

Rapport

R77:1982

# Datorreglering av klimatprocesser

Lars Jensen

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	
Plac	<i>See</i>

*R*  
*ANK*

Byggeforskningsrådet

R77:1982

DATORREGLERING AV KLIMATPROCESSER

Lars Jensen

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
740622-5 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Institutionerna för Byggnadsfunktionslära  
och Reglerteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

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

R77:1982

ISBN 91-540-3742-5  
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm.

LiberTryck Stockholm 1982

## INNEHÅLL

1.	INLEDNING .....	5
1.1	Bakgrund .....	5
1.2	Projektets syfte .....	6
1.3	Utförande och avrapportering .....	7
1.4	Tillerkännande .....	9
2.	ASG STORTERMINAL I MALMÖ .....	11
2.1	Byggnadsbeskrivning .....	11
2.2	Ventilationssystem .....	12
2.3	Värmesystem .....	13
2.4	Övervakning, styrning och reglering av VVS-systemet .....	13
2.5	Dataöverföring mellan två datorer .....	14
3.	MODELLBYGGE KONTORSLANDSKAP .....	25
3.1	Syfte .....	25
3.2	Processen .....	25
3.3	Experiment .....	26
3.4	Modellskattning och kommentarer .....	27
4.	PROV MED SJÄLVINSTÄLLANDE REGULATORER .....	41
4.1	Syfte .....	41
4.2	Processen .....	41
4.3	En självinställande regulator .....	41
4.4	Experiment och kommentarer .....	44
4.5	Slutsummering .....	50
5.	ÄNDRINGAR AV DRIFTSSÄTT .....	57
5.1	Övergång från PI-reglering till P-reglering ..	57
5.2	Nattdrift .....	58
5.3	Samordning av tilluftzoner i det stora kontorslandskapet .....	59
5.4	Förbrukningsstatistik .....	59
6.	ALLMÄNNA SYNUNKTER OCH KRAV .....	61
6.1	Allmänt .....	61
6.2	Insignaler .....	68

6.3	Utsignaler .....	72
6.4	Övervakning .....	76
6.5	Styrning .....	84
6.6	Driftsoptimering .....	91
6.7	Reglering .....	96
6.8	Programmering med beslutstabell .....	101
7.	FÖRSLAG TILL FUNKTIONSBESKRIVNING .....	127
7.1	Bakgrund .....	127
7.2	Olika lösningar - samma funktion .....	128
7.3	Många tabeller - samma funktion .....	129
7.4	Standardprogrammering med högnivåspråk .....	129
7.5	Standardprogrammering med beslutstabell .....	134
7.6	Slutsummering .....	135
8.	ENERGIBESPARING MED ENTALPISTYRNING .....	137
8.1	Inledning .....	137
8.2	Normal entalpistyrning .....	137
8.3	Förenklad entalpistyrning .....	139
8.4	Förbättrad entalpistyrning .....	140
8.5	Beräknad energibesparing vid kylning till given entalpi .....	141
8.6	Beräknad energibesparing vid kylning till given temperatur .....	143
8.7	Slutsatser .....	144
9.	PROGNOS AV UTETEMPERATUR MED EXTRAPOLATION ...	157
9.1	Inledning - problemställning .....	157
9.2	Utvärderingssätt .....	157
9.3	Analys av dygnsmedelvärden .....	160
9.4	Analys av timvärden .....	160
9.5	Slutsatser .....	161
10.	TILLUFTSTEMPERATURREGLERING MED BATTERIGIVARE..	165
10.1	Inledning - problemställning .....	165
10.2	Beräkningsmodell baserad på konstruktionsdata..	165
10.3	Beräkningsmodell baserad på enkla värme- balansekvationer .....	169
10.4	Tillämpningar .....	171
11.	REFERENSER .....	175

## 1 INLEDNING

Detta är slutrapporten för byggforskningsprojektet Datorreglering av klimatprocesser, anslagsnr 740622-5. Projektet har delavrporterats med byggforskningsrapporten S37:1978 Digital reglering av klimatprocesser av Jensen (1978). Grundmaterialet i denna och ovannämnda rapport finns redovisat i ett antal arbetsrapporter och en del opublicerat material.

Projekttiden var planerad till 30 månader med en arbetsinsats på 3/4 tid för projektledare Lars Jensen, 1/2 tid för en laboratorieingenjör och 1/2 tid för en institutionstekniker. Projekttiden har förlängts ett flertal gånger utan tilläggsanslag, eftersom projektledaren under åren 1975-1978 endast arbetade halvtid totalt med detta projekt och ett annat byggforskningsprojekt, i vilket projektledares arbetsinsats var satt till 1/4 tid.

Den resterande arbetsinsatsen under dessa år gällde arbete med utveckling, programmering och igångkörning av datorsystem för vanliga klimatanläggningar, en klimatkammare, en vindtunnel och några industriprocesser. Detta var ett sätt att få erfarenhet av datorreglering av olika klimatprocesser. Erfarenheten från denna verksamhet har givetvis utnyttjats i projektet och återfinns i denna slutrapport och andra arbetsrapporter.

### 1.1 Bakgrund

Detta projekt kan ses som en fortsättning av ett tidigare forskningsprojekt: Reglersystem för klimatiserade byggnader, avrapporterat i en arbetsrapport, BKL 1976:12 av Jensen (1976). Detta projekt omfattade modellframtagning och reglerförsök med regulatorer baserade på dynamiska modeller. Reglerförsöken har utförts med flera olika klimatprocesser med utnyttjande av en dator vid institutionen för reglerteknik och dataöverföring via tråd eller telefonnätet till en enkel mät- och styrutrustning ansluten till en klimatprocess.

Erfarenheterna från de då gjorda försöken var goda. Regulatorer base-

rade på dynamiska modeller gav bättre resultat än konventionella regulatorer. En nackdel var däremot att speciella försök måste göras så att en modell kunde bestämmas som sedan kunde användas vid regulatorbestämningen.

Ett alternativ och mycket arbetsbesparande metod är att använda självinställande regulatorer. Sådana regulatorer kan användas för att bestämma regulatorparametrar vid t ex injustering och för att kunna reglera klimatprocesser vars dynamik varierar så mycket att en regulator med fixa parametrar ger ett dåligt resultat. De flesta klimatprocesserna tillhör inte denna senare grupp och en PI-regulator räcker i de flesta fall. En automatisk inställning av alla dessa PI-regulatorers parametrar är mycket intressant.

Andra fakta var att prisutvecklingen inom mini- och mikrodatorområdet pekade på möjligheterna att använda andra regulatorer än konventionella även inom klimatsystem. Nya utnyttjningsmöjligheter finns, då ett datorsystem kan överblicka ett stort antal delsystem och därför också samordna dessa delsystem på bästa sätt. Själva klimatprocessen kan också vid datorreglering förändras och förenklas. Exempel på detta är de experiment som genomförts med magnetventiler.

Med detta som bakgrund så fastlades projektets syfte och utförande vilket behandlas i de två följande avsnitten.

## 1.2 Projektets syfte

Projektets syfte var enligt projektansökan att ta fram den grundläggande kunskap som fordras för datorreglering av klimatprocesser och att fastställa de tekniska gränserna samt kostnaderna. Jämförelse skulle ske med konventionell reglerteknik.

Den snabba prisutvecklingen på elektronik har medfört att det installerats ett femtiotal datorsystem för övervakning, styrning och reglering av byggnaders klimatsystem i Sverige under åren 1975-1980. Tyngdpunkten på forskningsprojektet och därmed också på slutrapporten har

därför förskjutits bort från kostnadsjämförelser över mot vilka krav man kan ställa på datoriserad övervakning, styrning och reglering. En viktig fråga som tas upp är hur skall en funktion programmeras.

### 1.3 Utförande och avrapportering

I projektet har kombinerats teoretisk analys med experiment på fullskaleanläggningar. Ett försöksobjekt har varit ASG's storterminal i Malmö (Nordens första datorreglerade klimatanläggning).

Att anläggningen är datorreglerad innebär att alla mätvariabler och reglervariabler är lätt åtkomliga. Experiment kan dels kontrolleras på platsen eller via telefonnätet av en annan dator. Arbetet har delats upp i mindre delprojekt enligt följande:

- Datorreglering av delprocesser
- Datorreglering av system av delprocesser
- Självinställande regulatorer
- Energisnål reglering
- Datoranpassad processkonstruktion

Reglering av delprocesser: Detta har främst skett med andra klimatanläggningar innan huvudförsöken kunde startas upp med ASG-anläggningen. En del av dessa är avrapporterade i S37:1978.

Reglering av system av delprocesser: Intressant är de två kontorslandskapen vars temperatur kan påverkas av både tilluftssystem och radiatorsystem. Undersökningen av kontorslandskapens egenskaper beskrivs i kapitel 3.

Självinställande regulatorer: Prov har skett med tre enkla från-tillluftskretsar för tre olika lokaler, nämligen en lektionssal, en gästmatsal och det mindre kontorslandskapet. Resultaten redovisas i kapitel 4.

Energisnål reglering: Från-tilluftsregulator har ändrats från PI-typ



till enbart P-typ med hög förstärkning. Detta för att kunna utnyttja byggnadens massa, eftersom PI-regulatorn håller temperaturen konstant på samma nivå oberoende av belastning. P-regulatorn är belastningsberoende. En annan åtgärd var att under icke arbetstid stänga av all individuell lokal- eller zon-reglering och enbart reglera på en viktad frånluftstemperatur för hela byggnaden. Viktning sker efter luftflöden. Denna viktade temperatur hålls med enbart värmeåtervinning utan insats av värme och kyla inom ett givet temperaturintervall. På den övre gränsen påbörjas kylning och på den undre värmning. Dessa åtgärder och byggnadens förbrukning av olja, el och vatten dokumenteras i kapitel 5.

Datoranpassad processkonstruktion: Detta har till viss del berörts i S37:1978, som innehåller en del exempel på användning av magnetventiler i stället för vanliga reglerventiler.

Samarbete har även skett med ett annat byggforskningsprojekt: Energi-användning och energibesparing i Malmö. Undersökning av ett höghus (R9:1982). Försök med reglering av innetemperatur har skett med hjälp av frånluftstemperatur med gott resultat med en enkel regulator under ett års tid. Tidigare korttidsexperiment med bättre regulatorer är avrapporterade i S37:1978.

Under projektarbetet har en mängd allmänna kunskaper erhållits och dessa återges i kapitel 6. En ofta försummad del i datorsystemen är själva programvaran. I byggforskningsrapporten R88:1981 av Jensen och Tiljander undersöks olika datorsystems programvara genom jämförelse av programmeringssätt av några vanliga enkla styr- och reglerfunktioner och på analogt sätt med operatörskommunikationen. I denna rapport i kapitel 7, ges ett exempel på hur beskrivning, programmering och dokumentation av datoriserade styr- och reglerfunktioner skulle kunna ske genom att använda någon form av standard.

Något som ofta förekommer i samband med datorstyrda/reglerade klimatsystem är entalpistyrning. I kapitel 8 beräknas energibesparingen för några olika driftsätt och styrsätt. Stora luftflöden och god noggrannhet krävs för att denna styrning skall löna sig.

Ett sätt att förbättra driften kan vara att planera driften framåt i tiden. Detta kräver någon form av prognos av de störningar som skall beaktas. I kapitel 9 görs ett enkelt försök att med extrapolation förutsäga utetemperaturen. Ett års klimatdata används. Beräkningarna visar att det senaste uppmätta värdet är obetydligt sämre än den bästa extrapolationen.

Andra exempel ges i kapitel 10 på hur datorns beräkningsförmåga kan utnyttjas för att beräkna och reglera tilluftstemperaturen med batteritemperaturen (utloppet) och utetemperaturen.

#### 1.4 Tillerkännande

I projektet har försök gjorts med ett flertal klimatprocesser, som har ställts till förfogande utan någon kostnad. Författaren vill därför tacka ASG, Malmö Allmänna Sjukhus, Malmö Kommunala Bostadsaktiebolag och Ångpanneföreningen för ett gott samarbete. Projektet har också varit ett samarbete mellan institutionerna för Byggnadskonstruktionslära och Reglerteknik vid Lunds Tekniska Högskola. Ett tack går därför till alla mina arbetskamrater på dessa institutioner och de examensarbetare som deltagit i projektarbetet.



## 2 ASG STORTERMINAL I MALMÖ

I detta kapitel ges endast en översiktlig beskrivning av kontors- och magasinsbyggnadens delar, ventilationssystem, värmesystem och styr- och reglersystem. Nödvändiga detaljer beskrivs i anslutning till olika experiment som t ex i kapitel 3 och 4.

### 2.1 Byggnadsbeskrivning

ASG storterminal i Malmö består av en kontorsbyggnad, en magasinsbyggnad med ett mindre kontor och stora uppställningsytor för lastfordon. Anläggningen är nybyggd och togs i bruk 1975.

Den stora kontorsbyggnaden innehåller källare under en del av byggnaden och två våningsplan. I FIG.2.1-2.3 återges byggnadens tre plan. Byggnaden är uppbyggd med platsgjutna betongpelare och betongbjälklag. Påbyggnad skall kunna ske med en våning. Byggnadskroppens mått är grovt 72x36 m. Byggnadens längdriktning sammanfaller med väderstrecken öst-väst. Fasaderna innehåller mycket fönster med fast utskjutande solskydd. Tegelpartiet finns endast kring entré, trapphus och liknande. Taket är ett platt papptak.

Planlösning kontorsbyggnad: I källaren finns en del förråd, telestativ, motions-, omklädnads-, tvätt-, dusch- och fläktrum. Från källaren finns också en kulvert som förbinder kontorsbyggnaden med magasinsbyggnaden.

I bottenplanet (1 vån) finns reception med kapprum, matsal för 200 personer med kök och disktrum, gästmatsal, lektionssal, arkivrum, ett mindre kontorslandskap på 860 m<sup>2</sup> för 50 personer, en del cellkontor, ett litet sammanträdesrum, pannrum och elrum.

I övre planet (2:a vån) finns ett dominerande kontorslandskap på 2090 m<sup>2</sup> för 170 personer, ett antal cellkontor och en vaktmästarebostad.

Planlösning magasinsbyggnad: Magasinsbyggnaden har måtten 190x130 m

med längdriktningen i öst-väst (se FIG.2.4).

I källareplanet finns fläktrum, elrum och sprinklermaskinrum som täcker båda byggnaderna.

I bottenplanet som utgör hela magasinsbyggnadens arbetsyta finns tre små kontor, benämnda kontaktpunkter, en mekanisk verkstad och ett truckladdningsrum. En tredjedel av magasinsbyggnaden längs hela norrsidan är en omlastningshall för lastfordon. Det resterande utrymmet delas upp i tre flikar av två från öster inkommande dubbelspår för totalt 40 järnvägsvagnar. Magasinsbyggnaden är en stor elförbrukare med omkring 390 belysningsarmaturer på 400 W och en datorstyrd transportbana för godspallar. Magasinsbyggnadens största kontorsutrymme på 500 m<sup>2</sup> och med 40 personer ligger ovanpå magasinsbyggnadens tak.

## 2.2 Ventilationssystem

I kontorsbyggnaden finns det fem ventilationsaggregat. Ett stort aggregat ventilerar med till- och frånluft samtliga normala personalutrymmen. Detta aggregat består av en förbehandlingsdel som består av värmeåtervinning med roterande värmeväxlare, kyla, värme, befuktning i dyskammare och en tvåhastighetsfläkt. Luftflödet är omkring 68000 m<sup>3</sup>/h vid fullfart. Fullfart används under arbetstid och halvfart för övrigt. Värmeåtervinning sker inte på frånluften från matsal, gäst-matsal, kök och diskrum. Efterbehandlingen sker i 14 olika eftervärmare till 14 olika lokaler eller zoner. Detta återges i FIG.2.5.

Ett litet aggregat betjänar vaktmästarebostaden. Telestativrummet betjänas av ett aggregat med återluft, värme och befuktning. Lågspänningsrummet har enbart återluft. En frånluftsfläkt ventilerar hiss och hissmaskinrum.

I magasinsbyggnaden betjänas ett flertal lokaler av ett antal ventilationsaggregat. Några experiment har inte utförts med magasinsbyggnaden och därför beskrivs inte dessa ventilationssystem.

### 2.3 Värmesystem

Värmeproduktion sker med två oljepannor. En principskiss för värmesystemet ges i FIG.2.6. Utgående värme delas upp till varmvattenberedning och en primärshuntkrets. På primärshuntkretsen ansluts en sekundärshuntkrets VS1 för de fjorton eftervärmarna för kontorsbyggnadens huvudluftbehandlingsaggregat, åtta shuntgrupper för radiatorgrupperna VS2-VS9, sju shuntkretsar för luftvärmare till andra luftbehandlingsaggregat och två direktanslutna mindre luftvärmare.

### 2.4 Övervakning, styrning och reglering av VVS-systemet

VVS-systemen i kontors- och magasinsbyggnaden övervakas, styrs och regleras av en minidator som är placerad i kontorsbyggnadens källare. Från alla givare och ställdon går kablar till datorn. Systemet är helt centraliserat. Kabellängder på 200-300 m förekommer, när det gäller magasinsbyggnaden. Något sådant förekommer knappast i dagens decentraliserade system.

Datorn mäter 135 analoga insignaler, därav 85 temperaturer och 45 ställdonslägen (öka/minska typ).

De analoga signalerna skalas till ingenjörsenheter, begränsas till ett absolut intervall, ändringshastigheten begränsas och filtreras.

Mätning av ventillägen behöver normalt inte ske utom när flera ventiler skall arbeta i sekvens. Det senare kan också lösas utan mätning av ventillägen, men i stället krävs indikering av olika ändlägen. I det aktuella fallet så mäts endast lägena för de ställdon som ingår i sekvensstyrning. Det är helt meningslöst att mäta och reglera ställdonslägen ur reglerteknisk synpunkt, om inte en särskild kompensering för olinjäriteten hos ventilen eller spjället sker.

Datorn läser av och övervakar 160 logiska ingångar såsom larm eller

indikeringar. Larmutskrifter sker i klartext efter en angiven fördröjning och beroende på signalens tillståndsändring.

Datorn ställer ut 2 analoga ut signaler för varvtalsstyrning av roterande entalpiväxlare, 130 logiska ut signaler, därav 90 för ställdonsstyrning (öka/minska typ). De resterande 40 används för att koppla in och ur kylmaskiner, befuktare och elvärmare som är stegreglerade. Några utgångar används för signalering till en lamptablå i receptionen.

Den normala operatörsenheten är en teletype placerad intill datorn. Datorsystemet arbetar ensamt utan någon ständig övervakning av någon personal bortsett från lamptablån i receptionen för viktiga larm. Kontorschefen svarar för den dagliga tillsynen av klimatsystemet och tillhörande datorsystemet.

Någon mera ingående presentation av datorsystemet, fabrikat TA system DDC-6, görs inte här.

## 2.5 Dataöverföring mellan två datorer

För att kunna genomföra en del experiment med olika klimatsystem, så utökades datorsystemet med en extra terminalutgång som anslöts till ett modem. På detta sätt så kunde experiment ske tillsammans med en annan dator, nämligen en PDP-15, tillhörande institutionen för Reglerteknik, Lunds Tekniska Högskola.

Med datoröverföringen löst, så kunde experiment genomföras med ASG-anläggningen på samma sätt som skett tidigare med ett mät- och styrsystem anslutet till ett godtyckligt klimatsystem. Fördelen med ASG-anläggningen är att alla dess givare och ställdon kan utnyttjas och det normala styr- och reglersättet kan på ett enkelt sätt kopplas bort utan att göra några egna elektriska in- och omkopplingar.

I en arbetsrapport av Jensen (1974) beskrivs hela det programsystem som har framtagits för att utföra styr- och reglerexperiment med

användande av datorer och som använts även i detta fallet. Enda skillnaden är att programmet som skött dataöverföringen mellan datorn och mät- och styrutrustningen ersattes med ett nytt program som skötte den något annorlunda dataöverföringen mellan de två datorerna.

Krav och begränsningar: De krav som ställs på kommunikationen är att den skall vara snabb, säker och störningsokänslig. Vidare att alla normala variabler skulle kunna läsas av och ändras. De variabler som är av intresse, är följande

variabel	typ
mätvärde	flyttal
börvärde	"
parametervärde	"
öka/minska signal	heltal
analog utsignal	"
logisk insignal	0/1 falsk/sann
logisk utsignal	0/1 falsk/sann

För att kunna utföra experiment måste den normala funktionen upphävas. Detta sker genom att utnyttja operatörskommunikationen. Före ett experiment så görs en del engångsändringar som sedan återställs efter det att experimentet är slutfört. Reglering kan avbrytas genom att ange regulatortyp som noll. Förreglingars inverkan kan förhindras genom att forcera in- och utgångar till önskat värde.

Omprogrammering av datorns IPCL-program är också möjlig att utföra. IPCL är ett högnivåspråk som används för att lösa alla icke standardfunktioner.

Kommunikationshastigheten begränsades till 110 baud av de terminalutgångar som skulle användas på PDP-15 (ej ändringsbara). Vidare så var tanken att använda en förenklad (kortare) operatörskommunikation för att öka överföringshastigheten.

Lösning: Den normala operatörskommunikationen har använts. Detta in-



nebär att PDP-datorn är master och NOVA-datorn är slav. För att starta operatörskommunikationen slår operatören Ctrl A, varvid NOVA-datorn svarar med CR (vagnretur), LF (ny rad) och >. För att överföra data från NOVA till PDP används följande syntax:

```
VT IND CR
```

varvid NOVA-datorn svarar med

```
DATA CR LF
```

Här står VT för variabeltyp som kan vara

MV	mätvärde
PV	parametervärde
SV	börvärde
AOUT	analog 8 bitars utgång
PMO	öka/minska utgång
IN	logisk ingång
OUT	logisk utgång

IND står för index som är ett heltal som anger variabelns nr i aktuell tabell.

Meddelandet som sänds av NOVA-datorn är alltså ett heltal i fritt format som skall tolkas olika beroende på variabeltyp.

variabeltyp	värde
MV, PV och SV	DATA/100
AOUT och PMO	DATA
IN och OUT	0 falsk 1 sann

Överföring av data från PDP-datorn till NOVA-datorn sker med syntaxen

```
VT IND DATA CR
```

Meddelandet DATA skall tolkas på följande sätt

variabeltyp	värde
MV, PV och SV	DATA/100
AOUT och PMO	DATA
IN och OUT	0 falsk 1 sann 2 forcera till falsk 3 forcera till sann 4 ta bort forcering

De flyttal som kan överföras är begränsade till intervallet  $\pm 300$  och endast två decimaler överförs. Heltal är begränsade till intervallet  $\pm 30\ 000$ .

För de logiska variablerna IN och OUT övertider nivåerna 2, 3 och 4 de normala nivåerna 0 och 1.

Överföringssäkerhet: Säkerheten i överföringen blir god, eftersom NOVA-datorn ekar alla tecken bortsett från ctrl A, vilket möjliggör en enkel kontroll att meddelandet har kommit fram oförvanskat. Vid fel så sänds det enskilda meddelandet om igen, dvs ctrl A osv. Enda bristen är att när NOVA-datorn sänder tillbaks data, så ekar PDP-datorn givetvis inte, eftersom den är master. Vid dataöverföring i denna riktning kan endast fel avslöjas som orsakas av otillåtna tecken. Fel som inte avslöjas kan vara en för tidig vagnretur, en felaktig siffra eller ett minustecken i stället för en siffra.

Överföringen kontrolleras genom att lagra antal uteblivna svar, antal överföringsfel, senaste överföringsfel och antal läsfel. Erfarenheterna från ett tiotal experiment är att högst ett till två fel av ovanstående har inträffat per experiment, omfattande omkring 10000 dataöverföringar.

För att förhindra att överföringen hänger sig används två olika fysiska eller logiska enheter, en för att skriva med och en för att läsa med. Efter ett uteblivet svar eller eko sänds samma fråga efter en viss väntetid.

Enda problemet var att få överföringen att fungera. Vart fjärde eller

femte tecken förlorades i DATA-delen från NOVA till PDP. Vid prov med teletype mot NOVA och teletype mot PDP fungerade allting felfritt. Felet berodde på att överföringshastigheterna skilde för mycket mellan datorerna, vilket fick justeras, medan teletypen låg rätt emellan och kunde därför arbeta felfritt med båda datorerna.

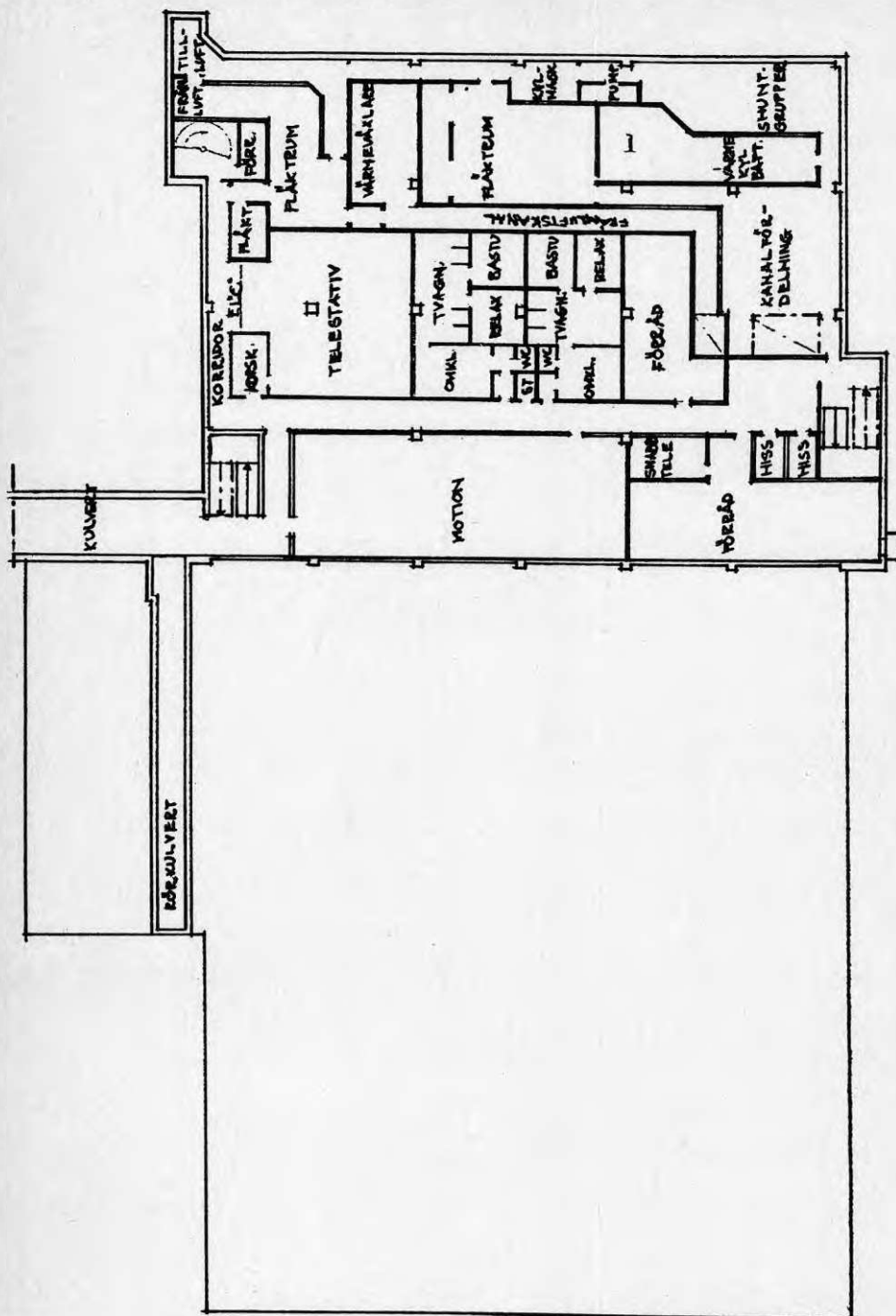


FIG.2.1 Kontorsbyggnad källarvåning, skala 1:400.



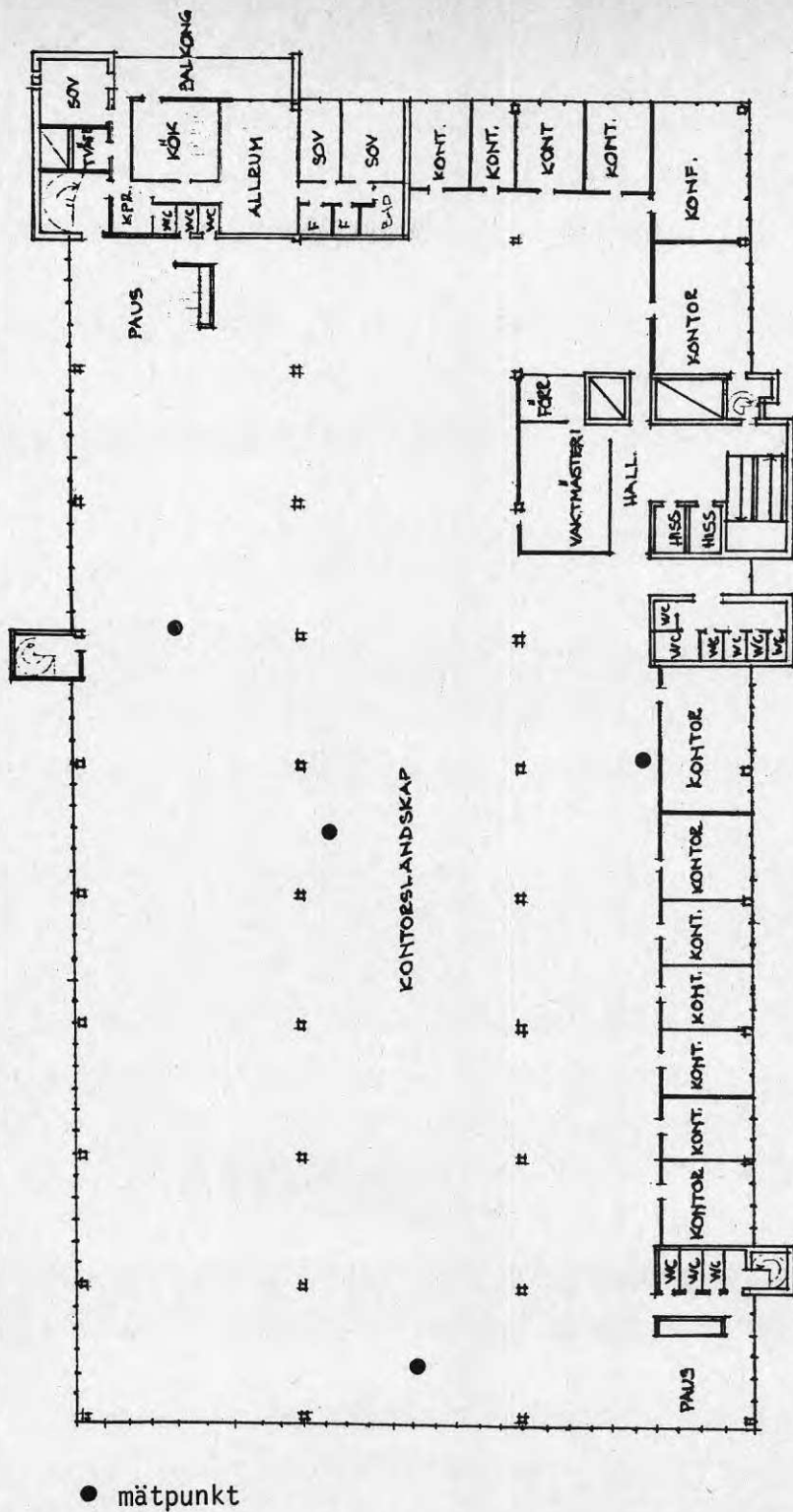


Fig 2.3 Kontorsbyggnad våning 2, skala 1:400.

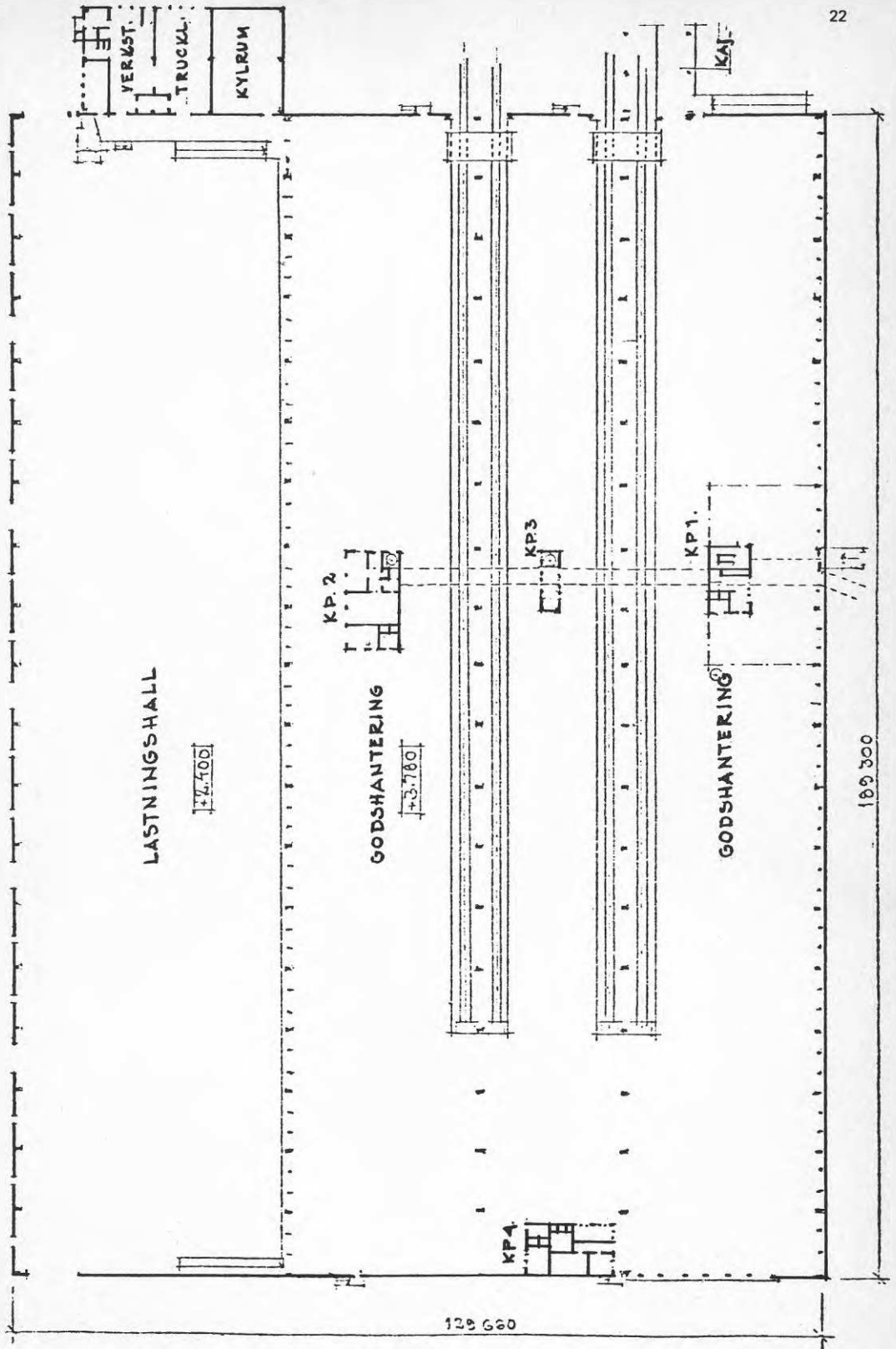


Fig 2.4 Magasinbyggnad, Skala 1:1000

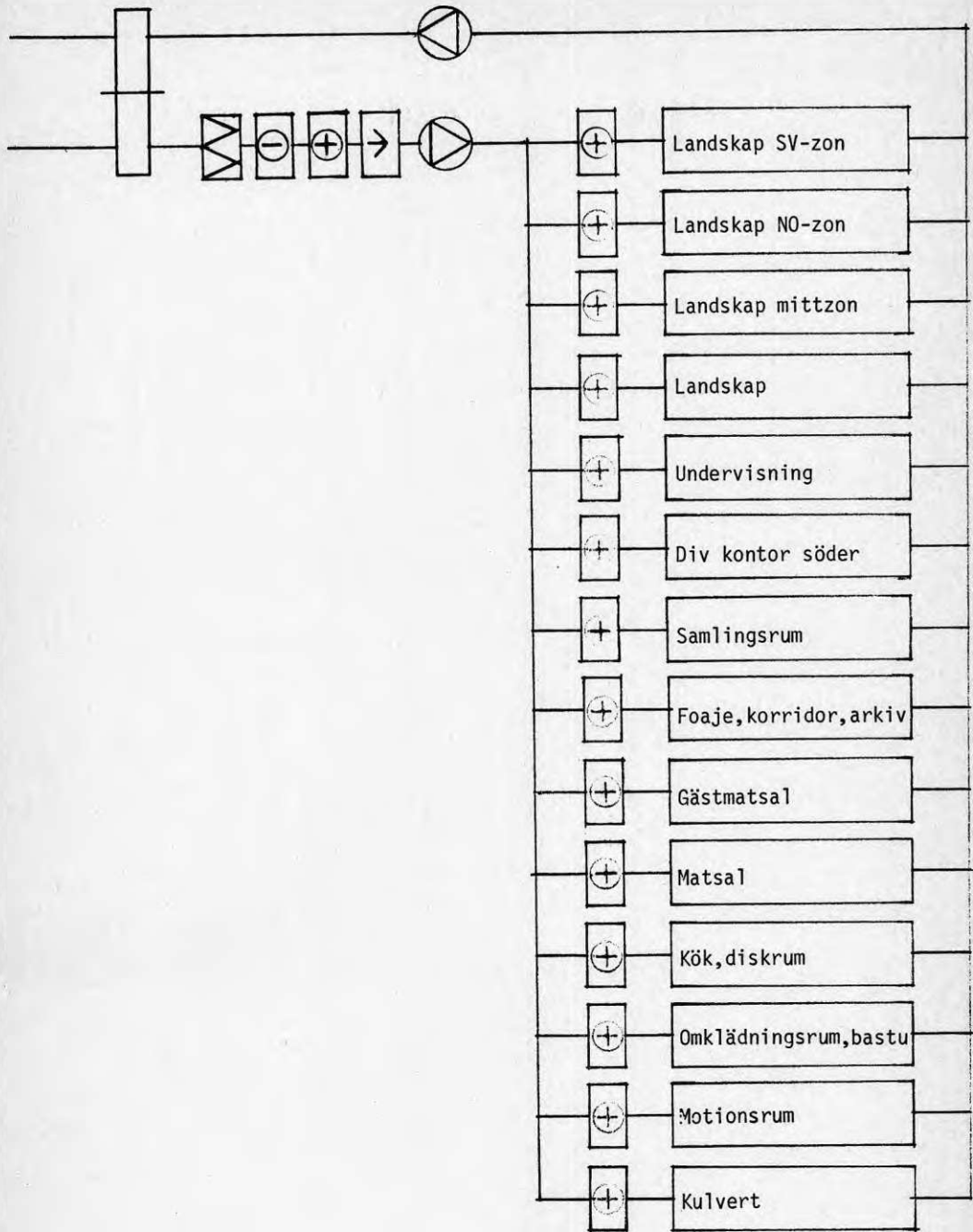


FIG.2.5 Kontorsbyggnadens viktigaste ventilationsaggregat TA 9.1.



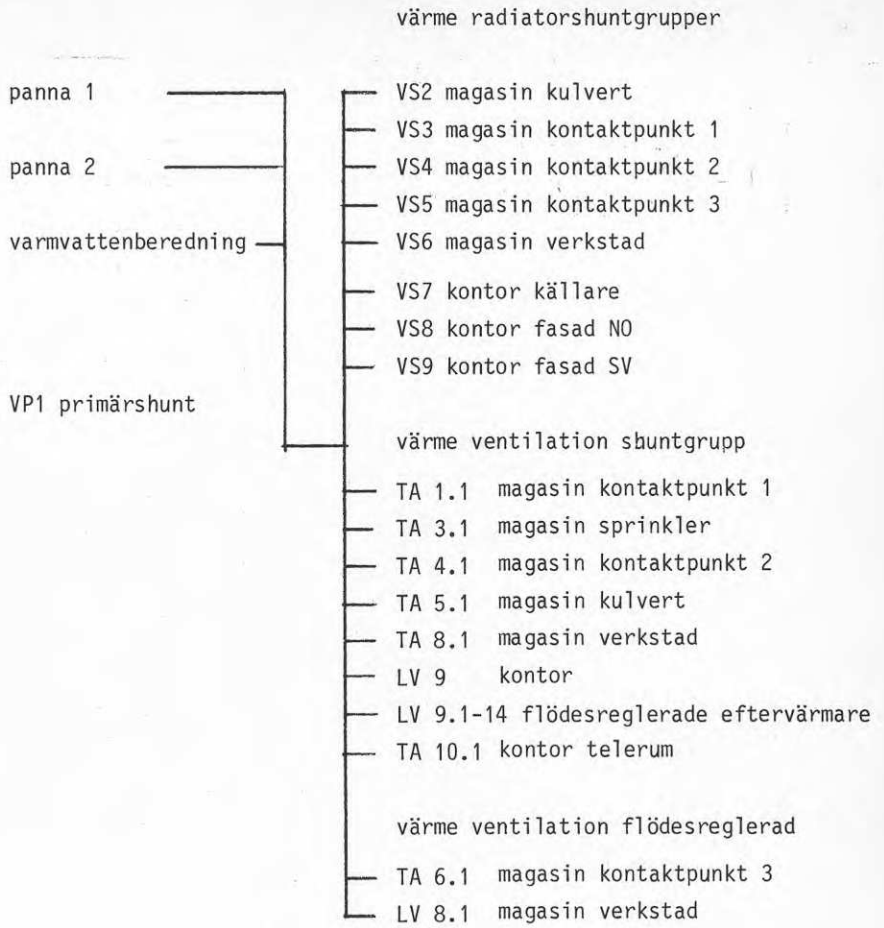


FIG.2.6 Principschema för värmesystemet.

### 3 MODELLBYGGE KONTORSLANDSKAP

Ett större zonindelad kontorslandskap och ett mindre kontorslandskap har modellerats experimentellt. Arbetet har utförts som ett examensarbete av Björn Hedin och med Lars Jensen som handledare. Här ges endast en mindre beskrivning av försöken och resultaten och en utförlig beskrivning fås i Hedin (1980).

#### 3.1 Syfte

Syftet med arbetet har varit att undersöka hur ventilation och radiatorer samtidigt påverkar rumstemperaturen, i detta fall mätt som frånluftstemperatur och hur olika ventilationszoner påverkar varandra i en större lokal.

I båda fallen så kan de olika systemen komma att motverka varandra, vilket kan resultera i onödig kylning av tilluft. Idag styrs framledningstemperaturen till radiatorer efter utetemperatur och oberoende av innetemperatur. I lokaler med flera ventilationszoner regleras varje zon oberoende av varandra. I FIG.3.1 ges en översikt av de två lokalernas tilluftszoner och frånluftstemperaturgivare för lokaltemperaturreglering.

#### 3.2 Processen

De två olika lokalerna som har undersökts är ett stort kontorslandskap med 3 ventilationszoner och två radiatorgrupper och ett mindre kontorslandskap med en ventilationszon och två radiatorgrupper. Det stora och lilla kontorslandskapet har 5 resp 3 insignaler och 3 resp 1 utsignal. Alla de aktuella in- och utsignalerna har betecknats på följande sätt

insignal nr	beteckning	temperatur
1	u <sub>1</sub>	radiatortillopp SV-fasad båda landskapen
2	u <sub>2</sub>	" NO-fasad båda landskapen
3	u <sub>3</sub>	tilluft SV-zon stora landskapet
4	u <sub>4</sub>	" NO-zon stora landskapet
5	u <sub>5</sub>	" mitt-zon stora landskapet
6	u <sub>6</sub>	" lilla landskapet

utsignal nr	beteckning	temperatur
1	y <sub>1</sub>	frånluft SV-zon stora landskapet
2	y <sub>2</sub>	" NO-zon stora landskapet
3	y <sub>3</sub>	" mitt-zon stora landskapet
4	y <sub>4</sub>	" lilla landskapet

Nedan ges några data för det stora och lilla kontorslandskapet.

		stora landskapet				lilla landskapet
		SV-zon	NO-zon	mitt-zon	totalt	
golvyta	m <sup>2</sup>	210	260	1620	2090	860
volym	m <sup>3</sup>	770	950	5910	7630	3140
luftflöde	m <sup>3</sup> /h	2290	3490	16200	21980	7750
luftväxling	1/h	2.97	3.67	2.74	2.88	2.47

### 3.3 Experiment

För att kunna modellera de två lokalerna så utförs ett speciellt experiment varvid de olika insignalerna varierar enligt ett på förhand bestämt mönster. Insignalmönstren är så utformade att en påverkan från en insignal skall kunna urskiljas från alla andra insignalers inverkan. Mätresultaten av alla in- och utsignaler från detta experiment återges i FIG.3.2-3.4. Alla insignaler har ritats upp tillsammans med önskat insignalmönster.

Radiatorssystemens tilloppstemperatur har varierats från 20 °C till

50 °C. Tilluftstemperaturen har legat på nivåerna 14 °C och 26 °C utom för mitt-zonen i det stora kontorslandskapet där en något mindre variation användes med nivåerna 16 °C och 23 °C.

För att få så bra mätdata som möjligt bör man eftersträva stora insignalvariationer så att stora utsignalvariationer erhålls, varvid mätstörningar får mindre betydelse. Insignalernas medelvärde bör vara de samma som för experimentet. I radiatorfallet begränsas insignalen neråt av rumstemperaturen och uppåt av utgående primärvattentemperatur.

Tilluftstemperaturen begränsas neråt av förbehandlingstemperaturen som är 15 °C vintertid och 12 °C sommartid och uppåt sker begränsning på grund av eftervärmarnas begränsade effekt, som motsvarar en temperaturhöjning av den förbehandlade luften på omkring högst 15 °C vid fullt luftflöde. Mitt-zonens amplitud valdes mindre än fasadzonernas då tidigare experiment visade att mitt-zonens inverkan var stor på fasadzonerna.

#### 3.4 Modellskattning och kommentarer

Minsta kvadratmetoden har använts för att skatta olika tidsdiskreta modeller. Med följande beteckningar

$y_k(t)$	utsignal nr k
$u_j(t)$	insignal nr j
n	ordningstal
p	antal insignaler
$a_i, b_{ji}$	modellparametrar ( $i=1, n$ ), ( $j=1, p$ )
$e(t)$	modellfel

så anpassas följande modell till mätdata

$$y_k(t) + a_1 y_k(t-1) + \dots + a_n y_k(t-n) = b_{11} u_1(t-1) + \dots + b_{1n} u_1(t-n) + \dots + b_{p1} u_p(t-1) + \dots + b_{pn} u_p(t-n) + e(t)$$

Modellparametrarna  $a_i$  och  $b_{ji}$  bestäms genom att minimera summan av modellfelets kvadrat.

I TAB.3.1 redovisas ett antal första ordningens modeller för de fyra utsignalerna. Olika kombinationer av insignaler har provats. Modellfelets standardavvikelse anges.

Både SV-zonen och NO-zonen uppvisar likartat resultat, nämligen att den bästa modellen med en insignal fås med mitt-zonens tilluftstemperatur. I modeller med flera insignaler så minskas modellfelets standardavvikelse obetydligt. Slutsatsen är att de två ytterzonerna påverkas till största delen av mitt-zonens tilluftstemperatur och mindre av sina egna.

Någon inverkan från radiatorerna längs fönsterfasaderna på de två ytterzonerna kan inte påvisas.

Resultaten från ytterzonerna visar att mitt-zonen dominerar och helt följdriktigt så påverkas mitt-zonen inte av de två ytterzonerna. Modellfelets standardavvikelse minskar obetydligt när mer än en insignal används där en alltid är mitt-zonens tilluftstemperatur  $u_5$ . I detta fall skall radiatorerna inte ha någon inverkan eftersom de ligger längs fönsterfasaderna på ett visst avstånd från mitt-zonen. Radiatorernas svaga betydelse framgår även för det lilla kontorslandskapet utan zonindelning.

Modellerna 2, 9, 15 och 21 i TAB.3.1 tas ut för mer ingående behandling. Först ges den tidsdiskreta modellen med en samplingsintervall på 2 minuter och därefter motsvarande modell i kontinuerlig tid i form av en överföringsfunktion. Tidsenheten är i detta fall 1 minut.

## Modell 2; frånluft SV-zon

## Tidsdiskret modell

$$(1-0.983q^{-1})y_1(t)=q^{-1}(0.0014u_3(t)+0.0034u_5(t))+0.0045e(t)$$

## Kontinuerlig modell

$$(1+115 s) y_1(s) = 0.082 u_3(s) + 0.20u_5(s)+0.26e(s)$$

Modellens tidskonstant är 115 min. Dynamiken är alltså mycket långsam, vilket är förvånande. Förstärkningen för de två insignalerna är 0.082 och 0.20 för insignalerna  $u_3$  resp  $u_5$ . Mitt-zonens insignal  $u_5$  har alltså mer än två gånger större inverkan än SV-zonens egen insignal  $u_3$ .

## Modell 9; frånluft NO-zon

## Tidsdiskret modell

$$(1-0.963q^{-1})y_2(t)=q^{-1}(0.0012u_4(t)+0.0060u_5(t))+0.0089e(t)$$

## Kontinuerlig modell

$$(1+53 s) y_2(s) = 0.032 u_4(s) + 0.16 u_5(s)+0.24e(s)$$

Här är dynamiken något snabbare med en tidskonstant på 53 min, men fortfarande en förvånande långsam dynamik. Mitt-zonens dominans över NO-zonen är en faktor fem.

## Modell 15; frånluft mittzon

## Tidsdiskret modell

$$(1-0.969q^{-1})y_3(t)=0.0048q^{-1}u_5(t)+0.018e(t)$$

Kontinuerlig modell

$$(1+64 s) y_3(s) = 0.16 u_5(s) + 0.6 e(s)$$

Tidskonstanten är fortfarande hög, 64 min. Förstärkningen är 0.16 mellan tilluft och frånluft. Samma förstärkning erhålls i stort sett även i de två modellernas utsignal och mitt-zonens tilluft, insignal  $u_5$ .

Modell 21; lilla kontorslandskapet

Tidsdiskret modell

$$(1-0.950q^{-1})y_4(t)=0.0094q^{-1}u_6(t)+0.0016e(t)$$

Kontinuerlig modell

$$(1+39 s) y_4(s) = 0.19 u_6(s) + 0.03 e(s)$$

Den snabbaste dynamiken med tidskonstanten 39 min. Förstärkningen är 0.19 mellan tilluft och frånluft.

Den deterministiska modelldelen har simulerats för de fyra modellerna. Modellens utsignal och uppmätt utsignal för de fyra fallen återges i FIG.3.5-3.8.

Resultaten från de fyra modellerna kan summeras med att mitt-zonen dominerar de två ytterzonerna och att radiatorernas inverkan inte är påvisbar. Försök har även gjorts med olika tidsfördröjningar på insignalerna. Detta har inte givet bättre modeller. Modellen för SV-zonen avviker något jämfört med de övriga. Detta utreds i nästa avsnitt.

Modell SV-zon med störning

Temperaturen i SV-zonen tycks ha blivit rejält störd. Modellen följer de fina variationerna men den ligger nästan  $\frac{1}{2}$  grad för högt under den första halvan och  $\frac{1}{2}$  grad för lågt under resten av tiden. En

jämförelse mellan residualen för modell 2 och utetemperaturen visar att störningen kunde ha kommit från denna. Det går dock inte att identifiera något sådant samband. Något solsken förekom inte heller den aktuella experimentdagen.

Troligast är i stället att belysningen satts på i SV-zonen under ett par timmar under (lördag) förmiddagen. Därför provas en identifiering med en fiktiv insignal  $u_f$  som är lika med noll förutom mellan 320 och 480 sampel då den är lika med ett. Följande modell erhålls.

Modell 2s; frånluft SV-zon

Tidsdiskret modell

$$(1-0.978q^{-1})y_1(t)=q^{-1}(0.0015u_3(t)+0.0033u_5(t)+0.014u_f(t))+0.0064e(t)$$

Kontinuerlig modell

$$(1+90s)y_1(s)=0.069u_3(s)+0.15u_5(s)+0.65u_f(s)+0.29e(s)$$

En simulering av modellen ovan återges i FIG.3.9. Som synes så passar modellens utsignal och den verkliga utsignalen betydligt bättre överens nu. Dessutom närmar sig tidskonstanten för modellen de som gäller för NO-zonen och mitt-zonen vilket verkar rimligt. Inverkan från mitt-zonens tilluft är även i denna modell två gånger större än SV-zonens egen tilluft.

De statistiska egenskaperna för de tre modellerna för de olika zonerna i det stora kontorslandskapet kan sammanfattas med

$$\begin{array}{ll} y_1 = 0.069 u_3 + 0.15 u_5 & \text{modell 2s} \\ y_2 = 0.032 u_4 + 0.16 u_5 & \text{modell 9} \\ y_3 = 0.16 u_5 & \text{modell 15} \end{array}$$

Variablerna i uttrycken ovan anger avvikelser kring ett referensvärde, t ex 20 °C. Om den önskade temperaturen är den samma för de tre



zonerna, då uppstår inga problem, men om mitt-zonen önskar  $1^{\circ}\text{C}$  högre temperatur än ytterzonerna, då krävs grovt följande ändringar i insignaler  $u_3 -14^{\circ}\text{C}$ ,  $u_4 -30^{\circ}\text{C}$  och  $u_5 6^{\circ}\text{C}$ . Värdena visar att mitt-zonens dominans ger upphov till onormala tillufttemperaturer i ytterzonerna.

Det kan också nämnas att när försöken påbörjades så uppgavs fasadzonerna vara 8-10 meter breda/djupa och frånluftsgivarnas placering var kända. Vid kontroll av tilluftszonerna efter försöken visade det sig emellertid att fasadzonerna endast var omkring 5 meter breda/djupa. Frånluftsgivarna för fasadzonerna var därför placerade mer i mitt-zonen än i respektive fasadzoner, vilket förklarar resultatet att mitt-zonen dominerar. Tilluftszonerna och tillhörande frånluftsgivare återges i FIG.3.1. Slutsatsen är att frånluftsgivarna för fasadzonerna är felaktigt placerade och en viss blandning sker mellan zonerna. Det senare framgår av de funna modellparametrarna.



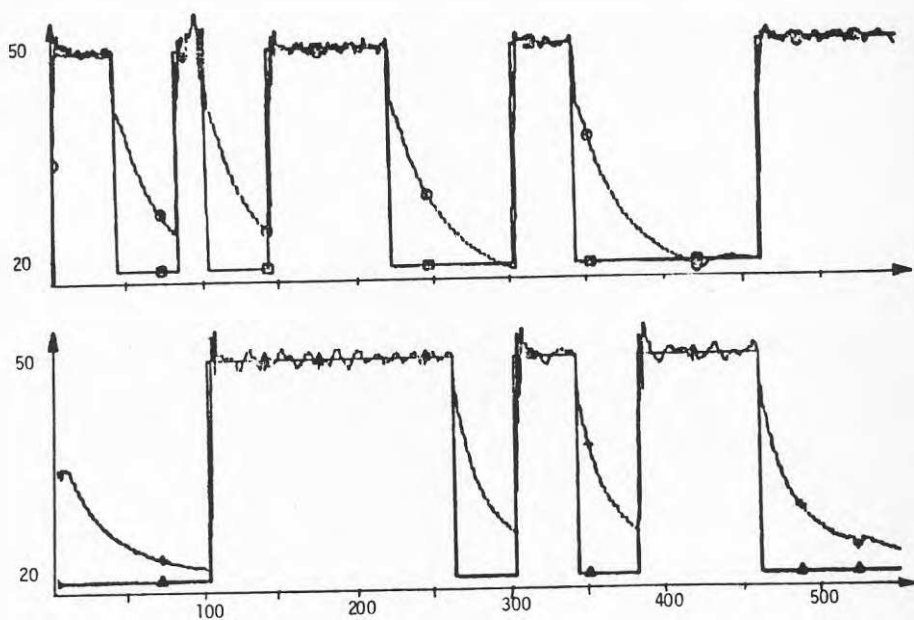


FIG.3.2 Identifieringsexperiment. Mätintervall 2 min. Önskad och uppmätt framledningstemperatur för SV-fasad (överst) och NO-fasad (underst).

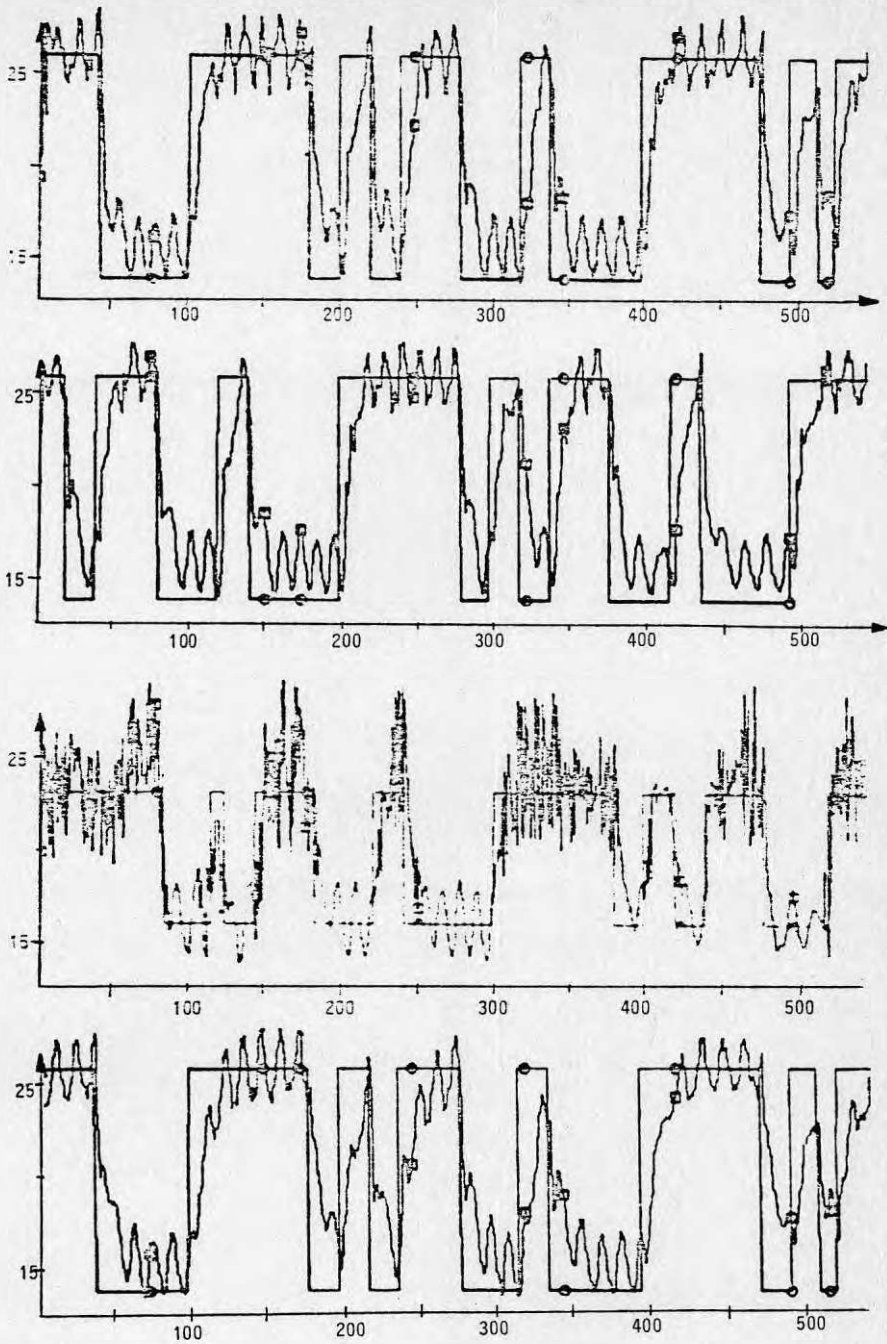


FIG.3.3 Identifieringsexperiment. Mätintervall 2 min. Önskad och uppmätt tilluftstemperatur för uppifrån räknat SV-zon, NO-zon, mitt-zon och det lilla landskapet.

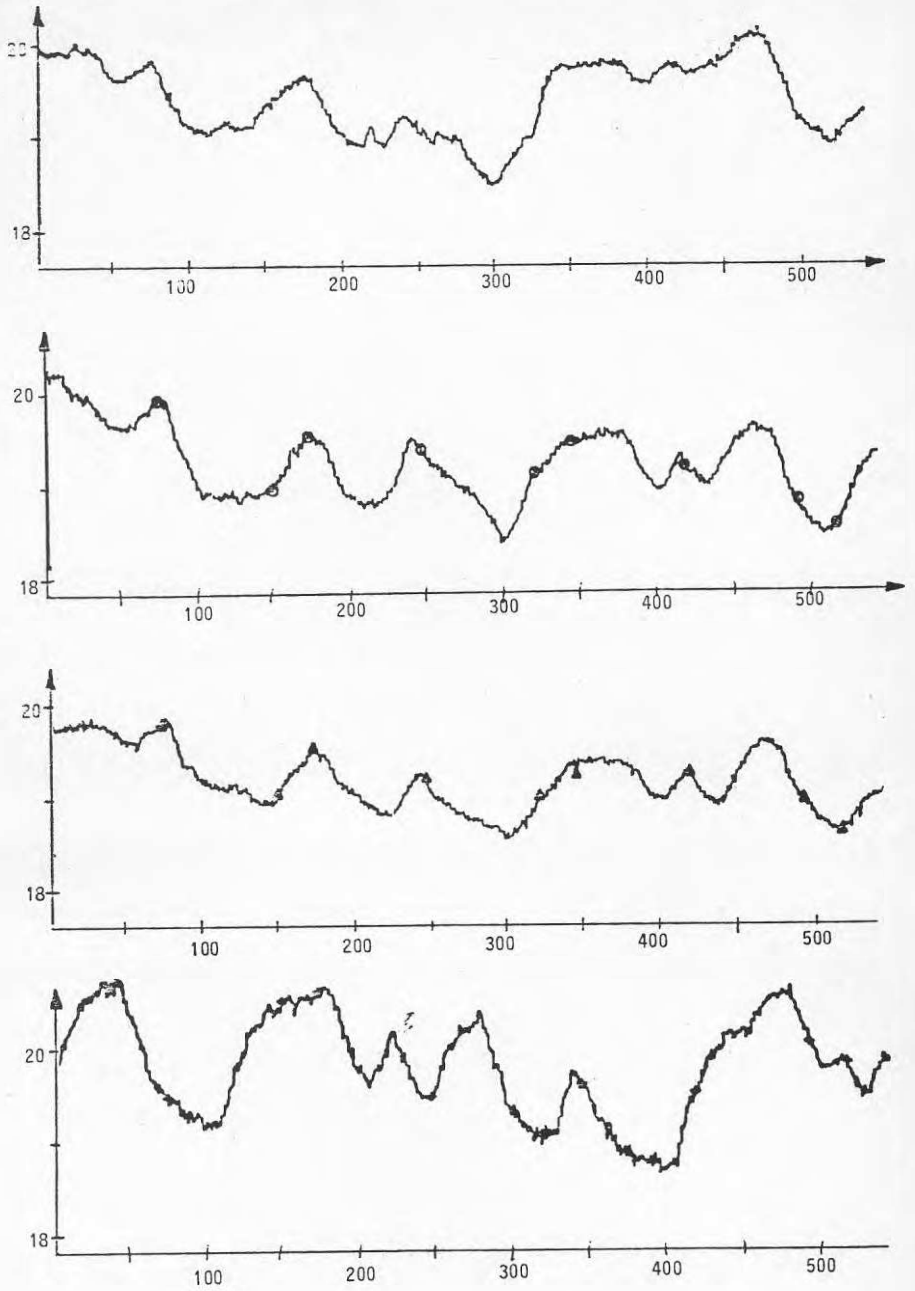


FIG.3.4 Identifieringsexperiment. Mätintervall 2 min. Uppmätt frånluftstemperatur för uppifrån räknat SV-zon, NO-zon, mittzon och det lilla landskapet.

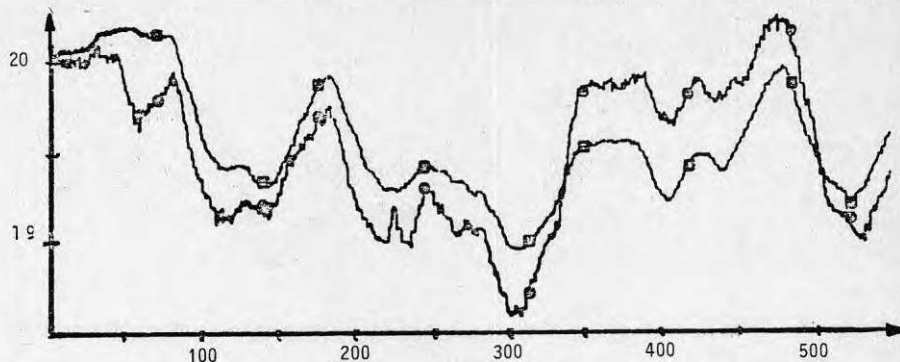


FIG.3.5 Jämförelse mellan uppmätt utsignal och simulerad utsignal för SV-zon med modell 2.

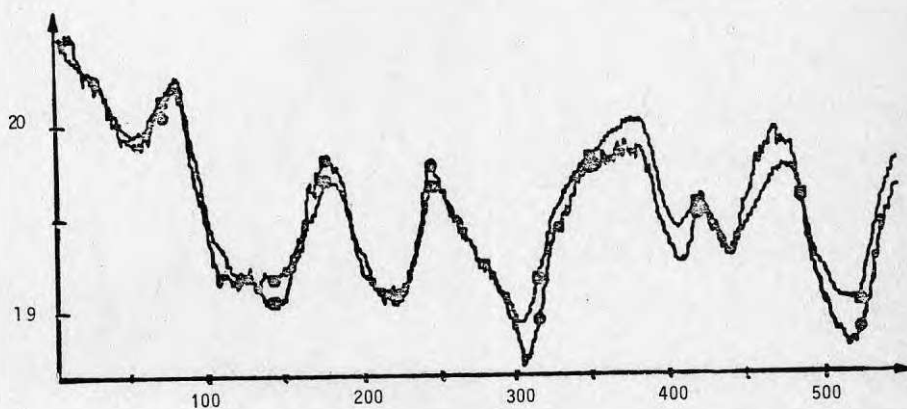


FIG.3.6 Jämförelse mellan uppmätt utsignal och simulerad utsignal för NO-zon med modell 9.

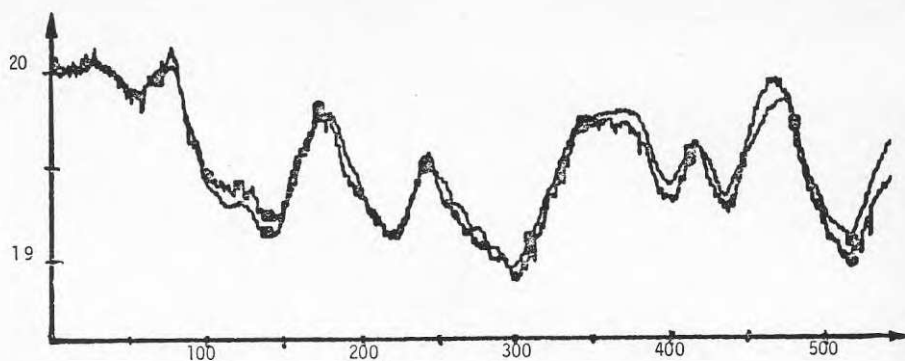


FIG.3.7 Jämförelse mellan uppmätt utsignal och simulerad utsignal för mitt-zon med modell 15.

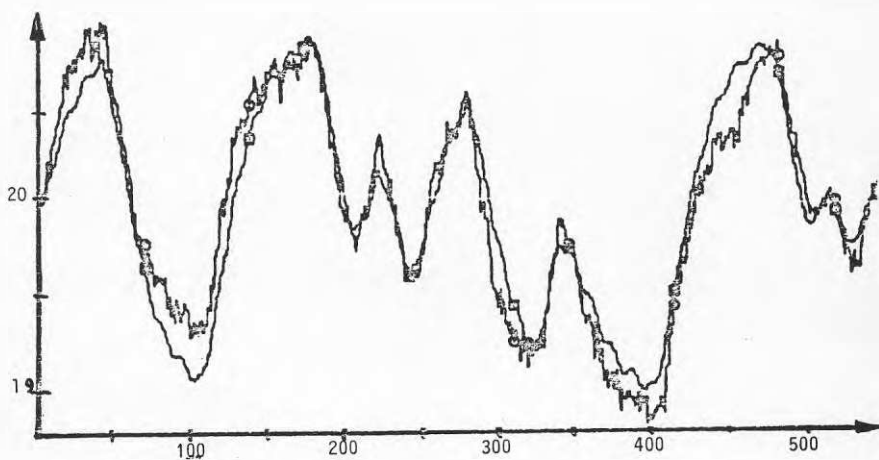


FIG.3.8 Jämförelse mellan uppmätt utsignal och simulerad utsignal för det lilla landskapet med modell 21.

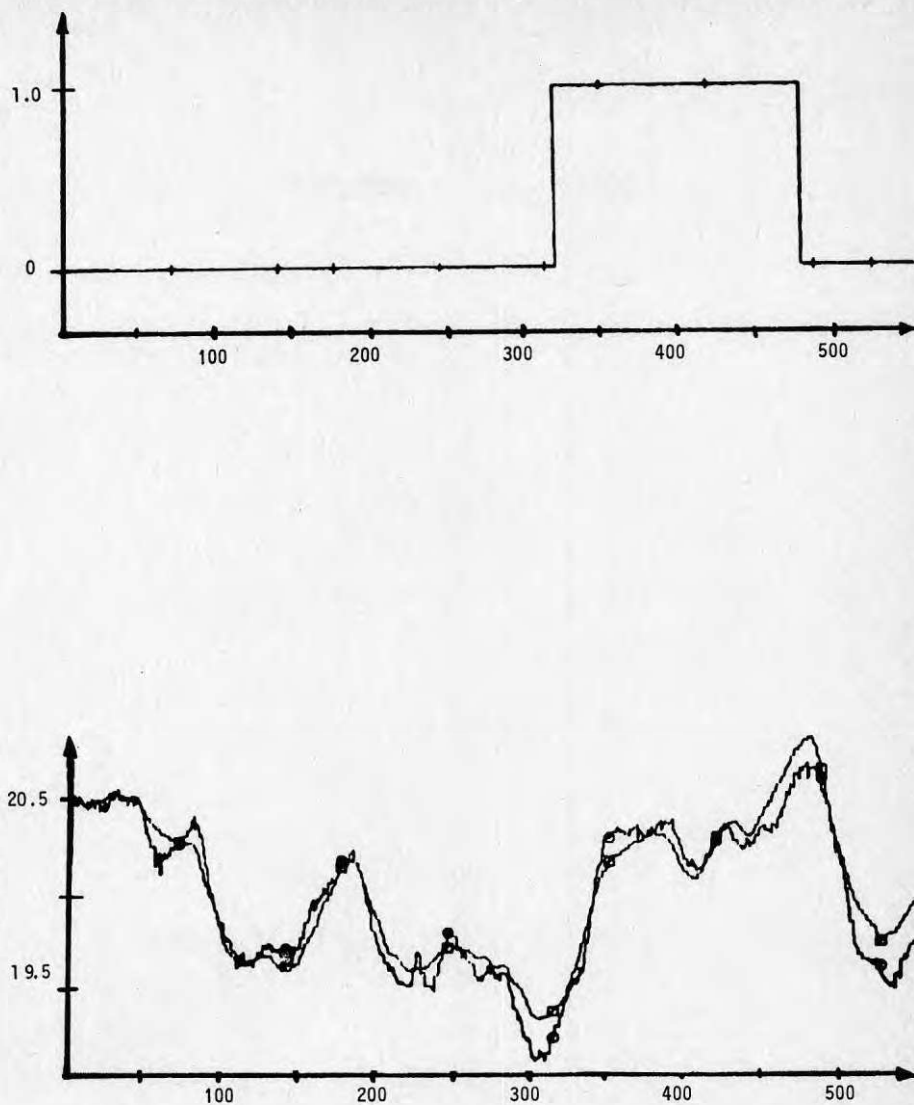


FIG.3.9 Jämförelse mellan uppmätt utsignal och simulerad utsignal för SV-zon med modell 2s. Överst anges den antagna stör-signalen och nederst uppmätt och simulerad frånluftstemperatur.



TAB.3.1 Sammanställning av 1:a ordningens modeller för olika lokaler eller lokalzoner.

Modell för	Modell nr	Insignaler nr	Utsignal nr	Modellfel std °C
SV-zon stora kontors- landskapet	1	3	1	0.0351
	2	3 5	1	0.0317
	3	5	1	0.0319
	4	3 4 5	1	0.0430 <sup>1</sup>
	5	1 3 4 5	1	0.0316
	6	1 5	1	0.0319
	7	1 2 3 4 5	1	0.0316
NO-zon stora kontors- landskapet	8	4	2	0.0386
	9	4 5	2	0.0332
	10	5	2	0.0344
	11	2 4	2	0.0383
	12	3 4 5	2	0.0332
	13	2 3 4 5	2	0.0332
	14	1 2 3 4 5	2	0.0332
Mitt-zon stora kontors- landskapet	15	5	3	0.0323
	16	4 5	3	0.0323
	17	3 5	3	0.0322
	18	3 4 5	3	0.0322
	19	1 2 3 4 5	3	0.0322
Lilla kontors- landskapet	20		6 4	0.0625
	21	1 2	6 4	0.0619

1) numeriska problem

## 4 PROV MED ENKLA SJÄLVINSTÄLLANDE REGULATORER

Även detta kapitel är ett sammandrag av ett arbete som finns dokumenterat i opublicerat material av Tiljander (1981).

### 4.1 Syfte

Syftet med arbetet var att undersöka om enkla självinställande PI-regulatorer kan användas för klimatreglering. En PI-regulator med fasta parametrar kan användas för de flesta reglerfallen. Ett problem kan vara att finna de bästa parametervärdena. Ett annat parameterinställningsproblem uppstår när processens dynamik varierar, vilket förekommer t ex när ett flöde varierar.

### 4.2 Processen

Tre till-frånluftsventilerade lokaler, ett mindre kontorslandskap, ett undervisningsrum och en gästmatsal har använts i försöken. Regleringen av rumstemperaturen sker i två steg. En regulator beräknar en önskad tilluftstemperatur med hjälp av en givare i lokalen eller frånluften. Denna regulator benämns ofta kaskadregulator. En annan regulator reglerar själva luftbehandlingsdelen, vilket kan vara allt från en eftervärmare till en fullständig luftbehandlingsanläggning. I detta fall enbart en eftervärmare.

Prov med självinställande regulatorer har endast skett för den första regleruppgiften frånluft/lokalluft-tilluft.

### 4.3 En självinställande regulator

Den självinställande regulatorn som har använts bygger på att först skatta en första ordningens modell för processen, med modellen beräknas en PI-regulators parametrar så att vissa krav på det slutna systemet uppfylls. Dessa krav kan vara en funktion av modellens pa-

parametrar eller vara helt oberoende av dessa. Processen som skall regleras beskrivs med modellen

$$y(t) = ay(t-1) + b u(t-1)$$

där

$$y(t) = \text{utsignal}$$

$$u(t) = \text{insignal}$$

$$a, b = \text{modellparametrar}$$

PI-regulatorn ges på formen

$$u_r(t) = u_r(t-1) + c(e(t) - e(t-1)) + d e(t)$$

där

$$e(t) = \text{reglerfelet } (e(t) = y(t) - y_r(t))$$

$$u_r(t) = \text{regulatorns utsignal (styrsignal)}$$

$$c, d = \text{regulatorparametrar}$$

Det slutna systemet erhålls genom att koppla samman regulatorbeskrivningen med processmodellen omskalad så att  $e(t)$  ingår i stället för  $y(t)$ .

Ett enkelt krav är att det slutna systemet skall ha en dubbelpol  $r$ , vilket i sin tur kräver följande regulatorparametrar

$$c = (r^2 - a)/b \quad (\text{proportionaldel})$$

$$d = -(1 - r)^2/b \quad (\text{integraldel})$$

Med en P-regulator fås endast en enkelpol och kravet är

$$c = (r - a)/b$$

$$d = 0$$

Med en I-regulator så kan en dubbelpol erhållas för

$$r = a^{\frac{1}{2}}$$

och kravet på regulatorparametrarna är

$$d = (1-r)^2/2$$

$$c = 0$$

Modellparametrarna  $a_m$  och  $b_m$  skattas med minsta kvadratmetoden. Denna metod innebär att modellparametrarna  $a_m$  och  $b_m$  bestäms så att summan av det kvadratiske modellfelet för alla ingående tidpunkter minimeras. Modellfelet  $d(t)$  fås enkelt som

$$d(t) = y(t) - a_m y(t-1) - b_m u(t-1)$$

Summan av de kvadratiske modellfelen benämnes också förlustfunktion. Förlustfunktionen  $V$  kan skrivas med en förenklad notation för summa  $S$ , som betyder summering över  $t$  från 1 till  $N$  på följande sätt

$$\begin{aligned} V &= S d^2(t) = S (y(t) - a_m y(t-1) - b_m u(t-1))^2 = \\ &= S (y^2(t) + a_m^2 y^2(t-1) + b_m^2 u^2(t-1) - 2b_m y(t)u(t-1) - \\ &\quad - 2a_m y(t)y(t-1) + 2a_m b_m y(t-1)u(t-1)) \end{aligned}$$

Inför nu beteckningarna

$$S y^2(t) = Sy^2, \quad Sy^2(t-1) = Sy_1^2, \quad Su^2(t-1) = Su_1^2 \dots \text{ osv}$$

då kan  $V$  skrivas som

$$V = Sy^2 + a_m^2 Sy_1^2 + b_m^2 Su_1^2 - 2b_m Syu_1 - 2a_m Syy_1 + 2a_m b_m Sy_1 u_1$$

Ett nödvändigt krav för minima är att de partiella derivatorna med avseende på  $a_m$  och  $b_m$  är noll. Dessa två krav ger ett linjärt

ekvationssystem i  $a_m$  och  $b_m$  vars lösning fås som

$$\begin{bmatrix} a_m \\ b_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Sy_1^2 & Sy_1 u_1 \\ Sy_1 u_1 & Su_1^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} Syy_1 \\ Syu_1 \end{bmatrix}$$

För att göra det möjligt att vikta senare mätvärden mer, då regleringen förhoppningsvis är bättre uppdateras summorna med en enkel filtrering som för  $Sy^2$  blir följande

$$Sy^2(t) = k Sy^2(t-1) + (1-k) y^2(t)$$

Lämpliga värden för tidsvariabla parametrar är omkring 0.9 medan för nästan konstanta parametrar bör  $k$  ligga mellan omkring 0.95 till 1.

Eftersom regulatorns utsignal  $u_r(t)$  inte är en direkt insignal till processen utan ett börvärde till en tilluftstemperaturregulator, så kommer tilluftstemperaturen  $u(t)$  inte att kunna följa regulatorns utsignal  $u_r(t)$  exakt. Vid modellparameterskattningen så används givetvis den uppmätta tilluftstemperaturen  $u(t)$  och inte den önskade  $u_r(t)$ .

Den önskade dubbelpolen hos det slutna systemet bestäms enligt

$$r = pk a_m + p1$$

Det är därför möjligt att ta hänsyn till den skattade dynamiken  $pk \neq 0$  eller alternativt bestämma  $r$  oberoende av dynamiken  $pk=0$ .

#### 4.4 Experiment och kommentarer

Experiment med de tre olika lokalerna har utförts i fem olika omgångar med en total experimenttid på 50 timmar. I FIG.4.1-4.5 redovisas försök med olika hjälpparametervärden för enbart det lilla kontorslandskapet, eftersom skillnaden jämfört med de andra lokalerna är liten. Det lilla kontorslandskapet har en golvyta på  $860 \text{ m}^2$ , en

takhöjd på 3.65 m och en luftomsättning på  $7750 \text{ m}^3/\text{h}$  eller 2.47/h.

Experimenten har genomförts under natten för att undvika störningar från personal, maskiner och belysning. Under en experimentomgång, en nattkörning på 10 timmar, så har tre eller fyra olika hjälpparametrar provats. I samband med parameterbyten så har börvärdet ändrats. Detta för att få regleringen att arbeta. Någon bedömning av en regulators egenskaper kan inte göras under kortare tid om den inte utsätts för störningar eller börvärdesändringar.

Den självinställande PI-regulatorns reglerintervall har varit 2 och 4 min. Tilluftsregulatorn i ASG-datorn arbetade med reglerintervallet 1 min.

Datainsamling har i alla experimenten skett med intervallet 2 min. Mätvärdesinsamlingen i ASG-datorn sker var 10:e sekund för de aktuella från- och tilluftstemperaturerna. Mätvärdena begränsas till ett absolutintervall och till ändringshastighet och filtreras med en filterfaktor på 0.8, vilket motsvarar en tidskonstant på 50 sekunder.

I FIG.4.1-4.5 redovisas fem kurvor som uppifrån är den önskade tilluftstemperaturen  $u_r(t)$ , den erhållna tilluftstemperaturen  $u(t)$ , önskad och erhållen frånluftstemperatur  $y_r(t)$  resp  $y(t)$  i samma diagram och sist de skattade modellparametrarna  $a_m$  och  $b_m$ .

I samtliga fall så förekommer det störningar i tilluftstemperaturen. Störningarna beror på dålig reglering av shuntgrupp VS1 som förser alla eftervärmare i kontorsbyggnaden med värme. Orsaken till den dåliga regleringen beror på glapp mellan ställdon och ventil.

I TAB.4.1 görs en sammanställning av de hjälpparametervärden som använts i de fem försöken redovisade i FIG.4.1-4.5. De aktuella parametrarna är  $p_k$  och  $p_l$  som överför den skattade modellens pol till det önskade slutna systemets pol,  $k$  komihågfaktor, regulatorns samlingsintervall  $T_s$  och börvärde  $y_r(t)$ . Börvärdet har ändrats  $0.5 \text{ }^\circ\text{C}$  vid övergång mellan två hjälpparameterfall.

I TAB.4.1 återges också de skattade modellparametrarna  $a_m$  och  $b_m$  i slutet av varje period och beräknad förstärkning  $b_m/(1-a_m)$  och beräknade regulatorparametrar  $c$  och  $d$ .

#### Experiment 1, 28/1-80

Under den första tidsperioden då i princip modellparametrarna  $a_m$  och  $b_m$  svänger in sig ligger styrsignalen i det närmaste på maximalt tillåten nivå. Detta kan kanske förklaras av att en önskad dubbelpol i  $r = 0.8a_m$  önskas och eftersom  $a_m$  är liten i detta intervall så erhålls en snabb dynamik för det slutna systemet. Detta fordrar stora styrsignaler, men eftersom en begränsning på denna har införts så kommer styrsignalen  $u(t)$  att begränsas. Det är ej förrän  $a_m$  närmar sig 0.9 som en nedgång kan märkas (omkring 100 minuter).

Under den andra tidsperioden kommer utsignalen att ha svängt in sig hyggligt efter ca 100 min och på grund av den höga komihågfaktorn (0.97) kommer  $a_m$  och  $b_m$  att ligga tämligen konstant.

Under den tredje tidsperioden har en övergång till samplingstiden 4 minuter gjorts och en komihågfaktor  $k=0.9$  använts. Detta gör att styrsignalen blir lugnare och parametern  $a_m$  minskar. Även en viss svängning av parametern kan märkas på grund av relativt låg komihågfaktor.

#### Experiment 2, 4/2-80

Efter insvängningstiden har en mycket låg komihågfaktor  $k=0.8$  använts, vilket tydligt syns i  $a_m$ 's uppförande, medan utsignalen ligger hyggligt till.

I intervallet 300-600 min används  $pk=1$ . Utsignalen  $y(t)$  liksom styrsignalen  $u(t)$  ligger nästan på en konstant nivå under hela tidsperioden. För att försöka finna en förklaring studeras det slutna systemet och styrsignalen  $u(t)$  (antag att  $u_r(t)=u(t)$ ).

Dubbelpolen  $r=a$  ger regulatorparametrarna

$$c = (r^2 - a)/b = a(a-1)/b$$

$$d = -(1-r)^2/b = -(1-a)^2/b$$

tillsammans med processmodellen

$$y(t) = a y(t-1) + b u(t-1)$$

och regulatoruttrycket

$$u_r(t) = u_r(t-1) + c(e(t) - c(t-1)) + d e(t)$$

där

$$e(t) = y(t) - y_r(t)$$

Pulsöverföringsfunktionen mellan utsignal  $y(t)$  och referensvärde/börvärde  $y_r(t)$  fås som

$$y(t) = a y(t-1) + (1-a) y_r(t-1)$$

Det slutna systemet får samma dynamik som processen. Rent intuitivt kan sägas att ingen reglering behövs för att erhålla denna dynamik utan det är bara att skicka in en konstant signal på processen.

### Experiment 3, 6/2-80

För att undvika problemen i experiment 2 valdes  $pk$  till 0.95 i stället för 1. Dessutom samplades regulatorn var 4:e minut vilket gav upphov till en lugnare styrsignal.

Regleringen under intervallet 150-300 min är ej god. Detta beror antagligen på att identifieringsalgoritmen "glömmer" för många mätvärden på grund av en låg komihågfaktor ( $k=0.8$ ).

Tidsperioden 450-600 min har en långsammare dynamik erhållts med  $pk=0.95$  kombinerad med en låg komihågfaktor 0.8, detta leder antagligen till att regulatorn "somnar in", så att utsignalen ej ligger på rätt nivå.



## Experiment 4, 12/2-80

De tre föregående experimenten visade att lämpliga val på komihåg-faktorn ligger i intervallet 0.9 till 1., kombinerad med en dynamik-faktor  $p_k$  på 0.9. Som synes av experimentet ligger utsignalen väl omkring börvärdet.

## Experiment 5

Eftersom det visat sig att parametrarna konvergerar långsamt, ungefär 120 minuter, så kan det möjligtvis vara olyckligt att välja en önskad dynamik som beror på denna konvergens. Ett sätt att fastlägga dynamiken är att välja  $p_k=0$ , vilket ger  $r=p_l$ .

Identifieringsexperiment har visat att lilla landskapets dynamik har en dominerande tidskonstant på 39 min. För att få ett något snabbare system än öppet system så valdes  $r=0.94$ , vilket motsvarar en tidskonstant på 33 min. Samplingsintervallet är 2 min.

I FIG.4.5 finns resultatet presenterat. Det framgår att regleringen ej har varit god, flera gånger har regulatorn ställt ut en ökning när det borde varit en minskning. Detta beror på parameterskattningen. Parametern  $a$  ligger mycket nära ett och kan tidvis bli större än 1, vilket ger samma uppförande som påpekats tidigare (se experiment 3).

Den svaga länken i självinställningen är modellskattningen. I TAB. 4.1 återges de erhållna parametrarna  $a_m$  och  $b_m$  för experimenten 2-5 i slutet av varje period tillsammans med den beräknade statiska förstärkningen  $b_m/(1-a_m)$ .

Den statiska förstärkningen ligger omkring 1, vilket skall jämföras med den från särskilda försök bestämda med värdet 0.19. Det senare värdet stämmer bäst med erfarenheter från andra lokaler. Den för självinställaren överskattade förstärkningen innebär att regulatorns förstärkning bör minskas i motsvarande grad, om dynamiken är den samma.

Felskattningen av den statiska förstärkningen rättas till om dynamiken skattas långsammare än vad den är. Vanliga  $a_m$ -parametervärden är 0.98-0.99, vilket motsvarar en tidskonstant på 100-200 min. Detta är en överskattning med grovt en faktor 5.

Överskattning av statisk förstärkning och tidskonstant med samma faktor innebär att den skattade modellen har samma egenskaper som den i kapitel 3 för kortare tidsperioder. Detta kan visas enkelt genom att jämföra två stegsvar från två modeller med ett enhetssteg på insignalen. Utsignalerna från de två modellerna kan i kontinuerlig tid skrivas som

$$y_1(t) = g_1(1 - e^{-t/T_1})$$

$$y_2(t) = g_2(1 - e^{-t/T_2})$$

Vidare så gäller att

$$g_2 = kg_1$$

$$T_2 = kT_1$$

Skillnaden mellan de två modellernas ut signaler kan för små  $t$  i förhållande till  $T_1$  skrivas som

$$e(t) \approx g_1(1 - 1 + t/T_1) - kg_1(1 - 1 + t/kT_1)$$

$$e(t) \approx g_1(t/T_1 - kt/kT_1) = 0$$

Ett genomgående uppförande hos parametrarna  $a_m$  och  $b_m$  är att de verkar vara speglade. Mellan parametrarna råder grovt sambandet  $b = 1 - a$ , vilket ger en konstant förstärkning.

Detta uppförande har undersökts genom att tillämpa en självinställande regulator på en modell med  $a = 0.95$  och  $b = 0.05$  utan brus. Efter insvängningsförloppet så har utsignalen  $y(t)$  ändrats med ett tillägg  $f$  som kan uppskattas som en störning. Modellparametrarna  $a_m$  och  $b_m$  blir nu en funktion av  $f$ . I båda parameterfallen erhålls linjära funk-

tioner, nämligen

$$a_m = a - 0.02 f$$

$$b_m = b + 0.02 f$$

Den tidigare påtalade speglingen stämmer. Den statiska förstärkningen är konstant ett oberoende av felet  $f$ .

#### 4.5 Slutsummering

Den självinställande regulatorn arbetade bäst med  $p_k$  omkring 0.8-0.9 och en komihågfaktor  $k$  mellan 0.9-0.98. Ett för högt värde på  $p_k$  medför att regulatorn somnar in. Ett lågt värde på komihågfaktorn  $k$  gör modellskattningen osäker. Kravet på ett lågt  $p_k$ -värde kan också tolkas som ett krav på att det slutna systemets dubbelpol  $r$  skall vara omkring 0.8-0.9. I experiment 3 används  $p_k=0.95$ , vilket ger små regulatorparametrar och en lugn styrsignal  $u_r(t)$ .

En annan observation är att regulatorns förstärkning  $c$  är ganska stor omkring 10-30 och integrationstiden är omkring 30 minuter. Dessa värden skall jämföras med motsvarande för en tidigare använd PI-regulator med en förstärkning på -4 och en integrationstid på 15 min.

Något som kan förklara den höga modellförstärkningen är att alla temperaturer ingående i modellen angavs som absolutvärden i  $^{\circ}\text{C}$  och eftersom tillufts- och frånluftstemperaturerna är i stort sett de samma, omkring  $20^{\circ}\text{C}$ , så blir den statiska förstärkningen omkring ett. Det var inte avsikten att använda en global modell utan i stället skulle differenser använts så att en lokal modell erhållits på formen

$$\Delta y(t) = a_m \Delta y(t-1) + b_m \Delta u(t-1)$$

Denna lokala modell blir mycket mer känslig för störningar, eftersom endast differenser ingår i modellen. Bruket av den globala modellen i stället för den lokala konstaterades först långt efter det att försöken genomfördes och några nya försök har inte kunnat genomföras.

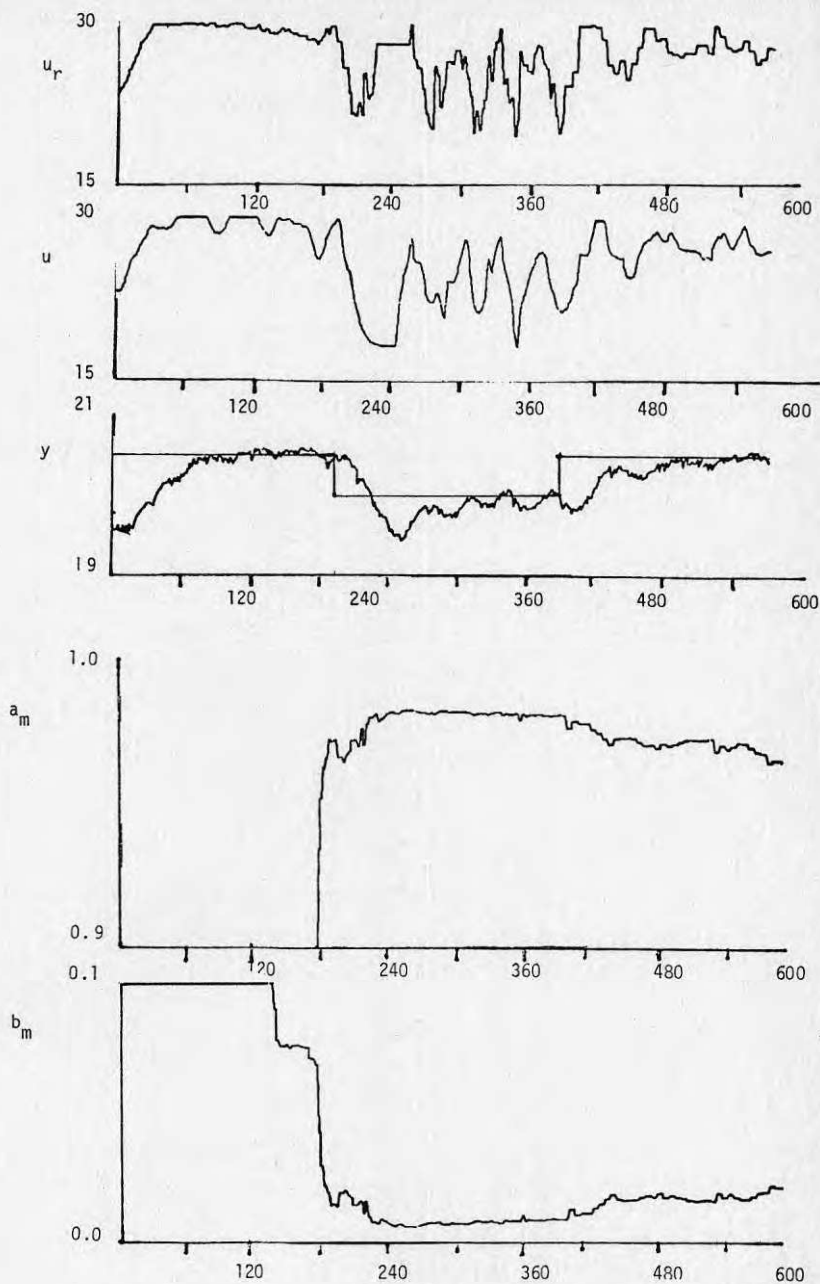


FIG.4.1 Experiment 1, utfört den 28/1-80. Kurvorna är uppifrån räknat önskad tilluftstemperatur  $u_r$ , verklig tilluftstemperatur  $u$ , rumstemperatur (frånluft)  $y$ , modellparametrarna  $a_m$  och  $b_m$ .

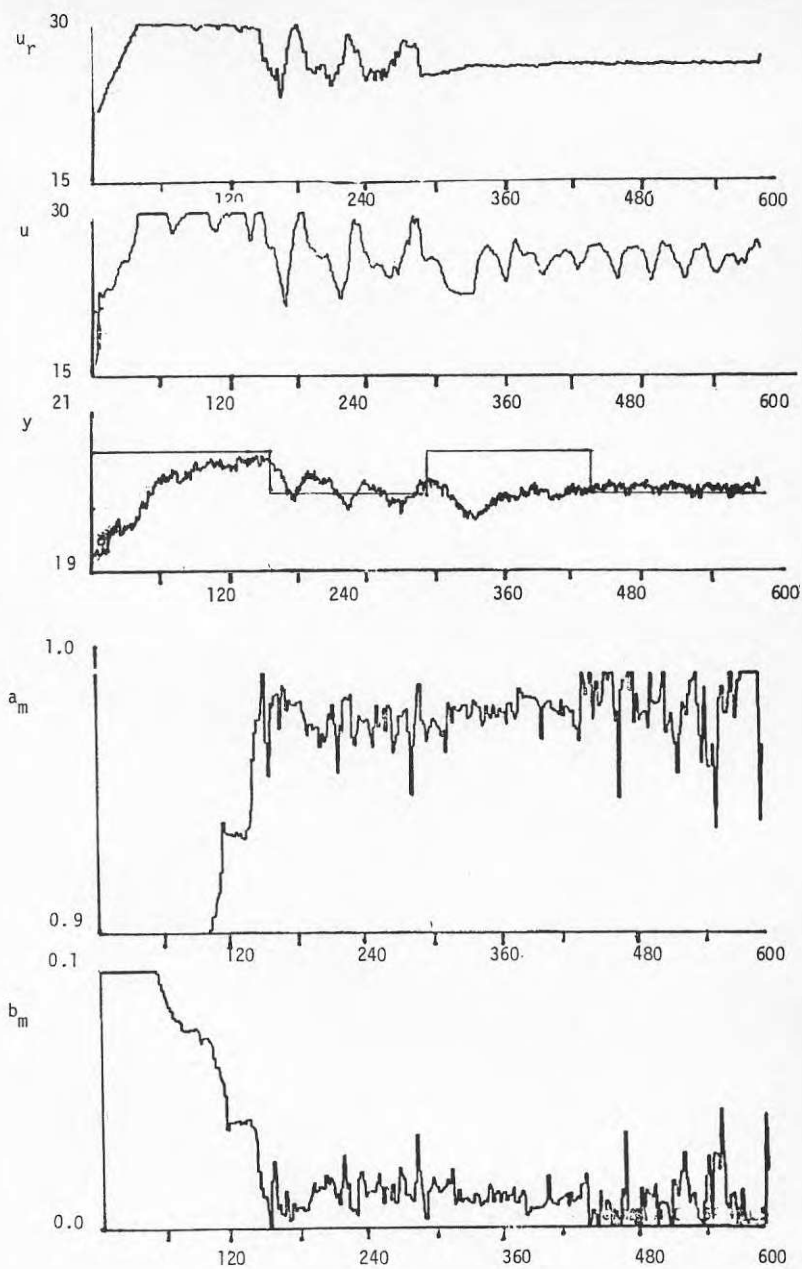


FIG.4.2 Experiment 2, utfört den 4/2-80. Kurvorna är uppifrån räknat önskad tilluftstemperatur  $u_r$ , verklig tilluftstemperatur  $u$ , rumstemperatur (frånluft)  $y$ , modellparametrarna  $a_m$  och  $b_m$ .

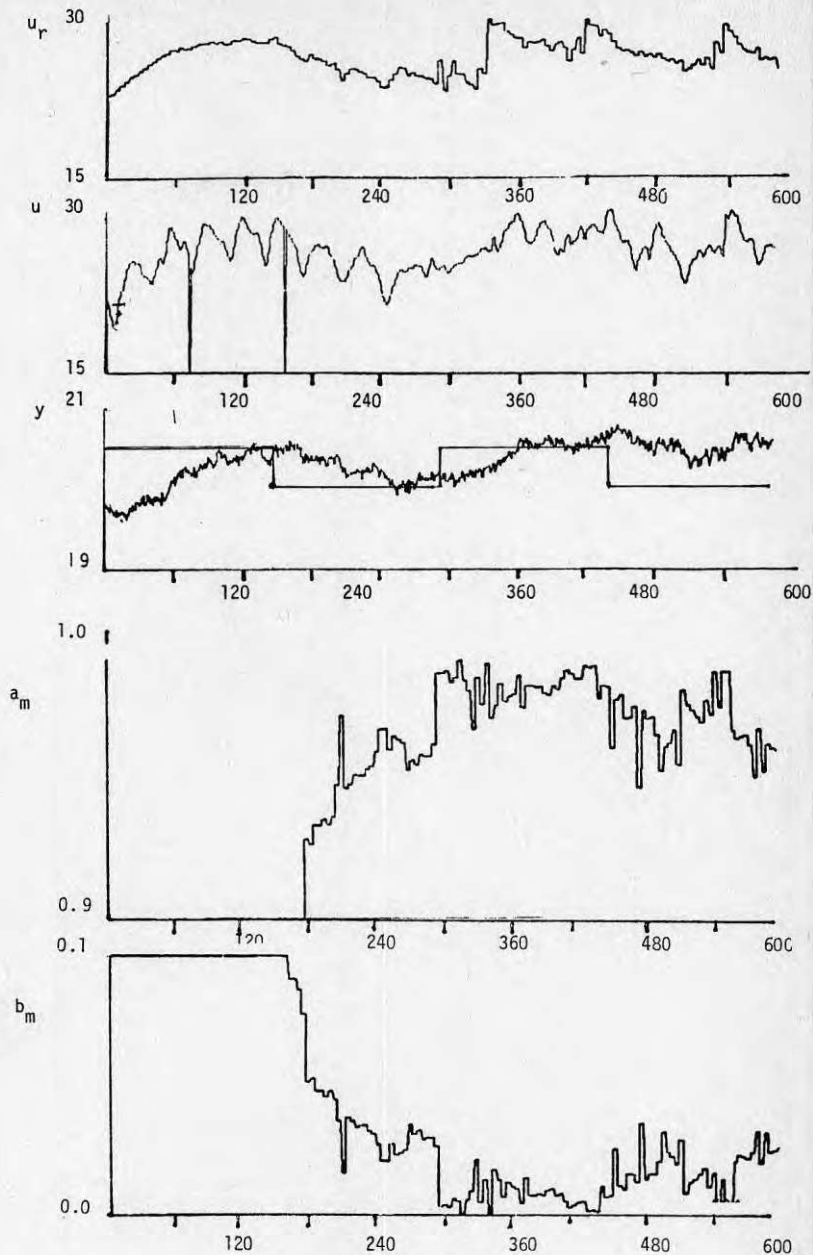


FIG.4.3 Experiment 3, utfört den 6/2-80. Kurvorna är uppifrån räknat önskad tilluftstemperatur  $u_r$ , verklig tilluftstemperatur  $u$ , rumstemperatur (frånluft)  $y$ , modellparametrarna  $a_m$  och  $b_m$ .

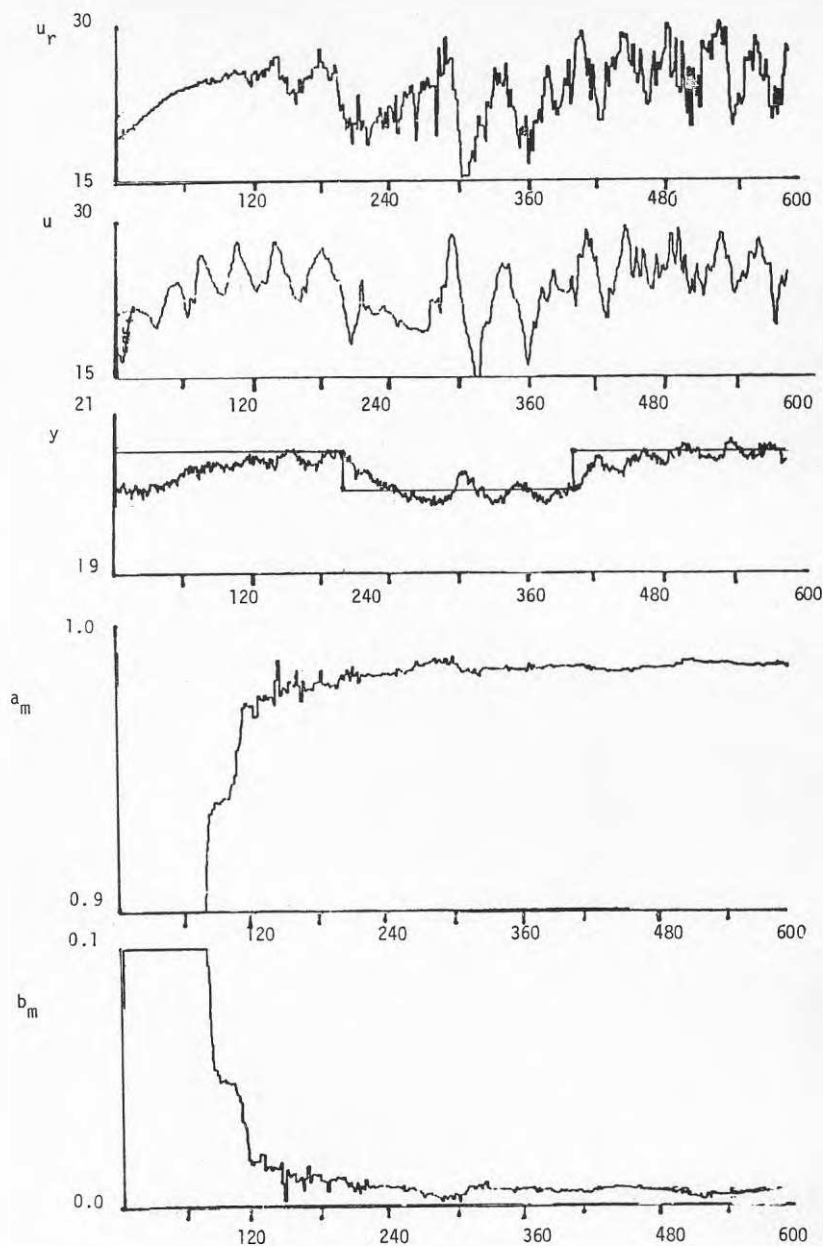


FIG.4.4 Experiment 4, utfört den 12/2-80. Kurvorna är uppifrån räknat önskad tilluftstemperatur  $u_r$ , verklig tilluftstemperatur  $u$ , rumstemperatur (frånluft)  $y$ , modellparametrarna  $a_m$  och  $b_m$ .

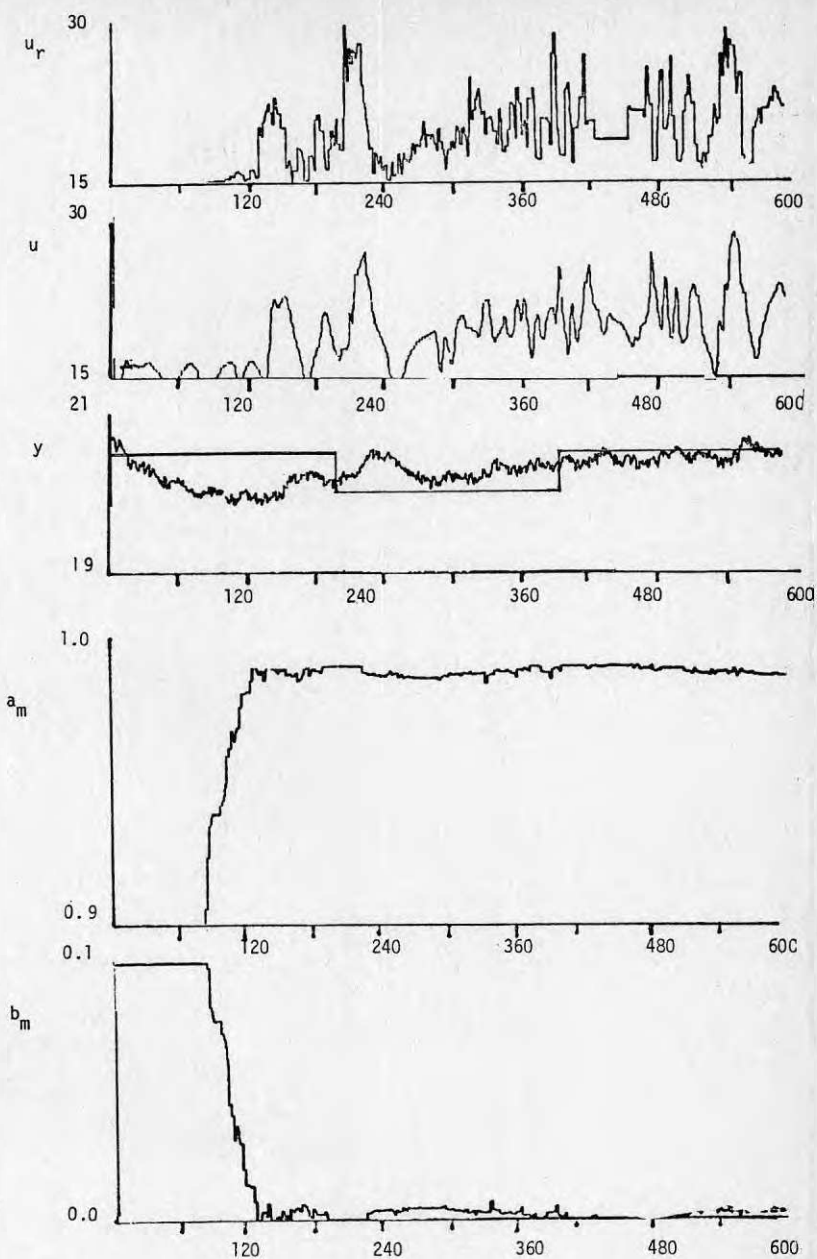


FIG.4.5 Experiment 5, utfört den 27/2-80. Fixerat val av dubbelpol. Kurvorna är uppifrån räknat önskad tilluftstemperatur  $u_r$ , verklig tilluftstemperatur  $u$ , rumstemperatur (frånluft)  $y$ , modellparametrarna  $a_m$  och  $b_m$ .



TAB.4.1 Sammanställning av använda hjälpparametrar och erhållna modell- och regulatorparametrar från försök med självinställande regulator.

Exp nr	Datum tidsperiod	Samp- lings- tid $T_s$ (min)	Dynamik		Kom- ihåg fak- tor k	Bör- vär- de $y_r(t)$ 0C	Modellparametrar			Regulatorpara- metrar	
			pk	pl			$a_m$	$b_m$	$b_m/$ ( $1-a_m$ )	c	d
1	<u>28/1-80</u>										
	0-200	2	0.8	0.0	0.90	20.0	-	-	-	-	-
	200-400	2	0.8	0.0	0.97	20.5	0.98	0.0075	0.37	-48.71	-6.22
	400-600	4	0.8	0.0	0.90	20.0	0.97	0.0150	0.50	-23.69	-3.34
2	<u>4/2-80</u>										
	0-150	2	0.9	0.0	0.9	20.5	-	-	-	-	-
	150-300	2	0.9	0.0	0.8	20.0	0.982	0.014	0.78	-14.35	-0.97
	300-450	2	1.0	0.0	0.9	20.5	0.985	0.011	0.73	-18.11	-1.17
	450-600	2	1.0	0.0	0.8	20.0	0.991	0.007	0.78	-27.93	-1.67
3	<u>6/2-80</u>										
	0-150	4	0.9	0.0	0.9	20.5	-	-	-	-	-
	150-300	4	0.9	0.0	0.8	20.0	0.942	0.045	0.78	-4.96	-0.51
	300-450	4	0.95	0.0	0.9	20.5	0.990	0.0081	0.81	-24.21	-1.47
	450-600	4	0.95	0.0	0.8	20.0	0.947	0.020	0.77	-10.28	-0.76
4	<u>12/2-80</u>										
	0-200	2	0.9	0.0	0.9	20.5	0.985	0.012	0.8	-16.59	-1.07
	200-400	2	0.9	0.0	0.95	20.0	0.993	0.0063	0.9	-30.84	-1.79
	400-600	2	0.9	0.0	0.98	20.5	0.994	0.0055	0.92	-35.22	-2.02
5	<u>27/2-80</u>										
	0-200	2	0.0	0.94	0.9	20.5	0.998	0.0022	1.1	-52.0	-1.636
	200-400	2	0.0	0.94	0.95	20.0	0.998	0.0027	1.75	-42.4	-1.333
	400-600	2	0.0	0.94	0.98	20.5	0.999	0.0015	1.5	-76.93	-2.4

## 5 ÄNDRINGAR AV DRIFTSSÄTT

De åtgärder som har genomförts är ändringar av driftssätt för det största ventilationsaggregatet TA9.1, som via 14 eftervärmare försörjer lika många lokaler eller lokalzoner i kontorsbyggnaden.

### 5.1 Övergång från PI-reglering till P-reglering

Alla regulatorer mellan frånluft- eller lokaltemperatur och tilluftstemperatur var ursprungligen PI-regulatorer. En liten avvikelse i frånluft eller lokaltemperatur under en viss tid medförde att den önskade tilluftstemperaturen kom att ligga på begränsningarna neråt eller uppåt. På detta sätt motverkar regleringen möjligheterna att lagra värme eller kyla i byggnaden. En PI-regulator strävar ständigt att eliminera reglerfelet så att temperaturen är den önskade oberoende av belastningen.

Om i stället en P-regulator används så blir reglerfelet alltid belastningsberoende. Förstärkningen i P-regulatorn valdes till -10. En avvikelse i rumstemperatur på  $0.5^{\circ}\text{C}$  över önskat värde gav den en önskad tilluftstemperatur  $5^{\circ}\text{C}$  under den önskade rumslufttemperaturen. I PI-regulatorn används förstärkningen -4 och integrationstiden 15 min. Ett fel på  $0.5^{\circ}\text{C}$  under 60 min ändrar den önskade tilluftstemperaturen med  $8^{\circ}\text{C}$ .

Den lägsta önskade tilluftstemperaturen för de tio viktigaste lokalerna bestämmer förbehandlingstemperaturen, dock inte lägre än  $12^{\circ}\text{C}$  (kondensproblem och kallras). En lokal med ett litet tilluftsflöde på omkring en timme och med ett litet fel kunde därför köra förbehandlingen med lägsta tilluftstemperatur  $12^{\circ}\text{C}$ . Detta medför att värmeåtervinningen utnyttjas dåligt och att kyla kopplas in ofta, om PI-regulatorer används.

Den lägsta tilluftstemperaturen till en av de fjorton lokalerna eller lokalzonerna bestämde ursprungligen förbehandlingstemperaturen. Det visade sig emellertid att fyra av dessa, nämligen kök, motionsrum, omklädnadsrum och kulvert, alltid önskade låga tilluftstemperaturer eftersom de också hade låga önskade lokal- eller frånluftstemperaturer. Temperaturkrav i dessa lokaler bedömdes inte vara så viktiga att de skulle bestämma förbehandlingstemperaturen och därför uteslöts dessa lokaler vid bestämning av förbehandlingstemperatur.

## 5.2 Nattdrift

Någon skillnad mellan dagdrift och nattdrift fanns inte ur regler-synpunkt. Under icke arbetstid kördes fläkten för halvfart, men med normal reglering av olika lokalers temperatur. Detta medförde en stor spridning i eftervärmning mellan olika lokaler eller lokalzoner. Värmeåtervinningen kunde därför inte utnyttjas på bästa sätt då lokalen med lägsta önskade tilluftstemperatur bestämde förbehandlingens temperaturnivå och därmed återvinningsgraden.

Enda skälet till att reglera lokaltemperaturen även icke arbetstid var att övergången från nattdrift till dagdrift sker mer eller mindre omärkligt. Något behov att hålla en konstant rumstemperatur under icke arbetstid finns inte.

Därför beslöts att slopa den individuella rumstemperaturregleringen under icke arbetstid. Alla de fjorton eftervärmeventilerna stängdes under icke arbetstid. Värmeåtervinningen reglerades så att en viktad temperatur för de fjorton lokalerna eller lokalzonerna stämde med en motsvarande viktad önskad temperatur. Viktning gjordes i förhållande till luftflödena. När värmeåtervinningen var helt avstängd eller fullt utstyrd då tilläts den viktade temperaturen att sjunka 5 °C innan värme kopplades in och stiga 5 °C innan kyla kopplades in. På detta sätt utnyttjas byggnadens värmekapacitet dels genom att använda P-regulatorer under arbetstid och dels genom att tillåta stora

temperaturvariationer under icke arbetstid.

### 5.3 Samordning av tilluftszoner i det stora kontorslandskapet

Modellbygget av det stora landskapet, som genomförts i kapitel 3, visade att mitt-zonen dominerade över de två ytterzonerna. Modellerna visade också att det krävdes stora skillnader i tilluftstemperatur om olika temperaturer önskades i de olika zonerna. Mindre temperaturfel i en ytterzon skulle kräva mycket stora ändringar i tilluftstemperatur för den aktuella ytterzonen. Ett sätt att minska detta är att låta en viktad medeltemperatur för hela kontorslandskapet bestämma en gemensam tilluftstemperatur för alla de tre zonerna. Detta har provats.

### 5.4 Förbrukningsstatistik

För att kunna bedöma om de ändringar av driftssättet, som har gjorts, har haft någon inverkan så återges här olje-, el- och vattenförbrukningen för åren 1977-1980. Tidigare uppgifter finns inte tillgängliga på grund av en vattenskada i samband med en stormskada. I TAB.5.1 ges en sammanställning av årsförbrukningen. Antalet graddagar finns också infört i TAB.5.1. Någon graddagskorrigerings görs inte då detta är tveksamt i en anläggning med mycket ventilationsförluster. Tilluftstemperaturen under arbetstid ligger ofta ner mot 12 °C, vilket skall jämföras med graddagsbegreppets antagna innetemperatur på 17 °C.

Energiförbrukning per m<sup>2</sup> kontorsyta har också beräknats och anges i TAB.5.1. Oljepannornas verkningsgrad har satts till 80%, vilket ger 8 MWh per m<sup>3</sup> olja. Kontorsytan har beräknats till 8000 m<sup>2</sup>, vilket är bruttoyta. Magasinsbyggnadens elförbrukning för belysning, transportbana och tryckladdning har beräknats till 1400 MWh/år. Denna post ingår inte i energiförbrukningen per m<sup>2</sup> kontorsyta.

TAB.5.1 Sammanställning av graddagar och förbrukning av olja, el och vatten för hela storterminalen och olja + el totalt och per m<sup>2</sup> för kontorsdelen under åren 1977-1981. Elförbrukningen för magasinsdelen har beräknats till 1400 MWh.

År	Grad- dagar	Förbrukning totalt				Förbrukning kontor	
		Olja m <sup>3</sup>	Olja MWh	El MWh	Vatten m <sup>3</sup>	Olja+el MWh	Olja+el klh/m <sup>2</sup>
1977	2985	238	1904	2411	12497	2915	364
1978	3152	206	1640	2353	13796	2593	324
1979	3433	160	1280	2274	13382	2154	268
1980	3322	181	1448	2505	14486	2553	318
1981	3074	168	1344	2500	11549	2444	304

## 6 ALLMÄNNA SYNPUNKTER OCH KRAV

I Byggeforskningsrapporten R88:1981 ges i kapitel 2 en beskrivning av ett datorsystems uppbyggnad och funktion ur programvarusynpunkt. Ett antal enkla funktioner och krav på dessa beskrivs. I detta kapitel behandlas främst vilka krav man kan ställa på dessa funktioner. De funktioner som skall behandlas är insignaler, utsignaler, övervakning styrning, optimering, reglering och programmering med beslutstabell.

Programmering av logikstyrning och reglersekvenser behandlas i avsnitten styrning och reglering. Dessa funktioner kan lösas med programmering i högnivåspråk eller med beslutstabell. I det sista avsnittet beskrivs denna senare metod mera ingående.

### 6.1 Allmänt

Inledningsvis behandlas en del allmänna synpunkter på datorsystems uppbyggnad, anpassningsbarhet, avläsnings- och utställningshastighet, beräkningskapacitet och operatörskommunikation.

#### Uppbyggnad - anpassningsbarhet

De vanligaste grundfunktionerna i ett datorsystem åstadkoms med ett antal standardprogram och tillhörande tabeller. Ändringar och tillägg görs enkelt via operatörskommunikationen. En del grundfunktioner kan åstadkommas på ett flertal sätt t ex gränsvärdeslarm.

Detta kan dels uppnås med att varje inläst analogt mätvärde kan gränsvärdesövervakas och utskrift av larm kan ske som en del av den analoga insignalens grundfunktion. Grundfunktionen för den analoga insignalen består av inläsning, omvandling, gränsvärdesövervakning och gränsvärdesalarmering. En fördel är att det är enkelt och säkert att sätta upp ett gränsvärdeslarm. En nackdel är att om gränsvärdeslarm endast används i ringa omfattning så utnyttjas datorns minne dåligt. En annan nackdel är att gränsvärdesövervakning av andra storheter som beräknats på något sätt inte kan ske på ett enkelt sätt som en

del av den analoga grundfunktionen utan här krävs en annan parallell gränsvärdeslarmmöjlighet. Nackdelar är att det då finns två olika gränsvärdeslarmmöjligheter vilket är onödigt både ur programvarusynpunkt och för användaren.

Ett alternativ till den fullständiga grundfunktionen är att dela upp funktionen i ett antal delfunktioner som sedan kan kopplas ihop till önskade funktioner. I det aktuella exemplet med ett gränsvärdeslarm så kan en uppdelning i tre delfunktioner vara följande: mätvärdesinläsning och omvandling, gränsvärdesindikering och larmfunktion. Gränsvärdesindikering genererar två logiska variabler för låg och högnivå. Dessa kan sedan bearbetas med den normala larmfunktionen för logiska variabler. Ihopkopplingarna kan ske på ett förutbestämt sätt eller helt godtyckligt sätt. Godtycklig ihopkoppling kräver något mer minnesutrymme för att ange hur detta skall ske, men i gengäld så kan en mångfald av olika funktioner åstadkommas med ett fåtal delfunktioner. Den stora anpassningsbarheten är både en fördel och en nackdel, då det är lättare att göra fel. Ett vanligt fel är att två delfunktioner försöker påverka samma variabel av något slag. Ett sådant fel kan uppstå genom felskrivning eller felaktig information och sådana fel kan vara svårt att reda ut och rätta till. I ett viktigt hjälpmedel i datorsystem med stor anpassningsbarhet hos delfunktionerna som bildar olika funktioner är att kunna på något sätt erhålla en komplett korsreferenstabell för hela datorsystemet. I en korsreferenstabell så anges hur samtliga i datorsystemet ingående variabler används och påverkas. En variabel bör helst påverkas från ett håll annars kan felaktigheter uppstå.

En synpunkt i samband med denna typ av fel är att ett datorsystem med en enda dator är sämre än ett datorsystem som består av flera mindre datorer, eftersom felaktigheter i en mindre dator har svårare att påverka en annan mindre dator i samma datornät. I ett datornät med mycket kommunikation mellan de ingående datorerna så kan samma fel uppstå lika lätt som i ett endatorsystem och det kan vara ännu svårare att i ett sådant fall avslöja ett fel. Någon form av korsreferenstabell för hela datornätet måste man ha för att kunna reda ut sådana fel.

Beskrivning av ett datorsystems grundfunktioner bör ske med någon form av standard. "Programmeraren" anger på ett enkelt och effektivt sätt datorsystemets önskade funktioner och med speciella datorprogram så bearbetas dessa indata så att ett antal datatabeller erhålls. Dessa tabeller beskriver sedan de önskade funktionerna i det aktuella datorsystemet. Det kan tilläggas att "programmeraren" behöver inte känna till hur datorsystemet är uppbyggt och hur olika grundfunktioner löses.

Det kan avslutningsvis konstateras att krav på god anpassningsbarhet hos programvaran med uppdelning av en funktion i flera delfunktioner har berott på en önskan att spara minnesutrymme för både program och data och på att ha ett fåtal unika delfunktioner, t ex det bör bara finnas en larmfunktion som används som en del i direkta larm, gränsvärdeslarm, funktionslarm och drifttidslarm.

Med dagens prisutveckling på datorminne så har platsbehovet endast en mindre betydelse på datorsystemets programvaruuppbyggnad.

#### Avläsnings- och utställningshastighet

Onödigt höga krav på dessa två hastigheter har ofta förekommit. I ett stort endatorsystem så kan avläsnings- eller utställningsintervallen för en signal bli flera sekunder upp emot en minut. Detta är ofta tillräckligt och utställning behöver egentligen bara ske av de utsignaler som ändrat sig. När det gäller insignalerna så är det meningslöst att driva upp avläsningshastigheten för mycket eftersom givarna har en viss dynamisk tröghet, ett undantag är analoga insignaler med mycket brus (störningar). En hög avläsningshastighet tillsammans med filtrering minskar störningarnas inverkan.

Ett problem som uppstår i ett datorsystem är att den bild som datorsystemet har på processen inte stämmer. Detta kan medföra att felaktig funktion erhålls under kortare tid, men med en lämplig programmering av funktionen så kan en del av dessa felaktigheter undvikas.

Ett exempel är en kontroll av en manöverfunktion. Manövern indikeras



med en logisk insignal och ställs ut med en logisk utsignal. Efter det att en utställning har beräknats så kan det ta en viss tid innan utställning verkställts och indikeringen lästs in. Botemedlet är att fördröja manöverlarmet och detta kan ske med fördröjningen i den normala larmfunktionen. Själva manöverkontrollen utgörs av följande logiska beräkning

OK:=MAN EQ IND

där

OK = manöverkontroll falsk vid fel

MAN = utställd manöver

IND = avläst indikering

Det finns givetvis svårare fall där datorsystemets bild tidvis inte stämmer med verkligheten. Ett sådant är när flera insignaler läses av via flera moduler eller underdatorer. Avläsningen av modulerna sker i en följd. Det kan då inträffa att parallellt med inläsningen så ändrar sig vissa insignaler så att datorsystemet erhåller en felaktig bild t ex halva bilden är gammal och den andra hälften är ny. De två halvorna tillsammans ger en helt felaktig bild av systemet. Detta svårare fall kan också inträffa på en högre nivå i datorsystemet, nämligen när den inlästa informationen skall användas i olika beräkningar. Om beräkningar sker parallellt med inläsningar då finns det risk för att beräkningarna påbörjas med gamla variabler och avslutas med nyare.

Detta problem kan undvikas genom att inte tillåta avläsning av insignaler och beräkningar med insignaler samtidigt. Detta är lätt att genomföra i ett litet datorsystem med få insignaler och låg belastning. Problemet finns inte heller i ett stort datorsystem med fler små oberoende av varandra arbetande datorer. I ett stort datorsystem och ett datorsystem med mycket stor dataöverföring mellan datorerna så är det svårt att skilja på inläsning av insignaler och beräkningar med dessa.

Ett annat liknande problem på en ännu högre nivå uppstår när man

skall ta en reservkopia av hela datorsystemet för att kunna återstarta datorsystemet efter allvarliga fel. I de flesta datorsystem så avbryts all annan verksamhet när reservkopia tas.

Det kan också påpekas att de här behandlade problemen i regel inträffar ytterst sällan vid vissa tidpunkter beroende på datorsystemets arbetsbelastning och processens tillståndsändringar. I en del fall så märks kanske inte felaktigheten och vid nästa beräkning så erhålls rätt resultat. I andra fall så startar felaktigheten en händelsekedja som kan vara svår att bryta och som leder till påtagliga ändringar.

#### Beräknings- och massminneskapacitet

De beräkningar som sker i datorsystem för klimatsystem är förhållandevis enkla och därmed också snabba. Vad som i regel begränsar datorsystemets kapacitet är den tidigare behandlade överföringshastigheten till alla processanpassningsenheterna (mikrodatorbaserade eller ej). Det finns oftast tid över under alla dessa överföringar för omfattande beräkningar. Det är därför möjligt att genomföra ganska komplicerade beräkningar, t ex någon optimering. Problemet med sådana komplicerade beräkningar är att det ställer vissa krav på användarens kunnande.

Datorsystems storlek och därmed dess kapacitet begränsades tidigare till en del på grund av prisnivån på primär- och sekundärminne. Prisutvecklingen på datorteknik har medfört att denna begränsning nu har mer eller mindre försvunnit. Ett problem kan därför vara att utnyttja denna stora kapacitet på bästa sätt.

#### Datorbortfall och spänningsbortfall

Övervakning, styrning och reglering går förlorad vid datorbortfall och spänningsbortfall. Viktiga förreglingar av säkerhetstyp eller skyddstyp skall därför göras i hårdvara. Någon backup av reglering behövs knappast vid kortare datorbortfall upp till några timmar. En enkel handkörningsmöjlighet kan vara tillräckligt. Vissa reglerkret-

sar av stor betydelse eller av säkerhetsskäl t ex ångprocesser, kan kräva någon form av backup-reglering. Återstarten av datorsystemet bör ske på ett genomtänkt sätt så att inte onödiga störningar uppstår.

Spänningsbortfall kan karakteriseras som korta och långa. Med korta menas sådana spänningsbortfall som inte påverkar processens tillstånd nämnvärt. Ett exempel är motorer som roterar. Vid sådana korta spänningsbortfall är det enklast att datorsystemet arbetar vidare som innan när det blev avbrutet. Datorsystemets ut signaler intar normalt inte sina vilolägen, eftersom halvledarkretsarna i modulerna har ett visst korttidsminne. I ett stort datorsystem kan det vara svårt att ställa ut nya ut signaler på kort tid. Även om utgångsreläer, mellanreläer och kontaktorer faller, så är det därför lämpligt att fortsätta driften direkt efter ett kortare spänningsbortfall, eftersom en normal uppstart av själva klimatsystemet kan ta lång tid beroende på olika startfördröjningar.

Vid längre spänningsbortfall så bör driften fortsätta först efter en normal uppstart för att undvika onödig överbelastning av elnätet, vilket annars kan resultera i ett nytt spänningsbortfall.

Datorsystemet bör matas med prioriterad kraft. Återinkoppling efter längre spänningsbortfall bör om möjligt först ske för datorsystemet för att detta skall kunna förbereda en normal återstart och därefter spänningssätts själva klimatprocessen. I större byggnadskomplex kan ett spänningsbortfall bara omfatta en del i byggnadskomplexet. I sådana anläggningar är det lämpligt att datorsystemet har direkta signaler på om elnätet är spänningssatt eller ej. Dessa signaler används vid programmering av styr- och reglersekvenser för att säkerställa en korrekt uppstart efter ett spänningsbortfall.

Det kan också påpekas att valet av ut signal och ställdon för styrning eller reglering kan beroende på lösningssätt ge backup eller ej vid datorbortfall eller spänningsbortfall.

## Operatörskommunikation

Huvudkravet på operatörskommunikation är att det skall vara lätt och säkert att läsa av och ändra olika variabler, parametrar och tillstånd. Detta kan ske via olika typer av terminaler, alltifrån standardterminaler till specialbyggda knappsatser med olika former av display. Ljudsignaler kan också användas för att påkalla operatörens uppmärksamhet både när standardterminaler eller när specialbyggda terminaler används.

Standardterminaler är att föredra ur underhållssynpunkt, medan specialbyggda kan vara lättare att börja arbeta med. Den specialbyggda terminalens knappsats kompenseras mer och mer av speciella funktions-tangenter och cursorfunktioner på standardterminaler.

Ett mindre problem med operatörskommunikation är valet mellan skrivande terminaler eller bildskärmsterminaler. Med de senare erhålls ingen papperskopia på vad som gjorts. I större system med stort yttre minne så kan all operatörskommunikation lagras ett antal timmar upp till några dygn bakåt i tiden för att i efterhand kunna användas när så behövs.

Ett annat problem är att en bildskärmsterminal har fler funktioner än en skrivande terminal. En skrivande terminal har ingen cursorfunktion och tillåter inte bakåt positionering av skrivhuvudet på raden eller bland raderna. Detta medför att bildskärmsoperatörskommunikation som utnyttjar bildskärmens alla möjligheter inte kan genomföras på en skrivande terminal. Operatörskommunikation bör därför vara utformad så att den passar både för skrivande terminaler och bildskärmsterminaler. Detta är lämpligt ur reserv-synpunkt, då skrivande terminaler och bildskärmsterminaler kan ersätta varandra.

Det finns två sätt att genomföra operatörskommunikation på, antingen frågestyrt eller kommandostyrt. Det förstnämnda alternativet passar alltid för nybörjaren och det senare passar bättre för den rutinerade användaren. Frågestyrd operatörskommunikation kan bli ganska långsam på en skrivande terminal.

En blandning av frågestyrd och kommandostyrd operatörskommunikation kan den cursorstyrda sägas vara. På bildskärmen kan ett antal alternativ väljas eller läsas av och ändras genom att positionera cursorn till önskat läge.

Några andra synpunkter på operatörskommunikationen är att alla variabler och parametrar bör ha samma beteckning överallt i systemet (dokumentation, högnivåspråk och operatörskommunikation).

All operatörskommunikation sker givetvis med någon form av behörighet.

## 6.2 Insignaler

### Analoga insignaler

De två vanligaste kraven på analoga mätvärden är mätnoggrannhet och samplingshastighet. Ofta överdrivs dessa krav. Behovet av mätnoggrannhet beror på vad mätvärdet skall användas till, t ex övervakning eller reglering. Vid mätningar digitaliseras eller diskretiseras det analoga mätvärdet till ett heltal och upplösningen bör vara något bättre än mätgivarens feltoleransområde. En givares systematiska mätfel har ingen betydelse för funktionen om bara detta mätvärde används för någon styr/regleruppgift. Om flera mätgivare ingår i en styr/regleruppgift då kan de systematiska mätfelen ha stor betydelse för funktionen (jfr kapitel 8 om entalpstyrning).

En för grov digitalisering i förhållande till krav på reglernoggrannhet medför att reglerkretsen kommer att självsvänga. Dödzone för en regulator bör därför väljas något större än upplösningen hos det mätvärde som skall regleras.

Samplingshastigheten bestäms på samma sätt som mätnoggrannheten av krav på övervakning eller reglering. För övervakning och de flesta regleruppgifter räcker ett samplingsintervall på en minut. Kortare samplingsintervall och reglerintervall kan vara nödvändigt när stora och snabba störningar förekommer. En hög samplingshastighet är också

bra för att minska inverkan av slumpmässiga störningar (brus).

Efter det att mätvärdet digitaliserats så omvandlas det erhållna heltalet till mätvärde i någon ingenjörstorhet. Olinjära qivare kan linjäriseras med hjälp av speciella beräkningsuttryck eller tabeller.

Det erhållna mätvärdet kan sedan kontrolleras mot ett rimlighetsintervall och begränsas till detta intervall. Ändring i förhållande till det tidigare erhållna värdet kan också kontrolleras och eventuellt begränsas. Avsikten med dessa kontroller är att förhindra att enstaka helt felaktiga mätvärden skall slå igenom helt. Observera att om det nya mätvärdet ligger utanför de ovan angivna testvärdena, då kan man inte använda sig av det gamla värdet (senast godkända), eftersom en sådan situation kan inträffa vid uppstart av ett datorsystem då det gamla värdet är okänt. Tester och kontroller är därför ett tveeggat redskap. Dessa tester och kontroller visar också programvarans möjligheter att ta bort brister hos maskinvaran även om sådana brister bör åtgärdas direkt.

Filtrering och en hög samplingshastighet är ett bra sätt att minska slumpmässiga störningars inverkan. En enkel filtrering kan ske med ett samplat filter av 1:a ordningen på formen

$$y_f(t) = ay_f(t-1) + (1-a)y_m(t)$$

där

$$y_f(t) = \text{filtrerat mätvärde}$$

$$y_m(t) = \text{mätt mätvärde}$$

$$a = \text{filterfaktor } 0 < a < 1$$

Förhållandet mellan det filtrerade och det ofiltrerade mätvärdets standardavvikelse som betecknas med  $\sigma_f$  respektive  $\sigma_m$  kan under förutsättning att störningarna är oberoende i tiden och normalfördelade anges som

$$f = \sigma_f : \sigma_m = \sqrt{(1-a)/(1+a)}$$

En hög filterfaktor  $a$  (nära ett) ger en kraftig minskning av störningen, men samtidigt så reagerar det filtrerade mätvärdet långsammare på grund av filtrets ökade tröghet. Filtrets dynamik kan beskrivas med dess motsvarande tidskonstant för det kontinuerliga fallet. Följande samband gäller mellan filterfaktorn  $a$ , samplingsintervallet  $T_s$  och filtrets tidskonstant  $T$

$$a = e^{-T_s/T}$$

Nedan anges för olika filterfaktorvärden motsvarande störningsreduktion  $f$  och filtertidskonstant  $T$ . Samplingsintervallet  $T_s$  antas vara en tidsenhet.

$a$	$f$	$T$
0.5	0.58	1.4
0.8	0.33	4.5
0.9	0.23	9.5
0.95	0.16	19.5
0.98	0.10	49.5
0.99	0.07	99.5

Siffrorna ovan visar att en minskning av störningen med en faktor 10 kräver en filterfaktor på 0.98 och filtrets tidskonstant blir hela 50 samplingsintervall ( $T_s$ ). En stor filterkonstant kan i en del fall dominera den övriga dynamiken i reglerkretsen, vilket försämrar möjligheterna till god reglering.

Ordningföljden mellan kontrollerna och filtreringen kan ändras, men observera att samma kontrollgränser och filterfaktor får helt olika resultat vid avvikande värden.

I en del datorsystem på industrisidan förekommer även gränsvärdeslarm som en del i den analoga insignalens grundfunktion. Gränsvärdeslarm behandlas senare i texten.

### Logiska insignaler

En logisk insignal kan bara anta två värden, sann och falsk, vilket också förenklar behandlingen av dessa signaler. I de flesta datorsystem så kan de logiska givarna anslutas på två olika sätt så att värdet sann erhålls vid slutet eller öppen kontakt. Denna signalinvertering skulle också kunna ske i programvara vilket skulle ge enklare anpassningsenheter för logiska insignaler.

Olika former av mätare som ger pulser ansluts i regel till ett datorsystem via logiska ingångar. Något som kan underlätta summeringen av dessa lågfrekventa pulser är att antalet tillslag eller både tillslag och frånslag räknas som en del av den logiska insignalens grundfunktion. Annan programvara kan sedan läsa av och eventuellt nollställa varje logisk signals räknare. Även om den här ovan beskrivna räknaren inte används direkt så kan den vara värdefull vid kontroll av olika insignalers funktion.

En annan tänkbar vidareutveckling av en logisk insignal är att beräkna den tid som signalen är sann. Detta kan användas för drifttidmätning. Det är tveksamt om detta är lämpligt att göra redan i anslutningen till inläsning av logiska insignaler eftersom det ändå krävs en del andra indata för att åstadkomma en fullständig drifttidmätning.

### Pulsinsignaler

En pulsinsignal är en logisk insignal med en så hög ändringsfrekvens att signalen ansluts till en räknare i maskinvara. Datorsystemet kan sedan läsa av och nollställa denna räknare. Pulsinsignaler förekommer knappast i klimatsystem. En tänkbar tillämpning är för varvtalsmätning.



### 6.3 Utsignaler

#### Analoga utsignaler

Den viktigaste egenskapen hos en analog utsignal är signalens diskretisering eller upplösning. En vanlig lösning är att använda en 8-bitars DA-omvandlare som i slutänden ger en strömsignal 0-20 mA, en spänningssignal 0-10 V eller något liknande. Upplösningen med en 8-bitars DA-omvandlare blir 1 på 256, vilket räcker i de flesta fall under förutsättning att större delen av den analoga utsignalen används för processens hela reglerområde. Utställningsnoggrannheten blir bara 1 på 25 om endast en tiondedel av den analoga utsignalens arbetsområde täcker arbetsområdet för ventilen eller spjället. I ett sådant fall så är injusteringen felaktig.

För en del fabrikat så kan de analoga utsignalerna ändras manuellt med omkopplare. Detta ger en enkel reservmanövermöjlighet vid datorbortfall.

Handmanövermöjligheten medför att vid övergång från handstyrning till datorstyrning så kan den analoga utsignalen ändras kraftigt med störningar av driften som följd. Den analoga utsignalen behöver ju inte vara den samma i början och slutet av handstyrningen. Detta gäller också när integrerande regulatorer används. Problemet kan undvikas genom att den rådande utsignalen alltid återläses och att nya regleringrepp adderas till denna signal.

I en del fall är det inte tillräckligt med enbart återläsning av rådande analog utsignal utan datorsystemet skall också kunna avgöra om handkörning sker eller inte sker. Detta kan ha stor betydelse i komplicerade reglersekvenser beroende på programmeringssätt. Med ett lämpligt val av programmeringssätt så bör det vara möjligt att inte behöva läsa in om handkörning är aktiv eller ej.

## Logiska utsignaler

Logiska utsignaler kan behandlas analogt med logiska insignaler. Datorsystemets "sann" kan fås att motsvara slutet eller öppet relä. Denna signalinvertering görs i regel i maskinvara genom att använda växlande reläer. Inkopplingsättet avgör funktionssättet.

Det är också möjligt att räkna antalet förändringar för varje logisk utsignal och även tiden för värdet sann (normalt till). Det förstnämnda kan vara av intresse för kontroll och felsökning. Detta kan i och för sig ske på andra sätt. Den andra funktionen är början på drifttidsövervakning, som bör ske med en från den logiska utsignalen fristående grundfunktion.

I en del datorsystem finns det moduler för logiska utsignaler både med och utan handmanövermöjlighet. Moduler med handmanöver används främst för viktiga manövrar av fläktar och pumpar. Vid datorbortfall finns då en reservkörningsmöjlighet.

Aterläsning av tillståndet vid handkörning och att handkörning sker eller inte sker, kan vara mycket viktigt, när handkörning sker samtidigt med att datorsystemet arbetar normalt. Programmeringen bör då vara så utförd att den tar hänsyn till eventuell parallell handkörning. Om detta inte görs så kan styrsekvensen som till viss del berörs av handkörning, bli helt felaktig. I en del fall behövs inte någon information om handkörning äger rum eller ej utan detta kan avgöras från logiska insignaler som indikerar olika driftstillstånd.

## Pulsutsignaler

Pulsutsignaler förekommer i en del datorsystem på industrisidan och används för positionering av ställdon. Pulsutsignaler kommer därför inte att behandlas mer här.

### Öka-minska utsignaler

En öka-minska utsignal består av två logiska utsignaler (en för öka och en för minska). Denna utsignal behöver därför egentligen ingen särskild modul. Utsignalen används för att styra det vanliga ställdonet som innehåller en liten fram- och backgående elmotor som växlas ner så att en långsam ställdonsrörelse erhålls. Gångtiden för hela arbetsområdet kan variera från omkring en minut upp till fem minuter.

En godtagbar upplösning fås om positionering av ställdonet sker med tidsintervall på 0.5 sekunder. Detta ger en tillräcklig upplösning i ställdonsläge med 1 på 120 för ett ställdon med gångtiden 60 sekunder. Det gäller också under samma förutsättning som för det analoga ställdonet att större delen av ställdonets arbetsområde bör utnyttjas av ventilen eller spjället. Små utstyrningsintervall ner mot 0.1 sekunder är olämpligt, eftersom elmotorn i ställdonet inte hinner reagera och datorsystemets utställningshastighet begränsar utstyrningsintervallens längd neråt.

Om höga krav på positioneringsnoggrannhet föreligger, så kan ett långsamt ställdon användas eller så kan styrningsgreppet delas upp i två längre rörelser, en framåt och en bakåt, som tillsammans ger det önskade styrningsgreppet. Det är ingen mening att driva upplösningen i ställdonsrörelse för långt, eftersom det förekommer glapp i ställdonet, i överföringen mellan ställdon och styrt objekt och i själva det styrda objektet, t ex spjäll.

Moduler för öka-minska utsignaler är ofta försedda med omkopplare för handkörning. Något problem vid övergång från handkörning till normal datorstyrning finns inte eftersom ställdonet bara arbetar med ändringar och dessa ändringar/styrningrepp summeras i ställdonet. Ställdonets läge är okänt för datorsystemet, om inte ändlägen mäts för särskilda ändamål. Någon lägesåterföring behövs inte ur regler-teknisk synpunkt för ett enskilt ställdon. Ett undantag är när det styrda objektet är mycket olinjärt, då kan lägesåterföring tillsammans med en beskrivning av olinjäriteten användas för att linjärisera delprocessen, ställdon-styrt objekt.

Problem med handkörning parallellt med normal datorstyrning bör beaktas, men med genomtänkt programmering så kan önskad funktion erhållas. Någon inläsning av att handkörning sker eller inte sker kan nog utelämnas.

Något som däremot skulle kunna läsas in från ställdonsmodulen är om ställdonet befinner sig i något av ändlägena. Detta kan lätt avgöras eftersom manöverströmmen bryts i ändlägena. Normalt används speciella ändlägeskontakter på ställdonet som läses av via logiska ingångar vilket kräver extra kabeldragning och extra logiska ingångar.

#### Pulslängdsmodulerad utsignal

Denna utsignal är på samma sätt som öka-minska utsignalen en konstruktion i programvara, som använder sig av en logisk utgång. Pulslängdsmodulering är ett enkelt sätt att överföra ett analogt värde som en logisk signal. Detta sker genom att under en angiven periodtid låta den logiska utsignalen vara sann i förhållande till periodtid motsvarande det angivna analoga utvärdet. Det analoga utvärdet eller styrsignal kan normeras till intervallet (0,1). En periodtid på 60 sekunder och en styrsignal på 0.2 innebär att den logiska utsignalen är sann under 12 sekunder och falsk under 48 sekunder. Någon enkel reservmanövermöjlighet finns inte vid datorbortfall för denna utsignaltyp eftersom den genereras i programvara och att den ständigt ändras. Det skulle i och för sig vara möjligt att konstruera en modul för en pulslängdsmodulerad utsignal, som omvandlade ett lagrat analogt värde till en pulslängdsmodulerad utsignal med en angiven periodtid. Ett problem med en sådan modul är att det alltid finns önskemål om olika periodtider för olika tillämpningar, vilket gör modulen än mer komplicerad.

Periodtiden bestäms av ett flertal faktorer såsom slitage logisk utgång, slitage styrt objekt och önskad reglernoggrannhet.

En pulslängdsmodulerad utsignal kan med fördel användas för att reglera elektriska värmare och luftvärmare genom flödesreglering av vattenflödet. Den bristande reservmöjligheten bör givetvis beaktas.

Detta begränsar användningsområdet till främst eftervärmare av olika slag, som används för finreglering.

#### 6.4 Övervakning

Övervakning innebär att datorsystemet kontrollerar logiska insignaler (larm) och analoga insignaler (gränsvärdeslarm), mäter drifttid (drifttidslarm) och kontrollerar en funktion som kan vara en beräknad logisk eller analog variabel. En kontroll av en logisk funktion kan gälla en manöver. Kontroll/övervakning av en av datorsystemet mätt och beräknad verkningsgrad är ett exempel på en analog kontrollfunktion. Behandlingen av logiska och analoga kontrollfunktioner kan för övrigt ske på samma sätt som för vanliga enkla larm respektive gränsvärdeslarm och därför behandlas funktionslarm ej mer i den fortsatta texten.

##### Larm

Detta är oftast den helt övervägande funktionen i ett övervakningssystem. Funktionen innebär att en logisk insignal övervakas och när den ändrar tillstånd så ges larm efter en ändringsbar fördröjningstid. Fördröjningstiden bör vara minst några sekunder upp emot ett tiotal sekunder för att kunna undvika felaktiga larm vid störningar och vid uppstart. Alla larm ges en viss prioritet så att viktiga larm kan urskiljas på ett enkelt sätt och behandlas på olika sätt. Detta kan gälla hur många gånger utskrift av larmet skall ske och på vilka terminaler.

Andra egenskaper hos larmfunktion är att larmet skall kunna kvitteras, blockeras och avblockeras. När ett larm kvitteras så sker inga ytterligare utskrifter och eventuella andra larmsignaler upphör om detta är det enda larmet som är utlöst. Blockering kan användas för att förhindra larm och larmutskrifter vid t ex underhåll och reparation.

Larmutskriften bör innehålla datum, klockslag och larmbeskrivning i

klartext. Larmbeskrivning kan bestå av en textdel som anger identiteten (vilket aggregat, t ex TA-3) och en generell textdel som anger feltypen, t ex FRYSVAKT UTLÖST. Vid återgång till normalt tillstånd så blir feltypstexten i stället FRYSVAKT ATERSTÄLLD, om utskrift skall ske även vid denna tillståndsändring.

En del larm kan bero på brister i systemet, som måste åtgärdas. Det kan därför vara lämpligt att den enkla larmutskriften kompletteras med en utskrift som beskriver klimatsystemets drifttillstånd, när felet inträffade. Denna kompletterande utskrift är lämpligen den normala statusutskriften som beordras av operatören eller skrivs ut periodiskt av datorsystemet för andra kontroller.

Den enkla larmutskriften innehållande datum, klockslag, identitet och feltyp kan utökas med uppgifter om åtgärder, vilket kan vara allt från enkla åtgärder av operatören eller särskild egen personal och telefonnummer till olika specialister.

#### Gränsvärdeslarm

Ett gränsvärdeslarm kan delas upp i en gränsvärdesindikering och två larm, ett för höglarm och ett för låglarm. Larmen ovan kan utformas på samma sätt som beskrivits i det tidigare avsnittet. Ett enkelt sätt är att bilda två logiska insignaler med gränsvärdesindikeringen och därefter utnyttja den tidigare beskrivna larmfunktionen.

En gränsvärdesindikering anger när en variabel ligger utanför ett angivet område, dvs om värdet är för högt eller för lågt. Själva indikeringen sker genom att använda två logiska variabler, en för att ange för högt värde och en för för lågt. Gränsvärdesindikeringen kräver givetvis att en höggräns och en låggräns anges och dessutom en så kallad hysteres som förhindrar att upprepade gränsvärdeslarm erhålls när den gränsvärdesövervakade variabeln ligger och varierar omkring en larmgräns. Nytt larm kan då först erhållas när den gränsvärdesövervakade variabeln först har kommit in i ett område som begränsas av höglarmgränsen - hysteresen och låglarmsgränsen + hysteresen.

I en del fall så skall en avvikelse från ett varierande värde övervakas, t ex regleravvikelse. Gränsvärdesövervakningen är då inte absolut utan relativ. Denna uppgift löses genom att även ange det referensvärde som gränsvärdesövervakningen skall ske kring i fallet med övervakning av regleravvikelse så blir referensvärdet regulatorns börvärde.

Ett problem med gränsvärdeslarm är att de endast är av intresse vid normaldrift och inte när aggregatet är ur drift. Onödiga gränsvärdeslarm under t ex icke drift kan undvikas genom att utöka gränsvärdesindikeringen så att en angiven logisk variabel skall vara sann när gränsvärdesindikeringen skall vara aktiv.

#### Drifftidslarm

Drifftidslarm innebär att tiden för när en logisk insignal eller en logisk utsignal är sann beräknas. Detta tidsvärde jämförs med ett angivet gränsvärde, som anger efter hur lång drifftid som kontroll eller underhåll skall ske för den övervakade processen. När gränsvärdet överskridits, ges larm och larmet kvarstår till dess att operatören har kvitterat larmet eller nollställt drifftiden.

Drifftidslarm kan på samma sätt som gränsvärdeslarm delas upp i en drifftidsindikering och ett tillhörande larm med utskrift. Programvaran kan delas upp på samma sätt och därför behandlas endast drifftidsindikering i fortsättningen, eftersom själva larmet blir identiskt med det som beskrivits tidigare. Själva larmutskriften kan t ex för en pump vara

```
1981-06-30    09.45.50
P3  DRIFTTID 10000 TIM ÖVERSKRIDEN
```

I samband med genomgång av grundfunktioner för logiska in- och ut signaler påpekades möjligheten att räkna antalet tillståndsändringar. Detta kan vara onödigt att göra för de flesta logiska in- och ut signaler. Ur underhållssynpunkt kan det däremot vara av intresse att t ex tillsammans med drifftiden få antalet starter och stopp, även

om driftstiden per start/stopp oftast är känd.

Förutom drifttidslarm kan man därför även tänka sig ett driftslarm som räknar antalet start/stopp, eftersom för många komponenter själva driftstiden inte är underhållskrävande utan i stället antalet start/stopp. Ett sådant larm skulle kunna benämnas driftssättlarm.

Ett problem med drifttidslarm är att datorsystemet skall uppdatera driftstiden under en mycket lång tidsperiod. Den beräknade driftstiden får inte gå förlorad vid återstart av datorsystemet efter olika störningar eller efter reparationer. Det är därför nödvändigt att t ex varje dygn lagra undan de aktuella värdena på driftstiden till något yttre minne, någon form av disk. Sådan undanlagring måste givetvis även ske av resultat från liknande summeringar under lång tid. Detta kan gälla för beräkning av olika energier och mängder. Sådana beräkningar skulle också kunna ske i form av en standardiserad mätning som skulle kunna benämnas driftvärdesmätning. Medelvärdet skulle också kunna beräknas genom att även summera tiden.

En driftsvärdesmätning kan inte ske helt ovillkorligen utan beräkningen sker endast när en viss angiven logisk variabel är sann. Detta kan utnyttjas för att beräkna medelvärdet under enbart driftstid för någon variabel t ex en lokaltemperatur.

En ytterligare utvidgning av driftsvärdesmätningen är att även spara det minsta och det största värdet, vilket kan ge upplysningar om hur processen fungerar. Gränsvärdeslarm kan också användas för en sådan uppgift.

#### Funktionslarm

Ett funktionslarm innebär att resultatet från en logisk eller analog beräkning behandlas som ett vanligt larm respektive ett gränsvärdeslarm. Tillvägagångssättet är därför uppenbart. De tidigare beskrivna larm- och gränsvärdesfunktionerna används på nybildade logiska och analoga variabler som är resultatet av logiska respektive analoga beräkningar.



Ett exempel på en logisk funktion är en manöverkontroll där manöver och indikering av manöver normalt skall sammanfalla. En analog funktion kan vara verkningsgraden för en värmeväxlare eller en oljepanna eller värmefaktorn för en värmepump.

### Beräkningar

Logiska eller numeriska beräkningar krävs vid funktionsövervakning. En enkel lösning av blankett- eller blocktyp är att bryta ner en beräkning i enskilda beräkningsdelar. En sådan beräkningsdel innehåller två operander, en operation och ett utresultat. Ett program som utför sådana beräkningsdelar, är lätt att konstruera. En nackdel är att beräkningarna kommer att innehålla ett stort antal mellanresultat. Dessa mellanresultat ingår givetvis också som operander i senare beräkningar. Detta medför att behovet av minnesutrymme ökar. En annan nackdel är att det är svårt att direkt avgöra vad för beräkningar som utförts på grund av uppdelningen i delberäkningar och på grund av de många mellanresultaten.

Villkorliga beräkningar kan givetvis lösas, om villkorliga och ovillkorliga hoppblock införes. Programmering med hoppsetser är olämpligt i stället så är IF-THEN-ELSE satser att föredra.

Ett alternativ i stället för blockorienterad programmering är att använda sig av ett högnivåspråk, satsorienterad programmering, för att utföra olika logiska eller numeriska beräkningar. Ett exempel som visar skillnaden mellan blockorienterad eller satsorienterad programmering är beräkning av temperaturverkningsgrad, som med ett högnivåspråk kan ha följande utformning

$$TVG=(T1-T2)/(T3-T2)$$

där T1, T2 och T3 är temperaturer på tilluft, uteluft och frånluft. Uttrycket ovan programmerat med ett blockspråk, där ordningsföljden i varje block är operand nr 1, operand nr 2, operation och utresultat, kan ske som

block nr	
n	T1,T2,-,MR1
n+1	T3,T2,-,MR2
n+2	MR1,MR2,/,TVG

Detta beräkningssätt behöver mellanresultaten MR1 och MR2. Läsbarheten kan givetvis förbättras genom att ange utresultatet först följt av likhetstecken, utelämnande av kommatecken och låta operationen komma före den andra operanden. Detta ger då följande resultat:

block nr	
n	MR1 = T1-T2
n+1	MR2 = T3-T2
n+2	TVG = MR1/MR2

Programmering med lågnivåspråk t ex assembler har inte omnämnts därför att det är direkt olämpligt när det gäller anläggningsberoende beräkningar. Möjligheterna för en användare att ändra lågnivåspråkprogram är ytterst begränsade. Det krävs en omfattande programmeringskunskap.

#### Systemlarm

Alla de tidigare larmen har gällt själva processen som skall övervakas, men fel kan även uppstå i själva datorsystemet. Dessa fel kan vara av två slags, dels fel i maskinvara och dels fel i programvara.

Fel i maskinvara kan vara allt från fel i en anpassningsenhet, fel i dataöverföringsenhet, fel i primärminne till fel i centralenhet. Fel i centralenheten innebär i regel att datorsystemet upphör att fungera och någon utskrift kan därför knappast erhållas. Minnesfel kan hittas med hjälp av särskilda testprogram. Minnesfel i dataareor kan ofta avslöjas med hjälp av de rimlighetstester som alltid bör ske vid exekvering av olika standardprogram.

Överföringsfel skall resultera i en felutskrift från huvuddatorn att nu har förbindelsen med en viss undercentral (datoriserad eller ej)

brutits eller att antalet felaktiga dataöverföringar är otillåtet stort.

Fel i enskilda anpassningsenheter för olika in- eller utsignaler kan avslöjas genom att någon lätt märkbar funktion upphör. Om detta är bra eller inte, beror på hur höga krav man ställer på systemet. Det är i och för sig möjligt att konstruera anpassningsenheter, vars funktion skulle kunna kontrolleras av datorsystemet. Sådana kontrollmöjligheter finns idag kanske bara för vissa anpassningsenheter. Det är inte heller säkert att tillförlitligheten blir bättre i ett datorsystem som försetts med ett stort antal kontrollmöjligheter, eftersom elektroniken blir mer omfattande, vilket ökar felrisken.

Med fel i programvara avses främst fel som olika program finner vid olika tester av de data som skall bearbetas. Ett fel av denna typ kan vara ett tecken på minnesfel, vilket redan har påpekats tidigare. Ett annat fel som också räknas hit är meddelande om att ett program inte hinner med vad det skall göra. Detta beror på överbelastning av datorsystemet under vissa tidsperioder. Botemedlet är att sprida ut datorns arbetsuppgifter i tiden så att belastningen blir jämn. I vissa programsystem så kan belastning mätas och skrivas ut på någon terminal. I mycket avancerade programsystem finns det program som kan trimma datorsystemets funktioner så att olika former av överbelastningar undviks.

#### Andra övervakningsfunktioner

En av datorsystemets främsta uppgifter är att kunna ge användaren en bra bild av driftstillståndet för de olika klimatsystem som är anslutna till datorsystemet. Denna uppgift löses inte bara genom att läsa av och ställa ut ett stort antal signaler. En enkel lösning är att för varje klimatsystem/aggregat utforma en passande utskrift som innehåller de variabler som ingår och som är av intresse för aggregatets funktion och drift.

En utskrift ger endast siffervärden på olika ingående variabler och ingen information hur aggregatet är uppbyggt. En stor förbättring i

kommunikationen mellan dator och användare är att kombinera en bild över aggregatet med de olika avlästa eller utställda signalerna placerade där de mäts eller ställs ut. I de första övervakningssystemen användes diabilidsprojektor. På diabiliden återgavs aggregatet schematiskt och beteckningarna på alla in- och utsignaler, som kan läsas av resp ställas ut, finns angivna. Operatörskommunikationen i ett sådant system kan sägas utgå från diabiliden och med dess information arbetar sedan operatören vidare.

I dagens övervakningssystem används allt från enklare bildskärmar till färgbildsskärmar. Den stora fördelen med en bildskärm är att informationen på bilden kan uppdateras ständigt såsom olika in- och utsignaler. Både färger och symboler kan fås att variera beroende på olika variablers värden. Ett exempel är att en frysvaktssymbol byter färg från grönt till rött när frysvakten larmar.

En annan fördel är att användare kan enkelt ändra och göra helt nya bilder, jämför med ett diabilidssystem.

En annan vanlig hjälpfunktion är kurvritning med en terminal. Tidskurvor för godtyckliga variabler i datorsystemet kan ritas upp. Alla med godtyckliga skalningar. Problem med reglering undersöks bäst genom att utnyttja denna möjlighet. Tidsintervall mellan varje rad på utskriftsenheten kan givetvis varieras från några sekunder upp till timmar. Upplösningen på kurvorna bestäms av antalet tecken per rad.

I en del fall önskas siffervärden för närmare analys och för detta ändamål så finns program som kan skriva ut ett antal godtyckliga variablers värden med jämna tidsintervall på någon terminal.

Ett alternativ kan vara att utnyttja befintliga utskrifter av status-typ, om dessa innehåller det som skall skrivas ut. Periodiska utskrifter kan användaren få genom att ange vilken utskrift, vilket utskriftsintervall och på vilka terminaler som utskriften skall ske.

## 6.5 Styrning

### Logikstyrning

Logikstyrning innebär att datorsystemet beräknar ett logiskt uttryck och resultatet tilldelas sedan en logisk utsignal som påverkar någon manöver till t ex en fläkt eller en pump. Olika logiska variabler såsom logiska insignaler, logiska utsignaler, tidkanaler och relationer kan ingå som operander och som operationer mellan två operander finns det totalt tio att välja bland. Några exempel är AND, NAND, OR, NOR, EQ och NE.

Fördröjningen av enskilda manövrar och fördröjning mellan flera manövrar förekommer. Det kan gälla att fördröja tillslag, frånslag eller både till- och frånslag. Den minsta tidsenheten är normalt en sekund. Fördröjningstiden varierar normalt från några sekunder upp till någon minut.

En lösning i ett blockorienterat system är att i ett generellt fördröjningsblock anges insignalen (operand nr 1), tillslagsfördröjningen, frånslagsfördröjningen och sist utresultatet. En tillslagsfördröjning på 10 sekunder mellan logisk insignal LI(5) och logisk utsignal LO(16) kan ha utformningen som block

$$LI(5), 10, 0, LO(16)$$

och i ett högnivåspråk med tilldelning från vänster mot höger fås

$$LI(5) \text{ DELAY}(10,0) \text{ LO}(16)$$

### Programmering logikstyrning

I detta avsnitt behandlas endast programmering av logikstyrning med något högnivåspråk. Tre olika metoder beskrivs. I samtliga fall följs ett gemensamt exempel upp.

Värdet på tre logiska variabler A, B och C bestämmer värdet på en logisk variabel D. D är sann, för tre olika fall på följden A, B och

C, nämligen 011, 101 och 110. Negering av logiska variabler anges med ett streck över beteckningen. Högnivåspråket innehåller de logiska operationerna AND, NAND, OR, NOR, EQ och NE och parenteser. Tilldelning av logiska uttryck sker från vänster till höger med språkelementet SET.

Den direkta metoden innebär att programmera ner de givna villkoren, när utsignalens variabel D skall tilldelas värdet sann efter de tre alternativa följderna på A, B och C.

$$\begin{aligned} &(\bar{A} \text{ AND } B \text{ AND } C) \text{ OR} \\ &(A \text{ AND } \bar{B} \text{ AND } C) \text{ OR} \\ &(A \text{ AND } B \text{ AND } \bar{C}) \text{ SET } D \end{aligned}$$

De tre alternativa följderna på A, B och C känns igen inom parenteserna. Parenteserna kan utelämnas i detta fall om operation AND har högre prioritet än OR.

En nackdel med den direkta metoden är att samma variabel återkommer flera gånger och en annan är att ofta kan uttrycket förenklas med speciella metoder som inte kommer att behandlas här. En förenkling är att slå ihop de två första parenteserna till en parentes varvid hela beräkningsuttrycket blir

$$\begin{aligned} &(A \text{ NE } B \text{ AND } C) \text{ OR} \\ &(A \text{ AND } B \text{ AND } \bar{C}) \text{ SET } D \end{aligned}$$

Beräkningen kan också uttryckas mera allmänt som att två variabler skall vara sanna och en skall vara falsk. Med denna formulering så kan man tänka sig följande lösningsmetod, om logiska variabler kan behandlas som heltal med talvärdena 0 och 1 för falsk resp sann.

$$(A + B + C) \text{ IEQ } 2 \text{ SET } D$$

Operationen IEQ står för heltalsjämförelse (I för engelskans integer). Detta sista uttryck visar att logiska uttryck kan programmeras på många olika sätt. Det sista "numeriska" beräkningsuttrycket är det

enklaste och också det som är lättast att uppfatta.

En mindre bra lösningsmetod för det aktuella exemplet är att använda flera IF-THEN-ELSE-satser. Noll- och ettställning av logiska variabler antas kunna ske med instruktionerna ZERO resp ONE.

```

IF A THEN
  IF B THEN
    IF C THEN
      ZERO D
    ELSE
      ONE D
    IFEND
  ELSE
    IF C THEN
      ONE D
    ELSE
      ZERO D
    IFEND
  IFEND
ELSE
  IF B THEN
    IF C THEN
      ONE D
    ELSE
      ZERO D
    IFEND
  ELSE
    IF C THEN
      ZERO D
    ELSE
      ZERO D
    IFEND
  IFEND
IFEND

```

Detta programmeringssätt kan vara av intresse när den logiska följ-

den A, B och C skall påverka ett flertal utsignaler och en del beräkningar skall utföras. Detta är då inte en renodlad logikstyrning utan påminner snarare om reglersekvenser som behandlas senare.

En IF-THEN-ELSE sats kan användas för att förenkla problem. Det kan ibland vara svårt att uppfatta hela problemet och med en eller flera IF-THEN-ELSE satser så kan problemet delas upp i mindre delproblem. Det tidigare exemplet kan programmeras som

```
IF A THEN
    B NE C SET D
ELSE
    B AND C SET D
IFEND
```

De här redovisade lösningarna är mycket olika och man kan inte lätt se att det är samma problem som lösts.

Ett alternativ till högnivåspråkprogrammering av logikstyrning är att ange styrvillkor och styråtgärder i någon tabellform tillsammans med in- och utsignaler. Ett datorprogram jämför rådande insignaler med de angivna styrvillkoren och när styrvillkoret är uppfyllt då verkställs tillhörande styråtgärd. En fullständig metod, som tar hänsyn till alla fall, tillämpad på det tidigare använda exemplet kan beskrivas med uppställningen nedan.

tillstånd	1	2	3	4	5	6	7	8
insignaler	styrvillkor							
A	0	0	0	0	1	1	1	1
B	0	0	1	1	0	0	1	1
C	0	1	0	1	0	1	0	1
utsignaler	styråtgärd							
D	0	0	0	1	0	1	1	0

Metoden är fullständig därför samtliga fall behandlas. Endast följden av styråtgärd behöver anges, eftersom styrvillkoren är systematiskt ordnade. Programfunktionen blir ytterst enkel. Insignalerna



A, B och C skiftas in från höger mot vänster som ett bitmönster. Bitmönstret tolkas som ett heltal. Heltalet plus ett anger vilken styråtgärd som skall ställas ut, t ex styrvillkoret 101 har värdet 5 och styråtgärden blir nr 6 med utställning av 1.

Denna metod är mycket effektiv för mindre logiska system och kräver litet minnesutrymme för att lagra styråtgärderna. Antalet utsignaler kan givetvis vara fler än en.

Minnesbehovet för styråtgärderna kan beräknas  $m \cdot 2^n / p$  ord, där  $m$  är antalet utsignaler,  $n$  är antalet insignaler och  $p$  är antalet bitar per ord. För ett fall med  $m=8$ ,  $n=8$  och  $p=16$ , så krävs 128 ord. Detta visar att för stora logiska system främst med många insignaler så krävs stort minnesutrymme.

Ett annat problem är att ett stort antal styrvillkor aldrig kan inträffa eller är betydelselösa. Det är därför onödigt att definiera motsvarande styråtgärd. Problemen med stora logiska system och överdefiniering kan lösas genom att bara ange styrvillkor och tillhörande styråtgärder som är av betydelse. Det tidigare exemplet ändras nu med att de logiska insignalföljderna 000, 011, 101 och 110 har styråtgärderna 0, 1, 1 och 1. Fyra styrvillkor är betydelselösa. Denna ofullständiga logiska styrning kan definieras med uppställningen nedan.

tillstånd	1 2 3 4
insignaler	styrvillkor
A	0 0 1 1
B	0 1 0 1
C	0 1 1 0
utsignaler	styråtgärd
D	0 1 1 1

Om det aktuella insignalmönstret inte stämmer så sker givetvis ingen utställning av någon styråtgärd. Odefinierade detaljer i styrvillkor och styråtgärder kan anges med X i uppställningen. Betydelsen av ett X i ett styrvillkor är att motsvarande insignal är betydelselös och

för en styråtgärd sker ingen tilldelning.

Exemplet ändras något för att visa detta med odefinierade detaljer. Problemet utökas med en fjärde insignal E som skall vara 1 i tillstånd nr 1 och för övrigt odefinierade och en utsignal F som skall vara 1 i tillstånd 1 och 0 i 3 och odefinierade för övrigt. Den nödvändiga uppställningen blir nu

tillstånd	1 2 3 4
insignaler	styrvillkor
A	0 0 1 1
B	0 1 0 1
C	0 1 1 0
E	1 X X X
utsignaler	styråtgärder
D	0 1 1 1
F	1 X 0 X

Programfunktionen är enkel. Insignalbitmönstret bildas och därefter sker jämförelse med tillstånd nr 1 och vidare åt vänster tills överensstämmelse erhålls varvid tillhörande styråtgärd ställs ut eller till dess att slutet på uppställningen nås. I det senare fallet verkställs inte någon styråtgärd.

Överst i uppställningen anges tillståndsnumret för de olika styrvillkor-styråtgärdsparen. Dessa tal kan användas för att t ex ange var det logiska systemet befinner sig eller vilken styråtgärd som råder. Det senare anger vilket tillstånd som det logiska systemet hade senast före det blev odefinierat. En operatör kan enkelt avgöra det logiska systemets tillstånd med just tillståndsnumret. Detta kan utvecklas vidare med införande av lämplig operatörskommunikation så att operatören kan beordra processen till angivna tillstånd. Dessa möjligheter är ytterst lämpliga vid uttestning, kontroll och när felaktigheter skall redas ut (processen har hängt upp sig).

## Tidsstyrning

Tidsstyrning innebär att driften av olika byggnadsklimatsystem sker enligt ett tidsmönster bestämt av utnyttjningssätt beroende på verksamhet, tidpunkt, veckodag och eventuella helger. Tidsstyrning minskar driftstiden för främst olika ventilationsaggregat, vilket minskar energiförbrukningen (el, värme, kyla). I byggnader utan datorsystem för övervakning och styrning används allt från enkla tidur med begränsade inställningsmöjligheter till mikrodatorbaserade tidur med samma möjligheter som i datorsystemen för övervakning och styrning. Ett tidur styr i regel ett aggregat.

Ett av skälen till att införa datorsystem för övervakning och styrning har varit att tidsstyrning har kunnat göras bättre med de bättre inställningsmöjligheterna i jämförelse med de konventionella tiduren. Den bättre inställningsnoggrannheten för start- och stopptidpunkter kan medföra att driftstiden kan minskas med upp till en halv timme per dygn jämfört med enkla tidur.

En annan vinst är att tillfälliga ändringar av tidsmönstret lätt kan genomföras i ett system för övervakning och styrning. I en byggnad utan ett sådant system så måste driftspersonalen uppsöka alla aktuella tidur för omställning. Det är därför inte säkert att alla möjliga ändringar genomförs i ett sådant fall.

De krav som man bör ställa på tidsstyrningen är att start och stopp bör kunna ske två till tre gånger per dygn och beroende på veckodag. Noggrannheten i tidsangivelse skall vara i hela minuter. Detta kan då utnyttjas för att undvika att starta och styra flera stora aggregat samtidigt, vilket annars kan resultera i störningar.

Olika helgdagar kan behandlas som någon veckodag, t ex vanligtvis söndag eller lördag. En sådan ändring kan påverka alla tidsstyrningar i hela systemet, vilket underlättar arbetet.

Andra krav är att enkelt kunna koppla bort den normala tidsstyrningen för ett aggregat dels kontinuerligt eller tillfälligt. I det senare fallet anges tiden för hur länge avvikelser från den normala tidsstyr-

ningen skall ske.

Tidstyrningen har hitintills behandlats som om den var individuell för varje aggregat i byggnaden. Det är givetvis möjligt att låta flera aggregat med samma tidsmönster ha samma tidstyrning. Detta är en fördel vid ändringar av driftstider, om samma driftstider gäller för många aggregat.

Ett mellanting med både individuell och gemensam tidstyrning är att använda sig av ett antal generella tidsmönster eller så kallade tidkanaler. Varje aggregat kan sedan via en omkopplingsmöjlighet styras efter en eller ibland flera godtyckliga tidkanaler. Byte av driftsätt sker därför enkelt genom att byta till passande tidskanal och tidsödande ändring av en egen individuell tidstyrning behövs inte.

#### 6.6 Driftsoptimering

Optimering är ett ord som missbrukas i många sammanhang. Optimering kan grovt definieras som följande: givet en funktion av en eller flera variabler direkt eller indirekt, denna funktion skall minimeras eller maximeras under vissa villkor och finna den bästa (optimala) variabelkombinationen som ger önskat minimum eller maximum. Olika former av driftsoptimering av byggnader och deras klimatsystem förekommer. Några av de vanligaste behandlas i efterföljande underavsnitt.

En del optimeringsmöjligheter är helt anläggningsberoende och därför mycket olika varandra. Det är därför också mycket svårt för VVS-konsult, styr- och reglerkonsult och styr- och reglerleverantör att lyckas med driftsoptimering. Resultatet beror mycket på hur genomtänkt och genomarbetat en driftsoptimering är. Det finns grovt tre nivåer av driftsoptimering.

nivå 1 I styr- och reglerbeskrivningen står bara t ex följande: Nattkyla skall utnyttjas. Hur detta skall genomföras framgår inte alls av beskrivningen. Detta är den lägsta nivån.

nivå 2 På denna nivå ges en beskrivning hur det skall gå till. Programmering kan ske efter beskrivningen.

nivå 3 På denna nivå tillkommer beräkningar och simulering av vinsterna med den aktuella optimeringen. Detta kan också utökas med jämförelser i fullskala med liknande byggnader. Användaren har nu ett beräknat riktvärde att jämföra med.

Allt för många gånger stannar man på nivå 1 och resultatet blir där-  
efter. Det finns många idéer om olika optimeringar av klimatsystem,  
men det finns få utvärderingar gjorda.

Det kan också vara rimligt att välja ett enklare driftsoptimerings-  
sätt än ett svårare, eftersom den ökade vinsten inte alltid uppväger  
den ökade programmeringskostnaden för den svårare metoden. Använda-  
rens möjligheter att sköta och avgöra optimeringens funktion bör ock-  
så tas med i bedömningen.

#### Entalpistyrning

Entalpistyrning behandlas utförligt i kapitel 8. Den normalt tilläm-  
pade entalpistyrningen är den enklaste formen av driftsoptimering då  
det bara finns en variabel att variera och att denna variabel endast  
kan anta två värden, t ex ja och nej. Dessa ja och nej är svaret på  
frågan om uteluftsentalpin är större än returluftsentalpin vid kyl-  
drift. Vid svaret ja och kyl drift, så skall minsta möjliga utelufts-  
mängd användas. Driftsfallet entalpistyrning gäller då.

#### Starttidsoptimering

Starttidsoptimering är en naturlig vidareutveckling av nattsänkning  
efter tidstyrning. Problemet med tidstyrning är att finna en start-  
tid så att det önskade driftstillståndet uppnås vid arbetstidens bör-  
jan, eftersom starttillståndet och startförloppet kan variera beroen-

de på uteklimatet och på hur länge klimatsystemet varit avstängt. Det krävs därför att starttidpunkten varieras om rätt driftstillstånd skall uppnås precis när byggnaden eller lokalen skall börja användas. Detta problem har man försökt att lösa redan under 1950-talet med ett enkelt linjärt samband mellan inne-, ute- och önskad innetemperatur anger framförhållningstiden för starten. Under 1970-talet har man börjat använda dynamiska modeller för att bättre beskriva startförloppet. I dessa modeller ingår ett flertal parametrar, som måste anges. En del av de viktigaste parametrarna anpassas automatiskt efter utfallet från varje startillfälle.

Tyvärr finns det inte någon ordentlig utvärdering av hur stor besparing som kan uppnås med starttidsoptimering. Ofta införs både tidstyrning och starttidsoptimering samtidigt och också tillsammans med andra förbättringsåtgärder, vilket gör det svårt att avgöra hur stor del av besparingen som själva starttidsoptimeringen svarar för.

Även om den modell, dynamisk eller ej, som används vid starttidsoptimeringen beskriver verkligheten exakt så är detta ingen garanti för att starten kommer att lyckas. Under startförloppet så är  $t$  ex utetemperaturen inte känd i förväg och eftersom startförloppet påverkas av den icke kända utetemperaturen så kan optimeringen bli felaktig.

Ett annat problem är att nattsänkning och starttidsoptimering ibland används i byggnader som är mycket tröga, vilket ger mycket små besparingar som är svåra att mäta.

Begreppet start-stopptidsoptimering förekommer också. Tillägget stopp innebär att klimatsystemet stoppas före den normala brukstidens slut med kravet att lokaltemperaturen skall ligga inuti ett angivet intervall under den resterande brukstiden.

#### Effektbegränsning

Effektbegränsning innebär att eleffekten begränsas genom att koppla

bort olika enheter. Detta görs för att undvika korta och tillfälliga toppbelastningar som bestämmer effektabonnemanget och därmed en del av den fasta elkostnaden. Bortkopplingen kan dels ske efter ett rullande schema där ständigt en av några enheter är bortkopplad under toppbelastningen och dels kan bortkoppling av olika enheter ske ända tills dess att toppbelastningen minskar varefter de olika enheterna åter kan kopplas in i tur och ordning. Den först bortkopplade enheten kopplas in sist.

Någon större energibesparing uppnås inte med denna metod. En mindre besparing kan uppnås t ex med överdimensionerade ventilationssystem eftersom fläktarbetet minskar med gångtiden. En minskning av fläktvarvtalet/fläktkapacitet och kontinuerlig drift kan ge en större besparing i ett sådant fall.

### Nattkylning

Nattkylning kan främst tillämpas i kontorsbyggnader med stort kylbehov under dagtid. Under natten kyls byggnaden med tillräckligt kall uteluft, därav namnet nattkylning. Lokaltemperatur tillåts stiga någon eller några grader under dagen. En av svårigheterna med nattkylning är att förutsäga hur nästa dag kommer att bli, att bestämma hur mycket byggnaden skall kylas ner och att bestämma hur fläktarna skall köras (i början eller i slutet av natten). Nattkylning är närmast aktuellt sommartid.

### Lokaltemperaturreglering med stor dödzon

Detta är ett sätt liknande nattkylningen och syftet är att spara uppvärmningsenergi under natten och under vår och höst i byggnader med värmeöverskott under dagen. Under dagen stiger lokaltemperaturen på grund av värmeöverskottet. En del av värmnet lagras i byggnadens stomme och avges sedan under natten. Ju större dödزون är desto större besparing kan uppnås.

## Samordning

I större byggnader eller byggnadskomplex finns det ett stort antal olika klimatprocesser. I de flesta anläggningar så sker all styrning och reglering av olika delsystem i regel helt individuellt och oberoende av andra delsystem. Detta är inte alltid den bästa lösningen eftersom det många gånger finns ett beroende eller en påverkan mellan olika delsystem. En samordnad drift skulle kunna resultera i besparingar i el, kyla och värme.

Ett typexempel är när ett delsystem via ett rörnät försörjer ett flertal andra delsystem med olika behov, med t ex värme eller kyla. I fallet utan samordning styrs och regleras det försörjande systemet så att det alltid täcker det största tänkbara behovet i en del fall ett fixt värde. I fallet med samordning så styrs och regleras det försörjande systemet så snålt som möjligt så att det hela tiden precis täcker behovet för delsystemet med det största behovet. Ett problem att tillämpa denna idé är att det kan vara svårt att avgöra när ett delsystems behov är täckt eller inte. Besparingen i detta exempel utgörs av att förlusterna från försörjningsnätet minskas och att värme- eller kylproduktion kan ske effektivare när t ex en värmepump används (bättre värmefaktor/kylfaktor vid lägre temperaturskillnader).

Ett enkelt exempel på luftbehandlingsidan är samordning mellan förbehandling med låg driftskostnad (värmeåtervinning ingår) efterbehandling i form av flera individuella eftervärmare för olika lokaler med hög driftskostnad. Syftet med samordningen är att låta förbehandlingen arbeta maximalt så att alltid en eftervärmare stänger. Ett exempel på en sådan anläggning ges i FIG.2.5.

Denna princip kan även vidareutvecklas att gälla efterbehandling med både värme och kyla. Med uppgift om önskade tilluftsflöden och temperaturer och kostnader för värme och kyla så kan förbehandlingstemperaturen beräknas, vilken ger lägsta driftskostnad.

Ett liknande exempel är tvåkanalssystemet. Samordning går här ut på



att hålla så låg temperatur i den varma kanalen och så hög temperatur i den kalla kanalen som möjligt. Förbehandlingen kan här sägas bestå av två förbehandlingsrör.

Andra mer komplicerade exempel är fönsterapparater med två-, tre- eller fyra-rörssystem. Samordning skall här ske mellan förbehandlad tilluft och värme eller kyla eller båda.

Ett liknande men enklare exempel är samordning mellan radiatorer och tilluft.

### 6.7 Reglering

Skillnaden mellan ett datorsystem för övervakning och styrning och ett för övervakning, styrning och reglering är inte stor. På programvarusidan behövs program för beräkning av olika regleralgoritmer. På maskinvarusidan krävs egentligen bara moduler för analoga ut signaler, om sådana inte redan används i styrningssammanhang. En vanlig regulatorutsignal är öka-minska utsignalen, som kan realiserats med två logiska utgångar. Speciella moduler med handmanöver finns ofta för denna reglerutsignal. Orsaken till att en del datorsystem saknar reglering är att vid datorbortfall så förloras även regleringen, vilket har bedömts vara otillfredsställande. Svårast blir problemet i ett endatorsystem. Dagens flerdatorsystem är en lösning på detta problem. Bortfall av huvuddatorn i ett sådant system påverkar inte regleringen, som sköts av mikrodatorer. Om en mikrodator faller ur, då förloras reglering endast för en mindre del av byggnaden. Backupens betydelse har minskat, då datorernas tillförlitlighet ständigt har förbättrats.

En av fördelarna med datorisering av regleringen är att det är lätt att kontrollera reglerfunktionen jämfört med konventionella regulatorer, vars funktion inte är känd i olika viktiga detaljer. Inställda regulatorparametervärden på vanliga regulatorer kan bara avläsas på själva regulatorn. Det föreligger också en viss osäkerhet i dessa avlästa parametervärden och inställningsområdet är ofta begränsat.

Några sådana problem finns inte när det gäller datoriserade regulatorer. En datoriserad regulators styringrepp kan därför lätt beräknas.

Ur funktionssynpunkt finns det bara en stor skillnad mellan datoriserad reglering eller digitala regulatorer och konventionella regulatorer. Skillnaden är att den digitala regulatorns styringrepp beräknas endast med jämna tidsintervall, medan konventionella regulatorer arbetar kontinuerligt. I det senare fallet så kan regulatorns utsignal ändras ständigt.

En regulator definieras med följande parametrar och variabler:

regulatortillstånd passiv, aktiv, min eller max utsignal  
 regulatortyp  
 reglerintervall  
 ärvärde (som skall styras)  
 börvärde (som skall följas)  
 dödzon (ingen reglering om reglerfelet mindre än dödزونen)  
 utsignal (som skall ställas ut)  
 utsignalintervall min max  
 utsignal ändringsintervall max  
 regulatorparameter nr 1 t ex förstärkning  
 regulatorparameter nr 2 t ex integrationstid  
 regulatorparameter nr 3 t ex gamla reglerfelet

Regulatortillståndet bestämmer om regulatorn skall beräknas eller ej eller om regulatorns utsignal skall styras ut minimalt eller maximalt. Regulatorns funktionssätt bestäms av regulatortillståndet, som kan påverkas av högnivåspråket med följande instruktioner

tillstånd	instruktion	funktion
0	RSTOP	reglering passiv
1	RSTART	reglering aktiv
2	RMIN	ställ ut minsta utsignal
3	RMAX	ställ ut största utsignal

En regulator med länken VP-R1 aktiveras med

RSTART VP-R1

En regulators funktionssätt kan alltså styras med en signal som motsvarar en tvåbits signal. Det ligger därför mycket nära till hands att tillåta beslutstabeller att även arbeta med mer än enbart logiska variabler.

Regulatortyp anger vilken typ av regulatorberäkning som skall göras, t ex P, I eller PI.

Reglerintervallet anger hur ofta denna beräkning sker när regulatorn är aktiv. I en del sammanhang är det inte tillräckligt med bara ett reglerintervall utan någon tidssynkronisering. Detta kan ske genom att ange en fas, som anger när beräkningen skall ske.

Även om definitionen av en regulator kräver ett stort antal parametrar och variabler så är själva regulatorberäkningen mycket enkel. En PI-regulator som klarar av de flesta regleruppgifterna, kan lätt beräknas med uttrycken nedan.

Först beräknas nuvarande reglerfelet  $e(t)$  som skillnaden mellan ärvärdet  $y(t)$  och börvärdet  $y_r(t)$ .

$$e(t) = y(t) - y_r(t)$$

Om reglerfelet ligger inuti den angivna dödzone, då beräknas ingen ändring av regulatorutsignalen, som sker med uttrycket

$$\Delta u(t) = K_p (e(t) - e(t-1) + e(t)/T_I)$$

där

$$\begin{aligned} \Delta u(t) &= \text{styrsignaländring} \\ e(t) &= \text{nuvarande reglerfel} \\ e(t-1) &= \text{föregående reglerfel} \end{aligned}$$

$K_p$  = regulatorförstärkning  
 $T_I$  = integrationstid i reglerintervall

Den beräknade styrsignaländringen begränsas absolut uppåt. Detta görs för att förhindra allt för stora regleringgrepp. Någon begränsning neråt får bara ske om de för små ändringarna sparas och adderas till nästa regulatorberäkning, annars förlorar en PI-regulator sin integrerande funktion, som gör att reglerfelet kan bli noll.

Sist i regulatorn utom för fallet med öka-minska utsignal så beräknas och begränsas utsignalen enligt

$$u(t) = \begin{cases} u_{\min} & \text{om } u_{\min} > u(t-1) + \Delta u(t) \\ u(t-1) + \Delta u(t) & \text{för övrigt} \\ u_{\max} & \text{om } u_{\max} < u(t-1) + \Delta u(t) \end{cases}$$

Utställningen av analoga utsignaler, logiska utsignaler, stegutsignaler (en följd av likvärda logiska utsignaler) och tvåpotensutsignaler (en följd av tvåpotensvärda logiska utsignaler) sker med de normala utställningsprogrammen. Öka-minska och pulslängdsmodulerade utsignaler tas normalt om hand i ett mellansteg, som sköter själva ändringen av de verkliga logiska utsignalerna, som sedan ställs ut med det normala programmet för logiska utsignaler.

Ett problem med reglering är val av olika parametrar. De svåraste valen gäller regulatorförstärkning, integrationstid och i mindre grad regulatortyp och reglerintervall. Utprovning av rätt regulatorparametrar är mycket tidsödande eftersom klimatsystem ofta har långsam dynamik. I en del datorsystem används därför självinställande regulatorer som kan finna lämpliga värden på regulatorförstärkning och integrationstid.

Några tumregler för inställning av regulatorer är:

- 1 Använd I-regulator på snabba klimatprocesser som kan ha långt reglerintervall på grund av att störningarna är lång-

samma. Använd annars en PI-regulator.

- 2 Uppskatta processförstärkningen. Invertera och byt tecken och använd som regulatorförstärkning.
- 3 Uppskatta den dominerande tidskonstanten. Sätt integrations-tiden lika med den dominerande tidskonstanten.
- 4 Om en regulator självsvänger, halvera inte förstärkningen utan nollställ förstärkning. Kvarstår svängningen då beror det på något annat. Försvinner svängningen, kontrollera valet av regulatorparametrarna och prova andra.

#### Programmering reglering

De flesta ventilationssystem kan ha flera driftsfall. Ett exempel på olika driftsfall kan vara normal drift och varmhållning. Reglersekvenser mellan olika enheter såsom värme, spjäll och kyla ger också upphov till många driftsfall. Högnivåspråkprogrammering av de olika driftsfallens reglering kan ske genom att använda IF-THEN-ELSE-satser tillsammans med instruktioner för reglering. Ett alternativ till högnivåspråkprogrammering skall också ges i form av en utökad beslutstabell.

Programmering av logikstyrning och reglering har delats upp i två avsnitt som om de skall utföras helt oberoende av varandra. I de flesta fall så är logikstyrning och reglering ganska oberoende av varandra och programmering kan därför delas upp i en logikdel och en reglerdel. Ett problem vid en sammanslagning är att antalet driftsfall kan bli mycket stort, som mest lika med antalet driftsfall för logik gånger antalet för reglering. Detta ökar programmeringsarbetet. Ett exempel är en logikdel med tre driftsfall för fläkten stoppad, halvfart och helfart. Reglerdelen delas upp i 5-7 driftsfall om värme, spjäll och kyla ingår. Den högre siffran avser varmhållning och entalpistoering. Produkten av de två driftfallssiffrorna blir 15-21. Vissa driftsfall är orimliga och faller därför bort, men kvar finns omkring 10-15. Om

halv eller helfartsdriftstillstånden behandlas som ett tillstånd drift så blir antalet driftstillstånd omkring 7-9.

I kapitel 7 ges två exempel på hur styr- och reglersekvenser kan lösas för ett enkelt ventilationsaggregat. I det ena exemplet sker programmeringen med ett högnivåspråk och i det andra exemplet med en beslutstabell. Beslutstabellens möjligheter behandlas avslutningsvis mera ingående i detta kapitel.

### 6.8 Programmering med beslutstabell

Detta avsnitt bygger på författarens erfarenheter från logikstyrning med beslutstabell. I det aktuella fallet var behovet av kraftfull operatörskommunikation stort. Detta löstes med att koppla en tillståndsvariabel till beslutstabellen. Tvångskörning av processen kunde därför enkelt ske via ändring av tillståndsvariabeln. Det som inte har provats är idéer om att tillåta även andra variabler än logiska att ingå i beslutstabellen.

#### Allmänt

En beslutstabell är ett systematiskt sätt att beskriva en process med flera in- och utsignaler och för ett antal insignal kombinationer eller styrvillkor så finns det motsvarande utsignal kombination eller styråtgärd. Processens tillstånd kan enkelt anges med det styrvillkor som gäller eller om det är odefinierat med den styråtgärd som råder. Normalt är alla in- och utsignaler logiska variabler, men det är inget hinder att använda sig av variabler som kan anta fler värden än två som de logiska variablerna.

Programmering av en funktion med beslutstabell är egentligen inte programmering i betydelsen användandet av något känt programmeringsspråk som t ex ALGOL, FORTRAN eller PASCAL utan snarare en tabellering av en funktion. En sådan tabellering är ofta vad en programmerare gör innan funktionen programmeras i något högnivåspråk. En fördel

med beslutstabellen är att den är programmeringsspråksoberoende. En beslutstabell är mycket lätt att förstå och någon programmeringskunskap krävs inte alls, vilket är en fördel för en användare. Beslutstabellen kan sägas var ett användarspråk.

Det som gör beslutstabellen intressant är möjligheterna att för operatören på ett enkelt sätt kunna läsa av och påverka processens driftstillstånd. Denna egenskap är viktig när det gäller att testa, kontrollera och reda ut felaktigheter. Ett datorsystem får inte programmeras med förutsättningen att några fel aldrig uppstår och därför finns det små möjligheter att läsa av och påverka processens driftstillstånd. I de flesta datorsystem finns goda möjligheter att läsa av och påverka olika detaljer i datorsystemet, men i de flesta fall så krävs det av operatören att själv ställa samman avlästa detaljer till ett drifttillstånd och därefter angripa problemet med ett antal detaljåtgärder. Detta beror på att programmeringen av processens funktion är helt fristående från någon operatörskommunikation.

#### Tillståndsvariabel

Tillståndsvariabeln anger vilket av beslutstabellens styrvillkor som uppfylls och vilken styråtgärd som gäller. Ett problem är att det tidvis kan finnas insignalkombinationer som inte stämmer med något styrvillkor. Den senast utställda styråtgärden gäller däremot och den ändras inte. Processens tillstånd kan därför anges med två tillstånd nämligen aktuellt styrvillkor och rådande styråtgärd. Dessa två tillstånd kan sammanföras till ett tillstånd som är aktuellt styrvillkor, om definierat, annars anger rådande styråtgärd tillståndet. Denna tillståndsvariabel är en heltalsvariabel och behandlas som en sådan. Vid operatörskommunikation så är det givetvis möjligt att till varje tillstånd ange en textsträng som beskriver tillståndet i klartext. Det finns två fall av styråtgärder. Den ena är bara att se som en rättelse och ändring av tillståndsvariabeln och därmed programfunktionen, som efter ändringen arbetar vidare normalt. Den andra typen av åtgärd är när processens tillstånd skall hållas fixt ända till dess att en ny åtgärd görs.

Ett annat problem är att en tillståndsvariabel skall kunna ändras från flera olika håll i datorsystemet och ändringarna kan vara olika betydelse. Det senare innebär att endast den viktigaste åtgärden skall verkställas. Några exempel på sådana nivåer ges nedan.

lägsta nivå	normal programfunktion
	normal operatörsåtgärd
	forcerad programfunktion
högsta nivå	forcerad operatörsåtgärd

Tankarna bakom dessa fyra nivåer är att den andra nivån, normal operatörsåtgärd, gör det möjligt för operatören att ingripa i den normala programfunktionen. Den tredje nivån finns för att säkerhetsfunktioner inte skall kunna bortkopplas av enklare operatörsingripande. Den högsta nivån är till för att operatören i undantagsfall vid normaldrift skall kunna ingripa, t ex när en säkerhetsfunktion är felaktig. Denna nivå kräver en viss behörighet för att få användas. Uttestning och kontroll bör kunna ske på den andra nivån och inte på den högsta.

En annan lösning är att använda två nivåer på tillståndsvariabeln. På båda dessa nivåer finns normal och forcerad funktion. Forcerad funktion skiljer sig från normal funktion genom att tillståndsvariabeln inte ändras från det angivna forcerade värdet.

### Insignaler

I en generell beslutstabell så kan ett flertal insignaltyper förekomma i styrvillkoren. Några möjliga är följande variabler.

- logiska variabler
- numeriska variabler
  - heltal
  - flyttal
  - regulatorstillstånd
  - beslutstabellstillstånd

och uttryck



logiska uttryck (logiskt värde)  
 relationer (logiskt värde)  
 numeriska uttryck (numeriskt värde)  
 godtyckliga uttryck (logiskt eller numeriskt värde)

Logiska variabler är ursprungsvariablerna i beslutstabellen. De kan vara de vanliga logiska in- och utsignalerna, logiska hjälpvariabler (finns i en del datorsystem) och logiska funktioner t ex funktioner för tidstyrning.

Numeriska variabler kan ingå i en beslutstabell, men ett problem är att minnesutrymmet för beslutstabellen ökar och hur mycket beror på talområdet som skall gälla för variabeln. Det förutsätts att de numeriska variablerna är av heltalstyp. Ett exempel på en heltalsvariabel är en analog utsignal med en upplösning på 8 bitar som ger talområdet 0-255. Det finns knappast något behov att kunna använda alla de 256 olika värden som styrvillkor. De två ändlägena med värdena 0 och 255 är egentligen de enda intressanta.

Flyttal är olämpligt om inte omöjligt att använda eftersom chansen att flyttalet och dess villkorsvärde sammanfaller är ytterst liten bortsett från ändvärden till ett intervall. Fallet med ändvärdena för ett intervall kan lösas på ett effektivt sätt med användande av två relationer, vilket motsvarar två logiska insignaler till beslutstabellen. Denna lösning är mindre utrymmeskrävande för beslutstabellen än att tillåta flyttal i beslutstabellen.

Reglertillstånd, som har behandlats tidigare, är en heltalsvariabel med enbart fyra värden. Regulatorstillståndet är i första hand till för att ange regulatorns arbetssätt (aktiv/passiv) och för att ställa ut regulatorns utsignal till ändlägena och i andra hand för att kunna läsa av regulatorns tillstånd.

Regulatorn kan vid normal reglering nå sina ändlägen för utsignalen och därvid så stämmer inte regulatorns verkliga tillstånd med det beordrade. Detta att kunna läsa av regulatorns verkliga tillstånd är mycket värdefullt och därför görs tillägget att regulatorns tillstånd förändras enbart från 1 till 2 och 3, när undre resp övre ändläget nås.

Beslutstabelltillstånd är också en heltalsvariabel, vars talområde inte behöver vara särskilt stort. En process, som kan anta mer än 20-30 olika tillstånd, kan vara svår att arbeta med. Uppdelning i flera underordnade och en överordnad process är ofta lämpligt, när antalet tillstånd i en process börjar överskrida 20-30. Detta är i och för sig inte någon absolut gräns, men antalet styrvillkor och styråtgärder kan också börja bli alltför många för att de skall vara möjligt att överblicka. Det kan också bli ett rent praktiskt problem att skriva ner beslutstabellen på ett A4-ark. Minnesbehovet behöver därför inte bli begränsade. Med ett beslutstabelltillstånd som insignal så kan olika överordnade och samordnande funktioner åstadkommas.

Möjligheterna att använda värdet från ett uttryck som insignal är värdefulla. Det är främst enklare uttryck med några få operationer som kan tänkas förekomma. Omfattande uttryck får inte plats. Beslutstabellen kan i en del fall förenklas genom att logiska uttryck används i stället för alla de ingående logiska variablerna. Det är möjligt att beräkna de olika uttryckens värde och tilldela värdet till en variabel som sedan är en insignal till beslutstabellen. Nackdelen är att detta kräver extra hjälpvariabler och sambandet mellan uttryck och beslutstabell försvagas. Beräkningsuttrycken och tilldelningen sker avskilt från själva beslutstabellen.

### Styrvillkor

Styrvillkoren har redan exemplifierats. En insignal kan vara definierad eller odefinierad, som för logiska variabler anges med 0 och 1 resp X. Samma sak gäller för de numeriska variablerna bara med skillnaden att det finns mer än två definierade tillstånd.

Till en styråtgärd kan det finnas flera styrvillkor. Detta kan klaras av genom att dessa styrvillkor får samma tillståndsnummer som anges ovanför styrvillkoren. Ett exempel visar principen.

tillstånd	1	2	2	3
insignaler				
A	0	1	0	1
B	0	0	1	1
utsignaler				
C	0	1	(1)	0
D	0	0	(0)	1

Styråtgärden inom parentes för det andra tillståndets andra fall kan utelämnas. Beslutstabellen ovan motsvarar operationen NE mellan de två operanderna A och B för det andra tillståndet. Detta lilla exempel föder en idé om att tillåta mer allmänna styrvillkor, som innebär olika operationer mellan olika insignaler. Det kan påpekas att för den normala beslutstabellen så sker operationen AND mellan de angivna insignalerna med eller utan negering.

Sådana möjligheter kan förenkla beslutstabellen betydligt. Ett problem är hur sådana allmänna operationer skall beskrivas. Om det bara förekommer en operation av varje slag så kan beslutstabellen för det tidigare exemplet skrivas som

tillstånd			
insignaler	1	2	3
A	0	NE	1
B	0	NE	1
utsignaler			
C	0	1	0
D	0	0	1

Om flera olika operationer förekommer, så kan det se ut som t ex nedan

tillstånd	1	2	3	4
insignaler				
A	0	OR	OR	EQ
B	0	OR	OR	OR
C	EQ	NE	OR	EQ
D	EQ	NE	1	OR

I tillstånd 2 krävs (A OR B) och (C NE D) och i tillstånd 3 (A OR B

OR C) och D och sist och något rörigt i tillstånd 4 (A EQ C) och (B OR D). Det går att komma längre med numrerade operationer och någon form av parenteser, men läsbarheten blir dålig. En lösning som förbättrar läsbarheten i samband med allmänna operationer är att ange styrvillkoret före beslutstabell som ett fullständigt logiskt uttryck med alla insignaler ingående. Tanken är att det kan vara bra i undantagsfall att kunna utföra några få operationer av detta slag i en större beslutstabell.

Ett andra problem är att minnesbehovet ökar mot tidigare två bitar en bit för 0 och 1 och en för bortmaskning med X beroende på antalet operationer som önskas. Om behovet av allmänna operationer mellan insignalerna är litet, då är det nog rimligt att behålla den enklare beslutstabellen och istället utöka antalet insignaler med de särskilda uttryck som är av intresse. Det ursprungliga exemplet blir då

tillstånd	1	2	3
insignaler			
A	0	X	1
B	0	X	1
A NE B	0	1	0
utsignaler			
C	0	1	0
D	0	0	1

Antalet insignaler i beslutstabellen ovan är fler än nödvändigt. En av insignalerna A eller B kan utelämnas, men om beslutstabellen innehåller fler tillstånd med andra insignalvillkor och fler andra insignaler enligt nedan då krävs båda insignalerna A och B.

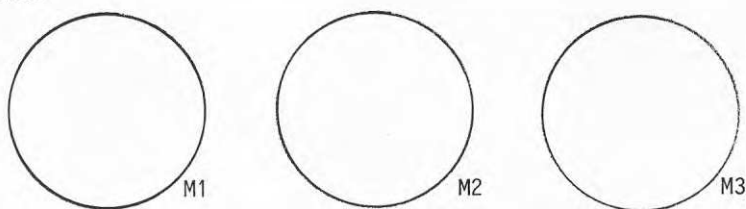
tillstånd	1	2	3	4	5
insignaler					
A	0	X	1	0	X
B	0	X	1	X	0
A NE B	0	1	0	X	X
C	0	0	1	1	1

I tillstånden 4 och 5 är B resp A odefinierat. Insignaluttrycket A NE B kan då inte användas tillsammans med en av de två insignaler-

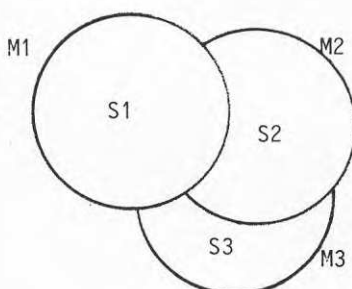
na A eller B för att bestämma tillstånd 4 och 5.

Ordningsföljden mellan de olika styrvillkoren är inte oväsentlig, eftersom funktionen för beslutstabellen är att de olika tillståndens styrvillkor avsöks från vänster mot höger (från tillstånd 1 och uppåt). På detta sätt så kan olika styrvillkor maska andra styrvillkor. Nedan visas ett abstrakt exempel med 3 maskor M1, M2 och M3, tillhörande var sitt tillstånd S1, S2 och S3.

Masker



Tillståndsrum vid ordningsföljd M1, M2 och M3



Något som är viktigt är att de definierade tillstånden täcker alla tänkbara tillstånd. Om något tillstånd är odefinierat och detta inträffar, så ignorerar beslutstabellen processen helt och några styråtgärder verkställs ej. Konstiga tillstånd kan uppträda vid störningar och vid uppstart och måste därför beaktas. Ett sätt att fånga upp konstiga tillstånd är att ange ett helt odefinierat styrvillkor (X för alla insignaler) för det sista tillståndet. Ett problem är en lämplig styråtgärd för detta tillstånd.

Uppstart skall normalt ske överordnat så att en överordnad programfunktion beordrar alla beslutstabellstyrda processer till önskade starttillstånd. Från dessa starttillstånd kan sedan de olika beslutstabellerna ta över.

En annan mycket vanlig operation i samband med logiska system är olika fördröjningar. Ett önskemål skulle då kunna vara att tillåta godtyckliga fördröjningar för olika tillstånd för olika insignaler eller insignaluttryck. Även denna operation faller på att beslutstabellen blir svårsläst och att minnesutrymmet ökar betydligt. En insignal A som skall fördröjas 10 sekunder vid tillslag vid tillstånd 1 och 20 sekunder vid frånslag vid tillstånd 2. En möjlig utformning är följande

tillstånd	1	2
insignal		
A	D(10,0) 1	D(0,20) 0

Denna operation kommer också att kräva mycket beräkningar eftersom alla fördröjningar för olika tillstånd och för samma insignal eller insignaluttryck måste räknas igenom ständigt.

En något enklare form av fördröjning är att fördröja övergång från ett tillstånd till ett annat. Detta är ett rimligt och genomförbart krav. Fördröjningar anges för varje tillstånd. Det nya tillståndet antas först efter den angivna fördröjningen. Utformningen blir följande med S och M för tidsenheterna sekund och minut.

tillstånd	1	2	3	4
fördröjning	5S	5S	0	10M

Processfunktionen görs långsammare och blir säkrare mot störningar.

Antalet insignaler i den normala beslutstabellen är alltid större än noll, men när en tillståndsvariabel införs, så kan denna verka som insignal. Ändring av beslutstabelltillståndet kan ske genom att tillståndet ingår som utsignal i den egna beslutstabellen eller ändras av andra program eller av operatören.

## Utsignaler

Utsignaler i en beslutstabell kan bara var tilldelningsbara variabler. Tänkbara utsignaler blir då

logiska variabler  
 numeriska variabler  
   heltal  
   flyttal  
   regulatortillstånd  
   beslutstabelltillstånd

Motiveringarna att ta med alla dessa variabler som utsignaler är de samma som för insignaler. Flyttalet, som utsignal, är lika ovanligt som i fallet som insignal och kan därför strykas.

## Styråtgärder

Samma tilldelningsmöjligheter för utsignalerna som avläsningsmöjligheter för insignalerna. Detta sker med samma beteckningar 0 och 1 för tilldelning och X för ingen tilldelning.

I många processer finns det ofta en indikering till varje manöver. Kravet är att manövern skall bara pulsas eller högst vara aktiv tills indikering har erhållits. Ett exempel på en sådan vanlig delprocess är pneumatiska manövercylindrar, som går mellan två ändlägen. Det är ändlägena som indikeras. Detta innebär att beordring av en manöver skall avbrytas när indikeringen fås. Detta innebär också att byte av tillstånd måste ske för att ändra manöver.

Samma problem uppstår i samband med forcering av processens tillstånd både till rådande eller godtyckligt tillstånd. De pulsade eller indikeringsbegränsade manövrarna fungerar ej eftersom nästa tillstånd inte får antas.

I en tillämpning löstes detta problem med att införa något som kallades automatisk beordring av utsignaler. Detta genomfördes genom att låta indikeringen och manövern ha samma placering som insignal resp

utsignal och som styråtgärd användes beteckningen A istället för 0 eller 1. Automatik för utsignal nr  $i$  kan beskrivas med att insignal nr  $i$  negeras och tilldelas utsignal nr  $i$ . Detta betyder att om ingen indikering har erhållits, dvs insignal nr  $i$  0 (falsk), då ges manövern värdet 1 (sann) och när indikering erhålls då nollställs manövern. Styrvillkoret uppfylls inte längre, men styråtgärden verkar tills nytt tillstånd uppnås.

Det kan vara kraftfullt att kunna hålla utsignaler utställda en viss tid innan övergång sker till nästa tillstånd. I vissa sammanhang krävs att en eller flera utsignaler ställs ut en viss minimitid. En rimlig lösning att kvarhålla en styråtgärd en angiven tid innan nästa tillstånd antas.

Här uppstår en konflikt mellan kvarhållning av styråtgärd och fördröjning av styrvillkor. Säkerhetstillstånd måste kunna nås inom angiven tid. Detta kan lösas genom att en definierad styrvillkorsfördröjning har högre prioritet än en styråtgärds-kvarhållning. Styrvillkorsfördröjningen kan anges som odefinierad med beteckningen X och då gäller alltid styråtgärds-kvarhållningen. Ett exempel ges nedan där styrvillkor och styråtgärder har utelämnats.

tillstånd	1	2	3
fördröjning styrvillkor	5S	X	0
kvarhållning styråtgärd	0	5M	10S

Fördröjningen vid övergång från ett tillstånd till ett annat blir minst och mest följande

från	till	fördröjning	
		minst	mest
1	2	0	0
1	3	0	0
2	1	5S	5S
2	3	0	0
3	1	5S	5S
3	2	0	10S



Den mindre fördröjningen gäller när från-tillståndet har gällt längre än tiden för styrätgårdens kvarhållning.

Antalet utsignaler kan också vara noll precis som i antalet insignaler. Detta kan utnyttjas för att bestämma ett tillstånd för en process, det erhållna tillståndet kan sedan modifieras helt godtyckligt och därefter så kan det modifierade tillståndet användas som tillstånd för en beslutstabell med enbart utsignaler.

#### Fullständighet och entydighet

Ett problem vid logikstyrning med beslutstabell är att övergång från ett tillstånd till ett annat tillstånd sker enbart efter insignalerna och styrvillkoret och därför helt godtyckligt. I vissa cykliska processförlopp, så finns det flera tillstånd som är ytterst lika eller lika. Ett problem som då uppstår är att processen kan fastna i någon mindre cykel. Detta kan åtgärdas dels genom att införa ytterligare flaggor, dvs som både insignaler och utsignaler som skiljer de lika tillstånden åt och dels genom att ange vilka tillstånd som kan bli nästa tillstånd för processen.

Den senare metoden har provats praktiskt i en förenklad version. Nästa tillstånd kunde anges i varje tillstånd och på detta sätt kunde tillståndsändringar läsas till en viss given följd. Programmet provade alltid först om insignalerna och styrvillkoret stämde med det angivna nästa tillståndet och om detta var fallet så skedde byte av tillstånd.

Ett problem var när val mellan flera tillstånd skulle ske. Detta kunde klaras av genom att de nya tillstånden inte kunde förväxlas med andra tillstånd som inte hade med valet att göra.

Om antalet tillstånd är litet, så kan man lätt ange tillåtna nästa tillstånd i form av ett bitmönster där bitens nummer anger tillståndets värde och 1 betyder tillåtet tillstånd och 0 betyder otillåtet. Ett logiskt system med 16 tillstånd kräver bara 16-16-bitarsord för

att endast lagra den aktuella strukturen i form av heltal som anger varifrån och till vilket tillstånd, som tillståndsförändringar skall få ske. Denna metod kan vara effektivare ur minnessynpunkt för system med många tillstånd och få val.

### Operatörskommunikation

Operatörskommunikation är en väsentlig del för funktionen och nedan ges exempel på några tänkbara kommandon som kommenteras löpande. Det finns grovt räknat två krav på operatörskommunikationen när det gäller att lösa styr- och reglerfunktioner med beslutstabell. Det ena kravet gäller den omedelbara driften som kräver vissa kommandon för att kontrollera, följa och ändra processens tillstånd. Det andra kravet avser att kunna ändra och göra tillägg i beslutstabellen för att rätta till olika felaktigheter.

Syntaxen för den första kommandokategorin är kommandoordet följt av processnamnet och eventuell ytterligare indata.

#### STATE PNAME

Med detta kommando fås en utskrift som beskriver tillståndet för den styrda processen PNAME. Utskriften kan ha följande utseende

Forcerat tillståndsnr	0
Styrvillkor tillståndsnr	3
Styrvillkor tillstånd	0 1 2 3 0 1 1
Styrvillkor fördröjning	9
Styråtgärd tillståndsnr	2
Styråtgärd tillstånd	0 1 1 0 2
Styråtgärd kvarhållning	0

Först anges om processen är under forcering (0 ingen forcering). Siffrorna i exemplet visar också att processen befinner sig i tillstånd 2 och är på väg till tillstånd 3. Fördröjning av styrvillkor sker med räkning mot noll (9 sekunder återstår). Rådande styrvillkor-tillstånd och styråtgärdstillstånd skrivs också ut.

## TRACE PNAME

Med detta kommando kan tillståndsförändringar följas för den angivna processen PNAME tills dess att ett annat kommando ges på samma terminal. Samma information skrivs ut som för kommandot STATE, men allt på en rad. Detta gör det lättare att jämföra olika förändringar som då står ovanför varandra i kolonner. Ett exempel ges nedan.

## TRACE PNAME

FSN	ISN	IS	DI	OSN	OS	DO
0	1	001	0	1	00	0
0	3	010	0	3	01	0
0	4	101	0	4	11	0

## FORCE PNAME NR

Med detta kommandot beordras processen PNAME att anta angivet tillstånd (NR). Detta innebär att styråtgärden blir den angivna, men det är inte säkert att styrvillkoret blir uppfyllt. Processen kvarstannar i det angivna tillståndet tills nytt kommando ges.

## HOLD PNAME

Det aktuella tillståndet forceras med detta kommando. Processen ligger kvar i detta tillstånd tills forceringen hävs eller ändras.

## CONT PNAME NR

Det forcerade tillståndet kan hävas och lämnas med detta kommando, om processens nästa tillstånd stämmer med det angivna (NR). Detta kan sägas vara en slags mjukstart.

## START PNAME NR

Processen PNAME startas angivet tillstånd (NR) och därefter fortsätter processen själv. Detta motsvarar en slags hårdstart.

### STEP PNAME NR

Processen PNAME tillåts gå igenom angivet antal tillståndsändringar (NR) och därefter så stoppas processen genom forcering av det sista tillståndet.

### STOP PNAME NR

Processen PNAME stoppas genom forcering, när den når det angivna tillståndet (NR) och endast då. Detta innebär inte att processen stoppas när tillståndsvärdet blir högre än det angivna värdet utan bara när det blir lika.

Kommando för att ändra i själva beslutstabellen kan utformas på många olika sätt. En variant är att ändra ett tillstånd för sig och en annan variant är att skriva ut hela beslutstabellen eventuellt bara styrvillkoren eller styråtgärdsdelen och därefter utnyttja terminals cursorfunktion för att positionera till önskad parameter som skall ändras och därefter genomföra ändringen. Den senare varianten kräver en bildskärmsterminal.

### Förslag till beslutstabell med tillståndsvariabel

Ett förslag till beslutstabell med tillståndsvariabel för styrning och reglering av klimatsystem sammanfattas här för att sedan användas i några avslutande tillämpningsexempel.

#### Tillståndsvariabel

Antal tillstånd begränsat till 1-31. Alla tillståndsändringar är tillåtna (inga begränsningar).

#### Insignaler

Antal begränsat 0-31. Godtycklig ordningsflöjd.

Logiska variabler och funktioner (0-1)

Regulatorstillstånd (0-3)

Beslutstabelltillstånd (0-31)

Inga uttryck tillåtna

### Styrvillkor

Definierade insignaler markeras med ett heltal och odefinierade med X.

Flera styrvillkor per tillstånd.

Inga andra operationer än AND mellan insignalerna i styrvillkor.  
Fördröjning av styrvillkor 0-60 sekunder eller minuter.

### Utsignaler

Antalet begränsat 0-31. Godtycklig ordningsföljd.

Logiska variabler (0-1).

Regulatorstillstånd (0-3).

Beslutstabellstillstånd (0-31).

### Styråtgärder

Definierade utsignaler markeras med ett heltal och odefinierade med X.

Automatikfunktion anges med A för manöver-indikeringspar.

Ingen pulsning.

Kvarhållning av styråtgärd 0-60 sekunder eller minuter.

Detta förslag får ses som ett försök att utveckla en tidigare praktiskt provat styrsätt med beslutstabell och tillståndsvariabel. Det kan därför finnas både okända nackdelar och fördelar. Någon teoretisk analys och syntes av den här föreslagna metoden har heller inte genomförts.

### Tillämpningsexempel

I exemplet har valts ett luftbehandlingssystem för en lokal. Ventilationssystemet svarar även för uppvärmning. Vid normal drift regleras frånluftstemperaturen till 21 °C med tilluften som begränsas till intervallet (12 °C, 30 °C). Själva luftbehandlingsaggregatet består av en återluftsdel, ett värme- och kylbatteri och återges i FIG. 6.1. Följande funktioner önskas

- 1 Till- och frånluftsfläktar körs enligt angiven tidsfunktion, med tillägg för nödvändig uppstartstid vid starttidsoptime-

ring och med tillägg för varmhållning och utkylning av byggnad. Till- och frånluftsfälktar stoppas vid utlöst frys-vakt, brandvakt eller motorskydd. Fläktarna har bara en hastighet.

- 2 Värmebatteriets cirkulationspump körs kontinuerligt.
- 3 Vid stoppade fläktar sker varmhållning av värmebatteriets returtemperatur till 10 °C.
- 4 Vid normalt stoppade fläktar (ej larm) sker varmhållning av byggnaden vid behov och med högre prioritet än varmhållning av värmebatteriet. Varmhållning sker med enbart återluft och startas vid en lokaltemperatur på 15 °C och stoppas vid 16 °C. Utkylning av byggnaden startas vid en lokaltemperatur över 23 °C och avbryts vid 21 °C samtidigt måste utetempera-turen vara lägst 12 °C och högst 18 °C.
- 5 Varmhållning och uppstart sker med enbart återluft.
- 6 Normal drift. Sekvens mellan värmeventil, återluftsspjäll och kylventil. Spjällläget begränsas så att minsta utelufts-mängd ej underskrids. Ställdon av öka/minska typ.
- 7 Normal drift. Entalpistoynning. När returluftens entalpi är lägre än uteluftens och när kylning sker, då sker övergång till minsta uteluftsmängd.

Följande driftsfall/tillstånd kan ställas upp med ledning av de tidi-gare angivna funktionskraven

#### tillstånd

- 1 varmhållning värmebatteri
- 2 uppstart
- 3 varmhållning byggnad
- 4 utkylning byggnad
- 5 normal drift entalpistoynning
- 6 normal drift växling från entalpistoynning
- 7 normal drift kyla
- 8 normal drift växling kyla-spjäll
- 9 normal drift spjäll
- 10 normal drift växling spjäll-värme

- 11 normal drift värme  
 12 feltillstånd stoppade fläktar  
 varmhållning värmebatteri

Här ges nu beslutstabellen för styrning och reglering av det beskrivna exemplet. Kommentarer ges efter exemplet.

Tillstånd		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
nr	insignaler												
1	felsignal	FS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2	tidur	TR	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	X
3	uppstart	UPF	0	1	0	0	X	X	X	X	X	X	X
4	varmhållning byggnad	VHF	0	X	1	0	X	X	X	X	X	X	X
5	utkylning byggnad	UKF	0	X	X	1	X	X	X	X	X	X	X
6	värmeventil öppen		X	X	X	X	0	0	0	0	0	1	X
7	tilluftregl.(spjälläge)		X	X	X	X	X	2	3	3	1	2	X
8	kylventil öppen		X	X	X	X	1	1	1	0	X	X	X
9	entalpistyrning	ESF	X	X	X	X	1	0	0	X	X	X	X
	fördröjning styrvillkor		0	0	5M	5M	5M	X	X	X	X	X	5S
nr	utsignaler												
1	manöver tilluftsfläkt		0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
2	manöver frånluftsfläkt		0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
3	tilluftregl.(värmeventil)		0	1	1	2	2	2	2	2	1	1	0
4	tilluftregl.(spjälläge)		2	2	2	3	2	3	3	1	1	1	2
5	spjällägesregl.(spjäll)		2	2	2	3	1	1	1	1	1	1	2
6	tilluftregl.(kylventil)		2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2
7	batteriregl.(värmeventil)		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
8	frånluftregl.(tilluft)		2	3	0	2	1	1	1	1	1	1	0
	kvarhållning styråtgärd		0	0	5M	5M	1M	0	1M	0	1M	0	1M

Exemplet har 9 insignaler. Den första insignalen är felsignalen FS som beräknas enligt det logiska uttrycket nedan

$$FRV \text{ OR } BRV \text{ OR } TFMS \text{ OR } FFMS \text{ OR } CPMS \text{ SET } FS$$

Här står FRV och BRV för frysvakt resp brandvakt. Motorskydd tilluftfläkt, frånluftsfläkt och cirkulationspump betecknas TFMS, FFMS resp CPMS.

Den andra insignalen är tidsfunktionen TR, som anger normal drift. De följande fyra insignalerna är logiska signaler eller flaggor, som beräknats tidigare i användareprogrammet.

Varmhållningsflaggan VHF kan beräknas som

$$\text{GTL} < 15.0 \text{ OR VHF AND GTL} < 16.0 \text{ SET VHF}$$

Beteckningen GTL står för lokaltemperaturen. Utkylningsflaggan UKF kan beräknas som

$$\text{GTL} > 23.0 \text{ OR UKF AND GTL} > 21.0 \text{ AND GTU} > 12.0 \text{ AND GTU} < 18.0 \text{ SET UKF}$$

Uppstartflaggan UPF fås direkt från ett starttidsoptimeringsprogram.

Insignal nr 6 och 8 är indikeringar av ställdonslägena värme- resp kylventilen. Återluftsspjällets ändlägen och läget för minsta utluftsmängd indikeras inte utan i stället används tillståndet för tillluftsregulatorn, som har spjälläge som utsignal, där 2 och 3 motsvarar minsta resp största utluftsmängd.

Sista och nionde insignal är en flagga för entalpistyrning ESF, som kan beräknas från torr temperatur och relativ luftfuktighet i utluft och frånluft. De två entalpivärdena kan beräknas som

$$\text{GIU} = \text{FITRF}(\text{GTU}, \text{GRFU})$$

$$\text{GIF} = \text{FITRF}(\text{GTF}, \text{GRFF})$$

där FITRF är en entalpifunktion, som har torr temperatur och relativ luftfuktighet som argument. Mellanresultaten GIU och GIF behövs egentligen ej, men kan vara bra att ha för kontroll och för beräkning av besparingen. Entalpistyrningsflaggan ESF fås enkelt som

$$\text{GIU} > \text{GIF SET ESF}$$

Övergång till nytt tillstånd sker med fördröjning på 5 minuter för tillstånden 3, 4 och 5, dvs varmhållning, utkylning och entalpistyrning. Feltilståndet fördröjs endast 5 sekunder.



Utsignalerna utgörs av två logiska utsignaler och sex regulatortillstånd. De logiska utsignalerna är kopplade till till- och frånluftsfläktarna. Uppdelningen med en manöver per fläkt är något onödigt eftersom de två manöverfläktarna är identiska för samtliga tillstånd. Tilluftsreglering sköts av fyra regulatorer, nämligen en för värmeventilen, en för spjälläget (kaskadregulator), en för spjället och en för kylventilen. Varmhållning av värmebatteriet sker med en femte regulator. Den sista regulatorn är en kaskadregulator mellan frånluft och tilluft. Regulatorerna har ritats in i FIG.6.1.

Kvarhållning av styråtgärd med 5 minuter sker för tillstånden 3 och 4 och 1 minut för tillstånden 5, 7, 9 och 11.

Ordningsföljden mellan olika insignaler och utsignaler är godtycklig, för att öka läsbarheten och förståelsen så är det lämpligt att gruppera likartade signaler tillsammans. Det är också uppenbart att likartade tillstånd eller tillstånd mellan vilka byte sker ofta, t ex i reglersekvenser, skall också grupperas tillsammans av samma skäl som tidigare. Utformning kan också förbättras genom att införa tomma rader och kolonner så att det bättre framgår vad som är samhörande insignaler och styrvillkor och motsvarande samhörande styråtgärder. Detta har gjorts i exemplet.

Tidsfunktionen svarar för grovsorteringen av de olika tillstånden. De fyra första tillstånden bestäms endast av de fem första insignalerna. Uppstarttillståndet har högre prioritet än tillstånden varmhållning och utkylning. Det är därför X i rad 4 och 5 för uppstarttillståndet i kolumn 2.

Normal drift, dvs tillstånden 5 till 11, bestäms helt av insignalerna 6 till 9 bortsett från insignal 1 och 2 som skall vara falsk resp sann i samtliga tillstånd. Insignalerna 6 till 8 avgör den normala reglersekvensen bortsett från entalpstyrning. I reglersekvensen mellan värmeventil, spjäll och kylventil löses genom att införa extra tillstånd för att klara övergången mellan värme-spjäll och spjällkyla. I dessa två övergångstillstånd som endast kan vara ett eller något reglerintervall, anropas båda regulatorerna för de två enheterna som växling skall ske emellan. Detta är normalt en konflikt att

aktivera två eller flera regulatorer som reglerar samma storhet. I detta fall så kan fyra fall inträffa, nämligen båda enheterna ökar pådraget, båda enheterna minskar pådraget, den första enheten ökar och den andra minskar och tvärtom. Eftersom båda enheterna befinner sig i ett av sina ändlägen, så medför de två första fallen att övergångstillståndet lämnas och reglering sker i ett tillstånd som bara innehåller anrop av en regulator.

De två sista fallen är något osannolika, men i det ena fallet så sker ingen tillståndsförändring och i det andra så lämnar båda enheterna sina ändlägen och en konflikt har uppstått. I det senare fallet så antas det tillstånd av de två kring övergångstillståndet som är högst prioriterat. Högst prioritet har värmeventilen sedan spjället och lägst prioritet har kylventilen, vilket framgår av beslutstabellen.

Det kan också påpekas att det är viktigt att reglerfelet alltid uppdateras i en PI-regulator oavsett om den är aktiv eller ej. Om detta inte sker så kan detta medföra mycket konstiga regleringrepp. Ett exempel är i växling mellan olika regulatorer i reglersekvensen. Ett annat exempel är följande: antag att den reglerade storheten ändras långsamt från att ha varit utanför och "under" dödzone till att vara utanför och "över" dödzone. När reglering åter skall ske utanför dödzone så blir regleringreppet helt felaktigt om regulatorn arbetar med det reglerfel som gäller när regulatorn sist var aktiv. Regulatorn uppfattar då att den reglerade storheten har ändrat sig minst hela dödzone under ett samplingsintervall för regulatorn.

Om reglerfelet ständigt uppdateras så minskar risken för att de två osannolika tillstånden vid växling mellan olika regulatorer inträffar. Om PI-regulatorer används i båda fallen så kan de två regleringreppen beräknas som

$$\Delta u_1(t) = K_{P1} (e(t) - e(t-1) + e(t)/T_{I1})$$

$$\Delta u_2(t) = K_{P2} (e(t) - e(t-1) + e(t)/T_{I2})$$

De två regulatoruttrycken visar att om integrationstiderna (angivna i reglerintervall) är lika ( $T_{I1} = T_{I2}$ ) så har styrsignaländringarna samma tecken. De två osannolika fallen inträffar, när kvoten  $\Delta u_1(t)/\Delta u_2(t)$  är negativ. De två gränserna till det område som det här gäller fås genom att sätta  $\Delta u_1(t)=0$  och  $\Delta u_2(t)=0$  vilket ger följande samband mellan nuvarande och föregående reglerfel

$$e(t) = e(t-1)T_{I1}/(T_{I1}+1)$$

och

$$e(t) = e(t-1)T_{I2}/(T_{I2}+1)$$

Det kritiska området kan anges som

$$\frac{T_{\min}}{(T_{\min}+1)} < \frac{e(t)}{e(t-1)} < \frac{T_{\max}}{(T_{\max}+1)}$$

där

$$T_{\min} = \min(T_{I1}, T_{I2})$$

$$T_{\max} = \max(T_{I1}, T_{I2})$$

Antag att integrationstiderna är 4 resp 9 reglerintervall. Det kritiska området kan anges som

$$0.8 < e(t)/e(t-1) < 0.9$$

När villkoret ovan är uppfyllt så lämnar båda regulatorerna sina begränsningar eller så ligger båda regulatorerna kvar på sina begränsningar.

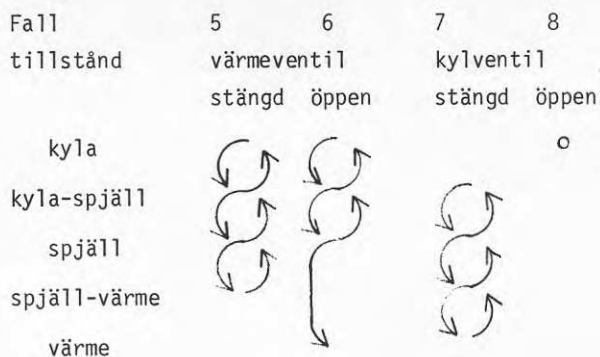
I det här angivna exemplet med programmering av en styr- och reglerfunktion så kan godtyckliga tillståndsändringar ske, men i normala fall så är det bara ett fåtal av dessa som är aktuella. Dessa normala tillståndsändringar mellan tillstånd 1 och 11 har ritats in i FIG.6.2. Tillstånd 12 har utelämnats eftersom tillståndsändring till detta tillstånd kan ske från alla övriga tillstånd.

Prioritetsordningen har ingen betydelse för den normala funktionen bortsett från mindre skillnader vid övergångar mellan olika enheter såsom värme, spjäll och kyla. Den största betydelsen får prioriteringen när olika insignaler som är av betydelse för reglersekvensen visar fel. Antag att värme prioriteras högre än spjäll, som i sin tur prioriteras högre än kyla. Vilka tillstånd och vilka tillståndsövergångar kan förekomma när värmeventilen eller kylventilen på grund av fel indikeras som öppen eller stängd? Svaret på frågan ges i uppställningen nedan.

fall	1	2	3	4
tillstånd	värmeventil stängd öppen		kylventil stängd öppen	
kyla				
kyla-spjäll				
spjäll				
spjäll-värme				
värme		o		

Värmebatteriet kan utsättas för frysrisk i fall 4 om spjället går mot max uteluft, då kommer processen att gå över i driftstillståndet kyla som sedan inte kan lämnas på grund av att kylventilen felaktigt indikeras som öppen. I fallet 1 kan processen arbeta med min uteluft och därmed förhindras frysrisken. I växlingstillståndet värme-spjäll kan värme tillföras, men så fort spjällaget lämnar minläget så stängs värmeventilen. Detta inträffar när tilluftstemperaturen ligger nära det önskade värdet.

Den naturliga frågan är nu vad händer om prioritetsordningen är omvänd (kyla högst och värme lägst). Svaret ges med samma uppställning som i förra fallet.



Fallet 8 medför en uppenbar frysrisk. Fallet 5 är identiskt med det tidigare fallet 1. Fallet 6 kan låsa sig i drifttillståndet värme. Fallet 7 får problem med driftstillståndet kyla (analogt med värme i fallet 5).

Dessa två exempel visar att prioritering av värmeventilen inte är betydelselös. Observera att när reglersekvensen programmeras med villkorssatser (IF-THEN-ELSE-satser) så kan samma prioritering ske genom att först testa på värmeventilens tillstånd och därefter längre ner på kylventilen.

## regulatorförklaring

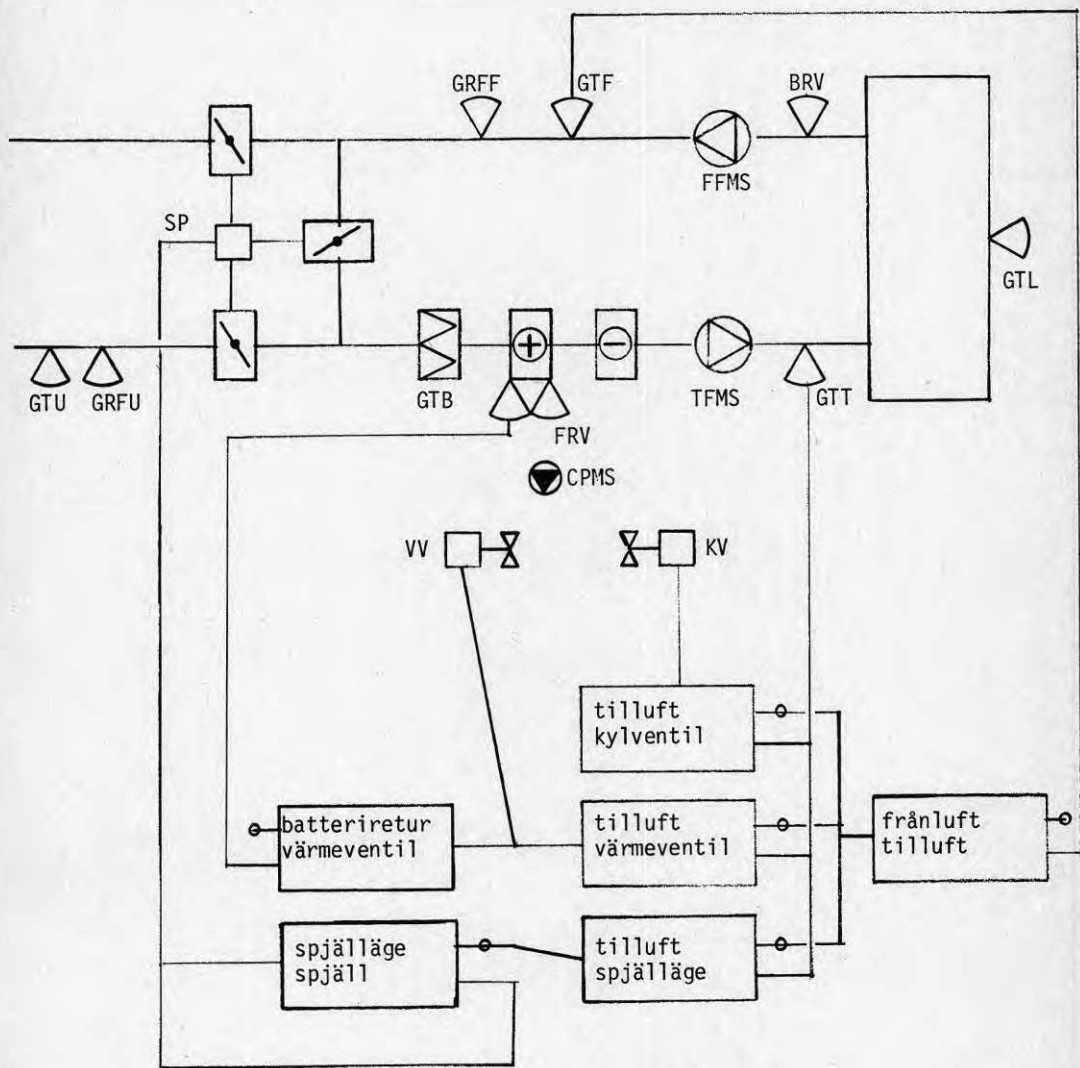
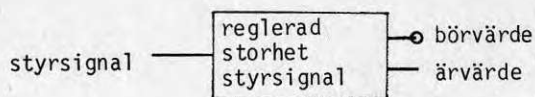


FIG.6.1 Principschema för luftbehandlingsanläggning och tillhörande regulatorer. Styr- och reglerfunktioner programmeras med beslutstabell.

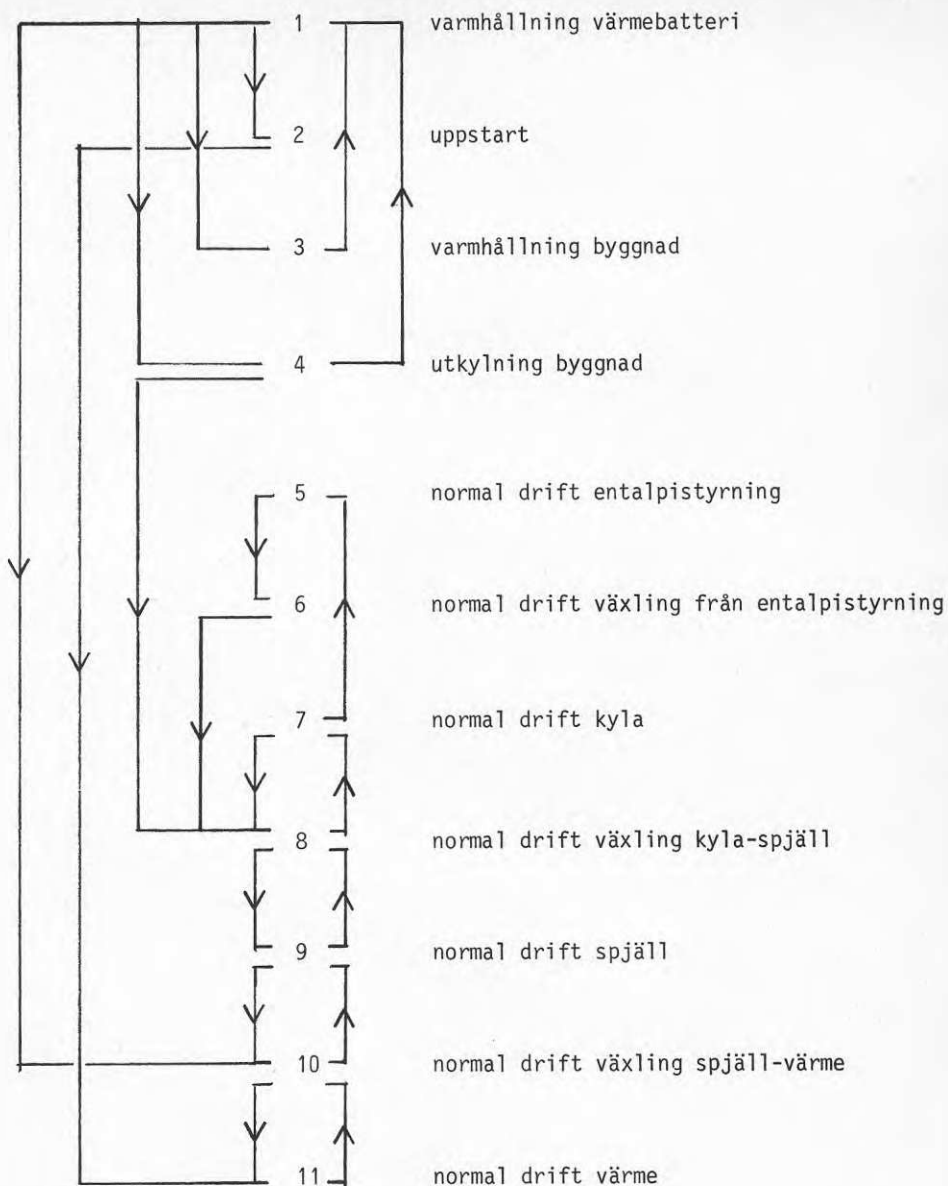


FIG.6.2 Normala tillståndsförändringar mellan tillstånden 1-11.

## 7 FÖRSLAG TILL FUNKTIONSBESKRIVNING

Avsikten med detta kapitel är att ge ett förslag på hur man skall kunna arbeta effektivt vid beskrivning, produktion och dokumentation av datorstyrda klimatanläggningar. Idén är att beskriva anläggningens funktion med ett datorprogram. Vid produktion används beskrivningen/datorprogrammet direkt och dokumentationen av datorfunktionen utgörs av inget annat än beskrivningen/datorprogrammet. Även besiktning och underhåll underlättas genom att alla talar samma språk. Ett exempel ges.

### 7.1 Bakgrund

Datorstyrda klimatanläggningar börjar nu bli allt vanligare. Redan 1974 kördes de första anläggningarna igång i Sverige. Fram till 1981 så har det installerats minst 50 system. Vad som främst saknas idag är utbildning av konsulter och köpare.

Programvarans betydelse underskattas kraftigt, vilket beror främst på brist på kunskaper och information. Det finns oftast datablad på dator, bildskärmar, skrivare, anpassningselektronik och annan elektronik. Många gånger ställs krav på enbart elektroniken vilket är olyckligt eftersom den totala funktionen i minst lika stor utsträckning beror på programvaran. Datablad på programvaran förekommer i klart mindre utsträckning. Detta kan bero på att programvaran är något abstrakt.

Operatörsmanualer finns i regel och innehållet täcker de vanligaste variablerna och funktionerna, som kan kontrolleras och övervakas. Hur man kan lösa komplexa funktioner, som förekommer vid t ex sekvensreglering av ventilationssystem beskrivs ytterst sällan.

Ett datorsystems användbarhet står och faller med den programvara som skall lösa själva styr- och reglerfunktionen. De möjligheter som datortekniken ger till nya lösningar, kan alltså gå helt förlorade om det inte finns goda möjligheter till att programmera godtyckliga



styr- och reglerfunktioner. Resultatet blir annars att den konventionella tekniken översätts till datortekniken. Det kan också vara på sin plats att varna för att göra komplexa lösningar bara för att utnyttja datorns möjligheter.

## 7.2 Olika lösningar - samma funktion

Idag finns det flera leverantörer av datorsystem för klimatanläggningar vars anpassningselektronik är olika. Däremot så använder flera sig av samma datorer, bildskärmar och skrivare. Varje leverantör bestämmer utformningen av sin programvara. Programvaran innehåller alltid en mängd tabeller och kanske ett högnivåspråk för reglersekvenser eller liknande. I tabellerna ligger all information om hur in- och utsignaler skall läsas in och ut via anpassningselektroniken, hur larm och gränsvärdeslarm skall ges, hur utskrifter skall se ut och hur regulatorer är definierade för att nämna några exempel.

Redan dessa två steg elektronik och grundprogramvara ger en mycket stor spridning i lösningar. Till detta skall sedan läggas att den programmerare som skall programmera en given funktion i ett högnivåspråk kan göra detta på många olika sätt. Olika lösningsmetoder kan användas. Utformandet av ett lösningssätt kan givetvis också variera. Olika programmerare inom samma företag kan också lösa samma funktion på helt olika sätt. Lösningssätt påverkas av flera olika faktorer såsom val av driftsfall vid uppstart och funktion vid fel på givare eller manöverdon. Detta leder till att en given funktion kan lösas på många olika sätt. Detta är olyckligt eftersom det är samma funktion som skall lösas. Det stora antalet lösningsmöjligheter ställer stora krav på konsultens, användarens och besiktningsmäns kunnande. De många lösningsmöjligheterna skall också jämföras med den konventionella tekniken med ett klart mindre antal lösningsalternativ. Varje tillverkare har ofta ett elektroniskt och ett pneumatiskt alternativ. Flera system har likartad uppbyggnad.

Hur funktionen exakt skall lösas framgår inte alltid av den normala beskrivningen för en given anläggning. Beskrivningen innehåller ge-

nomgående ofta självklara meningar av typen: GT3 styr lokaltemperaturen i sekvens osv. Ofta är det fritt fram för olika varianter t ex ställdon för kyla och spjäll ansluts separat eller tillsammans som ett ställdon. Vid felsökning måste man först reda ut hur beskrivningen har tolkats och därefter kontrollera var felet ligger.

### 7.3 Många tabeller - samma funktion

Alla datorsystem innehåller en mängd grundprogram med tillhörande tabeller. De olika grundprogrammen utför en renodlad uppgift som definieras av innehållet i en tabell. Ett antal program svarar för att olika typer av processignaler läses in och ut mellan datorns minne och anpassningselektroniken. Andra grundprogram arbetar med innehållet i flera tabeller. Användaren kan påverka datorsystemets arbetsätt genom att ändra innehållet i motsvarande tabell via operatörskommunikationen. Några exempel är ändra gräns för gränsvärdeslarm, ändra larmfördröjning och ändra börvärde för någon regulator. I ett välgjort system så finns det många ändringsmöjligheter, vilket gör systemet anpassningsbart. Ett renodlat övervakningssystem är därför ytterst enkelt att åstadkomma med ett sådant system.

Svårigheterna börjar när olika typer av beräkningar, logikstyrning och reglersekvens skall utföras. En lösning på svårigheten är att använda sig av ett högnivåspråk anpassat för processtyrning. Ett problem med ett datorsystem är att informationen om en styr- och reglerfunktion finns utspridd i ett flertal tabeller. Detta kan göra det svårt att få en god överblick. Vid felsökning så måste kanske ett flertal datalistor användas. I nästa avsnitt ges ett exempel på hur detta problem kan lösas genom att definiera en funktion med en beskrivning i form av ett datorprogram.

### 7.4 Standardprogrammering med högnivåspråk

Först ges själva exemplet, som kommenteras efteråt. Exemplet är inte helt komplett, men avsikten är att visa principen för en beskrivning kan utformas för en datorstyrd klimatanläggning, se FIG.7.1.

```

Rad
1 D OBJEKT TA-1
2 C VENTILATIONSAGGREGAT MED VÄRME
3 C REGLERAD FRÄNLUFTSTEMPERATUR
4 C MINBEGRÄNSAD TILLUFTSTEMPERATUR 12 GRADER
5 C VARMHÅLLNING VÄRMEBATTERI 8 GRADER
6 C YTTRE PROCESSIGNALER
7 D TA-1-GT1 AIN(1) FRÄNLUFTSTEMPERATUR
8 D TA-1-GT2 AIN(2) TILLUFTSTEMPERATUR
9 D TA-1-GT3 AIN(3) BATTERITEMPERATUR
10 D TA-1-FR LIN(1) FRYSVAKT
11 D TA-1-MS LIN(2) MOTORSKYDD
12 D TA-1-SS IOUT(1) TILLUFTSFLÄKT START/STOPP
13 D TA-1-SV1 IOUT(1) VÄRMEVENTIL ÖKA/MINSKA
14 C INRE PROCESSVARIABLER
15 C TIDUR
16 D TA-1-TR TC(1)
17 D 08 00 18 00 1111100
18 D 09 00 13 00 0000010
19 D 00 00 00 00 0000000
20 C BÖRVÄRDEN
21 D TA-1-BT1 SV(1) 22.00 FRÄNLUFTSBÖRVÄRDE
22 D TA-1-BT2 SV(2) 20.00 TILLUFTSBÖRVÄRDE
23 D TA-1-BT3 SV(3) 8.00 VARMHÅLLNINGSBÖRVÄRDE
24 C REGULATORER
25 D TA-1-R1 REG(1) FRÄNLUFTSREGULATOR
26 D PI 60S 0.25 0,1 12,30 -2.0 10.0
27 D TA-1-GT1 TA-1-BT1 TA-1-BT2
28 D TA-1-R2 REG(2) TILLUFTSREGULATOR
29 D PI 60S 0.5 0,1 0,1 -0.04 5.0
30 D TA-1-GT2 TA-1-BT2 TA-1-SV1
31 D TA-1-R3 REG(3) VARMHÅLLNINGREGULATOR
32 D PI 30S 1.0 0,1 0,1 -0.02 2.0
33 D TA-1-GT3 TA-1-BT3 TA-1-SV1
34 C LOGIKREGLERING
35 TC(1) AND NOT TA-1-FR AND NOT TA-1-MS SET TA-1-SS
36 C REGLERSEKVENNS
37 C TEST DRIFTSTILLSTAND
38 IF TA-1-SS THEN
39 C NORMALDRIFT
40 RSTART TA-1-R1
41 RSTART TA-1-R2
42 RSTOP TA-1-R3
43 ELSE
44 C ICKE DRIFT
45 RSTOP TA-1-R1
46 RSTOP TA-1-R2
47 C TEST VARMHÅLLNING
48 IF UHF THEN
49 C VARMHÅLLNING
50 RSTART TA-1-R3
51 ELSE
52 C STÅNG VÄRMEVENTIL
53 RMIN TA-1-R3
54 IFEND
55 IFEND

```

Alla rader som börjar med C är kommentarer och kan utformas helt godtyckligt. Kommentarer kan sällan göras alltför omfattande. Läsaren kan försöka läsa exemplet utan att läsa kommentarraderna.

En rad som börjar med bokstaven D, är en definition och formatet är fastlagt efter typ. Information på D-raderna extraheras till alla de olika tabellerna som ingår i datorsystemet. En fördel är att alla definitioner och funktioner är samlade på ett enda ställe, vilket ger en god överblick.

Något som har utelämnats är allmänna definitioner av olika standardfunktioner. Ett exempel på en standardfunktion är beteckningen GT1, som står för frånluftstemperatur, analogt mätvärde, strömsignal 4-20 mA, mätområde 0-40 °C, angiven skalning och filtrering (här utelämnad). Ett annat exempel är beteckningen FR som står för frysvakt, larmutskrift frysvakt utlöst vid tillstånd 1 (sann) och frysvakt återställd vid tillstånd 0 (falsk) och larm efter 30 sekunder.

Själva högnivåspråket som utför reglersekvensen blir det som återstår. I det givna exemplet så är den övervägande delen kommentarer och definitioner. Tomma rader kan också användas för att förbättra layouten och därmed läsbarheten. Detta har inte gjorts av utrymmes-skäl.

Kommentarer: Rad 1-5 ger en allmän beskrivning av aggregatet.

Rad 7-13 definierar de yttre processignalerna som skall anslutas till datorsystemet.

Alla beteckningar har en gemensam del nämligen aggregatbeteckningen här TA-1 och därefter följer en unik del som beskriver typen av givare och funktion. Dessa beteckningar kan sedan användas för att referera till, vilket kommer att ske längre ner i exemplet. Korta beteckningar är att föredra.

Rad 7-9 betecknar de tre temperaturgivarna för frånluft, tilluft och batteritemperatur. Förutom givarens beteckning så anges även dess

nummer i datorsystemet. De tre givarna ligger på analog ingång nr 1-3.

Rad 10-11 anger två logiska ingångar för frysvakt och motorskydd, som är anslutna på logisk ingång nr 1-2.

Rad 12 anger en logisk utgång nr 1, som är ansluten till tilluftsfläktens motorkontaktor för start och stopp och kan refereras med TA-1-SS eller LOUT(1).

Rad 13 definierar en integral utgång (öka/minska) IOUT(1) som är ansluten till värmeventilens ställdon.

Vilka nummer de olika in- och utgångarna skall ha bestäms automatiskt när systemet genereras.

Vilket nummer en in- eller utgång erhåller är egentligen ganska ointresseant och beteckning i klartext skall användas i stället vid olika referenser. TA-1-GT1 säger mycket mer än bara AIN(1).

Rad 16-19 definierar en tidsfunktion som betecknas TA-1-TR eller TC(1), Rad 17 anger drift från kl 0800 till kl 1800 under måndag till fredag. Drift sker dessutom under lördagar mellan kl 0900 till kl 1300.

Rad 21-23 definierar de tre börvärdena för önskade temperaturer.

Rad 25-33 beskriver de tre regulatorer som krävs för den angivna funktionen. En regulatordefinition börjar med regulatortyp följt av reglerintervall, dödzon, styrsignalens minsta och största tillåtna ändring, styrsignal intervall och regulatorparametrar förstärkning och integrationstid i samplingsintervall för regulatorn. På den tredje definitionsraden för varje regulator anges ärvärde (det som skall styras), börvärde (önskat värde) och styrsignal (regulatorns utsignal).

Reglerintervallet anger hur ofta regulatorn beräknas. Dödzon, inom

vilken reglering ej sker, är för de tre regulatorerna 0,25, 0,5 respektive 1,0 grader. Samtliga regulatorförstärkningar är negativa eftersom motsvarande processförstärkningar är positiva (ökande insignal medför ökande utsignal). Styrsignalintervallet för frånluftsregulatorn är begränsat till (12,30). Denna styrsignal utgör ett börvärde till tilluftsregulatorn. Börvärde TA-1-BT2 är alltså utsignal från regulator TA-1-R1 och ett börvärde till regulator TA-1-R2. Regulator TA-1-R1 är en kaskadregulator. Regulatorerna TA-1-R2 och TA-1-R3 har samma reglerutgång, nämligen ställdonet TA-1-SV1 och endast en regulator av de två är aktiv beroende på driftsfall.

Efter alla definitionerna så återstår det väsentligaste nämligen själva styr- och reglerfunktionen bestående av en logikdel och en reglerdel. Logikdelen består av ett uttryck, nämligen tidsvillkoret (tidursfunktion) och icke utlöst frysvakt och icke utlöst motorskydd, som sedan ovillkorligen påtryckes fläktmanövern. Regulatordelen inleds med en test, om fläktmanövern TA-1-SS är sann (fläkten skall gå), så beräknas först frånluftsregulatorn TA-1-R1 och därefter tilluftsregulatorn TA-1-R2 annars så beräknas varmhållningsregulatorn TA-1-R3 beroende av varmhållningsflaggan VHF. Vid normal drift så minbegränsas inte batteritemperaturen utan detta sker indirekt genom att tilluften regleras till minst 12 grader.

Observera att under icke drift så kan frånluftstemperaturregulatorns utsignal, som är tilluftsregulatorns börvärde, max- eller minställas så att start efter icke drift sker med högsta eller lägsta tilluftstemperatur. Programraden RSTOP TA-1-R1 ersätts med RMAX TA-1-R1 resp RMIN TA-1-R1.

Det använda exemplet är inte helt komplett, men avsikten har varit att belysa de stora linjerna och inte ta med störande detaljer. Ett exempel är förreglering i hårdvara av fläkt och uteluftspjäll med frysvakt. Vidare så är den använda anläggningstypen ytterst enkel. Den innehåller ingen sekvens mellan flera ställdon. Ett sådant exempel blir något mer omfattande och något svårare att förstå och därför olämpligt som ett förstagångsexempel.

För vanliga anläggningstyper så kan man ha färdigtryckta exempel, som

bara skall kompletteras med vissa uppgifter.

För den programmeringskunnige så är det också uppenbart att för flera identiska aggregat, så kan man anropa en subrutin, som är gemensam och som ger något kortare beskrivning och kräver mindre minnesutrymme. Kommentarer och definitioner är desamma.

Det här redovisade exemplet visar att ett datorprogram kan till största delen bestå av kommentarer och definitioner och till en mindre del av ren programkod (14 rader av 55).

Den här genomförda högnivåspråkprogrammeringen av exemplet har till största delen tillämpats av författaren i ett flertal anläggningar. Principen har varit att med IF-THEN-ELSE-satser ta hand om de olika driftsfallen.

En nackdel med detta programmeringssätt är att det finns ingen direkt utlösbar variabel som beskriver i vilket tillstånd ventilationsaggregatet befinner sig. En lösning på detta problem ges i nästa avsnitt.

### 7.5 Standardprogrammering med beslutstabell

Raderna 34-55 ersätts med följande rader när en beslutstabell används för att programmera funktionen. Beslutstabelltekniken har beskrivits mera ingående i avsnitt 6.8.

```

34  C   STYR OCH REGLERSEKVENSS MED BESLUTSTABELL
35  D   TA-1-BT  BESLUTSTABELL
36  D   TA-1-TSV TILLSTÄNDSVARIABEL
37  D   5 TILLSTÄN  4 INSIGNALER  4 UTSIGNALER
38  C   TILLSTÄN  1  2  3  4  5
39  C   INSIGNALER  STYRVILLKOR
40  D   TA-1-TR   0  0  1  X  X
41  D   TA-1-FR   0  0  0  X  X
42  D   TA-1-MS   0  0  0  X  X
43  D   VHF       0  1  X  0  1
44  C   UTSIGNALER  STYRÄTGÄRDER
45  D   TA-1-SS   0  0  1  0  0
46  D   TA-1-R1   0  0  1  0  0
47  D   TA-1-R2   0  0  1  0  0
48  D   TA-1-R3   0  1  0  0  1

```

Kommentarer: Rad 35 definierar en beslutstabell. Rad 36 anger den tillståndsvariabel som kan läsas av och påverkas av andra användareprogram och av användaren själv. Rad 37 anger antalet tillstånd, in-signalerna och utsignalerna. De fem tillstånden innebär

- |   |                          |                    |
|---|--------------------------|--------------------|
| 1 | normalt stoppat aggregat | ingen varmhållning |
| 2 | normalt stoppat aggregat | varmhållning       |
| 3 | normal drift             |                    |
| 4 | feltillstånd,            | ingen varmhållning |
| 5 | feltillstånd,            | varmhållning       |

### 7.6 Slutsummering

Avsikten med detta kapitel är att belysa möjligheterna till ett effektivt arbetssätt vid beskrivning, produktion, handhavande, underhåll och besiktning av datorstyrda klimatanläggningar. Idag har man möjligheten att bestämma sig för någon form av standardbeskrivning. Någon form av standard kan också vara till nytta för företag som önskar att nyetablera sig inom området. Det är också frågan om lite nytänkande eftersom konsulten skall behärska programmering med högnivåspråk eller beslutstabell. Datorteknik blir allt vanligare och programmering förekommer redan idag i nästan all ingenjörsutbildning. Slutsatserna kan sammanfattas till följande punkter.

- 1 Hela funktionen är kompakt och entydigt definierad på ett ställe
- 2 Alla kan tala samma språk; konsulter, styr- och reglerleverantörer, brukare och besiktningsmän
- 3 Beskrivningsdefinitioner kan direkt omsättas till en mängdförteckning
- 4 Konsulten programmerar funktionen som en beskrivning. Viss utbildning krävs.
- 5 Bättre erfarenhetsåterföring, då konsulten vet att funktionen blir den angivna.
- 6 Krångliga, besvärliga och oklara funktioner kommer konsulten att undvika eftersom programmeringsansvaret är konsultens.
- 7 Styr- och reglerföretaget kan använda sig av beskrivningen direkt vid programmeringen. Ytterst arbetsbesparande. Inget dubbelarbete.



- 8 Konkurrens sker på likartade villkor.
- 9 Användaren behöver bara sätta sig in i en enda beskrivning för att förstå och för att kunna kontrollera funktionen.
- 10 Dito vid besiktning.
- 11 En standard kan också vara av intresse för användare med flera anläggningar. Man har möjlighet att välja olika system, men beskrivning och funktion är lika. Operatörskommunikationen bör helst också vara lika.
- 12 Det här redovisade arbetssättet kan givetvis tillämpas på ett system med en enda dator och ett system med en central dator och flera underordnade datorer.
- 13 Beskrivningsförslaget ställer vissa minimikrav på datorsystem.
- 14 Utan en standard så kommer osäkerheten att öka och möjligheterna att effektivt utnyttja datortekniken för klimatanläggningar kommer att gå förlorad.

En naturlig fråga är; går detta att göra? Svaret är ja. Författaren har egna erfarenheter från ett likartat arbetssätt vilket har visat sig ytterst arbetsbesparande. Den programvara som skall generera datorsystemet utgående från beskrivningen torde inte vålla några svårigheter eftersom det finns flera programmeringsspråk som är lämpliga för den uppgiften. Det största problemet torde vara att enas om någon form av standard. Detta är kanske inte möjligt att göra i detalj, men mycket skulle kunna vinnas om man behåller principen för uppbyggnad av beskrivningen.

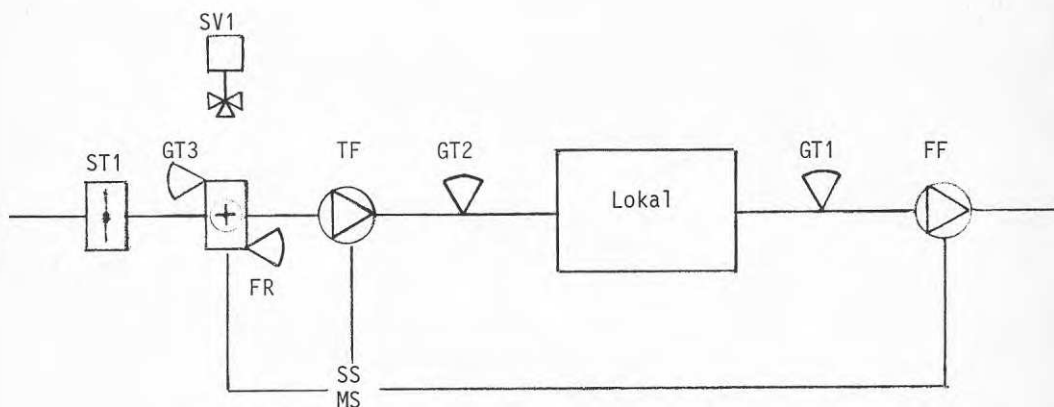


FIG.7.1 Principschema för luftbehandlingsaggregat TA-1.

## 8 ENERGIBESPARING MED ENTALPISTYRNING

### 8.1 Inledning

Entalpistyrning föreskrivs ofta i luftbehandlingsanläggningar med kyla och returluft för att spara energi. Hur stor besparingen blir nämns aldrig. Principen är att vid kyl drift så skall det luftflöde som har det lägsta värmeinnehållet eller som ger det lägsta kylbehovet väljas. Valet står mellan enbart uteluft eller en blandning av returluft och uteluft.

Först beskrivs tre olika styrsätt; normal, förenklad och förbättrad entalpistyrning. Beräkning av energibesparing med klimatdata för Danmark vid kylning till given entalpi resp till given temperatur görs sedan i de två följande avsnitten och därefter görs en uppsummering.

En utförligare behandling av en del av det här redovisade materialet återfinns i Jensen (1981), som även innehåller beräkningar för klimatdata från Malmö, Stockholm och Umeå.

### 8.2 Normal entalpistyrning

Funktionsprincip: I anläggningar med returluft och kyla och vid kyl drift gäller det att använda den luftström som har lägst entalpi (värmeinnehåll). Valet står mellan returluft och uteluft. Ett principalschema för ett ventilationssystem som kan tillämpa entalpi styrning ges i FIG.8.1.

I FIG.8.2 ges i ett Mollierdiagram exempel på för vilka lufttillstånd som entalpi styrning är aktiv, dvs när minsta uteluftsflöde används.

Mätprincip: Luftens entalpi kan ej mätas direkt utan måste beräknas från paret torr temperatur och relativ fuktighet, paret torr temperatur och daggtemperatur eller enbart våt temperatur. Det senaste alternativet med enbart våt temperatur måste utgå, eftersom det är en ganska känslig mätmetod (kräver regelbunden tillsyn).

En komplett entalpistyrutrustning med fyra givare och nödvändig beräkningselektronik kostar omkring 6000 kr exkl kabel och montage (1981). Kostnaden blir omkring densamma i en datorstyrd anläggning. Datorsystemets anpassningsenheter för givare och manöver kan kvittas mot den konventionella elektronikberäkningsenheten. Programvaran är ytterst enkel.

Programvarumässigt krävs en tabell eller en funktion  $f()$  som beskriver mättad lufts vatteninnehåll  $x_m$  som funktion av den torra temperaturen  $t$ . God noggrannhet kan uppnås med en funktion given i form av segment längs mätnadskurvan. Luftens vatteninnehåll beräknas med den torra temperaturen  $t$  och relativa luftfuktigheten  $\varphi$  som

$$x = \varphi \cdot x_m = \varphi \cdot f(t) \quad (8.1)$$

Luftens entalpi eller värmeinnehåll fås som

$$i = at + bx + ctx \quad (8.2)$$

där  $a$ ,  $b$  och  $c$  är kända konstanter.

Returlufttillståndet kan mätas både före och efter returluftsgrenen. Före returluftsavgreningen är bäst, eftersom alltid fullflöde. Ute-lufttillstånd mäts i intagskanalen.

Ett något konstlat alternativ till två mätpar är att endast använda ett givarepar i tilluften. Styrsystemet jämför uteluftens och returluftens entalpi genom att med jämna intervall växla över under en kortare tidsperiod. Ett problem är att få tillräcklig blandning innan givarna. Ett annat problem är att givarna måste vara snabba (liten tidskonstant). En fullständig växling behöver inte ske utan det räcker med en ändring av blandningsförhållandet uteluft-returluft.

Mätfel - omslagsfel: Mätfel hos de givare som används ger upphov till en systematisk felmätning, vilket medför att övergången till maximal tillåten returluftsmängd sker för tidigt eller för sent. Den reducerade besparingen är lätt att beräkna för givna omslagsfel, vil-

ket har gjorts genomgående. Ett omslagsfel på 2 och 4 kJ/kg används. Ett fel på 4 kJ/kg kan orsakas av ett temperaturfel på 1 °C tillsammans med ett relativt luftfuktighetsfel på 5% i området 20-25 °C och 40-50%. En olämplig placering av givarna kan också öka mätfelet.

I FIG.8.3 och 8.4 ges exempel på för sent och för tidigt omslag eller övergång till minsta uteluftsflöde.

### 8.3 Förenklad entalpistyrning

Funktionsprincip: Större delen av kostnaden för entalpistyrning utgörs av luftfuktighetsgivarna, vilka också kan stå för huvuddelen av omslagsfelet. En idé är att slopa luftfuktighetsgivarna och att skatta de relativa luftfuktighetsvärdena. Endast temperaturer mäts.

I vissa fall finns det redan temperaturgivare i uteluften och returluften. I en datorstyrd anläggning så anger operatören de uppskattade luftfuktighetsvärdena. Datorn beräknar motsvarande entalpi och väljer luftflödet med lägsta beräknade entalpin vid kyl drift.

Denna metod har använts tidigare före den renodlade entalpistyrningen. Den förenklade entalpistyrningen illustreras i ett Mollierdigram i FIG.8.5. Den förenklade styrmetoden kan delas upp i fyra olika driftsområden som har markerats i FIG.8.5.

A	max uteluft	uteluftsentalpi < returluftsentalpi
B	max uteluft	uteluftsentalpi > returluftsentalpi
C	max returluft	uteluftsentalpi < returluftsentalpi
D	max returluft	uteluftsentalpi > returluftsentalpi

Driftsområdena A och D är de samma som för den fullständiga entalpistyrningen. Skillnaden mellan de två metoderna är driftssättet i områdena B och C. Den förenklade metoden gör här fel. I område B sker drift med max uteluft när max returluft skulle ha använts och tvärtom för område C. Den felaktiga driften i områdena B och C ger en viss förlust, men eftersom entalpiskillnaden mellan uteluft och returluft är liten i dessa områden och eftersom varaktigheten normalt

är mindre för dessa områden B och C än för D, så reduceras den maximala besparingen bara till viss del vid övergång från fullständig till förenklad entalpistyrning.

Mätprincip: Enbart ute- och returluftstemperaturen mäts.

#### 8.4 Förbättrad entalpistyrning

Funktionsprincip: De flesta ventilationssystem har enbart temperaturreglering och inte någon fullständig fuktreglering. Kylning sker därför i sådana fall till en önskad tilluftstemperatur. Detta innebär att vid måttlig kylning av en godtycklig tillåten blandning av uteluft och returluft så blir sluttillståndet inte alltid det samma. Både vatteninnehåll och entalpi kan därför vara olika. Skillnaden i kylbehov kan därför inte beräknas med enbart utelufts- och returluftsentalpi. Av de möjliga blandningarna så måste tre fall undersökas, nämligen (1) enbart uteluft, (2) en blandning av uteluft och returluft vars vatteninnehåll är lika med den kylda tilluftens högsta möjliga vatteninnehåll (kylningen sker utan kondensation) och (3) en blandning av uteluft och returluft med minsta tillåtna uteluftsandel.

Fallet (2) är inte aktuellt när både uteluftens och returluftens vatteninnehåll samtidigt är mindre eller större än tilluftens högsta vatteninnehåll. I samtliga tre fall beräknas kylbehovet enkelt. I fallet (2) bestämmer tilluftens högsta vatteninnehåll blandningsförhållandet mellan uteluft och returluft. Blandningsförhållandet bestämmer också blandningens entalpi. Sluttillståndet är lika för fall (1) och (2).

I FIG.8.6 ges exempel på när de tre olika driftsfallen (1), (2) och (3) är aktuella.

Två förbättrade entalpistyrningssätt har använts vid beräkningen av energibesparingen. Förbättrad entalpistyrning steg 1 innebär att endast de två fasta ytterlighetsfallen (1) och (3) beaktas. I steg 2 ingår även fallet (2) med varierande blandningsförhållande. Steg 1 är enklare att styra eftersom det endast kräver maximal eller mini-

mal uteluft. Blandningsförhållandet skall i steg 2 regleras till ett beräknat värde.

När kylning sker till låga tilluftstemperaturer omkring  $12^{\circ}\text{C}$ , så är oftast sluttillståndet det samma för de tre fallen (1), (2) och (3), eftersom kondensering inträffar. Skillnaden är därför liten eller noll vid kraftig kylning mellan normal och förbättrad entalpistyrning.

Mätprincip: Mätning sker på samma sätt som för den normala entalpistyrningen och dessutom så ingår också den önskade tilluftstemperaturen.

### 8.5 Beräknad energibesparing vid kylning till given entalpi

Om returluftsentalpin antas vara konstant, kan energibesparingen beräknas med klimatdata. Dygnsmedelvärden kan inte användas, eftersom kortvariga toppar går helt förlorade. Besparing har beräknats för ett luftflöde på 1 kg/s under ett helt år.

I detta fall är det ingen skillnad mellan normal entalpistyrning och förbättrad entalpistyrning.

Besparingen har också beräknats för felaktigt omslag på grund av mätfel. Den förenklade entalpistyrningens energibesparing har beräknats för ett antal fall med olika antagande om uteluftens relativa luftfuktighet 50(10)100%.

Det går att visa att om returluftsentalpin beror på uteluftsentalpin gånger en konstant  $k$  plus en annan konstant, så reduceras besparingen med faktorn  $k$ . Detta innebär att om returluftsentalpin beror till 15% på uteluftsentalpin ( $k=0.15$ ) så reduceras besparingen till 85% av den optimala. Besparingen blir givetvis noll, när returluftsentalpin sammanfaller med uteluftens ( $k=1$ ).

Antagandet att returluftsentalpin är konstant gäller inte alltid. En nedre uppskattning av besparingen, när returluftsentalpin varierar

symmetriskt kring ett medelvärde, kan beräknas till besparingen för medelvärdet.

Besparingen skall endast beräknas på returluftflödet och givetvis inte tilluftsflödet. Driftsättet kan också reducera besparingen kraftigt. Några exempel är; endast dagdrift 10-20%, endast arbetsdagar 30% och semesterstängt 30%. I sämsta fall kan reduceringen bli 60%.

Energibesparing vid normal entalpistyrning: Timvärden från ett referensår för Danmark har använts. Energibesparingen har beräknats för rätt omslag och för olika omslagsfel, vilket redovisas i TAB.8.1. Tabellvärdena visar att besparingen avtar snabbt för ökande returluftsentalpi. Felaktigt omslag reducerar besparingen och relativt mer för höga värden på returluftsentalpin. För tidigt omslag ger mindre besparing än motsvarande fel vid för sent omslag.

Energibesparing vid förenklad entalpistyrning: Den förenklade entalpistyrningens besparing anges relativt den vid rätt omslag i TAB.8.2. Siffervärdena visar att vid låga returluftsentalpier så är den förenklade styrningen mycket effektiv och den relativa besparingen avtar med ökande returluftsentalpi. En annan observation är att det bästa relativa luftfuktighetsvärdet avtar med ökande returluftsentalpi, vilket är naturligt, då varm uteluft vanligtvis är torr.

I TAB.8.3 ges värden på medelvärden på uteluftens relativa luftfuktighet, vatteninnehåll och entalpi för olika uteluftstemperaturer. Siffrorna i TAB.8.3 visar grovt att den relativa luftfuktigheten i medel antar värden 85, 83, 76, 59 och 55% för uteluftsentalpierna 30, 35, 40, 45 och 50 kJ/kg.

## 8.6 Beräknad energibesparing vid kylning till given tilluftstemperatur

Energibesparingen för de olika styrsätten kan beräknas för ett år med väderdata och en del nödvändiga antaganden. Returluftens tillstånd påverkar besparingens storlek till stor del och följande temperaturnivåer 20 °C, 22 °C och 24 °C har kombinerats med följande relativa luftfuktigheter 30%, 50% och 70%. Tilluftstemperaturnivåer har varit 12 °C, 14 °C och 16 °C. Kylning har skett så att tilluftens relativa luftfuktighet har lägst varit 80%, 90% och 100%. Tilluftsfloppet är kontinuerligt och på 1 kg/s.

Minsta uteluftsandel är 25%. Fyra olika variabler har varierats med tre fall var, vilket ger totalt 81 olika beräkningsfall.

I TAB.8.4-8.6 anges kylbehovet i kWh vid ingen entalpistyrning, energibesparingen vid förbättrad entalpistyrning (steg 2) och den relativa besparingen mellan normal och förbättrad (steg 2) och mellan förbättrad (steg 1) och förbättrad (steg 2).

Siffrorna visar att den normala entalpistyrningen kan skilja sig betydligt från den förbättrade entalpistyrningen (steg 2). Skillnaden mellan den förbättrade styrningens steg 1 och steg 2 är mindre. Den normala entalpistyrningen kan medföra rena förluster i en del fall. Detta inträffar vid tillåten hög relativ luftfuktighet i tilluften, vid höga tilluftstemperaturer och vid låg relativ luftfuktighet i returluften. Den relativa skillnaden i besparing mellan den förbättrade styrningen steg 2 och den normala styrningen är minst för fallen med de mindre besparingarna, vilket beror på att sluttillståndet efter kylning är detsamma.

I TAB.8.7 görs en jämförelse mellan den beräknade besparingen i föregående avsnitt och den förbättrade entalpistyrningen i detta avsnitt. Nio olika returluftstillstånd har kombinerats med tre olika tilluftstemperaturer. Tilluftens relativa luftfuktighet har begränsats till högst 90%. Minsta uteluftsandelen har varit 0.25.



Energibesparingen beräknad efter enbart returluftsentalpi enligt det tidigare avsnittet har interpolerats fram från uteluftsentalpivärden med steget 1 kJ/kg och inte från TAB.8.1 och reducerats med 25% för uteluftsandelen.

Siffervärdena i TAB.8.7 visar att låg returluftsentalpi och låg relativ returlufts-fuktighet ger störst skillnader. Hög tilluftstemperatur ökar också skillnaden mellan beräknade besparingar.

I alla de hitintills gjorda beräkningarna så har returluftstillståndet antagits vara givet (torr temperatur och relativ luftfuktighet). Ett annat mer realistiskt antagande är att antaga att returluftens vatteninnehåll följer tilluftens. Detta antagande innebär att ingen avfuktning eller befuktning sker av lokalluften. Returluftens vatteninnehåll ligger egentligen efter tilluftens vatteninnehåll eftersom en viss upplagring sker i lokalluften. Detta modellfel/beräkningsfel är litet eftersom uteluftens vatteninnehåll varierar långsamt och eftersom antalet luftväxlingar kan vara 2-5 per timme. Det senare medför att lokalluftens vatteninnehåll efter en timme ligger nära tilluftens statistiska värde.

Den normala och den förbättrade entalpistyrningen blir identisk eftersom kylningen alltid ger samma sluttillstånd oberoende av vilken luftblandning som kyls. I TAB.8.8 återges den beräknade energibesparingen för nio olika tilluftstillstånd 12, 14 eller 16 °C torr temperatur kombinerat med 80, 90 eller 100% relativ luftfuktighet. Returluftstillstånden har varit 20, 22 och 24 °C. De beräknade besparingarna ligger mellan de beräknade för lägsta och högsta relativ luftfuktighet i returluften (30% resp 70%).

### 8.7 Slutsatser

Den möjliga energibesparingen vid entalpistyrning är kostnadsmässigt liten. Endast vid mycket stora luftflöden så kan merinvestering betalas tillbaka på några år. Mätnoggrannheten måste vara hög för att besparingen inte skall minska nämnvärt. Stora mätfel kan leda till förlust.

En bättre lönsamhet erhålls med den förenklade entalpistyrningen med endast en eller två temperaturgivare, vilka ofta finns installerade för andra funktioner. Besparingen blir mindre, men investeringskostnaden blir avsevärt mindre.

I de flesta fall så kommer besparingen att reduceras av minskad driftstid upp till 60% i sämsta fall.

Toppbelastningen på kylmaskin kan minskas med entalpistyrning, men detta kan inte vara ett avgörande skäl för att införa entalpistyrning, eftersom den förenklade entalpistyrningen minskar toppbelastningarna i samma omfattning som den fullständiga entalpistyrningen. Den förenklade styrningen gör endast fel på marginalfallen och inte extremfallen.

Kostnadsmässigt så kan de angivna energibesparingssiffrorna i kWh/år omvandlas till kronor, om kylkostnaden sätts till 0.05 kr/kWh (el-driven värmepump) och luftflödet sätts till 20 kg/s eller 0.1 kr/kWh resp 10 kg/s. De här antagna luftflödena motsvarar grovt 60000 m<sup>3</sup>/h resp 30000 m<sup>3</sup>/h vilket endast förekommer i större luftbehandlingsaggregat.

Skillnaden i driftskostnadsbesparing mellan fullständig och förenklad entalpistyrning är inte stor och tas hänsyn till mätfel, så är det tveksamt om fullständig entalpistyrning kan vara lönsam.

De redovisade beräkningarna av energibesparing vid entalpistyrning visar att den normalt tillämpade entalpistyrningen inte alltid kan uppnå den maximalt möjliga besparingen. I en del fall kan detta styrsätt leda till förluster. Kylbehovet blir då större än när ingen entalpistyrning alls används.

Den maximalt möjliga energibesparingen kan uppnås med en förbättrad entalpistyrning, i vilken kylbehovet beräknas för enbart uteluften och för en blandning uteluft-returluft. Vid kraftig kylning blir skillnaden liten.

De här genomförda beräkningarna får ses som ett försök att uppskatta energibesparingen vid entalpistyrning för olika styrsätt. Detta har gjorts med antagande om olika returlufts- och tilluftstillstånd.

Byggnadens och installationernas inverkan har helt utelämnats. En noggrann beräkning av entalpistyrningens energibesparing bör därför ske genom att modellera byggnaden, installationerna, reglersätt och olika belastningar och störningar. Denna modell tillsammans med klimatdata kan då simuleras för ett normalår och som resultat fås dels uppgifter om hur det termiska klimatet har varit i form av tidskurvor eller varaktighetskurvor och dels hur stor besparing som kan uppnås genom entalpistyrning.

Med en modell för hela byggnaden kan det också vara möjligt att utföra en förbättrad förenklad entalpistyrning utan luftfuktighetsgivare. Tilluftens vatteninnehåll är begränsat och ventilationsluftens vattenutbyte med byggnaden kan uppskattas grovt. Uteluftens vatteninnehåll kan uppskattas med medelvärden angivna i TAB.8.3.

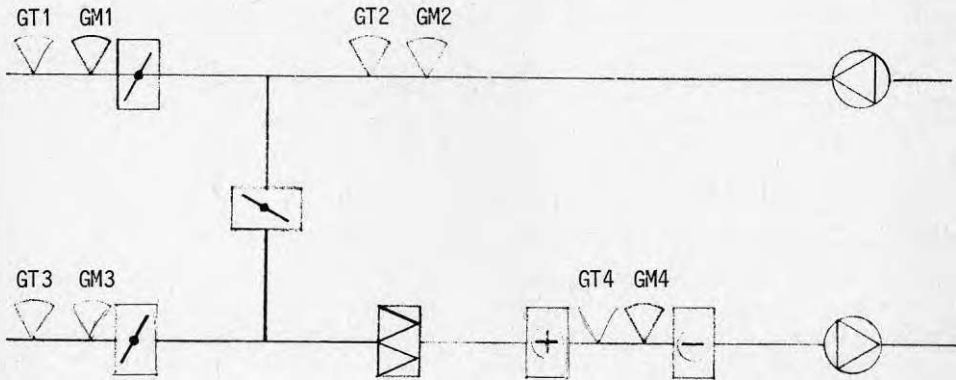


FIG.8.1 Luftbehandlingsanläggning som kan tillämpa entalpistyrning. Givarepar för returluft (GT1,GM1) eller (GT2,GM2) och för uteluft (GT3,GM3). Enbart givareparet (GT4,GM4) kan användas tillsammans med en provtagande spjällfunktion. Om den beräknade tilluftsentalpin avtar när spjälläget ändras så skall växling ske, annars inte.



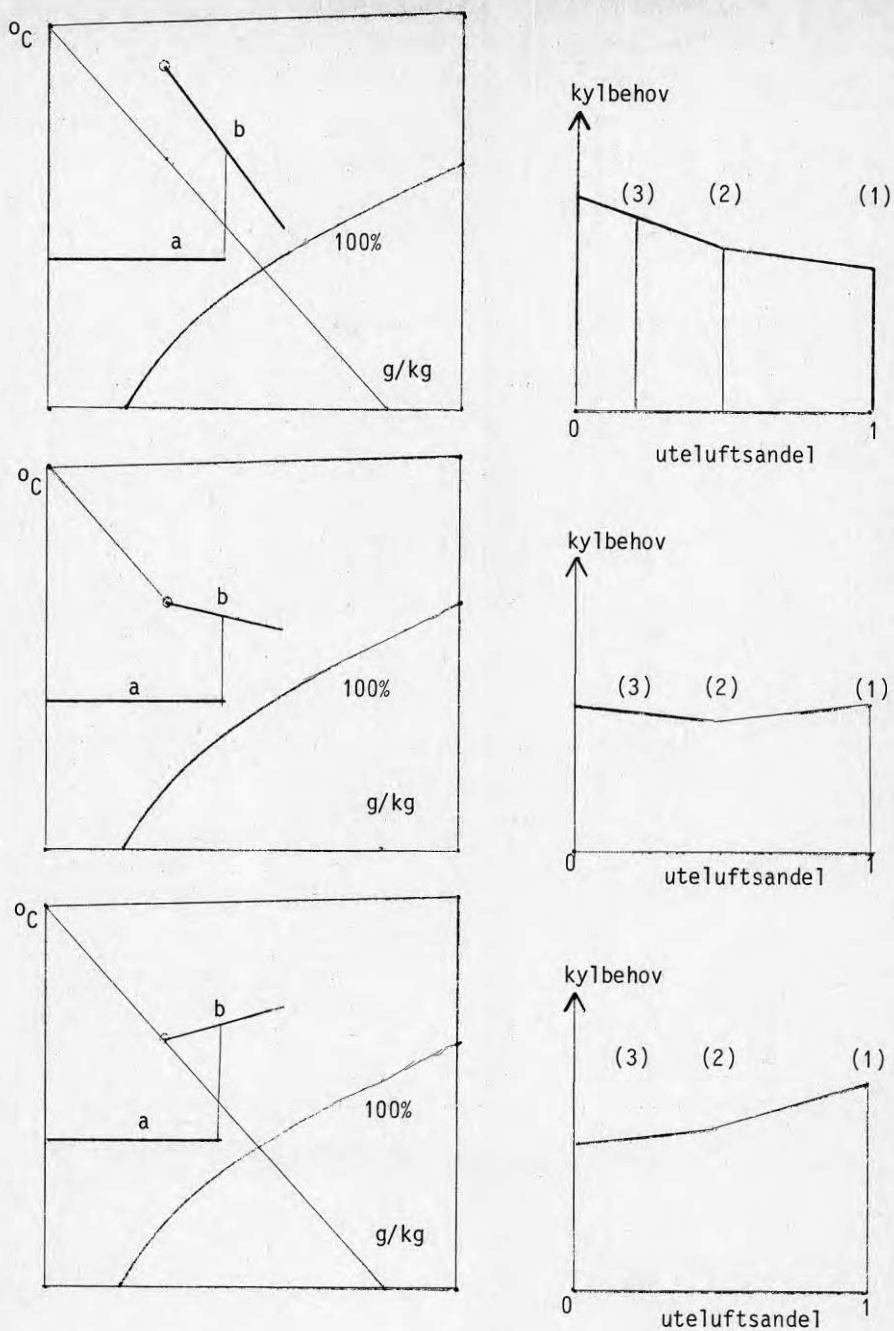


FIG.8.6 Exempel på driftsfall som ger minsta kylbehov vid olika uteluftsandel vid kylning till given tilluftstemperatur (linje a) inritat i Mollierdiagram (till vänster). Returluftstillstånd markerat med o. Blandning sker längs linjen b. Kylbehovet som funktion av uteluftsandel anges till höger.

TAB.8.1 Energibesparing i kWh/år vid entalpistyrning. Luftflöde 1 kg/s. Mätdata Danmark, referensår, SBI.

Returluftens entalpi kJ/kg	Besparing per år vid rätt omslag kWh/år	Relativ besparing i % vid olika omslagsfel i kJ/kg			
		-4	-2	2	4
20	65555	97	99	99	98
22	56559	97	99	99	98
24	48114	97	99	99	97
26	40206	97	99	99	96
28	32870	96	99	98	95
30	26188	95	98	98	93
32	20273	92	97	97	91
34	15187	89	97	97	88
36	10963	84	96	95	84
38	7570	77	93	94	82
40	5028	64	91	94	78
42	3218	51	88	91	74
44	1958	35	85	90	70
46	1147	10	82	88	66
48	646	-10	77	86	63
50	357	-41	72	84	75

TAB.8.2 Energibesparing i kWh/år vid förenklad entalpistyrning. Luftflöde 1 kg/s. Mätdata Danmark, referensår, SBI.

Returluftens entalpi kJ/kg	Besparing per år vid rätt omslag kWh/år	Relativ besparing i % vid olika omslag efter antagen konstant relativ uteluftfuktighet i %					
		50	60	70	80	90	100
30	26188	66	82	93	98	99	97
35	12977	49	71	84	90	91	86
40	5028	38	57	70	75	62	35
45	1507	38	53	42	0	-78	-191
50	357	21	12	-46	-214	-602	-1215

TAB.8.3 Uteluftens frekvens, relativa medelluftfuktighet, medelvatteninnehåll och medelentalpi för olika uteluftstemperaturnivåer. Mätdata Danmark, referensår, SBI.

Temperatur °C	Frekvens h	Relativ luft- fuktighet %	Vatten- innehåll g/kg	Entalpi kJ/kg
12	391	85	7.5	31.0
13	435	86	8.1	33.5
14	443	84	8.4	35.2
15	418	81	8.6	36.8
16	347	78	8.9	38.6
17	334	76	9.3	40.7
18	255	71	9.3	41.6
19	192	68	9.4	42.9
20	142	64	9.4	43.9
21	63	59	9.3	44.7
22	66	60	10.0	47.5
23	36	54	9.6	47.5
24	40	55	10.3	50.5
25	25	52	10.5	51.7
26	14	54	11.5	55.4
27	12	53	12.0	57.8



TAB.8.4 Kylbehov utan entalpistyrning A i kWh, energibesparing vid förbättrad entalpistyrning (steg 2) B i kWh, B/A som C i %, relativ besparing för normal entalpistyrning/B som D i % och för förbättrad entalpistyrning (steg 1)/B som E i % för olika tillufts- och returluftstillstånd för ett kontinuerligt luftflöde på 1 kg/s under ett år.  
Klimatdata referensår Danmark.  
Minsta uteluftsandel 25%.  
Högsta luftfuktighet efter kylning 80%.

Lufttillstånd			A	B	C	D	E
Tilluft	Returluft				B/A		
°C	°C	%	kWh	kWh	%	%	%
12	20	30	26890	10840	40	60	80
		50		5025	19	100	100
		70		938	3	100	100
	22	30		7801	29	67	81
		50		1811	7	100	100
		70		228	1	100	100
	24	30		4811	18	85	90
		50		565	2	100	100
		70		37	0	100	100
14	20	30	14887	6756	45	49	77
		50		4839	33	97	98
		70		947	6	99	99
	22	30		5239	35	26	69
		50		1820	12	100	100
		70		230	2	99	99
	24	30		3540	24	30	69
		50		566	4	100	100
		70		37	0	99	99
16	20	30	6745	3224	48	52	83
		50		2980	44	74	89
		70		1020	15	93	96
	22	30		2561	38	-4	69
		50		1702	25	94	97
		70		245	4	93	93
	24	30		1955	29	-54	59
		50		573	8	99	100
		70		39	1	95	95

TAB.8.5 Kylbehov utan entalpistyrning A i kWh, energibesparing vid förbättrad entalpistyrning (steg 2) B i kWh, B/A som C i %, relativ besparing för normal entalpistyrning/B som D i % och för förbättrad entalpistyrning (steg 1)/B som E i % för olika tillufts- och returluftstillstånd för ett kontinuerligt luftflöde på 1 kg/s under ett år.

Klimatdata referensår Danmark.

Minsta uteluftsandel 25%.

Högsta luftfuktighet efter kylning 90%.

Lufttillstånd			A	B	C	D	E
Tilluft	Returluft				B/A		
°C	°C	%	kWh	kWh	%	%	%
12	20	30	21478	7394	34	15	74
		50		4901	23	98	99
		70		946	4	99	99
	22	30		5533	26	14	69
		50		1819	8	100	100
		70		230	1	99	99
	24	30		3654	17	36	71
		50		566	3	100	100
		70		37	0	99	99
14	20	30	11196	3885	35	-10	75
		50		3330	30	63	87
		70		1003	9	94	97
	22	30		3043	27	-76	64
		50		1748	16	97	99
		70		242	2	94	94
	24	30		2205	20	-91	57
		50		571	5	99	100
		70		38	0	96	96
16	20	30	5049	1714	34	-0	85
		50		1650	33	31	87
		70		1170	23	86	100
	22	30		1266	25	-143	69
		50		1059	21	39	82
		70		290	6	79	84
	24	30		954	19	-288	56
		50		531	11	91	95
		70		45	1	82	82

TAB.8.6 Kylbehov utan entalpistyrning A i kWh, energibesparing vid förbättrad entalpistyrning (steg 2) B i kWh, B/A som C i %, relativ besparing för normal entalpistyrning/B som D i % och för förbättrad entalpistyrning (steg 1)/B som E i % för olika tillufts- och returluftstillstånd för ett kontinuerligt luftflöde på 1 kg/s under ett år.  
 Klimatdata referensår Danmark.  
 Minsta uteluftsandel 25%.  
 Högsta luftfuktighet efter kylning 100%.

Lufttillstånd			A	B	C	D	E
Tilluft	Returluft				B/A		
°C	°C	%	kWh	kWh	%	%	%
12	20	30	17293	4471	26	-68	73
		50		3666	21	73	89
		70		984	6	95	97
	22	30		3470	20	-90	63
		50		1795	10	99	100
		70		238	1	96	96
	24	30		2454	14	-59	59
		50		569	3	99	100
		70		38	0	97	97
14	20	30	8965	2053	23	-128	82
		50		1941	22	-1	86
		70		1153	13	86	100
	22	30		1554	17	-293	67
		50		1219	14	57	84
		70		275	3	83	85
	24	30		1175	13	-353	54
		50		560	6	97	99
		70		43	0	86	86
16	20	30	4229	961	23	-86	93
		50		948	22	-32	93
		70		911	22	71	97
	22	30		594	14	-442	81
		50		561	13	-69	85
		70		350	8	67	100
	24	30		393	9	-908	66
		50		309	7	22	83
		70		54	1	68	68

TAB.8.7 Jämförelse mellan olika beräknade energibesparingar.

Metod I besparing som funktion av enbart returluftsentalpi

Metod II besparing som funktion av returluftstillstånd, tilluftstemperatur, högsta relativa tilluftsluftfuktighet (90%) och minsta uteluftsandel 25%.

Returluftstillstånd			Beräknad energibesparing enligt			
Temperatur °C	Relativ luftfuktighet %	Entalpi kJ/kg	Metod I	Metod II Tilluftstemperatur		
				12°C	14°C	16°C
20	30	31.3	16473	7394	3885	1714
	50	38.8	4790	4901	3330	1650
	70	46.3	787	946	1003	1170
22	30	35.0	9600	5533	3043	1266
	50	43.5	1658	1819	1748	1059
	70	52.0	-	230	242	290
24	30	38.6	4992	3654	2205	954
	50	48.3	442	566	571	531
	70	57.9	-	37	38	45

TAB.8.8 Kylbehov utan entalpistyrning A i kWh, energibesparing vid entalpistyrning B i kWh och kvoten B/A som C i % för olika tilluftstillstånd och returluftstillstånd för ett kontinuerligt luftflöde på 1 kg/s under ett år. Returluftens vatteninnehåll är lika med tilluftens vatteninnehåll. Högsta luftfuktighet efter kylning 80, 90 eller 100%. Klimatdata referensår, Danmark.

Lufttillstånd					
Tilluft		Returluft °C	A kWh	B kWh	C B/A %
°C	max %				
12	80	20	26890	5842	22
		22		3904	15
		24		2529	9
	90	20	21478	3718	17
		22		2425	11
		24		1502	7
100	20	17293	2378	14	
	22		1460	8	
	24		873	5	
14	80	20	14887	3615	24
		22		2316	16
		24		1430	10
	90	20	11196	2142	19
		22		1301	12
		24		770	7
	100	20	8965	1326	15
		22		749	8
		24		422	5
16	80	20	6745	1996	30
		22		1205	18
		24		707	10
	90	20	5049	1177	23
		22		652	13
		24		362	7
	100	20	4229	795	19
		22		390	9
		24		202	5

## 9 PROGNOSEN AV UTETEMPERATUR MED EXTRAPOLATION

### 9.1 Inledning - problemställning

Avsikten med detta kapitel är att undersöka om extrapolation kan användas för att prediktera utetemperaturen. Detta kan dels gälla att prediktera nästa dygns medeltemperatur eller prediktera utetemperaturen någon timme framåt med kännedom om utetemperaturförloppet timme för timme bakåt i tiden.

Ett predikerat värde på dygnsmedeltemperaturen kan vara av intresse vid ackumulering i fjärrvärmenät eller vid nattackumulering i vattentankar. En för hög ackumuleringstemperatur medför större förluster och en för låg ackumuleringstemperatur är ofta katastrofal. I samband med val av driftssätt t ex nattkylning av kontorsbyggnader så kan det vara värdefullt att uppskatta nästa dygns medeltemperatur.

Klimatdata för ett år från Malmö, Stockholm och Umeå för 1971 har använts för att testa om extrapolation är en användbar metod.

### 9.2 Utvärderingssätt

Prediktionsmetoden som skall provas är inget annat än en extrapolation och kan skrivas som

$$p(t+p) = m(t) + a(m(t) - m(t-m)) \quad (9.1)$$

där

$$\begin{aligned} p(t+p) &= \text{predikerat värde } p \text{ tidssteg framåt} \\ m(t) &= \text{uppmätt värde (just nu)} \\ m(t-m) &= \text{uppmätt värde } m \text{ tidssteg bakåt} \\ a &= \text{extrapolationskonstant } 0 \leq a \leq p/m \end{aligned}$$

Prediktionsfelet kan anges som

$$e(t+p) = p(t+p) - m(t+p) \quad (9.2)$$

Prediktionsfelet kan beräknas enkelt för olika parametervärden på  $a$ . Två extremfall är  $a=0$  och  $a=p/m$ . Ett naturligt krav är att finna ett parametervärde  $a$  som ger ett så litet prediktionsfel i genomsnitt som möjligt. Minsta kvadratkriteriet minimerar summan av kvadraten på prediktionsfelet

$$V(a) = \sum_{t=1}^N e^2(t+p) \quad (9.3)$$

Prediktionsfelskvadraten kan uttryckas i kända mätvärden.

$$e^2(t+p) = (m(t+p) - (1+a)m(t) + a m(t-m))^2 \quad (9.4)$$

$$\begin{aligned} e^2(t+p) = & m^2(t+p) + (1+a)^2 m^2(t) + a^2 m^2(t-m) - \\ & - 2(1+a)m(t+p)m(t) + 2a m(t+p)m(t-m) - \\ & - 2a(1+a)m(t) m(t-m) \end{aligned}$$

Genom att beräkna summor av olika produkter av mätvärden  $M_{ij}$  där

$$M_{ij} = \sum_{t=1}^N m(t+i)m(t+j) \quad (9.5)$$

så kan förlustfunktionen för prediktionsfelet skrivas som

$$V(a) = M_{pp} + (1+a)^2 M_{oo} + a^2 M_{nn} - 2(1+a)M_{po} + 2aM_{pn} - 2a(1+a)M_{on} \quad (9.6)$$

Index  $n=-m$ . Efter hyfsning så fås en andragsgradsfunktion

$$V(a) = b_0 + b_1 a + b_2 a^2 \quad (9.7)$$

där

$$b_0 = M_{pp} + M_{oo} - 2M_{pa} \quad (9.8)$$

$$b_1 = 2(M_{oo} + M_{pn} - M_{po} - M_{on}) \quad (9.9)$$

$$b_2 = M_{oo} + M_{nn} - 2M_{on} \quad (9.10)$$

En extrempunkt till förlustfunktionen  $V(a)$  fås efter derivering som

$$a = -b_1/2b_2 \quad (9.11)$$

Hur känslig den här prognosmetoden är för störningar, t ex vitt brus, kan analyseras med följande processmodell som innehåller en trend-term  $kt$

$$m(t) = kt + e(t) \quad (9.12)$$

där  $e(t)$  är vitt brus oberoende i tiden och med variansen  $c^2$ . Fallet med  $m=1$  och  $p=1$  undersöks.

Efter omfattande men enkla beräkningar som utelämnas här, så fås extrempunkten som

$$a = ((k/c)^2 - 1) / ((k/c)^2 + 2) \quad (9.13)$$

Extrapolation sker när  $(k/c)^2 > 1$ , dvs när trendändringen per tidssteg  $k$  är större än brusets standardavvikelse  $c$ . Nedan ges några värden på  $a$  som funktion av kvoten  $k/c$ .

$k/c$	$a$
0	-0.5
1	0.0
2	0.5
3	0.73
4	0.83
5	0.89
10	0.97

Fallet  $k=0$ , ingen trend utan bara brus, visar att då sker en interpolation eller medelvärdesberäkning mellan de två ingående mätvärdena.

Mätdata: För året 1971 så har 365 dygn med 24 timvärden erhållits för orterna Malmö, Stockholm och Umeå. Mätadatamaterialet har tagits fram av SMHI. Förutom torr lufttemperatur så finns även daggpunkts-temperatur och en mängd solstrålningsdata att tillgå.



### 9.3 Analys av dygnsmedelvärden

Dygnsmedeltemperaturen har predikerats för 360 dygn för de tre orterna Malmö, Stockholm och Umeå. De fem första dygnen har använts som startvärden. Resultaten återges i TAB.9.1 och omfattar kombinationer av olika prediktionsintervall och olika mätintervall. Tabellerna innehåller bästa extrapolationskoefficient  $a_{\min}$ , extrapolationsgrad  $a_{\min} m/p$ , extrapolationsförhållande  $p/m$ , prediktionsfelets standardavvikelse vid ingen ( $a=0$ ), bästa ( $a=a_{\min}$ ) och största extrapolation ( $a=p/m$ ).

Interpolation sker i samtliga fall och utom för fallet med  $m=1$  och  $p=1$ . Det optimala prediktionsfelet ligger obetydligt under prediktionsfelet för  $a=0$ . Prediktionsfelet för  $a=p/m$  är klart större. Interpolationsgraden ökar med ökande prediktionsintervall och samtidigt så ökar prediktionsfelet. Ökande mätintervall medför också ökande interpolationsgrad men prediktionsfelet är konstant vid samma prediktionsintervall.

En annan observation är att prediktionsfelet är minst för Malmö och störst för Umeå.

### 9.4 Analys av timvärden

Bearbetningen har skett på samma sätt som för dygnsmedelvärden. Resultaten återges i TAB.9.2. Prediktionsfelen är mindre än prediktionsfelen för dygnsmedelvärden. Extrapolationsgraden är klart större än för dygnsmedelvärdena, som uppvisade genomgående interpolation. Extrapolationsgraden avtar med ökande prediktionsintervall. Extrapolationsgraden ökar med ökande mätintervall vid konstant prediktionsintervall. Även för timvärdena så är prediktionsfelet minst för Malmö och störst för Umeå.

### 9.5 Slutsatser

Endast en obetydlig förbättring uppnås med den använda prognosmetoden. I fallet med dygnsmedelvärden så resulterar metoden i en interpolation utom i ett fall, som motsvarar en extrapolation. Skillnaden mellan den bästa extrapolationen/interpolationen och det senaste mätvärdet är obefintlig.

I fallet med prognos av timvärden så sker extrapolation i samtliga fall och extrapolationsgraden  $a_{\min}^{m/p}$  varierar mellan 25 och 50%. Förbättringen jämfört med den enkla prognosmetoden, det senaste värdet, är endast 10%. Den avslutande slutsatsen blir därför att extrapolation som prognosmetod av utetemperatur inte är en användbar metod, då förbättringen jämfört med det senaste mätvärdet är liten.

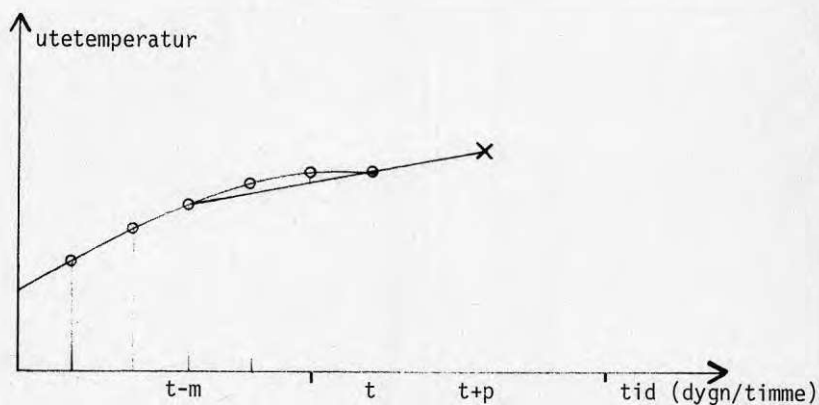


FIG.9.1 Prognos av utetemperatur med extrapolation markerat med x för fallet  $m=3$  och  $p=2$ . Mätta utetemperaturer markerade med o finns upp till tidpunkten  $t$ .

TAB.9.1 Prediktion av utetemperaturens dygnsmedelvärde för 360 dygn. 1-4 dygn framåt (p).

Ort	m	p	$a_{\min}$	$a_{\min}m/p$	p/m	prediktionsfelets standardavvikelse för			
						a=0	a= $a_{\min}$	a=p/m	
Malmö	1	1	.074	.074	1.000	1.94	1.93	2.64	
	1	2	-.050	-.025	2.000	2.84	2.84	4.89	
	1	3	-.147	-.049	3.000	3.39	3.38	6.98	
	1	4	-.269	-.067	4.000	3.77	3.73	9.08	
	2	1	-.024	-.049	.500	1.95	1.95	2.45	
	2	2	-.128	-.128	1.000	2.85	2.83	4.28	
	2	3	-.233	-.156	1.500	3.41	3.35	5.95	
	3	1	-.049	-.146	.333	1.95	1.94	2.33	
	3	2	-.161	-.241	.667	2.85	2.80	3.96	
	4	1	-.071	-.284	.250	1.95	1.93	2.28	
	Stockholm	1	1	.008	.008	1.000	2.57	2.57	3.61
		1	2	-.141	-.071	2.000	3.71	3.69	6.59
1		3	-.248	-.083	3.000	4.32	4.27	9.32	
1		4	-.367	-.092	4.000	4.68	4.59	12.04	
2		1	-.059	-.117	.500	2.60	2.59	3.29	
2		2	-.191	-.191	1.000	3.71	3.64	5.66	
2		3	-.305	-.203	1.500	4.30	4.15	7.77	
3		1	-.090	-.270	.333	2.61	2.58	3.16	
3		2	-.234	-.351	.667	3.72	3.58	5.27	
4		1	-.116	-.465	.250	2.61	2.55	3.07	
Umeå		1	1	.015	.015	1.000	3.30	3.30	4.63
		1	2	-.161	-.080	2.000	4.68	4.65	8.52
	1	3	-.266	-.089	3.000	5.43	5.36	12.05	
	1	4	-.313	-.078	4.000	5.88	5.79	15.38	
	2	1	-.086	-.172	.500	3.31	3.28	4.29	
	2	2	-.227	-.227	1.000	4.75	4.63	7.40	
	2	3	-.296	-.197	1.500	5.45	5.26	9.96	
	3	1	-.099	-.296	.333	3.33	3.29	4.04	
	3	2	-.222	-.333	.667	4.73	4.58	6.64	
	4	1	-.104	-.417	.250	3.36	3.30	3.91	

TAB.9.2 Prediktion av utetemperaturens timvärde för 360 dygn.  
1-4 timmar framåt (p).

Ort	m	p	$a_{\min}$	$a_{\min}^{m/p}$	p/m	prediktionsfelets standardavvikelse för			
						a=0	a= $a_{\min}$	a=p/m	
Malmö	1	1	.382	.382	1.000	.87	.80	.96	
	1	2	.696	.348	2.000	1.44	1.31	1.73	
	1	3	.914	.305	3.000	1.97	1.80	2.55	
	1	4	1.020	.255	4.000	2.45	2.28	3.45	
	2	1	.252	.504	.500	.87	.79	.86	
	2	2	.445	.445	1.000	1.44	1.29	1.52	
	2	3	.562	.375	1.500	1.97	1.79	2.24	
	3	1	.177	.532	.333	.87	.79	.85	
	3	2	.301	.452	.667	1.44	1.31	1.50	
	4	1	.128	.511	.250	.87	.81	.86	
	Stockholm	1	1	.382	.382	1.000	.95	.88	1.06
		1	2	.718	.359	2.000	1.59	1.43	1.88
1		3	.946	.315	3.000	2.18	1.98	2.79	
1		4	1.073	.268	4.000	2.71	2.51	3.76	
2		1	.260	.519	.500	.95	.86	.94	
2		2	.463	.463	1.000	1.59	1.41	1.64	
2		3	.592	.395	1.500	2.18	1.96	2.43	
3		1	.182	.546	.333	.95	.87	.93	
3		2	.315	.472	.667	1.59	1.43	1.62	
4		1	.133	.530	.250	.95	.88	.94	
Umeå		1	1	.413	.413	1.000	1.11	1.01	1.21
		1	2	.745	.373	2.000	1.87	1.68	2.18
	1	3	.946	.315	3.000	2.57	2.34	3.28	
	1	4	1.047	.262	4.000	3.19	2.97	4.43	
	2	1	.264	.527	.500	1.11	1.00	1.09	
	2	2	.452	.452	1.000	1.87	1.67	1.96	
	2	3	.559	.373	1.500	2.57	2.35	2.93	
	3	1	.178	.534	.333	1.11	1.02	1.09	
	3	2	.297	.446	.667	1.87	1.71	1.96	
	4	1	.128	.510	.250	1.11	1.04	1.11	



## 10 TILLUFTSTEMPERATURREGLERING MED BATTERIGIVARE

### 10.1 Inledning - problemställning

Detta kapitel kan ses som ett exempel på hur en dator kan användas för att reglera efter en variabel som beräknats med hjälp av några uppmätta variabler. En givare sparas in.

Uteluft som värms med ett vattenbatteri regleras i regel med en givare i luftkanalen efter batteriet. Den primära regleruppgiften är ofta någon lokal eller frånluftstemperatur. Reglertekniskt sett kan en lokal eller frånluftstemperatur regleras direkt utan någon tilluftstemperatur, men tilluftstemperaturen måste begränsas neråt på grund av kondensrisken och därför krävs en tilluftgivare.

När aggregatet inte är i drift så skyddas batteriet mot sönderfrysning genom att reglera batteriets utloppstemperatur till en given temperatur. För detta krävs en givare i batteriets utlopp.

Ett annat sätt att skydda batteriet är den så kallade Norrlandskopplingen, som innebär att värmeventilen är fullt öppen när aggregatet ej är i drift. Övergång till normal drift kan ibland vålla problem eftersom tilluftstemperaturen regleras ner för snabbt så att frysvakten löser ut och stoppar aggregatet.

Metoden med två givare är säkrare men dyrare och mer tekniskt komplicerad. En idé till förenkling är att bara utnyttja batterigivare och utetemperaturen för att beräkna tilluftstemperaturen. De nödvändiga beräkningarna kan lätt utföras i en dator som reglerar och styr klimatanläggningen. Konventionell teknik kan också användas.

### 10.2 Beräkningsmodell baserad på konstruktionsdata

Lufttemperatur efter ett vattenluftbatteri kan beräknas med följande antagande

- 1 luftflödet är konstant
- 2 vattenflödet är konstant
- 3 luftens inloppstemperatur är känd
- 4 vattnets utloppstemperatur är känd
- 5 värmetransporten mellan vatten och luft är proportionell mot temperaturskillnaden

och med följande temperaturbeteckningar

- $T_{lf}$  luft före batteri  
 $T_{le}$  luft efter batteri  
 $T_{vf}$  vatten före batteri  
 $T_{ve}$  vatten efter batteri

Önskade temperaturer erhåller även index b. Vattenflödet är alltid konstant på grund av egen cirkulationskrets. Luftflödet varierar givetvis när hel och halvfarts fläktar förekommer. Inloppsluften antas vara uteluft, vars temperatur mäts ofta för något annat ändamål.

Antagandet att värmetransporten är linjär stämmer ganska bra med katalogdata. Med de gjorda antaganden så kan de två temperaturerna efter batteriet beskrivas som en interpolation mellan de två temperaturerna före batteriet.

$$T_{le} = aT_{lf} + (1-a)T_{vf} \quad 0 < a < 1 \quad (10.1)$$

$$T_{ve} = bT_{lf} + (1-b)T_{vf} \quad 0 < b < 1 \quad (10.2)$$

Enligt förutsättningarna så är  $T_{lf}$  och  $T_{ve}$  kända och  $T_{le}$  och  $T_{vf}$  är okända. Ekvation (10.2) används för att eliminera  $T_{vf}$  ur ekvation (10.1), vilket ger

$$T_{le} = (1-c)T_{lf} + cT_{ve} \quad (10.3)$$

där

$$c = (1-a)/(1-b) \quad (10.4)$$

Samband (10.3) kan nu användas för att beräkna den önskade vattentemperaturen efter batteriet  $T_{veb}$  med hjälp av den önskade lufttemperaturen efter batteriet  $T_{leb}$  och dito rådande före batteriet  $T_{lf}$

$$T_{veb} = T_{lf} + d(T_{leb} - T_{lf}) \quad (10.5)$$

där

$$d = 1/c = (1-b)/(1-a) \quad (10.6)$$

Parametrarna  $a$ ,  $b$ ,  $c$  och  $d$  kan enkelt beräknas med följande dimensionerade temperaturer  $T_{lf} = -20$  °C,  $T_{le} = 20$  °C,  $T_{vf} = 80$  °C och  $T_{ve} = 60$  °C till  $a = 0.6$ ,  $b = 0.2$ ,  $c = 0.5$  och  $d = 2.0$ .

Beräkningsfel: En naturlig fråga är hur stort fel kan det bli mellan den beräknade och verkliga tilluftstemperaturen  $T_{leb}$  resp  $T_{le}$  när batteritemperaturen är den önskade, dvs när  $T_{ve} = T_{veb}$ . Följande gäller

$$T_{ve} = T_{lf} + d(T_{le} - T_{lf}) \quad (\text{verkligt samband})$$

$$T_{veb} = T_{lf} + d_b(T_{leb} - T_{lf}) \quad (\text{antaget samband})$$

Enkla räkningar ger

$$T_{leb} = T_{lf} + \frac{d}{d_b}(T_{le} - T_{lf}) \quad (10.7)$$

Det största felet definieras som

$$T_{lee} = T_{leb} - T_{le} \quad (10.8)$$

och tillsammans med ekv (10.7) fås

$$T_{lee} = \left(\frac{d}{d_b} - 1\right)(T_{le} - T_{lf}) \quad (10.8)$$

De fel som är allvarligast, uppträder vid låga tilluftstemperaturer



omkring  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$  med risk för kondens. Utetemperaturen  $T_{1f}$  kan vara godtycklig eftersom låga tilluftstemperaturer  $T_{1e}$  kan förekomma större delen av året. Temperaturskillnaden bör därför alltid uppskattas uppåt för dessa driftsfall. Antag därför att temperaturskillnaden ( $T_{1e}-T_{1f}$ ) är omkring  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , vilket bör täcka de flesta driftsfallen, då får det relativa felet i parametern ej överstiga 10%, om felet i tilluftstemperatur skall vara mindre än  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Metodens användbarhet beror därför på hur väl parametern  $d_b$  kan bestämmas. En möjlighet är att i ett driftsfall med lämpliga temperaturnivåer beräkna parametern  $d_b$ . En annan metod är att använda datablad för batteriet, luft- och vattenflöde.

En annan naturlig frågeställning är: vad händer när luftflödet minskar på grund av försmutsning av luftbehandlingsaggregatet och kanalsystemet? I de kommande avsnitten visar det sig att parametern  $d$  avtar med luftflödet  $Q_1$ . Detta medför att kvoten  $d/d_b$  också avtar med följd att tilluftstemperaturfelet  $T_{1ee}$  minskar och blir negativt. Den verkliga tilluftstemperaturen  $T_{1e}$  ligger därför alltid över den önskade  $T_{1eb}$ .

Effektkänslighet och flödeskänslighet: En naturlig fråga är om parametern  $d$  varierar med olika driftspunkter/effekter vid samma flöden. Värmeövergångstalen för olika ytor kan tänkas variera med temperaturskillnaden. Ändrade flöden medför ändrade temperaturskillnader och därmed ändras parametern  $d$ . En enkel kontroll kan göras med hjälp av datablad för luftvärmare. Enligt databladens nomogram så är parametern  $d$  oberoende av effektuttaget och temperaturskillnaden.

Nomogrammen har även använts för att undersöka hur variationer i både luftflöde och vattenflöde påverkar parametern  $d$ . Båda flödena varierades  $\pm 20\%$ . Resultatet blev att parametern  $d$  var okänslig för variationer i vattenflödet och var känslig för luftflödesvariationer. Parametern  $d$  ökade omkring 13% vid en flödesökning på 20% och minskade omkring 7% vid en luftflödesminskning på 20%. Det skall påpekas att de beräknade  $d$ -parametrarna är något osäkra på grund av avläsningsfel i nomogrammen.

### 10.3 Beräkningsmodell baserad på enkla värmebalansekvationer

I den tidigare modellen används endast in- och utgående temperaturer för att bestämma parametern  $d$ . I detta avsnitt skall en modell baserad på enkla värmebalansekvationer användas. Tre olika fall skall undersökas beroende på hur temperaturskillnaden mellan de två flödena i värmebatteriet beskrivs.

Luftens och vattenflödets värmeöverföringskapacitet antas vara  $Q_l$  och  $Q_v$ . Batteriets värmeöverföringskoefficient mellan luftflöde och vattenflöde betecknas  $Ah$ . Temperaturskillnaden mellan de två flödena har antagits vara

- alt 1 skillnaden mellan utloppstemperaturerna
- alt 2 skillnaden mellan medeltemperaturerna för in- och utloppstemperaturerna
- alt 3 skillnaden mellan inloppstemperaturerna

Den överförda värmeeffekten från vatten till luft kan därför för de tre alternativen skrivas som

$$P_1 = Ah(T_{ve} - T_{le}) \quad (10.10)$$

$$P_2 = Ah(T_{vf} + T_{ve} - T_{lf} - T_{le})/2 \quad (10.11)$$

$$P_3 = Ah(T_{vf} - T_{lf}) \quad (10.12)$$

Från vattenflödet avgiven effekt och av luftflödet upptagen effekt kan anges som

$$P_v = Q_v(T_{vf} - T_{ve}) \quad (10.13)$$

och

$$P_l = -Q_l(T_{lf} - T_{le}) \quad (10.14)$$

De tre alternativa uttrycken (10.10), (10.11) och (10.12) kan nu användas tillsammans med uttrycken (10.13) och (10.14) för att beräkna tre alternativ på parametern  $d$ , som återges nedan

$$d_1 = 1 + Q_1/Ah \quad (10.15)$$

$$d_2 = (1 + 2Q_1/Ah - Q_1/Q_V)/2 \quad (10.16)$$

$$d_3 = Q_1/Ah - Q_1/Q_V \quad (10.17)$$

En omedelbar observation är att parametern  $d_2$  är ett medelvärde av parametrarna  $d_1$  och  $d_3$ , vilket kan jämföras med att temperaturskillnaden mellan vatten och luft i modell 2 är ett medelvärde av dito för modell 1 och 3.

Uttrycken (10.15), (10.16) och (10.17) är inte direkt jämförbara eftersom parametern  $Ah$  varierar i förhållande till parametrarna  $Q_1$  och  $Q_V$  beroende på modellen. Kvoten  $Q_1/Ah$  har beräknats för de tre modellerna och för samma dimensionerande data som tidigare ( $T_{1f} = -20$  °C,  $T_{1e} = 20$  °C,  $T_{vf} = 80$  °C och  $T_{ve} = 60$  °C).

$$Q_1/Ah = 1.0 \quad \text{modell nr 1}$$

$$Q_1/Ah = 1.75 \quad \text{modell nr 2}$$

$$Q_1/Ah = 2.5 \quad \text{modell nr 3}$$

Övriga kvoter kan enkelt beräknas eftersom  $Q_V = 2Q_1$ . Kvoterna ovan ändrar sig eftersom temperaturskillnaden ändrar sig från 40 °C, 70 °C till 100 °C för de tre modellerna.

I TAB.10.1 återges parametern  $d$  beräknad för de tre olika modellerna och för olika kombinationer av flödesvariationer  $\pm 20\%$ . Siffrorna i TAB.10.1 visar att parametern  $d_1$  är oberoende av vattenflödet och att  $d_3$  är mer beroende av vattenflödet än  $d_2$ . De största variationerna beror för samtliga modeller på luftflödet.

#### 10.4 Tillämpningar

I detta avsnitt skall olika tillämpningsmöjligheter behandlas. Nedan ges en sammanställning. Den angivna ordningsföljden är den samma i luftens strömningsriktning.

fall	aggregattyp
1	värmare
2	kyla-värmare
3	återluft-värmare
4	återvinning-värmare
5	återluft-kyla-värmare
6	återvinning-kyla-värmare

I samtliga fall finns utegivare och batterigivare och i fallen med återluft eller återvinning finns en returluftsgivare.

Kyla kan vara av godtycklig typ. Vid normal drift så är en batterigivare en god medelvärdesgivare för tilluften när värmeventilen är stängd. Kyla, återluft eller återvinning regleras alltså med batterigivaren.

Fallet 1, värmare: När aggregatet är ur drift så varmhålls batteriet vid utetemperaturer under varmhållningstemperaturen och värmeventilen stängs vid utetemperaturer över varmhållningstemperaturen. Vid normal drift så regleras den beräknade tilluftstemperaturen vid utetemperaturer under den önskade tilluftstemperaturen och över så stängs värmeventilen.

Fallet 2, kyla-värmare: Kyldrifft sker med stängd värmeventil och tilluften regleras direkt efter batterigivaren. För övrigt se fallet 1.

Fallet 3, återluft-värmare: En givare i returluften krävs. Vid reglering med återluft så beräknas rådande och önskat blandningsförhållande med utegivare, returluftsgivare, batterigivare och önskad tilluftstemperatur. Vid värmedrift så sparas rådande blandningsförhål-

lande för att beräkna till värmebatteriet ingående lufttemperatur.

Fallet 4, återvinning-värmare: Helt analogt med fallet 3. Verkningsgrad beräknas i stället för blandningsförhållande.

Fallet 5, återluft-kyla-värmare: Vid återluftdrift, kyl drift och värmedrift analogt med fallen 3, 2 respektive 3.

Fallet 6, återvinning-kyla-värmare: Vid reglering av tilluften med återvinning, kyla och värme se fallen 4, 2 respektive 4.

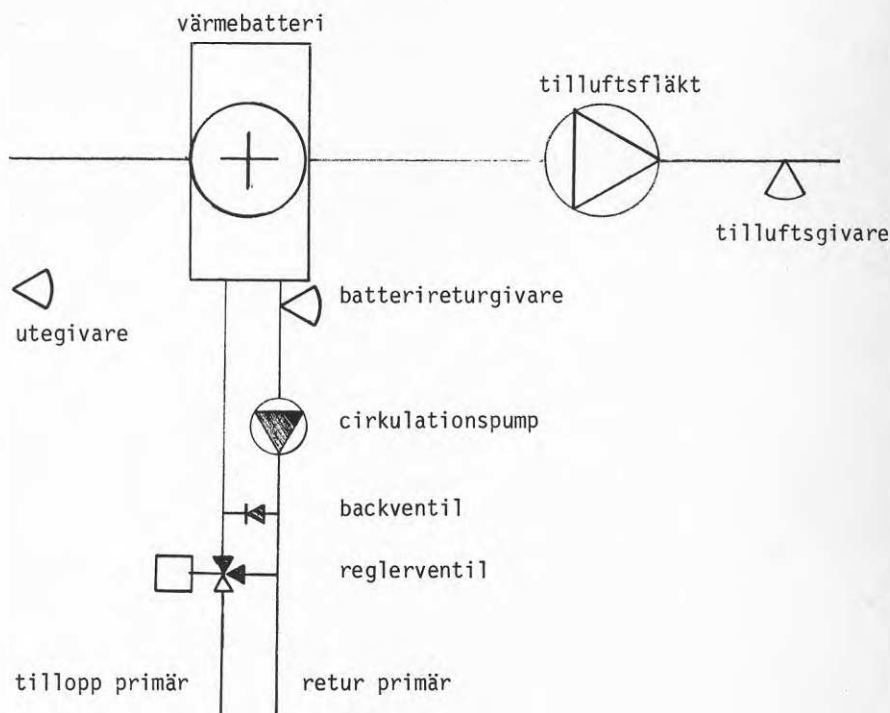


FIG.10.1 Värmebatteri med tillhörande cirkulationskrets.

TAB.10.1 Parametern  $d$  för olika modeller  
och för olika flödesvariationer  
 $\pm 20\%$ .

" $Q_1$ " %	" $Q_v$ " %	$d_1$	$d_2$	$d_3$
80	80	1.80	1.65	1.50
80	100	1.80	1.70	1.60
80	120	1.80	1.73	1.67
100	80	2.00	1.94	1.88
100	100	2.00	2.00	2.00
100	120	2.00	2.04	2.08
120	80	2.20	2.22	2.25
120	100	2.20	2.30	2.40
120	120	2.20	2.35	2.50



## 11 REFERENSER

- Hedin, Björn, 1980, Identifiering av dynamiska modeller för temperaturen i ett kontorslandskap. Examensarbete reglerteknik, LTH. CODEN: LUTFD2/(TFRT-5231)/1-084/(1980).
- Jensen, Lars, 1974, Computer programs for fullscale experiments. Workreport, BKL 1974:13.
- Jensen, Lars, 1976, Digital reglering av klimatprocesser. Arbetsrapport BKL 1976:12.
- Jensen, Lars, 1978, Digital reglering av klimatprocesser. BFR-rapport S37:78.
- Jensen, Lars och Tiljander, Svengunnar, 1981, Marknadsundersökning av datoriserade styr- och reglersystem för byggnadsklimatsystem. BFR-rapport R88:1981.
- Jensen, Lars, 1981, Energibesparing med entalpistoering. Utvärdering med klimatdata. Arbetsrapport BKL 1981:2.
- Jensen, Lars och Lange, Egon, 1982, Energianvändning och energibesparing i Malmö. Undersökning av ett höghus. BFR-rapport R9:1982.
- Tiljander, Svengunnar, 1981, Prov med enkel självinställande PI-regulator för till- och frånluftsreglering (opublicerat material).





Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
740622-5 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Institutionerna för Byggnadsfunktionslära  
och Reglerteknik, LTH, Lund.

R77: 1982

ISBN 91-540-3742-5

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700577

Abonnemangsgrupp:  
W. Installationer

Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 7853  
103 99 Stockholm

Cirka pris: 45 kr exkl moms