

STATUS REPORT -- ENERGY USE AND INDOOR AIR QUALITY IN AN OFFICE BUILDING ("Revolversvarven" in Malmö)

1 Background

1.1 Building description

The building was erected during the winter of 1988/89 and consists four floors with cell type offices,

Total area: 4 100 m²,

Total volume: 11 500 m³

The structure is of the column-deck type consisting of concrete deck slabs made on site separated by prefabricated concrete supporting columns. Between the the supporting columns wall units are installed consisting of outdoor gypsum board, a structural frame (including insulation) and an indoor gypsum board. The exterior facade consists of bricks with an air space between the bricks and the outdoor gypsum board. The interior walls consist of gypsum board fitted on steel frames with sound proofing insulation inbetween.

The building was taken into operation in October, 1989. On all floors except for the groundfloor people brought their old furniture from their previous offices. Walls are painted with water based paint, offices have floors covered with linoleum carpets whereas conference rooms are equipped with wall-to wall carpets.

1.2 HVAC-systems

Heating is primarily by a hydronic heating system using panel radiators with thermostatic valves in each office. The supply air is conditioned in two roof top units, supplying each floor from two vertical ducts. Conditioning includes filters (F65), preheating by rotary heat recovery heat exchangers, and, as the conditions may require, supplementary heating by water coils or supplementary cooling by direct expansion evaporators. All supply air is outside air (no return air ducts) and the VAV-system is controlled by a central computer system and six intelligent slave units. Each room in the building has its own flow measuring air terminal device, primarily controlling the flow rate according to the temperature setting on the room thermostat. Offices have a variable air supply rate from 12 to 60 l/s plus a jet flow of approx. 5 l/s to ensure a sufficient throw at minimum flows (the minimum requirement is 5 or 7 l/s, depending on use, for cell type offices in Sweden). The exhaust air flow is controlled to equal the instantaneous supply air flow rate in each roof top unit. The pressure in the central supply ducts is controlled to a constant value and the supply air temperature is normally kept at 17C.

Air flow capacity : 6 + 6 = 12 m³/s

Cooling capacity: 110 +110 = 220 kW

Heating capacity, air coils: 77.5 +77.5 = 155 kW

Heating capacity, radiators: 110 kW

Heating capacity, sanitary hot water: 75 kW

Main fuse for the building (lighting etc.): 200 A (approx. 132 kW)

Main fuse for the HVAC-system (ventilation etc.): 200 A (approx. 132 kW).

1.3 Monitoring program

Measurements are carried out according to the following program:

- 1.3.1 Humidity in the concrete building structure
- 1.3.2 Relative air humidities
- 1.3.3 Temperatures
- 1.3.4 Water flow rates
- 1.3.5 Electric power inputs
- 1.3.6 Air flow rates
- 1.3.7 Air velocities
- 1.3.8 Particle concentrations
- 1.3.9 Carbon dioxide
- 1.3.10 Volatile Organic Compounds
- 1.3.11 Formaldehyde
- 1.3.12 Sound pressures

1.4 Auditing of the ventilation system

An audit was performed to check the status of the ventilation system prior to the installation of measuring equipment. In connection with the audit important functional checks were carried out, e.g. measurement of air flows, leakage of air handling systems, cross-over leakage and short circuit flows (using tracer gas).

2 Results

2.1 Humidity in the concrete building structure

The surface of the bottom slab seems to have dried fairly quickly, partly due to exceptional circumstances during the summer of 1989 (very warm and dry and ground water levels much lower than normal). The lower part of the bottom slab now seems to have a tendency to increase its humidity level (a warm cushion is forming below the building thus increasing the vapour pressure), c.f. figure 1.

The intermediate deck slab has dried very slowly over the year that has passed since it was made. Humidity levels are still above 90 % (it is not recommended to lay the carpets until the level is below 90 %), c.f. figure 2.

2.2 Relative air humidities

Air humidities seem to be in close agreement between different measuring positions, see figure 4. The increase in humidity content compared to the outside air is close to the value of 2 g/m³ that is recommended by the building code for calculations in office buildings.

2.3 Temperatures

In figure 3 an example of room air temperatures is given in comparison to the outside air temperature. The simultaneous temperatures in one of the air handling units are illustrated in figure 7.

2.4 Water flow rates

Water flow rates are used to calculate the heating input to the air heating coils, the radiator system and the sanitary hot water system. One example is given in 10, where the inputs to the air heating coils are shown. Due to an unusually mild winter there has been no need of supplementary heating of the air. The illustrated input has been brought about by stopping the rotary heat recovery unit.

2.5 Electric power inputs

Power inputs to the fans of one roof top unit are shown in figure 8. The operation has been at half speed all week. In figure 9 the power input to one half of the offices on floor no.3 is illustrated. Looking at the difference between total input and lighting over week-ends it is clear that most of the office equipment is left on at all times.

2.6 Air flow rates

Supply air flow rates (excluding the jet flow) to offices 364 and 368 are shown in figure 5. Flows are determined by the room temperature so there is little variation with time (except for short economy mode stops at night). The corresponding total air flow rates of the air handling units are depicted in figure 6. Variations have been larger for the building as a whole than for the two specific offices which are monitored.

2.7 Air velocities

Velocity distributions as a function of the supply flow rate have not yet been measured. This will be done in combination with determinations of ventilation efficiency and thermal comfort measurements.

2.8 Particle concentrations

The first week after the ventilation system was started showed large concentrations of particles in the air. After this week the concentration has been much lower than in the outside air and the distribution of particle sizes is identical to that calculated from the filter characteristics.

2.9 Carbon dioxide

Due to long delivery times of the ordered sensors the measurements have not started yet.

2.10 Volatile Organic Compounds

During the first week of operation of the building the fans were not connected electrically. Therefore extremely high concentrations of VOC were measured ($> 10 \text{ mg/m}^3$), see figure 11. After the ventilation system started functioning the levels quickly reduced to normal concentrations ($< 0.4 \text{ mg/m}^3$). Emissions are still high from paints and glues as shown by figure 12.

2.11 Formaldehyde

Unexpectedly high concentrations of formaldehyde were measured initially (before any furniture had been installed). Analysis indicates that both putty and glue used in the building contained formaldehyde. After the ventilation system was started levels quickly dropped to normal levels ($\ll 0.1 \text{ mg/m}^3$).

2.12 Sound pressures

No noise problems were detected in the two offices being monitored despite exceptionally high air flows. The sound pressure levels were too low to be measurable against background outdoor noise even at midnight (30-35 dB_A). In a few other offices, however, people have complained about noise (probably due to the jet flow).

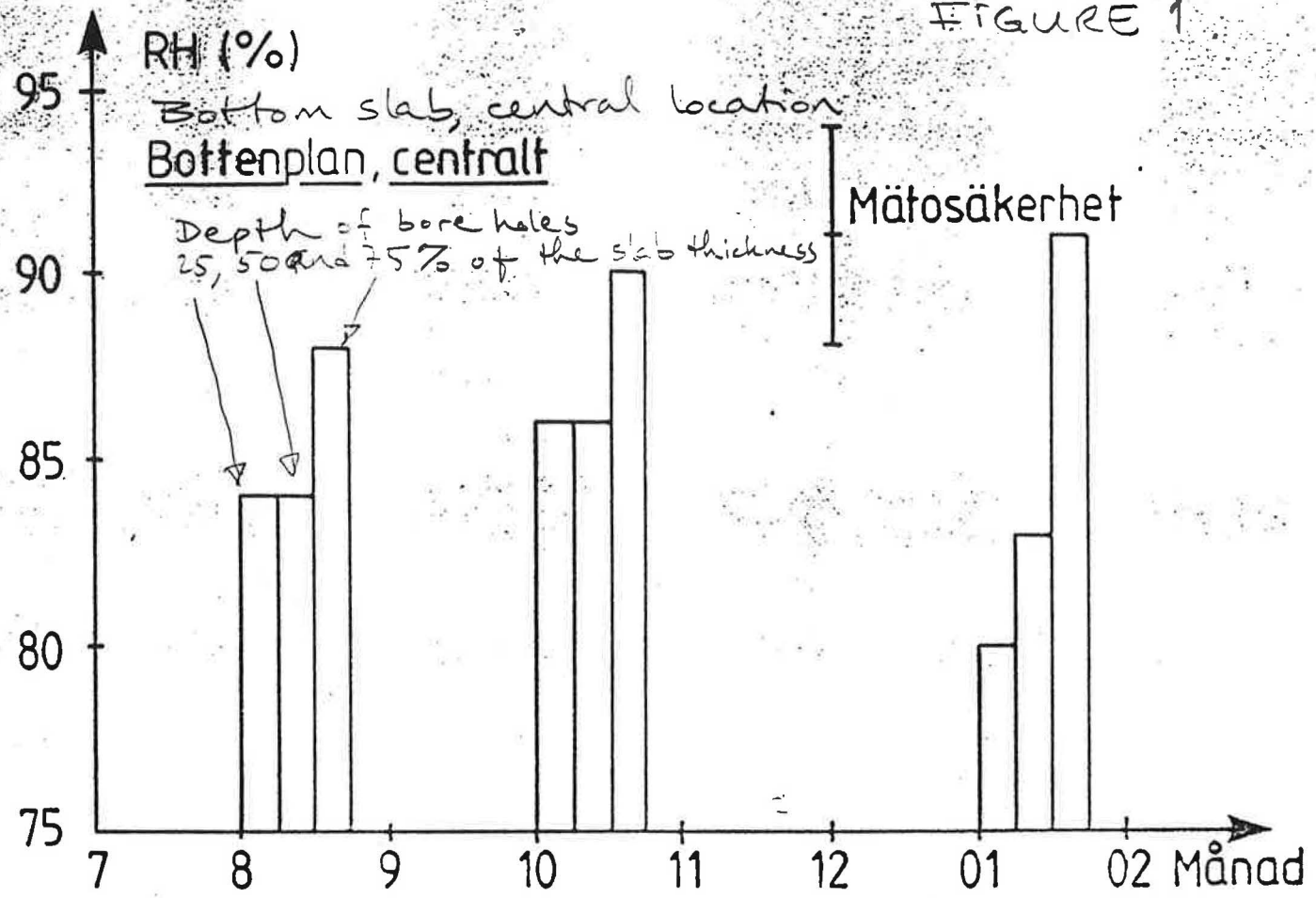
3 Discussion

The ventilation system has not been in its intended normal operation yet due to severe complaints of poor air quality. This was not anticipated since only proven materials have been used, most people brought their old furniture and measurements indicate a copious supply of reasonably well filtered fresh air with normal concentrations of measured substances. Only fresh air is supplied, no crossover leakage or short circuiting flows have been detected and the total flow capacities agree well with design values. The only detected mishap is that the linoleum floor was never polished before people moved into the building. Therefore a strong smell spreads through the building each time the floors are cleaned with water.

Measurements indicate an instantaneous increase in emissions from the linoleum carpet when it comes into contact with water. Measurements also indicate a carry over of VOC by condensation water in the rotary heat exchanger. The heat recovery unit was therefore stopped and the supply air temperature is now entirely controlled by the supplementary heating coil. Employees suffer, the project lingers on and the actual cause of the problems is as yet not decisively proven.

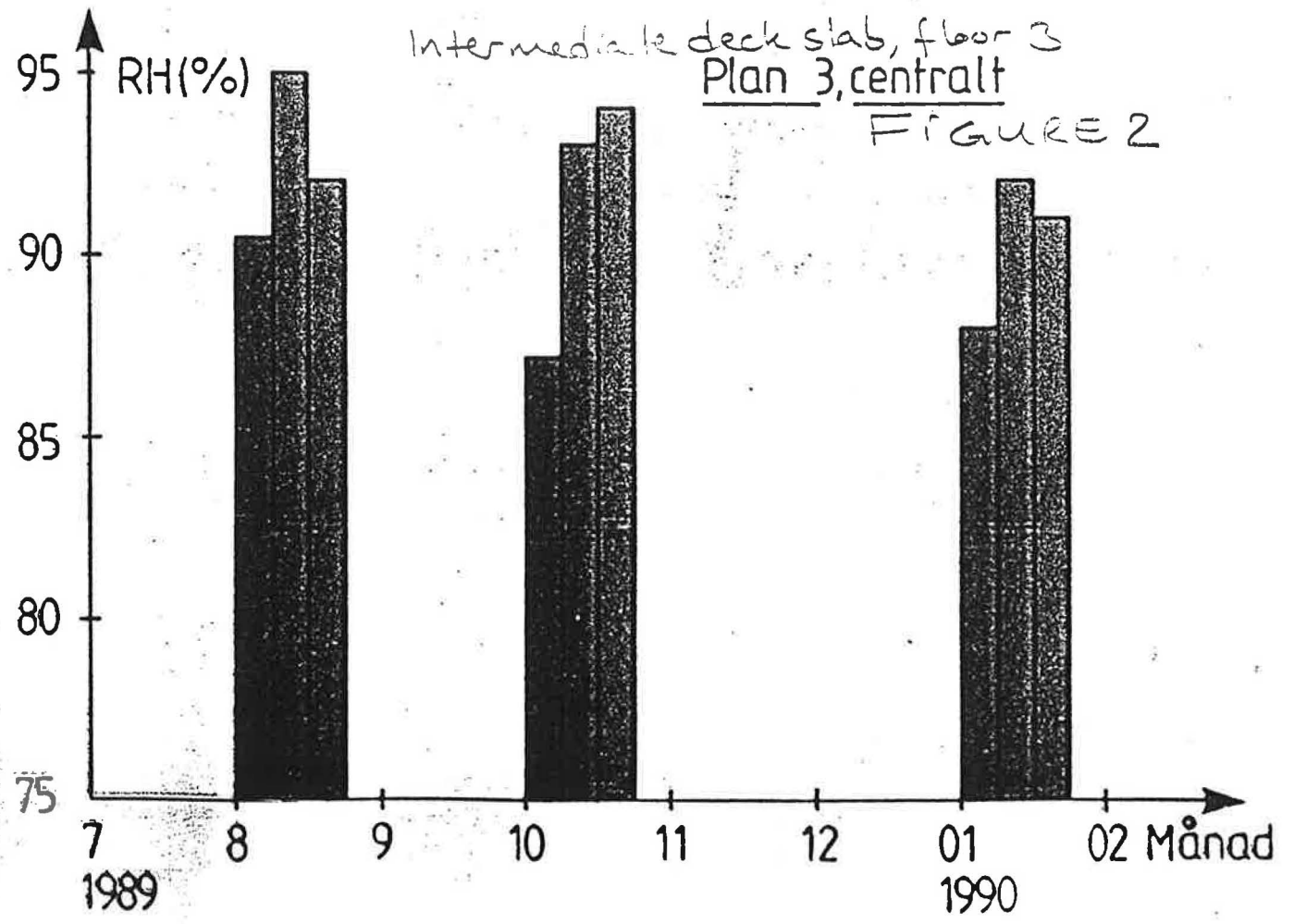
Humidity levels in the concrete structure
FUKTHALT I BETONGBJÄLKLAG

FIGURE 1

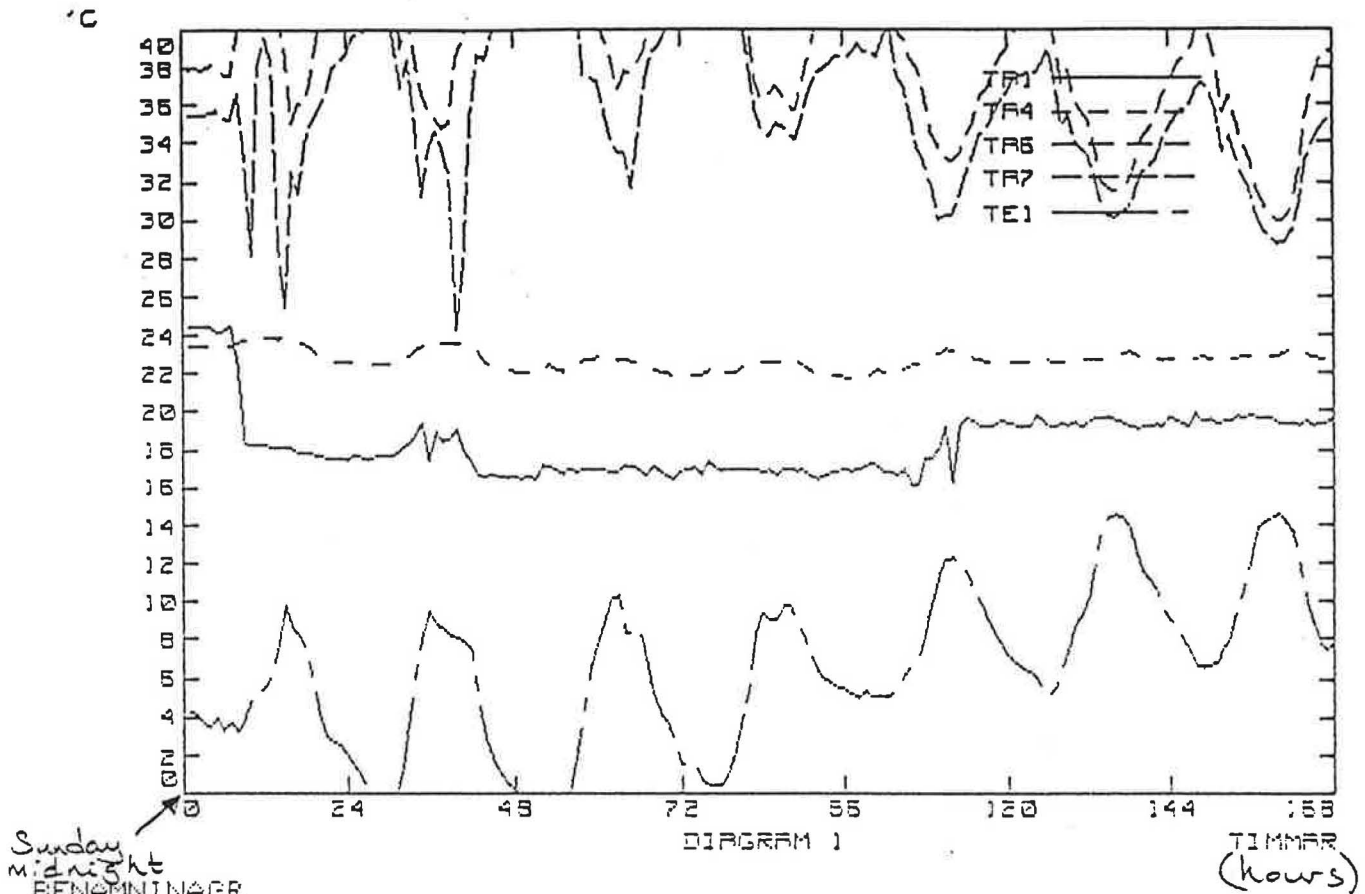


Intermediate deck slab, floor 3
Plan 3, centralt

FIGURE 2



PERIOD: 900326 - 900401 1 week



TA1=Temperatur in till rum 364
 TA4=Temperatur i rum 364
 TA6=Radiator fram
 TA7=Radiator retur
 TE1=Utetemperatur

Supply air temp.
 Room air temp.
 Radiator supply water temp.
 Radiator return water temp.
 Outside air temp.

Stat ber	TA1 (°C)	TA4 (°C)	TA6 (°C)	TA7 (°C)	TE1 (°C)	
1 ANTAL	168.00	168.00	168.00	168.00	168.00	
2 MIN	16.080	21.790	29.970	24.240	-2.0500	Min. value
3 MAX	24.490	23.950	49.620	44.960	14.590	Max. value
4 SUMMA	3075.9	3816.7	6611.7	6056.1	1086.6	
5 MEDELV	18.309	22.719	39.355	36.048	6.4679	Mean value
6 STDAVV	1.7514	0.5217	4.4881	4.0617	4.0399	stand. dev.

DAGTID (06-18) Daytime mean values (06-18)

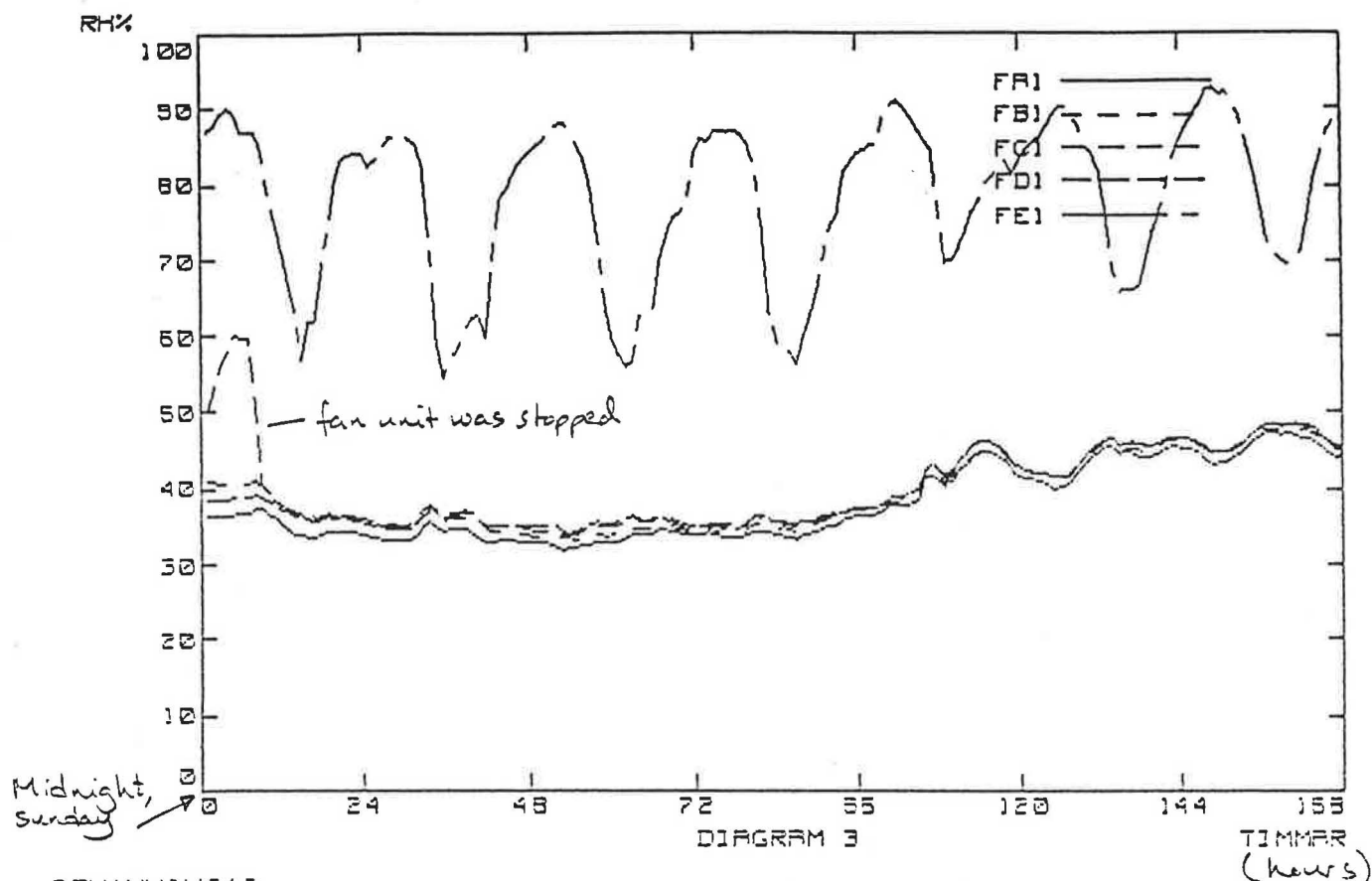
Stat ber	TA1MED (°C)	TA4MED (°C)	TA6MED (°C)	TA7MED (°C)	TE1MED (°C)
1 MEDELVAR	18.239	22.925	37.380	34.051	8.2405

NATTETID (18-06) Night time mean values (18-06)

Stat ber	TA1MED (°C)	TA4MED (°C)	TA6MED (°C)	TA7MED (°C)	TE1MED (°C)
1 MEDELVAR	18.379	22.512	41.331	38.045	4.6954

REVOLVERSVARVAREN, MALMO
Luftfuktighet % Air humidity

PERIOD: 900326 - 900401 1 week



BENÄMNINGAR

FA1=Luftfuktighet i rum 364 Air humidity in office 364
 FB1=Luftfuktighet i rum 368 Air humidity in office 368
 FC1=Luftfuktighet i frånluftskanal FA101 Air humidity in central exhaust air unit 101
 FD1=Luftfuktighet i frånluftskanal FA102 Air humidity in central exhaust air unit 102
 FE1=Luftfuktighet ute Air humidity outside

Stat ber	FA1 (%)	FB1 (%)	FC1 (%)	FD1 (%)	FE1 (%)	
1 ANTAL	168.00	168.00	168.00	168.00	168.00	
2 MIN	31.880	33.240	33.880	34.040	54.360	Min. value
3 MAX	47.360	47.760	60.160	48.360	32.760	Max. value
4 SUMMA	6387.7	6588.4	6808.4	6647.1	13126.	
5 MEDELV	38.022	39.217	40.526	39.566	78.132	Mean value
6 STDAVV	4.9582	4.7517	5.8836	4.7257	10.328	Stand. dev.

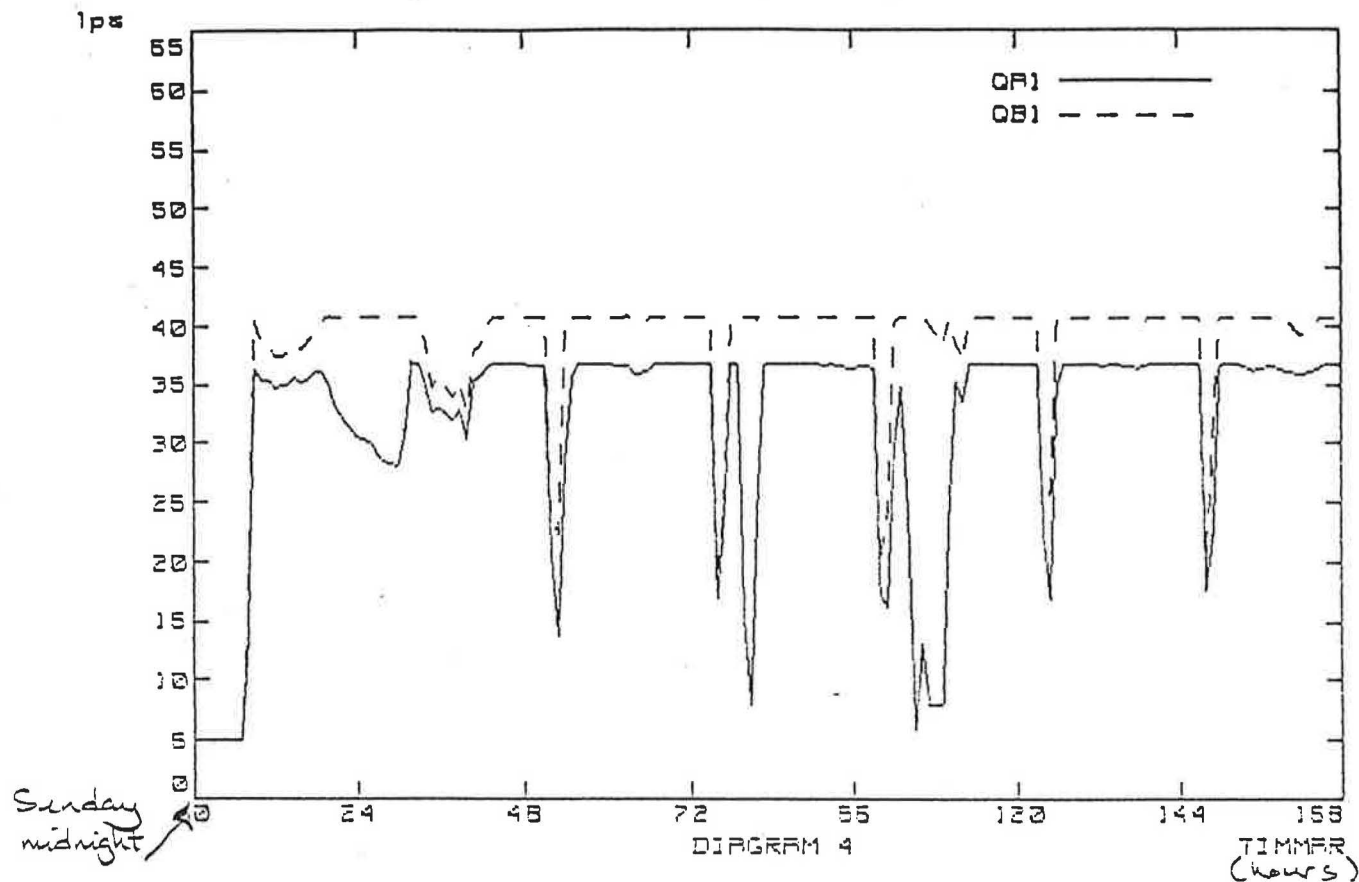
DAGTID (KL 06-18) Day time mean values (06-18)

Stat ber	FA1MED (%)	FB1MED (%)	FC1MED (%)	FD1MED (%)	FE1MED (%)
1 MEDELVAR	38.271	39.408	40.468	39.905	72.612

NATTETID (KL 18-06) Night time mean values (18-06)

Stat ber	FA1MED (%)	FB1MED (%)	FC1MED (%)	FD1MED (%)	FE1MED (%)
1 MEDELVAR	37.773	39.026	40.584	39.227	83.653

REVOLVERSVARVAREN, MALMO
 Tilluftsflode i rum 364 och 368
 Supply air flow rates in office rooms no. 364 and 368
 PERIOD: 900326 - 900401 1 week



BENAMNINGAR
 QA1=Luftflode till rum 364 lit per s Supply air flow rate, room 364, l/s
 QB1=Luftflode till rum 368 lit per s Supply air flow rate, room 368, l/s

Stat ber	QA1 (LPS)	QB1 (LPS)	
1 ANTAL	168.00	168.00	
2 MIN	5.0000	5.0000	Min. value
3 MAX	36.875	40.775	Max. value
4 SUMMA	5359.2	6308.1	
5 MEDELV	31.900	37.548	Mean value
6 STDAVV	9.0225	8.2349	Stand. dev.

DAGTID (KL 06-18) Day time mean values (06-18)

Stat ber	QA1MED (LPS)	QB1MED (LPS)
1 MEDELVAR	32.542	39.004

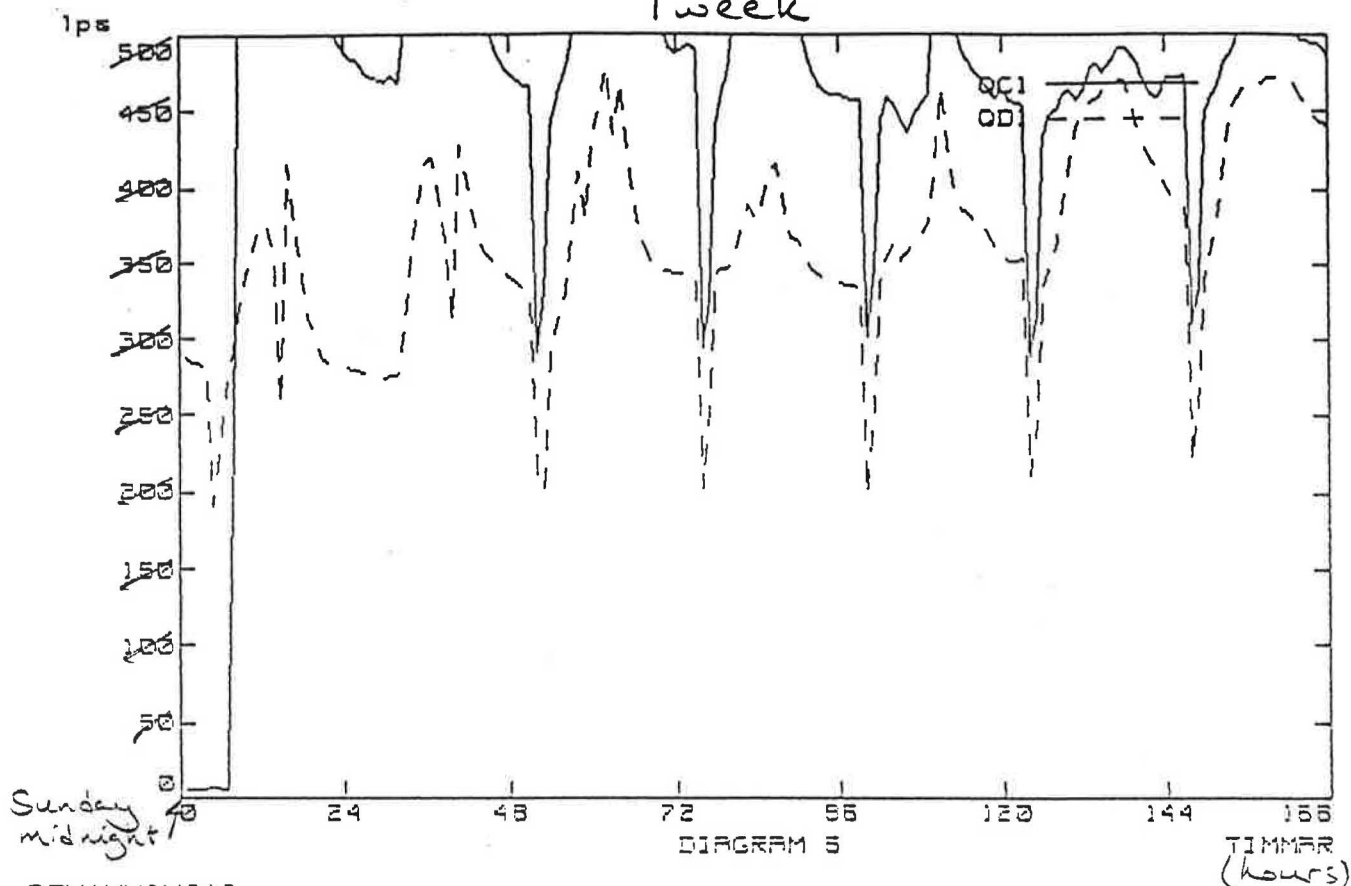
NATTETID (KL 18-06) Night time mean values (18-06)

Stat ber	QA1MED (LPS)	QB1MED (LPS)
1 MEDELVAR	31.258	36.031

REVOLVERSVARVAREN, MALMO +figure 6
 Luftflode i aggregat TA101 och TA102
 Air flowrates in central supply air handling units TA101 and TA102 (roof top units)

PERIOD: 800326 - 800401

1 week



BENAMNINGAR

QC1=Luftflode genom aggregat TA101 (TRYCKDIFF) Air flowrate (TA101)
 QD1=Luftflode genom aggregat TA102 (TRYCKDIFF) Air flowrate (TA102)

Stat ber	QC1 (P)	QD1 (P)
1 ANTAL	168.00	168.00
2 MIN	5.5800	131.48
3 MAX	703.20	479.20
4 SUMMA	80143.	60965.
5 MEDELV	477.04	362.89
6 STDAVV	125.87	67.581

The output signals have not yet been calibrated.

DAGTID (KL 06-18) Day time mean values (06-18)

Stat ber	QC1MED (P)	QD1MED (P)
1 MEDELVAR	526.45	393.21

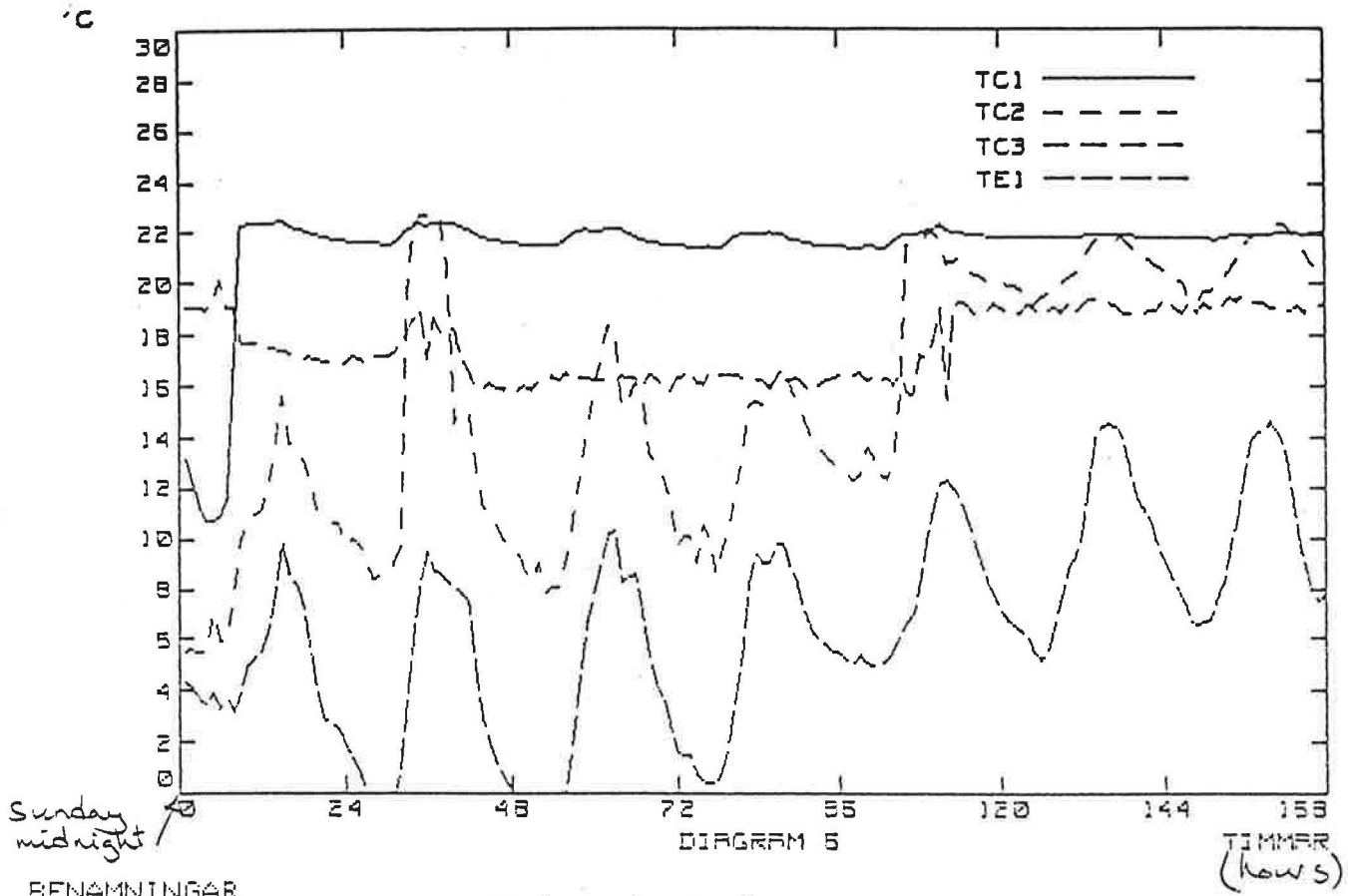
NATTETID (KL 18-06) Night time mean values (18-06)

Stat ber	QC1MED (P)	QD1MED (P)
1 MEDELVAR	427.64	332.56

REVOLVERSVARVAREN, MALMO
 Temperaturer i aggregat TA101
 Temperatures in air-handling unit TA 101

figure 7

PERIOD: 900326 - 900401 1 week



BENAMNINGAR
 TC1=Frånluft till FA101
 TC2=Avluft från FA101
 TC3=Tilluft från TA101
 TE1=Utetemperatur

Exhaust air temp.
 Extract air temp. (after heat recovery)
 Supply air temp. (after heat recovery+suppl.heat)
 Outside air temp.

Stat ber	TC1 (°C)	TC2 (°C)	TC3 (°C)	TE1 (°C)
1 ANTAL	168.00	168.00	168.00	168.00
2 MIN	10.720	5.4700	15.430	-2.0500
3 MAX	22.480	22.780	20.130	14.590
4 SUMMA	3595.3	2610.6	2956.3	1086.6
5 MEDELV	21.400	15.540	17.601	6.4679
6 STDAVV	2.1316	5.1537	1.3466	4.0399

DAGTID (KL 06-18) Day time mean values (06-18)

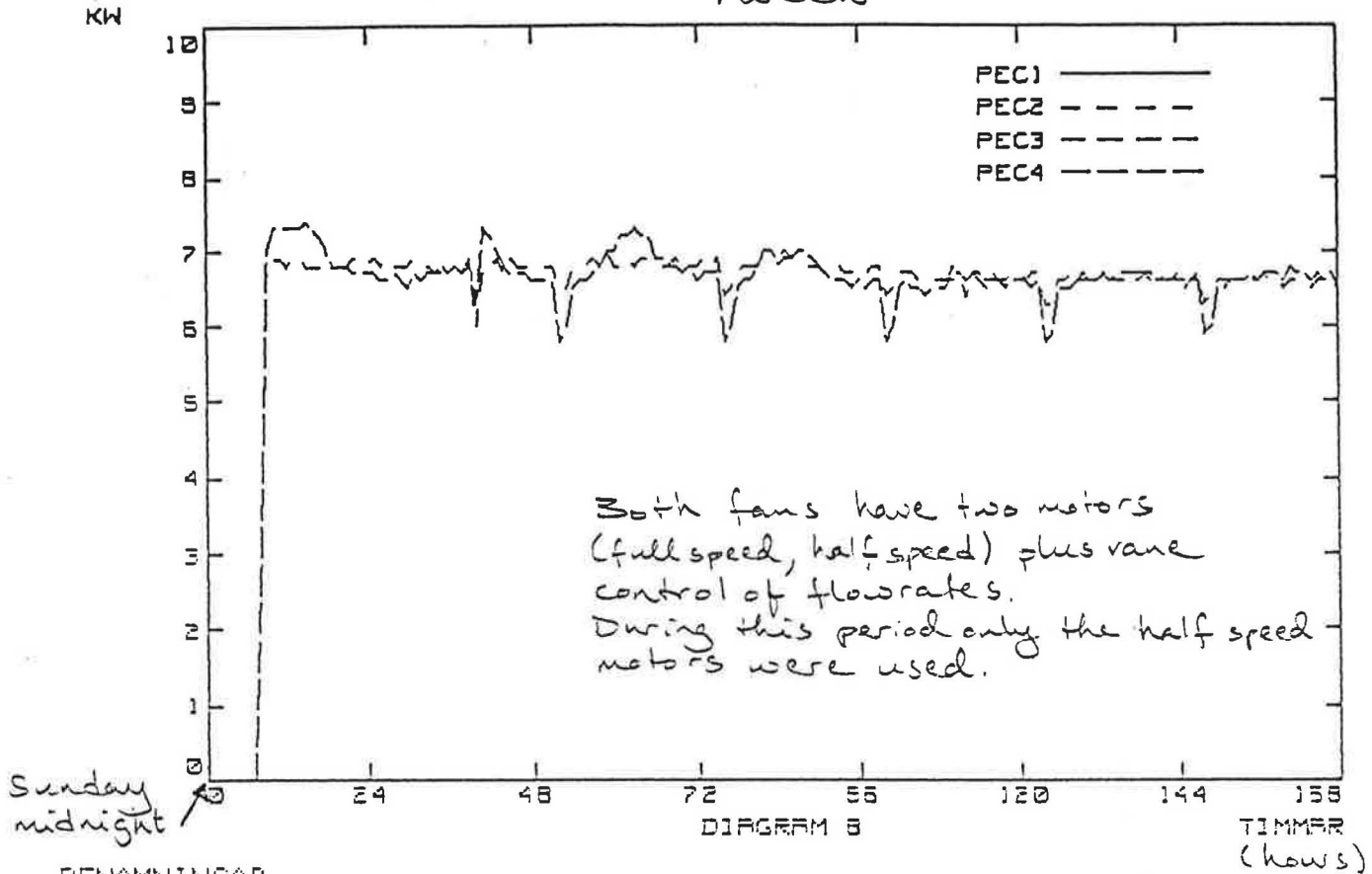
Stat ber	TC1MED (°C)	TC2MED (°C)	TC3MED (°C)	TE1MED (°C)
1 MEDELVAR	21.824	17.106	17.665	8.2405

NATTETID (KL 18-06) Night time mean values (18-06)

Stat ber	TC1MED (°C)	TC2MED (°C)	TC3MED (°C)	TE1MED (°C)
1 MEDELVAR	20.976	13.973	17.536	4.6954

REVOLVERSVARVAREN, MALMO
 Elforbrukning TA/FA101 Electric power input to exhaust
 air fan (FA101) and supply air fan (TA101) of roof top unit 101

PERIOD: 900326 - 900401 /week



BENAMNINGAR

- PEC1=Elforbrukning FA101 helfart exhaust air fan, full speed
- PEC2=Elforbrukning FA101 helfart exhaust air fan, half speed
- PEC3=Elforbrukning TA101 helfart supply air fan, full speed
- PEC4=Elforbrukning TA101 helfart supply air fan, half speed

Stat ber	PEC1 (KW)	PEC2 (KW)	PEC3 (KW)	PEC4 (KW)
1 ANTAL	168.00	168.00	168.00	168.00
2 MIN	0.	0.	0.	0.
3 MAX	0.	7.0000	0.	7.4000
4 SUMMA	0.	1076.0	0.	1071.8
5 MEDELV	0.	6.4048	0.	6.3798
6 STDAVV	0.	1.3771	0.	1.3962

DAGTID (KL 06-18) Day time mean values (06-18)

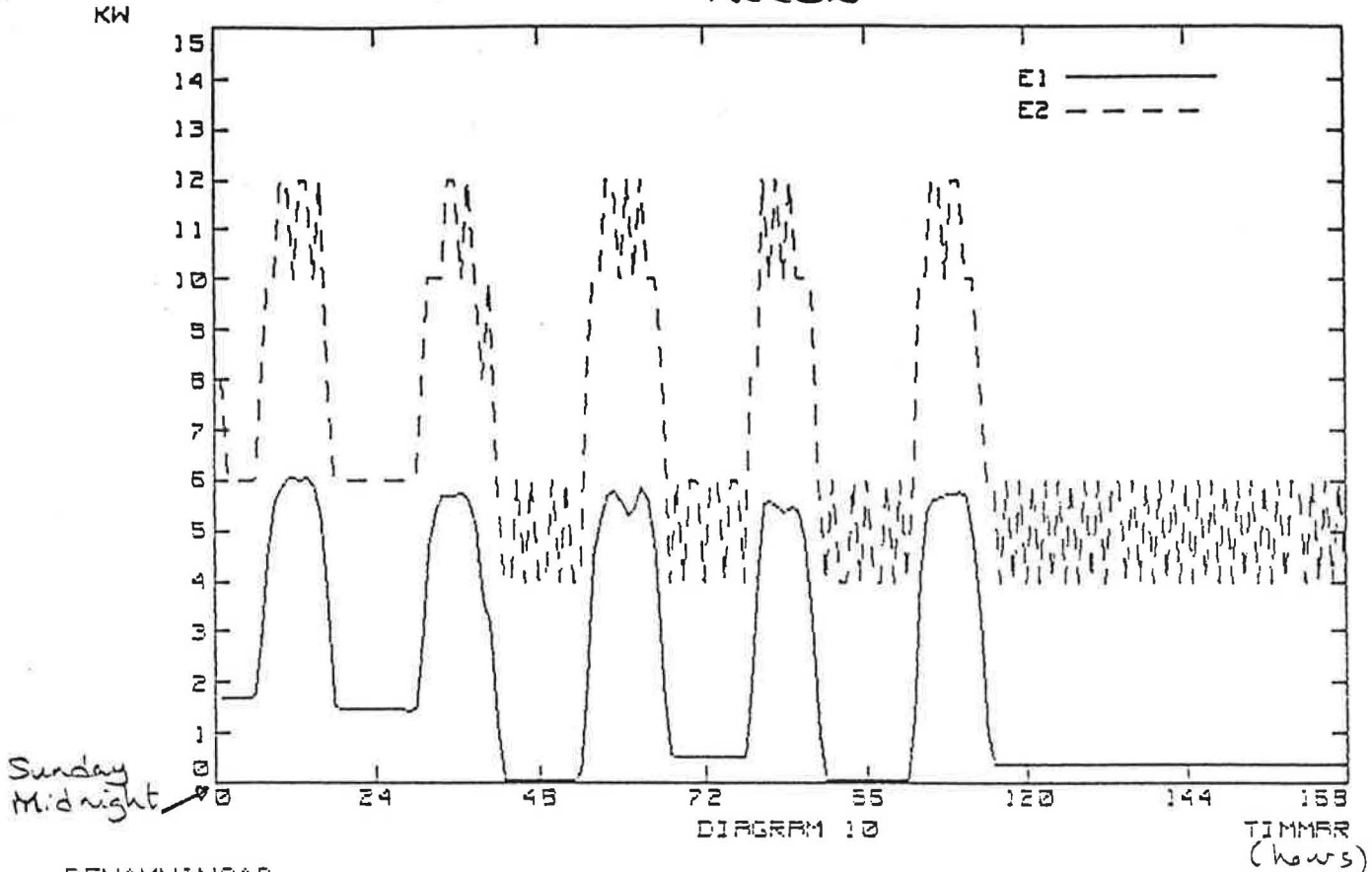
Stat ber	EC1MED (KW)	EC2MED (KW)	EC3MED (KW)	EC4MED (KW)
1 MEDELVAR	0.	6.5976	0.	6.6810

NATTETID (KL 18-06) Night time mean values (18-06)

Stat ber	EC1MED (KW)	EC2MED (KW)	EC3MED (KW)	EC4MED (KW)
1 MEDELVAR	0.	6.212	0.	6.079

REVOLVERSVÄRKHAREN, MÄLMÖ
 Elförbrukning belysning och totalt för plan 3
 Electric power input for lighting and in total for half of
 office floor no. 3.
 PERIOD: 900326 - 900401

1 week



BENÄMNINGAR

E1=Elförbrukning belysning del av plan 3 Total power input to offices
 E2=Elförbrukning central för del av plan 3 Power input for lighting

Stat ber	E1 (KW)	E2 (KW)
1 ANTAL	168.00	168.00
2 MIN	0.04375	4.0000
3 MAX	6.0500	12.000
4 SUMMA	328.37	1152.0
5 MEDELV	1.9546	6.8571
6 STDAVV	2.1988	2.6857

DAGTID (KL 06-18) Day time mean values (06-18)

Stat ber	E1MED (KW)	E2MED (KW)
1 MEDELVAR	3.3568	8.5238

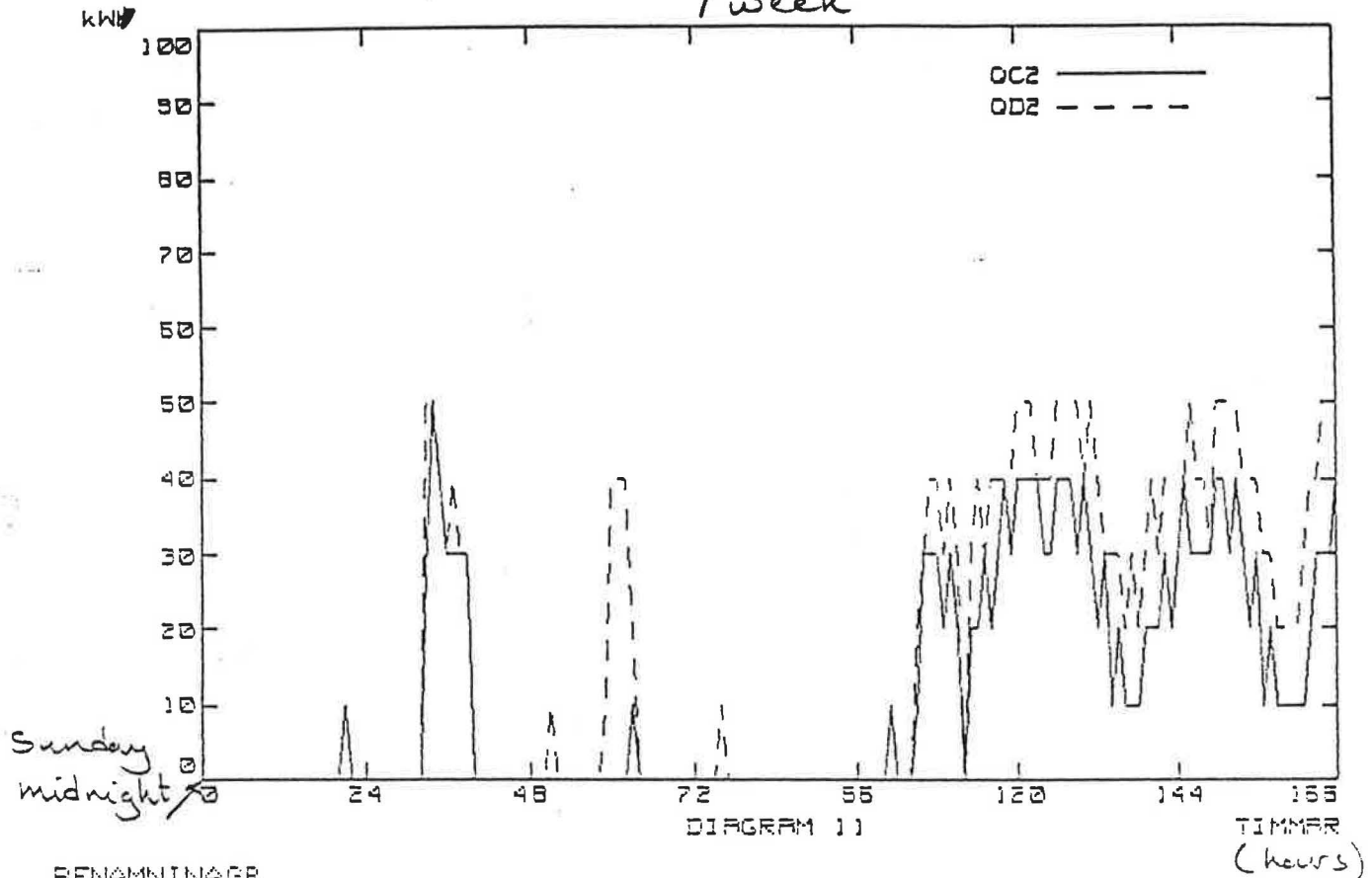
NATTETID (KL 18-06) Night time mean values (18-06)

Stat ber	E1MED (KW)	E2MED (KW)
1 MEDELVAR	0.5523	5.1905

Heating input to the supplementary heating coil of units 101 and 102

PERIOD: 900325 - 900401

1 week



BENAMNINGAR

QC2=Varmeenergi till TA101 Heating input to air supply unit TA101

QD2=Varmeenergi till TA102 Heating input to air supply unit TA102
(water heated coils)

Stat ber	QC2 (KWH)	QD2 (KWH)
1 ANTAL	168.00	168.00
2 MIN	0.	0.
3 MAX	50.000	50.000
4 SUMMA	1940.0	2830.0
5 MEDELV	11.548	16.845
6 STDAVV	14.924	19.733

DAGTID (KL 06-18) Day time mean values (06-18)

Stat ber	QC2MED (KWH)	QD2MED (KWH)
1 MEDELVAR	12.024	18.690

NATTETID (KL 18-06) Night time mean values (18-06)

Stat ber	QC2MED (KWH)	QD2MED (KWH)
1 MEDELVAR	11.071	15.000

Total concentration of VOC
TOTALHALT AV VOC (mg/m³)

Office room no. 212

"Revolversvarven" rum 212 89-12-05--06

Normal concentration indoors

✕—✕ Normalhalt inomhus < 0,4

Normal concentration outdoors

— Normalhalt utomhus < 0,2

Ventilation : 11,5 + ca 6l/s

During this period the ventilation was stopped, the room was left empty with the door closed, Stängd ventilation

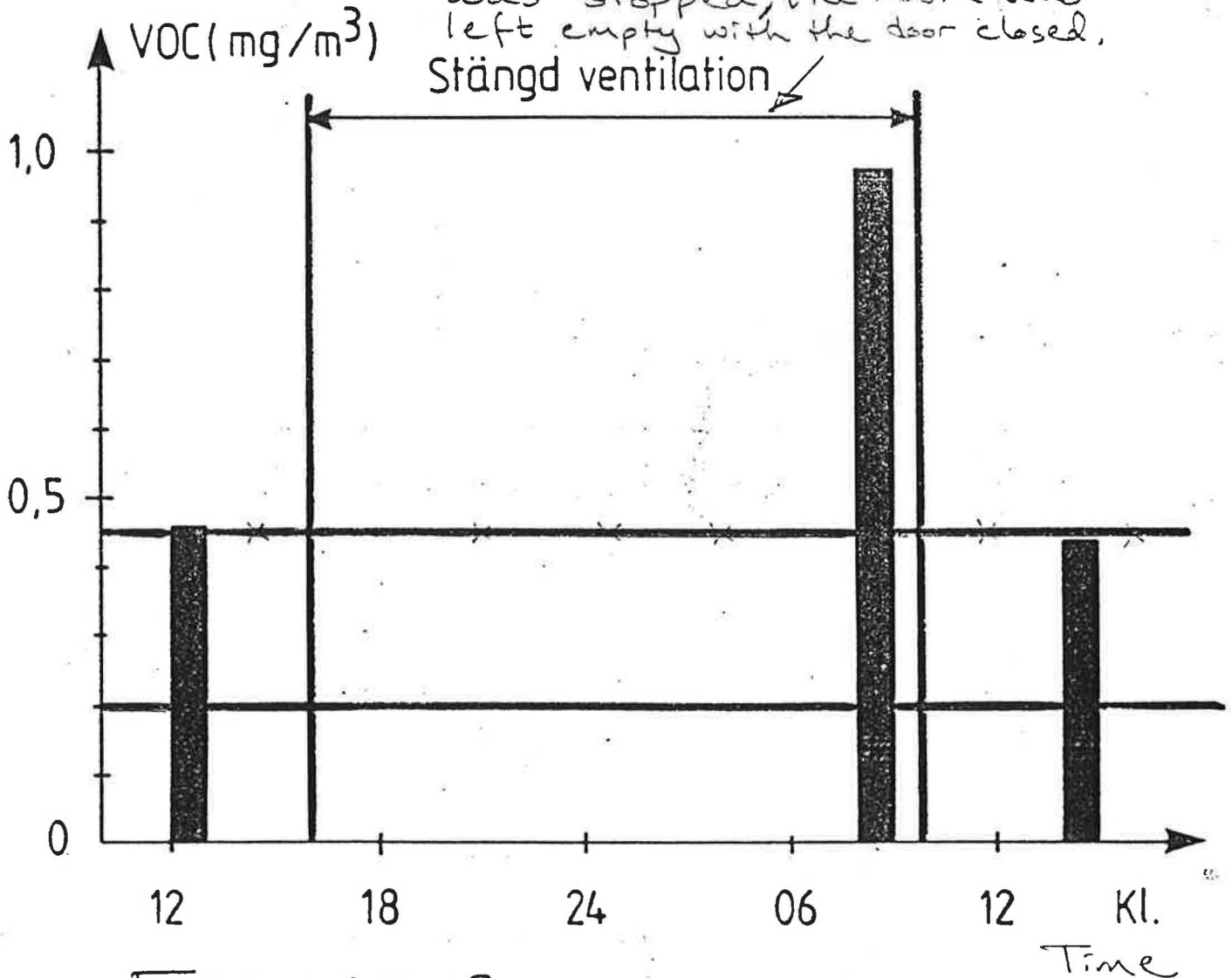


FIGURE 12

1989-11-23

Per Fahlén/pof

ENERGIANVÄNDNING OCH LUFTKVALITET I KONTORSHUS
-Uvärdering av fastigheten Revolversvarven i Malmö

Föredrag av Per Fahlén, Statens Provningsanstalt, vid forskningsseminarium i samband med invigningen av TA's kontorshus i Malmö den 6 december 1989.

1 BAKGRUND

Under 1970-talet och första hälften av 1980-talet har energianvändningen i byggnader haft en hög prioritet både beträffande forskningsinsatser och det allmänna intresset. Under den senaste 5-årsperioden har emellertid en förskjutning av intresset ägt rum mot en mer allsidig belysning av byggnaders funktion. Anledningen till att man överhuvudtaget bryr sig om att bygga är att människan behöver skydda sig själv eller sin verksamhet mot ett varierande och mer eller mindre ogästvänligt uteklimat. Därmed måste byggnadens inre klimat få högsta prioritet eftersom det är detta klimat som ursprungligen motiverat byggnadens tillkomst. Den kravspecifikation som beskriver det önskade inneklimatet ställer in sin tur krav på byggnadsskalets och installationernas konstruktion. Målet är att, inom givna ekonomiska ramar, byggnadens funktion skall kunna uppfyllas med ett minimum av tillförd energi och underhåll över hela den projekterade tekniska livslängden för byggnaden.

1.1 Energi, ventilation, innemiljö

Krav på en acceptabel innemiljö har en direkt återverkan på en byggnads ventilationssystem och på dess energianvändning. Framförallt har den kraftigt höjda standarden på isolering och täthet i kombination med förekomsten av ett stort antal nya byggnadsmaterial ställt nya och högre krav på utformningen av ventilationssystem. Förekomsten av så kallade sjuka hus har medfört ett växande behov av forskning kring denna problematik både nationellt och internationellt. En lösning av ventilationsproblematiken, som erbjuder möjligheter till god ventilation med minimerad energianvändning, är de behovsstyrda ventilationssystemen.

1.2 Behov av forskning

För att på ett riktigt sätt kunna projektera olika typer av ventilationssystem, i synnerhet de behovsstyrda, krävs en ökad kunskap om hur verkliga byggnader uppför sig. Grundläggande kunskap måste inhämtas om de miljömässiga belastningar som är dimensionerande för ventilationsbehovet (t ex peronbelastning, rökning, emissioner från byggnadsmaterial, processer, temperatur, fuktighet). Med tanke på att både byggnaden och den verksamhet som bedrivs i denna förändras med tiden är förmodligen inte endast en parameter tillräcklig att styra ventilationssystemet efter.

Sverige deltar internationellt i forskning kring behovsstyrd ventilation inom IEA (International Energy Agency) Annex 18. I anslutning till detta arbete kommer ett antal projekt för att konvertera befintliga ventilationssystem till behovsstyrning att genomföras. Dessutom genomförs en utvärdering av olika typer av givare för detta ändamål. I detta sammanhang är möjligheten att göra detaljerade mätningar i ett nybyggt kontorshus med ett väldokumenterat ventilationssystem av utomordentligt stort intresse för att få ett bra referensmaterial.

1.3 Planerat projekt

En intressant möjlighet att starta ett projekt i ett kontorshus har öppnat sig i Malmö, där fastighetsbolaget Coronado uppfört ett kontorshus med bl a TA Svenska Försäljnings AB och TA Industri Automation som hyresgäster. Både Coronado och TA har visat sig aktivt intresserade av att medverka och TA har dessutom möjlighet att bidra med kvalificerad utrustning för datainsamling. Fastigheten ("Revolversvarven") har projekterats med ett ventilationssystem av VAV-typ (Variable Air Volume, dvs variabelt luftflöde). Dessutom ingår komfortkylning med direktförångningsbatterier och värmeåtervinning med roterande värmeväxlare utan återluft.

Coronado äger också en liknande kontorsfastighet med ventilation av typ CAV (Constant Air Volume, dvs konstant luftflöde), vilken i framtiden kan ge ytterligare jämförelsematerial. Ytterligare omständigheter som gör projektet intressant är möjligheterna att göra detaljerade studier av elanvändningen i ett modernt kontorshus samt att studera transienta förlopp i byggnaden i samband med att fastigheten tas i drift. Man kan räkna med att belastningen på innemiljön är särskilt stor i samband med inflyttningen till en ny byggnad. Emissioner från inrednings- och byggnadsmaterial är störst i initialskedet och vissa kemiska reaktioner kan påverkas av den förhöjda fukthalt som finns t.ex. i nybyggda betongstommar.

Även energimässigt är kontorshus intressanta. Moderna kontorshus har ofta ett kylbehov under en stor del av året och därmed är den interna värmebelastningen från t ex personal, belysning och kontorsmaskiner av intresse. Effektiv användning av el för t ex belysningsändamål medför även en minskning av elanvändningen för luftbehandling (kyla, fläktdrift m m).

2 PROJEKT "REVOLVERSVARVEN" - SYFTE

I samarbete mellan Statens Provningsanstalt (SP), Chalmers Tekniska Högskola (CTH) och Statens Råd för Byggnadsforskning (BFR) har ett utvärderingsprojekt initierats i kontorsfastigheten "Revolversvarven" i Malmö. Projektet har som huvudsyfte att öka kunskapen om hur innemiljö och energianvändning påverkas av ventilation och verksamhet i ett modernt kontorshus. Följande delar kommer att ingå:

- * en studie av hur innemiljö och energianvändning påverkas av den fas när en ny kontorsbyggnad tas i drift,
- * detaljerade mätningar på olika elektriska installationer (t.ex. belysning, fläktar, kylmaskiner),
- * kontinuerlig mätning av ett antal innemiljöparametrar med intensivmätningar under kortare perioder på speciellt intressanta objekt,
- * en studie av hur olika reglerstrategier för det projekterade VAV-systemet påverkar innemiljö och energianvändning.

Projektet ingår i en bred satsning, där BFR och SP samarbetar i projekt med anknytning till energianvändning och innemiljö. T.ex. kommer de givare för behovsstyrning av ventilation, vilka skall användas i projekt "Revolversvarven", att utvärderas parallellt i SP's laboratorier.

3 GENOMFÖRANDE

Projektet kommer att genomföras med installation av mätutrustning under hösten 1989, mätningar under hela 1990 samt utvärdering av projektet under våren 1991.

3.1 Mätningar

Mätningar kommer att utföras enligt följande program (jämför figurerna 1 och 2):

3.1.1 Fukthalt i betongbjälklag

Provhål borraras dels i bottenplattan och dels i golvbjälklaget till plan tre. I varje plan väljs tre provpunkter, en punkt centralt i byggnaden, en punkt mitt på en långsida och en punkt i ett hörn. I varje mätpunkt borraras tre olika djupa hål, totalt alltså 18 stycken provhål.

Den relativa fuktigheten och temperaturen mäts i varje enskilt hål direkt efter byggnadens färdigställande, i samband med inflyttning i byggnaden samt därefter med ett par månaders intervall. Syftet är att studera byggnadens uttorkning och att få underlag för att kunna bedöma om fukten kan inverka på emissionerna från golv- och väggmaterial.

3.1.2 Relativ luftfuktighet

Fuktgivare installeras i uteluften, i de båda centrala frånluftsaggregaten samt i två utvalda kontorsrum på plan tre. Dessa mätningar sker kontinuerligt, dels för att undersöka om fuktigheten kan vara en dimensionerande variabel för ventilationen och dels för att kunna beräkna värmeeffektbehovet för ventilation.

3.1.3 Partikelhalt

Partikelräknare används för att bestämma partikelhalten i frånluften från våningsplanet och i två utvalda kontorsrum. Mätningarna görs i form av intensivmätningar under en vecka före inflyttning, under en vecka efter inflyttning samt efter det att ändringar utförts i något rum. Tilluftsfilter av klass F85 förutsätts installerade från början.

Tidigare undersökningar har visat att det kan finnas ett samband mellan partikelhalt och en rad luftföroreningar. Detta gör partikelhalten till en intressant parameter för behovsstyrning av ventilation.

3.1.4 Temperatur

Temperaturgivare installeras i uteluften, i frånluften till de båda centrala frånluftsaggregaten, i fram- och returledningarna till värmesystemet, i rören till och från tappvarmvattenvärmeväxlaren, i fram- och returledningarna till de båda lufteftervärmarna, i luften in och ut ur de båda roterande värmeväxlarna, i rumsluften (på tre höjder) samt i avluften till två kontorsrum och på radiatorerna i de båda kontorsrummen. Dessutom kommer komforttemperaturen och ytemperaturerna på båda sidor om väggar, golv och tak till ett kontorsrum att mätas under vissa perioder.

Temperaturmätningarna används för att beräkna tillförd värme till tappvarmvatten, radiatorsystem och tilluft samt för byggnaden totalt. Indirekt används temperaturmätningarna i till- och frånluftskanalerna för att beräkna återvinningen av värme via de roterande värmeväxlarna. Vidare är temperaturen en av de vanligaste styrvariablerna för ventilationssystem av VAV-typ.

3.1.5 Lättflyktiga kolväten (VOC)

Luftanalyser med s.k. tenax-rör utförs i samband med byggnadens färdigställande, före inflyttning samt därefter med jämna intervall. Prover tas dels i uteluften och dels i två kontorsrum. Tenax-proven används både för att identifiera de lättflyktiga kolväten (Volatile Organic Compounds, VOC) som emitteras från byggnaden och dess verksamhet och för att kvantitativt studera hur snabbt halten av dessa föreningar avklingar när ventilationssystemet tagits i drift.

Dessutom installeras kommersiellt tillgängliga givare för styrning av ventilationsflöden med hänsyn till halten av VOC (t.ex. av Taguchi - eller metalloxidtyp). Utsignalen från dessa givare registreras kontinuerligt under vissa perioder och jämförs mot resultaten från instrument av IR-typ och mot resultaten från tenax-rör.

3.1.6 Formaldehyd

Luftanalyser för bestämning av halten formaldehyd utförs med dosimetrar, vilka analyseras i laboratorium på motsvarande sätt som tenax-rören. Prover tas på samma platser och vid samma tidpunkter som VOC-proven enligt 3.1.5. Formaldehyd är en viktig komponent ur inomhusmiljösynpunkt, eftersom det är ett ämne som dokumenterat orsakar irritation och överkänslighetsreaktioner.

3.1.7 Koldioxid

Givare för koldioxid installeras i uteluften, i frånluften till de båda centralaggregaten samt i två kontorsrum. Koldioxidhalten i uteluften används som referensvärde vid bedömningen av halten i inneluften. Vidare kommer mätresultaten från uteluftsgivaren att jämföras med motsvarande mätningar från andra platser i landet och tidigare mätningar inom och utom Sverige.

Koldioxidhalten i inneluften är en god indikator på den belastning av inomhusmiljön, som orsakas av människor. Koldioxiden i sig är inte giftig i de koncentrationer som uppträder i kontorsbyggnader, men eftersom den är ett mått på ventilationsflödet per person i ett rum, är den en av de mest intressanta styrparametrarna i kontorsbyggnader.

3.1.8 Elektrisk effekt och energi

Elektrisk effekt och energi mäts totalt för fastigheten samt individuellt för tilluftsfläktarna, frånluftsfläktarna, kylkompressorerna och för belysningen på våningsplan tre. Den elektriska effekten mäts för att studera användningen av elektrisk effekt/energi i relation till byggnadens totala energianvändning.

Moderna kontorsfastigheter är installationsintensiva och därmed stora användare av elektricitet. Möjligheten att minska effekten till belysning m.m. har dubbel betydelse i och med att det samtidigt kan minska effektbehovet för komfortkylning och därmed elektriciteten för drift av kylkompressorerna. Vidare innebär en hög intern värmelast från elektriska installationer i samband med en välisolerad byggnad att säsongen med kylbehov förlängs.

3.1.9 Värmebärande flöde

Värmebärande flöden mäts till lufteftervärmarna i båda tilluftaggregaten, till radiatorsystemet och till tappvarmvattnet. Dessa vätskeflöden krävs för att kunna bestämma den värmeeffekt som används i respektive delsystem.

3.1.10 Lufthastighet

Lufthastighetens fördelning i de två referensrummen bestäms vid min, max och normalvärden på tilluftsflödet, dels under uppvärmningssäsongen och dels under kyla-säsongen.

Lufthastigheten är en viktig parameter ur komfortsynpunkt. Framförallt under uppvärmningssäsongen kan höga lufthastigheter upplevas som störande.

3.1.11 Luftflöden

De totala till- och frånluftsflödena mäts kontinuerligt för de båda centralaggregaten. Dessa mätningar används dels för att kunna beräkna energibehovet för ventilation och dels för att följa hur styrningen av ventilationen arbetar.

Dessutom mäts tilluftsflödena till de båda referenskontoren (via VAV-donens interna givare). Dessa flöden används för att korrelera det momentana flödet med det behov som indikeras av de olika givarna (för temperatur, fuktighet, koldioxid, VOC).

3.1.12 Lufttryck

Trycken i ventilationskanalerna samt tryckdifferenserna över luftfiltren mäts kontinuerligt.

3.1.13 Ljudtrycksnivå

Ljudtrycket bestäms i de båda referenskontoren för samma driftfall som lufthastigheterna enligt 3.1.9.

3.2 Statusbestämning av ventilationssystemet

En statusbestämning av ventilationssystemet utförs i samband med att byggnaden färdigställs. Bestämningen utförs enligt de riktlinjer som utarbetats av Statens provningsanstalt och Arbetarskyddsstyrelsen (ASS H23, 1988). Syftet med denna undersökning är dels att i detalj dokumentera den anläggning som mätprogrammet avser och dels att se till att anläggningen fungerar på avsett vis. Om den undersökta anläggningen skulle ha fundamentala brister förlorar mätresultaten en stor del av sin vetenskapliga relevans. I samband med statusbestämningen utförs viktiga funktionskontroller, t.ex. bestämning av luftflöden, täthet och överläckning med hjälp av spårgas.

3.3 Utvärdering

Utvärderingen av de mätningar som utförs enligt 3.2 kommer att slutföras under våren 1991. Projektets resultat kommer därvid att diskuteras i en särskild referensgrupp. Följande moment kommer att behandlas:

- * Resultatet av statusbestämningen av ventilationsanläggningen jämförs med projekterade värden och eventuellt erforderliga ändringar av ventilationssystemet utförs
- * Resultaten från fuktmätningarna jämförs med Statens provningsanstalts fuktberäkningsprogram och en bedömning av risken för påverkan av byggnadsmaterial görs
- * Inredningsmaterial utvärderas med avseende på ingående kemiska ämnen och en jämförelse med tenax-mätningarna görs
- * Enkätundersökningar görs beträffande personalens uppfattning om luftkvalitén efter inflyttning och efter ytterligare ett år

- * Energianvändningen för ventilation beräknas (kyla sommartid, värme vintertid). Dessutom görs jämförelser med energianvändningen för alternativa ventilationsstrategier (t.ex. olika typer av behovsstyrning)
- * Användningen av elektrisk energi och effekt analyseras och olika möjligheter till effektivisering undersöks (t.ex. varvtalsstyrning av pumpar och fläktar, bättre utnyttjande av dagsljus för belysning etc)
- * Upplevelsen av termiskt inneklimat och luftkvalitet enligt enkätundersökningen jämförs med de olika mätresultaten
- * Utsignalerna från partikelräknare, lufttemperaturgivare, fuktgivare, VOC-givare och koldioxidgivare jämförs för att kunna bedöma möjligheterna till behovsstyrning. I detta sammanhang bedöms olika alternativa sätt att styra VAV-system.

4 RESULTAT

Projektet är fortfarande under uppstartande och beroende på att ventilationsanläggningen ännu inte är helt intrimmad har statusbestämningen och de kontinuerliga mätningarna ännu inte påbörjats. Däremot har fuktmätningar, luftanalyser och partikelräkning pågått sedan inflyttningen i fastigheten.

4.1 Fuktmätning

Fuktmätningar har utförts vid två tillfällen. Resultaten indikerar en viss uttorkning jämfört med tidiga mätningar gjorda av Centralkonsult. I bottenplattan har sedan en viss höjning av den relativa fuktigheten noterats medan värdet i plan tres golvbjälklag fortsatt att minska (jämför med figur 3 och 4). Förändringarna är dock små och ligger inom mätosäkerheten. Vidare visar mätningarna att den relativa fuktigheten ökar med djupet i bottenplattan medan den är högst i mitten av mellanbjälklaget, vilket kan torka ut både uppåt och nedåt.

4.2 Luftanalyser

Luftanalyser har utförts vid fyra tillfällen för VOC och vid två tillfällen för formaldehyd. Vid första tillfället, strax efter det att målning och mattläggning utförts, konstaterades höga halter av både VOC och formaldehyd. Den höga halten formaldehyd var något överraskande, eftersom byggnaden inte innehöll några material, som normalt förknippas med detta ämne. En kontroll med leverantörerna av de färger och limmer, som använts i "Revolversvarven, visade att formaldehyd ingick till viss del i dessa (se nedan).

Vävlim

- * formaldehyd (0,02 %)
- * bensenhemiformal (0,07 %)
- * vinylacetat (<0.1 %)
- * bensisotiazolin

Mattlim

- * toluen (<2 %)
- * etanol (<2 %)
- * dibutylftalat (<1 %)
- * vinylacetat (<0,1 %)

Handspackel

- * isotiazolinderivat (1 %, allergiframkallande)
- * formaldehyd

Färg (vattenbaserad)

- * hexylenglykol (2,6 %)
- * bensisotiazolinon (0,022 %)
- * texanol (0,31 %)
- * ammoniak (0,29 %)
- * vinylacetat + butylakrylat

4.2.1 Formaldehyd

I figur 5 visas resultaten av formaldehydmätningen i ett kontorsrum. Motsvarande mätningar i ett annat rum på samma våningsplan visar likartade värden. Av figur 5 framgår att den första mätningen ger halter ($0,64 \text{ mg/m}^3$) långt över nivågränsvärdet ($0,25 \text{ mg/m}^3$). Vid detta tillfälle var ventilationen ännu inte startad. Vid det senare tillfället, efter att ventilationen varit i drift dagtid, har halten sjunkit under nivågränsvärdet. Den är dock fortfarande hög ($0,10 \text{ mg/m}^3$), speciellt i förhållande till den samtidigt uppmätta halten i uteluften ($0,013 \text{ mg/m}^3$).

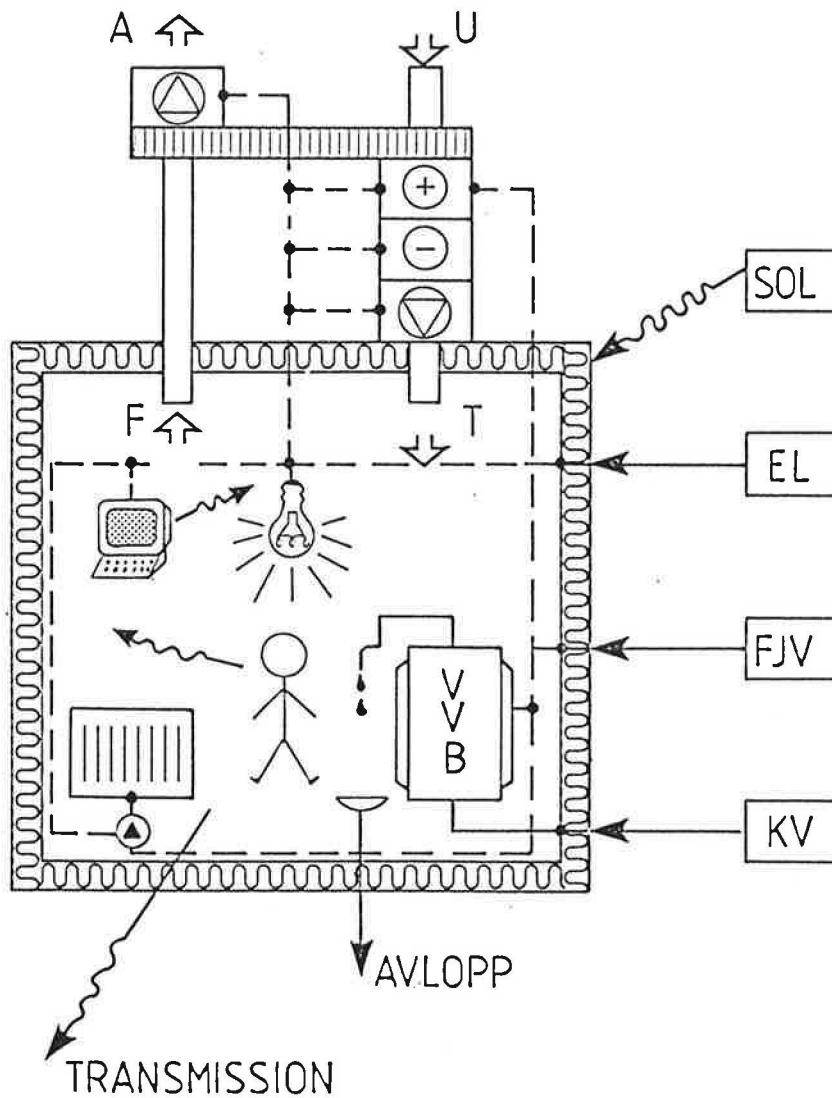
4.2.2 Totalhalt VOC

Totalhalten VOC var vid de två första mätningarna så höga att tenaxrören mättades. Rören har därefter tappat en del av den adsorberade mängden VOC, varför den verkliga halten endast kan uppskattas. Jämfört med normalvärden i äldre fastigheter (ca $0,4 \text{ mg/m}^3$) och värdet i uteluften (uppmätt till $0,11 \text{ mg/m}^3$) är det skattade värdet mycket högt (troligtvis $>10 \text{ mg/m}^3$). Då de två första mätningarna utfördes hade ventilationssystemet ännu inte startats (jämför med figur 6). Fyra veckor efter det att ventilationen tagits i drift dagtid har VOC-halten sjunkit ner till normalvärdet $0,4 \text{ mg/m}^3$.

Däremot visar mätning tre och fyra (figur 6) att färg och limmer fortfarande emitterar VOC i stor utsträckning. Mätning tre är gjord under dagtid, då ventilationen går, medan mätning fyra är utförd ca en timme efter det att ventilationen stängts efter arbetsdagens slut.

I figur 7 visas ett gaskromatogram från analysen av mätning nummer ett. De identifierade ämnena återkommer i stor utsträckning i de specifikationer för limmer och färger som presenterats i tabellen ovan.

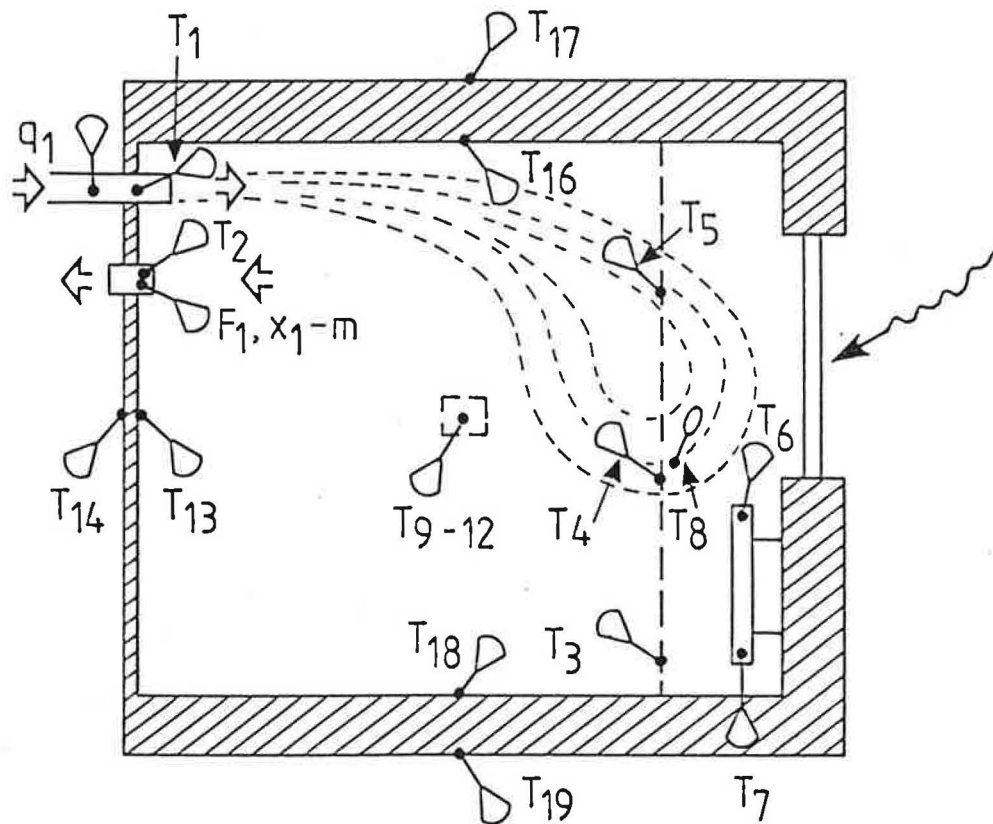
ENERGIANVÄNDNING "Revolversvarven"



Figur 1. Energianvändning i kontorshus.

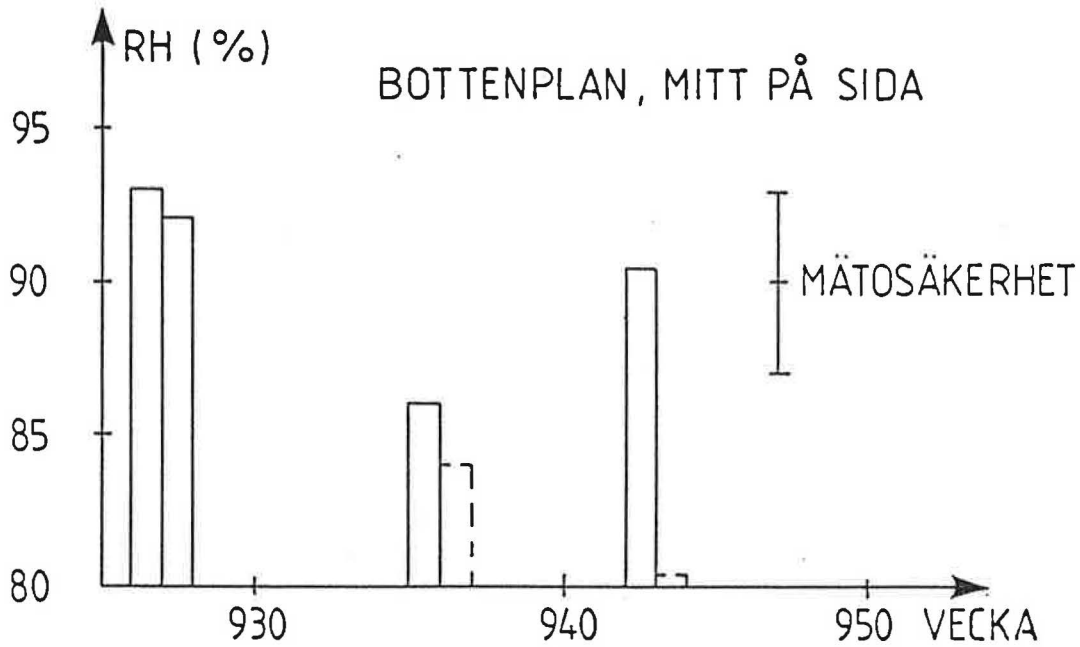
INNEMILJÖ

"Revolversvarven"-rum 364

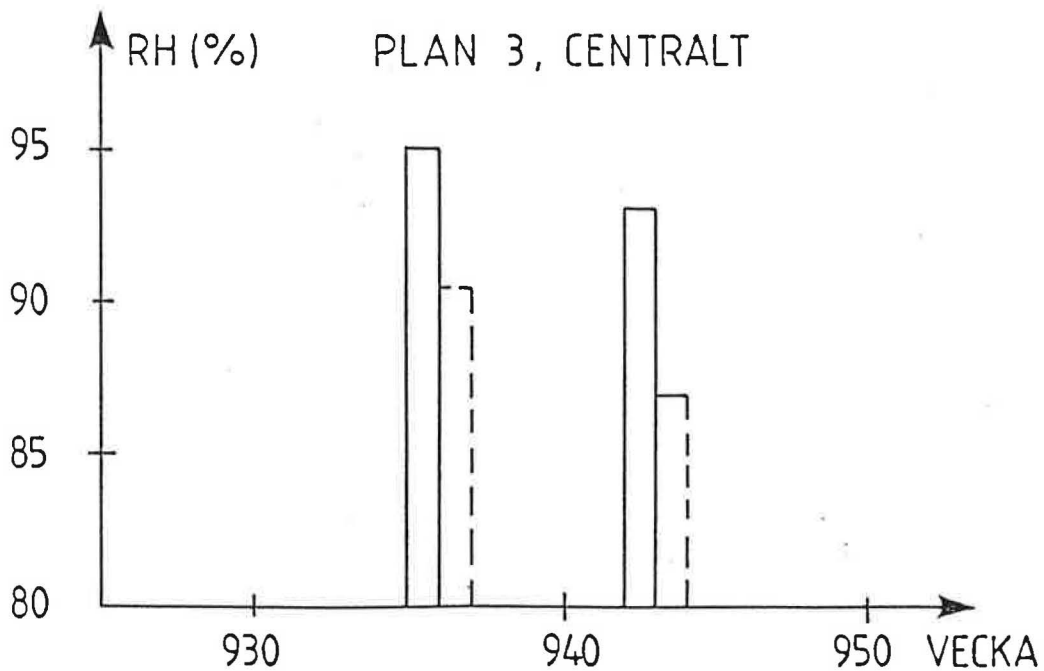


Figur 2. Bestämning av innemiljö i kontorsrum.

FUKTHALT I BETONGBJÄLKLAG

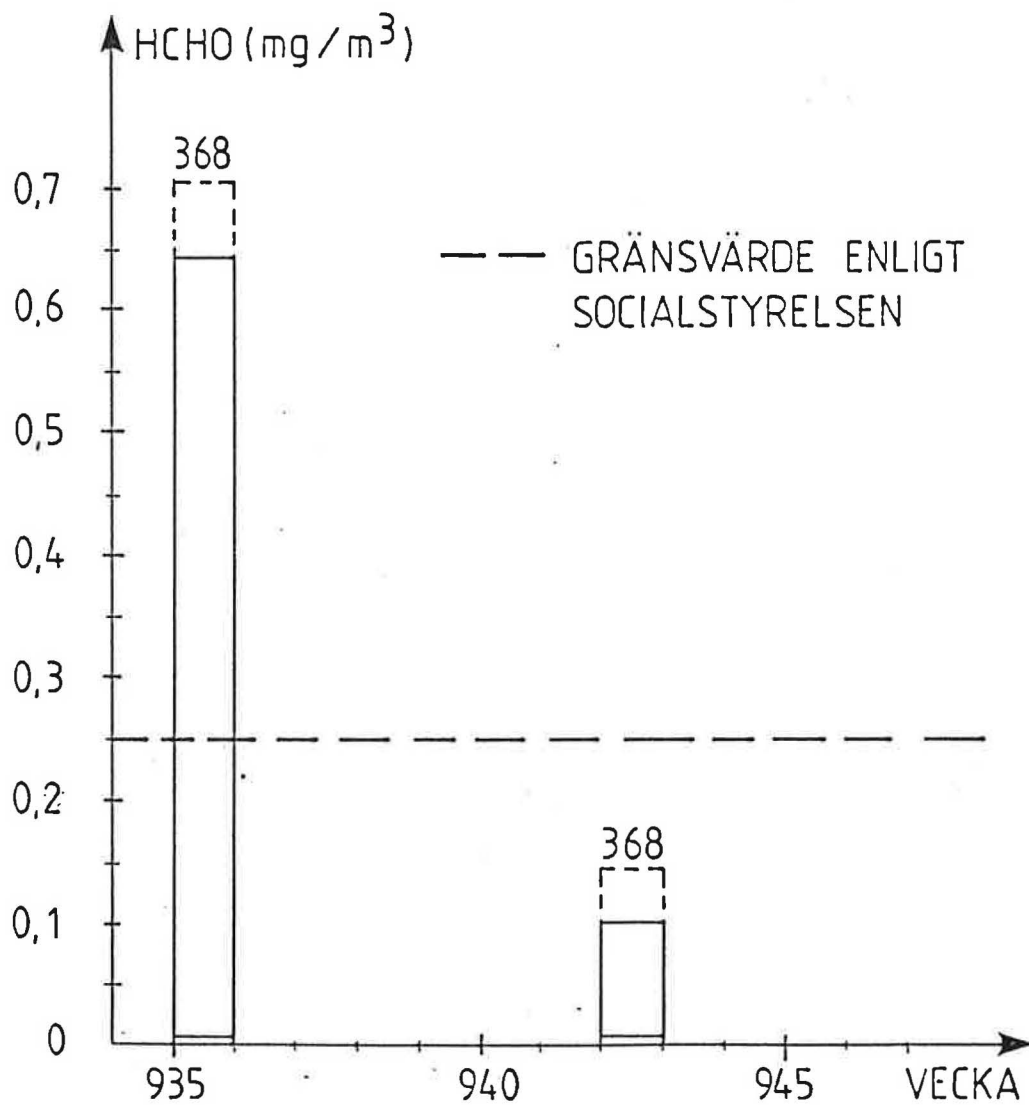


Figur 3. Resultat av fuktmätning i bottenplatta.



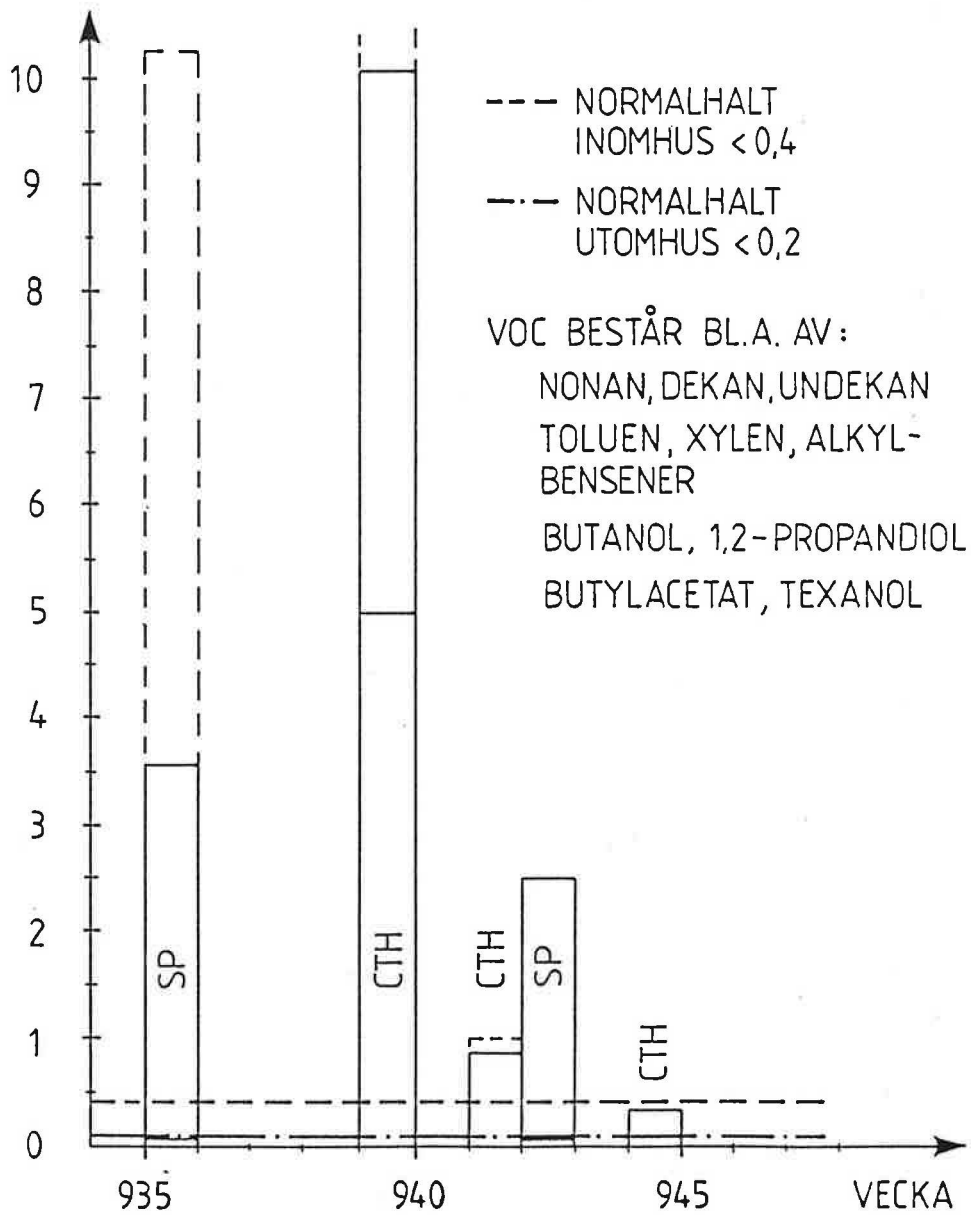
Figur 4. Resultat av fuktmätning i golvbjälklag till plan tre.

FORMALDEHYD (mg/m^3)
"Revolversvarven"—rum 364



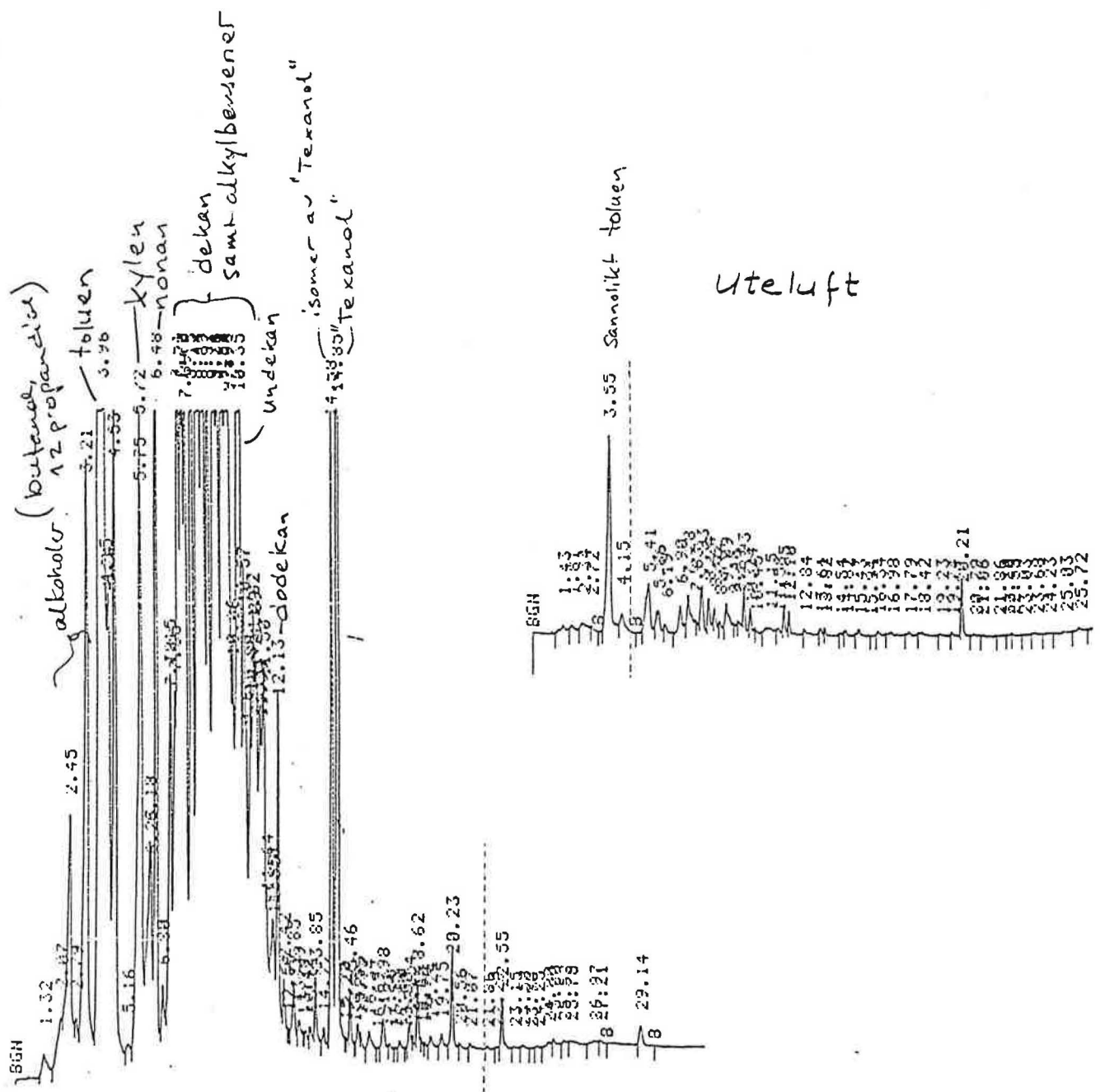
Figur 5. Resultat av formaldehydmätningar.

TOTALHALT AV VOC (mg/m³)
 "Revolversvarven"-rum 364



Figur 6. Resultat från bestämning av totalhalt av lättflyktiga kolväten (VOC).

Rum 368



Figur 7. Resultat från gaskromatogram från tenax-rör.