

IDENTIFIERING AV DYNAMISKA MODELLER FÖR
TEMPERATUREN I ETT KONTORSLANDSKAP

BJÖRN HEDIN

INSTITUTIONEN FÖR REGLERTEKNIK
LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
1980

IDENTIFIERING AV DYNAMISKA MODELLER FÖR TEMPERATUREN
I ETT KONTORSLANDSKAP.

BJÖRN HEDIN

FÖRORD

I denna rapport behandlas ett antal försök som utförts för identifiering av uppvärmningssystemet i ett kontorslandskap på ASG storterminal i Malmö.

Byggnaderna är utrustade med en datorstyrd klimatanläggning för mätvärdesinsamling, reglering och övervakning av inomhusklimatet. Via modem och telefonnätet har datorn på ASG kopplats samman med en större dator på institutionen för Reglerteknik i Lund. På så sätt har det varit möjligt att göra fullskaleförsök, där datorn i Lund styr uppvärmningen av kontorslandskapet på lämpligt sätt för att genom direkta mätningar på temperaturförloppen kunna bestämma modeller för temperaturen i lokalen. Eftersom landskapet värms av flera oberoende system så har det betraktats som en "reglerteknisk process" med flera in- och utsignaler.

De dynamiska modellerna är avsedda att beskriva lokalens temperatur och kan användas för att bestämma lämpliga regulatorer.

Arbetet har utförts som examensarbete med t f professor Lars Jensen som handledare. Från ASG:s sida har terminalchef Nils Lindhe medverkat.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	FÖRUTSÄTTNINGAR	1
1.1	Kontorslandskapet	1
1.2	Klimatanläggningen	6
1.3	Klimatregleringen	8
1.4	Dataöverföring och utrustning i Lund	10
2	NÅGRA EXPERIMENT OCH KONTROLLER	13
2.1	Loggning av normal drift	13
2.2	Temperaturfördelning över landskapet	20
2.3	Luftflöden	23
2.4	Glapp i ventilställdon	23
3	TEORETISKA MODELLER	24
3.1	Modell A, B och C	24
3.2	Modell D	29
4	FÖRBEREDELSE INFÖR IDENTIFIERING	30
4.1	Parametrisk modell	30
4.2	Lösningsmetod	35
4.3	Verifikation	36
4.4	Val av insignal	36
4.5	Fem oberoende signaler	39
4.6	PRBS-generatorn	41
4.7	Praktiska ingrepp	42
5	IDENTIFIERING	45
5.1	Experiment C	45
5.2	Förenklad modell	58
5.3	Systemets ordning	62
5.4	Luftkanaler och placering av givare	63
5.5	Stegvis identifiering på residualerna	65
5.6	Experiment A och B	66
5.7	Noggrannhet och tillämpbarhet	66
6	SAMMANFATTNING	69
7	REFERENSER	75

A	APPENDIX	76
A.1	Numeriska värden	76
A.2	Lokalisering av egenvärden	78
A.3	Exempel på utskrift	79

1 FÖRUTSÄTTNINGAR

ASG storterminal i Malmö består av en kontors- och personalbyggnad och en magasinsbyggnad med hall för godsmottagning och godsutlämning. Byggnaderna är utrustade med en datorstyrd klimatanläggning som reglerar temperatur och fuktighet i de totalt 7500 m² stora lokalerna. Två uppvärmningssystem används: ett ventilationssystem med ventilationseffekten 800 kW och ett radiatorsystem på 340 kW.

Drygt hälften av de anställda på kontoret dvs 160 personer arbetar i ett kontorslandskap.

Kontorslandskapet har en relativt sammansatt uppvärmning med tre olika ventilationssystem och två radiatorsystem. Ett huvudmål är att få fram vilken inverkan var och en av dessa system har på temperaturen i rummet.

Resultatet från en sådan undersökning är naturligtvis primärt begränsat till just detta kontorslandskap, men genom att ge en någorlunda detaljerad bild av lokalen och betingelserna för experimenten, så borde det vara möjligt att även få något bidrag till allmänna kunskaper om klimatsystem.

1.1 Kontorslandskapet

Kontorslandskapet ligger på andra våningen av två. Golvet bildar således tak till uppvärmda lokaler på första våningen medan taket kan påverkas direkt av uteklimatet. I stort gränsar halva östra väggen mot uppvärmda lokaler medan de övriga väggarna är fönsterfasader, se FIG. 1.1. Förutom det egentliga kontorslandskapet räknar vi in ett antal kontorsrum, ett konferensrum och vaktmästarens rum, eftersom de har samma uppvärmningssystem och står i direkt anslutning till detta. Dessa totalt sexton rum kallas från nu cellkontoren.

Landskapet är möblerat på normalt sätt med skrivbord, bänkar, stolar etc och en heltäckningsmatta täcker golvet. Tunna gardiner för fönstren tillsammans med utvändiga solskydd hindrar direkt solinstrålning.

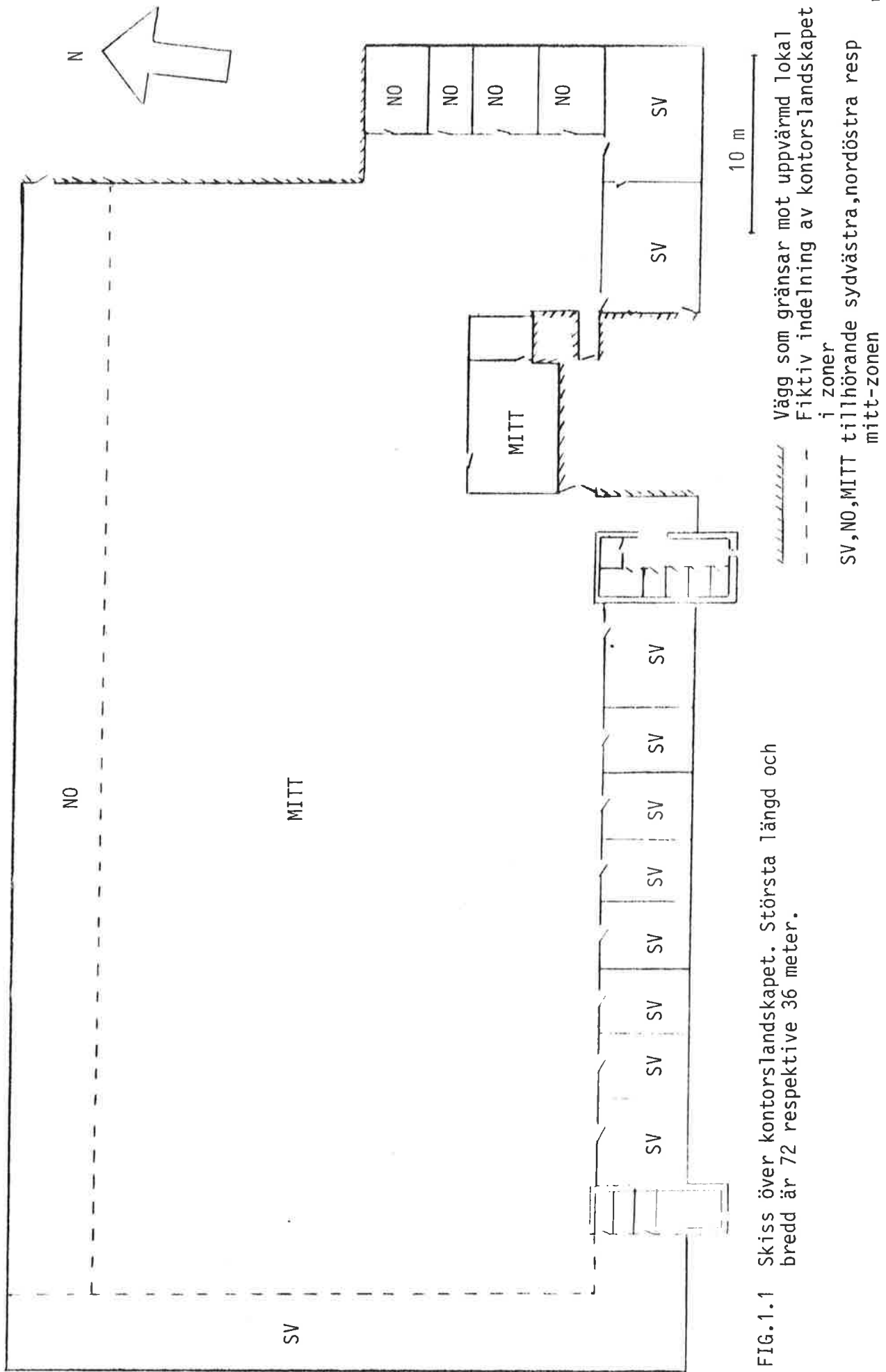


FIG.1.1 Skiss över kontorslandskapet. Största längd och bredd är 72 respektive 36 meter.

Arbetsplatserna rutas in med en och en halv meter höga skärmar, ovanför dessa är rummet fritt mot taket. Cirka tre meter över golvet hänger armaturer och mellan dessa ljudabsorberande bafflar. I det 50-75 cm breda utrymmet mellan bafflarna och betongtaket finns kanaler för till- och frånluften till lokalen, som utgör det huvudsakliga uppvärmnings- och kylmediet.

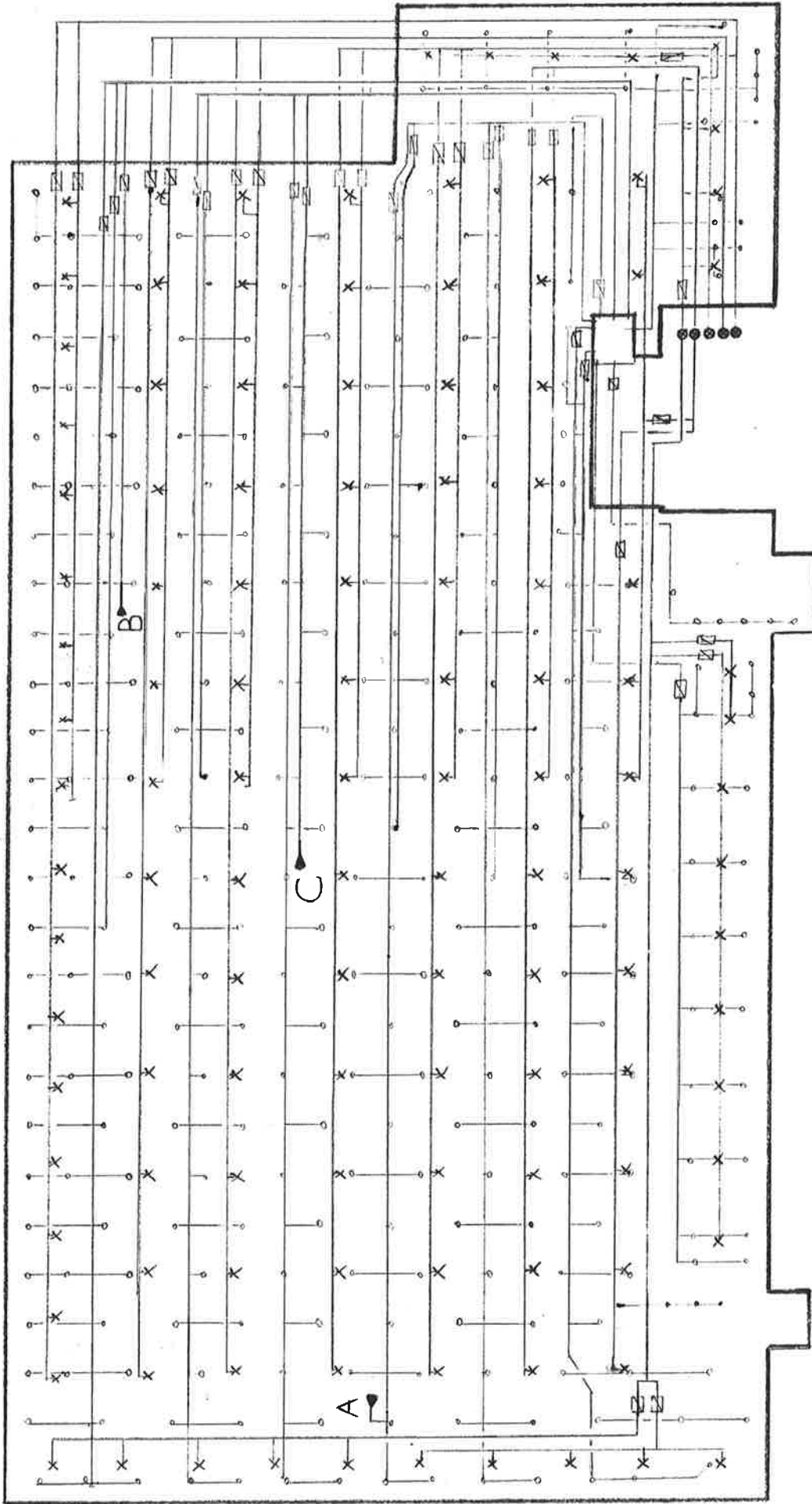
Tilluften sprids utåt-nedåt av luftspredare placerade någon decimeter över bafflarna. Luftspredarna är fördelade över hela rummet, se FIG. 1.2, där de är markerade med x. Temperaturen på tilluften mäts av temperaturgivare (termistor) placerade i tilluftskanalens början i källaren. Detta medför en transportsträcka på 50-120 m motsvarande cirka 15 till 40 sekunder innan en temperaturändring i tilluften verkligen kan påverka lokalen.

Frånluften sugas tillbaka via kanaler som är anslutna till armaturerna, som därigenom kyls av luften. Dessutom finns tre stycken referenskanaler som avslutas blint ut i rummet. I dessa sitter temperaturgivarna för frånluften. Om luften blandas väl - vilket är normalt - så mäter vi alltså lokaltemperaturen i dessa givare. I FIG.1.2 markeras de med A, B, C medan frånluftsanslutningarna markeras med o.

Som vi ser av FIG.1.2 är tilluften uppdelad i tre delar. Varje del har sin egen uppvärmning och reglering och går till en avgränsad del av lokalen. Denna uppdelning ska behållas och fördjupas i fortsättningen. Kontorslandskapet får framöver bestå av en SV-zon, en NO-zon och en mittzon, namngivna efter väderstrecken, se FIG.1.1.

Under fönstren sitter radiatorer som köldspärr. Radiatorerna är uppdelade på två kretsar en för SV-zonen och en för NO-zonen.

Därmed har vi introducerat åtta temperaturgivare som direkt mäter in- och utsignaler då vi betraktar kontorslandskapet som en reglerteknisk "process". Vi har alltså, TAB.1.1:



- 4.8 m, EKVIDISTANS
- x anslutningsdon för tilluft
- anslutning till frånluftsarmatur
- konstantflödesregulator

- ⊙ 5 tilluftschakt. Luftkanal 1 till NO-zonen, 2-4
- ⊙ 4 till mitt-zonen, 5 till SV-zonen
- ⊙ 3 A temperaturgivare SV-zon
- ⊙ 2 B temperaturgivare NO-zon
- ⊙ 1 C temperaturgivare mitt-zonen

FIG.1.2

TAB.1.1 Temperaturgivare för till- och frånluften. I parentes anges datorns mätvärdesnummer.

Insignaler

Tilluftstemperatur	SV	LV9.1	GT2	(77)
	NO	LV9.2	GT2	(78)
	mitt	LV9.3	GT2	(79)
Radiatortemperatur	SV	VS9	GT2	(26)
	NO	VS8	GT2	(25)

Utsignaler

Frånluftstemperatur	SV	LV9.1	GT4	(28)
	NO	LV9.2	GT4	(29)
	mitt	LV9.3	GT3	(30)

Identifieringen i kapitel 5 ska visa vilka insignaler som påverkar en viss utsignal och hur denna påverkan sker, uttryckt i statisk förstärkning, tidskonstanter och fördröjningstid.

Förutom insignalerna i TAB.1.1 har vi påverkan från uteklimatet. Det finns givare för vindstyrka och vindriktning och utetemperatur, den senare kan mätas i skugga, mot norr och mot söder (solindikering). Möjligheten att påvisa hur uteklimatet påverkar t ex innetemperaturen begränsas dock av att det inte går att styra uteklimatet utan endast studera de naturliga fluktationerna. Ofta blir "excitationen" för svag för att ge säkra resultat. Dessutom så är experimenttiden (10-20 timmar) liten jämfört med t ex utetemperaturens ändringstakt.

I TAB.1.2 är några viktiga klimattekniska data samlade. Antal luftväxlingar per tidsenhet är lika med tillfört luftflöde dividerat med hela luftmängden.

TAB.1.2 Några klimattekniska data för kontorslandskapet.

	Tillflöde (m ³ /h)	Frånflöde (m ³ /h)	Volym (m ³)	Luftväxlingar (1/h)
SV-zon	4800	4800	1600	3.0
NO-zon	4400	4400	1200	3.8
mitt-zon	16200	16200	6000	2.7
TOTALT	25400	25400	8700	2.9

Värmebelastningen på lokalen är betydande, inte så mycket från elektriska maskiner som från armaturer och personalen. Dessa uppskattas till ca 600 stycken x 65 W = 39 kW respektive 150 personer x 100 kcal/h = 17 kW. Nu kyls en del av den förra värmen bort av frånluften - hur mycket är inte lätt att veta (30-70%?). Dessa effekter kan jämföras med 8 kWh som går åt för att värma 25000 m³ luft (= tillflödet per timme) en grad. Därmed så får vi en undertemperatur på tilluften på mellan 3.5 och 5.5 grader jämfört med fallet att värmebelastningen är noll.

1.2 Klimatanläggningen

Innan tilluften når kontorslandskapet passerar den ett förbehandlings-system TA9.1, se FIG.1.3. Uteluften sugs in och värms upp (kyls på sommaren) i en roterande entalpväxlare med den utåtgående frånluften som värmemedium. Entalpväxlaren är påfallande effektiv, verkningsgraden är ca 80% på fullfart (se nedan) upp till 95% på halvfart. Luften fortsätter genom kylare, förvärmare, befuktare till tilluftsfläkten som tillsammans med frånluftsfläkten driver runt hela luftflödet. Fläktarna har två hastigheter, fullfart som är dimensionerat för ett totalt flöde på 68500 m³/h och halvfart med halva detta flöde. Vid halvfart ska även flödena i TAB.1.2 halveras. Efter en ljudfälla går luften in i en tryckkammare där den via eftervärmare delas upp i fjorton flöden som genom luftkanaler trycks ut till avsedd lokal. Tre av dessa går alltså till kontorslandskapet. Frånluftssidan är enklare. Frånluften blandas samman, avger sin värme och fukt i entalpväxlaren och pumpas sedan ut i det fria.

Det har visat sig vara viktigt att ha kontroll över vad som händer i förbehandlingen för att kunna förstå vad som sker. En svårförklarlig temperatursänkning i tilluften kan t ex bero på att befuktningen ökat eller att vattentemperaturen från pannshunten minskat. Under experimenten har fem till tio extra mätvärden mätts upp för sådana kontroller.

De viktigaste funktionerna har för övrigt varit förvärmaren som värmer all luft till den lägsta efterfrågade temperaturen - om den förmår - och eftervärmarna som ger resten upp till önskad temperatur för varje luftkanal. Värmebatterierna värms av hetvatten, 60-80 °C från en spe-

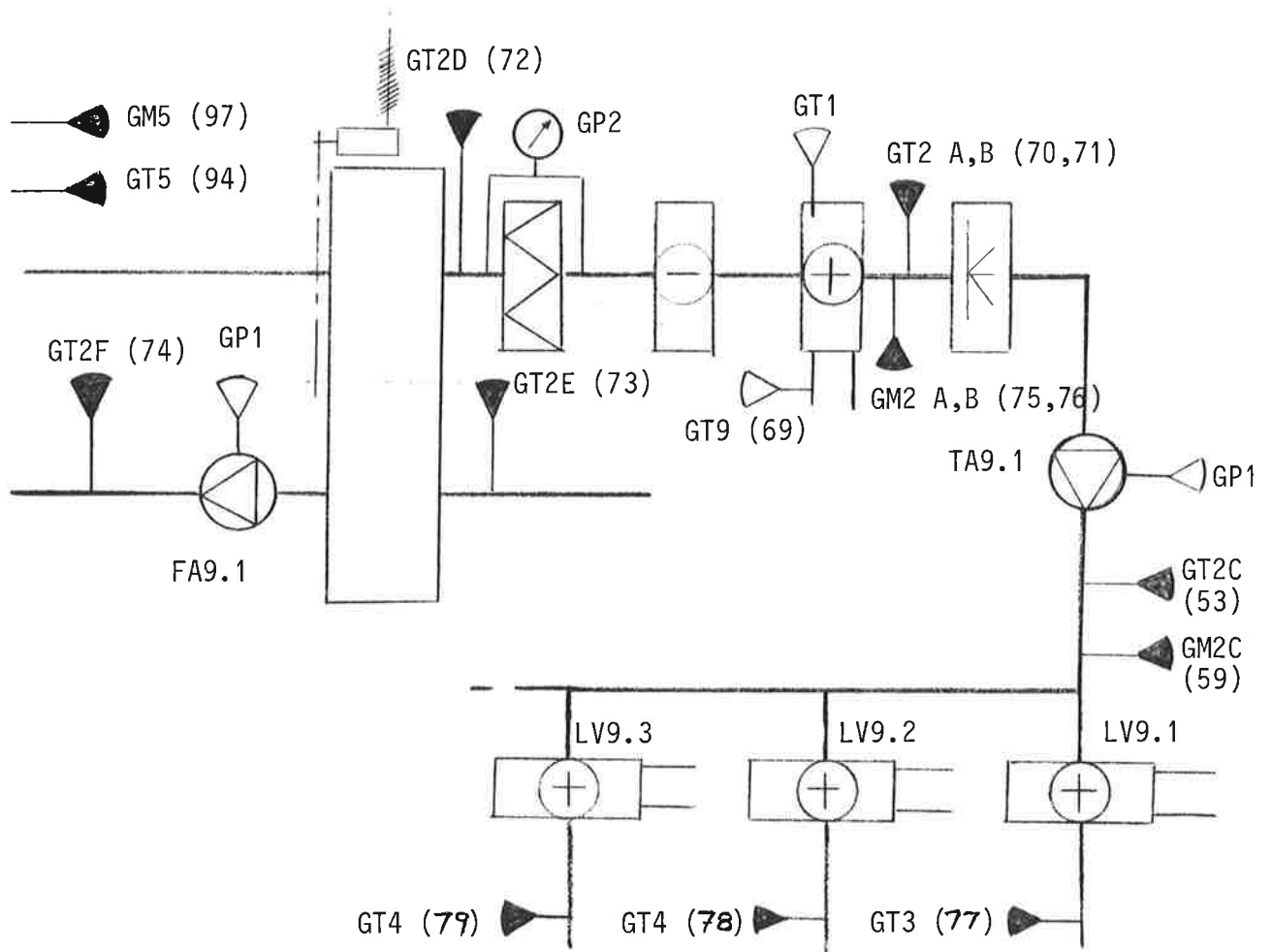


FIG.1.3 Aggregat TA9.1. Förbehandling och eftervärmning.

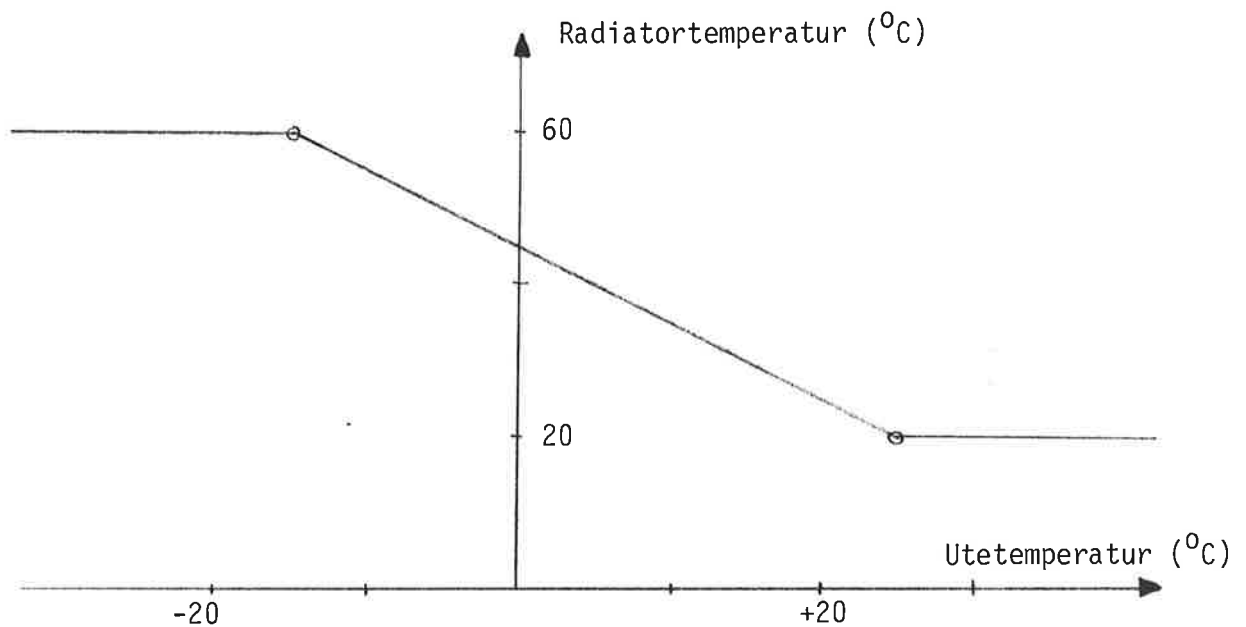


FIG.1.5 Framkopplingskurva för radiatorerna.

ciell sekundärkrets som i sin tur får hetvatten 70-90 °C iblandad från pannshunten. Ställdonen som är av öka-minska typ drivs av elektriska motorer och har en gångtid på 1 minut.

1.3 Klimatregleringen

Det stora antalet funktioner som ingår i klimatsystemet kräver många styr- och reglerkretsar. De delar som hittills nämnts använder cirka 20 regulatorer varav de flesta är I eller PI-regulatorer. Dessa styrs av en minidator NOVA 1210 med mjukvarusystemet TA DDC-6 från Tour och Andersson. Klimatsystemet på ASG:s storterminäl lär för övrigt vara Nordens första datorreglerade klimatsystem (byggår 1974).

Datorn är utrustad med teletype och härifrån kan man styra och ställa med den för ändamålet utvecklade operatörskommunikationen, beskriven i Tour och Andersson (1978).

Denna ger oss en mängd möjligheter att manipulera funktionen, ändra regulatorparametrar etc eller ge utskrift av mätvärden. I programvaran ingår IPCL som är ett processkontrollspråk beskrivet i Jensen (1978). Detta löser alla icke-standardfunktioner. Datorn kan

mäta 135 analoga signaler varav 85 temperaturer och
45 ventilställdon
ställa ut 130 logiska utsignaler varav 90 är öka-minska
utgångar

Sammanfattningsvis är det ett väl utvecklat system med möjlighet att mäta temperaturer, fuktigheter mm, beräkna regleringrepp och styra ut ställdon. Under tiden kan man ändra på driftsbetingelserna. En övervakningsdel ger automatiskt driftslarm till teletypen om fel eller stora avvikelser uppträder.

De reglerkretsar som normalt finns implemeterade för reglering av kontorslandskapets temperatur är en kaskadregulator som reglerar ställventilerna för hetvattnet till eftervärmarna på basis av börvärde minus ärvärde för lokaltemperaturen och ärvärde på tilluften, se FIG.1.4.

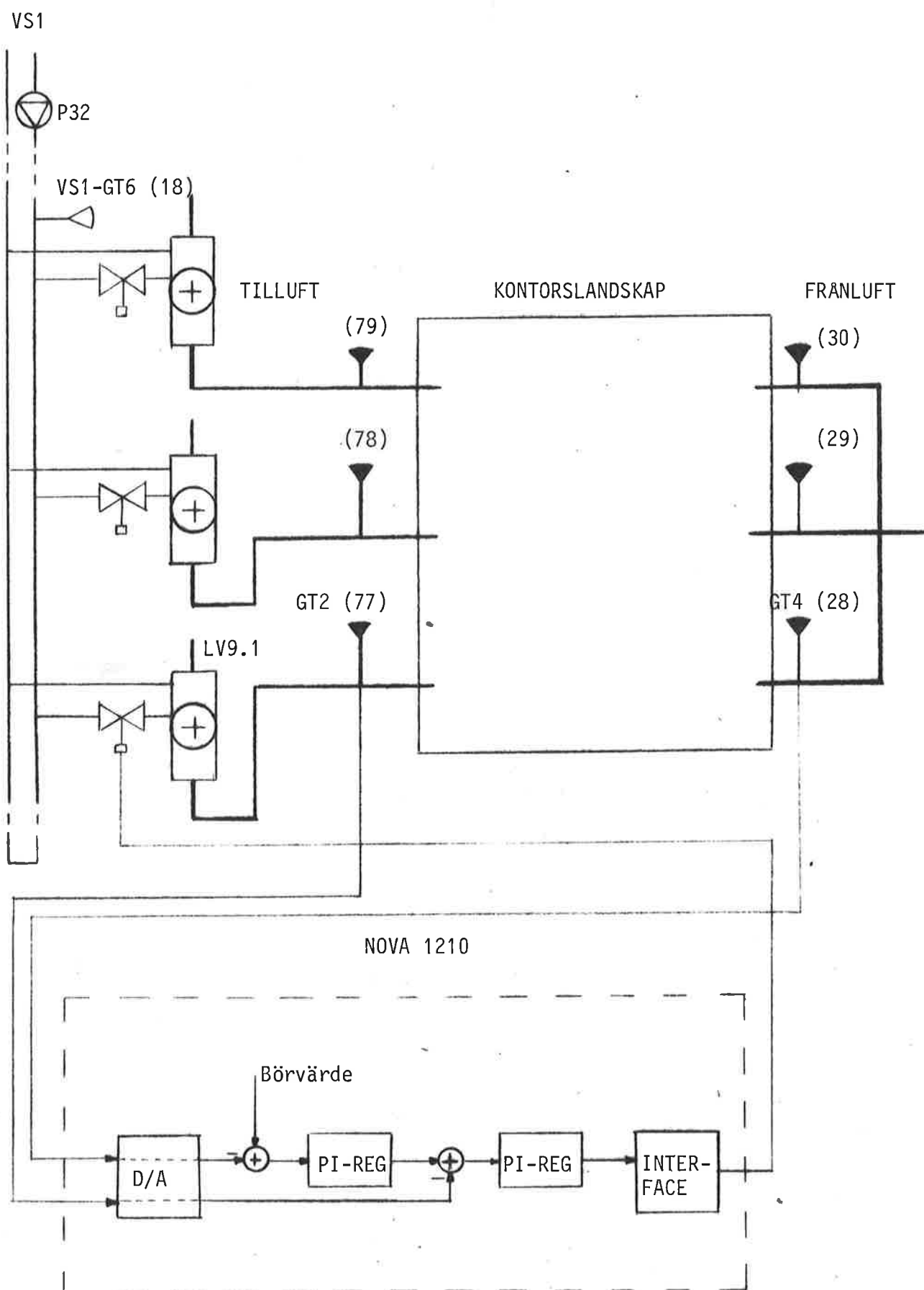


FIG.1.4 Förenklat principschema av tilluftsregleringen för SV-zonen. Motsvarande reglering finns för alla lokaler. Kontroll av läst och utställt värde mm är bortskalat.

Dessa reglerloopar har under experimentens gång visat sig vara ganska ostabila, vilket medfört att tilluftstemperaturen har svängt kraftigt vid börvärdesändringen, se t ex FIG.2.1. En stor del av svängningarna försvann sedan ASG lät byta ut ett antal ställventiler med stora glapp i primär- och sekundärhetvattenkretsarna (se avsnitt 2,3) resterande svängningar går igen genom alla experiment.

Radiatorerna regleras av en PI-regulator med börvärde beräknat från en framkopplingskurva av yttertemperaturen, se FIG.1.6.

1.4 Dataöverföring och utrustning i Lund

Som framgick av förra avsnittet så är NOVA-datorn en starkt centraliserad mätvärdesinsamlare och ställdonsreglerare med alla mät- och regulatorparametrar lätt åtkomliga. Via modem och telefonnätet har det varit möjligt att ta över kontrollen ifrån Lund. Dels med en teletype som fungerat som motsvarande i Malmö och framför allt genom att koppla samman NOVA-datorn till en PDP-15 dator som finns på Institutionen för Reglerteknik i Lund. På så sätt har den övervägande delen av arbetet kunnat utföras i Lund. På PDP-15 datorn finns även tillgång till IDPAC och SIMNON, två programpaket som utvecklats vid institutionen, som har använts vid analysen av mätdata.

Under experimenten har PDP-15 arbetat under sitt reelltids operativsystem RSX-plus, som medger att flera program är aktiva samtidigt och exekveras på förutbestämda klockslag och efter prioritet. I Jensen (1974) beskrivs ett programpaket som körs under RSX-plus, detta gör det möjligt att avläsa upp till 16 signaler eller att ställa ut upp till 8 signaler. Dessa data kan användas för processtyrning eller reglering, eller enklast plottas upp på display (med kopieringsmöjligheter). För övrigt kan egna program infogas för att i reelltidsmiljön utföra önskade uppgifter. Programmen utnyttjar två databaser, där olika parametrar, räknare, felflaggor etc lagras, dessa kan modifieras under gång.

Insamlade data lagras på skiva, efter experimentet kan de räddas över till band. Normalt kan ca 15000 reella data sparas på skivan. Denna

gräns kan dock höjas till ca 23000 genom att stryka program som inte används och stuva om program som ligger dumt till på skivan. Eftersom man är intresserad av ett stort antal mätdata för kontrolländamål så utnyttjas ofta full kapacitet. Femton stycken signaler samplade varje minut kräver t ex knappt 22000 platser under ett dygn.

För själva dataöverföringen krävs ett speciellt program. Detta finns beskrivet i Jensen (1977). Det tar en viss tid att begära och överföra data - överföringshastigheten är 110 baud vilket kombinerat med många signaler ibland begränsat samplingsperioden. Programmet kräver totalt cirka 5 sekunder per loggad data.

En sammanfattning av den programvara och hårdvara som använts ges i FIG.1.6.

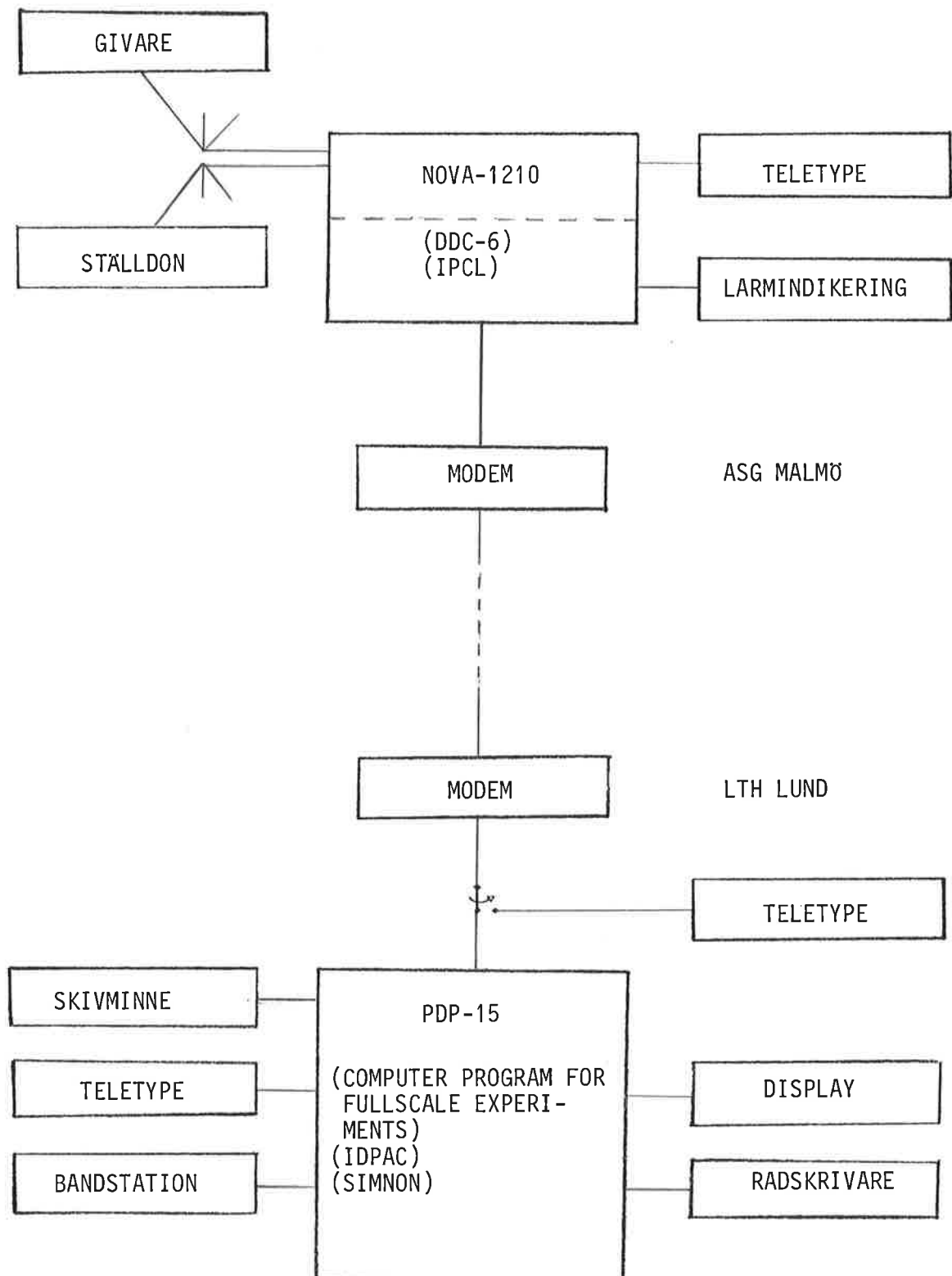


FIG.1.6 Hårdvara och mjukvara (inom parenteser) som använts under experimenten.

2 NÅGRA EXPERIMENT OCH KONTROLLER

Till att börja med gjordes några kontroller av typen: överensstämmer ritningarna med verkligheten, satt temperaturgivare där de skulle, antal armaturer räknades och takhöjd mättes osv. Vidare gjordes några kontroller av klimatanläggningen under normal drift. Dessa gav en del insyn i funktionen, och en allmän känsla för hur ett klimatsystem fungerar. Dessutom angav de vilken mätnoggrannhet vi kan vänta oss och hur stora störningar som finns.

2.1 Loggning av normaldrift

Med avsikten att få en uppfattning om hur anläggningen beter sig under ett veckoslut och samtidigt få en kontroll av apparaturen så loggades (uppmättes) 22 stycken temperaturer från fredagen den 16.11.79 klockan 16 till måndagen den 19.11.79 klockan 9. I FIG.2.1 visas samtliga.

Datorn är programmerad så att fullfart endast utnyttjas under dagtid 5.30 - 17.30 måndag till och med lördag, medan anläggningen på övriga tider går på halvfart. Dessutom ställs eftervärmarna (77,78,79) av under övriga tider och förvärmaren (53) går bara in ifall temperaturen faller för lågt. Siffrorna inom parenteserna är datorns ordningsnummer för mätvärdet, de förklaras utförligare i figurtexten till FIG.2.1. De flesta återfinns också i figuren över förbehandlingen, se FIG.1.3.

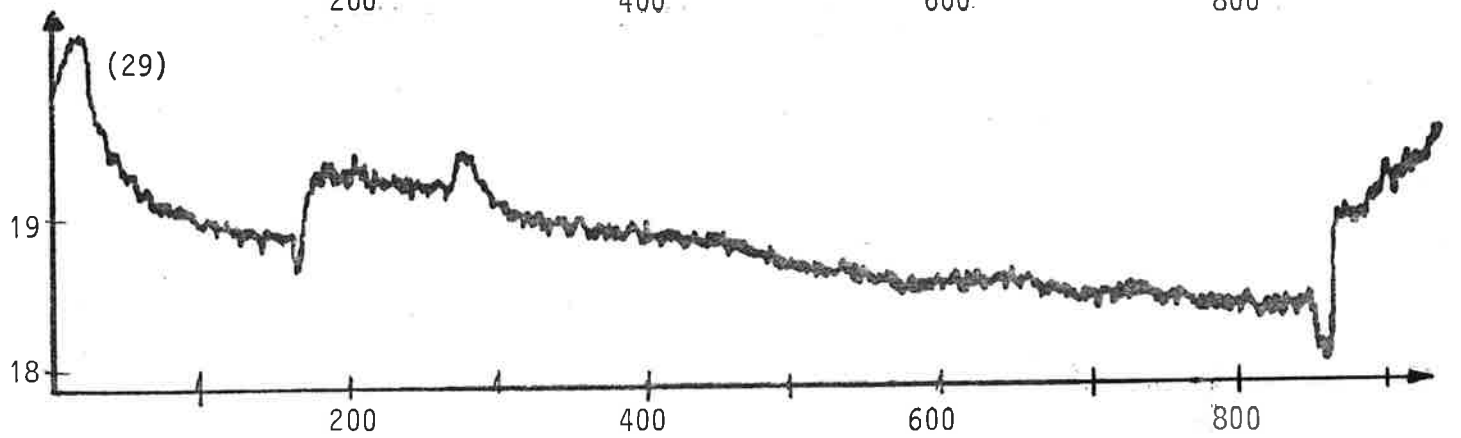
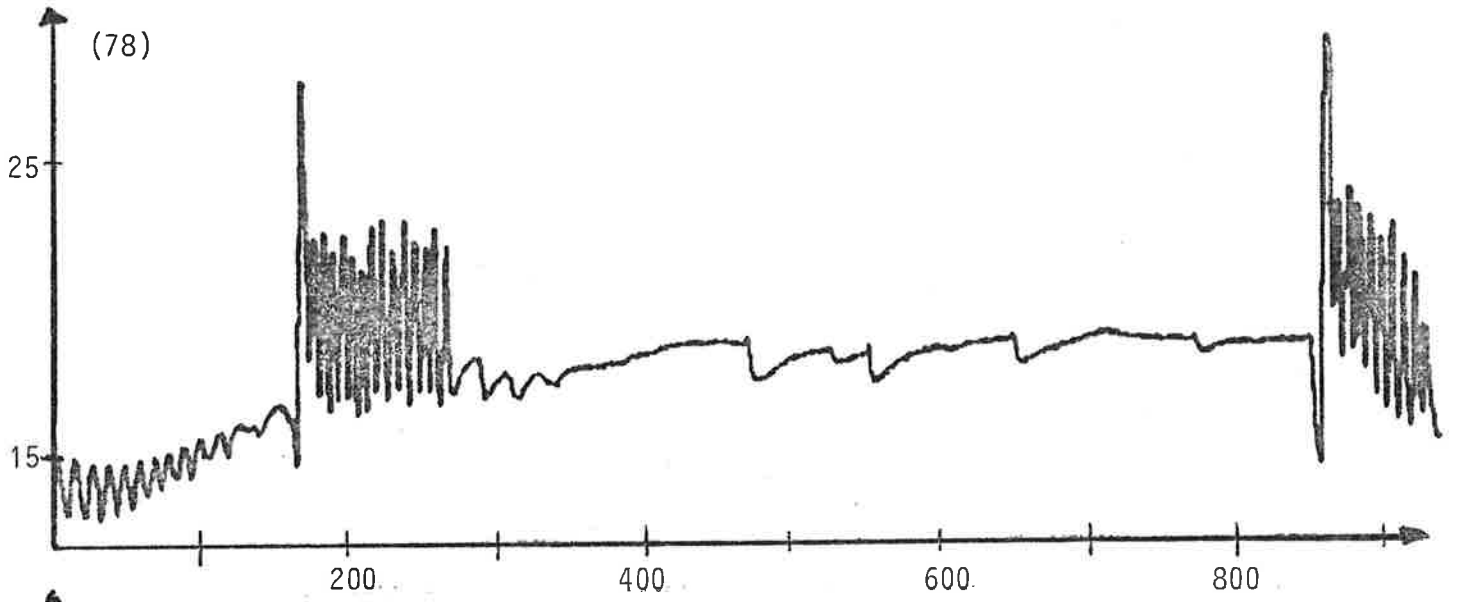
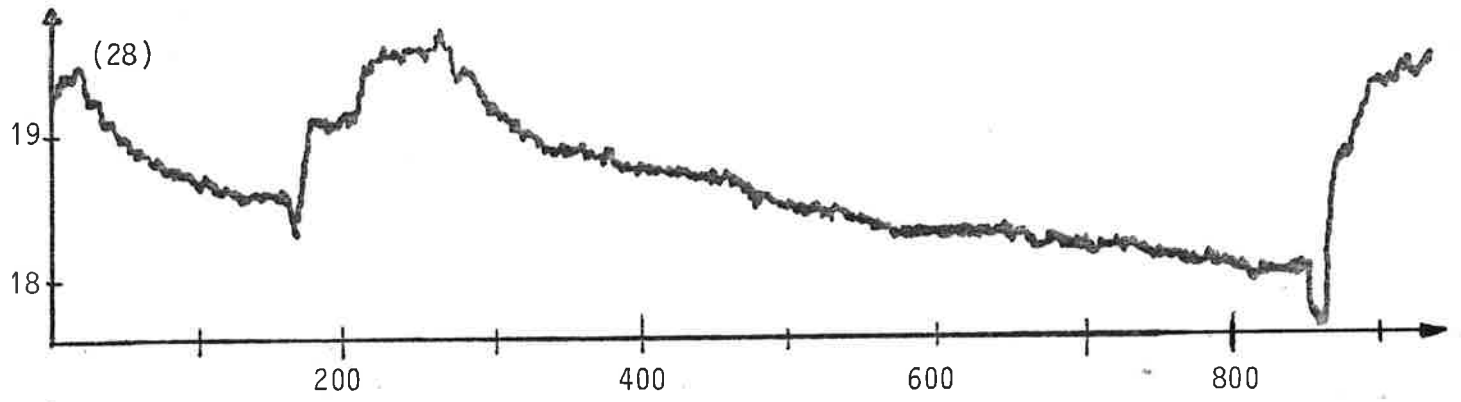
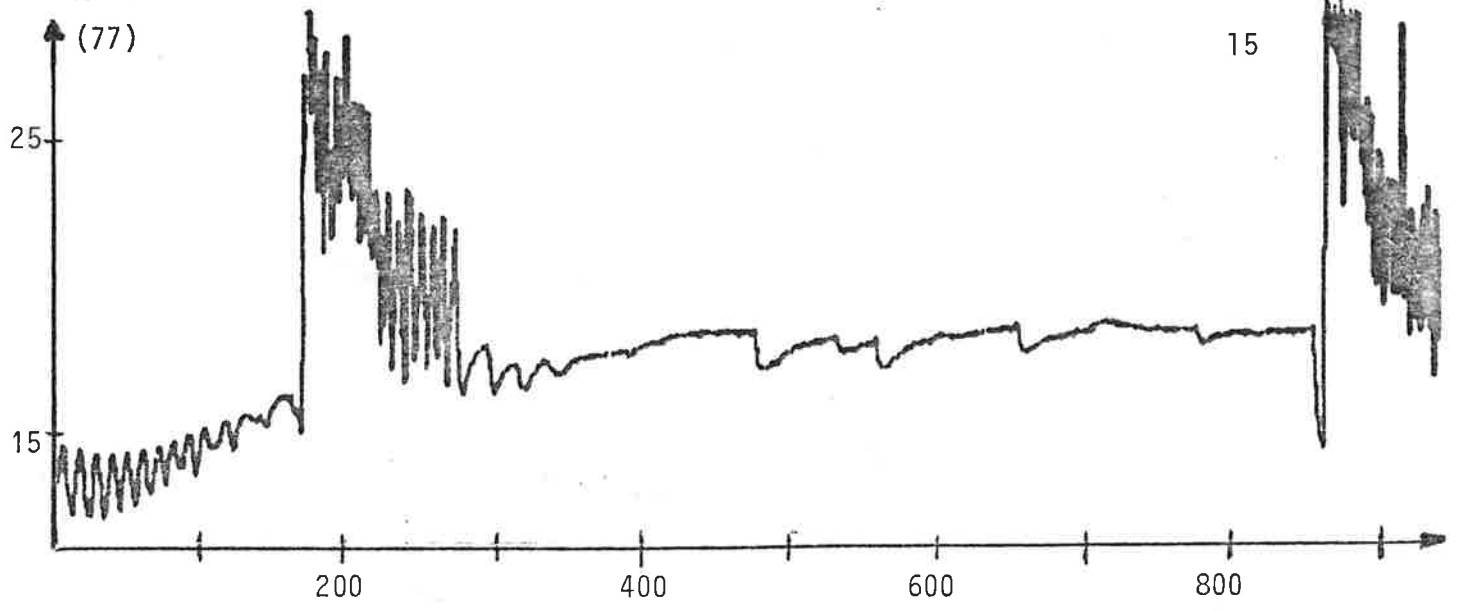
Entalpiväxlaren (72,73,74,(94)) fungerar som vanligt, för övrigt är den speciellt effektiv vid halvfart. I stort låter man alltså värmen bara gå runt i byggnaden medan luften byts ut. Förluster uppstår naturligtvis och byggnaden kyls ner under dessa tider - nätter och söndagar. Temperaturen sjunker dock inte speciellt snabbt, se t ex (28,29,30,31, 32) eller den totala frånluften (73) som är ett viktat medelvärde av de förra.

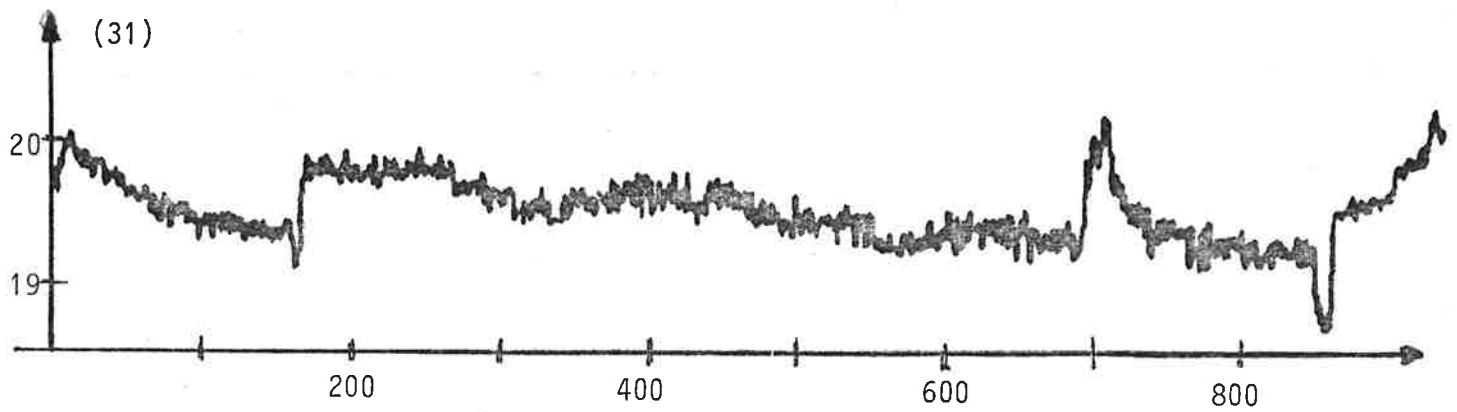
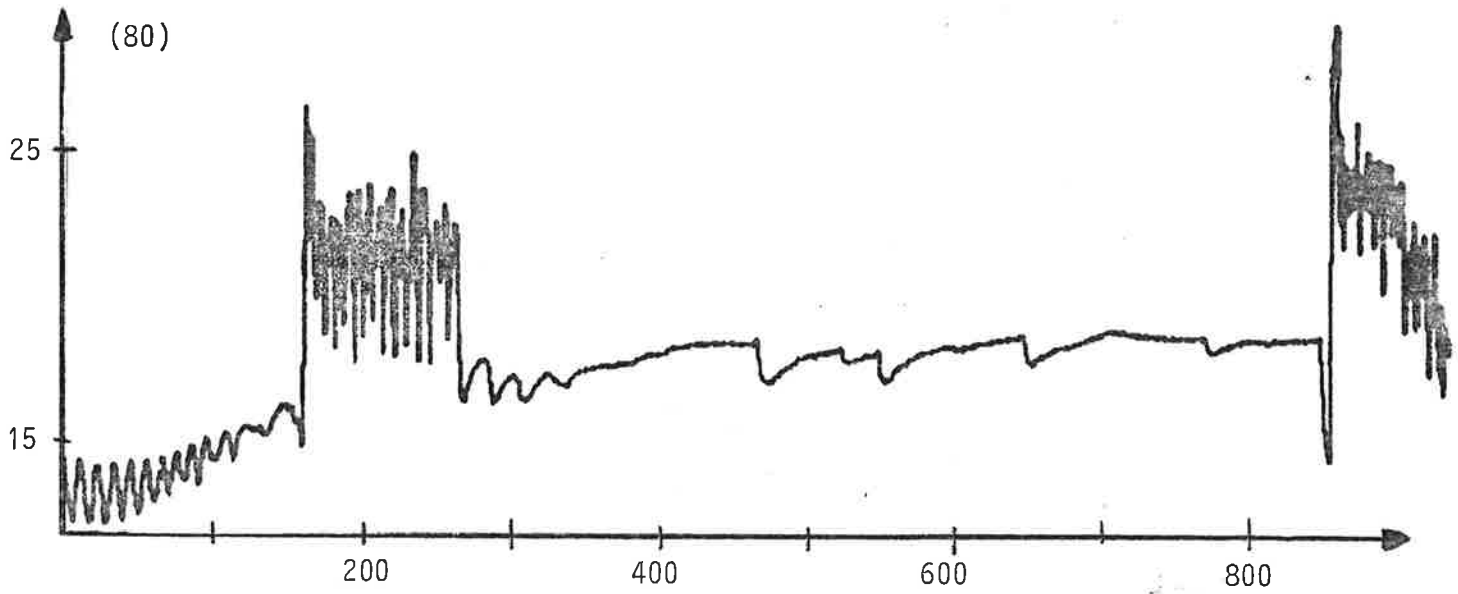
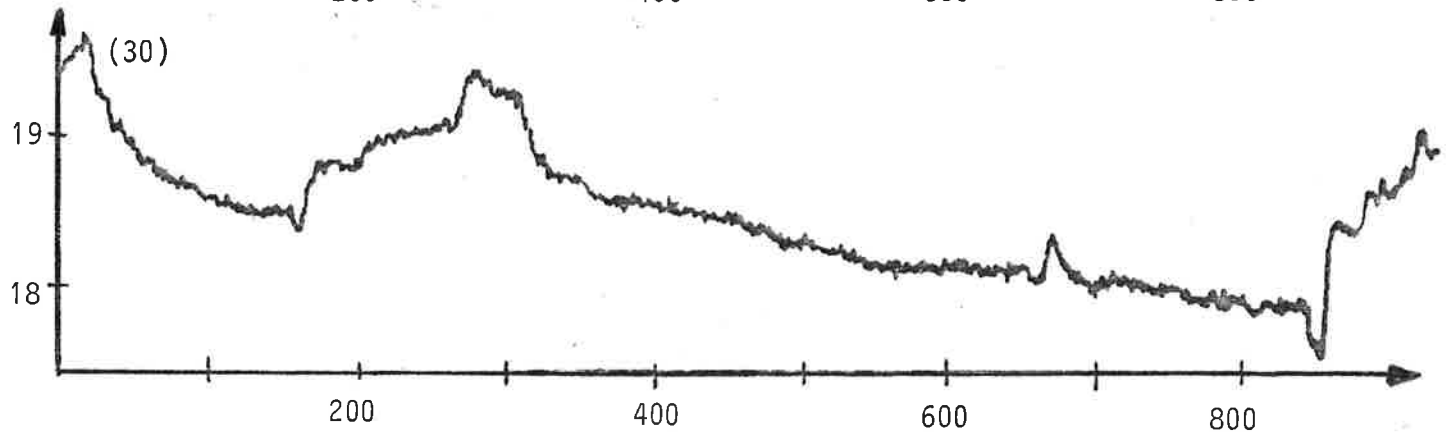
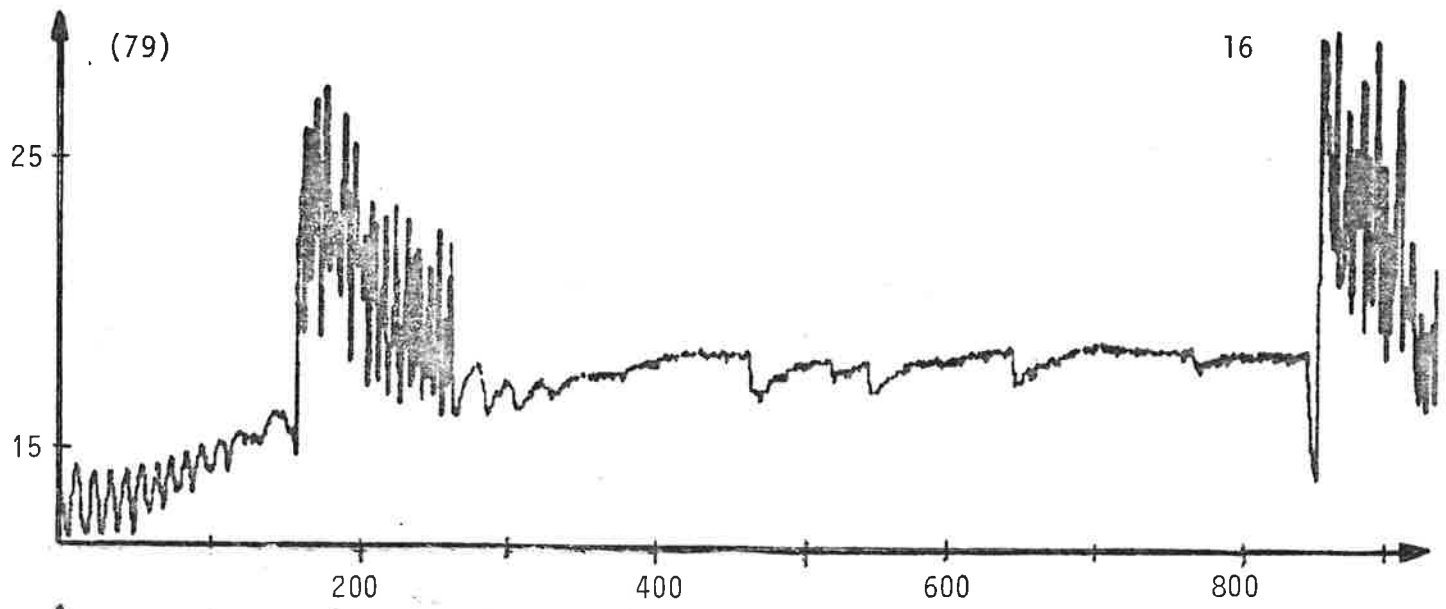
Dataöverföringen och programvaran visade sig fungera bra. Inget överföringsfel hittades i de totalt 23400 överförda reella talen. Detta var

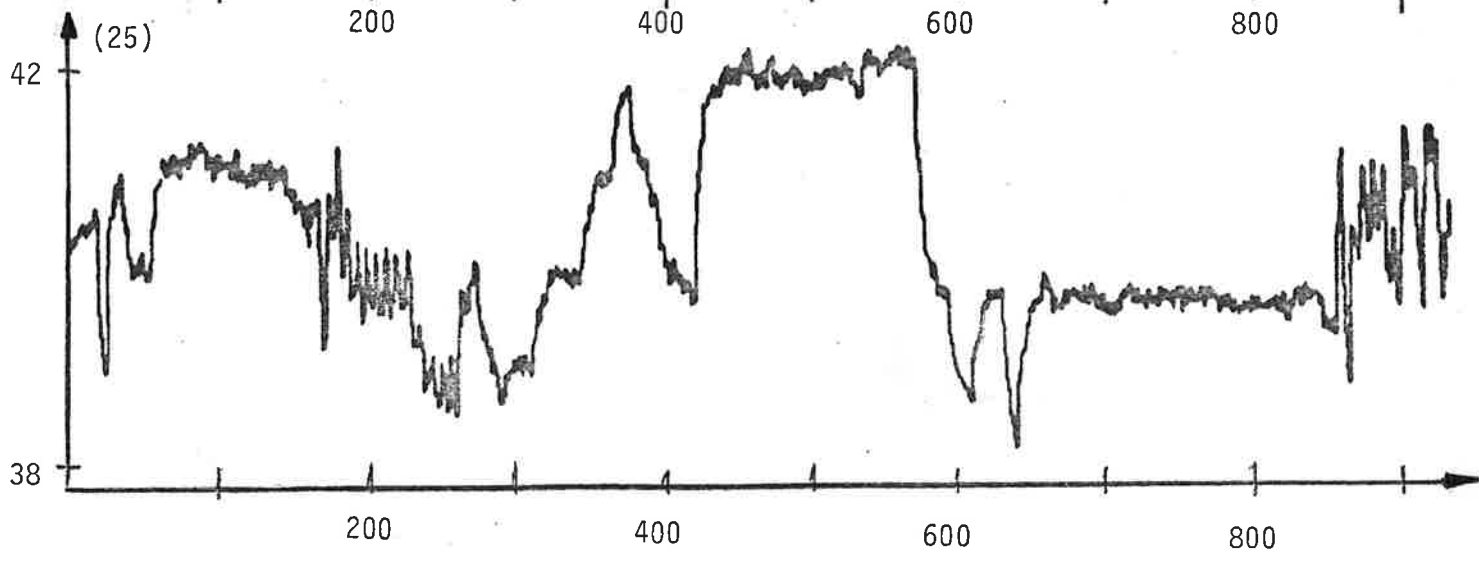
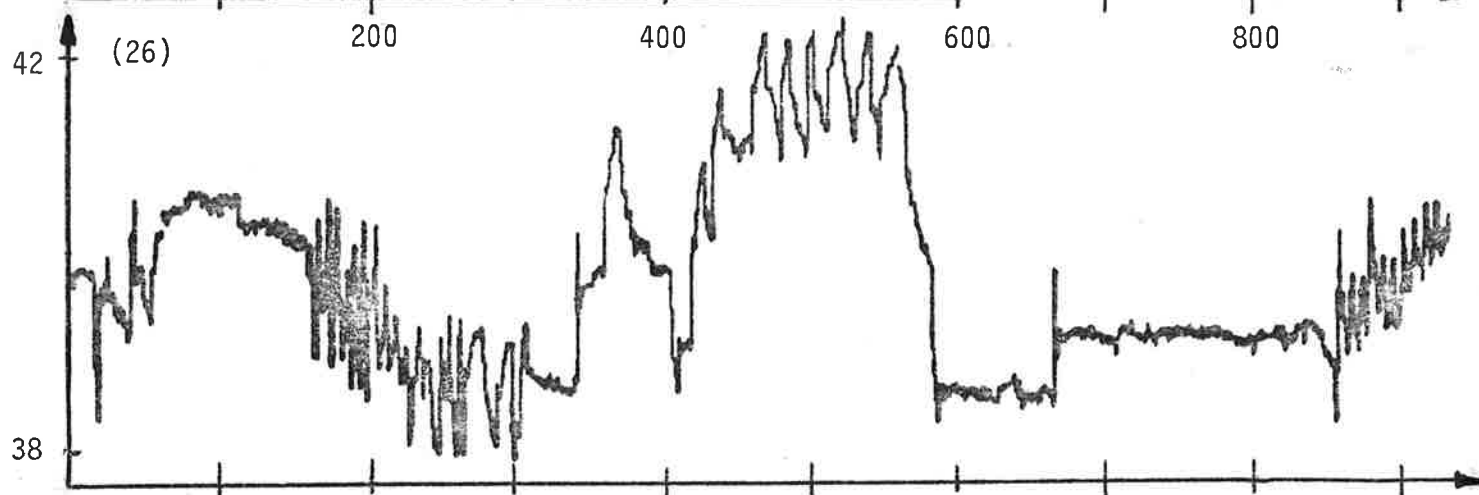
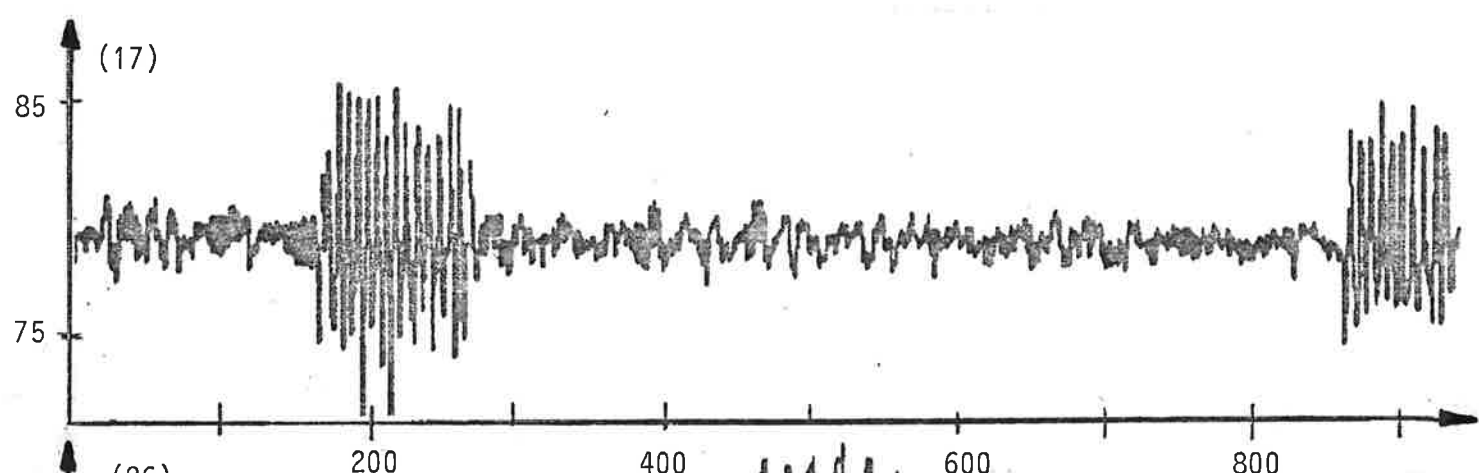
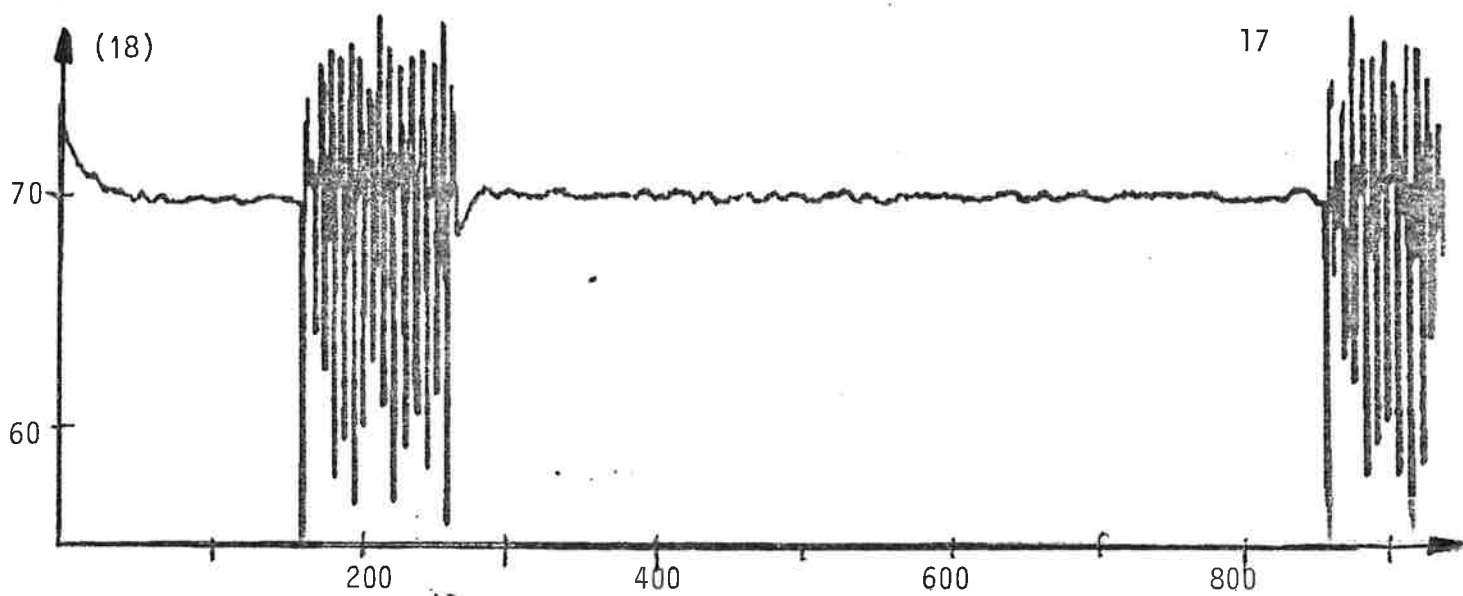
FIG.2.1 Loggade mätvärden under normal drift. På följande fem sidor visas uppifrån och ned:

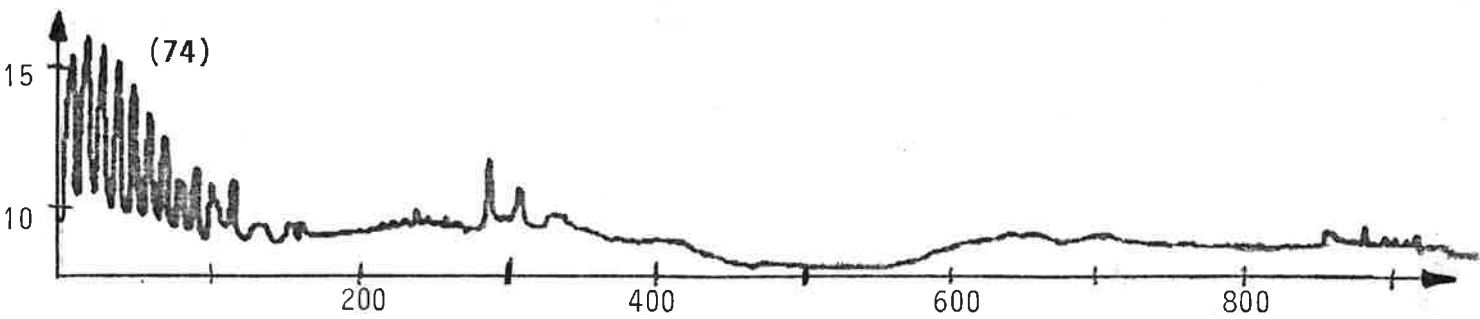
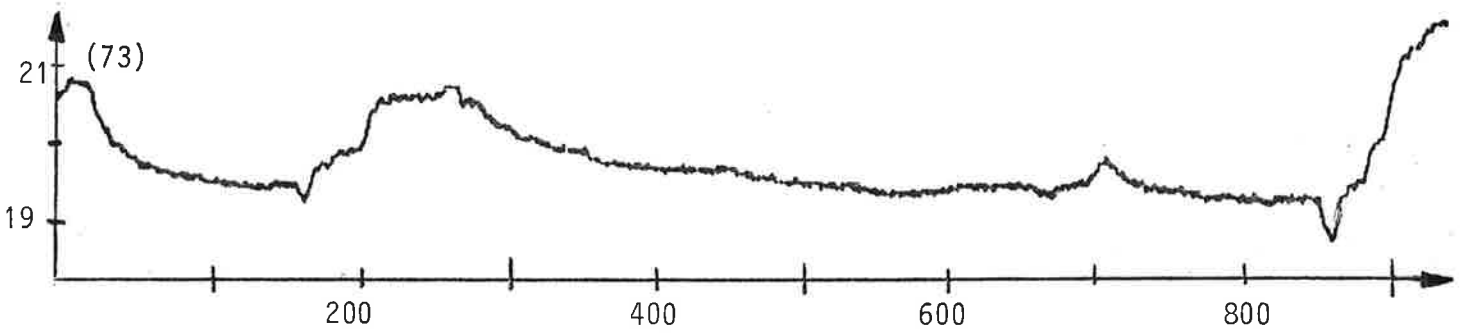
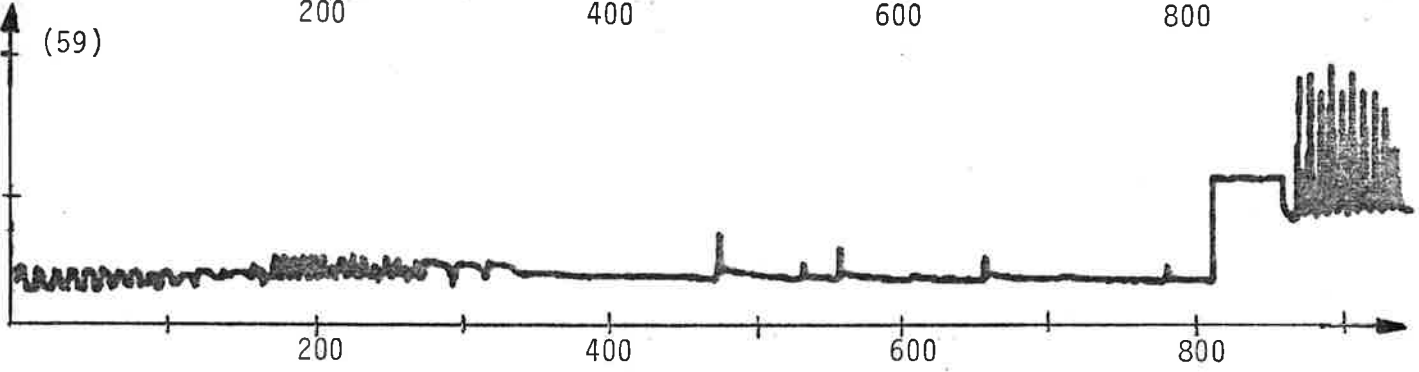
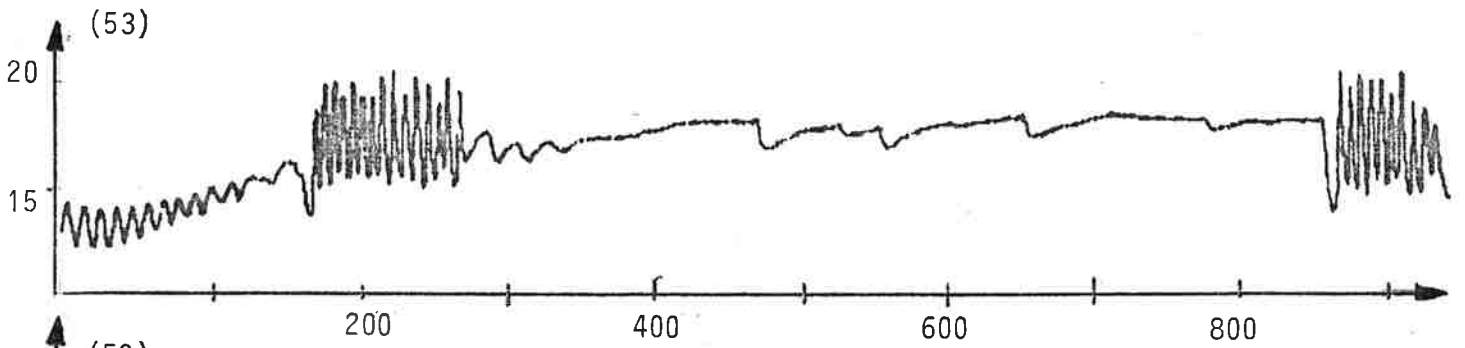
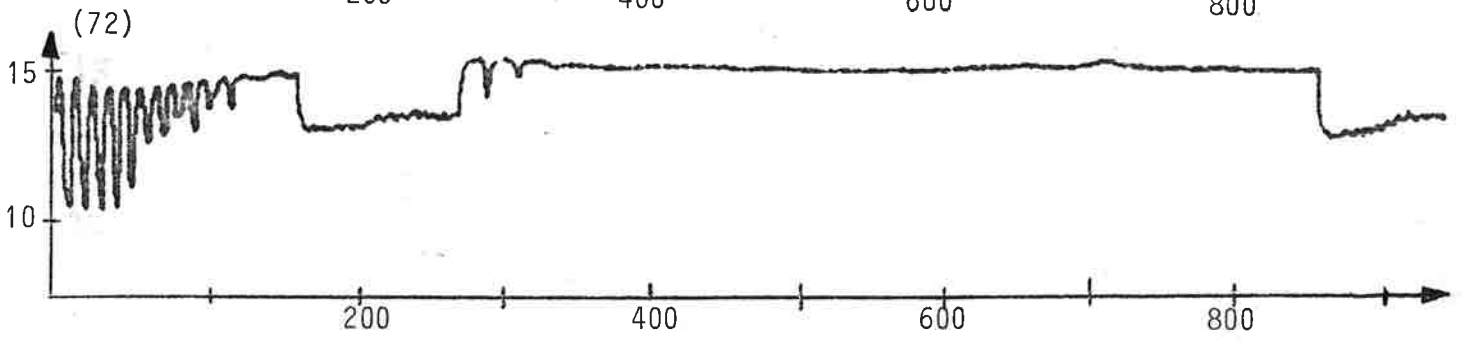
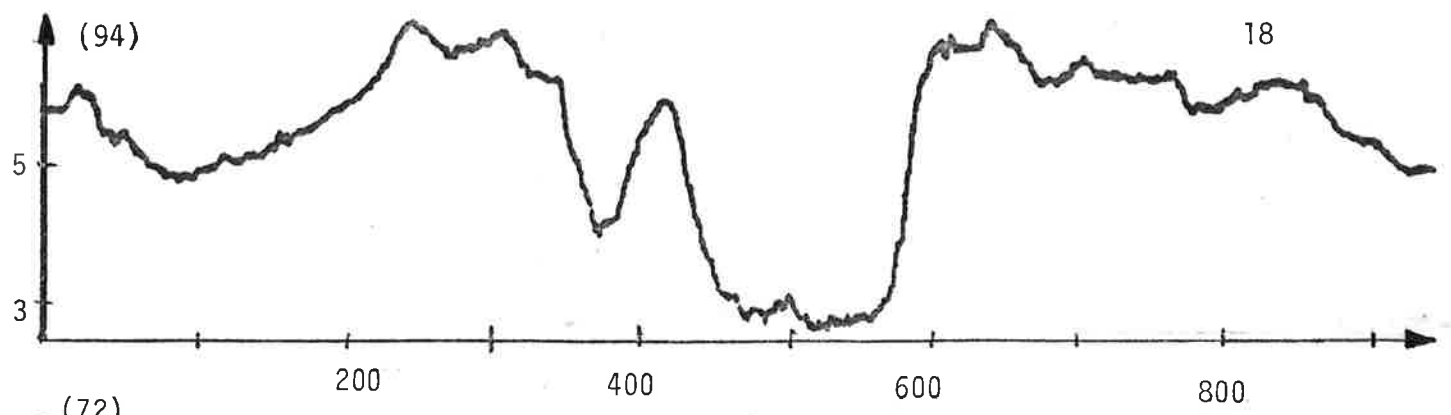
1. 1. tilluft SV	(77)
2. frånluft	(28)
3. tilluft NO	(78)
4. frånluft	(29)
2. 5. tilluft mitt	(79)
6. frånluft	(30)
7. tilluft lilla landskapet på 1:a vån	(80)
8. frånluft	(31)
3. 9. sekundärkrets, hetvatten till eftervärmare	(18)
10. primärkrets, hetvatten från pannan	(17)
11. radiatorkrets till SV	(26)
12. radiatorkrets till NO	(25)
4. 13. utetemperaturen	(94)
14. tilluft efter värmväxlare	(23)
15. tilluft efter förbehandling	(53)
16. relativ fuktighet	(59)
17. frånluft, totalt från TA9.1	(73)
18. frånluft ut från värmväxlare	(74)
5. 19. börvärde 101, som anger önskad tilluftstemperatur till SV	(B101)
20. frånluft SV	(28)
21. vindstyrka	(98)
22. vindriktning	(100)

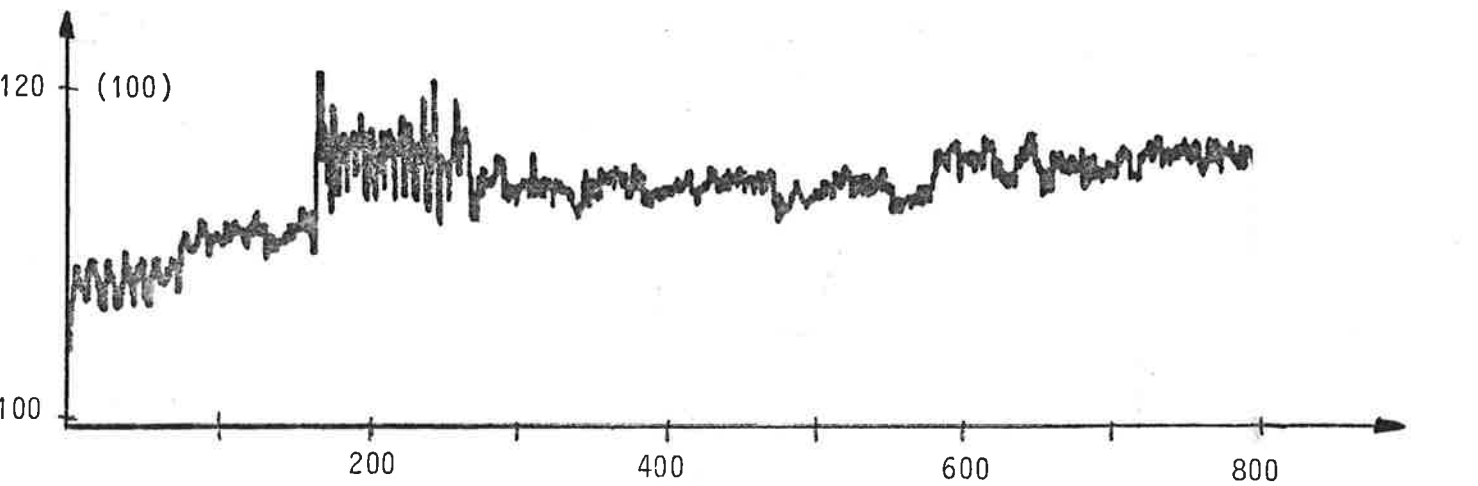
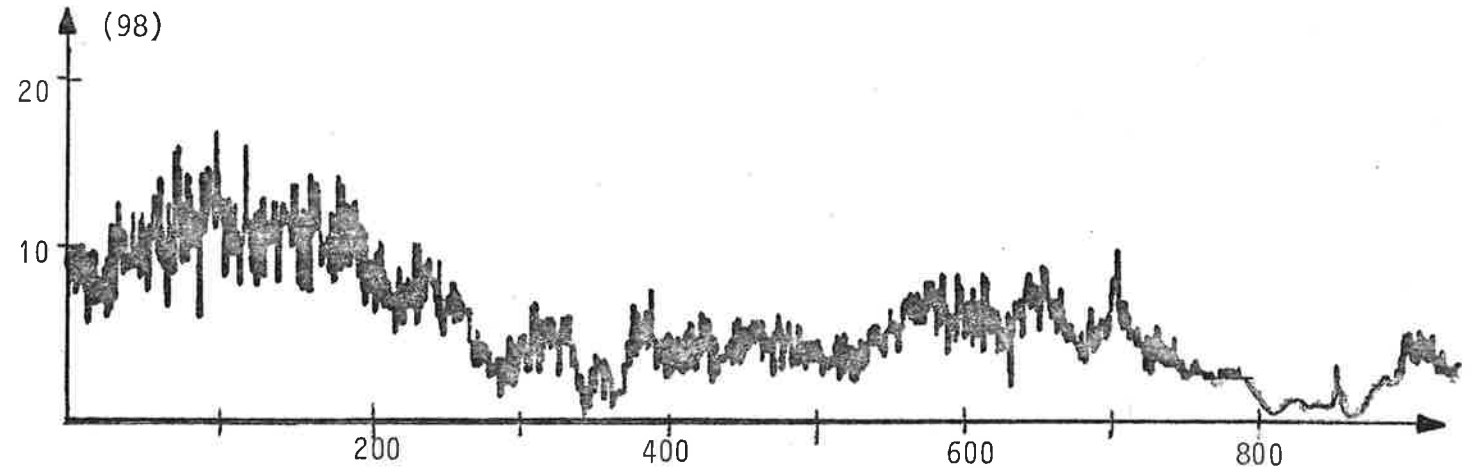
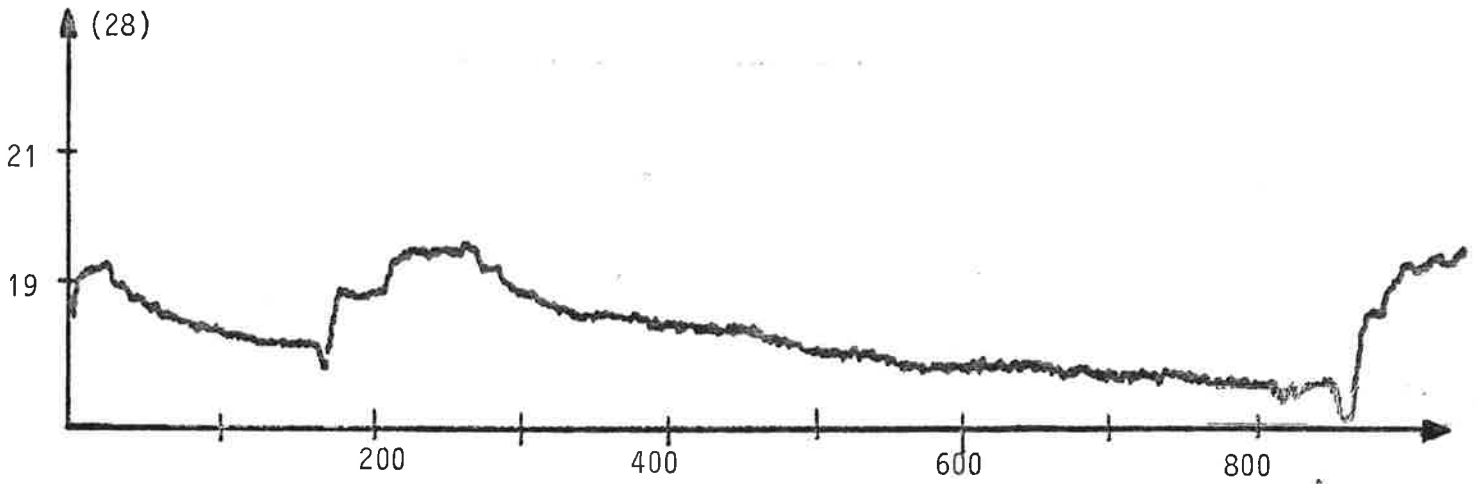
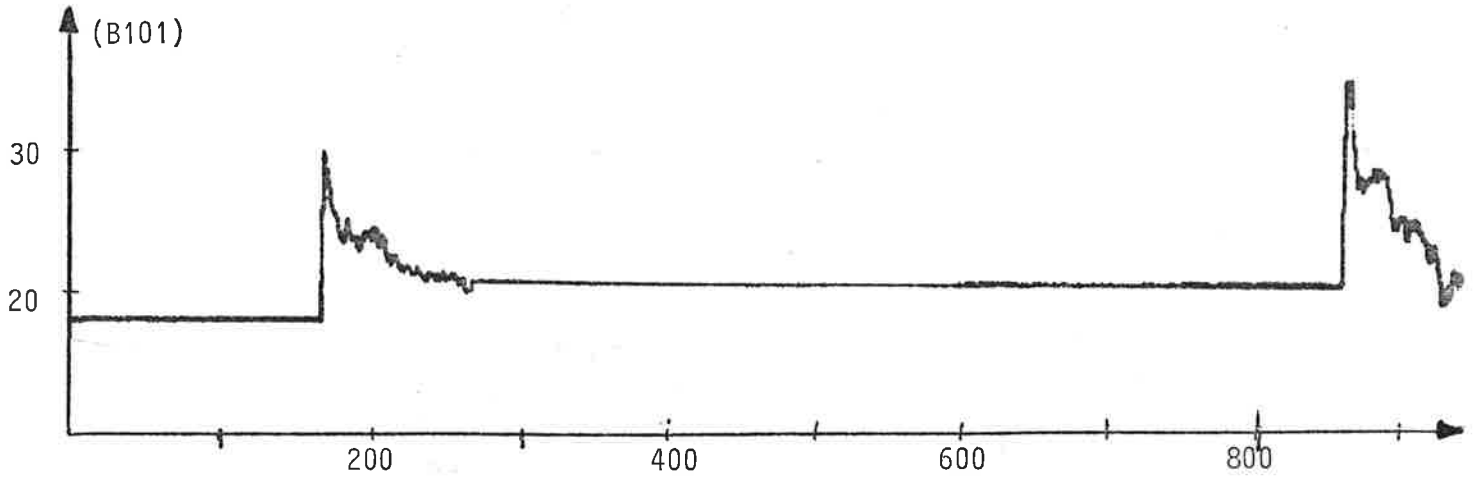
Tidsskalan visar antal sampel. Tiden i minuter fås genom multiplikation med 4 (=samplingstiden).











ovanligt bra, mera normalt, om man jämför med andra experiment, vore 10 fel.

De fel som upptäcktes under andra experiment bestod oftast av en tappad siffra. Tex mätdata som länge ligger runt 19.73 mottas under ett sampel som 1.97. Om begärt data helt uteblir så begär dataöverföringsprogrammet in nytt svar.

Eventuellt felaktiga värden kan rättas till i IDPAC.

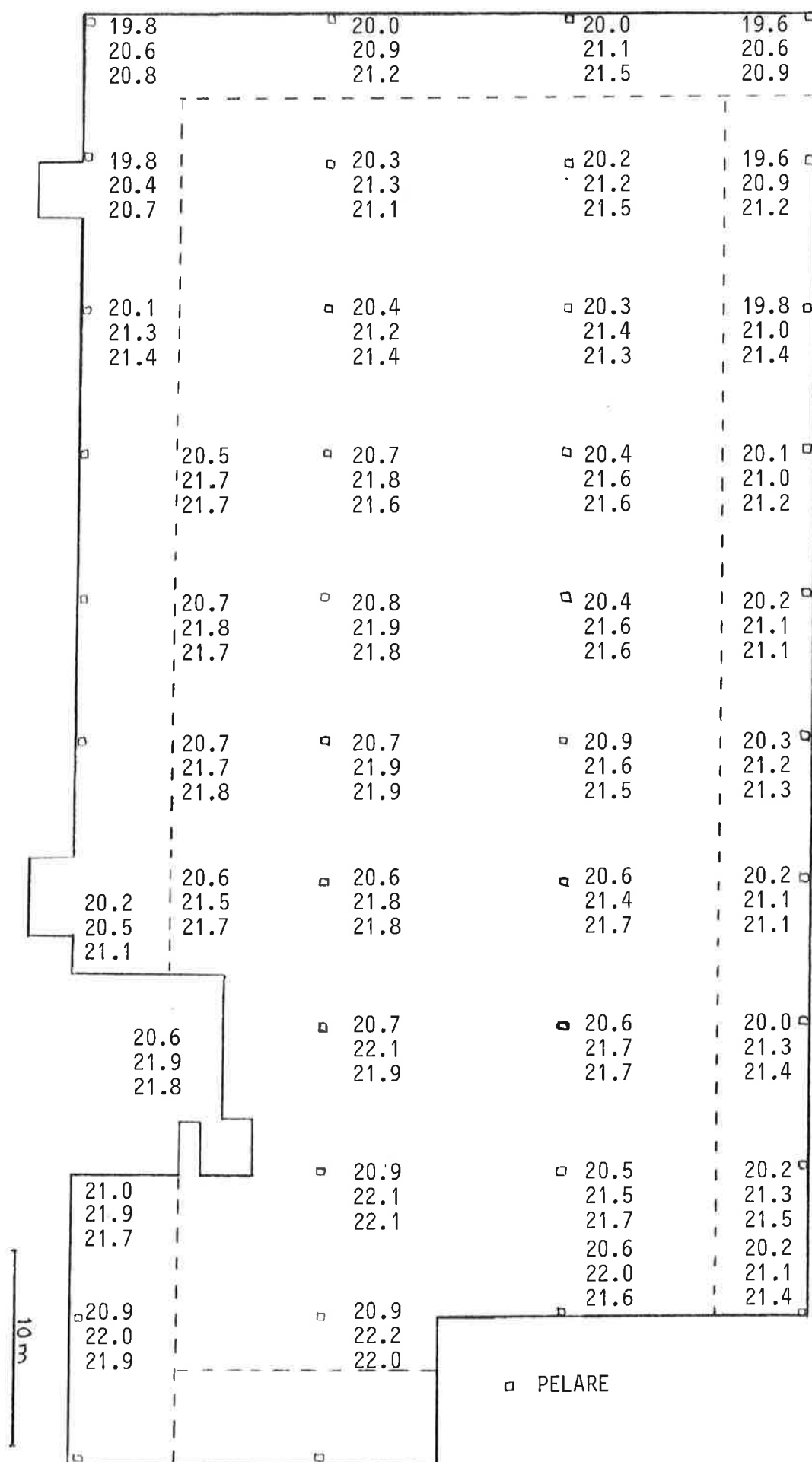
2.2 Temperaturfördelning över landskapet

För att se hur temperaturen varierar över rummet och för att kontrollera hur väl givarna - som ju sitter i taket - verkligen ger värden som överensstämmer med de verkliga i lokalen, så har jag mätt upp temperaturen på ett antal platser spridda över landskapet. För mätningarna som gjorts en meter ovanför golvet har använts en digitaltermometer med ett absolut fel på mindre än $\frac{1}{2}$ grad och med upplösningen $1/10$ grad, vilket är noggrant. FIG.2.3 visar resultatet. Den första mätningen gjordes på morgonen före arbetets början och med reducerad belysning, den andra gjordes klockan 9.30 och den sista klockan 14.30. Varje mätning tog en halvtimme.

Som framgår är luften relativt välblandad med en tendens att bli kallare mot fönstren. Frampå dagen så höjs temperaturen någon grad och temperaturfördelningen blir jämnare. Vid tillfället så var radiatorsystemet på NO-sidan avstängt medan det på SV-sidan fungerade normalt.

Vädret var molnigt, temperaturen 4-6, vinden 4 m/s, som låg på mot västra sidan.

Tilluften var cirka 23, 18 och 16 grader under de tre försöken vilket är normalt. Trots att utetemperaturen ligger femton grader lägre än inomhustemperaturen, så värmer man bara några få timmar på morgonen för övrigt står armaturer, människor och radiatorer för uppvärmningen. Börvärdena är 20.4, 20.0, 20.0 för SV, NO respektive mitt-zonen.



TAB.2.1 Temperaturfördelningen i landskapet en dag i december. Översta värdet kl 06.00 sedan kl 09.30 och 14.30.

Vi kan också jämföra de uppmätta temperaturerna med frånluftstemperaturerna enligt datorn, se TAB.2.2, talet inom parentes är ett medelvärde för respektive zon från den manuella mätningen.

TAB.2.2 NOVA-datorns registrerade frånluftstemperatur jämförd med manuellt uppmätt lokaltemperatur.

	Mätperiod 1	Mätperiod 2	Mätperiod 3
SV-zon	19.7 - 19.8 (20.2)	20.5 - 20.6 (21.1)	20.4 - 20.5 (21.3)
NO-zon	19.9 - 20.0 (20.1)	20.4 - 20.5 (21.1)	20.4 - 20.6 (21.3)
mitt-zon	19.6 - 19.7 (20.6)	20.3 - 20.5 (21.7)	20.3 - 20.4 (21.7)

Kommentar

Dessa siffror ger en fingervisning om vilken noggrannhet som datorns registrerade mätvärden har. Mätfelen från temperaturgivarna är +0.6, +0.5, +1.1 grader i genomsnitt för de tre mätningarna.

Felen tycks öka fram på dagen. Om vi därför för tillfället antar att felen är +0.3, +0.2, +0.9 grader och ställer upp en tabell för det resterande felet så får vi:

SV-zon	0.1	0.2	0.5
NO-zon	-0.1	0.4	0.5
mitt-zon	0.0	0.3	0.4

genomsnitt	0.0	0.3	0.5

En förklaring till att felet ökar skulle kunna vara att det under dagens lopp uppstår en temperaturgradient mellan taknivån där tilluften kyler och arbetsnivån där ett värmetillskott kommer från personal och belysning. Som ett resultat av detta systematiska fel så skulle regleringen "luras" och den verkliga lokaltemperaturen komma att bli för hög. Botemedlet blir i så fall att flytta ner temperaturgivarna från taket till arbetshöjd.

2.3 Luftflödet

Ett försök att mäta upp verkliga luftflöden på tilluften har också gjorts. Mätningarna utfördes i tryckkammaren. Dels mättes totala luftflödet som passerar ut från TA9.1 dels de tre luftflöden som går in i eftervärmarna LV9.1, LV9.2, LV9.3 enligt FIG.2.3. Först användes en varmtrådsanemometer (bygger på principen att en metalltråds resistans beror på temperaturen, den kylning som en passerande luftmängd utövar på en uppvärmd tråd blir då ett mått på luftens hastighet) senare användes en vinghjulsanemometer (ett lätt vinghjul bringas att rotera i en luftström, hjulet får rotera under en minut, antalet varv är ett mått på den integrerade vindhastigheten under minuten).

Mätningens betingelserna var svåra med starkt turbulent flöde och stora variationer i lufthastigheten över de uppmätta ytorna. Varmtrådsanemometern visade sig ge osäkra värden och nya mätningar företogs med en vinghjulsanemometer. Flödet beräknas som lufthastighet gånger area, där lufthastigheten var medelvärden av fyra till åtta mätningar över den aktuella arean. Det slumpmässiga felet uppskattas till $s=10\%$.

TAB.2.3 Uppmätta luftflöden

	Enhet	LV9.1	LV9.2	LV9.3	Hela TA9.1
Uppmätt flöde	m^3/h	3500	3600	13800	60000
Dimensionerat flöde	m^3/h	4800	4400	16200	68500
Procentuell skillnad		-27	-18	-15	-12

2.4 Glapp i ventilställdon

Under arbetets gång visade det sig att otolerabelt stora glapp fanns i vissa ventilställdon i radiatorkretsarna och i primär- och sekundärkretsarna till eftervärmningsbatterierna. Glappen uppgick till mellan 8 och 12 sekunder vilket är alltför stort med tanke på att hela gångtiden är 60 sekunder. Dessa ventiler byttes ut av ASG med resultat att aktuella reglerloopar blev stabilare.

3 TEORETISKA MODELLER

Några modeller grundade på värmelära och konstruktionsdata plus olika förenklade antaganden presenteras. Med hjälp av dessa kan vi ge en fysikalisk tolkning av de siffervärden som identifieringen ger. Alternativt, om de överensstämmer dåligt så kan vi konstatera att den teoretiska modellen inte beskriver det dominanta skeendet.

Fördelen med en teoretisk modell är ju den allmängiltighet och den insikt den ger om hur olika parametrar påverkar. Många svårigheter uppstår dock i tolkningen av modellerna dels på grund av svårigheter att bestämma numeriska värden och dels beroende på alla förenklingar t ex över vilken yta (av vilket material?) sker det dominerande värmeutbytet? För samtliga modeller hämtas numeriska värden från APPENDIX 1.

3.1 Modell A, B och C

En energibalans ställs upp för landskapet. Förutsätt att:

1. luften blandas fullständigt så att temperaturen är konstant i varje zon och frånluftstemperaturen är lika med lokaltemperaturen
2. inga transporttider förekommer,
3. till- och frånluftsflödena är lika i varje zon,
4. omgivningen kan betraktas som en "massa" där vi räknar in väggar, golv, tak och inredning, allt värmeutbyte mellan luft och omgivningen sker som konvektion till denna massa.
5. massans värmekapacitet och värmeledningsförmåga är så pass stora att vi kan anse dess temperatur vara konstant
6. luftväxlingen mellan SV-zonen och NO-zonen är försumbar, vilket är naturligt med tanke på deras lilla beröringsyta
7. övriga värmekällor försummas

Betraktar vi de tre temperaturerna i de tre zonerna får vi (3.1):

$$C_1 \frac{d}{dt} x_1(t) = -(Q_1 + Q_{12} + Q_{13} + A_1 h) x_1(t) + Q_{12} x_2(t) + Q_{13} x_3(t) + Q_1 U_1(t) + A_1 h U_o \quad (3.1)$$

$$C_2 \frac{d}{dt} x_2(t) = -(Q_2 + Q_{12} + A_2 h)x_2(t) + Q_{12}x_1(t) + Q_2 x_2(t) + A_2 h U_0 \quad (3.1)$$

$$C_3 \frac{d}{dt} x_3(t) = -(Q_3 + Q_{13} + A_3 h)x_3(t) + Q_{13}x_2(t) + Q_3 x_3(t) + A_3 h U_0$$

där $x_i(t)$ = temperaturen i zonen

$U_i(t)$ = temperaturen i tilluften

U_0 = temperaturen i massan

$C_i = V_i d c$ = värmekapaciteten i luften

V_i = zonenens volym

d = luftens densitet

c = värmekapacitivitet för luft

$Q_i = q_i d c$ = värmekapaciteten i tilluften per tidsenhet

q_i = tillflöde per tidsenhet

$Q_{ij} = q_{ij} d c$

q_{ij} = luftflöde mellan två zoner

A_i = ytan mellan zonen och omgivningen

h = genomsnittlig värmeövergångsförmåga för massan

index 1, 2 och 3 står för mittzon, SV-zon respektive NO-zon.

Dessutom inför vi:

$$n_i = \frac{Q_i}{C_i} = \text{antal luftväxlingar per tidsenhet}$$

$$n_{ij} = \frac{Q_{ij}}{C_i}$$

$$n_{ji} = \frac{Q_{ij}}{C_j}$$

$$r_i = \frac{A_i h}{C_i}$$

Om vi betraktar $x_1(t)$, $x_2(t)$ och $x_3(t)$ som tillstånd och utsignaler och

$u_1(t)$, $u_2(t)$ och $u_3(t)$ som insignaler kan vi skriva (3.1) enligt den reglertekniska standardformen:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} x = Ax + Bu \\ y = Cx \quad (A, B, C \text{ är matriser}) \end{cases} \quad (3.2)$$

dvs

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} -(n_1+n_{12}+n_{13}+r_1) & n_{12} & n_{13} \\ n_{21} & -(n_2+n_{21}+r_2) & 0 \\ n_{31} & 0 & -(n_3+n_{31}+r_3) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} + \\ &+ \begin{pmatrix} n_1 & 0 & 0 & r_1 \\ 0 & n_2 & 0 & r_2 \\ 0 & 0 & n_3 & r_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_0 \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (3.3)$$

Modell A

Först kan vi lägga märke till att zonerna är löst kopplade till varandra dvs om luftutbytet mellan dem är litet (sätt $n_{12}=n_{13}=n_{21}=n_{31}=0$) så förenklas (3.3) till tre stycken oberoende 1:a ordningens differential-ekvationer:

$$\frac{d}{dt} x_i(t) = - (n_i+r_i) x_i(t) + n_i u_i(t) + r_i u_0 \quad i=1,2,3$$

Laplace-transformeras dessa ekvationer så uttrycks överföringsfunktionen mellan in- och utsignal av

$$G_i(s) = \frac{\frac{n_i}{n_i+r_i}}{1 + \frac{1}{n_i+r_i} s} = \frac{k_i}{1+T_i s}$$

den statiska förstärkningen blir då $k_i = \frac{n_i}{n_i+r_i}$ medan tidskonstanten $T_i = \frac{1}{n_i+r_i}$.

Med insatta numeriska värden på antal luftväxlingar och värmeövergångstal från APPENDIX 1 får vi: (Mitt, SV,NO):

$$k_1 = 0.20 \quad k_2 = 0.22 \quad k_3 = 0.20$$

$$T_1 = 4.0 \text{ min} \quad T_2 = 3.6 \text{ min} \quad T_3 = 4.3 \text{ min}$$

Modell B

Om å andra sidan zonerna är starkt kopplade till varandra dvs om luftutbytet mellan dem är stort så blir temperaturen lika över lokalen (sätt $x_1=x_2=x_3=x(t)$) och (3.2) urartar till:

$$\frac{d}{dt} x(t) = -(n+r) x(t) + nu(t) + ru_0$$

där

$$n = (Q_1+Q_2+Q_3)/(C_1+C_2+C_3)$$

$$r = (A_1+A_2+A_3)h/(C_1+C_2+C_3)$$

$$u(t) = (Q_1u_1+Q_2u_2+Q_3u_3)/(Q_1+Q_2+Q_3)$$

Överföringsfunktionen från - den genomsnittliga tilluftstemperaturen - $u(t)$ till $x(t)$ är

$$G(s) = \frac{\frac{n}{n+r}}{1 + \frac{1}{n+r} s}$$

vilket medför att

$$k = \frac{n}{n+r} \qquad k=0.20$$

med numeriska värden insatt

$$T = \frac{1}{n+r} \qquad t=4 \text{ min}$$

Modell C

Att i allmänna fallet lösa ut $G(s)$, som med beteckningar från (3.2) uttrycks som $G(s) = C(sI-A)^{-1}B$, med papper och penna är - om det är möjligt - onödigt krävande. Enligt APPENDIX 2 kan vi uppskatta vilka tidskonstanter som detta tredje ordningens system har. Vi uppskattar den största tidskonstanten T_m till:

$$T_m = \max\left(\frac{1}{n_1+r_1}, \frac{1}{n_2+r_2}, \frac{1}{n_3+r_3}\right)$$

eller med insatta värden

$$T_m = 4 \text{ min}$$

De tre modellerna A, B och C har det gemensamt att den största tidskonstanten är mindre än fem minuter. Detta värde visar sig vara åtta till tio gånger för litet jämfört med de resultat som identifieringen ger, vilket får oss att granska förutsättningarna.

Den av förutsättningarna 1-5 som kanske bryter mest mot verkligheten är nr 5. Sannare, än att temperaturen i "massan" skulle vara konstant, vore att anta att värmeutbyte sker med massans ytskikt genom konvektion

men att denna värme leds in i och lagras i massan för att sedan kunna återgå till luften om temperaturen där sjunker. Ett sådant synesätt leder uppenbart till att temperaturändringar i luften motverkas och fördröjs vilket är liktydigt med att våra tidskonstanter blir större.

3.2 Modell D

Vi provar alltså en modell där massan delas i ett ytterskikt med index 4 i ekvationerna och övriga massan som innerskikt. Den senare får behålla förutsättningen om konstant temperatur medan vi för ytterskiktet inför ett nytt tillstånd $x_4(t)$. För att göra uppgiften lättare så utgår vi, som i modell B, från att $x_1=x_2=x_3=x(t)$.

En energibalans ger ekvationen:

$$\begin{cases} C \frac{d}{dt} x(t) = -(Q+Ah) x(t) + Ah x_4(t) + Q u(t) \\ C_4 \frac{d}{dt} x_4(t) = -(Ah+A_4h_4) x_4(t) + Ah x_1(t) + A_4h_4 u_0 \end{cases} \quad (3.4)$$

där

- $x_4(t)$ = temperaturen i ytskiktet
- C_4 = värmekapacitansen i ytskiktet
- A_4 = ytan mellan ytskiktet och övriga massan
- h_4 = värmeövergångsförmågan mellan ytskiktet och övriga massan

Genom att variera på parametrarna går det att placera polerna var vi vill. Med rimliga värden på de fysikaliska konstanterna har jag dock inte lyckats att få en uppdelning av överföringsfunktionen med en dominerande term som har en längre tidskonstant än vad de första ordningens system har.

De första ordningens modeller enligt förra avsnittet kvarstår alltså som de bästa teoretiska modellerna.

4 FÖRBEREDELSE INFÖR IDENTIFIERINGEN

För att få en matematisk modell av processen räcker det inte att studera de normala fluktuationerna på in- och utsignalerna och beräkna deras samband. Istället skall vi störa processen ordentligt genom att styra ut insignalerna enligt ett förutbestämt mönster. Genom att se till att de fem insignalerna - de tre tilluftstemperaturerna och två radiatortemperaturer - är oberoende inbördes så bör det bli möjligt att särskilja vilken verkan var och en av insignalerna har på var och en av utgångarna, detta under förutsättning att det går att styra ut signalerna tillräckligt länge och kraftigt.

Det är inte alls självklart hur man ska gå tillväga vid identifieringen som är en svår konst, men eftersom programvara fanns utvecklad för ML och LS-identifiering (se nedan) i programpaketet IDPAC så blev mycket givet på förhand. Återstående problem var framförallt val av insignal.

IDPAC är ett kommandostyrt program för dataanalys och identifiering, som har utvecklats vid institutionen för Reglerteknik i Lund. Det arbetar på datafiler och systemfiler dvs beskrivningar är dynamiska system och resultaten kan plottas på display eller skrivas ut på radskrivare. IDPAC finns beskrivet i Wieslander (1976).

Nedan följer en genomgång av använda metoder, kriterier och insignaler.

4.1 Parametrisk modell

Antag att vi har mätt en utsignal $y(t)$ och p stycken insignaler $u_1(t), \dots, u_p(t)$ under M st sampel, $t=1, 2, \dots, M$. En linjär differensekvation av ordning n mellan dessa är

$$\begin{aligned}
 y(t) + a_1 y(t-1) + \dots + a_n y(t-n) = & b_{11} u_1(t-1) + b_{12} u_1(t-2) + \dots + \\
 & + b_{1n} u_1(t-n) + \dots + b_{p1} u_p(t-1) + b_{p2} u_p(t-2) + \dots + b_{pn} u_p(t-n) + \\
 & + c_1 e(t-1) + c_2 e(t-2) + \dots + c_n e(t-n)
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

där a_i , b_{ij} och c_i är konstanter (parametrar)

$e(t)$ är ekvationsfelet även kallat residualen och den betraktas som en realisering av vitt brus.

Identifieringen går ut på att bestämma de a_i , b_{ij} och c_i som minimerar förlustfunktionen

$$V = \frac{1}{2} \left(e(n)^2 + e(n+1)^2 + \dots + e(m)^2 \right) \quad (4.2)$$

som uppstår då (4.1) ställs upp för $t=n+1, n+2, \dots, M$.

Denna identifiering får vi utföra för var och en av utsignalerna, det totala systemet får vi genom att superponera (kräver egentligen linjära delsystem) de olika delsystemen. Något samband mellan ut signaler kan inte tas med i modellen.

Att man söker en modell just på formen (4.1) beror på att det finns en väl utvecklad teori för beräkningar av systems (och regulatorers) uppträdande utgående från denna form. Detta får uppväga nackdelen av att beskriva ett uppenbart olinjärt system med en linjär modell.

För att särskåda vad modellformen 4.1 innebär för olika signalers påverkan av utsignalen så är det lämpligt att införa en kortform av 4.1:

$$A(q^{-1}) y(t) = B_1(q^{-1}) u_1 + B_2(q^{-1}) u_2(t) + \dots + C(q^{-1}) e(t) \quad (4.1b)$$

där q är skriftoperatoren: $q y(t) = y(t+1)$

A, B, C är polynom i q^{-1}

En nackdel för formen (4.1) är att alla insignaler som påverkar en utsignal har samma A -polynom i sin överföringsfunktion (se FIG.5.1):

$$H_i(q^{-1}) = \frac{B_i(q^{-1})}{A(q^{-1})}$$

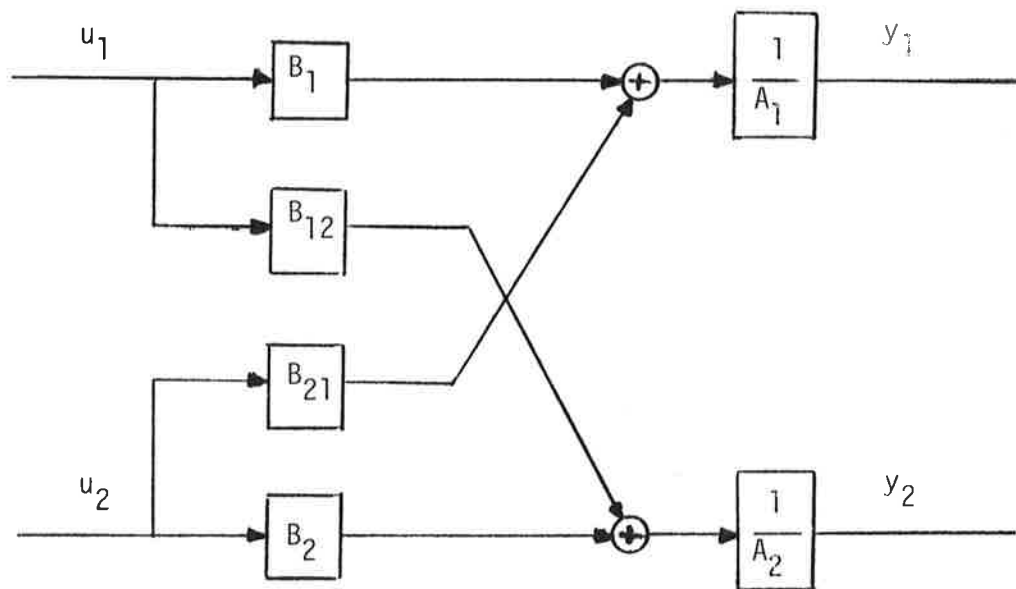


FIG.4.1 En process med två insignaler och två utsignaler såsom IDPAC -programmet representerar det.

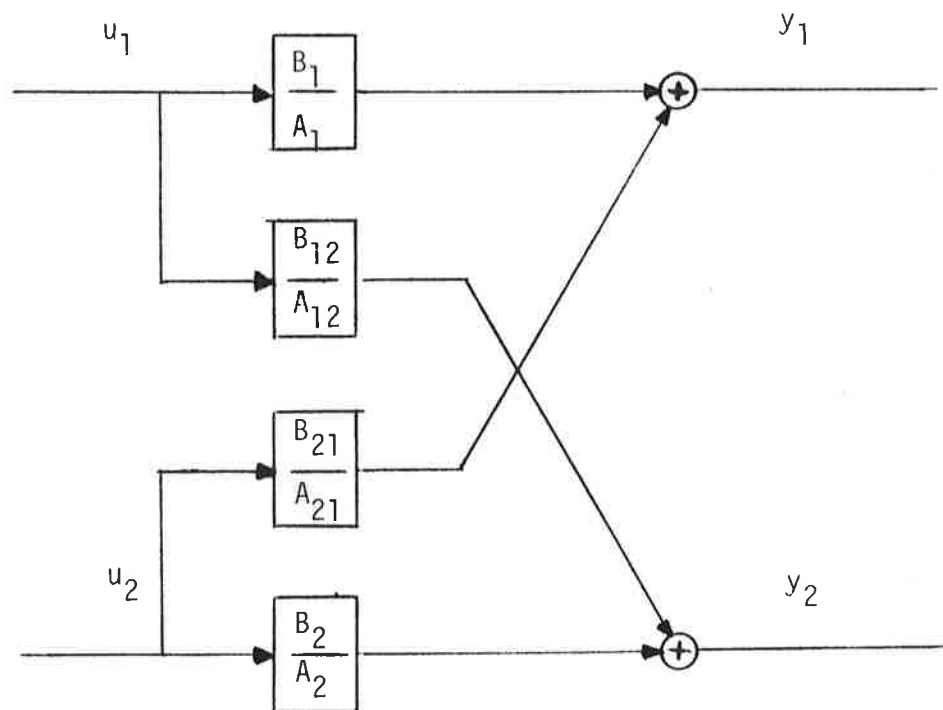


FIG.4.2 Samma process på en mer lyckad form.

Vid teoretiskt modellbyggande antar man tvärtemot detta ofta att A-polynomen är olika. En rimligare tanke vore att se dynamiken uppdelad som i FIG.5.2. Teoretiskt så innebär den nya uppdelningen inget nytt. Genom att höja ordningen på A- och B-polynomen i FIG.5.1 så kan man fortfarande uttrycka varje system som beskrivs av FIG.5.2. Men eftersom det i praktiken är svårt att identifiera system av högre ordning t ex är noggrannheten inte så stor att poler kan förkortas bort mot nollställ-
len, (dessutom kommer nya moder att identifieras då ordningen höjs) så kommer den nya uppdelningen i praktiken att innebära en generellare modellform.

Varje delsystem kan enligt superpositionsprincipen identifieras genom att låta en insignal i taget styra ut systemet, medan övriga insignaler är lika med noll. Det som stjälper idén är dock att identifieringen skulle ta alltför lång tid, experimentet måste ju upprepas för varje insignal. En annan nackdel vore att betingelserna skulle kunna ändras under experimentens gång (störningarna ändrar sig från natt till natt etc).

Slutligen kan vi rita upp ett antal delsystem där signalen har möjlighet att påverka utsignalen, se FIG.4.3. Naturligtvis kan vi tänka oss flera delsystem, till exempel borde utetemperatur, sol och vind ha direkt samband med inomhustemperaturen. Sist och slutligen är det ju dessa som dimensionerar hela uppvärmningen, men som nämnts tidigare är variationerna från uteklimatet ofta alltför små och dessutom troligtvis för långsam karaktär (gäller ej solstrålning), för att kunna ge bidrag till den dynamiska modell för luften som vi söker. Däremot bestämmer uteklimatet säkert "arbetspunkten" för klimatsystemet.

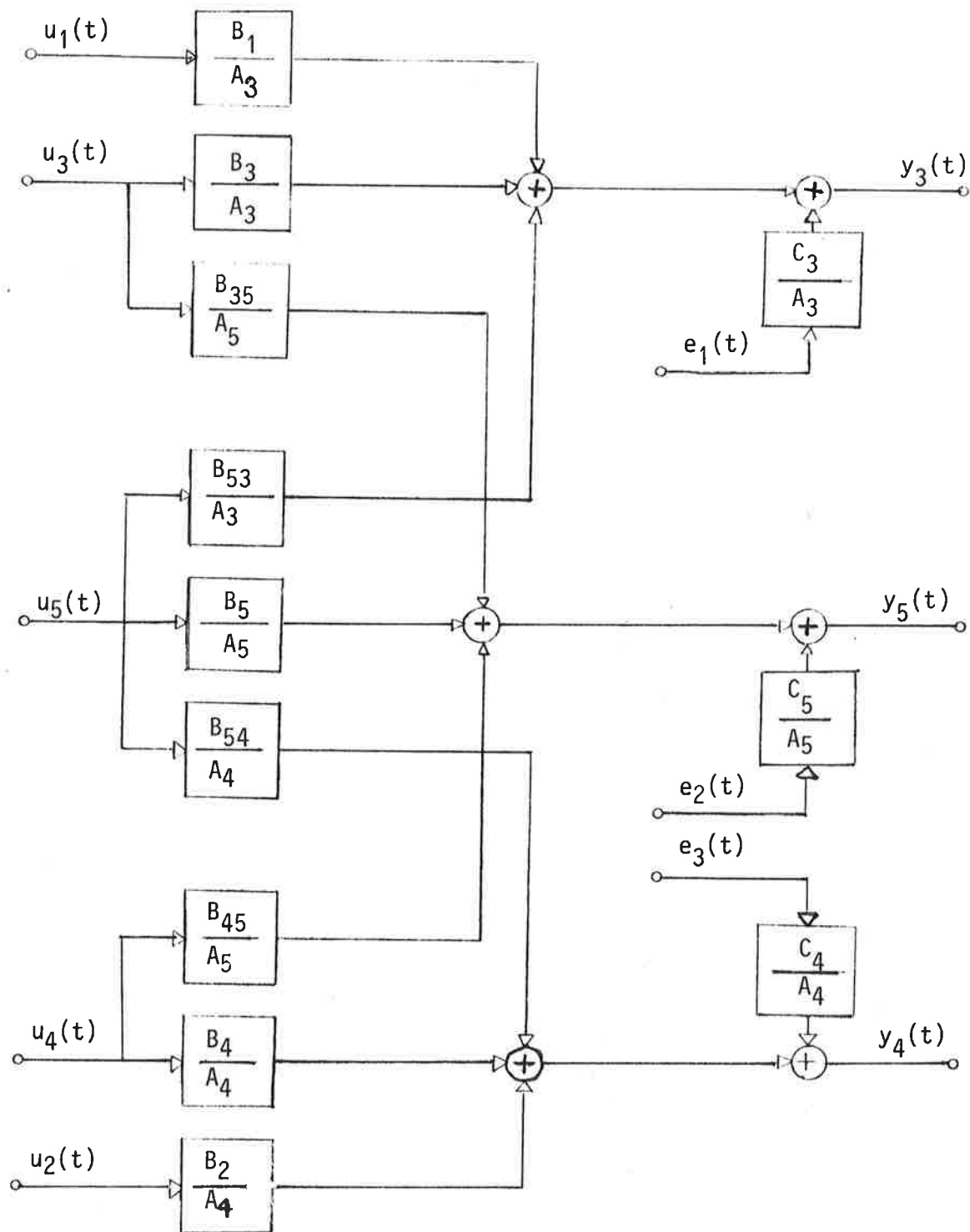


FIG.4.3 Några delsystem som skulle kunna identifieras. Insignaler och utsignaler finns listade i avsnitt 5.1. e_1 , e_2 , e_3 är tre realiseringar av vitt brus (normerade till $r_{ee}(0)=1$).

4.2 Lösningsmetod

Två metoder har använts för att räkna fram modellen. Enklast är minsta kvadratmetoden, LS (=least square). Denna förutsätter att $c_1=1$ och $c_i=0$ för övrigt. Lösningen är snabb och enkel, men nackdelen är att om residualen $e(t)$ inte är vitt brus så kommer skattningarna av parameterna inte att bli de sanna. En lättare metod är då maximum likelihood (ML) metoden, som är en prediktionsfelmetod. Den ger även en modell av bruset. Den numeriska lösningssmetod som ML-metoden använder tar dock längre tid än LS-metoden som har en analytisk lösning. Det finns även en risk att ML-metoden itererar fram ett lokalt minimum och på så sätt missar den riktiga lösningen. Därför har LS-lösningen använts till det stora arbetet att hitta lämpliga strukturer dvs bestämma vilka insignaler som påverkar och om de eventuellt innehåller någon tidsfördröjning etc, medan ML-metoden använts efteråt för att bestämma en något bättre skattning. Som mått på felet kan man ange förlustfunktionen V eller standardavvikelsen för bruset s som ges av

$$s^2 = \frac{2}{M} V$$

För klarhets skull skiljer vi i fortsättningen på residualen $e(t)$ och modellfelet $e(t)/A(q^{-1})$. Modellfelet är alltså skillnaden mellan den verkliga utsignalen $y(t)$ och modellens utsignal $u(t) \cdot B(q^{-1})/A(q^{-1})$.

4.3 Verifikation

Enklast är att plotta uppmätt utsignal och utsignal från modellen och jämföra med ögonen, modellen har då oftast beräknats från halva mätdata för att ha andra delen som kontroll. Eftersom flera utsignaler från olika modeller kan plottas "ovanpå" varandra har det varit lätt att se olika insignalers inverkan. Man kan även plotta residualen $e(t)$ och göra tester på om den verkligen är vitt brus.

Ett problem som dyker upp är vilken ordning modellen ska ha. Eftersom en första ordningens modell har en enkel fysikalisk tolkning, se kapitel 3, så har den använts flitigast. När vi höjer ordningen så kommer förlustfunktionen att minska, frågan är då om denna minskning är signifikant eller om modellen bara anpassat sig till det slumpmässiga bruset. I Söderström (1975) visas att för två modeller med ordningstalen n_1 och n_2 gäller att

$$C = (V_1 - V_2) / V_2 \cdot (M - n_2) / (n_2 - n_1)$$

är $F(N - n_1, n_2 - n_1)$ -fördelat. Nu kan man testa ordningstalet statistiskt genom att godta den nya modellen om C är stort. En lagom testgräns är 4, som ska ses som en tumregel.

4.4 Val av insignal

En bra insignal ska vara lätt att generera, ha hög effekt jämfört med amplituden och ha lämpliga statistiska egenskaper. En signal som uppfyller dessa villkor är PRBS-signalen (Pseudo Random Binary Sequence).

Den är periodisk och växlar värde mellan plus och minus amplituden (a) i diskreta tidpunkten ($k \cdot T$). PRBS-signalen är fullständigt deterministisk och konstruerad för att ge låg autokorrelationsfunktion:

$$r_{uu}(l) = \frac{1}{M} \sum_i u(i) u(i-l) \quad (4.3)$$

Några egenskaper

Sekvensen framställs i ett återkopplat skiftregister med N_{bit} bitar. Perioden är

$$\text{Per} = 2^{N_{\text{bit}}} - 1 \quad (4.4)$$

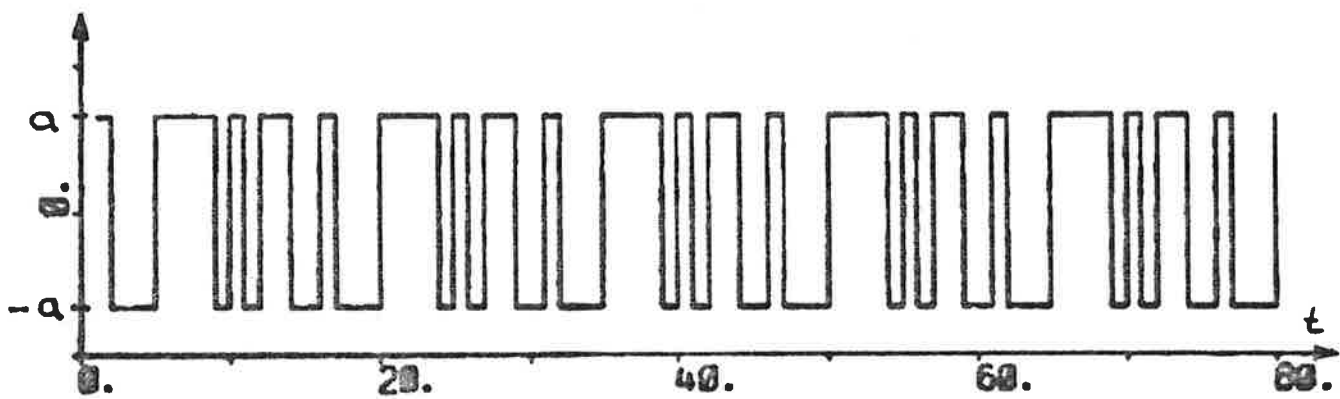


FIG. 4.4 Exempel på en PRBS-sekvens med $N_{\text{bit}}=4$, $T=1$.

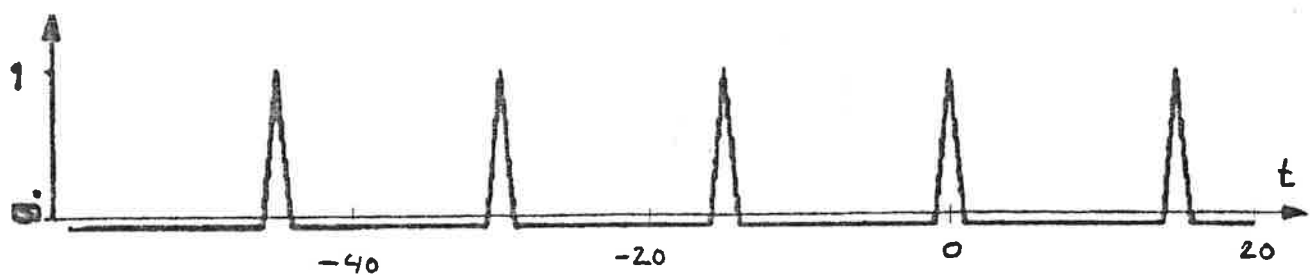


FIG. 4.5 Motsvarande autokorrelationsfunktion

Allmänt gäller att autokorrelationsfunktionen är

$$r_{uu}(l) = \begin{cases} 1 & l=0, k \cdot T_{per} \quad k \text{ är ett heltal} \\ \frac{-1}{N_{bit}} & \text{för övrigt} \end{cases}$$

vilket intuitivt är en värdefull egenskap om man vill ha god tidsupp- lösning mellan orsak och verkan. Att (4.5) är periodisk medför ett krav att systemets stegsvar ska hinna svänga in sig tillräckligt under en tidsperiod lika med T_{per} . I frekvensplanet medför (4.5) att insigna- len innehåller många frekvenser och alltså bör kunna excitera systemets moder över ett brett frekvensområde.

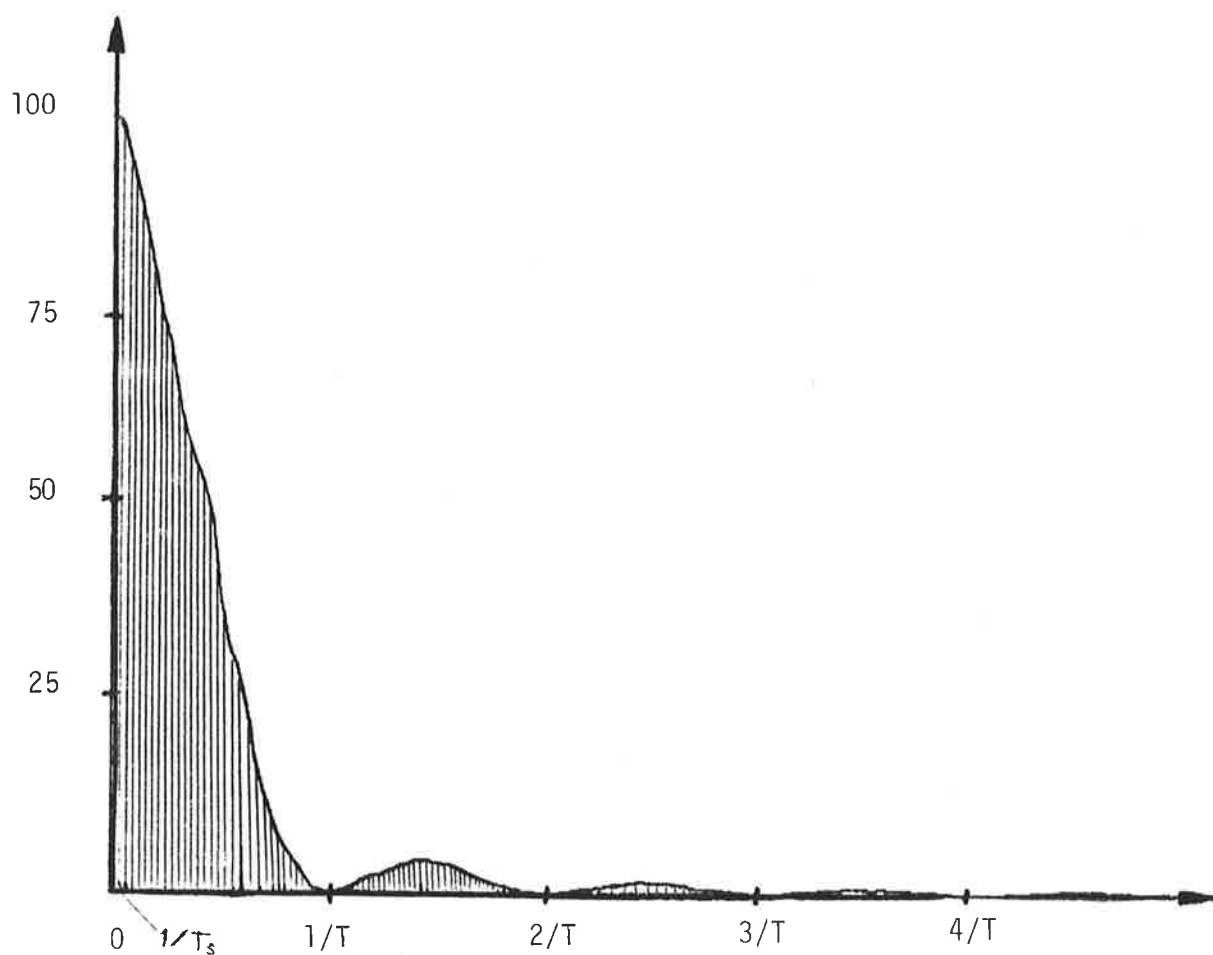


Fig.4.6 Motsvarande effektspektrum då $40T_s = T_{per}$.

Här blottas en av PRBS - sekvensens stora nackdelar. Effekten varierar mycket med frekvensen och är tom noll vid vissa frekvenser.

PRBS-signalen behandlas utförligt i Davies (1970) och Gustavsson (1970). I den senare referensen anges följande tumregler för val av parametrarna N_{bit} , T , a och samplingstiden (T_s) som lämpligen väljs till en jämn multipel snabbare än T .

$$2 \cdot T_{max} < N_{bit} \cdot T < 4 \cdot T_{max}$$

$$2 \cdot T_{min} \ll T_s < 10 \cdot T_{min} \quad (4.4)$$

$$T_{tot} = T_{per} \cdot T = (2^{N_{bit}} - 1)T$$

Där T_{max} och T_{min} står för den största respektive minsta tidskonstant som vi är intresserade av. När man studerar luftens dynamik brukar de ligga från 1 minut upp till 60 minuter. Vi sammanfattar (4.4) i ett nomogram, se FIG.4.4 sist i kapitlet. För att uppfylla kraven (4.4) på bästa sätt krävs en mycket lång total experimenttid (T_{tot}). Detta kommer att begränsa möjligheterna starkt, eftersom experimenttiden är begränsad till 10 timmar, någon gång 20 timmar. Därmed faller också en del av de statistiska egenskaperna som egentligen kräver långa sekvenser. Genom att för varje aktuellt fall beräkna autokorrelationen och korskorrelationen (se nedan) så kan man förvissa sig om att egenskaperna ändå består tillräckligt noggrant.

4.5 Fem oberoende signaler

Det finns flera sätt att få fram ett antal ömsesidigt oberoende signaler. Ett sätt är att multiplicera en ursprungssekvens med inbördes ortogonala binära sekvenser hämtade från en $s \times k$ Hadamard-matris vilket medför att insignalerna beroende av varandra blir identiskt noll. Enklare är dock att utgå från en tillräckligt lång PRBS-sekvens som insignal nummer ett och sedan fördröja denna $T_{per}/\text{antal insignaler} = T_d$ stycken tidssteg och låta den nya sekvensen vara insignal nummer två, sedan förskjuta nummer två på samma sätt för att ge insignal 3 osv.

På så sätt blir korskovariansfunktionen mellan två närliggande insignaler:

$$r_{uv}(l) = \frac{1}{M} \sum_i u(i) v(l-i) = \begin{cases} 1 & , \quad l=td, Td+k \cdot T_{per} \\ -\frac{1}{N_{per}} & \text{för övrigt} \end{cases} \quad (4.5)$$

vilket är samma som autokorrelationen (4.3) förutom att "spiken" är förskjuten tiden T_d för två närliggande insignaler. Vi måste nu välja PRBS-sekvensen så att systemets stegsvar svänger in sig tillräckligt på tiden T_d . I FIG.4.4 gäller det då att välja en punkt över kurvan $T_{tot} = \text{insvängningstiden (ofta} = 2-4 \text{ gånger } T_{max}) \cdot \text{antal insignaler.}$

Ett tredje sätt att konstruera oberoende insignaler provades också. Detta genom att välja två olika grundperioder (meningen var att styra ut radtatorerna med den längre), och sedan prova fram lämpliga tidsfördröjningar. Metoden misslyckades totalt och är inte att rekommendera, åtminstone inte för så korta sekvenser det här är fråga om. Man kan även visa detta teoretiskt, se Davies (1970).

4.6 PRBS-generatorn

Programskrivning

Ett reelltids program för generering av fem stycken inbördes förskjutna PRBS-sekvenser togs fram, huvudsakligen reviderades ett gammalt program med samma uppgift. Vidare skrevs ett program som listar ut tillståndet under varje sampel i en period, i det återkopplade skiftregister vars utsignal bildar PRBS-sekvensen. Ett exempel på dess utskrift ges i APPENDIX 4. Genom att dela denna lista i fem lika delar och välja de fem starttillstånden som de första i varje del, så får man enkelt den största möjliga förskjutningen mellan sekvenserna.

Val av parametrar

Amplituden först. Enligt upploggningsen av veckoslutet FIG.2.1 så kan vi konstatera att förstärkningen över rummet är mycket mindre än ett, dvs tilluftens temperatur måste ändras kraftigt för att ge upphov till en synbar förändring av frånluften. Men man kan inte välja amplituden alltför stor, eftersom risk då föreligger att en del av luftens vatten kondensera när temperaturen hastigt sänks. Detta sätter en gräns på amplituden på fem till sju grader.

Grundperioden och skiftregistrets längd valdes till lämpliga punkter i nomogrammet, FIG.4.4. Sammanfattningsvis, för de tre genomförda experimenten

Experiment	A	B	C
T (min)	20	20	40
Nbit	5	5	4
Ts (min)	2	2	2
a(SV,NO,mitt) (°C)	6,6,6	6,6,6	6,6,3.5
Verklig experimenttid (min)	600	300	1100

4.7 Praktiska ingrepp

Före identifieringen vidtas några åtgärder.

Anläggningen tvingas till fullfart, dels manuellt från ASG i Malmö genom att koppla ur den automatiska sänkningen till halvfart under natten, och dels genom att inhibera en tidkanal i DDC-6 programmet som avgör om tilluftsregleringen mm skall utföras, denna reglering utförs normalt inte under natten.

PI-regulatorn i kaskadregulatorerna för tilluften "dödas". Börvärdet till PI-regulatorerna (se FIG.1.4) tas hädanefter från de översända PRBS-signalerna. Likaså ser vi till att börvärdena till radiatorernas regulatorer sänds över från PRBS-generatorn.

Kommentar

Ovanstående medför att den verkliga insignalen till systemet inte blir PRBS-signalen, utan denna "filtreras först genom eftervärmare-processen". Tyvärr är denna process måttligt stabil, vilket speciellt gäller den viktiga eftervärmaren LV9.3.

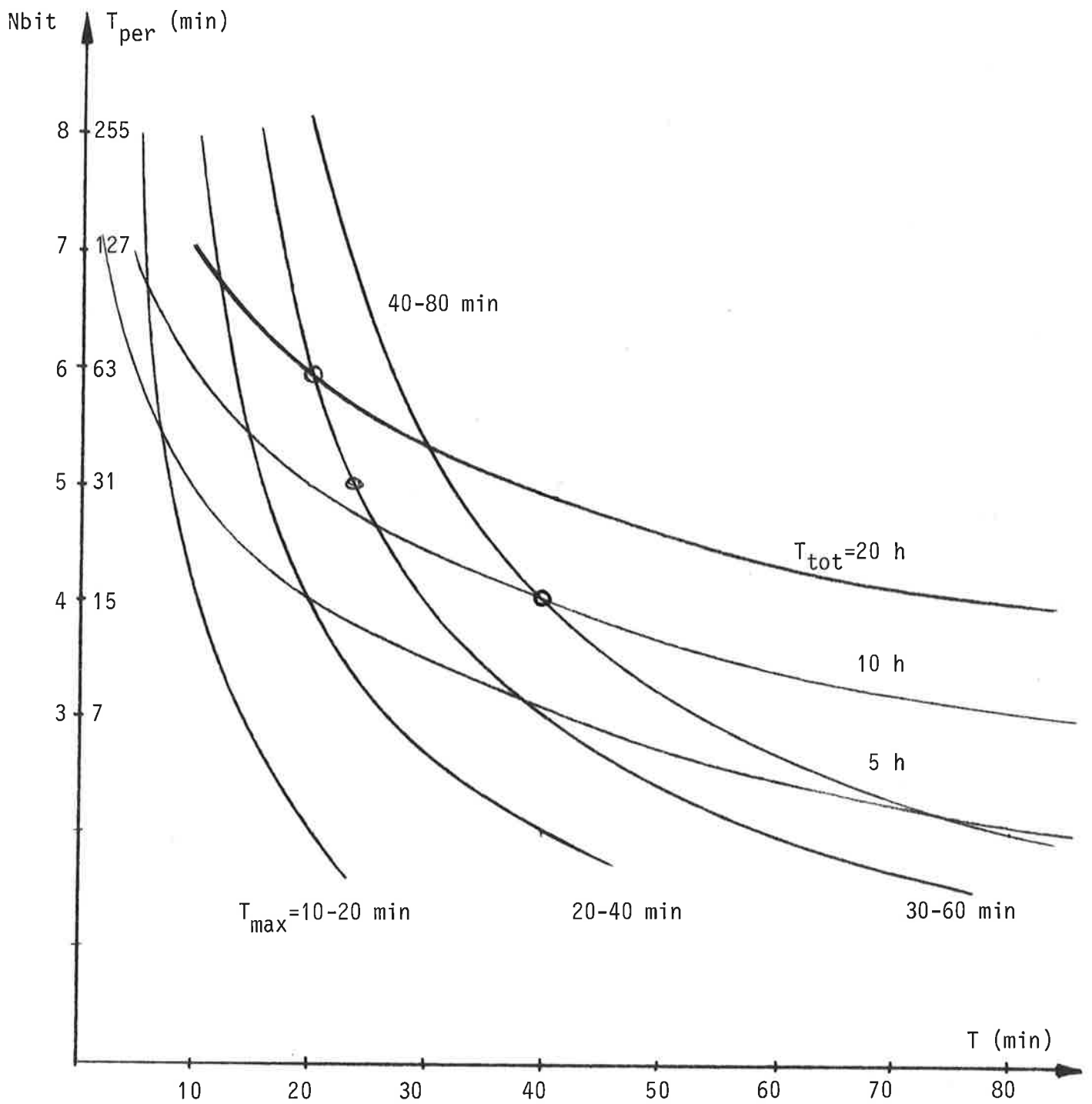


FIG.4.4 Nomogram för bestämmande av PRBS-generators parametrar.

Exempel på användning:

Problem: Välj PRBS-signal för identifiering av en process med 5 in-sig-naler och med en största tidskonstant på 60 minuter.

Om svängningstiden är $2T_{\max}=120$ min så blir totala experimenttiden minst $120 \cdot 5 = 600$ min = 10h. Nomogrammet ger nu:

VAL1	T=40	$T_{\max}=80$ minuter
	Nbit=4	Experimenttid: 10h per hel period
VAL2	T=25	$T_{\max}=60$ min
	Nbit=5	Experimenttid: 13h per hel period
VAL3	T=20	$T_{\max}=60$ min
	Nbit=6	Experimenttid: 21h per hel period

5 IDENTIFIERING

Tre stycken identifieringsexperiment A, B, C genomfördes. Samtliga med början på kvällen. Detta för att utnyttja nattens frihet från störningar som belysning, solsken eller personalens olika förehavanden. Omvänt så skulle naturligtvis personalen blivit rejält störd om temperaturen i lokalen svängt alltför mycket. Det gäller speciellt för den kalla tilluften som har en benägenhet att falla rakt ner innan den blandas upp (s k kallras).

Av de tre experimenten gav det tredje och sista, C, de bästa resultaten. De två förra A och B var ändå viktiga eftersom de bland annat gav vägledning för val av parametrar inför experiment C. De visade t ex att tidskonstanterna var större än vad som hade väntats.

På grund av ovanstående så tar vi först och utförligast upp experiment C medan de två andra främst får tjäna som jämförelsematerial.

Eftersom arbetet i detta kapitel mer än tidigare varit av sökande karaktär så innehåller kapitlet mer av diskussion och kommentarer och försök till tolkningar av de framkomna resultaten. Även en del mindre fruktsamma försök tas upp.

5.1 Experiment C

Numrera in- och utsignalerna enligt följande (samma som i FIG.4.3)

1	radiatortemperatur	SV	u_1
2		NO	u_2
3	tilluftstemperatur	SV	u_3
4		NO	u_4
5		mitt	u_5
6		LL	u_6
7	frånluftstemperatur	SV	y_7
8		NO	y_8
9		mitt	y_9
10		LL	y_{10}

Där LL står för det lilla landskapet. Det har identifierats som jämförelse till det stora kontorslandskapet.

Det lilla landskapet är 860 m^2 stort vilket är drygt en tredjedel av det stora landskapet. Det har ett tilluftssystem vars temperatur mäts av u_6 ovan. Två radiatorgrupper finns. De är kopplade till samma sekundärkretsar VS8 och VS9 som det stora landskapet. I FIG.5.1 visas de loggade signalerna från experiment C. LS-metoden ger följande identifieringsresultat, med ett första ordningens system beräknat från de trehundra första samplingarna (se TAB.5.1)

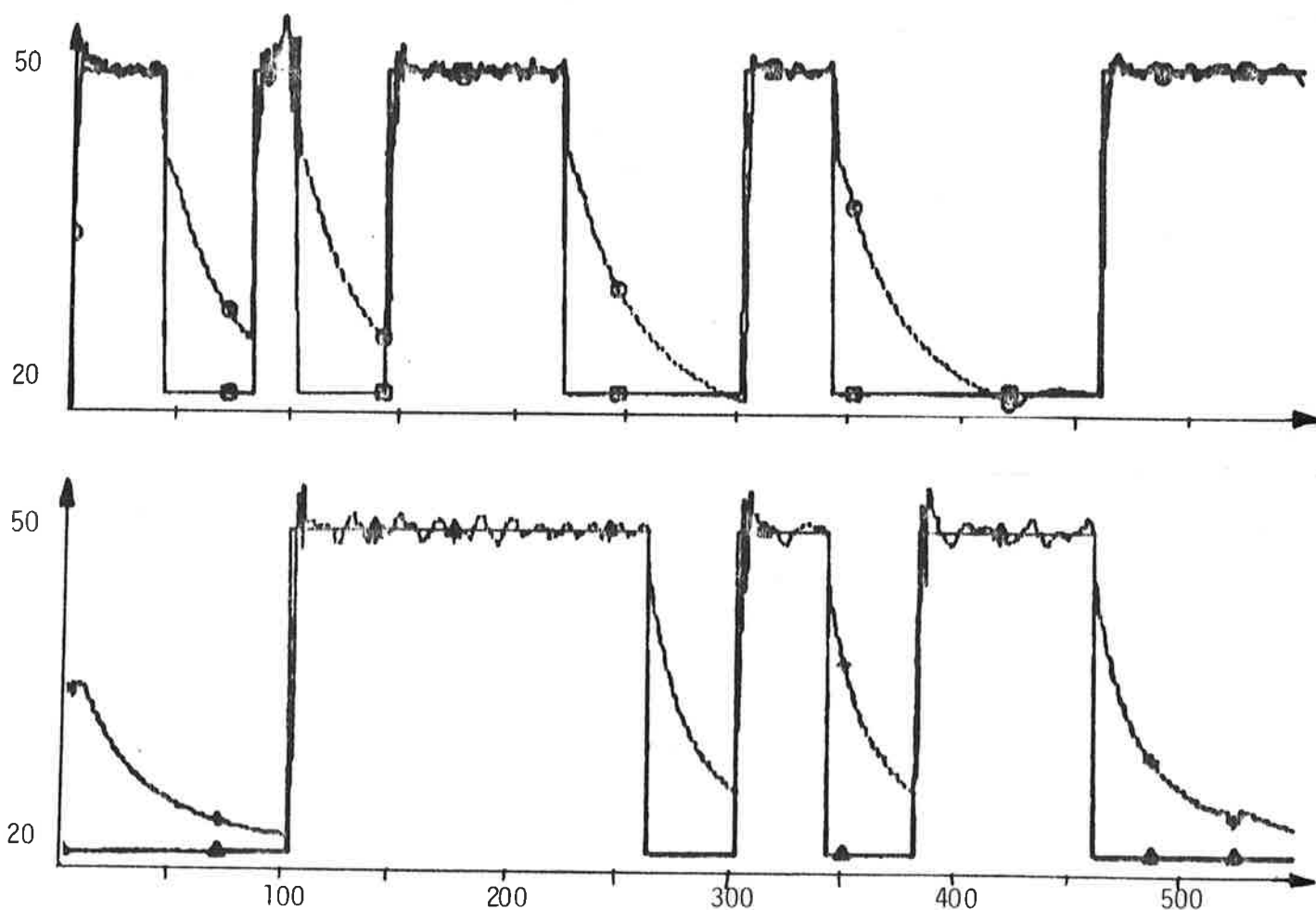
TAB.5.1 Identifieringsresultat med LS-metoden första ordningens system från de 300 första samplen

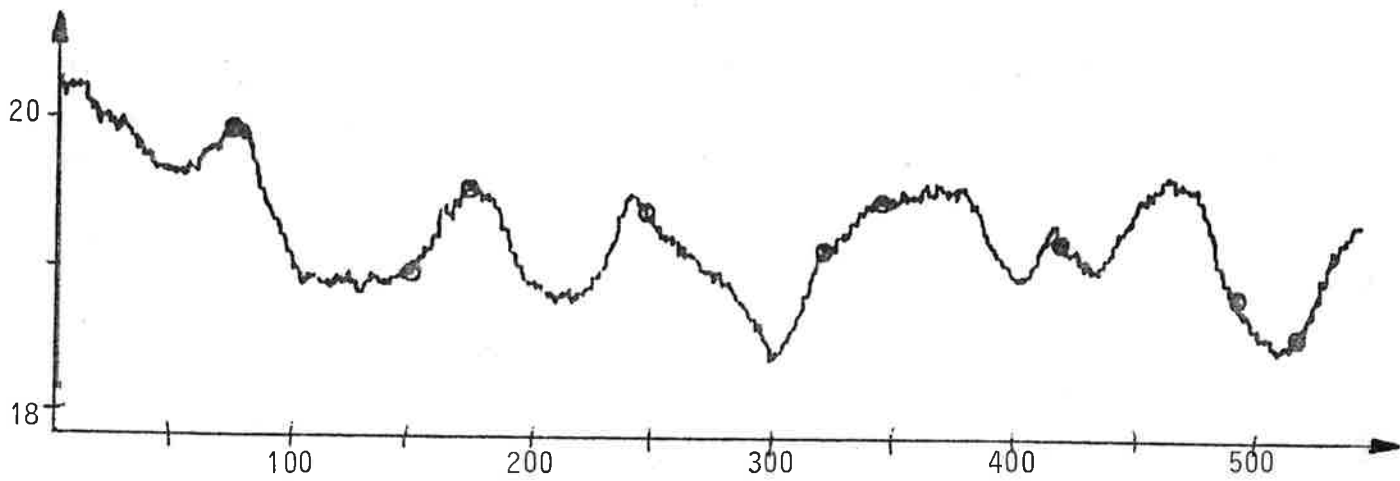
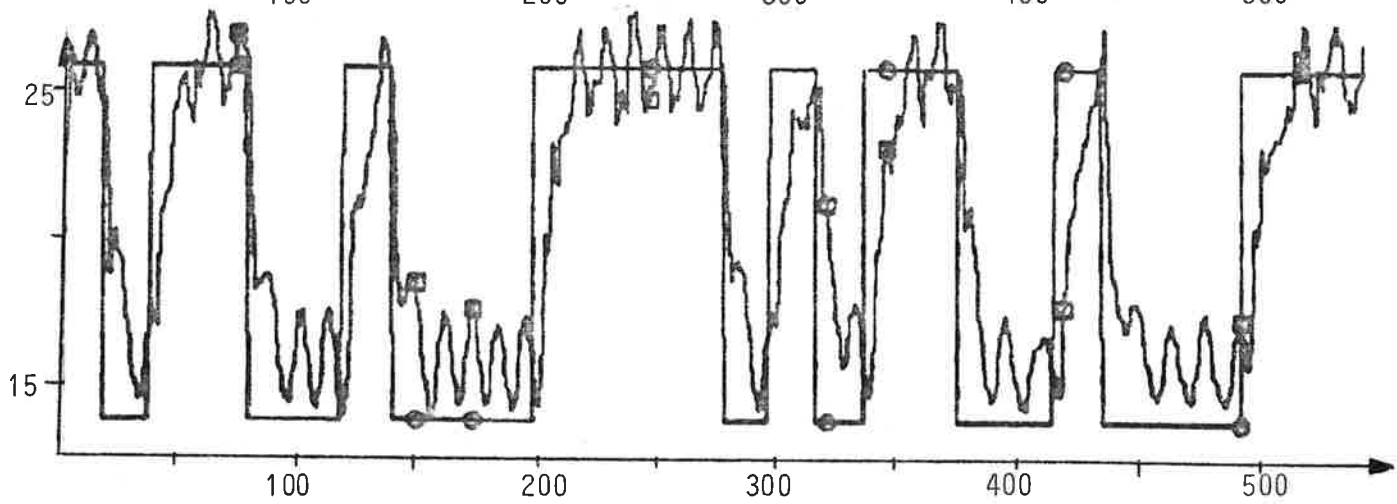
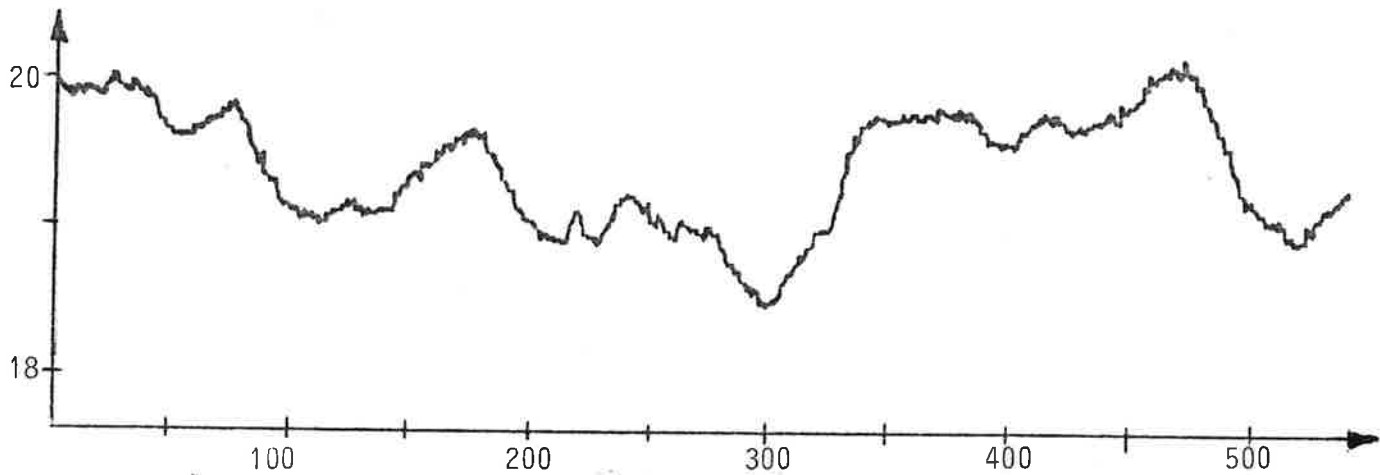
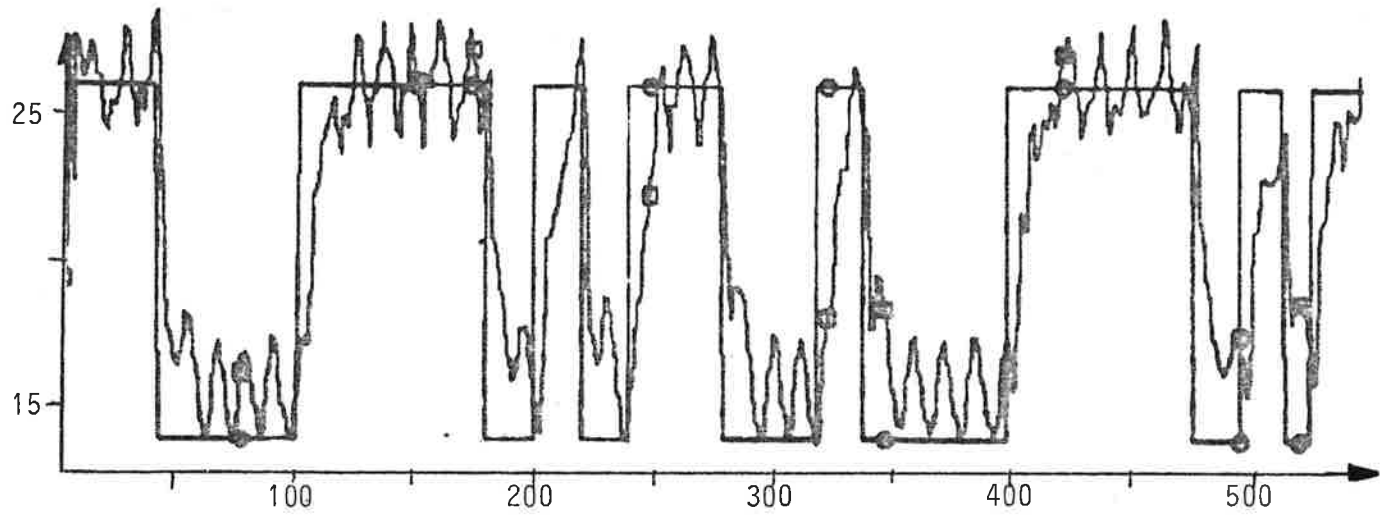
UT	IN						100S	Anmärkning
	1	2	3	4	5	6		
1	7			3			3.51	dålig överensstämmelse på plottning
2	7			3	5		3.17	se FIG 5.2
3	7				5		3.19	något sämre
4	7			3	4	5	4.3	numeriska problem
5	7	1		3	4	5	3.16	
6	7	1				5	3.19	
7	7	1	2	3	4	5	3.16	
8	8				4		3.86	dålig överensstämmelse på plottning
9	8				4	5	3.32	se FIG.5.2
10	8					5	3.44	
11	8		2		4		3.83	
12	8			3	4	5	3.32	
13	8		2	3	4	5	3.32	
14	8	1	2	3	4	5	3.32	
15	9					5	3.23	se FIG.5.2
16	9				4	5	3.23	
17	9			3		5	3.22	
18	9			3	4	5	3.22	
19	9	1	2	3	4	5	3.22	
20	10					6	6.25	se FIG.5.2
21	10	1	2			6	6.19	

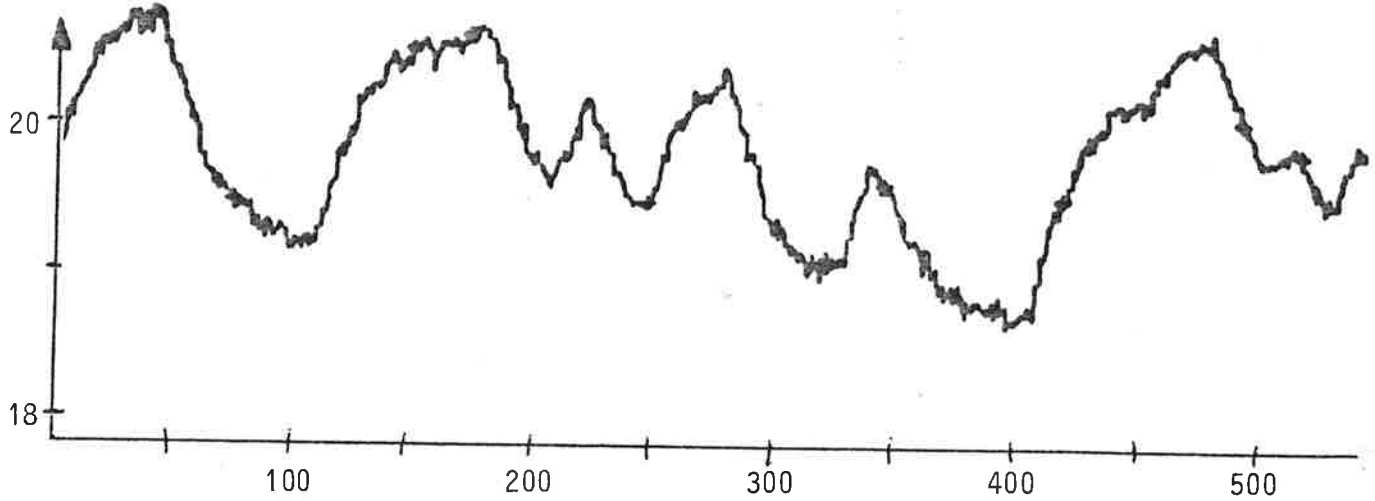
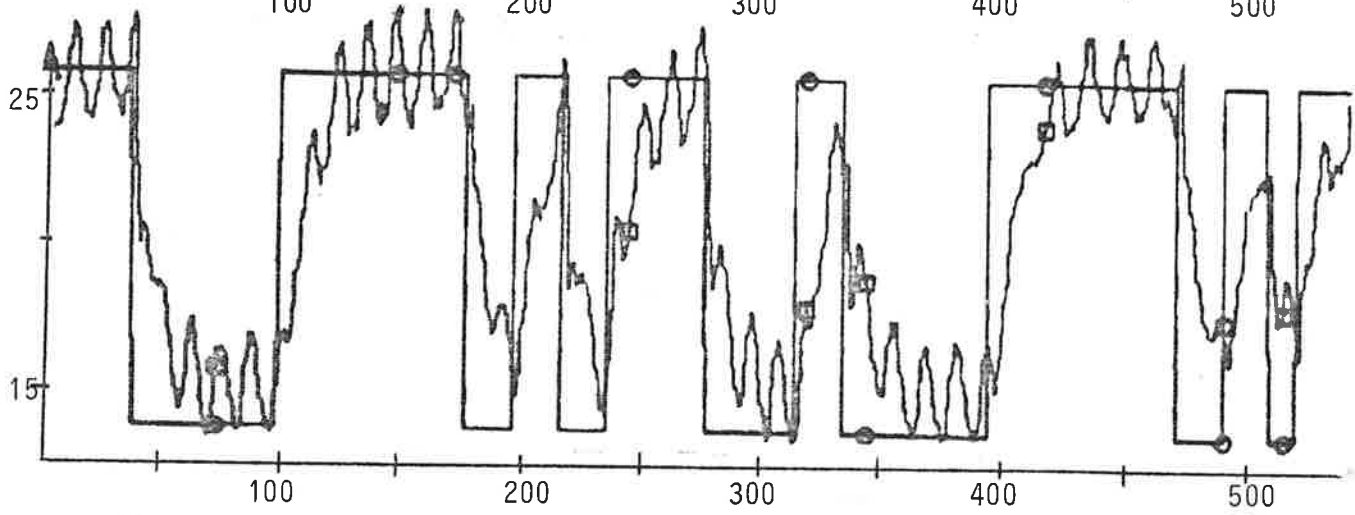
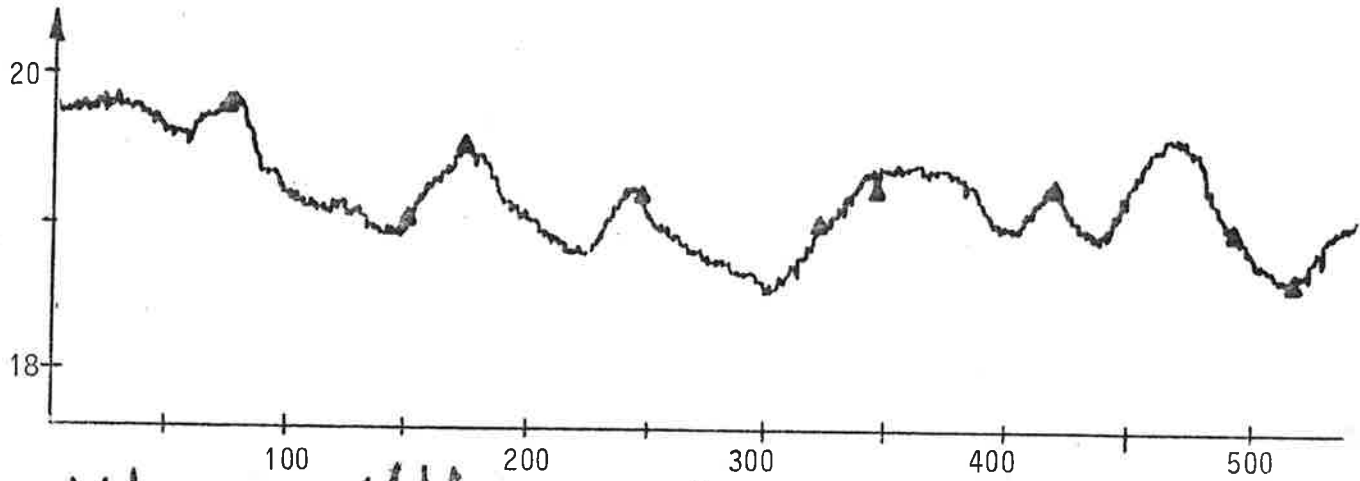
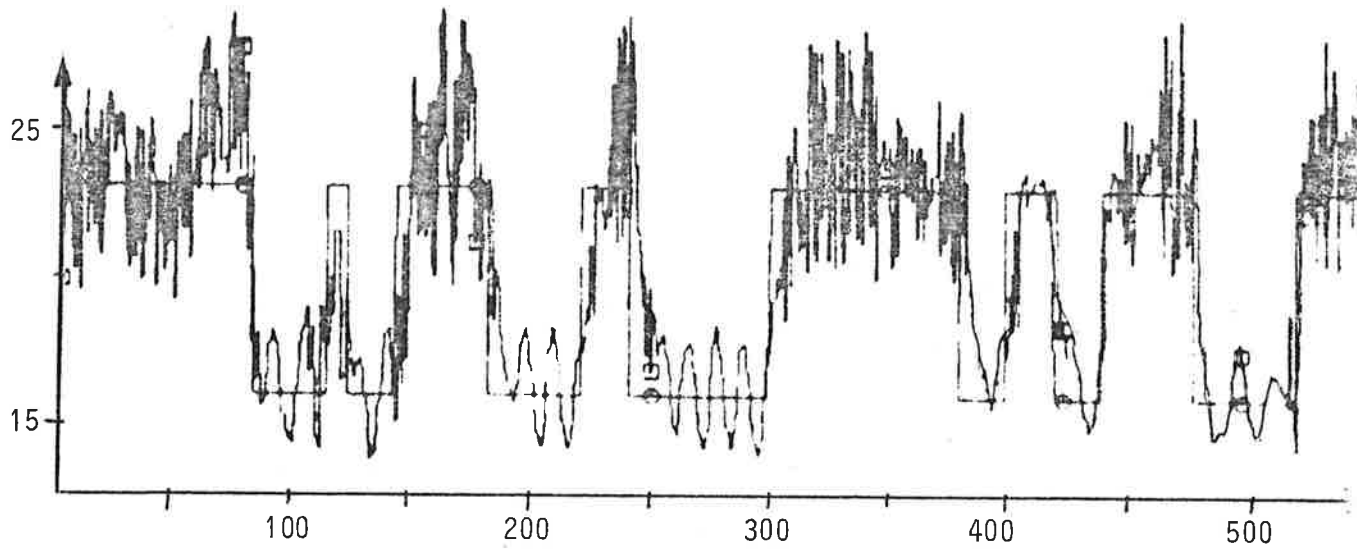
Av dessa modeller tar vi ut numren 2, 9, 15, 21 för noggrannare lösning

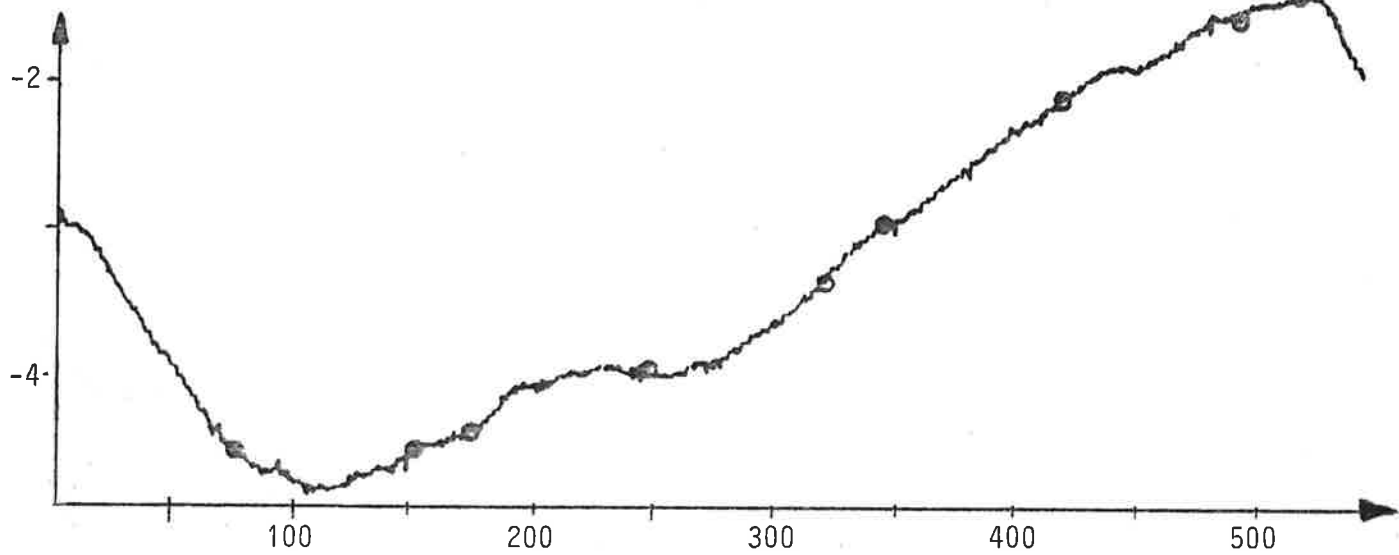
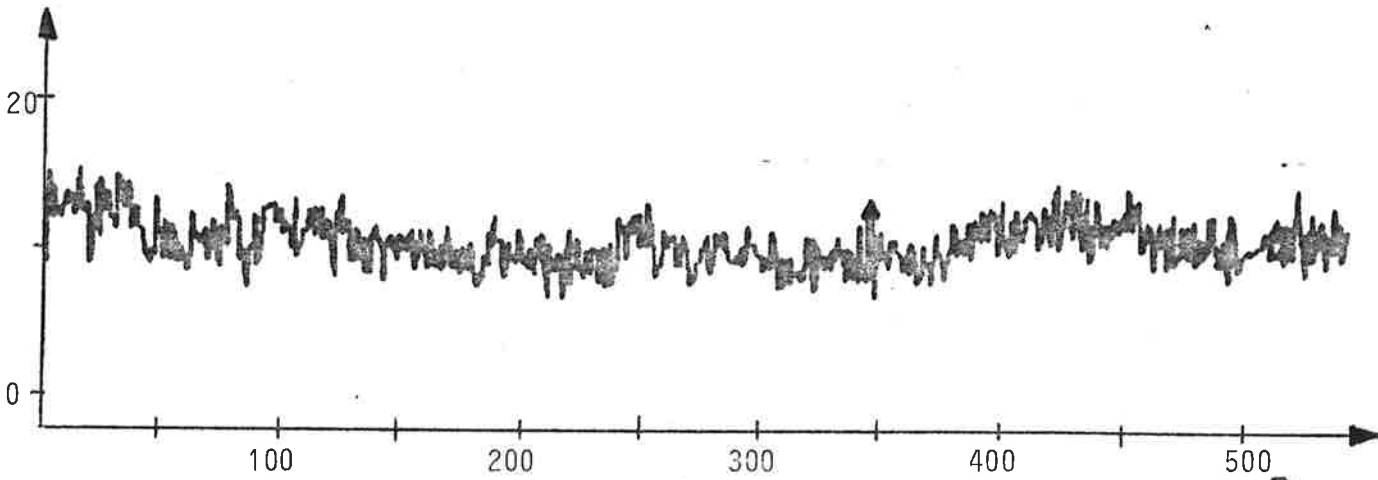
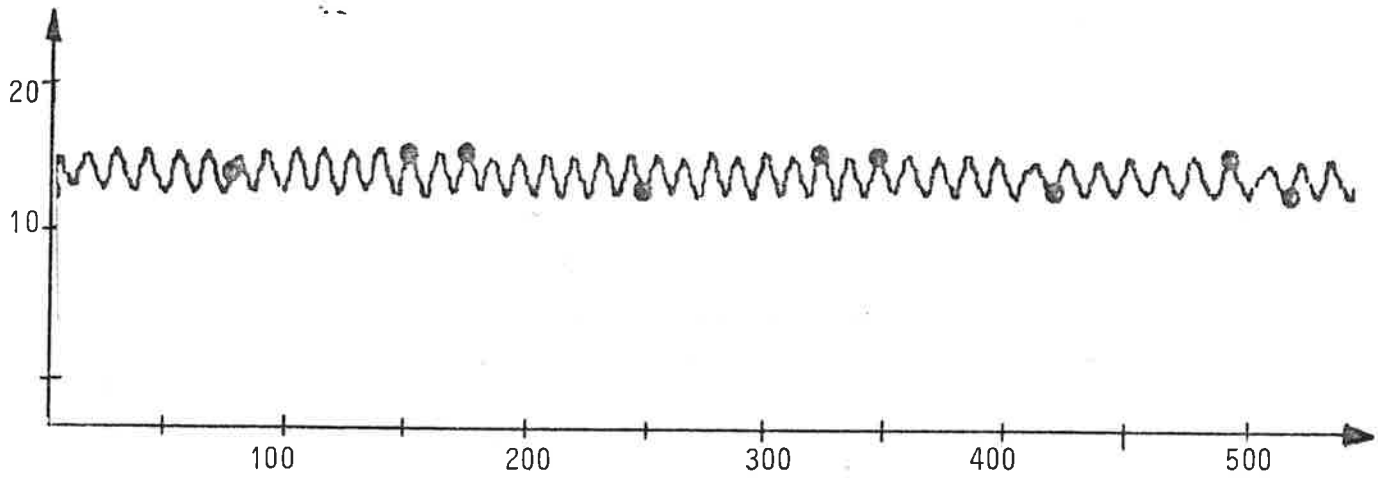
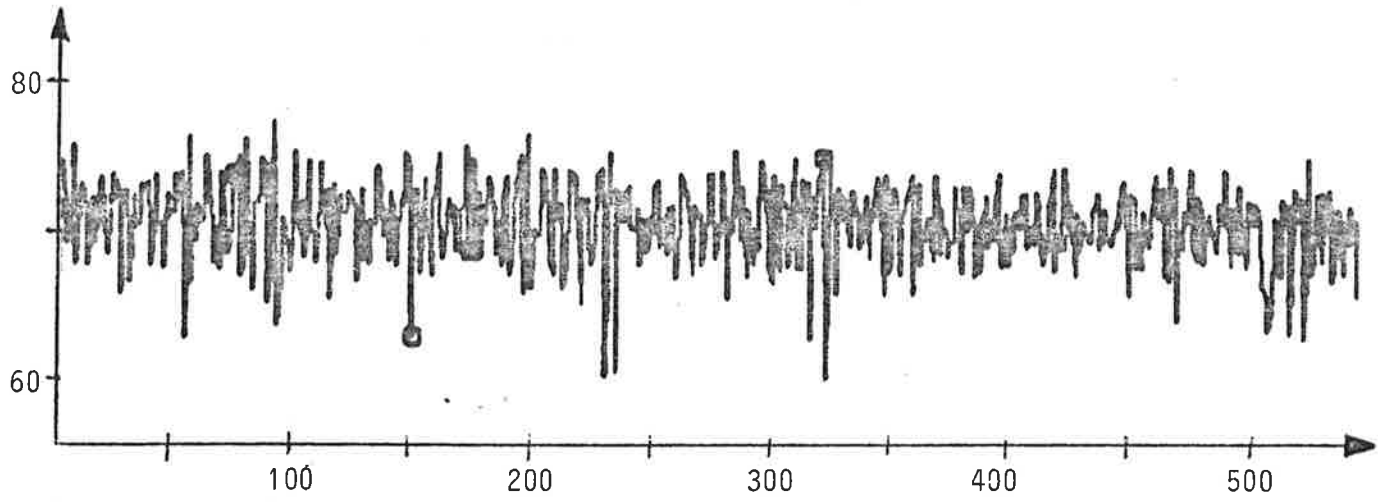
FIG.5.1 Uppmätta värden i experiment C. Som står till grund för identifieringen. Y-axeln anger temperaturen i grader och tidsaxeln tiden i sampel. Samplingsintervallet är två minuter.

- 1.1 Önskad och verklig radiatorvattentemperatur SV
2 NO
- 2.1 Önskad och verklig (77) tilluftstemperatur SV
2 Frånluftstemperatur (28)
3 Önskad och verklig (78) tilluftstemperatur NO
4 Frånluftstemperatur (29)
- 3.1 Önskad och verklig (79) tilluftstemperatur mitt
2 Frånluftstemperatur (30)
3 Önskad och verklig (80) tilluftstemperatur LL
4 Frånluftstemperatur (31) LL
- 4.1 Sekundär hetvattentemperatur (18)
2 Lufttemperatur efter förbehandling (53)
3 Vindstyrka (94)
4 Utetemperatur (98)









med ML-metoden.

$$2. (1-0.983q^{-1})y_7(t)=q^{-1}(0.0014u_2(t)+0.0034u_5(t)+0.0045e(t))$$

Denna samplade modell kan vi överföra till dess kontinuerliga motsvarighet. Samplingstiden är två minuter och den kontinuerliga tiden normeras till en minut. Detta gäller för övrigt samtliga modeller från och med denna:

$$(1+115 s) y_7(s) = 0.082 u_3(s) + 0.20u_5(s)+0.26e(s)$$

$$9. (1-0.963q^{-1})y_8(t)=q^{-1}(0.0012u_4(t)+0.0060u_5(t)+0,0089e(t))$$

med motsvarande kontinuerliga system

$$(1+53 s) y_8(s) = 0.032 u_4(s) + 0.16 u_5(s)+0.24e(s)$$

$$15. (1-0.969q^{-1})y_9(t) = 0.0048q^{-1}u_5(t)+0.018e(t)$$

med motsvarande kontinuerliga system

$$(1+64 s) y_9(s) = 0.16 u_5(s) + 0.6 e(s)$$

$$21. (1-0.950q^{-1})y_{10}(t)=0.0094q^{-1}u_6(t)+0.0016e(t)$$

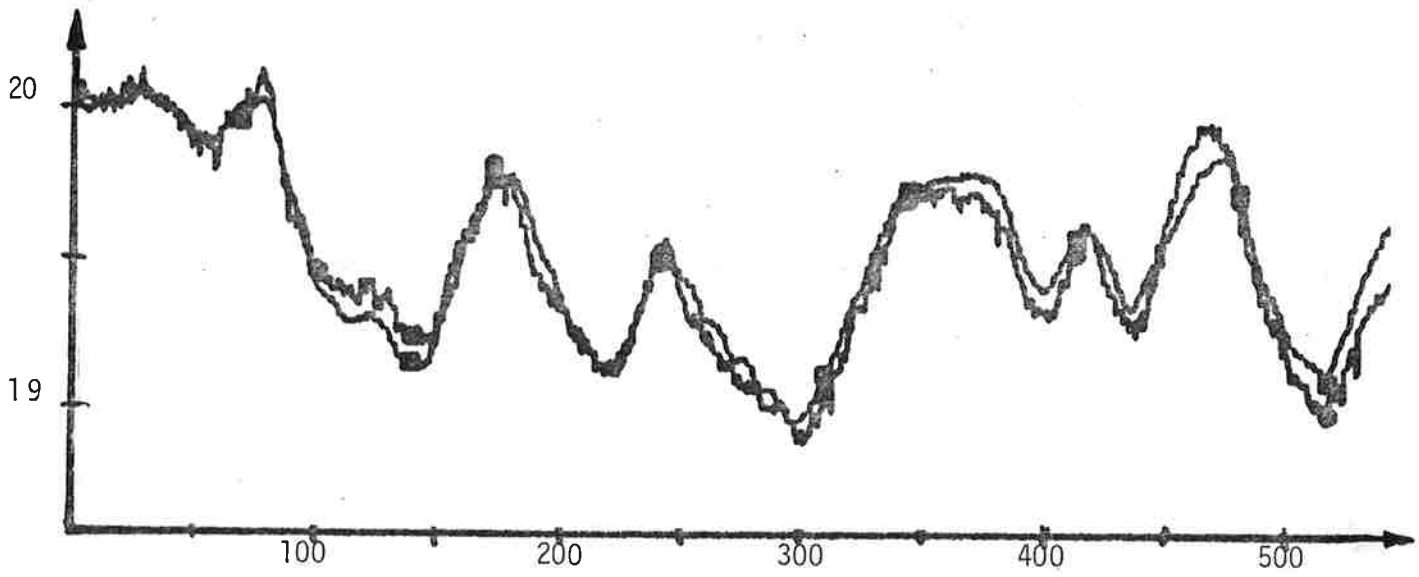
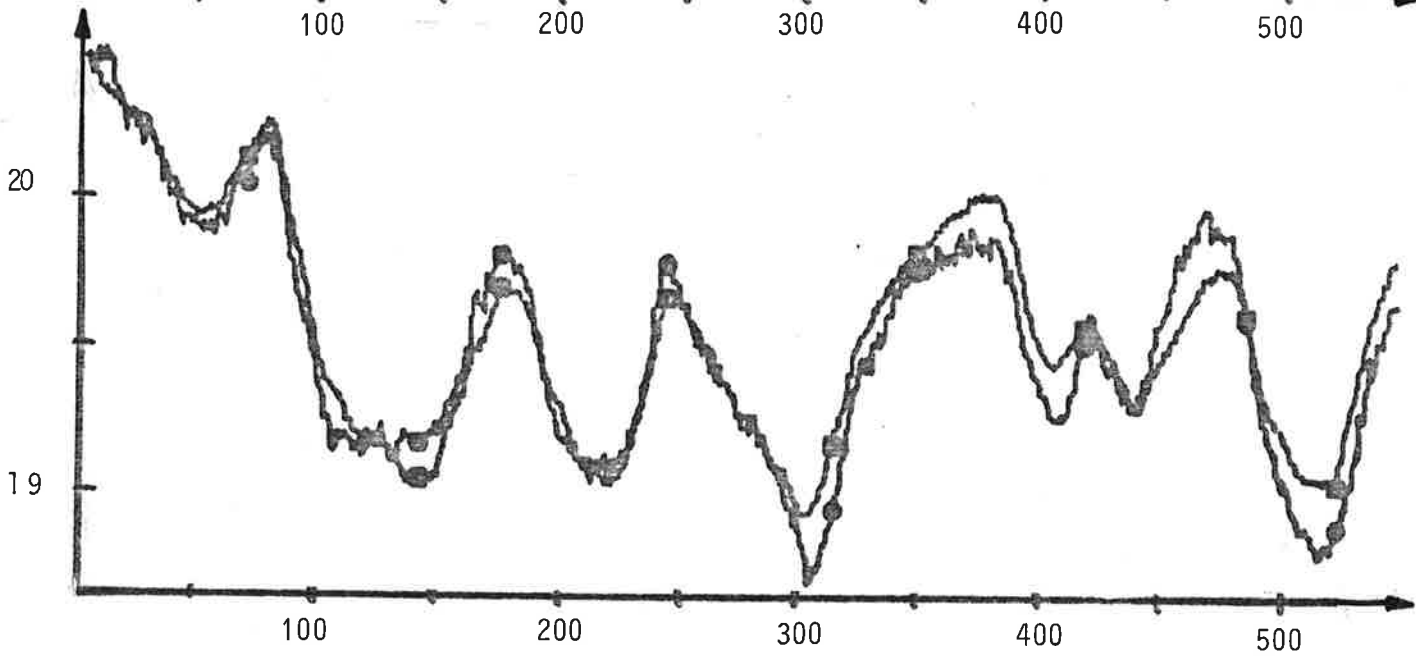
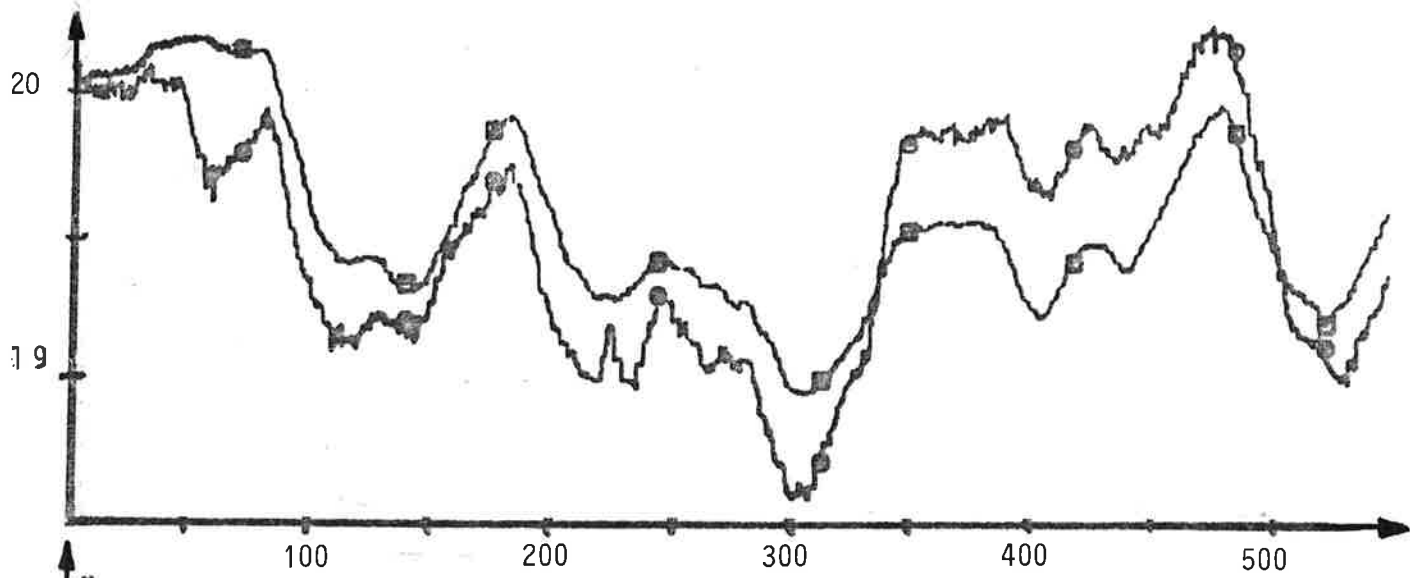
med motsvarande kontinuerliga system

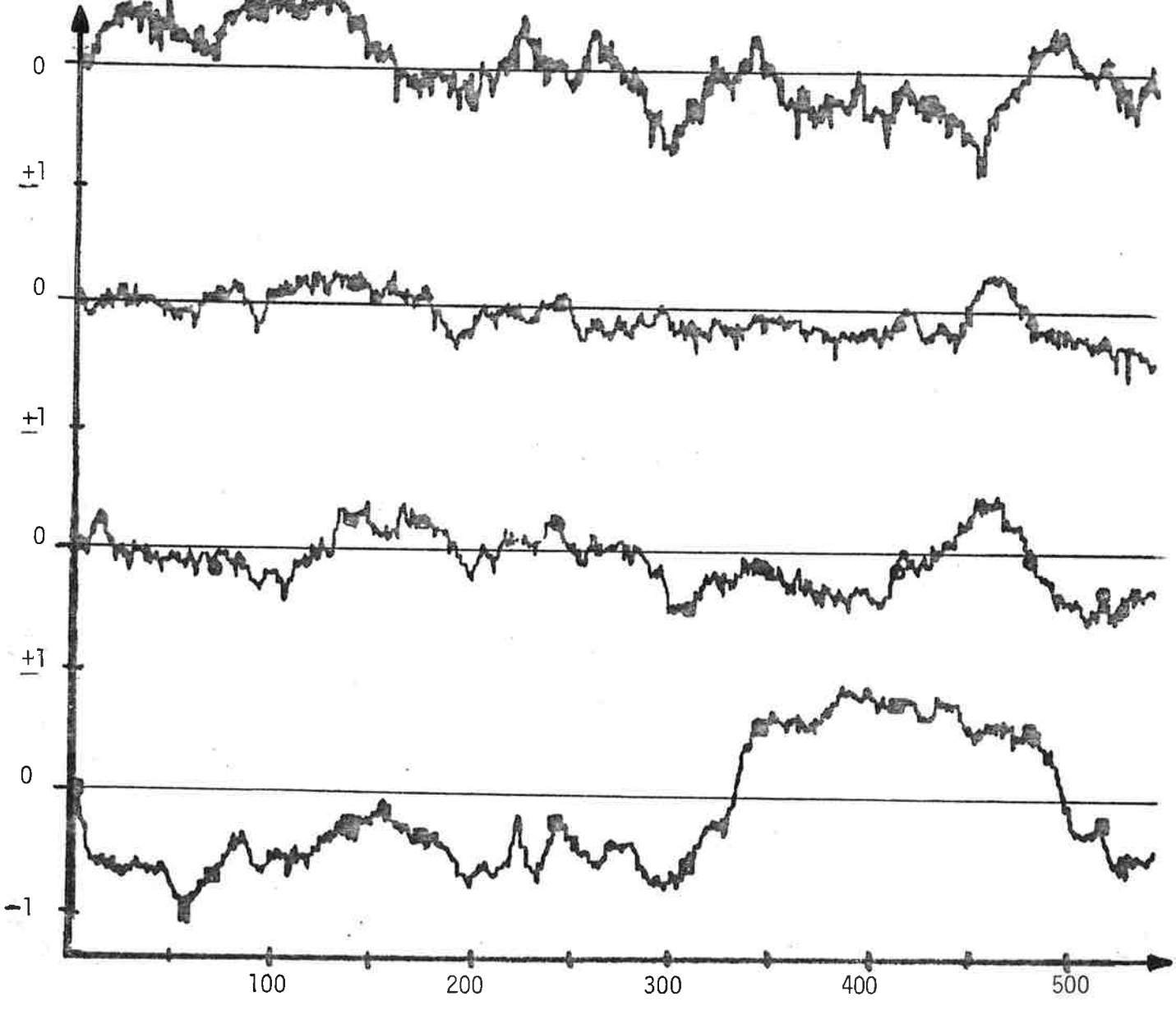
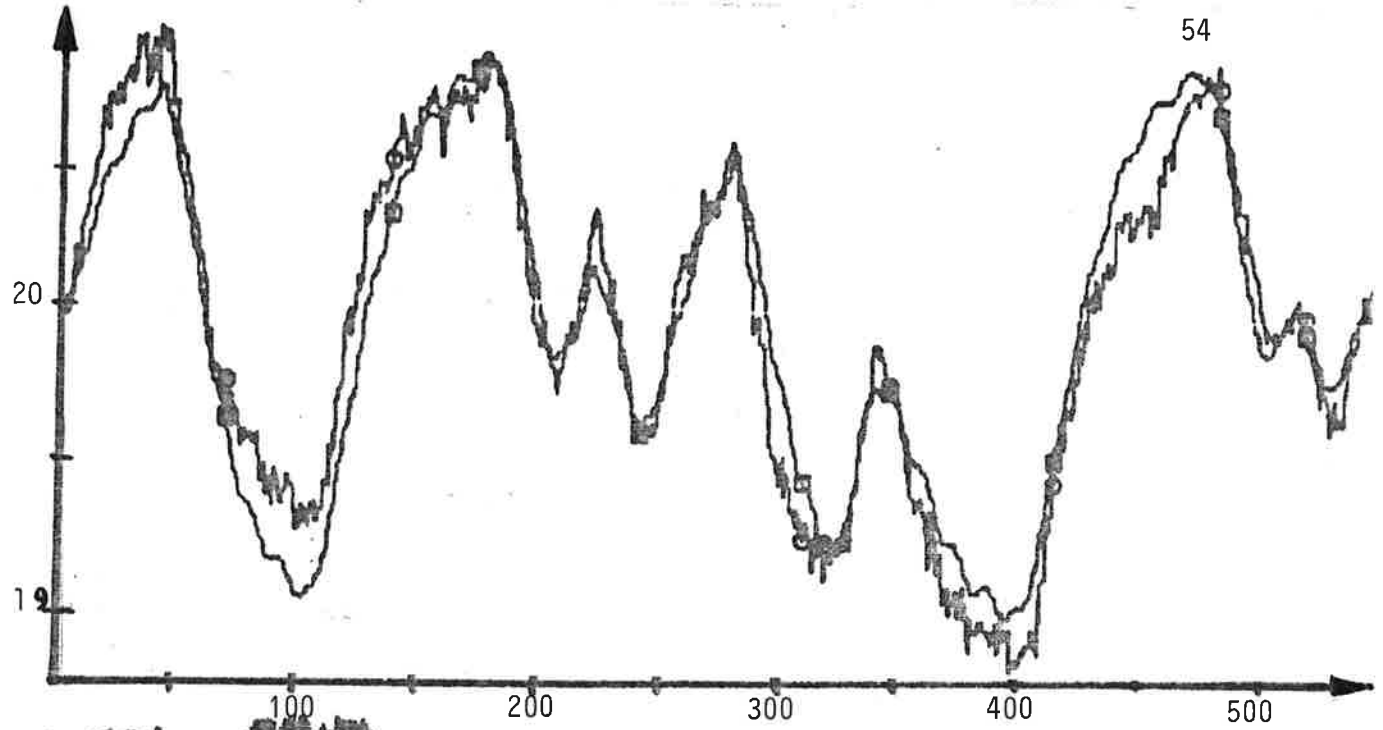
$$(1+39 s) y_{10}(s) = 0.19 u_6(s) + 0.03 e(s)$$

Simuleringar från dessa fyra modeller med respektive tilluftstemperaturer som insignal och utan brus plottas tillsammans med den verkliga utsignalen, alltså frånluftstemperaturen. Modellen markeras med \square medan den verkliga utsignalen markeras med o , se FIG.5.2.

FIG.5.2 Frånluftstemperatur och utsignal från modell med aktuella tilluftstemperaturer som insignaler. Den verkliga signalen markeras med \circ och modellen markeras med \square .

- 1 SV-zonen
- 2 NO-zonen
- 3 mitt-zonen
- 4 LL
- 5 Modellfel (=verklig-modell) för LL
- 6 - " - " - " - " för mitt
- 7 - " - " - " - " för NO
- 8 - " - " - " - " för SV





Summering

Utgående från ovanstående modeller kan vi se att

- Det ömsesidiga beroendet är litet
- Mitt-zonen dominerar starkt över de två fasadzonerna
- Inget säkert beroende kan räknas fram från radiatorernas temperaturer till lokaltemperaturen

Ovanstående gäller också om man provar med tidsförskjutningar mellan in- och utsignalen. I modellen medför detta att man multiplicerar $B(q^{-1})$ med q^{-k} där k är ett heltal som anger hur många samplingsintervall förskjutningen ska vara.

- Några dominerande tidsfördröjningar (transportsträckor) på mer än två minuter förekommer inte

FIG.5.2 visar att:

- Det huvudsakliga beteendet beskrivs relativt väl av ett första ordningens system (gäller ej SV-zonen).

Kommentarer

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 uttemperaturen 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 med ML-metoden

$$22. (1-0.978q^{-1})y_7(t)=q^{-1}(0.0015 u_3(t) + 0.0033 u_5(t) + \\ +0.014 u_f(t) + 0.0064 e(t))$$

dess kontinuerliga motsvarighet är

$$(1+90 s) y_7(s) = 0.069 u_3(s) + 0.15 u_5(s) + 0.65 u_f(s) + \\ +0.29 e(s)$$

Erhållna plottningen visas i FIG.5.2b. 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. Modell 22. (utan u_f -signalen) får ersätta modell 2.

Mitt-zonens dominans syns egentligen redan av kurvorna på frånluftstemperaturerna i FIG.5.1 som är väldigt lika.

Vi kan alltså utgå ifrån att luften blandas väl över lokalen, och att de två fasadzonerna är alltför små för att ordentligt påverka mittzonen. Med andra ord så är uppdelningen av tilluften i de tre zonerna onödig. I stället för tre enkla regulatorer för tilluftsregleringen borde man använda en enda (men kanske bättre) regulator.

Därför är det heller ingen nytta med att använda separata regulatorer för (fin)regleringen av de tre lokaltemperaturerna. I stället borde det räcka med en (men kanske bättre) regulator som anger en gemensam önskad tilluftstemperatur på basis av ett medelvärde från de tre lokal-givarna.

Uppdelningen mellan zonerna skulle ändå kunna utnyttjas till exempel för att på längre sikt bygga upp en temperaturgradient mellan SV-zonen och mitt-zonen som kompensation för avkylningen av SV-fasaden. Detta genom att lägga till en konstant till den gemensamma önskade tilluftstemperaturen för att bilda önskad tilluftstemperatur för SV-zonen.

ML-programmet i IDPAC kan estimerar begynnelsevärden för modellen. Det har visat sig mycket lämpligt att använda denna möjlighet eftersom processen ofta inte har legat på "steady state" vid experimentets början.

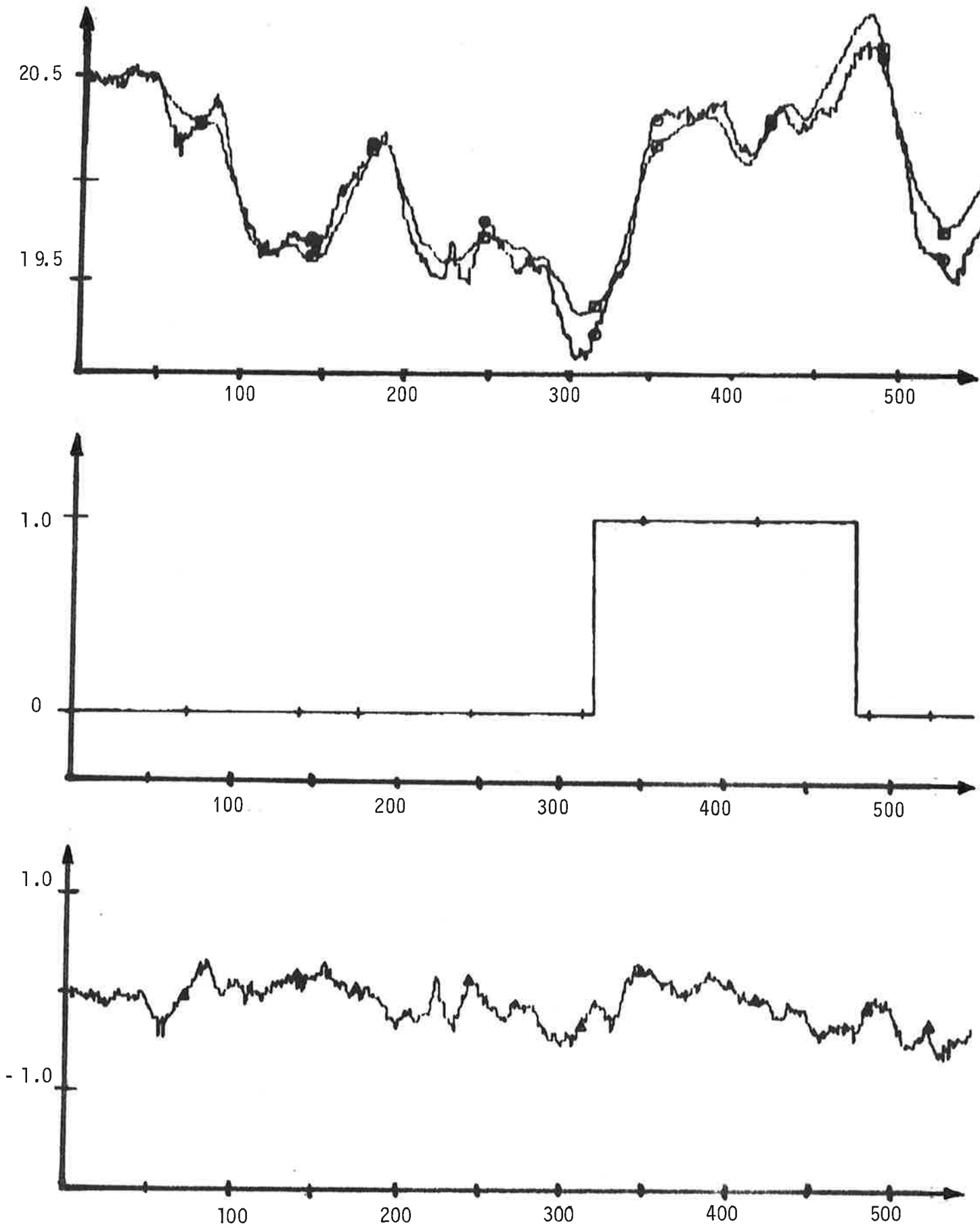


FIG.5.2b Verklig frånluftstemperatur (\circ) och utsignalen från modellen (\square) för SV - zonen med en extra insignal (\uparrow), modellfelet markeras (\blacktriangle).

Med det menar jag att utsignalen vid starten avviker från den arbetspunkt som signalen kommer att variera kring under experimentet. Utan en sådan estimering så börjar modellens utsignal från noll och svänger småningom in sig mot utsignalen, se FIG.5.3 som motsvarar FIG.5.2(3). För modellen i FIG.5.3 så tar det 75 sampel motsvarande 2.5 timmar innan modellen svängt in. Under denna tid så hinner förlustfunktionen V växa till ett ungefär lika stort värde som bidraget under resten av tiden utgör. Slutsatsen blir att det utan korrekta begynnelsevärden är svårare att se om en extra insignal ger någon signifikant minskning av förlustfunktionen, eftersom insvängningstiden är ungefär densamma för alla modeller av en viss ordning.

5.2 Förenklad modell

Efter ovanstående tycks det vara lämpligt att se uppvärmningssystemet på ett betydligt enklare sätt. Genom att betrakta frånluftstemperaturerna som tre mätningar av lokaltemperaturen och vikta ihop de tre tilluftstemperaturerna till en insignal etc så numrerar vi:

$$1. u_1 = (q_1 u_3 + q_2 u_4 + q_3 u_5) / (q_1 + q_2 + q_3)$$

$$4. u_r = (u_1 + u_2) / 2$$

$$5. u_{ut}$$

$$6. y = (y_7 + y_8 + y_9) / 3$$

Modellen är uppritad i FIG.5.4. Eftersom flödena q_j inte är helt säkra så provas tre versioner av u_1 .

$$1. u_{11} = (4.8u_3 + 4.4u_4 + 16.2u_5) / 25.4 \quad (\text{dimensionerat})$$

$$2. u_{12} = (3.5u_3 + 3.6u_4 + 13.8u_5) / 20.9 \quad (\text{uppmätt})$$

$$3. u_{13} = u_5 \quad (\text{kontroll})$$

Det tredje tas med som kontroll. Om denna insignal visar sig ge bäst resultat, så måste man ifrågasätta om till- och frånluft verkligen är symmetriskt fördelat över lokalen.

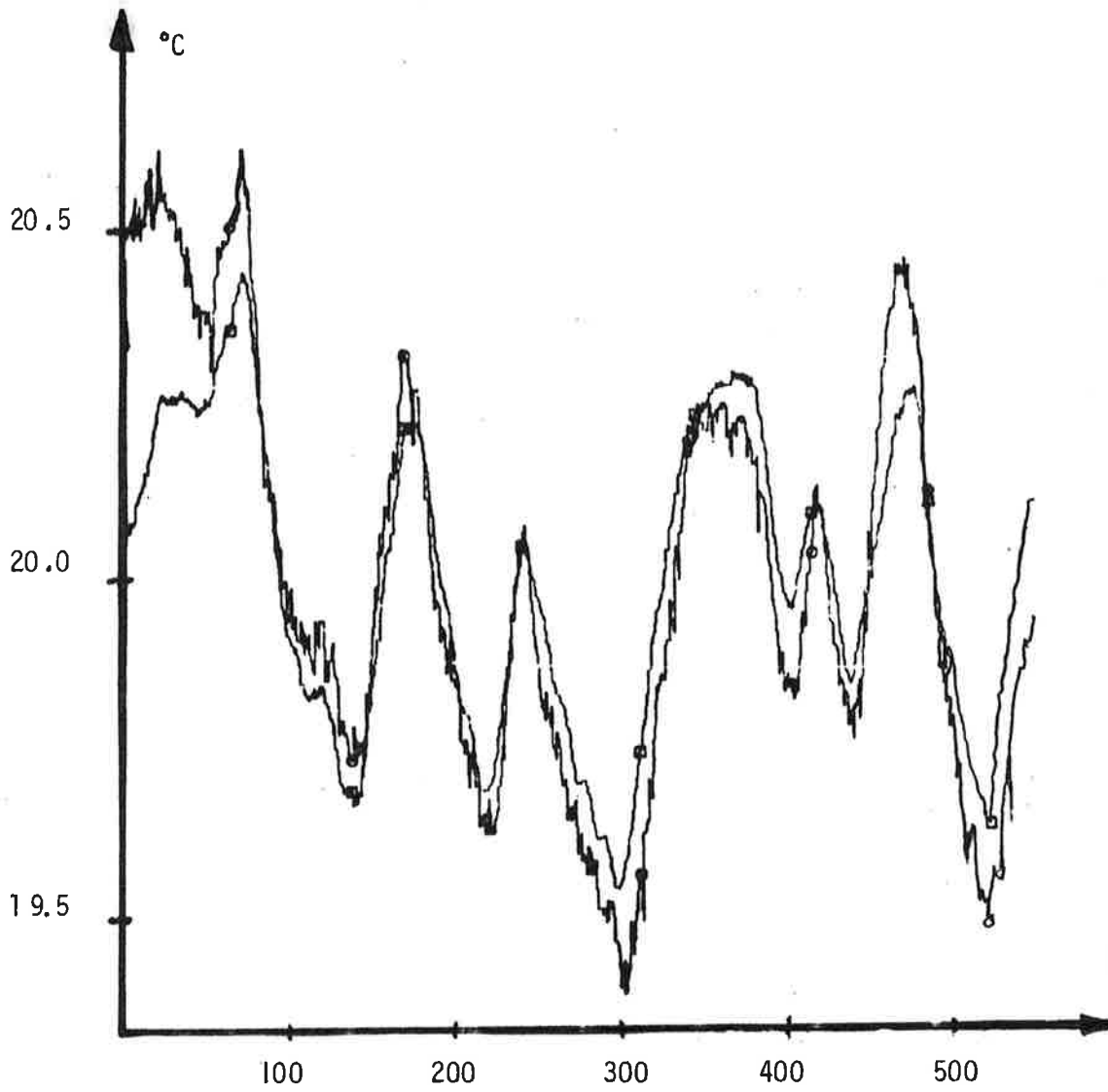


FIG.5.3 Modell 15 estimerad utan byggnelsevärden.
Ett sampel motsvarar två minuter.

Om tillflödet till mittzonen vore större än motsvarande frånflöde så kunde man tänka sig att övertrycket i mitt-zonen skulle pressa ut luft mot sidorna och de tre frånluftsgivarna skulle i stort sett bara visa mitt-zonens temperatur.

Resultat:

TAB.5.2 LS-identifiering för den förenklade modellen

UT	IN	100s	Anmärkning
1. 6	1	2.186	se FIG. 5.3
2. 6	2	2.183	
3. 6	3	2.20	
4. 6	1	2.24	q^{-k} med $k=1$
5. 6	1	2.37	$k=2$
6. 6	1	2.46	$k=3$ allt sämre plottningar
7. 6	1	2.53	$k=4$
8. 6	1	2.63	$k=5$
9. 6	1 5	2.186	ingen förbättring
10. 6	1 4	2.181	
11. 6	1 4	2.180	q^{-k} , $k=4$ endast på nr 4
12. 6	1 4	2.178	$k=8$
13. 6	1 4	2.179	$k=12$
14. 6	1 4	2.183	$k=16$
15. 6	1 4	2.179	$k=20$

Modellerna 1-3 visar ingen större skillnad. Vi väljer nummer 1:

$$(1-0.975q^{-1})y(t) = 0.057u_{11}(t-1)$$

med sin kontinuerliga motsvarighet

$$(1+80 s) y(s) = 0.23 u_{11}(s)$$

FIG.5.3 visar utsignal från modellen och från verkligheten. Resultatet tycks bli bättre jämfört med

Modellerna 4-8 visar ett typfall på hur tidsförskjutningar (här 2-10 minuter) inverkar. Förlustfunktionen växer och plottningarna blir sämre.

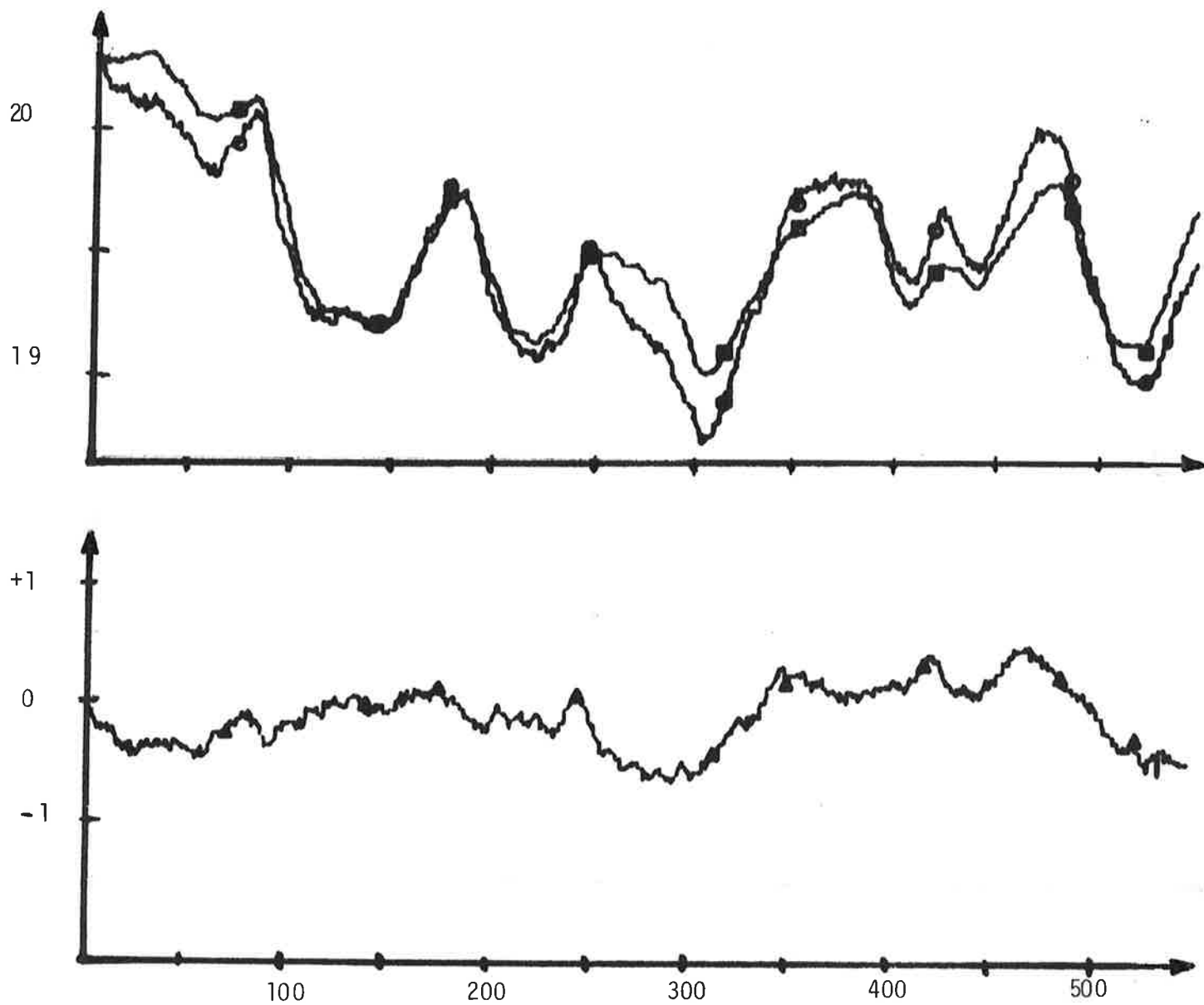


FIG 5.3 Verklig frånluftstemperatur (●) och utsigalein från modellen (■) för den förenklade modellen, plus modellfelet under (▲).

I modellerna 11-15 har tidsförskjutningar på 4-20 minuter använts på radiatortemperaturerna. Skillnaderna är mycket små och modellerna inte heller helt jämförbara eftersom man får varje tidsförskjutning minskar datamängden något. Ett värde på den statiska förstärkningen kan i alla fall vara intressant. Modell 12 ger

$$(1+80 s) y(s) = 0.23 u_1(s) + 0.0092 u_r(s)$$

Radiatortemperaturens förstärkning blir då 1/25 av tilluftstemperaturens förstärkning. Eftersom vattentemperaturen kan variera högst 60 grader och lufttemperaturen 20 grader, så blir slutsatsen att den snabba regleringen av lokaltemperaturen ska utföras med tilluften. Den nuvarande regleringen sker också på detta sätt.

5.3 Systemets ordning

Enligt avsnitt 4.3 så kan vi bestämma vilken ordning som systemet har. Testet ska här tillämpas på den förenklade modellen av landskapet (modellerna 1-4 nedan) och på det lilla landskapet (5-8). Beteckningarna kommer från respektive avsnitt.

TAB.5. ML-estimat då modellens ordning höjs

	UT	IN	ORD	100s	V	C	Anmärkning
1.	6	1	1	2.16	0.1283	-	godtas
2.	6	1	2	2.08	0.1200	40	godtas
3.	6	1	3	2.01	0.1116	40	godtas
4.	6	1	4	3.2	-	-	förkastas, numeriska problem
5.	10	6	1	5.31	0.77894	-	
6.	10	6	2	5.23	0.75573	17	godtas
7.	10	6	3	5.09	0.7163	30	godtas
8.	10	6	4	5.36	-	-	förkastas, numeriska problem

Motsvarande kontinuerliga överföringsfunktioner från in- till utsignal

$$1. G(s) = 0.24/(1+80 s)$$

$$2. G(s) = 0.25/(1+72 s) - 0.0033/(1+0.8 s)$$

$$4. G(s) = 0.19/(1+39 s)$$

$$5. G(s) = 0.19/(1+35 s) - 0.017/(1+1.9 s)$$

Modellerna 3 och 6 utelämnas eftersom de har poler med negativ realdel och följaktligen inte har någon kontinuerlig motsvarighet (i varje fall inte av 3:e ordningen).

De två 2:a ordningens system får var sin snabb mod (en pol nära origo). Båda dessa poler är egentligen för snabba för att kunna representeras med en samplad signal med samplingstiden lika med 2 minuter eftersom deras tidkonstanter är mindre än Nyquist-perioden som är fyra minuter. Med reservation för giltigheten så är de två modellerna svagt icke-minimum fas. Ett stegsvar från modell 4 t ex är mycket flackt och ligger nära under nollnivån två till tre minuter innan det ökar. En trolig orsak till förloppet är luftkanalens inverkan, se nästa avsnitt.

Någon vikningseffekt tycks i stort sett inte ha förekommit på de samplade signalerna. I NOVA-datorn utförs en filtrering i samband med AD-omvandlingen för att undvika detta. En viss vikningseffekt har dock troligtvis uppstått på den viktiga tilluftstemperaturen till mittzonen.

5.4 Luftkanalen och placering av givare

En företeelse som försvårat identifieringen är givarnas placering.

På frånluftssidan sitter temperaturgivaren för NO-zonen en bit in i mitt-zonen och givaren för SV-zonen sitter på den fiktiva gränsen mellan SV- och mitt-zonen. Fasad-zonernas temperaturmätningar visar därför ett (på något sätt) viktat medelvärde av respektive zon och mitt-zonen. Resultatet blir naturligtvis att mitt-zonens påverkan i våra modeller blir större än vad den borde vara, vilket ju är speciellt olyckligt med tanke på att den stora mitt-zonen redan utan detta tillskott starkt påverkar de smala fasadzonerna.

Ett försök att enkelt rekonstruera en "sannare" sidozons temperatur som

t ex

$$y_7 = 0.5(y_9 + y_{\text{sann}})$$

eller

$$y_{\text{sann}} = 2y_7 - y_9$$

och från denna nya utsignal beräkna modeller till tilluft och radiatorer misslyckades. Skillnaden mellan y_7 och y_9 är så pass liten att y_{sann} i själva verket knappt alls skiljer sig från de två andra.

På tilluftssidan är temperaturgivarna placerade strax efter eftervärmarna. De långa luftkanalerna kommer alltså att påverka den identifierade dynamiken, eller rättare sagt så är den identifierade dynamiken lika med luftkanalens dynamik kaskadkopplad med lokalens dynamik. Vilken inverkan har då luftkanalerna? En grov uppskattning kan följande räkningar ge: Kanalen är tillverkad av 1 mm stålplåt och har en diameter på 350 mm, vikten blir 8 kg per meter. Anta att luften vid en temperaturhöjning först måste värma hela kanalen till den nya temperaturen, den värmemängd som krävs tas då från 4 kg uppvärmd tilluft vilket motsvarar 3m^3 (jämför $c=0.46$ kJ/kg·K för plåten och $c=1.0$ kJ/kg·K för luften).

Om flödet genom luftkanalen är $4500\text{ m}^3/\text{h} = 75\text{ m}^3/\text{min}$ så resulterar räkningarna i en tidsfördröjning på $1/25$ minut per meter luftkanal innan en temperaturändring påverkar lokaltemperaturen. Eftersom luftkanalerna är 50 till 120 meter långa blir de aktuella tidsfördröjningarna 2 till 5 minuter.

Ovanstående räkning ska ses som en uppskattning av det sämsta fallet. Det verkliga förloppet kommer att bli betydligt jämnare fördelat i tiden. Räkningarna ger i varje fall en förklaring till de 2:a ordningens modeller som togs upp i förra avsnittet när det gäller det långsamma beteendet i början för ett stegsvar. Svårare är däremot att ange varför stegsvaret skulle bli negativt i början för ett positivt steg. Luftkanalerna kommer att mildra varje ändring av tilluftstemperaturen. Eftersom man normalt önskar reglera lokaltemperaturen på bästa sätt skul-

le det ha varit bättre om temperaturgivarna för tilluften hade suttit längre fram i luftkanalerna. Dels hade då in- och utsignaler till lokalen varit de verkliga vilket skulle gjort regleringen av lokaltemperaturen säkrare. Dels så skulle uppgiften förenklas för eftervärmaregulatorerna som skulle få en betydligt snällare insignal. Att det senare systemet samtidigt skulle bli långsammare gör inget med tanke på lokals (relativt) mycket långsamma dynamik. Slutligen så hade en sådan placering för detta arbete möjliggjort en uppdelning i luftkanalens dynamik och rummets dynamik i de identifieringar som utförts.

5.5 Stegvis identifiering

Efter en identifiering så ska residualen $e(t)$ vara vitt brus för LS-metoden eller filtrerat vitt brus för ML-metoden. Speciellt ska residualen vara oberoende av de övriga insignalerna. Detta oberoende kan testas genom att försöka med en ny identifiering mellan en annan insignal och residualen. Om en ny modell kan identifieras så kan den adderas till den första och förfarandet upprepas på den nya residualen.

Tillämpat på NO-zonen så får man följande resultat i nämnd ordning:

$$y_8(s) = 0.16u_5(s)/(1+53s) + 0.045u_4(s)/(1+83s) + 0.013u_1(s)/(1+77s)$$

Det nya är att varje överföringsfunktion har sitt eget A-polynom, vilket enligt tidigare avsnitt är en tilltalande egenskap. Modellen visar sig ge något bättre resultat än motsvarande modell i avsnitt 5.1.

Nackdelar med metoden är att den ordningen i vilken man utför identifieringen får betydelse för resultatet, och att den snabba moden i systemet inte kan identifieras. Därför har detta sätt att identifiera inte använts mer än i några få fall.

5.6 Experiment A och B

Det första identifieringsförsöket, A, genomfördes av misstag på halvfart. Halvfart medför ju att endast halva luftflödet pumpas runt i byggnaden. Uppenbart blir då för- och eftervärmarna dubbelt så effektiva på att värma upp denna luftmängd, dvs förstärkningen i dessa kretsar fördubblas. Eftersom regulatorparametrarna är de samma så blev systemet extremt svängigt. Frånluftstemperaturen däremot ändrade sig mindre än en halv grad och bruset på mätsignalen blev tydligt. Under dessa omständigheter gick det ej att identifiera några samband över huvud taget.

Även det andra identifieringsförsöket, B, var problemfyllt. Det använda reelltidsprogrampaketet är av äldre modell och risk för låsningar (dead-lock) förekommer. På grund av oskicklig hantering vid en sådan låsning så förstördes hälften av mätdata, den andra hälften används i nästa avsnitt.

5.7 Noggrannhet och tillämpbarhet

Identifieringsprogrammet anger en standardavvikelse för alla estimerade värden. Att ange dessa för alla modeller blir lite långrandigt, men som typfall kan vi utföra en enkel störräkning på modell 15. Genom att addera och subtrahera felen på lämpligt sätt så får vi för den kontinuerliga representationen:

$$\frac{0.13}{1+58s} < F(s) = \frac{0.16}{1+64s} < \frac{0.18}{1+71s}$$

En metod som ger större insikt om hur bra modellen är, är att simulera på nya mätdata som alltså inte har använts för identifieringen. I FIG.5.5 visas i tur och ordning utsignalen från modellerna 2, 9, 15, 20 och den förenklade modellen 1, då insignaler och utsignaler kommer från experiment B. Detta experiment var sex timmar långt och tilluften styrdes ut av en PRBS-sekvens med grundperioden 20 minuter jämfört med 40 minuter för experiment C.

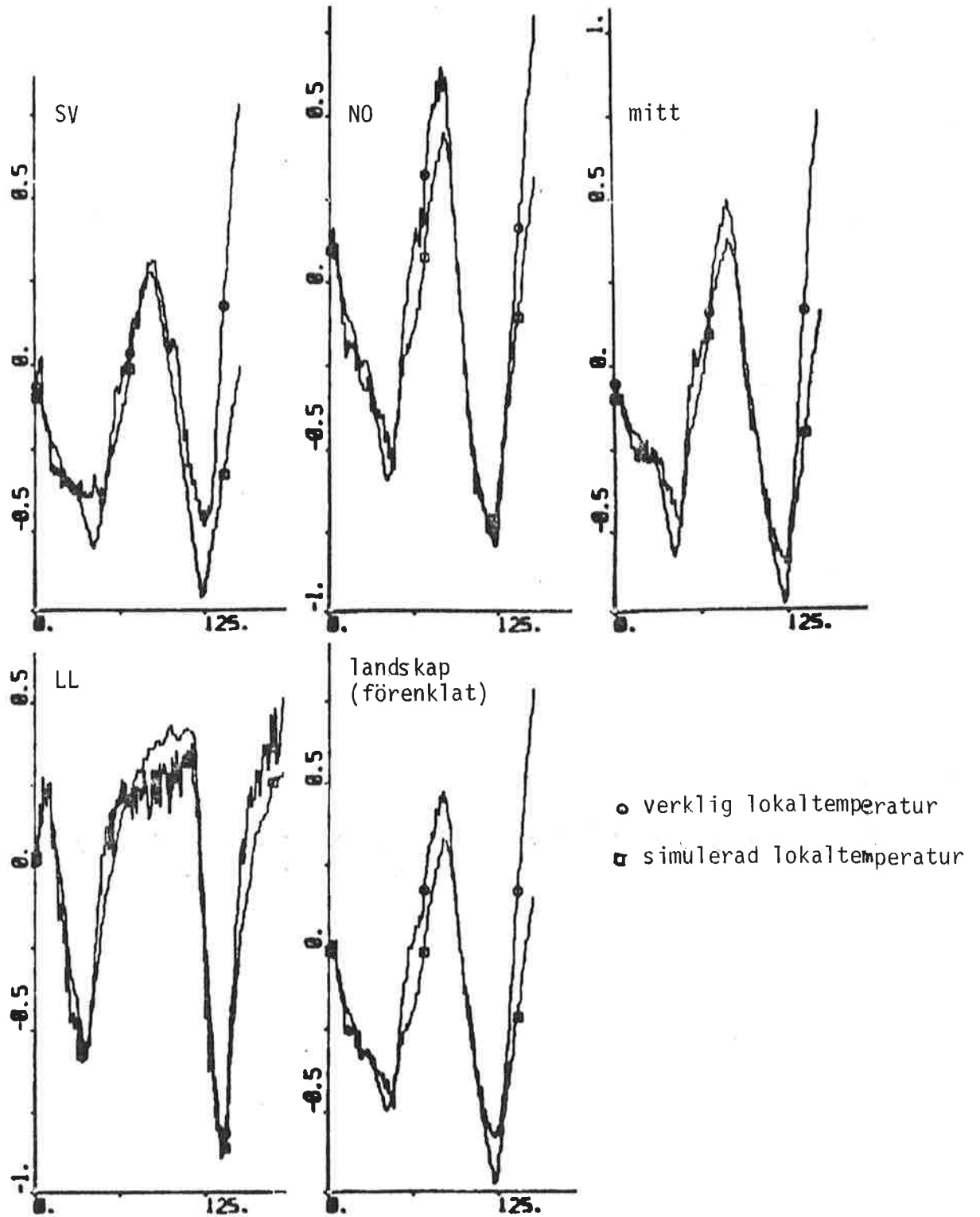


FIG.5.5 Simulering av modellerna på nya mätdata.

Som man ser så fungerar de enkla modellerna förhållandevis bra även på dessa mätdata. Höjningen av lokaltemperaturen under de sista samplen beror på att armaturerna tänds frampå morgontimmarna.

Som tidigare påpekats så måste man anta att processen är olinjär t ex med avseende på den statiska förstärkningen som minskar (på något sätt) då amplituden höjs. För att bestämma denna olinjaritet så borde experimentet ha upprepats för ett antal olika amplituder. Problemet är dock att bruset blir alltmer störande då amplituden sänks, jämför experiment A. Experiment med olika amplituder har inte utförts.

De framtagna modellerna gäller alltså i första hand då tilluftstemperaturen skiljer sig 4-8 grader från lokaltemperaturen. Detta driftsfall är relativt vanligt.

Ett slutgiltigt mått på modellens tillämpbarhet för regleringsändamål vore naturligtvis beräkning av olika regulatorer utgående från modellerna och utförda fullskaleregleringar.

Här ges bara observationen att om vi beskriver landskapet med modellerna 8, 15 och 22 och mittzonen störs på något sätt så att tilluftstemperaturen behöver höjas 1 grad, så måste samtidigt tilluftstemperaturerna för SV- och NO-zonerna sänkas med 2.2 respektive 5 grader, för att hålla dessa zoner vid konstant temperatur (rent statistiskt betraktelsesätt). Om mittzonens störning blir större så kan snart fasadzonerna inte "hålla emot", eftersom tilluftstemperaturen måste ligga mellan ca 15 och 30 grader.

Reglering av konstorslandskapets temperatur har alltså sina problem då man utnyttjar uppdelningen i zoner.

6 SAMMANFATTNING

Som alltid då man ställs inför en verklig process så kan man knappast alltför väl utreda dess fysiska utformning, mätgivares placering och andra omständigheter som påverkar de uppmätta resultaten. Vi börjar därför med en översikt över (den fysiska) processen och övergår sedan via val av insignal till de framtagna dynamiska modellerna. Som en (mycket) kort utblick över vilken inverkan resultaten får för reglering av processen så har även några nya belysande exempel och kommentarer tagits med.

Uppvärmningen och temperaturregleringen av kontors landskapet med ventilationsluft sker via ett välfördelat nät av till- och frånluftsdon över hela lokalen. Luften tycks snabbt bli väl blandad. Man brukar ange lufthastigheten i lokalen till ca 0.1 m/s, vilket skulle tyda på att luften efter några minuter har hunnit att blanda sig ordentligt.

De tre temperaturgivarna A, B, C i FIG 1.2 gör tre (punkt)mätningar i den kontinuerliga temperaturfördelningen över lokalen. Eftersom problemet med störningar och avvikande temperaturer är störst i den fyra till fem meter breda strimlan som ligger närmast ytterväggarna, så skulle det ha varit betydligt bättre ur regleringssynpunkt om temperaturgivaren suttit längre ut mot ytterväggarna. Det som är viktigt nu är dock att observera att de framräknade modellerna gäller just den placering som framgår av FIG 1.2, en annan placering hade gett andra resultat.

Mätnoggrannheten i mätgivarna är begränsad. Ett fel på $\pm 1/2$ grad är normalt. Ett resultat av detta är t ex att ett börvärde på 20 grader i de tre zonerna i realiteten innebär att regleringen inte är nöjd förrän temperaturen i givarna för SV, NO och mittzonen är 20.3, 20.2, 20.9 grader (uppskattade fel är 0.3, 0.2 och 0.9 för SV, NO respektive mittzonens givare enligt avsnitt 2.2). På så sätt byggs oönskade temperaturgradienter upp i lokalen. I detta fall verkar dessa förstärkande på den förväntade temperaturgradienten på grund av kyla utifrån under vinterhalvåret. På sommaren då man koler lokalen så kan fenomenet tvärtom verka mot störningar utifrån.

Ytterligare en mätteknisk detalj värd att upprepa är placeringen av tillluftstemperaturgivaren i början av luftkanalerna, vilket medför att luftkanalens inverkan kommer att räknas med i våra modeller. Detta påverkar huvudsakligen det snabba förloppet (dämpning av alla snabba förändringar).

De vanligaste arbetspunkterna för regleringen gäller på morgonen då lokalen

hastigt värms upp och på sen förmiddag och hela eftermiddagen då lokalen kyls (gäller vinterhalvåret undantaget några veckor då det är som kallast ute).

Det teoretiska modellbyggandet ger inga modeller som med troliga numeriska värden på de fysikaliska konstanterna kan beskriva det dominerande förloppet. Identifiering grundad på direkta mätningar av in- och utsignaler till processen återstår då som en lämplig metod, för att utröna hur påverkan mellan till- och frånluft fungerar.

Det gäller vid identifieringen att anpassa en modell på den reglertekniska standardformen (linjär differensekvation mellan en utsignal och p insignaler)

$$A(q^{-1}) y(t) = B_1(q^{-1}) u(t-k_1) + \dots + B_p(q^{-1}) u(t-k_p) + C(q^{-1}) e(t) \quad (3.1)$$

till de samplade värdena på samhörande in- och utsignaler. Två nackdelar med denna form är att något samband mellan utsignalerna inte kan beskrivas, och att överföringsfunktionen från alla insignaler förknippad med en viss utsignal har samma A -polynom och alltså samma pollägen. Man kan inte räkna med att genom att höja ordningen på modellerna kunna förkorta bort polen mot nollställen i överföringsfunktionen.

Ett problem som uppstår vid identifieringen är val av insignal. Det gäller att "skaka om" processen ordentligt, dels genom att signalens effekt är hög, dels genom att denna effekt är fördelad över alla intressanta frekvenser. För att kunna skilja olika signalers inverkan så måste dessutom insignalerna vara oberoende av varandra.

Inbördes förskjutna PRBS-sekvenser, alla av samma ordning och samma grundperiod, uppfyller kraven och har använts. Dilemmat vid identifiering av klimatprocesser är de långsamma förloppen och därmed långa experimenttiderna som krävs. Därför har antalet hela perioden av PRBS-sekvenserna varit begränsade till en eller två, därmed måste också insignalens statistiska egenskaper testas (PRBS-sekvensens idealiserade egenskaper kräver långa sekvenser). Figurserien FIG 6.1 visar några exempel på vilka egenskaper de verkliga insignalerna har.

Identifieringen med IDPAC visade att ett system av första ordningens modeller relativt väl kan beskriva hur de tre tilluftstemperaturerna påverkar lokaltemperaturen. Några säkra samband från radiatorerna och uteklimatet till

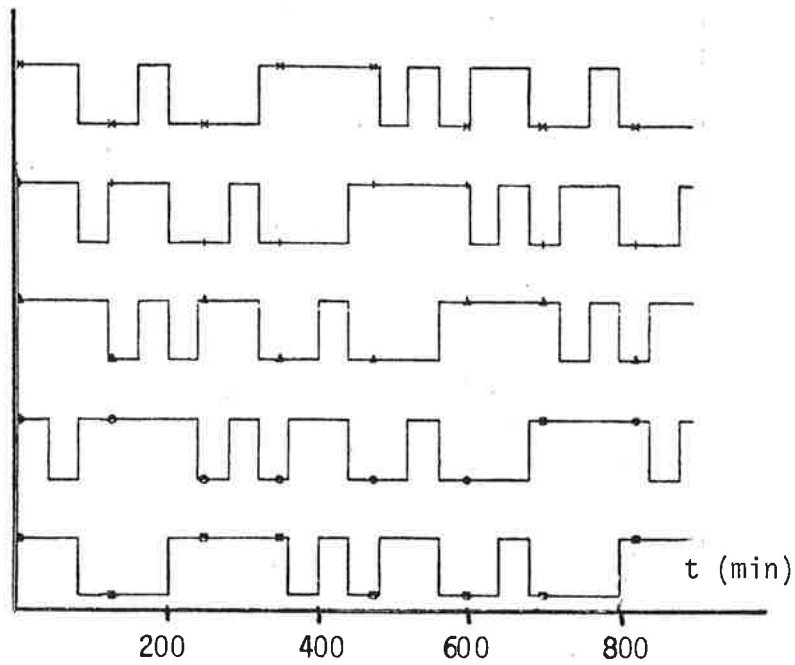
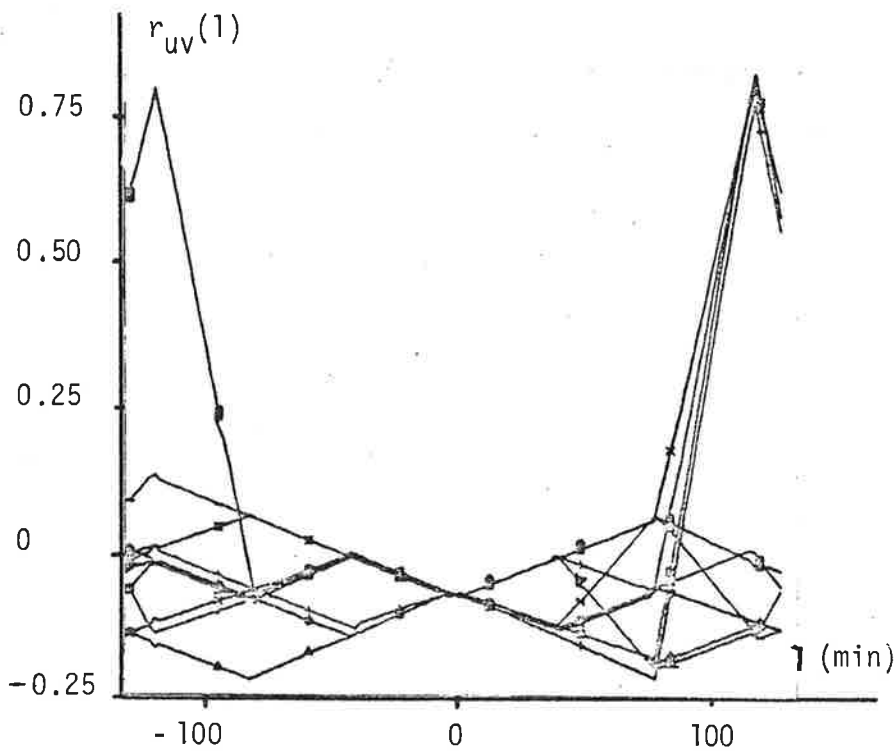
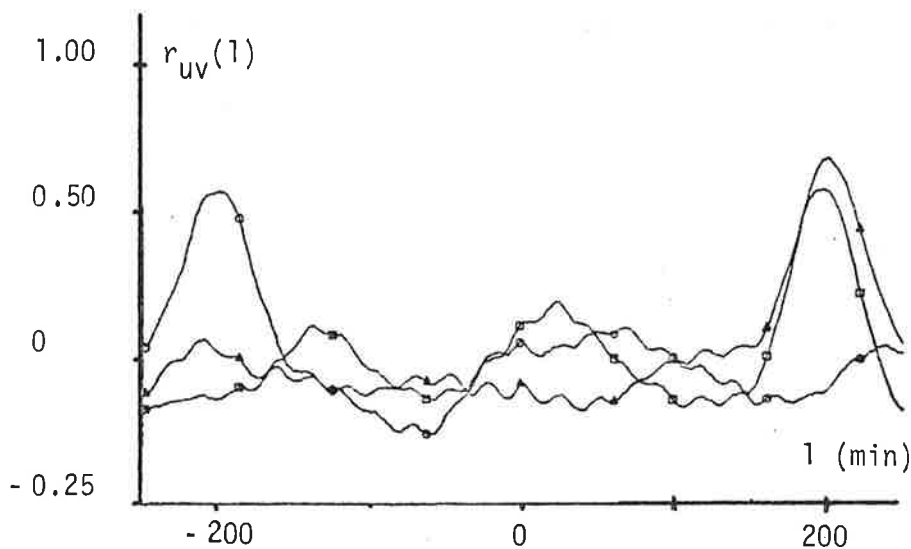


FIG. 6.1

Exempel på fem PRBS - sekvenser med $T=40$ min och $N_{bit}=4$.

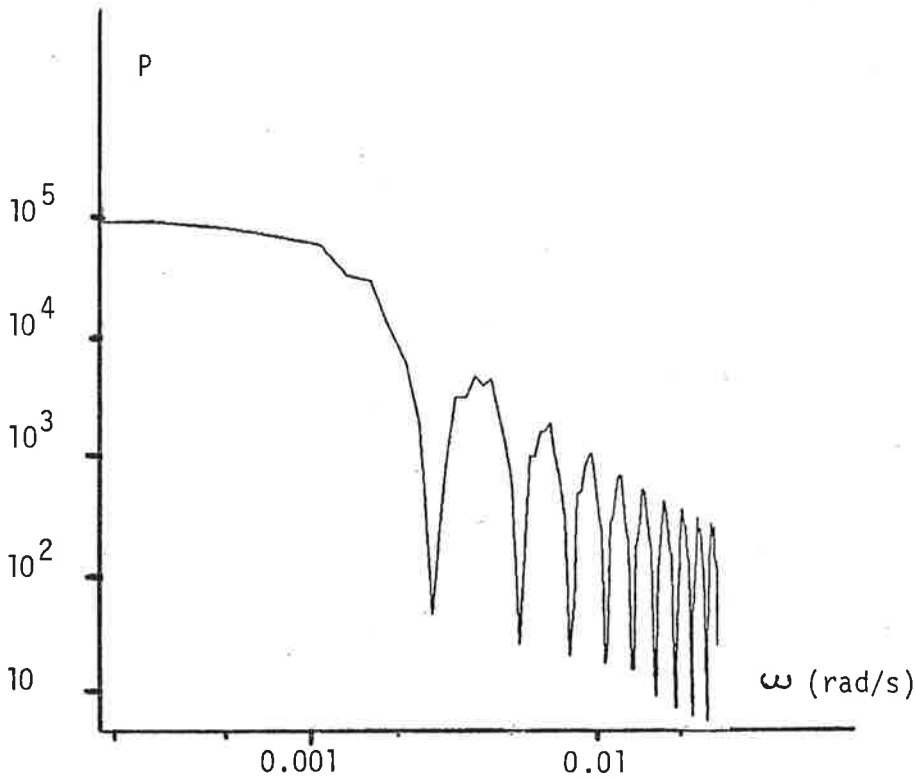


Beräknad korskorrelation $r_{uv}(1) = \frac{1}{M} \sum_i u(i)v(i-1)$ parvis mellan de fem ovanstående sekvenserna. Observera att de ideala egenskaperna från avsnitt 4.4 och 4.5 inte uppfylls pga de korta sekvenserna.

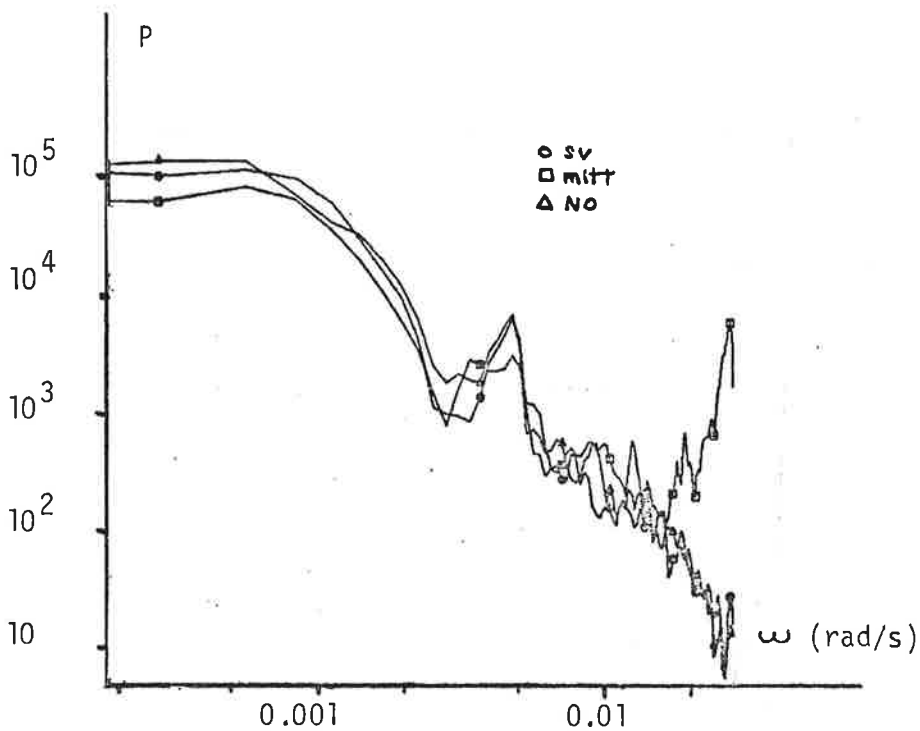


Beräknad korskorrelation mellan de tre verkliga tilluftstemperaturerna, (den önskade temperaturen är inte vald bland de fem sekvenserna ovan).

FIG.6.1 (fortsättning)



Autospektrum för en PRBS-sekvens, beräknad för vinkelfrekvenser upp till $\pi/T_s = \pi/2 \cdot 60$ s.



Autospektrum för de verkliga signalerna. Observera höjningen för mittzonen nära Nyquistfrekvensen som indikerar att frekvensvikning har förekommit vid samplingen av mittzonens tilluftstemperatur.

lokaltemperaturen kunde däremot inte tas fram.

De bästa första ordningens modeller i form av överföringsfunktioner visas i FIG 6.2.

Höjer man modellernas ordning till två så erhålls i stort det gamla första ordningens systemet parallelkopplat med ett snabbt första ordningens system med negativ förstärkning. Tillsammans ger dessa ett stegsvar som ligger mycket nära noll under de första minuterna. Detta är något man får se upp med vid val av regulator, den enklaste lösningen är kanske att öka samplingsperioden från varje minut till t ex var femte minut.

Reglerauktoriteten för de två fasadzonerna är begränsad. Därför kommer mittzonens temperatur att dominera över hela landskapet trots reglering, och störningar i mittzonen slår lätt igenom till fasadzonerna.

Modellerna visar sig fungera lika bra tillämpade på nya mätdata som på de data de beräknats för. Detta utgör en viss garanti för att de presenterade modellerna verkligen beskriver de dominerande temperaturförloppen.

TILLUFTSTEMPERATURER

FRÅNLUFTSTEMPERATURER

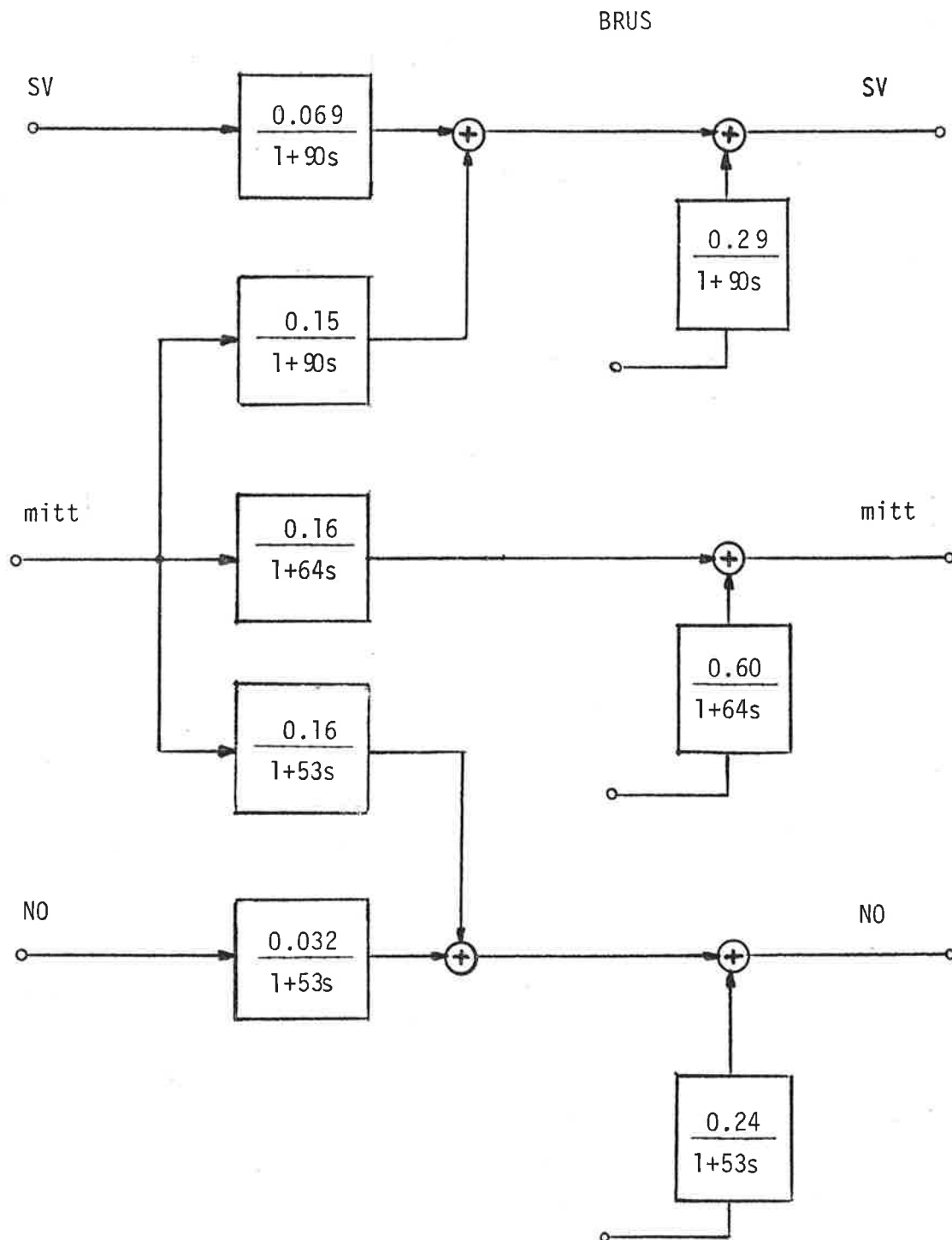


FIG.6.2 Överföringsfunktioner för de identifierade första ordningens systemen, tiden är normerad till minuter.

De variationer i frånluftstemperaturen som inte kan härledas till tilluften betraktas som normerat ($r_{ee}(0)=1$) vitt brus som filtrerats enligt figuren.

7 REFERENSER

- Elmqvist, H. (1975) SIMNON an interactive simulation program for non-linear systems - User's Manual, Institutionen för Reglerteknik, LTH, Lund.
- Davies, (1970) SYSTEM IDENTIFICATION FOR SELF ADAPTIVE CONTROL
- Gustavsson, I., (1970) Synpunkter på problem vid praktiska identifieringsexperiment - speciellt val av insignal, Institutionen för Reglerteknik. LTH, Intern rapport. Lund.
- Jensen, L., (1974) COMPUTER PROGRAMS FOR FULLSCALE EXPERIMENTS, Institutionen för Byggnadskonstruktionslära och Reglerteknik, LTH, Lund.
- Jensen, L., (1977) DATAÖVERFÖRING PDP-15 - NOVA , Institutionen för Reglerteknik, LTH, Lund.
- Jensen, L., (1978) IPCL - ETT INTERPRETATIVT PROCESSTYRNINGSSPRÅK.
- Söderström, T., (1975) Kompendium i processidentifiering, Teknikum, Uppsala Universitet, Uppsala.
- Tour och Andersson AB (1978) OPERATÖRSMANUAL FÖR REGLERSYSTEM DDC-6., Malmö.
- Wieslander, J., (1976) IDPAC User's guide, Institutionen för Reglerteknik, LTH, Lund.

APPENDIX 1

Numeriska värden.

Nedan följer numeriska värden på samtliga konstanter som ingår i olika formler främst i kapitel 3 där även de flesta definieras. Noggrannheten är ungefär 10% (gäller inte q - se kapitel 2).

	ENHET	SV-ZON	NO-ZON	MITT-ZON	TOTALT
Golvyta	m ²	440	320	1620	2380
därav i smårum	m ²	230	60	40	330
Höjd, genomsnittlig	m	3.65	3.65	3.65	3.65
Väggyta yttervägg	m ²	410	270	-	680
därav i smårum	m ²	190	40	-	230
Annan väggyta (1)	m ²	420	220	610	1250
därav i smårum	m ²	420	200	190	810
Övriga ytor (2)	m ²	2200	1600	8100	11900
därav i smårum	m ²	1150	300	200	1650
Luftens totala begr.yta	m ²	3910	2730	11950	18590
därav i smårum	m ²	2450	360	470	3280
V	m ³	1610	1170	5910	8690
därav i smårum	m ³	840	220	120	1180
C = cVd	MJ/k	2.09	1.52	7.68	11.30
därav i smårum	MJ/k	1.09	0.28	0.16	1.53
q	m ³ /h	4800	4400	16200	25400
därav i smårum	m ³ /h	2510	910	390	3810
Q=qcd	MJ/kh	6.24	5.72	21.06	33.02
därav i smårum	MJ/kh	3.26	1.18	0.51	4.95
n	1/h	2.99	3.76	2.74	2.92
n	1/min	0.050	0.063	0.046	0.049

(1) Innerväggar på båda sidor, toaletter ej medtagna.

(2) Dvs inredningen, uppskattat till fem gånger golvytan

(3) Cellkontoren räkar här stå som smårum.

Värmeövergångstalet för konvektion är svårare att ange. Den är bland annat beroende av temperaturskillnaden och av lufthastigheten. Troligtvis ligger det mellan $1-10 \text{ W/m}^2\text{K}$. De flesta räkningar genomförs med $h=2 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Lika svårt är att ange den effektiva delen av begränsningsytan. Efter som det i rummet finns stora ytor av så olika material som betong, plåt, trä, textilier och glas. Som standardvärde sätter vi A till fem gånger golvytan vilket blir samma siffror som för "övriga ytor" ovan.

APPENDIX 2

Lokalisering av egenvärden till en matris

När man studerar teoretiska modeller för klimatsystem uppstår ofta, som i kapitel 3, diagonaldominanta matriser vars egenvärden man vill uppskatta läget för. Då har man nytta av följande sats, direkt hämtad från Eriksson (1977) där den även bevisas.

Sats: Låt $e_1, e_2 \dots e_n$ vara egenvärden till $(n \times n)$ matrisen $A=(a_{jk})$. Då gäller att alla egenvärden till matrisen ligger i unionen av cirklar (i komplexa talplanet) med

centrum i: a_{ij}

radien : $a_{i,1} + \dots + a_{i,i-1} + a_{i,i+1} + \dots + a_{i,n}$

Om ett område sätts samman av m st disjunkta cirklar så innehåller området m st egenvärden.

Eftersom den transporterade matrisen A^T har samma egenvärden som A så gäller även ovanstående med radien:

$$a_{1,i} + \dots + a_{i-1,i} + a_{i+1,i} + \dots + a_{n,i}$$

Speciellt kan vi avgöra att en diagonaldominant matris med alla diagonalelement negativa (t ex 3.3 och 3.5) är stabil. Vidare ser man lätt att det absolut minsta och största egenvärdena är bundna av

$$e_{\min} > \min_i \text{ centrum} - \text{radien}$$

$$e_{\max} < \max_i \text{ centrum} + \text{radien}$$

Dessa uppskattningar är lämpliga för att se om en ny modell kan innehålla de nya tidskonstanter som man söker (se avsnitt 3.2).

APPENDIX 3

SKIFTREGISTRETS INNEHÅLL I EN PRBS-GENERATOR

AKTUELLA DATA: NRIT= 3 FEEDBACK POLYNOM= 5 ISTART= 1, 2, 3

SKIFTREGISTER

	IX	IXMIN	IUT	IX	IXMIN	IUT	IX	IXMIN	IUT
1	7	7	1	5	5	1	4	4	1
2	14	6	0	10	2	0	9	1	1
3	29	5	1	20	4	0	19	3	1
4	58	2	0	41	1	1	39	7	1
5	116	4	0	83	3	1	78	6	0
6	233	1	1	167	7	1	157	5	1
7	467	3	1	334	6	0	314	2	0

SKIFTREGISTRETS INNEHÅLL I EN PRBS-GENERATOR

AKTUELLA DATA: NRIT= 4 FEEDBACK POLYNOM= 9 ISTART= 1, 2, 3

SKIFTREGISTER

	IX	IXMIN	IUT	IX	IXMIN	IUT	IX	IXMIN	IUT
①	12	12	1	11	11	1	2	2	1
2	25	9	1	22	6	0	4	4	0
3	50	2	0	44	12	0	8	8	0
4	100	4	0	89	9	1	17	1	1
5	200	8	0	178	2	0	35	3	1
6	401	1	1	356	4	0	71	7	1
⑦	803	3	1	712	8	0	143	15	1
8	1607	7	1	1425	1	1	286	14	0
9	3215	15	1	2851	3	1	573	13	1
⑩	6430	14	0	5703	7	1	1146	10	0
11	12861	13	1	11407	15	1	2293	5	1
12	25722	10	0	22814	14	0	4587	11	1
⑬	51445	5	1	45629	13	1	9174	6	0
14	102891	11	1	91258	10	0	18348	12	0
15	-56362	6	0	-79627	5	1	36697	9	1

SKIFTREGISTRETS INNEHÅLL I EN PRBS-GENERATOR

AKTUELLA DATA: NRIT= 5 FEEDBACK POLYNOM= 18 ISTART= 1, 2, 3

SKIFTREGISTER

	IX	IXMIN	IUT	IX	IXMIN	IUT	IX	IXMIN	IUT
1	29	29	1	15	15	1	26	26	1
2	59	27	1	31	31	1	52	20	0
3	118	22	0	62	30	0	105	9	1
4	236	12	0	124	28	0	210	18	0
5	472	24	0	249	25	1	420	4	0
6	945	17	1	499	19	1	840	8	0
7	1891	3	1	998	6	0	1680	16	0
8	3783	7	1	1997	13	1	3361	1	1
9	7567	15	1	3994	26	0	6722	2	0
10	15135	31	1	7988	20	0	13445	5	1
11	30270	30	0	15977	9	1	26890	10	0
12	60540	28	0	31954	18	0	53781	21	1
13	121081	25	1	63908	4	0	107563	11	1
14	-19981	19	1	127816	8	0	-47017	23	1
15	-39962	6	0	-6512	16	0	-94034	14	0
16	-79923	13	1	-13023	1	1	74077	29	1
17	102298	26	0	-26046	2	0	-113989	27	1
18	-57548	20	0	-52091	5	1	34166	22	0
19	-115095	9	1	-104182	10	0	68332	12	0
20	31954	18	0	53781	21	1	-125480	24	0
21	63908	4	0	107563	11	1	11185	17	1
22	127816	8	0	-47017	23	1	22371	3	1
23	-6512	16	0	-94034	14	0	44743	7	1
24	-13023	1	1	74077	29	1	89487	15	1
25	-26046	2	0	-113989	27	1	-83169	31	1
26	-52091	5	1	34166	22	0	95806	30	0
27	-104182	10	0	68332	12	0	-70532	28	0
28	53781	21	1	-125480	24	0	121081	25	1
29	107563	11	1	11185	17	1	-19981	19	1
30	-47017	23	1	22371	3	1	-39962	6	0
31	-94034	14	0	44743	7	1	-79923	13	1

