa (n⁻) och positiva (n⁺) joner har noterats mycket låga värden vilket brukar vara fallet i modern kontorsmiljö. Låga halter av joner återspeglar bl a föroreningshalten i luften och det kan också påpekas att främst de negativa jonerna påverkar känslan av välbefinnande. Man bör eftersträva att n⁻ ej understiger 300 joner/cm³. Arbetsplatsmätningarna i övrigt bekräftade i stort det goda resultat som uppnåddes under mätfas 1.

8. SLUTSATSER

8.1 Energiåtgång och CO₂-halt

Resultatet av de båda mätfaserna påvisar klart att energianvändningen vid nuvarande driftsätt är onödigt stor. Ute-luftsflödet är cirka 45 % av totalflödet eller omkring 7500 m³/h. På total area 1270 m² innebär detta ett uteluftsflöde av 5,9 m³/h, m² (1,64 l/s, m²), som kan jämföras med Svensk Byggnorms nuvarande minimikrav på 1,26 m³/h, m² (0,35 l/s, m²). Dessa förhållanden gav en förhöjning av CO₂-halten på 50 - 60 ppm över utomhusvärdet. Med utgångspunkt från de dataloggerbaserade mätningarna blir total årlig energianvändning omkring 75 MWh, till en kostnad av cirka 16 500 kronor vid marginalkostnaden 22 öre/kWh.

Om uteluftsflödet minskar till 15 %, motsvarande 1,98 m³/h, m² (0,55 l/s, m²) får man en förhöjning av CO₂-halten inomhus på omkring 120 ppm över utomhusvärdet. Detta motsvarar de förhållanden som rådde under fredagen i mätperiod 2. På samma sätt som ovan har vi fått fram en årlig energianvändning på omkring 25 MWh, motsvarande en besparing på 65-70 % i förhållande till ovanstående förhållanden.

10 % uteluftsflöde motsvarar ungefär Svensk Byggnorms nuvarande minimikrav. Förhöjningen av CO₂-halten blev då omkring 200 ppm över utomhusvärdet. Detta motsvarar förhållandena under onsdag förmiddag, mätperiod 2. Mindre uteluftsandel än 10 % kunde vi inte uppnå.

De i Svensk Byggnorm angivna kraven på allmän ventilation i kapitel 36 säger att: "Allmän ventilation skall anordnas så, att koncentrationen av såväl illaluktande som hälsofarliga luftburna utsöndringsprodukter från personer och byggnads-material samt av tobaksrök hålls på en sådan nivå att sanitär olägenhet inte uppstår samt så, att spridning av luftföroreningar förhindras". De normalt använda dimensionerade värdena är endast exempel på lösningar och metoder som planverket godtar. Man kan därför anse att vid styrning av luftomsättningen lägre värden än 0,35 l/s, m² kan tillåtas så länge byggnormens krav innehålls. Vid större maximal koncentration av personer i en lokal används en annan beräkningsmetod som leder till högre värde på lägsta uteluftsandel. Styrning efter lokalens koldioxidhalt motsvarar därför enligt vårt förmenande väl Svensk Byggnorms krav.

8.2 CO₂-halt och ventilationseffektivitet

För det aktuella mätobjektet erhöles även med maximal minskning av uteluftsflödet en mycket måttlig ökning av CO₂-halten i inomhusluften.

En beräkning av den nominella ventilationseffektiviteten i lokalen har utförts baserad på de uppmätta CO₂-halterna under mätfas 1 och 2 vid de tillfällen då en samtidig mätning av ventilationseffektiviteten utfördes enligt spår-

gasmetoden.

Som framgår av figur 6.3 respektive 7.3 är emellertid överensstämmelsen mellan de båda metoderna dålig. Generellt indikerar metoden baserad på CO_2 -halt en betydligt högre nominell luftomsättning än spargasmetoden vilket delvis kan tillskrivas det faktum att beräkningen baseras på ett medelvärde för CO_2 -halten under förmiddags- respektive eftermiddagspassen medan spargasmätningen skedde under ca en timmes tid. Tar man hänsyn till detta förhållande ger beräkningen baserad på CO_2 -halten något lägre värden på luftomsättningen, men fortfarande betydligt högre än vad spargasmätningen ger. Ytterligare faktorer som påverkar bestämningen av luftomsättningen genom CO_2 -halten är självfallet att produktionen av CO_2 i lokalen kan variera i tiden samt att precisionen i beräkningen blir lidande av att basnivån för CO_2 -halten ligger vid uteluftens halt på ca 350 ppm.

Bestämningen av luftomsättningen i en lokal, eller den nominella ventilationseffektiviteten, genom beräkning från uppmätta CO_2 -halter, måste därför konstateras vara relativt otillförlitlig. Emellertid torde brister i den lokala ventilationseffektiviteten mycket väl kunna konstateras på detta sätt, även om de framräknade absolutvärdena blir beaktade med relativt stora fel.

8.3 Klimatuppfattning och CO_2 -halt

Enkätsvaren från de båda mätperioderna påvisade att klimatuppfattningen vad avser lukt inte alls eller möjligen något svagt påverkades av förhöjda CO_2 -halter. Hög CO_2 -halt borde annars ge luktförändring, men de förhållanden som uppnåddes under mätperioderna var tydligen inte sådana att detta gav något entydigt utslag. Ur denna synvinkel borde således en ytterligare förhöjd CO_2 -halt vara möjlig.

De andra klimatfaktorerna som enkäten omfattade var temperatur, fukthalt och drag. Draguppfattningen var indifferent i förhållande till CO_2 -halten, medan både temperatur- och fuktuppfattningen är mera svårtolkad. Vid de högsta uppmätta CO_2 -halterna kan man dock se viss påverkan i negativ riktning. Temperaturen och relativa fukthalten har endast obetydligt varierat och därför finns inget reellt samband.

Hur svaren varierade beroende på åldersgruppstillhörighet och rökvanor är redovisat i detalj i bilaga 2 och 3. Antalet personer i de olika grupperna är i en del fall så pass litet att slutsaser får tas med stor försiktighet. Under 6.3 och 7.4 redovisas de viktigaste delresultaten.

8.4 Fältstyrka och jonkoncentration

Mätningar av dessa klimatfaktorer påvisade förhållanden

som inte är bra ur miljösynpunkt men som finns i de flesta moderna kontorsmiljöer. Det finns inget känt samband mellan CO₂-halten och dessa faktorer.

Fältstyrkan, som bör vara neutral, påverkas i positiv riktning om

- man undviker syntetiska heltäckningsmattor
- man inte använder gummiskor inomhus
- man kompletterar anläggningen med ett nätgaller i taknivån, anslutet till en elektrisk högspänningsgenerator för positiv spänningsnivå.

Positiva och negativa joner försvinner praktiskt taget helt ur luften sedan den passerat genom ett ventilationssystem. Hur inomhusklimatet påverkas av frånvaron av joner är omtvistat. Koncentrationen av joner kan återställas till normala utomhusförhållanden med inomhusplacerade jon-generatorer.

9. FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE

Som framgår ovan har undersökningens resultat visat att behovsstyrd ventilation har påtagliga fördelar i flera avseenden. Denna undersökning och andra bör därför ge impuls till ytterligare teknisk utveckling i riktning mot kommersiellt tillgängliga system.

Vi föreslår:

1. Den i projektet utvecklade CO₂-analysatorn integreras med ett modernt styr- och reglersystem och appliceras på en ny anläggning, som bör ha bl a följande egenskaper
 - tät byggnadskropp
 - varierande personbelastning och relativt hög maximal belastning
 - endast betjänad av ett ventilationsaggregat av hög kvalitet och av god täthetsklass.

Undersökningen bör medge långtidstester med varierande styr- och reglertekniska egenskaper för jämförelse.

2. Ytterligare undersökningar av sambandet mellan CO₂-halt och klimatuppfattning speciellt vad avser förhöjda CO₂-halter.

1. I Turiel C.D, Hollowell and E Thurston
Variable ventilation control systems: Saving energy and
maintaining indoor air quality. US Department of Energy/
University of California, June 1979.
2. D Södergren, A Punttila
Behovsstyrd Ventilation BFR-rapport R67:1983.
3. B Berglundh & P O Fanger
Koldioxid som indikator for kropslugt.
Laboratoriet for Varme- og Klimateknik, Danmarks
Tekniska Högskola. Feb 1984
4. Finn Drangsholt
Behovsstyrt Ventilation. Erfaringer fra prosjekt i Norge.
SINTEF 15/VVS-seksjonen. Mars 1984
5. Bingham, Gillespie, McQuaid
Development of a miniature, rapidresponse carbon dioxide
sensor. Lawrence Livermore Laboratory. June 28, 1978
6. R Pecsok, D Shields, T Cairns, I.McWilliam
Modern Methods of Chemical Analysis Second edition.
Vohn Wiley & Sons. N.Y.
7. S Thomson and S Schneider
Carbon dioxide and climate: ice and ocean.
Nature Vol 290 5 March 1981

BILAGA 1

Formulär. Upplevelse av inomhus-
klimatet vid Malmö Sjukvårds-
förvaltning

UPPLEVELSE AV INOMHUSKLIMAT INOM LÖNEKONTORET VID MALMÖ SJUKVÅRDSFÖRVALTNING

Enkättilfälle

Arbetsplatsbeteckning.....

Datum fm em

Alder

Under 30 år

31 - 40 år

41 - 50 år

51 - 60 år

Över 60 år

Arbetstid

Heltid

Deltid

Tim/dag

Kön

Kvinna

Man

Rökvanor

Rökare

Ej rökare

Arbetsbelastning normalt

Terminalarbete mer än 4 timmar/dag

Terminalarbete mer än 6 timmar/dag

Rörligt, fysiskt lätt arbete

Annat

Anmärkningar

Uppfattning om rumsklimat på arbetsplatsen:

a) Temperatur För hög Lagom För låg

b) Luftfuktighet För hög Lagom För låg

c) Drag Mycket Något Inget

d) Belysning För hög Lagom För låg

e) Reflexer Störande reflexer Ej störande

f) Ljudnivå Störande hög Ibland bullersam Lagom

g) Lukt Avgaser Instängt Märks ej
Matos

Anmärkningar.....

.....

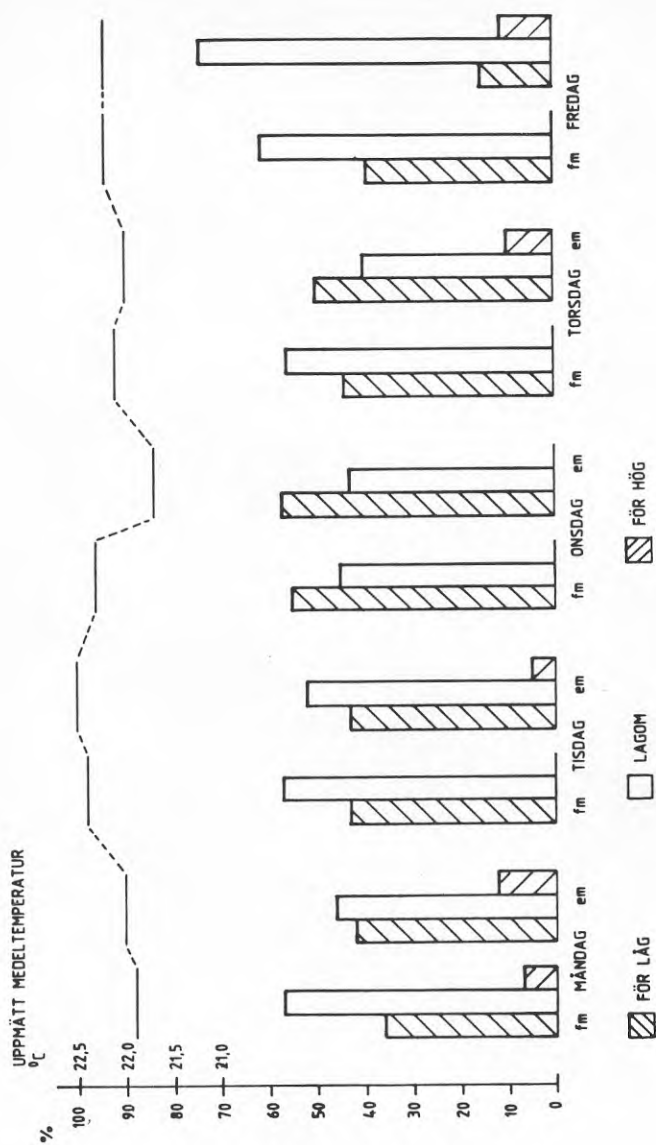
.....

Bilaga 1

Formulär. Upplevelser av inomhusklimat inom lönekontoret vid Malmö Sjukvårdsförvaltning. Använt under mätfas 2.

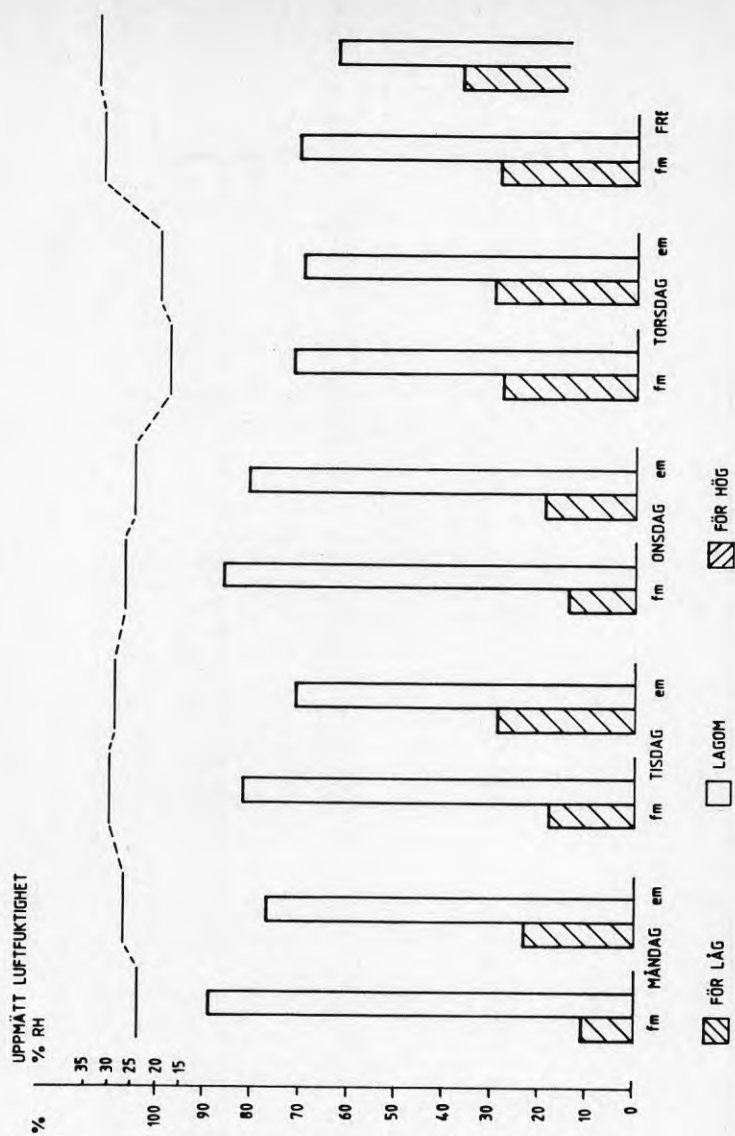
BILAGA 2

Diagram över enkätsvar från
mätfas 1



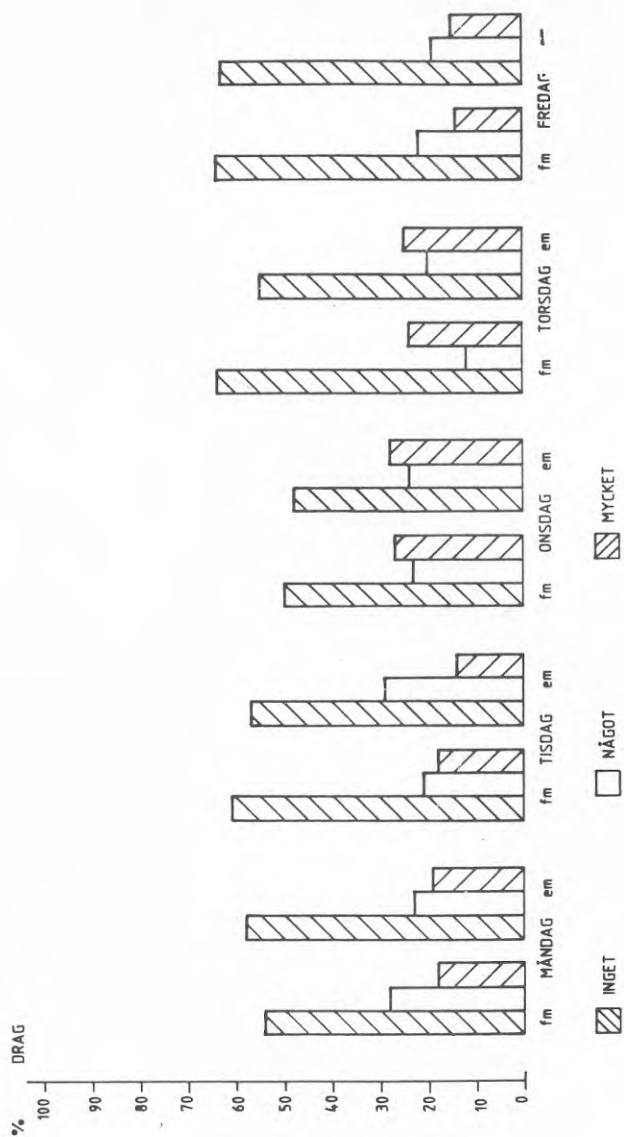
Bilaga 2

Figur 1 Mätfas 1. Uppfattning om rumsklimat på arbetsplatsen, temperatur.



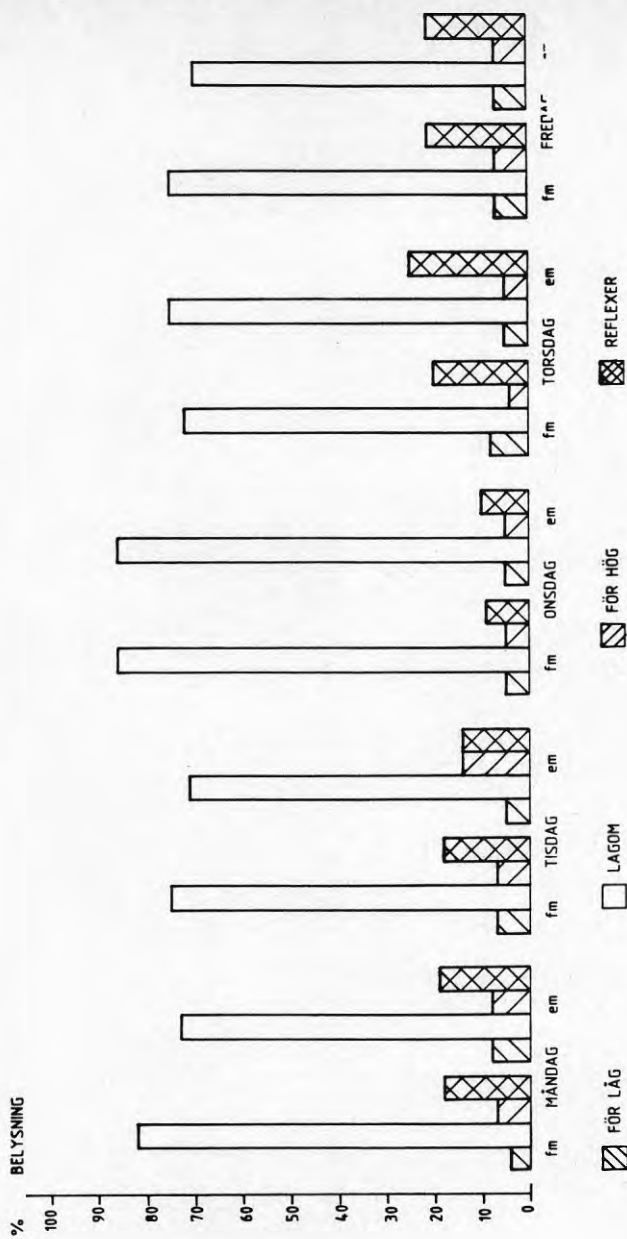
Bilaga 2

Figur 2 Mätfas 1. Uppfattning om rumsklimat på arbetsplatsen, luftfuktighet.



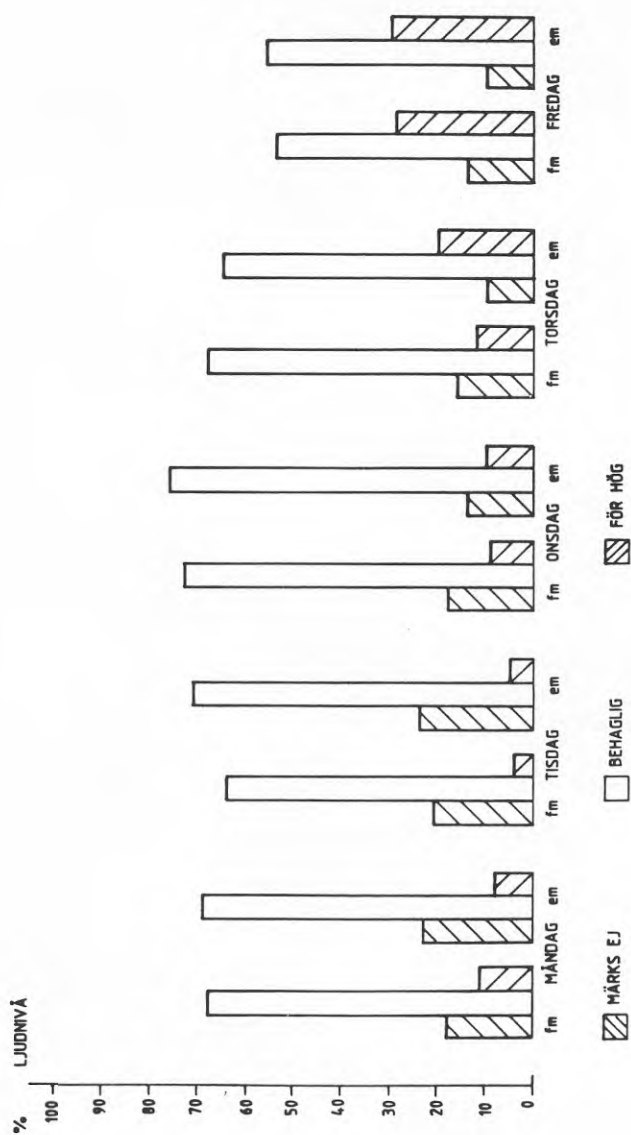
Bilaga 2

Figur 3 Mätfas 1. Uppfattning om rumsklimat på arbetsplatsen, drag.



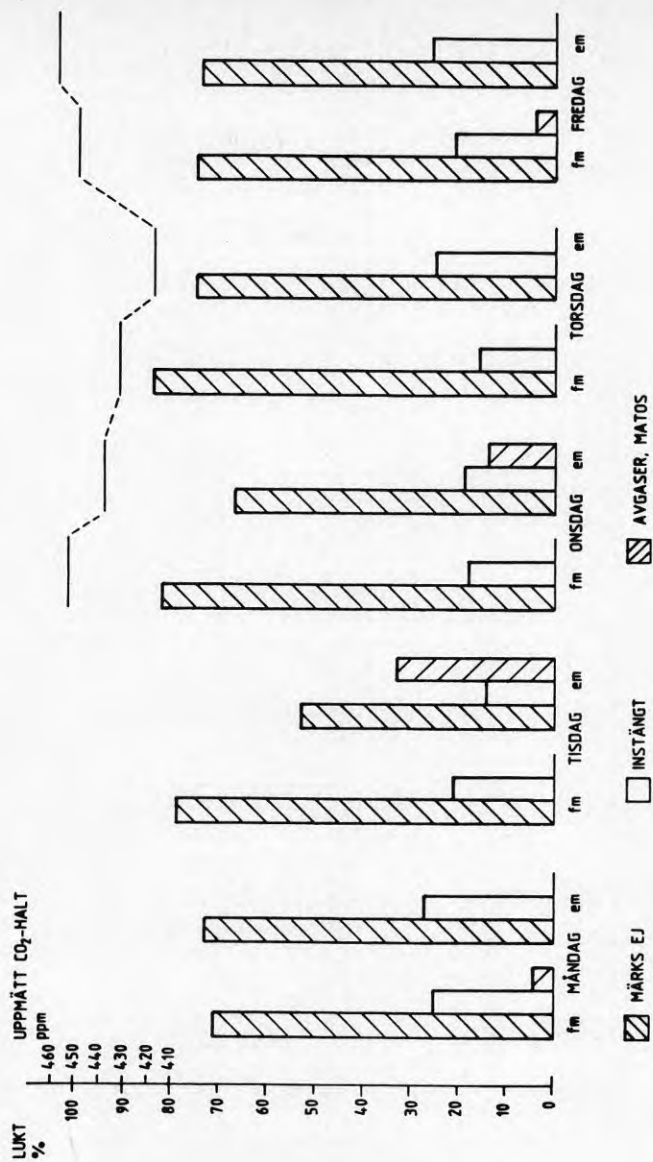
Bilaga 2

Figur 4 Mätfas 1. Uppfattning om rumsklimat på arbetsplatsen, belysning och reflexer.



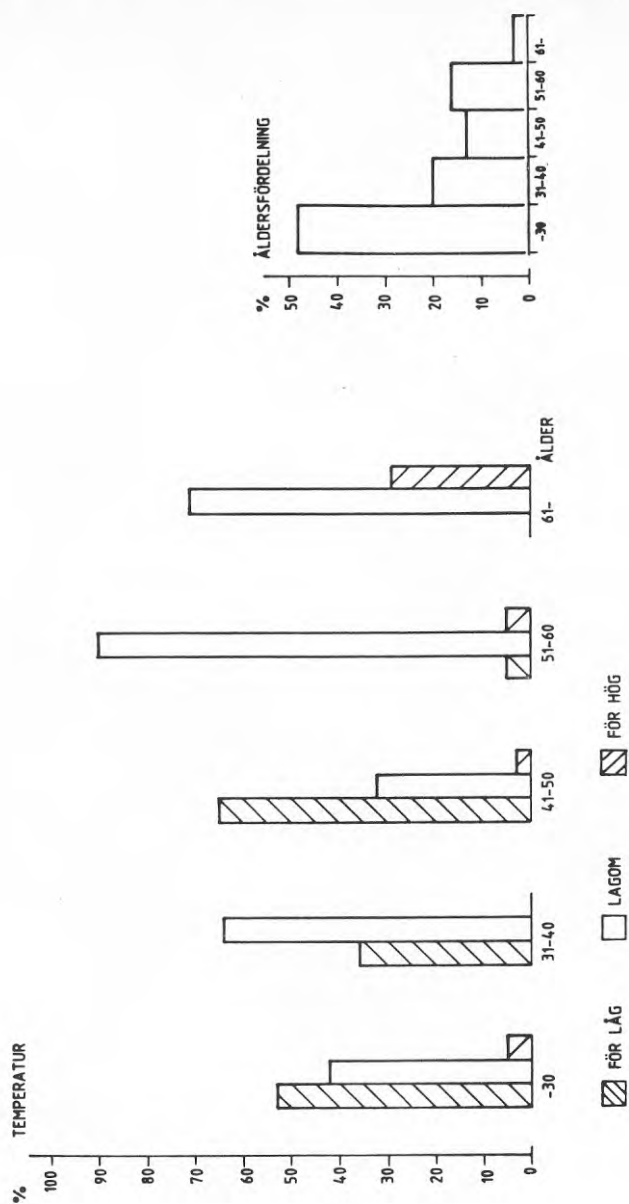
Bilaga 2

Figur 5 Mätfas 1. Uppfattning om rumsklimat på arbetsplatsen, ljudnivå.



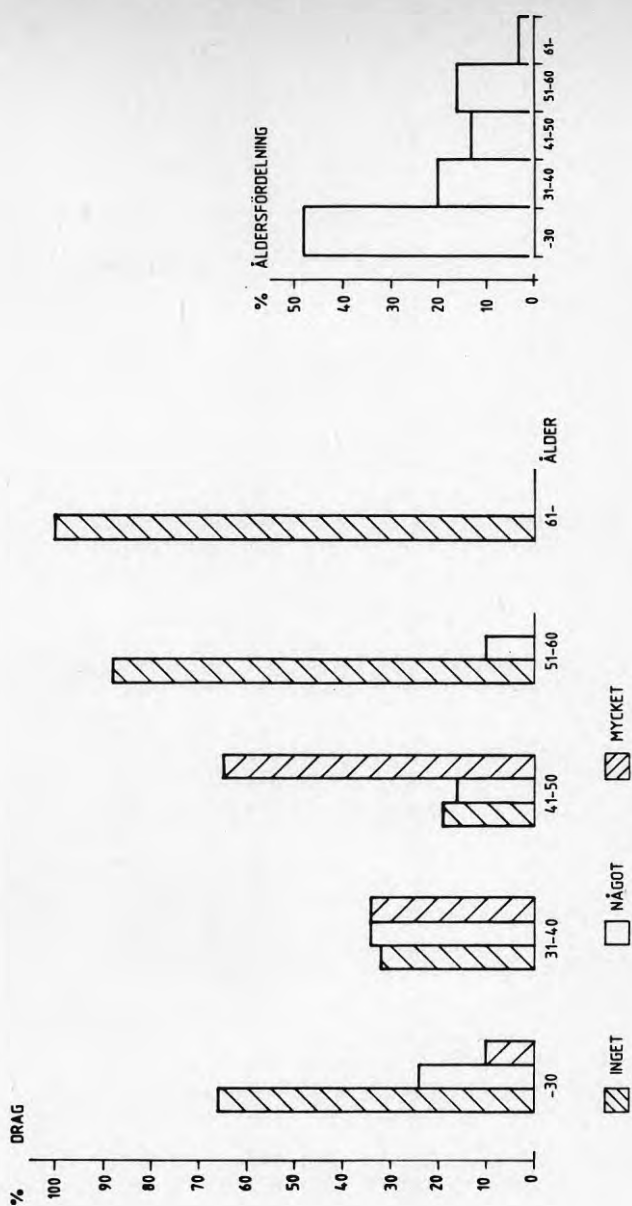
Bilaga 2

Figur 6 Mätfas 1. Uppfattning om rumsklimat på arbetsplatsen, lukt.



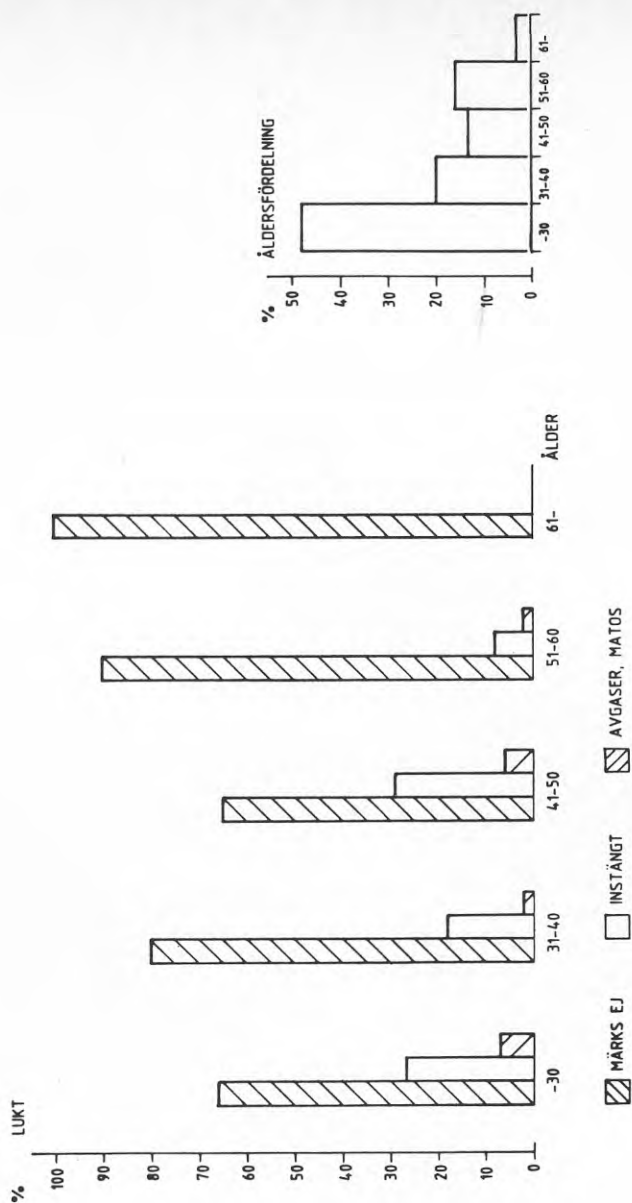
Bilaga 2

Figur 7 Mätfas 1. Uppfattning om rumsklimat på arbetsplatsen under hela perioden, fördelat på olika åldersgrupper, temperatur.



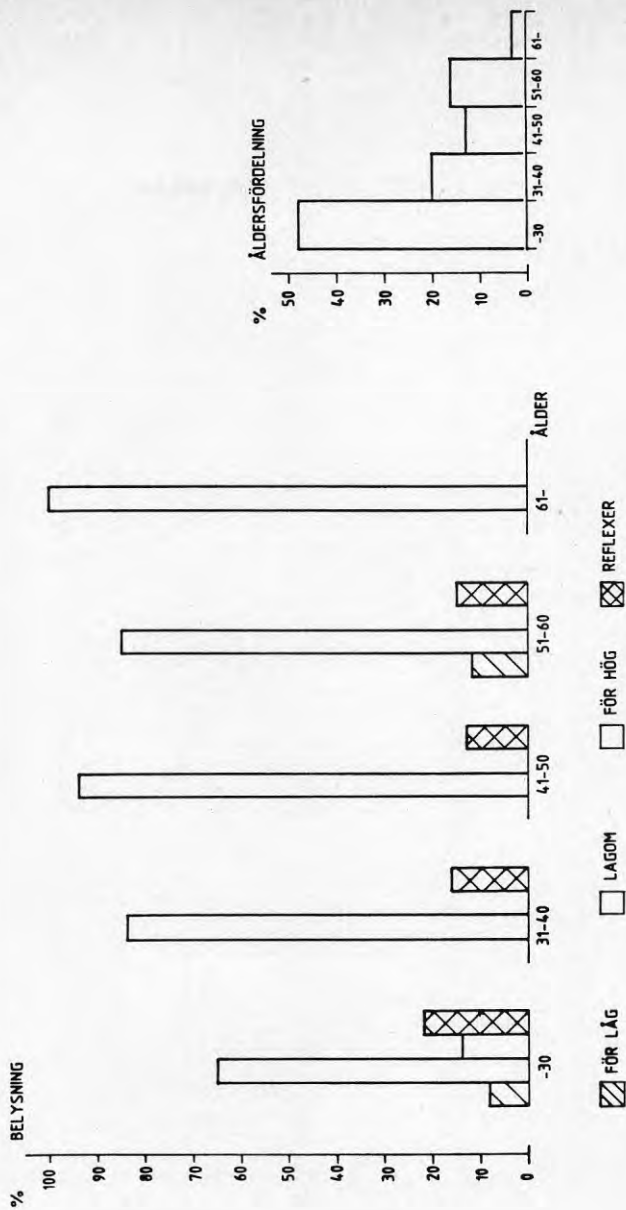
Bilaga 2

Figur 8 Mätfas 1. Uppfattning om rumsklimat på arbetsplatsen under hela perioden, fördelat på olika åldersgrupper, drag.



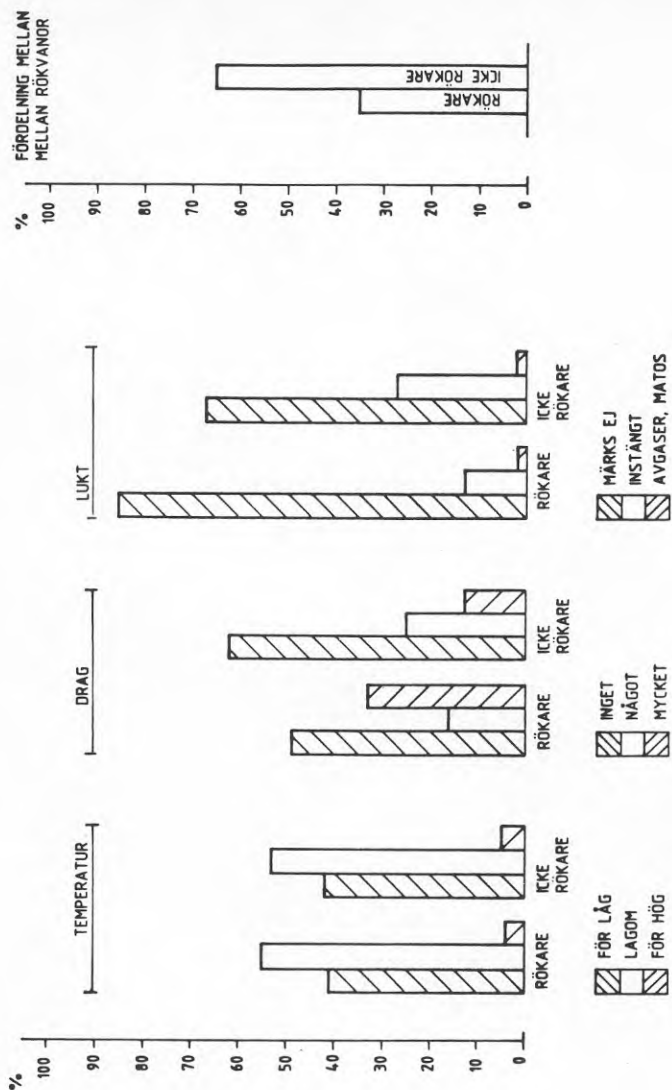
Bilaga 2

Figur 9 Mätfas 1. Uppfattning om rumsklimat på arbetsplatsen under hela perioden, fördelat på olika åldersgrupper, lukt.



Bilaga 2

Figur 10 Mätfas 1. Uppfattning om rumsklimat på arbetsplatsen under hela perioden, fördelat på olika åldersgrupper, belysning och reflexer.

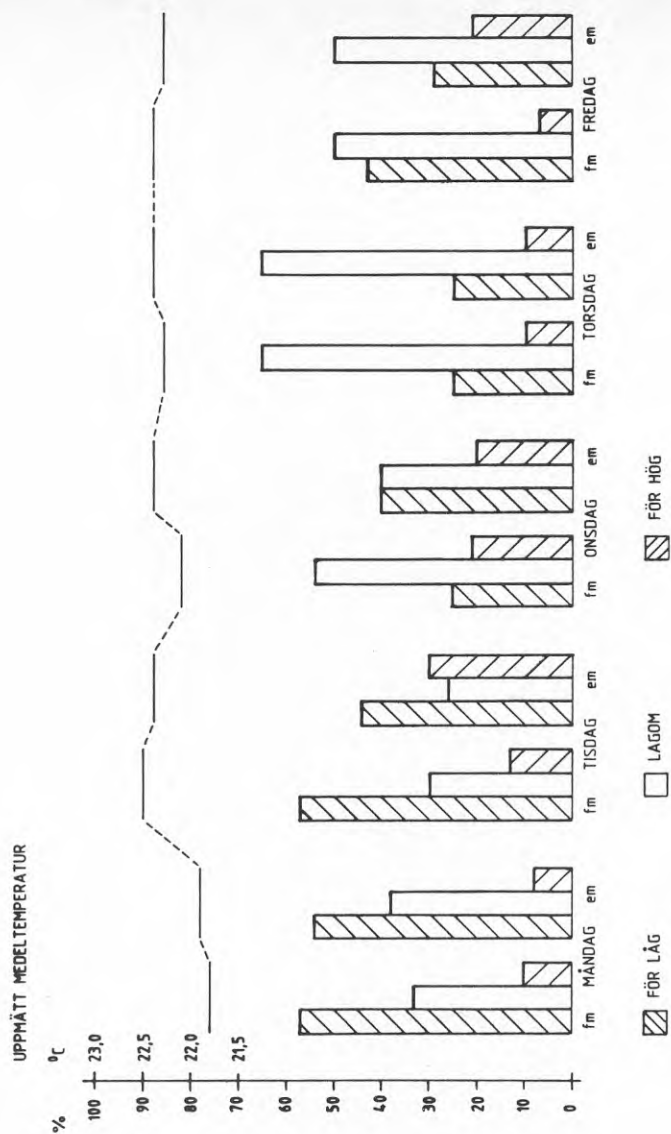


Bilaga 2

Figur 11 Mätfas 1. Uppfattning om rumsklimat på arbetsplatsen under hela perioden, fördelat på rökare och icke rökare.

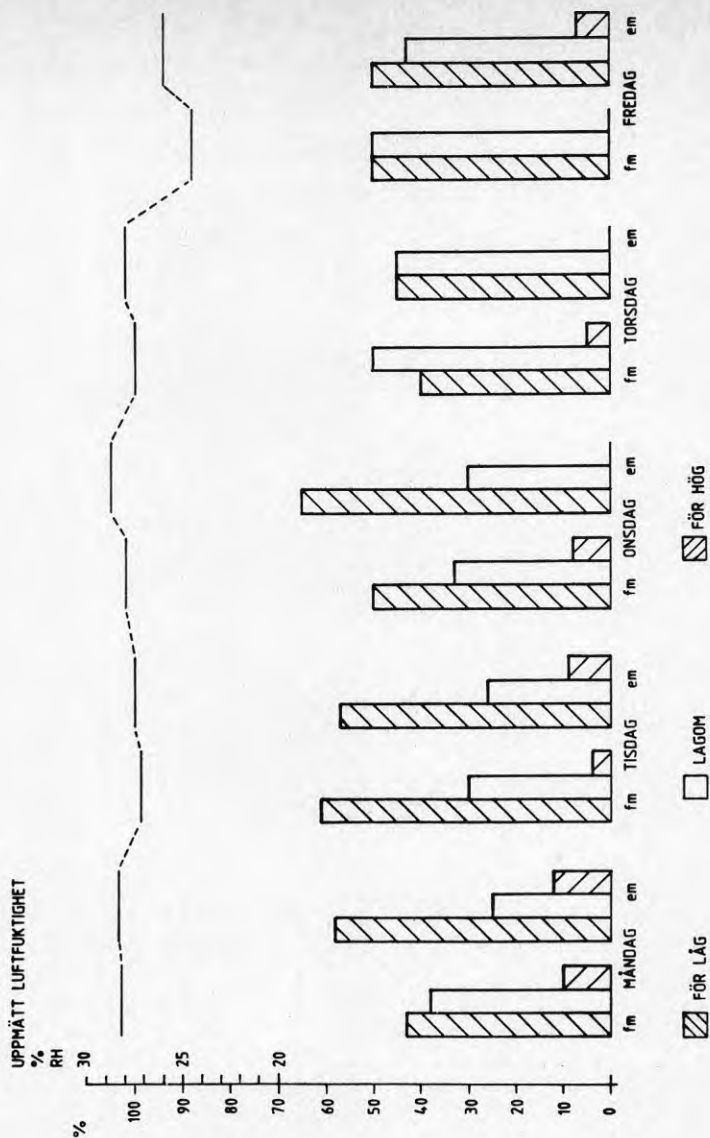
BILAGA 3

Diagram över enkätsvar från
mätfas 2



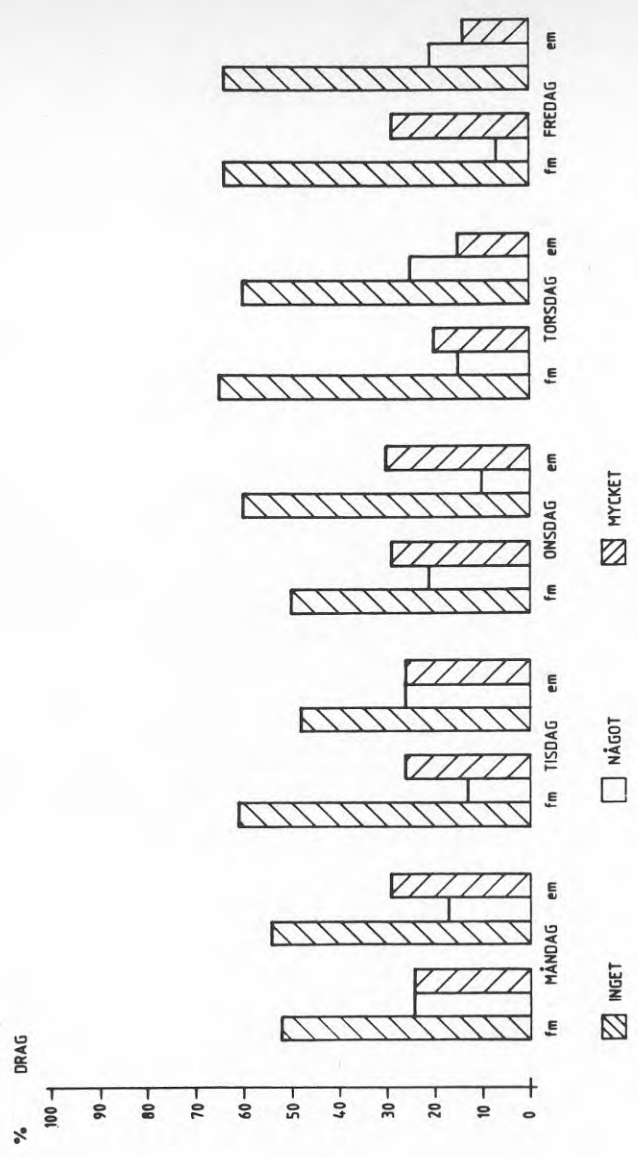
Bilaga 3

Figur 1 Mätfas 2. Uppfattning om rumsklimat på arbetsplatsen, temperatur.



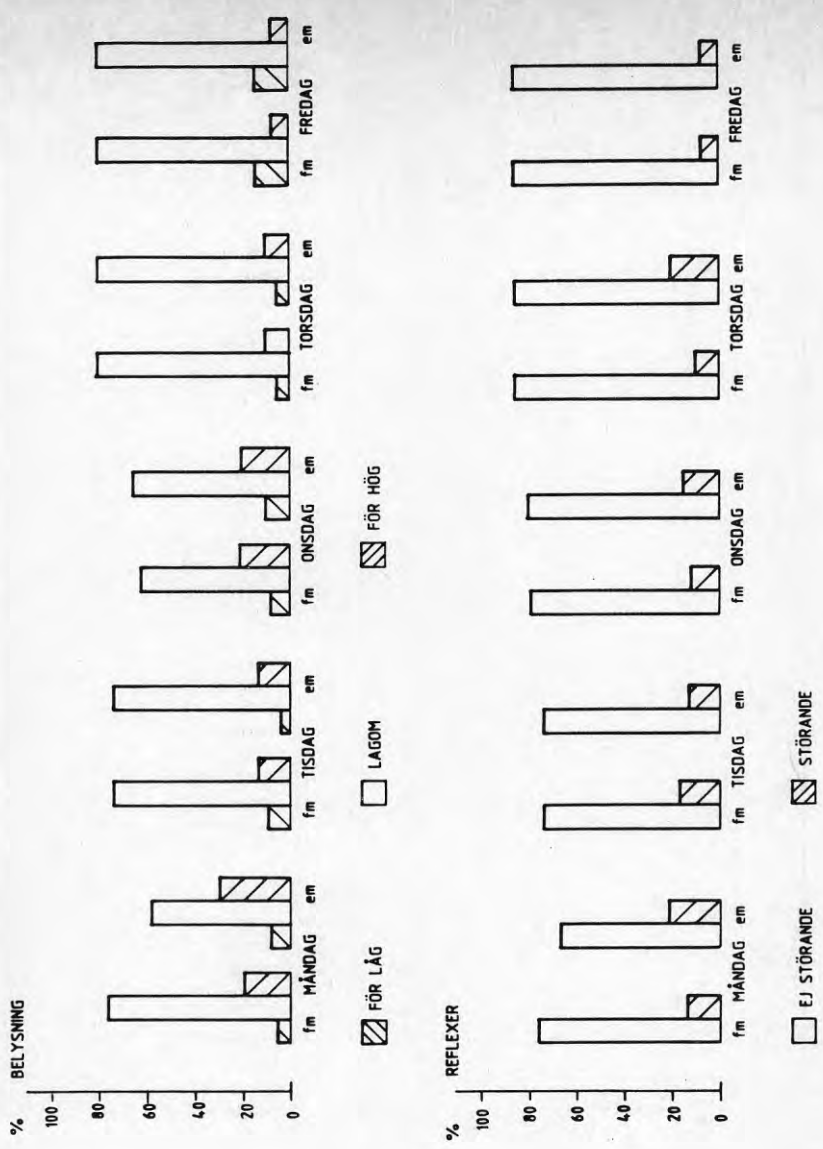
Bilaga 3

Figur 2 Mätfas 2. Uppfattning om rumsklimat på arbetsplatsen, luftfuktighet.



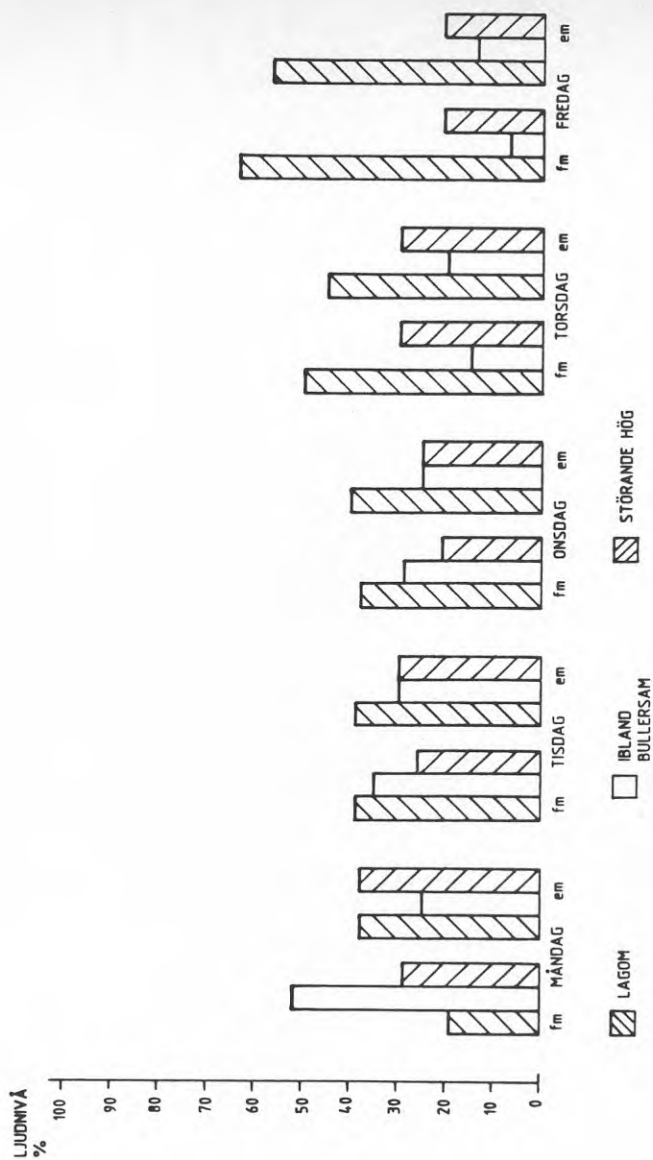
Bilaga 3

Figur 3 Mätfas 2. Uppfattning om rumsklimat på arbetsplatsen, drag.



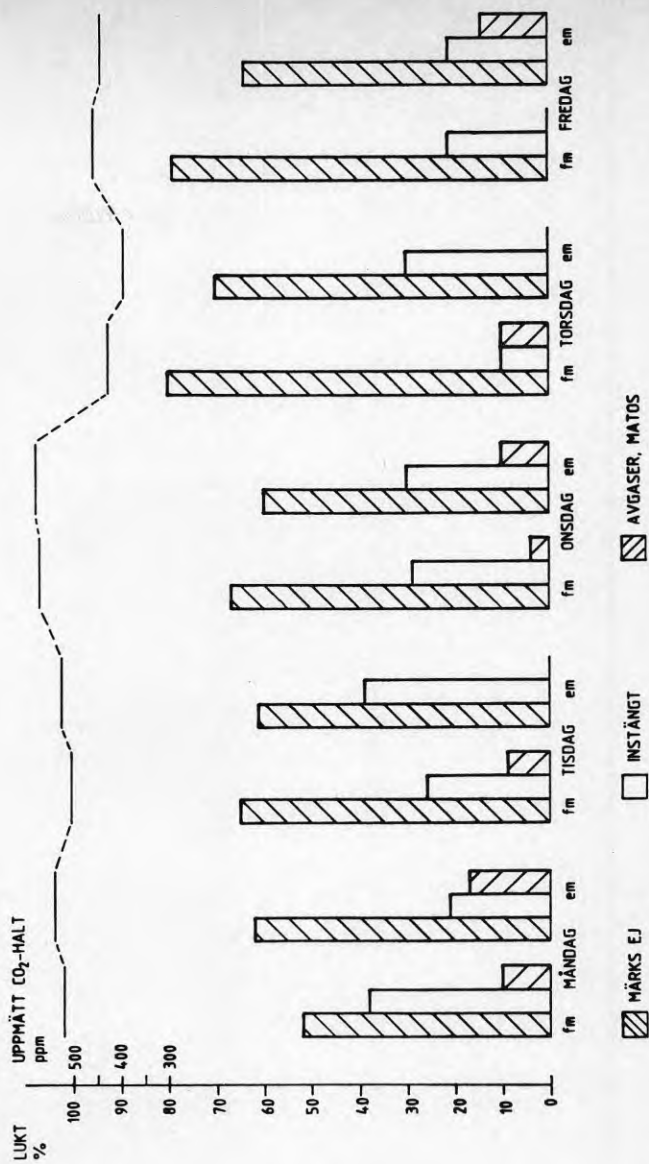
Bilaga 3

Figur 4 Mätfas 2. Uppfattning om rumsklimat på arbetsplatsen, belysning och reflexer.



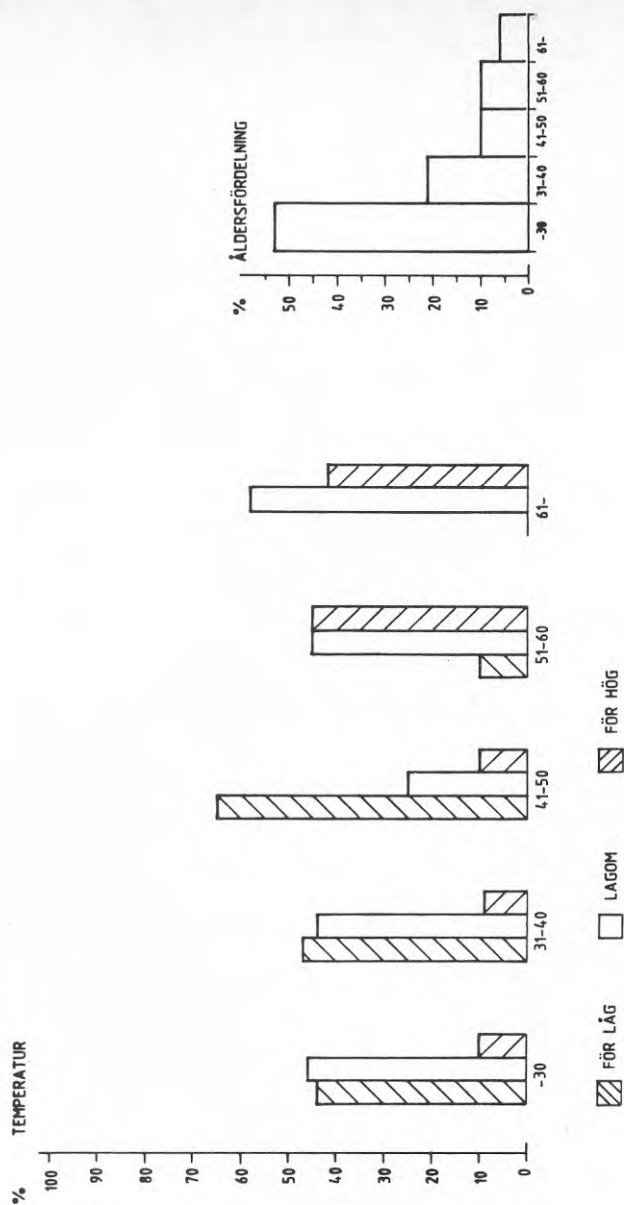
Bilaga 3

Figur 5 Mätfas 2. Uppfattning om rumsklimat på arbetsplatsen, ljudnivå.



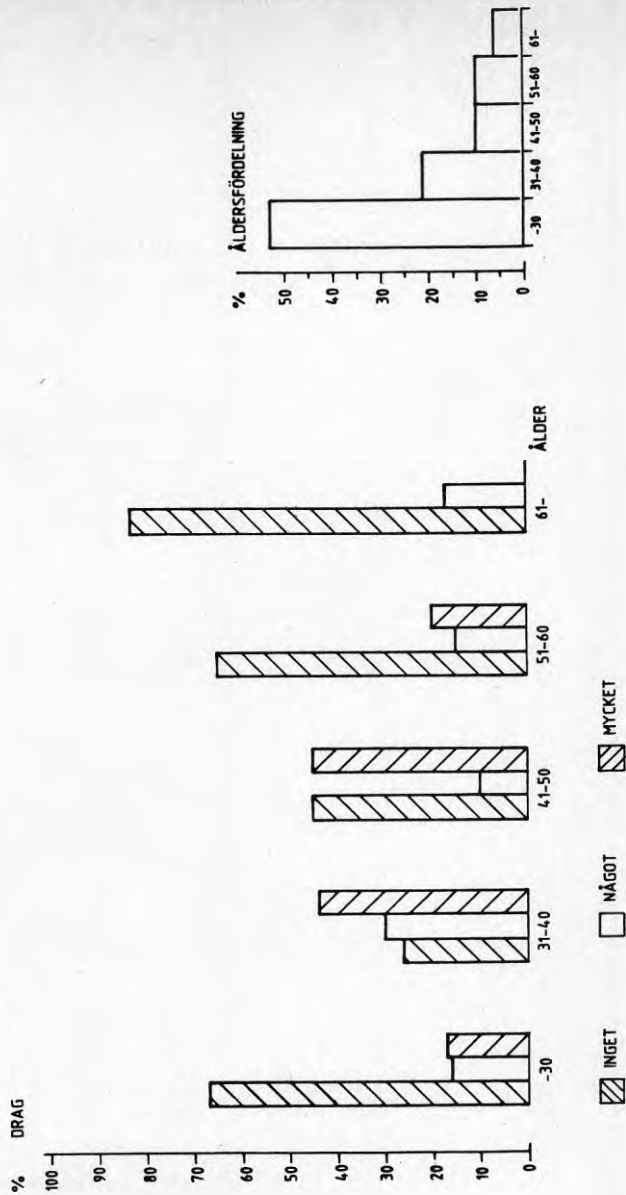
Bilaga 3

Figur 6 Mätfas 2. Uppfattning om rumsklimat på arbetsplatsen, lukt.



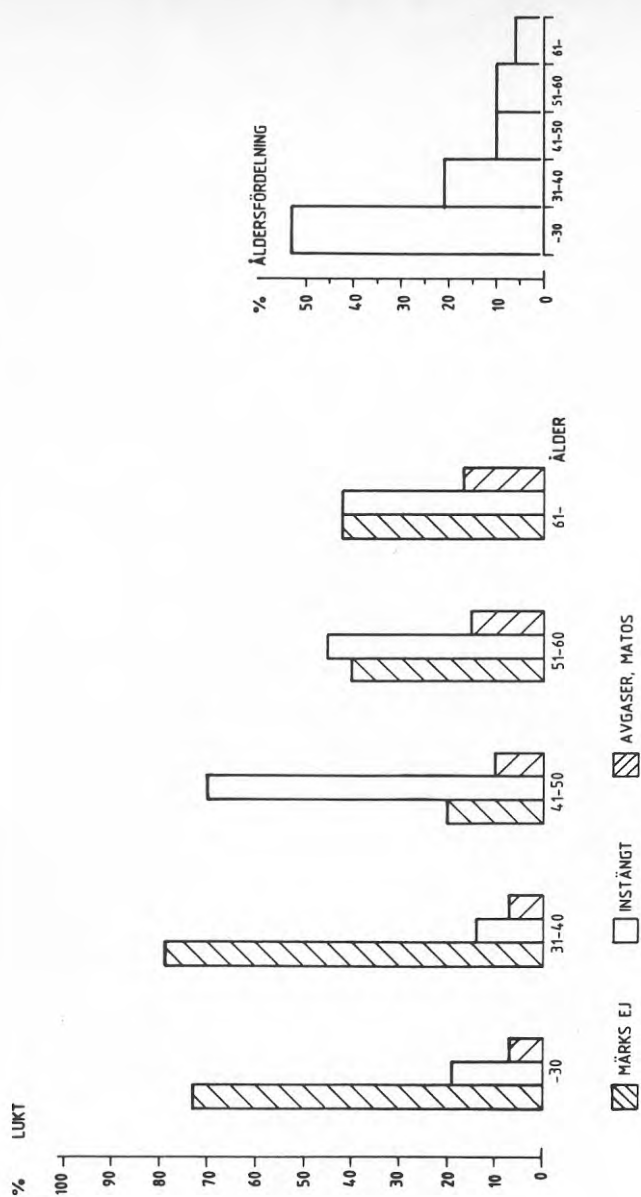
Bilaga 3

Figur 7 Mätfas 2. Uppfattning om rumsklimat på arbetsplatsen under hela perioden fördelat på olika åldersgrupper, temperatur.



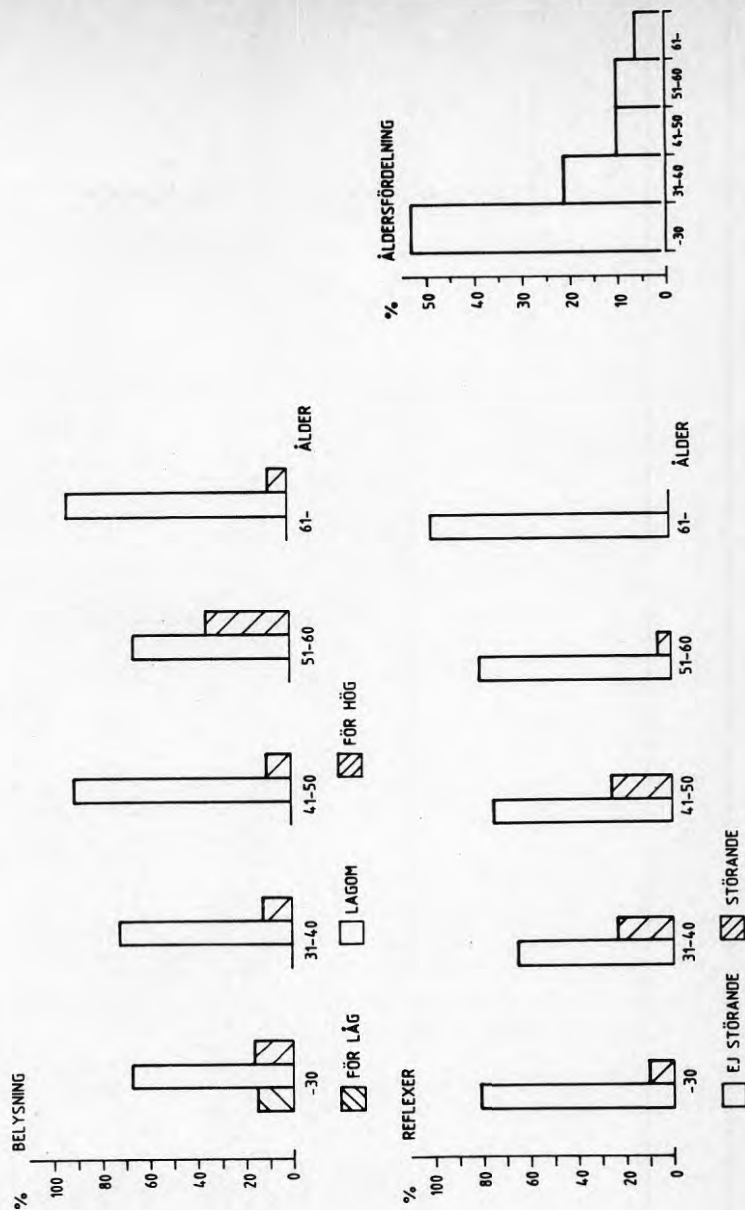
Bilaga 3

Figur 8 Mätfas 2. Uppfattning om rumsklimat på arbetsplatsen under hela perioden fördelat på olika åldersgrupper, drag.



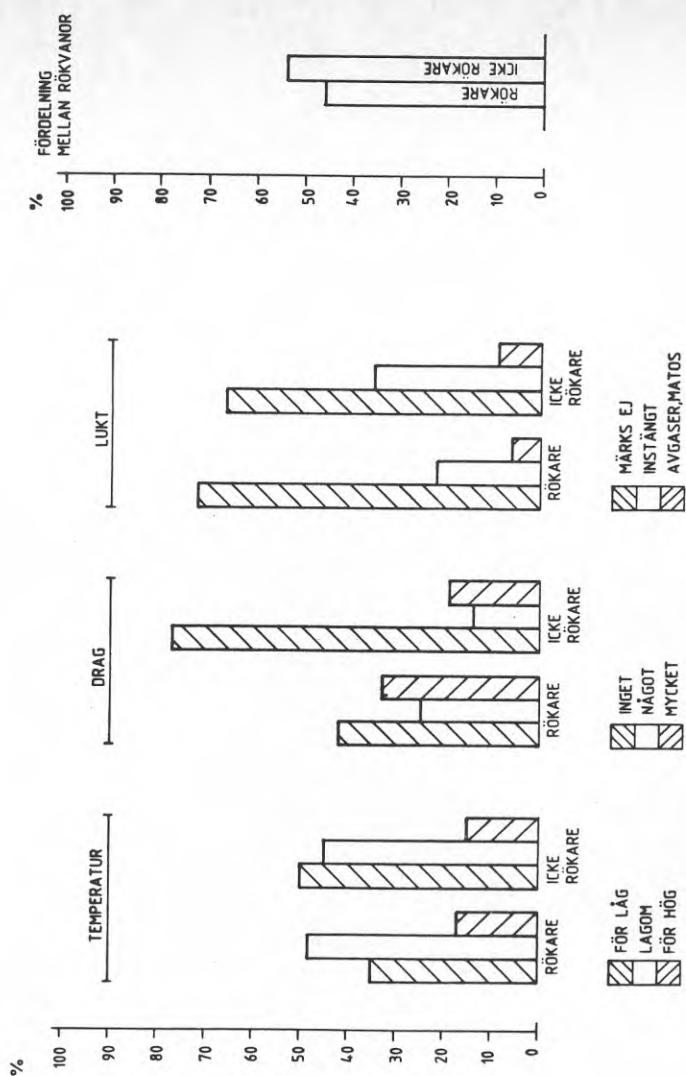
Bilaga 3

Figur 9 Mätfas 2. Uppfattning om rumsklimat på arbetsplatsen under hela perioden fördelat på olika åldersgrupper, lukt.



Bilaga 3

Figur 10 Mätfas 2. Uppfattning om rumsklimat på arbetsplatsen under hela perioden fördelat på olika åldersgrupper, belysning och reflexer.

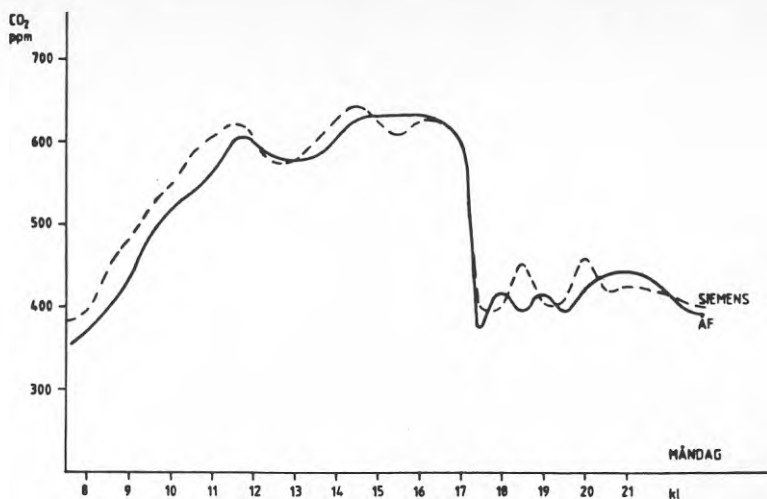


Bilaga 3

Figur 11 Mätfas 2. Uppfattning om rumsklimat på arbetsplatsen under hela perioden fördelat på rökare och icke rökare.

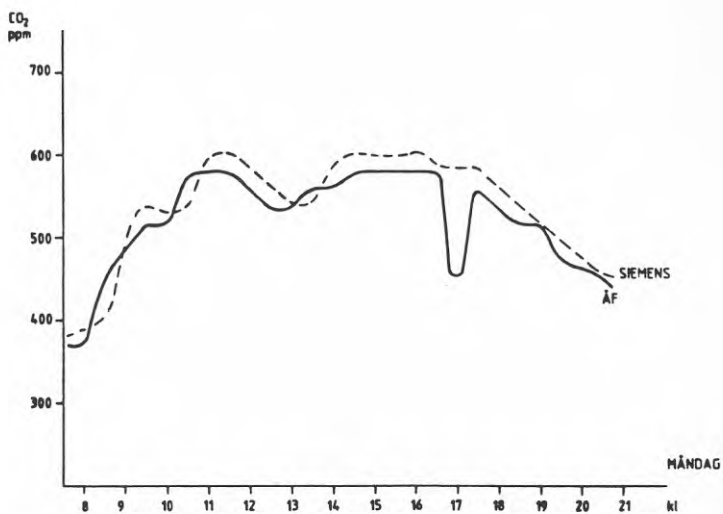
BILAGA 4

Diagram över CO₂-haltens dygnsförlopp enligt två olika analysator-typer



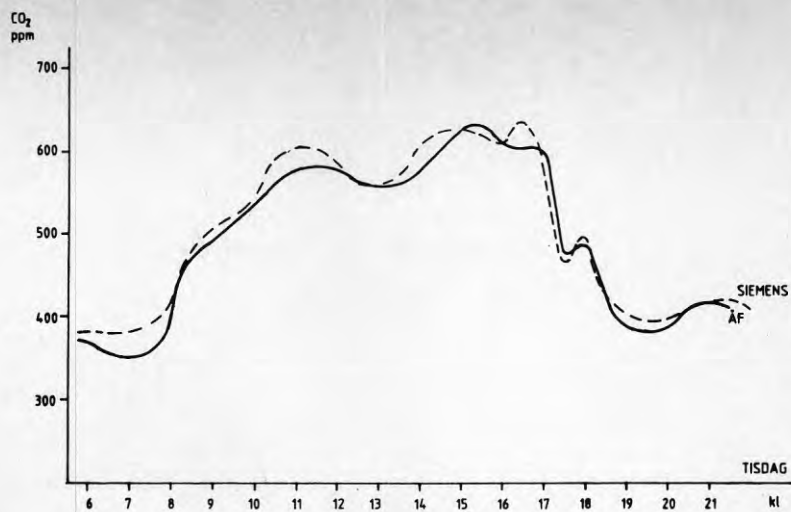
Bilaga 4

Figur 1 Mätperiod 2. Registrerad CO₂-halt i frånluften till FA-10.1.

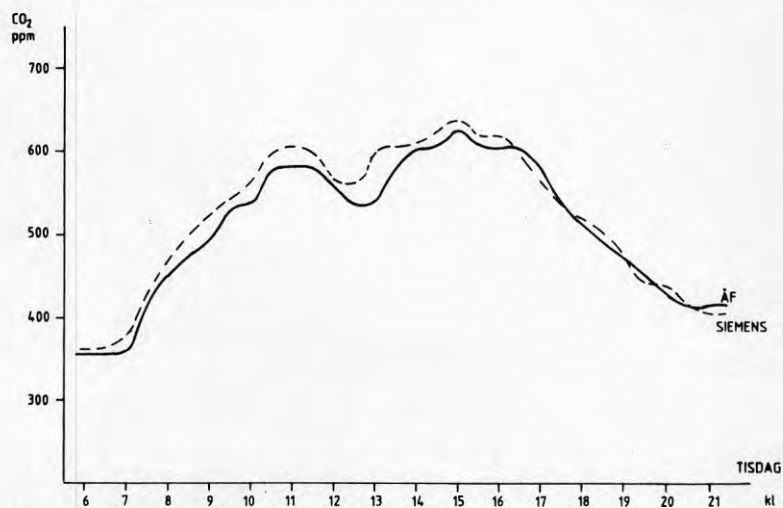


Bilaga 4

Figur 2 Mätperiod 2. Registrerad CO₂-halt i frånluften till FA-18.1.

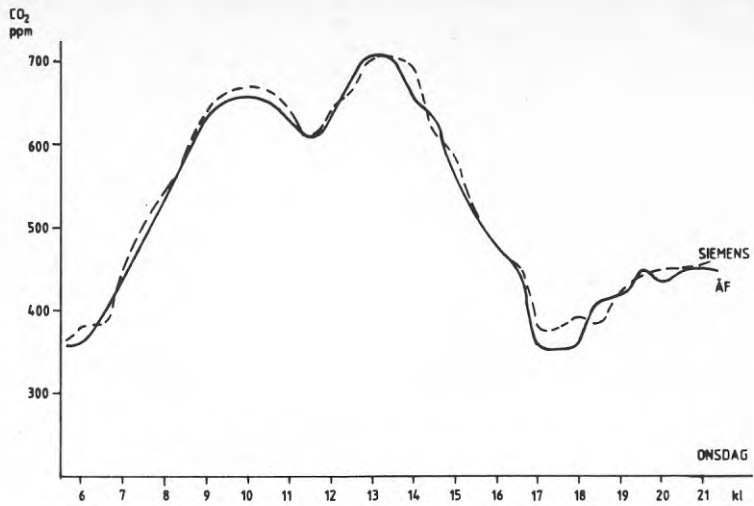


Bilaga 4

Figur 3 Mätperiod 2. Registrerad CO₂-halt i frånluften till FA-10.1.

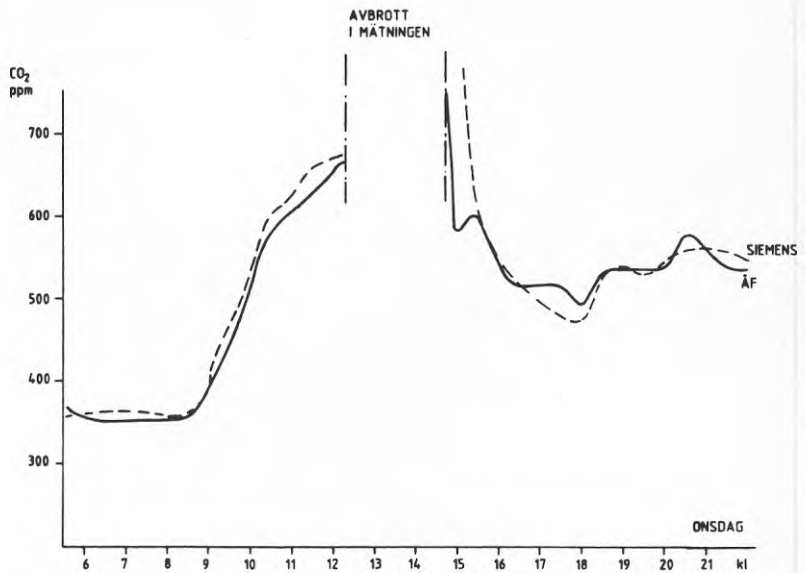
Bilaga 4

Figur 4 Mätperiod 2. Registrerad CO₂-halt i frånluften till FA-18.1.



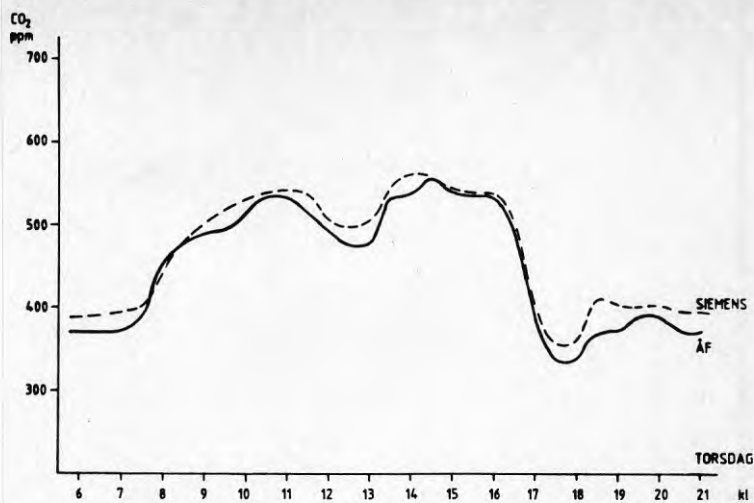
Bilaga 4

Figur 5 Mätperiod 2. Registrerad CO_2 -halt i frånluften till FA-10.1.



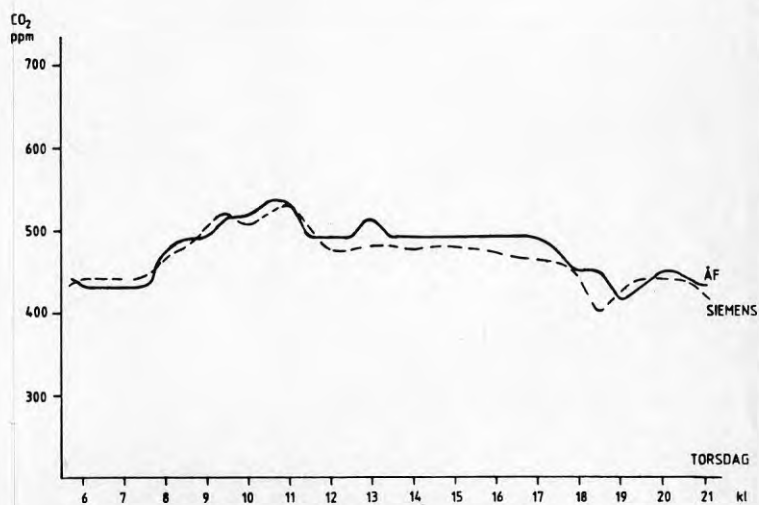
Bilaga 4

Figur 6 Mätperiod 2. Registrerad CO_2 -halt i frånluften till FA-18.1.



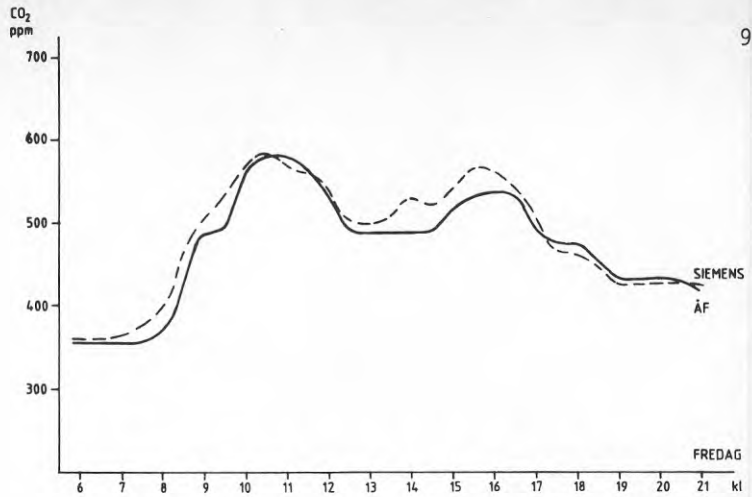
Bilaga 4

Figur 7 Mätperiod 2. Registrerad CO_2 -halt i frånluften till FA-10.1.



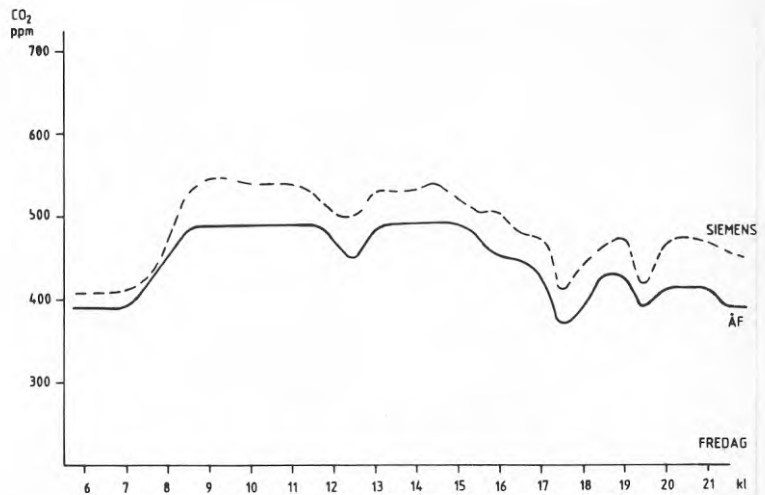
Bilaga 4

Figur 8 Mätperiod 2. Registrerad CO_2 -halt i frånluften till FA-18.1.



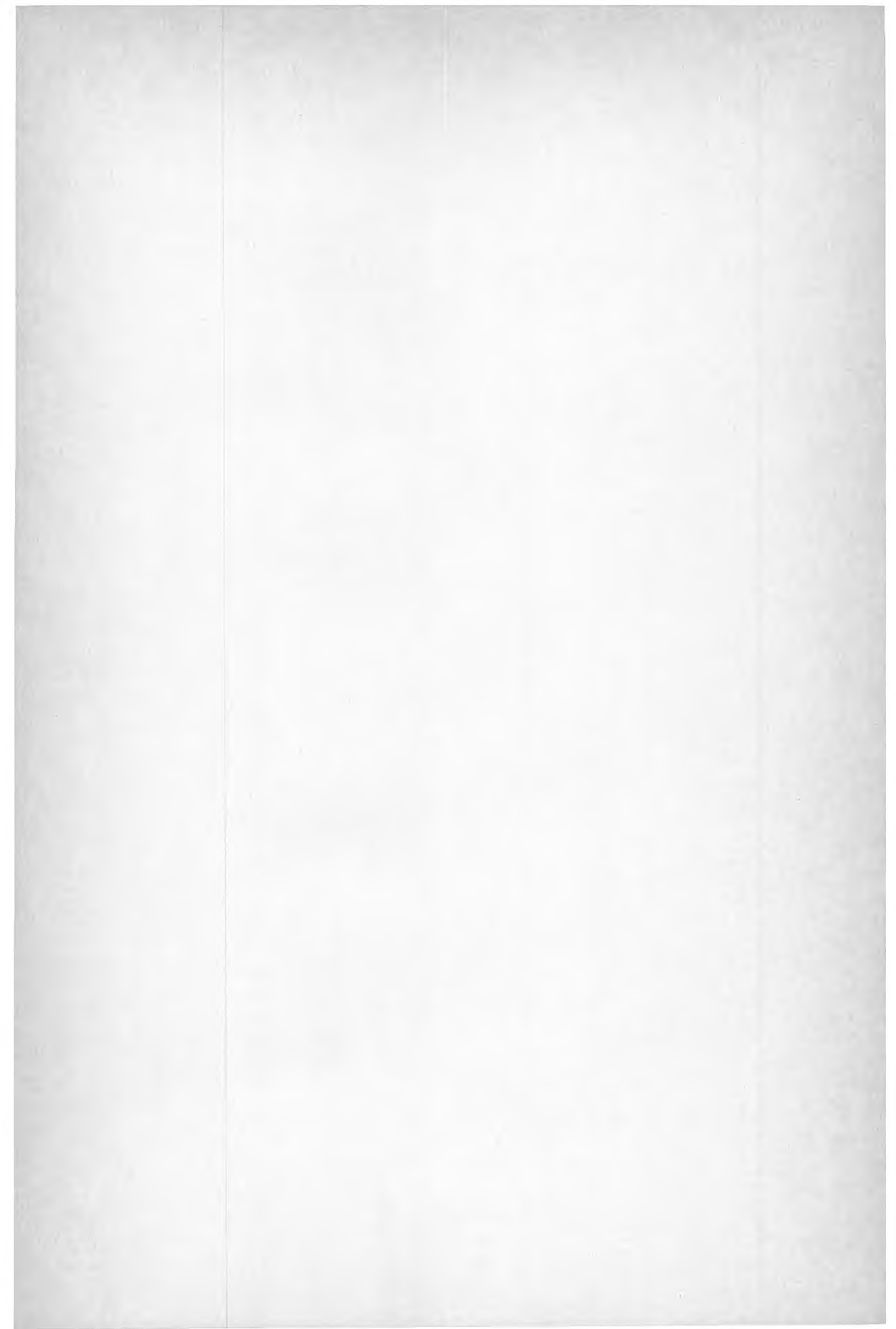
Bilaga 4

Figur 9 Mätperiod 2. Registrerad CO₂-halt i frånluften till FA-10.1.



Bilaga 4

Figur 10 Mätperiod 2. Registrerad CO₂-halt i frånluften till FA-18.1.



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 820629-3
från Statens råd för byggnadsforskning till
ÅF-Energikonsult, Malmö.**

R17: 1987

ISBN 91-540-4681-5

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6707017

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

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

Cirkapris: 42 kr exkl moms