

CODEN: LUTFD2/(TFRT-5302)/1-107/(1983)

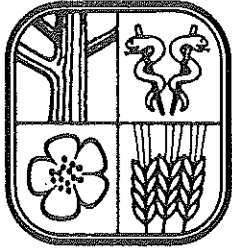
MODELLBYGGNAD OCH SIMULERING
AV KLIMAT I STALLBYGGNADER

JAN HALL

INSTITUTIONEN FÖR REGLERTEKNIK
LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
SEPTEMBER 1983

TILLHÖR REFERENSBIBLIOTEKET

UTLANAS EJ



**SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET**

**MODELLBYGGNAD OCH SIMULERING
AV KLIMAT I STALLBYGGNADER**

JAN HALL

Handledare: Gustaf Olsson (LTH)
Gösta Gustavsson
Svante Olofsson (LBT)

**Institutionen för lantbrukets
byggnadsteknik (LBT)**

Undervisningsavdelningen

**Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Farm Buildings
Division of Teaching**

Examensarbete 48

Thesis

LUND 1983

ISSN 0348-0690

ISBN 91-576-1476-8

Dynamic Modelling and Simulation of Barn Climate.

Abstract

This report discusses natural ventilation in animal houses. The report is made as an MS thesis on the Department of Automatic Control at Lund Institute of Technology and the Department of Farm Building at the Swedish University of Agricultural Science.

The paper contains model building of an animal house, where account is taken to the fact that the mixing of the air inside the building is neither perfect nor immediate. The model is then implemented in the simulation language Simnon, and compared to measurements made on a similar building.

The conclusion of the work shows that natural ventilation is well suitable for climate control in animal houses. However some things have to be improved in today's animal houses. A better isolation than today's is necessary. There is a need of greater in- and outareas for the ventilation air, and a better regulator than common is required. Further, if the animal house is big, the house has to be regulated in sections. The reason for this is that the rate of animals is not equal over the area, and the disturbance from the wind can be reduced that way.

Sammanfattning

Denna rapport behandlar naturlig ventilation i djurstallar. Rapporten är utförd som ett examensarbete vid institutionen för reglerteknik vid Lunds tekniska högskola och institutionen för lantbrukets byggnadsteknik vid Sveriges lantbruksuniversitet.

Rapporten behandlar modellbygge av ett djurstall, där hänsyn tas till att luftblandningen i stallet varken är omedelbar eller perfekt. Modellen är därefter implementerad i simuleringsspråket Simnon, och jämförd med mätningar utförda på en motsvarande byggnad.

De slutsatser som kan dragas av simuleringarna visar att naturlig ventilation kan säkerställa att ett erforderligt klimat uppnås. Dock måste en del saker förbättras i jämförelse med dagens djurstallar. Det krävs en bättre isolering av stallen. Till- och frånluftsareorna måste vara större, och en något mer avancerad regulator krävs. Vidare, om stallet är stort behöver det regleras i sektioner, där varje sektion regleras individuellt. Orsaken till detta är att djuren inte är jämt fördelade inne i stallet, och vindstörningarna får en mindre inverkan.

innehåll & beteckningar

1. Inledning	3
2. Problemet	5
3. Grundläggande fysikaliska samband	8
3.1 Vilka formler behövs	8
3.2 Ventilationens värmetransport	9
3.3 Byggnadens värmeinnehåll	9
3.4 Värmetransmission	10
3.5 Kornas värmeavgivning	13
3.6 Fukttransport	14
3.7 Kornas fuktavgivning	15
3.8 Luftens vatteninnehåll	16
3.9 Ventilationsflödet	16
3.10 Vindens inverkan på ventilationsflödet	18
4. Balansekvationer	19
4.1 Balansekvationer	19
4.2 Diskretisering av rummet, blandning	20
4.3 Luftblandning	22
4.4 Modellen	24
4.5 Modellens giltighet	26
5. Modellsimulering	28
5.1 Motiv för simulering	28
5.2 Beskrivning av systemprogrammet	29
6. Utvärdering av modellen	33
6.1 Övedskloster	33
6.2 Jämförelser	35
7. Reglerprinciper	44
7.1 Strukturen av en fuktighetsregulator	44
7.2 Strukturen av en temperaturregulator	46
7.4 En lämplig regulator	49
8. Simuleringsresultat	50
8.1 Simuleringar på Övedskloster	51
8.1.1 I-regulator	51
8.1.2 PI-regulator	55
8.1.3 2 st PI-regulatorer	58
8.1.4 2 st PI-regulatorer med framkoppling	63
8.2 Olika byggnadstyper	70
8.2.1 Lätt byggnadskropp	70
8.2.2 Tung byggnadskropp	72
8.2.3 Frörum	74
9. Slutsatser och rekommendationer	81

innehåll & beteckningar

Beteckningar

beteckning	betecknar	enhet
A	area	m^2
cp	värme kapacitivitet	J/kg
H	höjd	m
hi	värmeövergångstal	$W/(m^2 \cdot K)$
k	k-värde	$W/(m^2 \cdot K)$
l	längd	m
M	värme kapacitet	J/(kg · K)
m	massa	kg
mix	blandningsförhållande	-
P	effekt	W
p	tryck	N/m^2
Q	energi	J
q	flöde	m^3/s
RH	relativ fuktighet	%
T	temperatur	K
u	insignal	godtycklig
V	volym	m^3
v	hastighet	m/s
X	vattenproduktion	g/s
x	vatteninnehåll	g/kg
y	utsignal	godtycklig
α	absorptionsfaktor	-
ϵ	emissionsfaktor	-
Π	gänger	
ξ	engångsmotståndstal	-
ρ	densitet	kg/m^3
Σ	summa	
σ	Stefan-Boltzmanns konst	$W/(m^2 \cdot K^4)$

Inledning

1. INLEDNING

Fläktventilation har varit den förhärskande metoden för klimatreglering av djurstallar under de senaste årtiondena. Metodens stora fördel är att den ger möjlighet till full kontroll av luftflödet i stallet. Nackdelar är att den är energikrävande, den kräver underhåll och den stannar vid spänningsbortfall. Därför har BFR (Byggnads Forsknings Rådet) givit Sveriges Lantbruksuniversitet i uppdrag att undersöka om ventilation baserad på självdrag - naturlig ventilation - kan säkerställa ett erforderligt klimat i stallar. I projektbeskrivningen har angivits att datorsimulering av stallklimatet i en byggnad utrustad med naturlig ventilation skall göras.

Denna rapport är utförd som ett examensarbete vid institutionen för lantbrukets byggnadsteknik (LBT) vid Sveriges lantbruksuniversitet och institutionen för reglerteknik vid Lunds tekniska högskola. Rapporten behandlar modellbygge av ett djurstall, denna modells implementering i simuleringspråket Simnon, samt en utvärdering av simuleringsresultaten vilket resulterar i en rekommendation av en lämplig reglering av naturlig ventilation i ett kostall.

Modellen är uppbyggd på vanligt sätt med enkla fysikaliska samband som resulterar i balansekvationer av typ massbalans och energibalans. Men till skillnad från vad som är vanligt förutsättes inte att en perfekt och omedelbar blandning sker inne i stallet av luften. Vid beräkning av fläktstyrd ventilation av mindre lokaler, kan man utan alltför stort fel göra en sådan approximation, men i ett stort djurstall kommer lufthastigheten och energitillförseln att variera alltför mycket i rummet. Orsakerna är bl.a ett varierande antal djur i rummet, och vindens stora inverkan på ventilationsflödet men framförallt den stora utsträckningen av stallet. I detta program tages hänsyn till denna assymetri genom att snitta stallet i ett antal sektioner där balansekvationerna beräknas för varje snitt. Hänsyn tages till att klimatet i ett snitt kommer att påverka klimatet i intilliggande snitt, dvs klimatet är diskretiserat i rummet. Hur denna koppling sker är föga undersökt tidigare och lämpliga teorier saknas, varför en diskussion är utförd i rapporten där vissa rimliga antaganden göres.

Rapporten visar att naturlig ventilation är en lämplig metod att använda i kostallar om man använder sig av större till- och frånluftsareor än vad man tidigare har gjort samt reglerar med obetydligt mer avancerade regulatorer än brukligt.

I kapitel 2 presenteras de krav på klimatet som finns i ett kostall samt de problem som finns för att uppfylla dessa. Kapitel 3 presenteras de grundläggande fysikaliska samband som senare användes för att modellera klimatet. Modellbygge baserat på energi och massbalans behandlas i kapitel 4, där finns även ett resonemang över hur luftblandningen i ett stall sker, samt en diskretisering av klimatet i rummet. I

Inledning

slutet av kapitlet diskuteras hur de förenklingar som har gjorts kommer att påverka modellens giltighet. I kapitel 5 visas olika sätt att utvärdera modellen. Motiven varför Simnon har valts presenteras. Dessutom finns en beskrivning av programmet. För att utvärdera programmet har jämförelser gjorts mellan simuleringens resultat och mätning utförda på Övedskloster. Dessa jämförelser samt en bedömning av programmets noggrannhet finns i kapitel 6. Ett resonemang över vilka fysikaliska storheter man kan reglera och vilka man kan mäta, och hur detta påverkar regulatorernas struktur finns i kapitel 7. Där listas även en programrealisering av den regulator, som senare användes, i Simnon. En presentation av simuleringarna med olika regulatorinställningar och med olika byggnadstyper görs i kapitel 8. Slutligen, i kapitel 9, drages de slutsatser som rapporten ger upphov till och en lämplig reglerstrategi för naturlig ventilation i kostallar presenteras.

Problemet

2. PROBLEMET

Detta kapitel innehåller de krav som finns på klimatet i djurstallar, så som önskvärd luftfuktighet, temperatur och lufthastighet. Vilka problem som finnes för att uppnå ett sådant klimat diskuteras, och hur man skall reglera för bästa resultat.

Ventilationens uppgift i ett djurstall är:

att byta luft i stallet så att värme fukt och andra bi-produkter från djuren ej når en för stallpersonalen och djuren skadlig nivå.

att hålla temperaturen och luftfuktigheten på en sådan nivå att optimal produktion erhålles.

att ge önskvärda luftrörelser runt djuren och arbetsplatserna.

Ventilationen utformas så att stalltemperaturen och/eller luftfuktigheten regleras. Genom att reglera dessa storheter kommer även de andra klimatfaktorerna att påverkas. Dessa är t ex lufthastighet, damm, gödselgaskoncentration och buller.

Denna rapport behandlar naturlig ventilation i djurstallar där ingen tilläggsvärme tillföres luften, och ventilationsflödet kommer helt att bestämmas av temperaturskillnaderna mellan inne och ute. Trots detta är simuleringprogrammet även tillämbart på djurstallar där tilläggsvärme användes genom att till djurens effektavgivning addera eventuell tilläggsvärme. Alla beräkningar är gjorda på stall med besättningar av mjölkkor, vilka avger värme av en sådan mängd att tilläggsvärme är överflödig.

I djurstallar med naturlig ventilation är det djurens värmeavgivning som förorsakar luftströmmarna. Detta beror på att djuren avger värme till luften vars densitet därigenom sjunker och luften tenderar alltså att stiga. Genom att då ha ett högt plaserat frånluftsdon och lågt placerade tilluftsdon kommer ventilation att uppstå.

När man skall reglera klimatet i stallet är det egentligen två olika klimatproblem man står inför. På sommaren ventilerar man för att hålla temperaturen nere, och på vintern för att hålla luftfuktigheten nere.

För mjölkkor är den nedre temperaturgränsen i stallet ej kritisk, då de väl tål temperaturer under 0°C, dock med en minskad mjölkproduktion. Önskvärt är en undre temperaturgräns på ca 16°C, med hänsyn till nyfödda kalvar. Den övre gränsen är naturligtvis bestämd av utetemperaturen, lämplig gräns är ej mer än 4° över utomhus-temperaturen.

Problemet

När det gäller luftfuktigheten ventilerar man dels för att skydda människor och djur mot sjukdomar och dels för att skydda byggnaden mot röta. Lämplig övre gräns är 80 %.

Den relativa luftfuktigheten utomhus ligger vintertid oftast på 90% och eftersom ventilationen då är måttlig, för att hålla temperaturen uppe, är det just vintertid man måste ta hänsyn till luftfuktigheten. För att kunna sänka luftfuktigheten krävs det att man ökar ventilationen, men då sänker man samtidigt luftens temperatur. En sådan sänkning medför att luftens förmåga att bära vattenånga minskar. Det finns alltså ett optimalt luftflöde och därmed temperatur då luftens relativa fuktighet är som lägst.

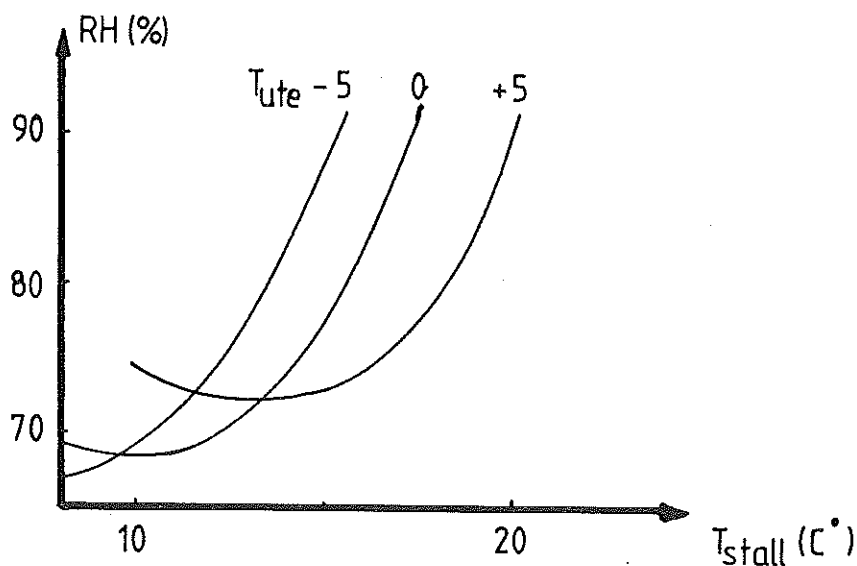


Fig 2.1 Exempel på luftfuktighet i stall vid olika inomhus-temperaturer. Utomhustemperaturen som parameter. (S. Pedersen J.S. Ström 1977)

Enligt figuren ser vi att vi skall styra en process som ej är någon monoton funktion, varför en optimalsökande regulator med givare för relativ luftfuktighet kan användas.

Under sommaren ligger den relativa luftfuktigheten oftast långt under 70%, och det är temperaturen inne i stallet som tenderar att bli för hög. Detta problem är alltså enklare att lösa. Enligt Jensen (1978) kan de flesta klimatprocesser regleras tillfredställande med en PI-regulator. Om stallet regleras med avseende på temperaturen kan man ta hänsyn till luftfuktigheten genom att framkoppla från utetemperaturen, dvs ju lägre utetemperatur ju lägre inomhustemperatur bör vi ha.

Problemet

Genom att det är djurens värmeavgivning som förorsakar ventilationsflödet, uppstår problem i de djurstall där djuren ej är jämt fördelade. I de utrymmen som ej är belagda med djur, t ex mjölkkningsutrymme, kommer ventilationen att vara väldigt dålig, vilket under vintern kan förorsaka allvarliga kondensproblem.

Ett annat problem som uppstår då man ej har fläktventilation är att vinden påverkar ventilationen i hög grad, genom den tryckfördelning som vinden förorsakar runt byggnaden. Se t ex fig 3.8 och 3.9.

Dessa tryck är som synes väldigt olika vid olika delar av byggnaden, alltså kommer ventilationsflödet att starkt variera längs med byggnaden.

Dessa två nämnda faktorer gör att i djurstallar med naturlig ventilation är antagandet att omedelbar och fullständig blandning av luften inne i stallet uppenbarligen inte är rimlig. För att lösa problemet med klimatet måste alltså hänsyn tagas till stallets utbredning i rummet.

Sammanfattningsvis kan alltså sägas att problemen med att reglera klimatet i ett stall med naturlig ventilation är i huvudsak två. Dels problemet att reglera luftfuktigheten och/eller temperaturen så att man får tillfredsställande värde på båda två, trots att de är beroende av varandra. Det andra är att pga de små drivkrafterna som förorsakar luftflödet kommer systemet att vara väldigt känsligt för vindstörningar och ojämn värmebelastning inne i stallet. Dessa faktorer måste man ta hänsyn till då man skall modellera klimatet och bestämma sig för reglerstrategier.

Grundläggande fysikaliska samband

3. GRUNDLAGGANDE FYSIKALISKA SAMBAND

Detta kapitel innehåller de ekvationer, som senare kommer att användas till modellbygget. Dessa är dels elementära fysikformler, dels formler framtagna genom regression och dels helt nya formler som är framtagna genom generaliseringar från andra tillämpningar. Exempel på rena fysikformler är hur mycket värme som transporteras genom en vägg, och hur solstrålningen påverkar yttemperaturen på ett tak. Exempel på formler framtagna genom regression ur tabeller eller från mätdata är luftens maximala vatteninnehåll vid olika temperaturer, och kornas värme och fuktavgivning vid olika temperaturer. Generaliseringar har gjorts när det gäller frågan om hur vinden påverkar ventilationsflödet.

3.1 Vilka formler som behövs

I föregående kapitel konstaterades att de viktigaste parametrarna för klimatet i stallet är temperaturen och den relativa luftfuktigheten. De samband som man måste ha för att bestämma dessa parametrar framgår av figur nedan.

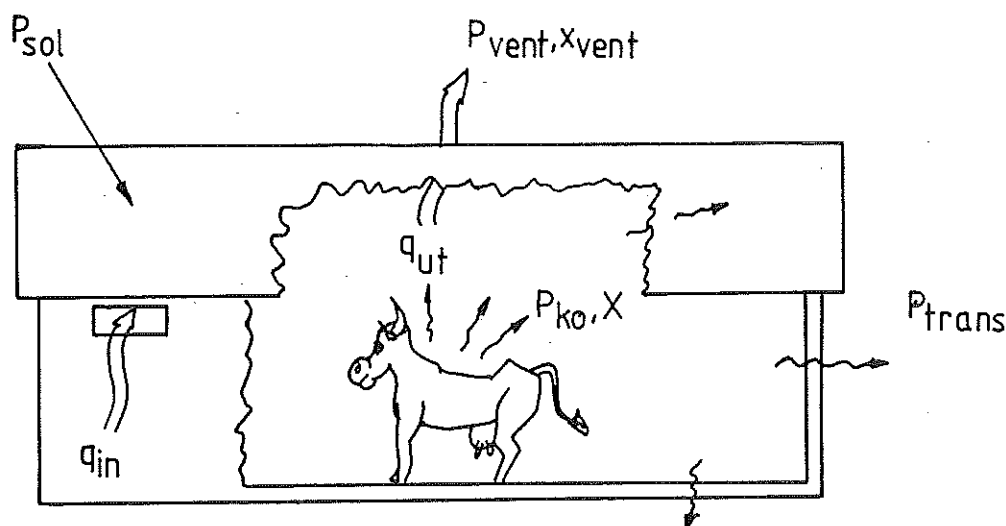


Fig 3.1 Effekttillskott och effektförluster i ett stall

Värme tillföres byggnaden dels med tilluften dels genom djurens värmeavgivning samt från solinstrålningen. Värme bortföres med transmission genom väggar, tak och golv samt med från- luften. Alltså måste vi ha en formel för hur mycket värme som förloras genom ventilationen, samt genom väggar golv och tak, samt även hur mycket värmeenergi som lagras i dessa element. När de gäller värmets tillskott kommer detta alltså från djuren i stallet och från solen, varför det behövs formler för detta tillskott. Motsvarande gäller även för vattentransporten i stallet, det behöves en formel för hur mycket vattenånga som transporteras genom byggnaden

Grundläggande fysikaliska samband

med ventilationen, och en för hur mycket vattenånga djuren avger inne i stallet.

En faktor som tydligen är av stort intresse är hur stort ventilationsflödet är. Det behövs alltså en formel för detta med avseende på temperaturer, vindförhållande och motstånd i till- och frånluftdon. Med dessa formler kan vi alltså beräkna luftens temperatur och vatteninnehåll. Vad som framgick ur kapitel 2 är det inte luftens vatteninnehåll som är av primärt intresset, utan luftens relativa fuktighet. Detta innebär att det behövs en formel för den relativa fuktigheten hos luften vid olika temperaturer om man har ett bestämt vatteninnehåll.

3.2 Ventilationens värmetransport

Den effekt som tillföres med tilluften är

$$P = q_{in} \cdot c_p \cdot \rho \cdot T_{ute} \quad (3.1)$$

q_{in} = tilluftsflöde (m^3/s)

ρ = luftens densitet (kg/m^3)

c_p = luftens värmekapacitivitet (J/kg)

T_{ute} = temperaturen utomhus i K

Analogt gäller att effekten som bortföres med frånluften är

$$P = -q_{ut} \cdot c_p \cdot \rho \cdot T_{inne} \quad (3.2)$$

med motsvarande beteckningar.

3.3 Byggnadens värmeinnehåll

För att bestämma byggnadens värmeinnehåll måste den allmänna värmeledningsekvationen lösas. Detta är som bekant inte något enkelt problem i allmänhet. En metod är att använda sig av finita element, men här kommer att göras en grov uppskattning.

Grundläggande fysikaliska samband

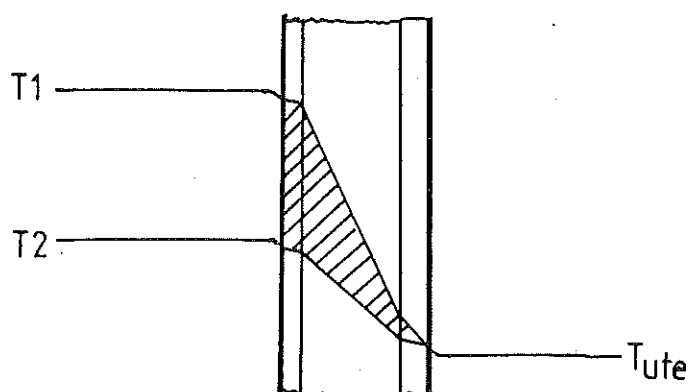


fig 3.2 Temperaturfördelning i en vägg vid stationaritet

Eftersom det är temperaturen inne i stallet som skall simuleras kan den exakta fördelningen i väggen att lämnas därhän. Om vi gör antagandet att utetemperaturen är konstant och vi betraktar två stationära tillstånd ser vi av figuren att skillnaden i energi mellan de två tillstånden är $(T_1 - T_2) \cdot m / 2 \cdot c_p$ (J).

m = byggnadsdelens massa (kg)

c_p = byggnadsdelens värmekapacitivitet (J/K kg)

då blir alltså byggnadens värmekapacitet

$$M = \sum_i m_i / 2 \cdot c_{p,i} + m_{\text{luft}} \cdot c_{p,\text{luft}}$$

Luftens värmekapacitet kan i allmänhet försummas vid sidan av byggnadens, men om den skall tagas med skall hela luftens massa användas.

3.4 Värmetransmission

Effekten som transporteras genom väggarna beräknas med k-värdes metoden. (se t ex Ulvås: Energi) Då blir uttrycket

$$P = k \cdot (T_{\text{ute}} - T_{\text{inne}}) \cdot A \quad (\text{W}) \quad (3.3)$$

k = effekt per ytenhet och temperaturskillnad ($\text{W/m}^2\text{K}$)

A = väggarea (m^2)

I denna formel tages ej hänsyn till solinstrålningen då den är försumbar. (vilket senare visas på exemplet Övedskloster)

Effekttransporten genom golvet kan även den beräknas med k-värdesmetoden, men enligt K. Sällvik och C. Nilsson (1977) kan den sättas till -10 W/m^2 , oberoende av stallets och markens temperatur.

Grundläggande fysikaliska samband

Effekttransporten genom taket blir mera komplicerad, då det inte går att försumma solinstrålningen.

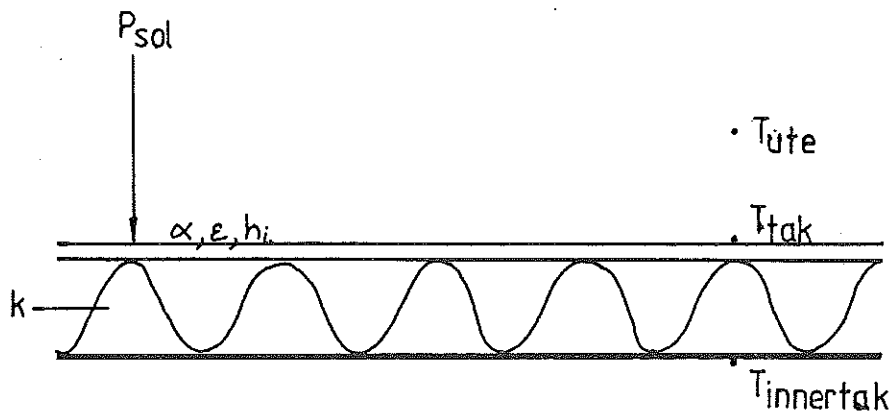


fig 3.3 Taket

Ett jämviktsförhållande mellan instrålad effekt och temperaturen på takets yttersida kan tecknas enl.

$$P_{\text{sol}} = \frac{1}{\alpha} \left[h_i \cdot (T_{\text{tak}} - T_{\text{ute}}) + \sigma \cdot \epsilon \cdot (T_{\text{tak}}^4 - T_{\text{ute}}^4) + k \cdot (T_{\text{tak}} - T_{\text{innertak}}) \right] \quad (3.4)$$

P_{sol} = infallande solinstrålning (W/m^2)

α = absorptionsfaktor

ϵ = emissionsfaktor

h_i = värmeövergångstalet ($\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$)

k = k -värdet för taket ($\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$)

T_{ute} = uteluftens temperatur (K)

T_{tak} = yttertaketets temperatur (K)

T_{innertak} = innertaketets temperatur (K)

σ = Stefan-Boltzmanns konst ($\text{W}/\text{m}^2 \text{K}^4$)

Vad som sökes i ekvation 3.4 är den del som beskriver effekttransporten genom taket. Alltså:

$$k \cdot (T_{\text{tak}} - T_{\text{innertak}})$$

För att förenkla lösningen av ekvation 3.4 kan den lämpligen linjäriseras, detta medför inte något större fel.

Linjärisera $P = \sigma \cdot \epsilon \cdot (T_{\text{tak}}^4 - T_{\text{ute}}^4)$ kring $T_{\text{tak}} = 300 \text{ K}$ och

Grundläggande fysikaliska samband

$$T_{ute} = 273 \text{ K.}$$

$$\Delta P \approx \frac{\partial P}{\partial T_{tak}} \cdot \Delta T_{tak} + \frac{\partial P}{\partial T_{ute}} \cdot \Delta T_{ute}$$

$$\sigma = 5.67 \cdot 10^8 \text{ W/m}^2 \text{K}^4$$

$\epsilon = 0.92$ för nästan alla byggnadsmaterial.

$$\frac{\partial P(300, 273)}{\partial T_{tak}} = 5.6$$

$$\frac{\partial P(300, 273)}{\partial T_{ute}} = -4.2$$

$$P(300, 273) = 133$$

$$P(T_{tak}, T_{ute}) \approx P(300, 273) + \Delta P$$

$$P \approx 5.6 \cdot T_{tak} - 4.2 \cdot T_{ute} - 400 \quad (3.5)$$

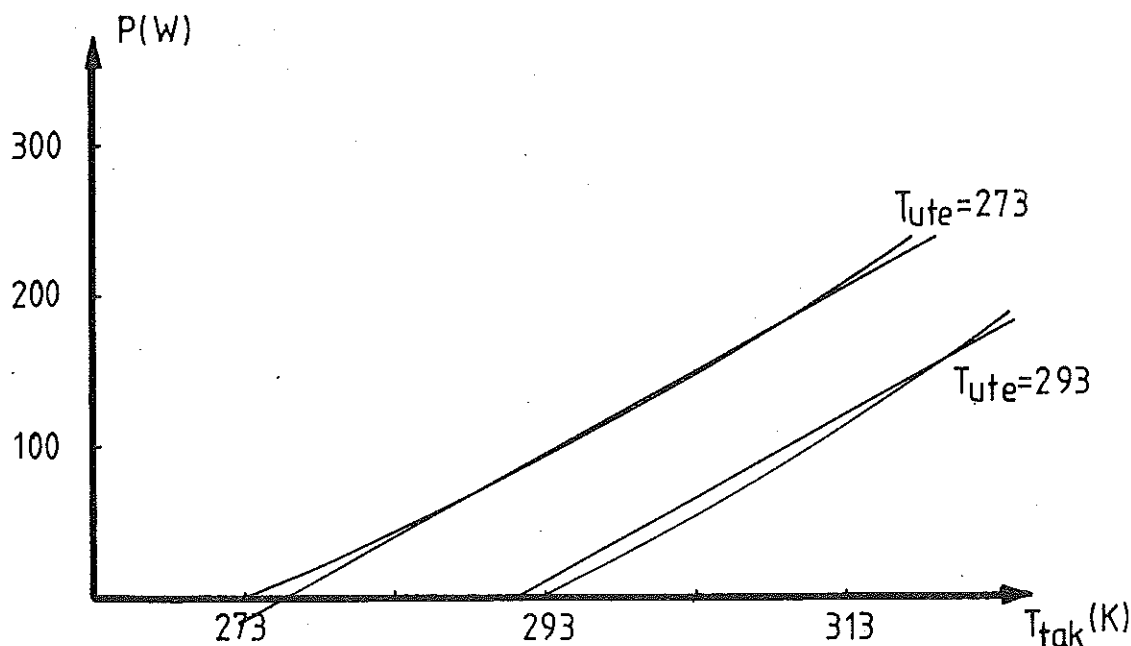


fig 3.4 linjäriseringens inverkan

Nu kan takets yttemperatur skrivas

$$T_{tak} = (P_{sol} \cdot \alpha + (4.2 + h_i) \cdot T_{ute} + k \cdot T_{innertak} + 400) / (5.6 + k + h_i) \quad (3.6)$$

och effekttransporten genom taket blir

$$P = k \cdot (T_{tak} - T_{innertak}) \cdot A \quad (3.7)$$

där A är takets area

Den instrålade effekten P_{sol} är den effekt som når taket.

Grundläggande fysikaliska samband

För att kunna bestämma denna måste man känna till solhöjden och därigenom solstrålningens infallsvinkel mot taket. En god approximation är att istället för att räkna med att solstrålningen når hela takets yta, endast räkna med att den når den horisontella projektionen av taket.

3.5 Kornas värmeavgivning

När det gäller tillförd effekt återstår nu djurens värmeavgivning. Det har gjorts många undersökningar av denna vilka har lett till olika formler och diagram. Allt från formler där man sätter in djurens ålder, vikt, mjölkproduktion, antal dagar från befruktning och omgivningstemperatur till enkla tabeller från BST (Byggstandardiseringen). Här har använts BST tabell SS 95 10 50 för att ta fram nedanstående figur där kornas värmeavgivning som funktion av vikten finns plottad vid två olika temperaturer (12°C och 22°C).

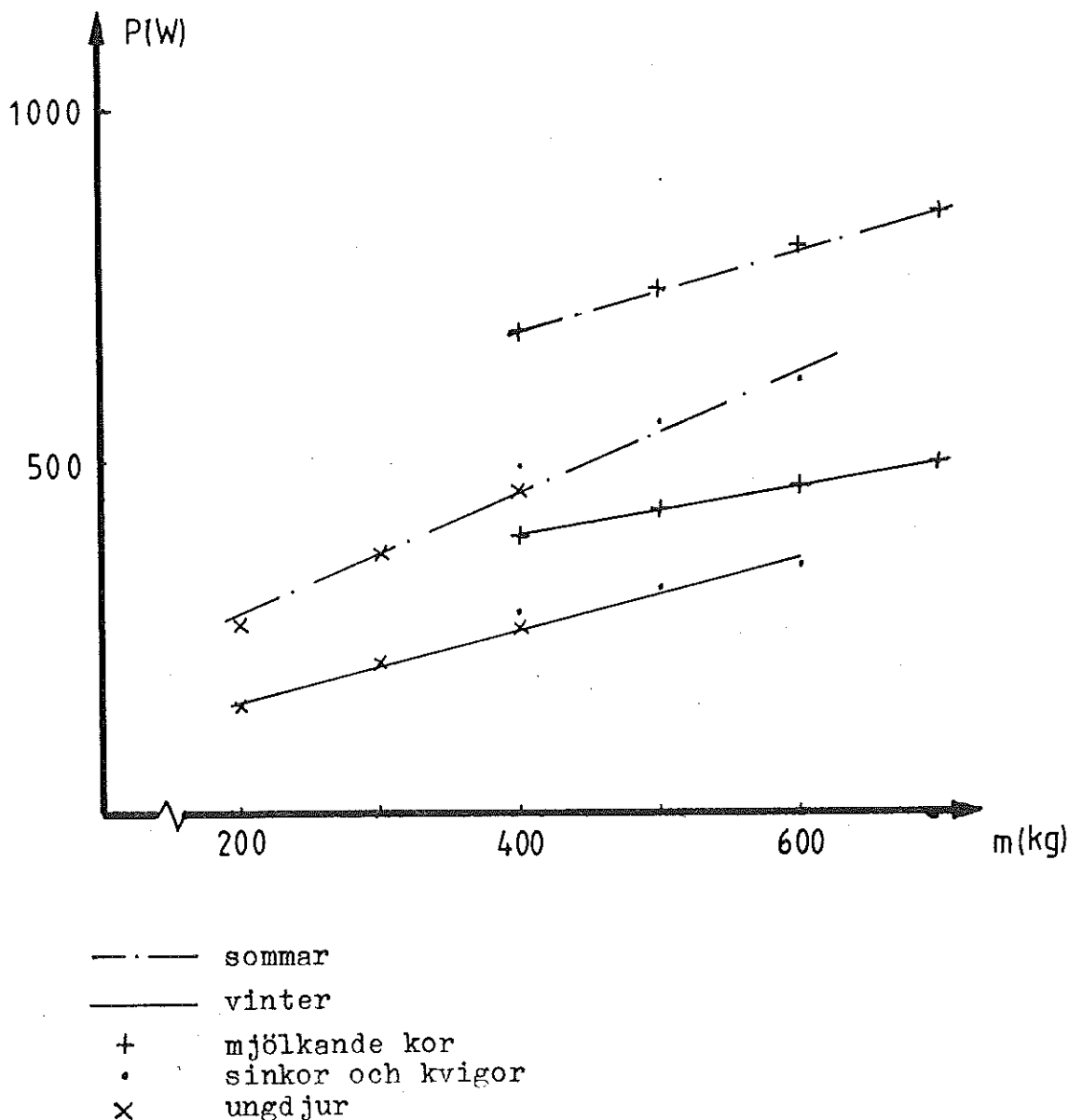


fig 3.5 kornas värmeavgivning

Grundläggande fysikaliska samband

Genom de nästan linjära samband man kan skönja om man delar upp korna i två typer nämligen mjölkande och icke mjölkande djur kan man ansätta en modell av typ

$$P = K_1 \cdot m + K_2 \quad \text{vid en konstant omgivningstemperatur.}$$

där m är kornas massa

För att få med temperaturberoendet användes J.S. Ström (1978) diagram över värmeavgivningen som funktion av temperaturen enligt figur 3.6.

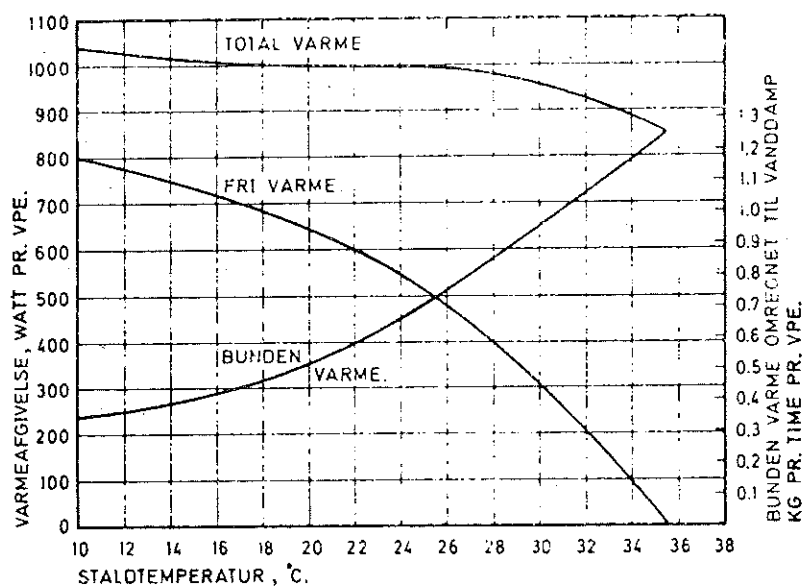


fig 3.6 Värme och fuktavgivning från djur
(J.S. Ström (1978))

Ur detta får man fram den slutgiltiga modellen för kornas värmeavgivning.

$$P = C_1 \cdot m \cdot T + C_2 \cdot m + C_3 \cdot T + C_4 \quad (3.8)$$

Där

P = kornas avgivna effekt (W/ko)

m = kornas massa (kg)

T = luftens temperatur i kornas omgivning (K)

$C_1 - C_4$ är konstanter

och med insatta värden på konstanterna

$$\text{mjölkande kor: } P = -0.025 \cdot m \cdot T + 7.705 \cdot m - 19 \cdot T + 5867 \text{ (W)} \quad (3.9)$$

$$\text{ej mjölkande kor: } P = -0.037 \cdot m \cdot T + 11.4 \cdot m - 4.7 \cdot T + 1450 \text{ (W)} \quad (3.10)$$

3.6 Fukttransport

I detta stycke behandlas de ekvationer som behövs för att bestämma fuktbalansen. Fuktbalansen i stallet, bestäms av att vattenånga tillföres stallet med tilluften och från korna, vattenångan bortföres med frånluften.

Grundläggande fysikaliska samband

Vattenmängden som tillföres stallet är

$$X = q_{in} \cdot x_{ute} \quad (3.11)$$

X = vattenmängd (g/s)

q_{in} = tilluftsflöde (m^3/s)

x_{ute} = vatteninnehåll i uteluften (g/m^3)

Vattenmängden som bortföres från stallet är

$$X = q_{ut} \cdot x_{inne} \quad (3.12)$$

med motsvarande beteckningar.

3.7 Kornas fuktavgivning

Kornas vattenavgivning som funktion av avgiven effekt och kornas omgivningstemperatur finns plottad i nedanstående figur. Dessa data är hämtade från BST (SS 95 10 50).

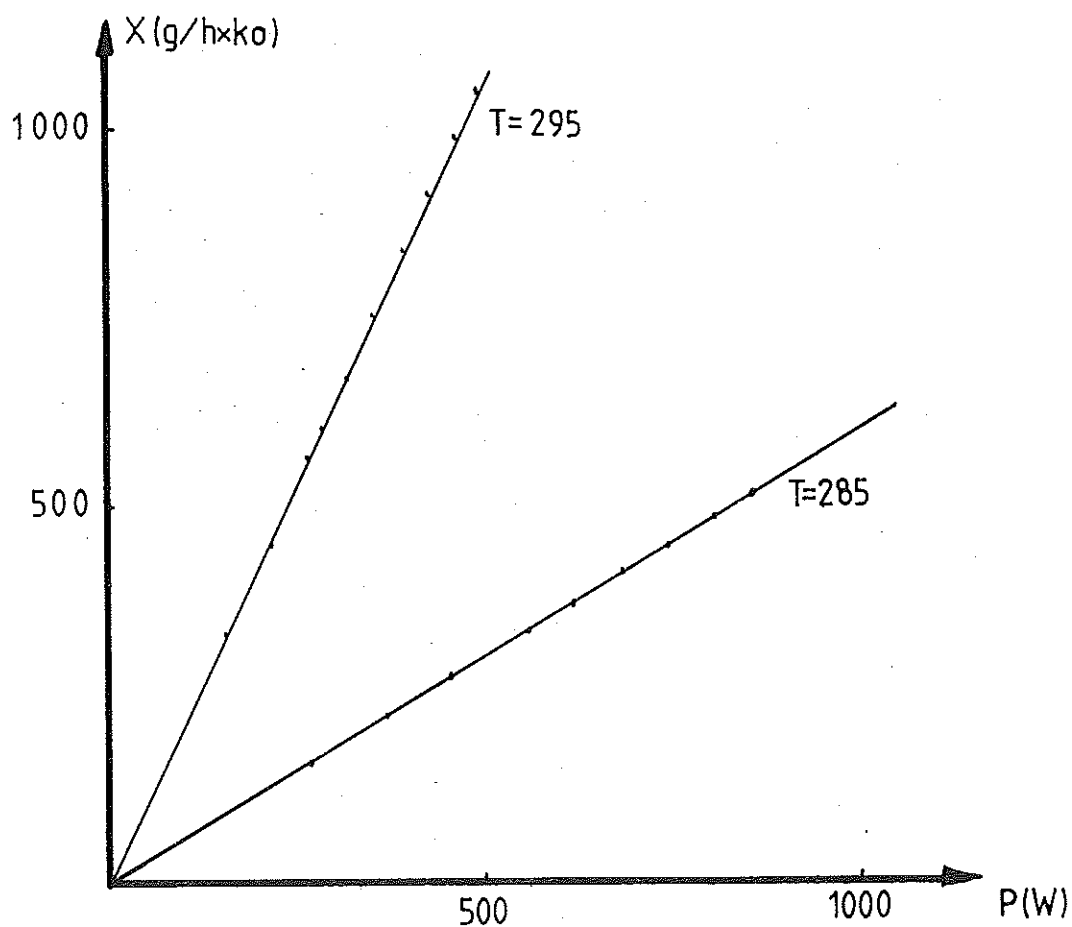


Fig 3.7 kornas fuktavgivning som fkt av effektavgivningen

Grundläggande fysikaliska samband

Med utgångspunkt från detta diagram ansättes följande formel:

$$x=f(T) \cdot P$$

x =kornas vattenavgivning (g/s)

P =kornas effektavgivning

$f(T)$ =en funktion av temperaturen

$f(T)$ ansättes till $f(T)=K_1 \cdot \exp(K_2 \cdot T+M)$ enl fig 3.6

Med insatta värden på konstanterna får man att

$$x=P/500 \cdot \exp(0.1566 \cdot T-38.92) \quad (3.13)$$

3.8 Luftens vatteninnehåll

Det maximala vatteninnehållet kan med en god approximation uttryckas som $\ln(x_{\max})=C \cdot 1/T+M$ enligt TEFYMA och med insatta värden från ångtabell blir $x_{\max}=\exp(20.2717-5103.7031/T)$ där T är lufttemperaturen. Det är nu inte luftens vatteninnehåll som bestämmer klimatet i stallet utan luftens relativa luftfuktighet. Denna är bestämd av kvoten mellan vattenångans partialtryck och vattenångans mättnadstryck eller x/x_{\max} där x är vatteninnehållet i luften och x_{\max} är maximalt vatteninnehåll i luften, vid den aktuella temperaturen. Luftens relativa fuktighet uttryckes då genom $RH=x/x_{\max} \cdot 100$ (%).

3.9 Ventilationsflödet

För ventilationsflödet i en byggnad med naturlig ventilation gäller enligt Svante Olofsson LBT följande uttryck

$$q=A_2 \cdot \left(\frac{2 \cdot g \cdot \Delta T}{T_{ute} \cdot \xi_2} \cdot \frac{H}{\left(1+T_{inne}/T_{ute} \cdot \xi_1/\xi_2 \cdot (A_2/A_1)^2 \right)} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.14)$$

q =ventilationsflödet (m^3/s)

A_1 =tillluftsarea (m^2)

A_2 =frånluftsarea (m^2)

g =tyngdaccelerationen

ΔT =temperaturdifferens inne ute (K)

T_{ute} =utetemp (K)

T_{inne} =innetemp (K)

ξ_1 =engångsmotstånd i tillluftsdon

ξ_2 =engångsmotstånd i frånluftsdon

H =höjdskillnad mellan till och frånluftsdon (m)

Grundläggande fysikaliska samband

Detta uttryck tar ej hänsyn till den störning som vinden utgör. Vindstörningen kan lämpligen tolkas så att vindens dynamiska tryck omvandlas till ett statiskt tryck enligt figur nedan

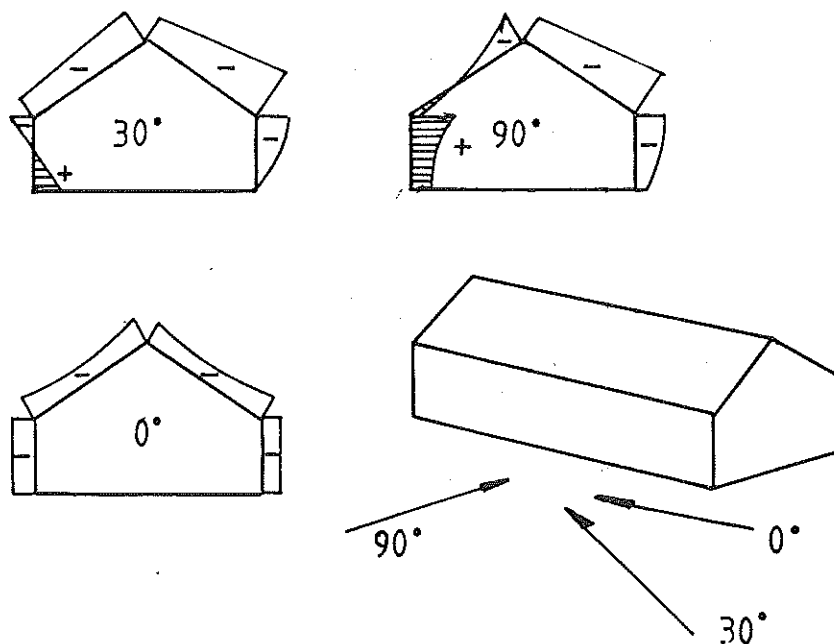


Fig 3.8 statiska trycket pga vinden vid olika vindriktningar enligt Renhard-Stein (Der Einfluss des Windes auf Gewächshaus luftung; Die Gartenbauwissenschaft nr 7 1960).

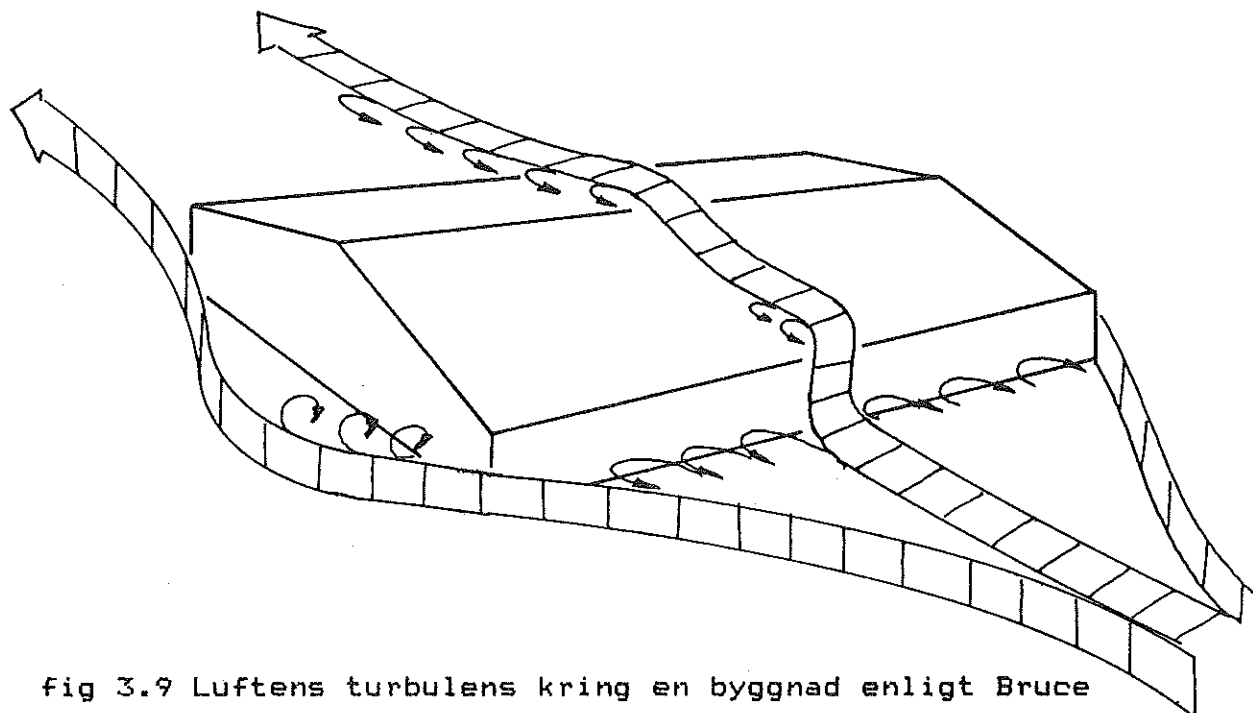


Fig 3.9 Luftens turbulens kring en byggnad enligt Bruce

Grundläggande fysikaliska samband

Genom till och frånluftdonens placering kommer det att råda en tryckskillnad över donen då det blåser. Denna tryckskillnad kommer att påverka ventilationen, så som en drivande kraft så att ekvationen för ventilationsmängden får följande utseende.

$$q = A_2 \cdot \left[\frac{2 \cdot g \cdot \Delta T \cdot H}{T_{\text{ute}} \cdot \xi_2} + \frac{2 \cdot \Delta p_{\text{vind}}}{\rho_2 \cdot \xi_2} \right] \cdot \frac{1}{\left[1 + T_{\text{inne}} / T_{\text{ute}} \cdot \xi_1 / \xi_2 \cdot (A_2 / A_1)^2 \right]} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.15)$$

Δp_{vind} = tryckskillnaden över till och frånluftsdon (N/m^2)

i övrigt samma beteckningar som i formel 3.14

Härledningen av denna formel (som är framtagen tillsammans med Gösta Gustavsson) finns i appendix 2.

3.10 Vindens inverkan på ventilationsflödet

För att använda denna formel måste vi alltså veta hur stor del av luftens dynamiska tryck som omvandlas till ett statiskt tryck. För att få en fingervisning om detta kan man gå till SBN 75 21:6 (Svensk Byggnorm) vindlaster på byggnader. Denna visar att cirka 1/4 av trycket omvandlas. Luftens dynamiska tryck uttryckes genom

$$p = \rho \cdot v^2 / 2 \quad (\text{N/m}^2)$$

vilket medför att

$$\Delta p_{\text{vind}} = \rho \cdot v^2 / 8 \quad (\text{N/m}^2)$$

ρ = luftens densitet (kg/m^3)

v = vindhastigheten (m/s)

I detta kapitel har alltså de formler som behövs för värme och fuktbalanserna tagits upp. Dessa balanser kommer att ställas upp i nästa kapitel. Det har visats sig att en del approximationer har behövts göras för att få fram dessa formler. Hur detta påverkar modellen kommer också att diskuteras i nästa kapitel.

Balansekvationer

4 BALANSEKVATIONER

I kapitel 3 framtogs formler som beskriver de fysikaliska förlopp som bestämmer klimatet i ett djurstall. I detta kapitel sammanställs dessa ekvationer med hjälp av enkla mass och energibalanser, men här uppstår problem genom att det inte föreligger perfekt blandning i stallet. Därför göres en diskretisering av klimatet i stallet, dvs det snittas i sin längsled och balansekvationerna för varje snitt uppställs. Därefter utföres ett resonemang över hur de olika snitten påverkar varandra. Detta är naturligtvis en osäker förenkling, därför avslutas kapitlet med en diskussion utom över modellen giltighet.

4.1 Balansekvationer

Det finns två mycket användbara balanser som man kan utnyttja till att sätta upp de dynamiska ekvationer som beskriver klimatet i stallet. Den ena balansen är energibalans, vilken utnyttjas för att beräkna temperaturen i stallet. Den andra är massbalans vilken utnyttjas för att beräkna den relativa luftfuktigheten i stallet. Energibalans innebär att summa energimängd in minus summa energimängd ut är lika med lagrad energi. Massbalans innebär, analogt med energibalans, att summa massa in minus summa massa ut är lika med lagrad massa.

För värmeenergin i stallet gäller alltså:

$$Q = \int (P_{in} - P_{ut}) dt \text{ eller } dT/dt = (P_{in} - P_{ut}) / M dt \quad (4.1)$$

Q = lagrad energi (Ws)

P_{in}, P_{ut} = tillförd resp bortförd effekt (W)

M = stallets värmekapacitet (W/K)

och för vattenmängden i stalluften gäller:

$$X \cdot V = \int (x_{in} - x_{ut}) dt \text{ eller } dX/dt = (x_{in} - x_{ut}) / V dt \quad (4.2)$$

X = vatteninnehåll per volymenhet i stallet (g/m^3)

x_{in}, x_{ut} = tillförd resp bortförd vattenmängd (g/s)

V = stallets volym (m^3)

Med hjälp av de ekvationer som togs fram i föregående kapitel kan nu energibalansen för stallet ställas upp.

$$P_{in} = P_{invent} + P_{sol} + P_{djur} \quad (4.3)$$

P_{invent} = tillförd effekt från tilluften (W)

P_{sol} = tillförd effekt från solinstrålningen (W)

P_{djur} = den av djuren avgivna effekten (W)

$$P_{ut} = P_{utvent} + P_{trans} \quad (4.4)$$

Balansekvationer

P_{utvent} = bortförd effekt med frånluften (W)

P_{trans} = bortförd effekt genom golv, väggar och tak (W)

Detta ger följande energibalans

$$dT/dt = (P_{\text{invent}} + P_{\text{sol}} + P_{\text{djur}} - P_{\text{utvent}} - P_{\text{trans}}) / M \quad (4.5)$$

4.2 Diskretisering av rummet, blandning

Om denna balans skall gälla för hela byggnaden fordras att det sker en omedelbar och perfekt blandning av luften inne i stallet. Genom mätningar vet vi att så ej är fallet, eftersom temperaturen varierar ganska kraftigt inne i stallet.

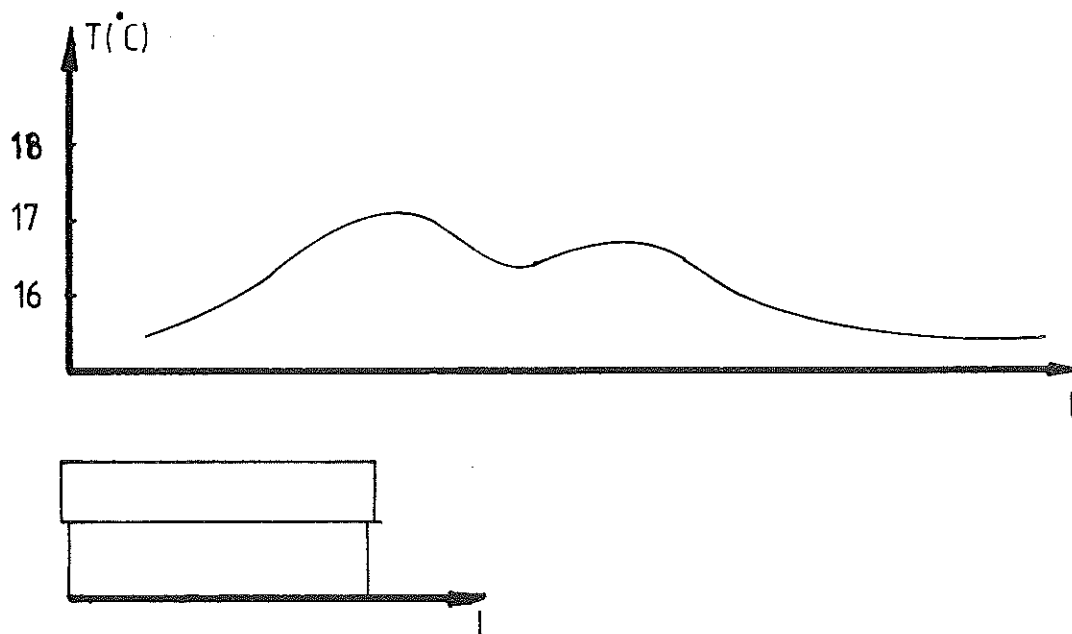


Fig 4.1 exempel på temperaturfördelning inne i ett stall

Ett sätt att komma runt detta är att göra en diskret modell av stallet och sätta upp balansekvationer för varje snitt.

Balanskvationer

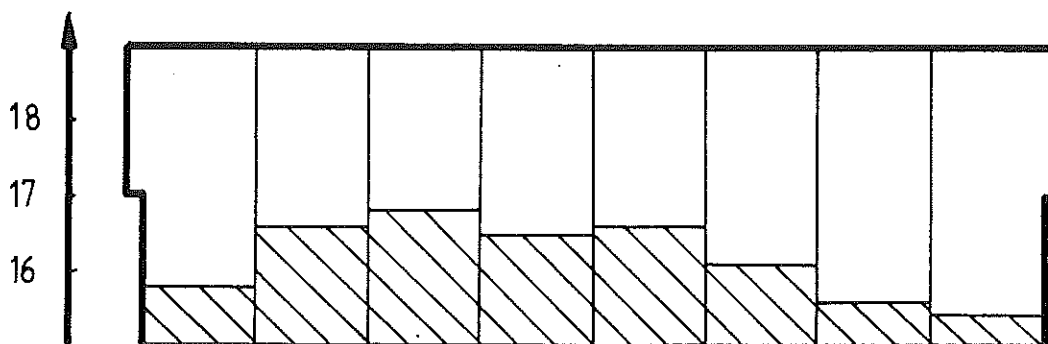


fig 4.2 en diskret modell av stallet med inlagd temperaturfördelning

Stallets bredd är liten i förhållande till längden, detta avspeglas tydligt i att temperaturvariationerna på bredden är små i jämförelse med dem på längden. Detta lockar till följande approximation: antag att det i varje snitt existerar perfekt blandning och att värme transporteras mellan snitten genom luftens rörelser. Då kan man sätta upp energibalansen för varje snitt och tillfoga termer för värmetransporten mellan snitten.

$$\dot{T} = \begin{pmatrix} A & B & 0 & 0 & 0 & \cdot & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ B & A & B & 0 & 0 & \cdot & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & B & A & B & 0 & \cdot & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & B & A & B & \cdot & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \ddot{0} & \ddot{0} & \ddot{0} & \ddot{0} & \ddot{0} & \cdot & \ddot{0} & \ddot{0} & \ddot{0} & \ddot{0} & \ddot{B} & \ddot{A} & \ddot{B} & \ddot{0} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdot & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & B & A & B \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdot & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & B & A \end{pmatrix}$$

Där A är energibalansen för snittet utan hänsyn till blandning av luften och B är den energi som intilliggande sektion delat med värmekapaciteten bidrager med. A bestäms ovan till $(P_{\text{invent}} - P_{\text{utvent}} + P_{\text{djur}} + P_{\text{sol}} - P_{\text{trans}})/M$. Nu måste vi

alltså specificera termen B. Kopplingarna mellan sektionerna antages att vara av två slag, dels ett nettoflöde av luft pga temperaturskillnaderna i stallet, dels pga luftens turbulenta rörelser.

Balansekvationer

4.3 Luftblandning

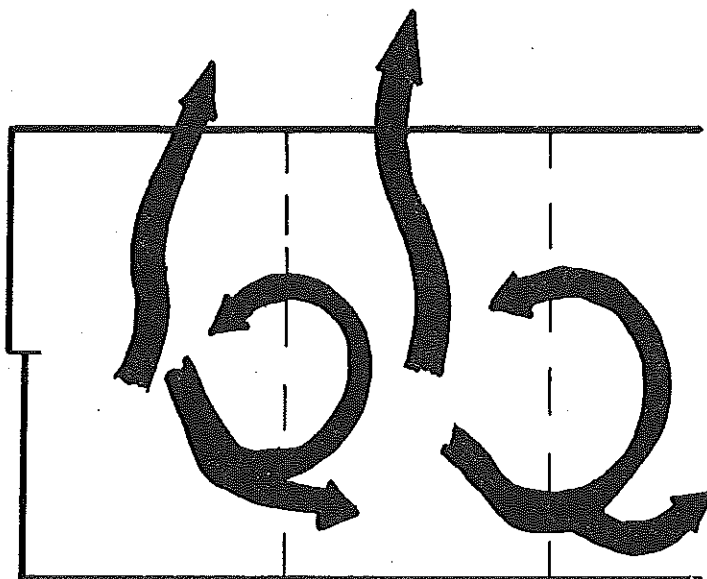


Fig 4.3 schematisk bild över luftströmmarna i stallet

Vi börjar med nettoflödet.

Betrakta N stycken sektioner. Då kommer trycket som funktion av höjden i de olika sektionerna att få följande principiella utseende om vi antar att $T_1 > T_2 > T_3$.

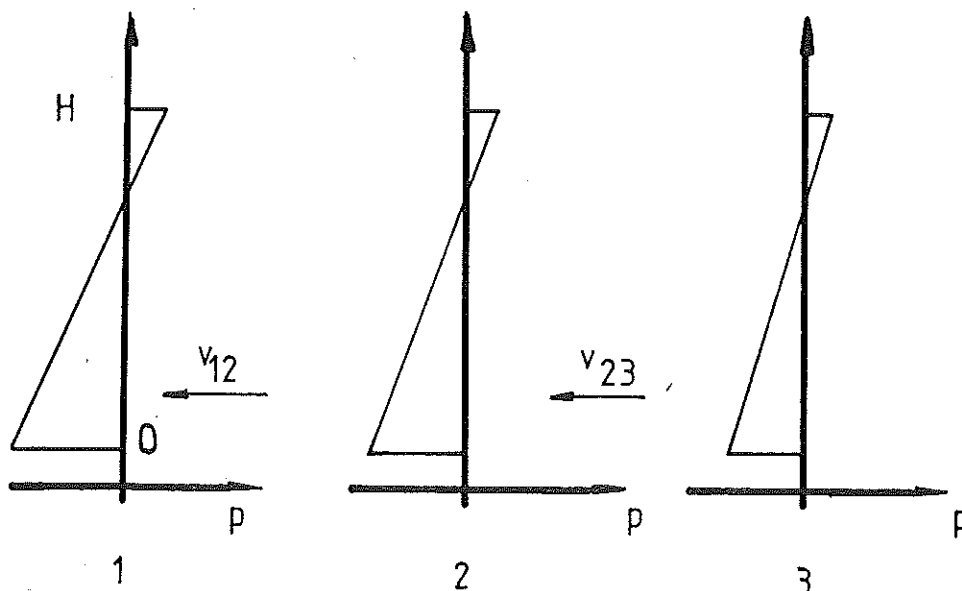


Fig 4.4 'tryckfördelningen'

Figuren visar tryckfördelningen i ett stall. Om vi börjar nerifrån, har vi först ett tryckfall i tillluftsdonen, vilket ger ett undertryck nere i byggnaden. Sedan stiger lufttrycket inne i byggnaden pga luftens uppvärmning. En bit upp i byggnaden har lufttrycket stigit till samma tryck som

Balanskvationer

utanför byggnaden. Läget för detta lufttryck kallas för den neutrala axeln. Ovanför den neutrala axeln kommer lufttrycket att stiga ytterligare. I frånluftsdonen kommer ytterligare ett tryckfall, som gör att lufttrycket sjunker till utomhustrycket. Eftersom frånluftsdonen har ett mindre motstånd än tilluftsdonen (större area) kommer den neutrala axeln att ligga högt upp i byggnaden. Lufttryckets variation i byggnaden kommer alltså att medföra en vertikal lufttransport. Eftersom det råder temperaturskillnader även i horisontalled kommer även en horisontell lufttransport att uppstå. Enligt figur 4.4 kommer en lägre temperatur att ge ett högre lufttryck nedanför den neutrala axeln och ett lägre lufttryck ovanför den neutrala axeln än en högre temperatur. Detta innebär att luften kommer att transporteras från kalla delar av byggnaden nedanför den neutrala axeln och i motsatt riktning ovanför den neutrala axeln.

Om vi nu antar att den neutrala axeln ligger högt upp i byggnaden, dvs att motståndstalet i frånluftsdonet är lågt, kommer kraften som accelererar luften ovanför den neutrala axeln att bli liten; dels pga liten tryckskillnad och dels pga liten area nära taknocken. Alltså försummas horisontell lufttransport ovanför den neutrala axeln.

Kraften som accelererar luften

$$F = \Delta p \cdot A$$

enl figuren ansättes Δp till $(p_1 - p_2)/2$,
om antagna ref riktningar på v användes

Denna kraft skall balanseras mot

$$F = m \cdot a = m \cdot dv/dt = A \cdot \Delta x \cdot \rho \cdot dv/dt \quad (4.6)$$

$$p_2 = p_2(0) - \rho_2(H) \cdot g \cdot H \quad p_1 = p_1(0) - \rho_1(H) \cdot g \cdot H$$

Antag att $\rho(0) = \rho(\text{ute})$ och att temperaturen är konstant i stallets höjdlöd. Vidare approximeras luftens densitet till $\rho = 353.2/T$ (kg/m^3).

detta ger

$$dv/dt = 1/(\Delta x \cdot \rho) \cdot g \cdot H/2 \cdot (353.2/T_1 - 353.2/T_2) - \mu \quad (4.7)$$

Termen μ (dämpning av luftrörelsen) är svår att bestämma då den kommer att innehålla luftens inre friktion, friktion mot stallväggarna och motstånd i till och frånluftsdon. Men resonemanget har lett fram till att vi kan ansätta nettoflödet mellan två sektioner till

$$q_{i+1} = \delta \cdot (T_i - T_{i+1})$$

där δ är någon konstant.

Balanskvationer

Eftersom luften blandas då den rör sig i stallet kan ett blandningsförhållande definieras som

$$\text{mix} = \frac{q_{\text{turb}}}{(q_{\text{turb}} + q_{\text{vent}})} \quad (4.8)$$

q_{turb} = det totala turbulenta luftflödet i snittet mellan

sektion i och i+1

q_{vent} = nettoventilationen, dvs flödet genom till och

frånluftsdonen

Då blir alltså

$$q_{\text{turb}} = q_{\text{vent}} / (1 - \text{mix}) \quad (4.9)$$

Effekten som då transporteras till ett snitt blir då

$$P_i = P_{\text{turb}} + P_{\text{netto}} = (q_{\text{turb}} + q_{\text{netto}}) (T_{i-1} + T_{i+1} - 2 \cdot T_i) \cdot \rho \cdot c_p \quad (4.10)$$

och B blir alltså

$$B = (q_{\text{turb}} + q_{\text{netto}}) \cdot (T_{i+1} - T_i) \cdot \rho \cdot c_p / M_i \quad (4.11)$$

4.4 Modellen

Efter tidigare resonemang kan alltså de kompletta modellen ställas upp för värmebalansen

$$\frac{dT^n}{dt} = (P_{\text{djur}}^n + P_{\text{vägg}}^n + P_{\text{vent}}^n + P_{\text{golv}}^n + P_{\text{tak}}^n + P_{\text{koppl}}^n) / M^n \quad (4.12)$$

$n = \text{index för nite sektionen}$

P_{djur} = djurens avgivna effekt i sektion n

$P_{\text{vägg}}$ = effekttillskott i väggen i sektion n

P_{vent} = effekttillskott genom ventilationen i sektion n

P_{golv} = effekttillskott i golvet i sektion n

P_{tak} = effekttillskott i taket i sektion n

P_{koppl} = effekttillskott från intilliggande sektioner i sektion n

M = värmekapaciteten i sektion n

observera att tillförd effekt är positiv.

för fuktbalansen gäller:

$$\frac{dX}{dt} = (x_{\text{djur}} + x_{\text{tilluft}} - x_{\text{frånluft}}) / V \quad (4.13)$$

X = vatteninnehållet i stallet (g/m^3)

x_{djur} = djurens vattenavgivning (g/s)

x_{tilluft} = med tilluften tillförd vattenmängd (g/s)

$x_{\text{frånluft}}$ = med frånluften bortförd vattenmängd (g/s)

Balansekvationer

Hur många sektioner som behövs för att inte minska noggrannheten alltför mycket är svårt att bestämma i förväg. Jag har valt åtta sektioner, men det skulle vara önskvärt att se om resultatet ändras om man minskar eller ökar det antalet.

För fuktbalansen sätter jag endast upp en balansekvation, eftersom för den gäller perfekt blandning. Detta då det vore orimligt att antaga att det skulle uppstå en anhopning av vattenmolekyler i någon del av stallet. Dessutom är vattenmolekylernas hastighet hög så även omedelbar blandning sker. Däremot varierar vattenångans mättnadstryck med temperaturen, varpå följer att de relativa luftfuktigheten ej är konstant.

Då skulle den relativa luftfuktigheten i stallet uttryckas med:

$$RH^n = X/X_{\max}^n \quad (4.14)$$

Men enligt S. Pedersen och F. Möller (1979) skall detta värde korrigeras med ett empiriskt samband enligt nedan.

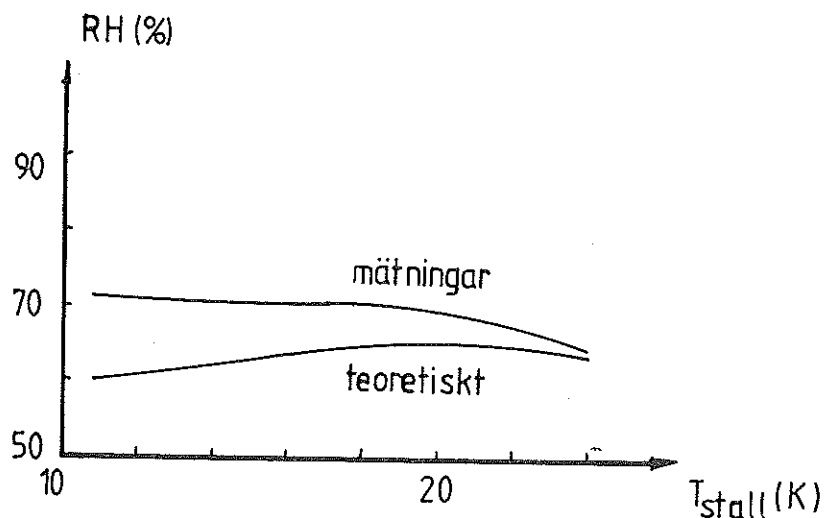


fig 4.5 luftfuktigheten i teori och praktik

Eller formulerat matematiskt:

$$K = 5.75 - 0.016 \cdot T_{in} \quad (4.15)$$

Då blir alltså:

$$RH^n = K \cdot X/X_{\max}^n \quad (4.16)$$

Balansekvationer

4.5 Modellens giltighet

Modellen är väl tillförlitlig om den användes på en stallbyggnad med lätta väggar, och har kor jämt fördelade inne i byggnaden. Dessutom förutsättes då att de tryck som vinden för orsakar runt byggnaden är väl kända.

En förenkling som kan medföra problem är om man har en byggnad med hög värmekapacitet, för då kan mycket väl följande temperaturfördelning uppstå.

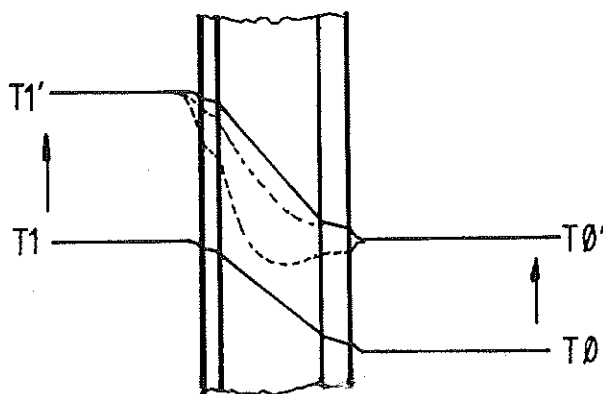


fig 4.6 temperaturfördelningen i väggen

Figuren visar en vägg under uppvärmning. Temperaturen inomhus stiger från T_1 till T_1' och utomhus från T_0 till T_0' . De heldragna linjerna visar temperaturfördelningen vid stationaritet. De streckade visar fördelningen innan stationaritet uppnåtts. Den enkla tidskonstant, som har förutsatts i modellen, innebär att effektflödet till väggen enbart skulle komma från T_1' . Figuren visar att så ej är fallet, utan att effekt tillföres väggen både från T_1' och T_0' . Emellertid är temperaturförändringarna utomhus långsamma, så felet blir ej alltför stort.

Ett annat problem uppstår då djurantalet varierar starkt i byggnaden. Då kommer kopplingsfaktorerna att spela en stor roll, eftersom effektutbytet då blir stort. Hur dessa kopplingar ser ut vet vi som sagt var mycket lite om utan här spelar känsla och erfarenhet stor roll för modellens noggrannhet.

Vindens påverkan är också en osäkerhetsfaktor. Framförallt vindtryckets fördelning och hur luftströmmarna inne i stallen påverkas av detta. Man vet t ex att en vind tvärs stallen kommer att förorsaka en motriktad luftrörelse inne i stallen.

Balansekvationer

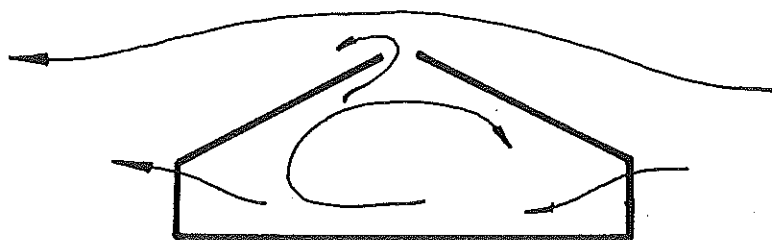


fig 4.7 luftrörelse i stallet med vind tvärs

Till denna luftrörelse toges inte hänsyn i programmet.

Det är alltså svårt att uttala sig om programmets giltighet på detta stadium; utan detta får anstå tills jämförelser kan göras med mätningar gjorda på Övedsklosters kostall.

Modellsimulering

5 MODELLSIMULERING

Den modell som nu har framtagits har blivit ganska komplex, och differentialekvationerna är varken linjära eller har konstanta koefficienter. Detta gör dem svåra, kanske omöjliga att lösa analytiskt. Man kan då gå fram på olika sätt. Ett sätt är att betrakta ekvationerna enbart kvalitativt och försöka dra slutsatser ur deras utseende. Ett annat sätt är att förenkla modellen, t ex genom att linjärisera den kring vissa punkter, och därefter räkna på denna förenklade modell. Ett tredje sätt är att simulera modellen antingen med analogmaskin eller med dator.

5.1 Motiv för simulering

Det nämndes i inledningen att det låg i direktiven att modellen av stallet skulle simuleras. Jag skall ändå lägga fram motiven för ett sådant val.

Ofta då man skall bygga modeller av en komplex verklighet stöter man på problemet att antalet fakta och frågor växer en över huvudet, man måste sovra. När man då har valt ut det man anser vara nödvändigt för modellens giltighet och satt upp de ekvationer man behöver, upptäcker man att även denna förenklade modell är alltför komplex, tidsvariant och olinjär för att ens analytiska matematik skall vara ett användbart redskap. Det finns då olika vägar att gå. En väg är att förenkla modellen ytterligare, och säga "Detta är i huvudsak ett system av ordning n och alla andra tillstånd kan försummas". En annan väg är att bara betrakta extremfall, t ex "På vintern är kretsförstärkningen så och så stor, vilket innebär att värmebalansen blir på detta vis, vilket innebär att regulatorn skall vara inställd så här".

För detta problem är ingen av dessa två vägar gångbara. Den första metoden faller på att stallet inte går att beskriva med en eller ett par överföringsfunktioner. Detta eftersom det är temperaturvariationerna i stallet som vi är intresserade av, och en sådan förenkling vore detsamma som att ansätta en modell med perfekt blandning. Dessutom är modellen alltför olinjär för att en linjär överföringsfunktion skall vara en god approximation. Ventilationen t ex är beroende av roten av skillnaden mellan ute- och innetemperaturerna. Dessutom kan vi i figuren nedan se hur komplext utbytet mellan de olika bitarna i modellen är.

Modellsimulering

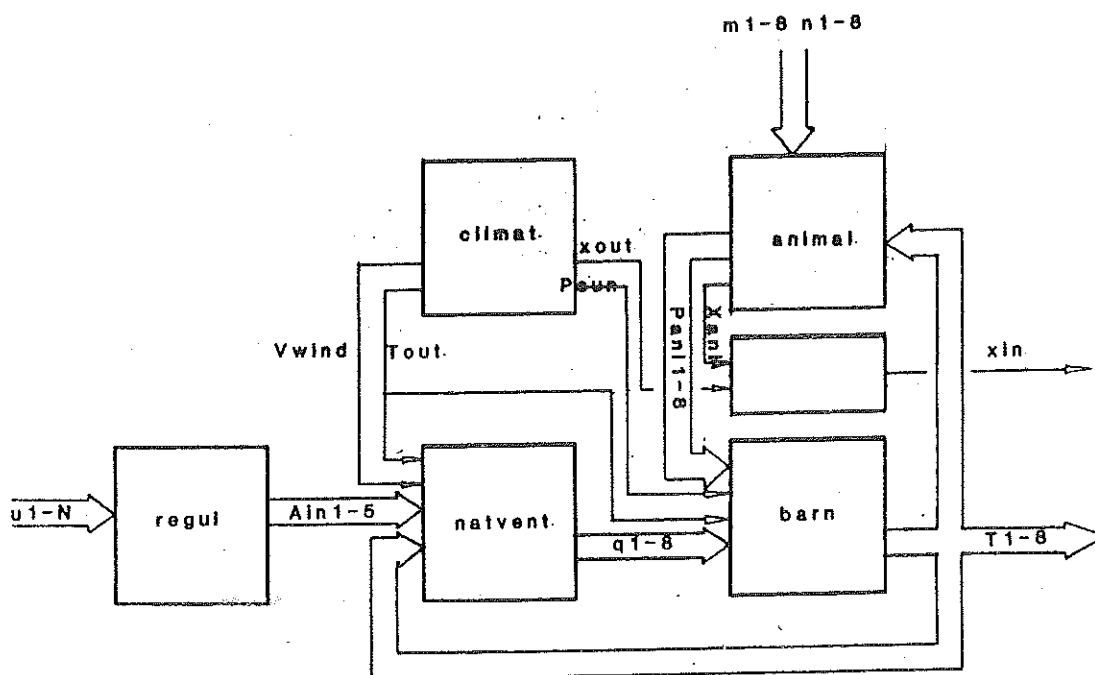


Fig 5.1 Det komplexa utbytet mellan delarna i modellen

Den andra metoden att förenkla behandlingen är inte heller bra. Visserligen kan man dimensionera anläggningen så att de båda extremfallen sommar och vinter klaras av. Detta gör dock att man inte vet hur stallet uppträder vid normal drift. Just denna aspekt har förbisetts vid projekteringen av många anläggningar. (Jenssen 1978)

Stallet som här har modellerats är trots sin komplexitet uppbyggt av många i och för sig enkla ekvationer, där svårigheterna ligger i att ekvationerna är kopplade. Detta är just styrkan med att simulera modellen. Genom att ställa upp alla samband och sedan definiera hur de är kopplade kan modellen utvärderas. Svagheten är att integrering och derivering måste göras numeriskt. De olika sätt som finns att simulera, är mekaniska analogmaskiner, elektriska analogmaskiner och digitala datorer. I det sistnämnda fallet antingen med vanliga programspråk, eller med språk speciellt framtagna för simulering. Speciella simulerings-språk är t ex Simula och Simnon. Simnon är ett språk som speciellt lämpar sig för att simulera dynamiska system, och där olika integrerings- och plottningsfunktioner finns implementerade i språket. Därför föll valet ganska enkelt på att använda just Simnon för att simulera stallet.

5.2 Beskrivning av systemprogrammet

Systemmodellen är i Simnon uppbyggd av fem stycken block som kallas "systems" i Simnon, enl nedanstående figur.

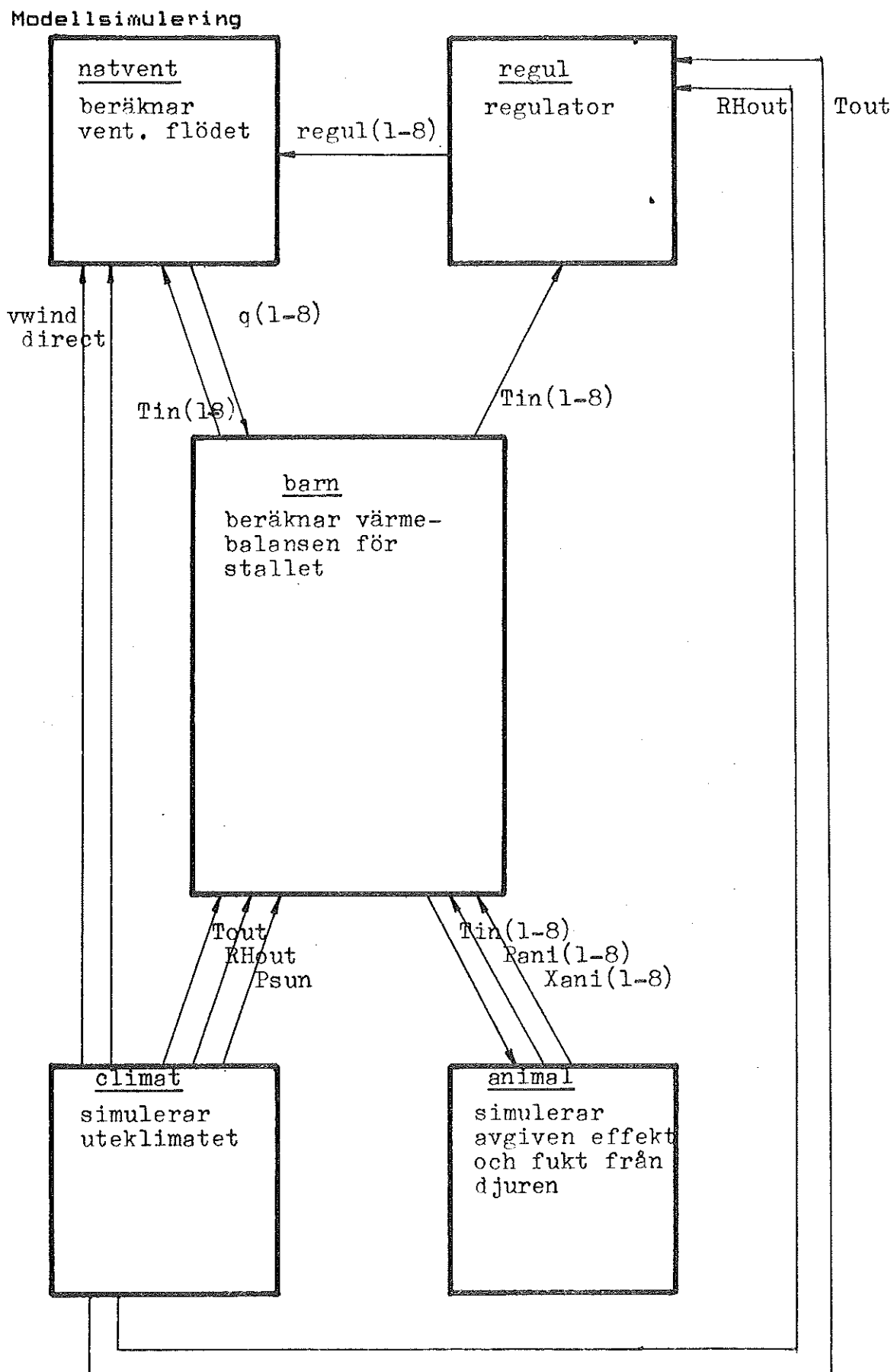


fig 5.2 Programmetts olika system

Modellsimulering

De olika systemen representerar skilda fysikaliska delar i den byggnad som programmet simulerar. Det finns ett system för värme och fuktbalanserna i stallet, ett som beskriver ventilationsflödet, ett för kornas värme- och fuktavgivning, ett för uteklimatet, ett för regulatorn och ett som knyter samman de olika systemen så att de samverkar enligt fig 5.2

Flera av de olika systemen finns dessutom i olika upplagor, så att man simulerar molnigt väder eller soligt väder eller helt konstant uteklimat, eller om man vill välja reglering av hela stallet med en regulator eller om stallet skall regleras i sektioner.

Begreppet system kan behöva en förklaring för dem som aldrig kommit i kontakt med Simnon tidigare. "System" kan liknas vid subrutiner och "connecting system" med huvudprogram. Vidare är de olika systemen lagda på var sin fil så att ett "connecting system" kan länkas samman med olika versioner av "systems" med samma namn. Den som önskar att köra programmet måste vara bekant med Simnon. Ett bra sätt att lära sig det är att läsa appendix C i K.J. Åström och B. Wittenmarks (1982) och köra de exempel som finns i texten. För en listning av programmet som simulerar stall hänvisas till appendix 3 i denna rapport. Programsystemet innehåller för närvarande följande system, på respektive programfiler.

<u>systemnamn</u>	<u>vad den innehåller</u>	<u>filnamn</u>
barn	själva byggnaden	barn.t
natvent	ventilationsflödet	vent.t
animal	kornas värme & fukt avg	animal.t
regul	en regulator	piareg1.t
regul	två regulatorer	piareg2.t
climat	tidskonstant klimat	noclimat.t
climat	molnigt klimat med dygnscyk.	cloudy.t
climat	soligt klimat med dygnscyk.	bright.t
connect	connecting system	connect.t

Systemet barn simulerar alltså själva byggnaden dess indata är ventilationsmängd, den inkommande luftens temperatur och vatteninnehåll, den från djuren avgivna effekten och mängden vatten samt instrålad soleffekt. Natvent beräknar ventilationsflödet i stallet med hjälp av data om ventilationsanläggningens utformning samt med regulatorns utsignal, vindhastigheten och temperaturen inne i stallet och utomhus. Regul finns i två upplagor, dels en upplaga med en styck temperaturregulator som styr samtliga spjäll lika och en variant med två stycken regulatorer som styr halva stallet var. Regulatorerna i de två systemen är PI-regulatorer med anti-reset windup och diverse framkopplings möjligheter. För en närmare beskrivning av regulatorerna hänvisas till kapitel 7. Climat finns i tre varianter, en som simulerar molnigt väder, en som simulerar soligt väder samt en där man själva bestämmer vädret. Det sistnämnda systemet som ligger på filen noclimat håller klimatet konstant under simuleringen, medan de två andra varianterna innehåller både

Modellsimulering

dygnscykel och årscykel.

Om programmet skall användas för att simulera andra djur än kor eller annan ventilation än självdrag kan programbiblioteket utökas efter behov om det går att använda sig av samma connecting system som tidigare, dvs att input- och outputsatserna kan vara desamma som i de system som finns.

Utvärdering av modellen

6. UTVÄRDERING AV MODELLEN

För att kunna bedömma modellens giltighet kom vi i kapitel 4 fram till att detta måste göras genom mätningar på ett verkligt objekt. I detta kapitel göres en sådan jämförelse med mätningar utförda på Övedskloster våren 1980. Kapitlet innehåller de byggnadsdata som programmet behöver för simuleringen, medan själva beräkningarna är utförda i appendix 1. Kapitlet redovisar de resultat som kom fram genom jämförelserna samt en bedömning över programmets noggrannhet.

6.1 Övedskloster

Övedskloster är en stallbyggnad för 200 kor utrustad med naturlig ventilation. Stallets yttermått framgår av figuren nedan.

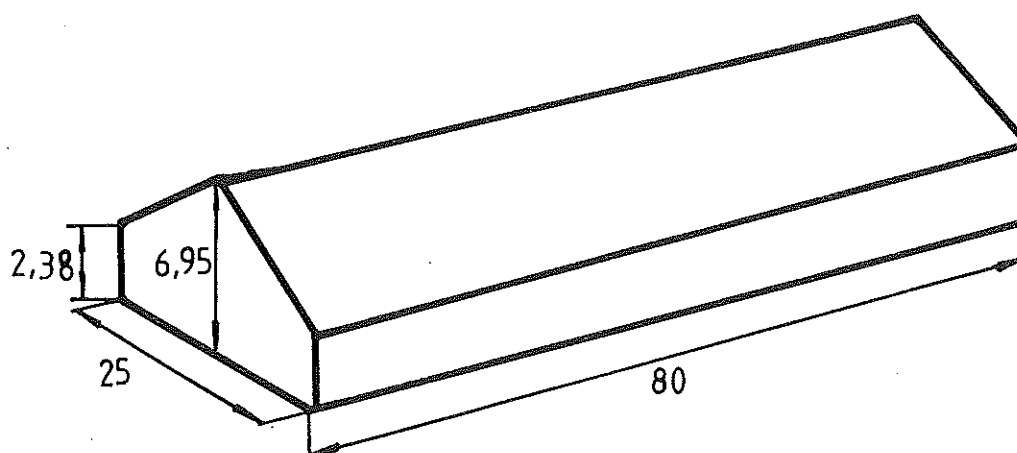


fig 6.1 Stallets yttermått

Stallet kan klassificeras som en stor stallbyggnad uppförd som en lätt byggnadskropp. Stallet har ett tak bestående av eternit, mineralull och plåt samt väggar uppförda i Leca-block.

Utvärdering av modellen

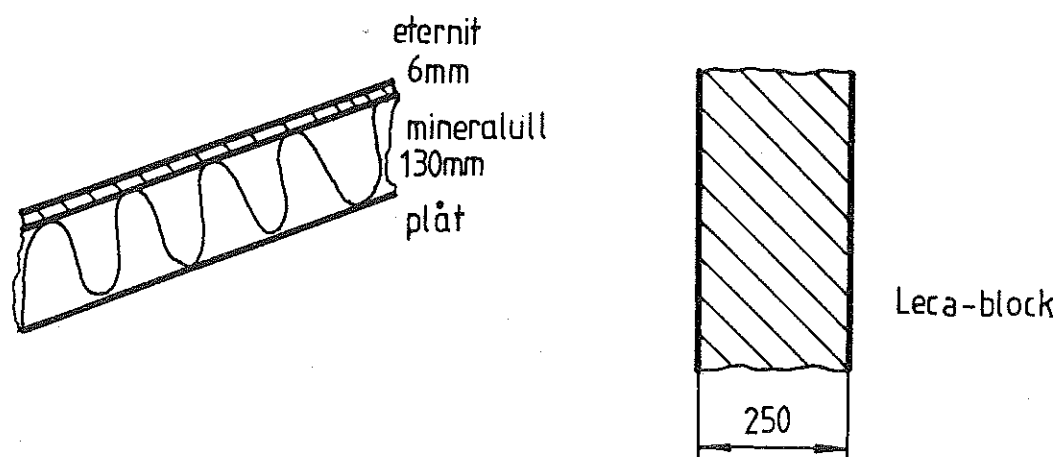


Fig 6.2 takets och väggarnas konstruktion

Portarna som finns i båda gavlarna är gjorda i plåt och har en area på ca 13 m^2 . Dessa data ger efter lite räkning följande värde att sätta in i programmet.

bredd=25 (m)

längd=80 (m)

höjd till takfot=2.38 (m)

höjd till taknock=6.95 (m)

port area= $12.96 \text{ (m}^2\text{)}$

takets k-värde= $0.35 \text{ (W/m}^2\text{ K)}$

väggarnas kvärde= $0.69 \text{ (W/m}^2\text{ K)}$

portarnas k-värde= $5.0 \text{ (W/m}^2\text{ K)}$

byggnadens värmekapacitet= $50 \cdot 10^6 \text{ (Ws/K)}$

takets absorptionsfaktor=0.8

takets värmeövergångstal=12 (W/mK)

höjdskillnad mellan till- och frånluftsdon=4.5 (m)

engångsmotstånd i tillluftsdon=1.3

engångsmotstånd i frånluftsdon=2.4

frånluftsdonets area= $18 \text{ (m}^2\text{)}$

minsta tillluftsarea= $0.5 \text{ (m}^2\text{)}$

största tillluftsarea= $4.5 \text{ (m}^2\text{)}$

Förutom dessa data tillkommer uppgift om antalet djur, samt hur dessa är fördelade i rummet. Vidare anges antalet mjölkande och icke mjölkande kor samt deras respektive medelvikt.

Utvärdering av modellen

Då stallet är ganska stort kommer de antagande som gjorts angående luftblandning i stallet att spela stor roll, så även det faktum att djuren är mycket ojämt fördelade.

6.2 Jämförelser

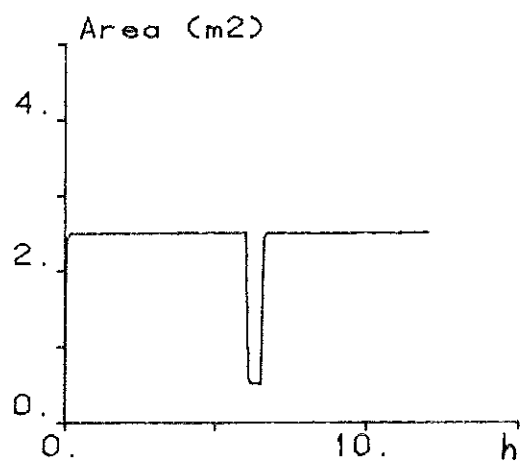
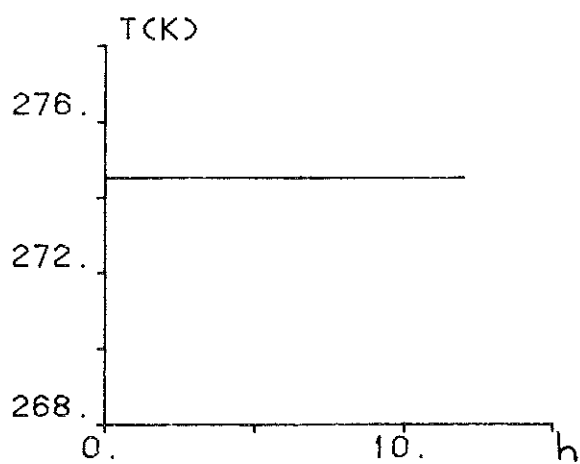
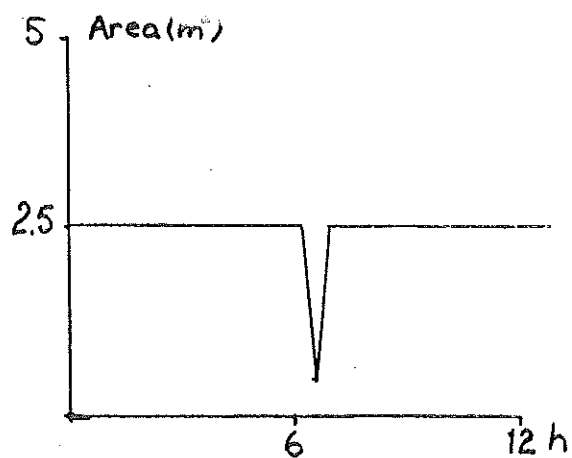
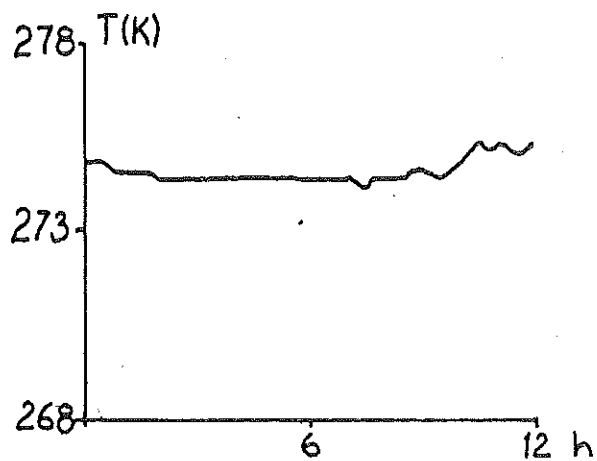
De mätningar som jag använder mig av gjordes på Övedskloster under våren 1980. Vädret var under mätperioden tämligen konstant med temperaturer kring 0°C och svaga vindar. Detta innebär att programmet bara kan bedömmas vid dessa förutsättningar, men det är detta klimat som är det vanligaste driftsfallet under året. Reglerutrustningen på Övedskloster består av en spjällmotor kopplad till tilluftsdonen. En temperatur mitt i stallet jämföres med en referenstemperatur och beroende på om temperaturen är lägre eller högre öppnas eller stänges tilluftsdonen tills referenstemperaturen har uppnåtts. Dessutom är ett dödband inlagt för att minska slitaget på spjällmotorn. Denna konstruktion innebär att reglerutrustningen är av integrerande typ. Enligt mätningarna visar sig regulatorinställningen ge dålig stabilitet av temperaturen.

På de följande sidorna presenteras jämförelser mellan mätningar och simuleringar, tre jämförelser göres. De mättillfälle som användes är 800409, 800412 och 800422. Varje jämförelsetillfälle består av åtta eller tio grafer på två sidor. Första sidan visar förutsättningarna, alltså utetemperatur och tilluftsarea, övre två diagramen är uppmätta värden och de motsvarande undre simulerade. Andra sidan visar resultatet, inomhustemperatur och relativ luftfuktighet, de övre diagramen visar uppmätta värden och de undre motsvarande simulerade. Om det finns två diagram med simulerade värden, så är de övre simuleringar utan vind, och de undre simuleringar med vind. Detta för att kunna bedömma om vindens inverkan simuleras riktigt. 800412 var det vindstilla, därför saknas simulering med vind den datumen. För inomhustemperaturen har tre kurvor lagts in i samma diagram. För de uppmätta värdena representeras temperaturen i stallets mitt av heldragen linje och siffran "2", gaveltemperaturerna av streckade linjer och siffrorna "1" och "3". Motsvarande sifferbeteckningar gäller även för de simulerade värdena.

Under jämförelserna har antagits att det finns 200 kor i stallet. De mätresultat som har använts har tagits från de tillfällen då utsignalen från regulatorn har varit stabil. Vid simuleringarna har ingen regulator använts utan en fast tilluftsarea har simulerats. Ventilationsflödet presenteras endast med ett numeriskt värde för hela simuleringsperioden, och någon jämförelse göres inte. Detta eftersom det saknas tillförlitliga mätningar på det. Nämnas kan att enligt A. Johnson ingenjörbyrå, som har behandlat mätvärdena, skulle ventilationsflödet ligga på ca $0.1-0.2 \text{ m}^3/\text{s}$ medan det enligt BST krävs en minimiventilation på $3.3 \text{ m}^3/\text{s}$ i detta stall.

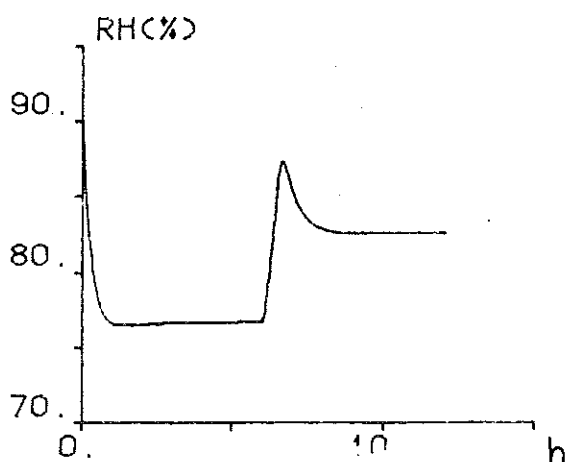
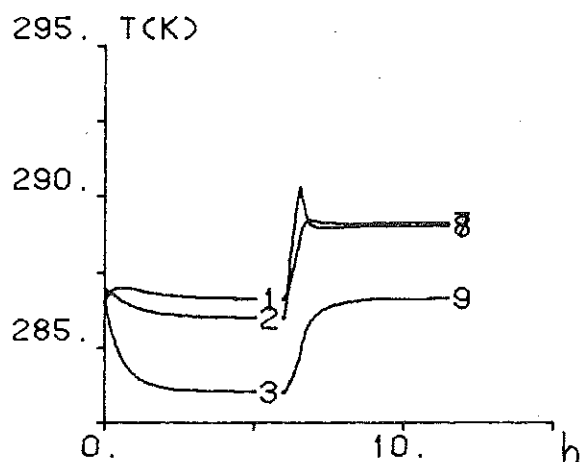
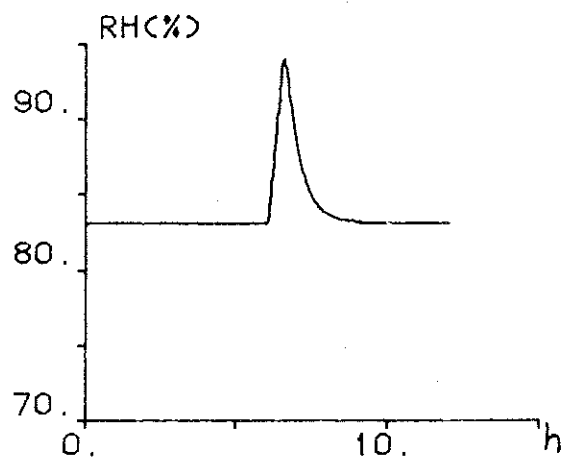
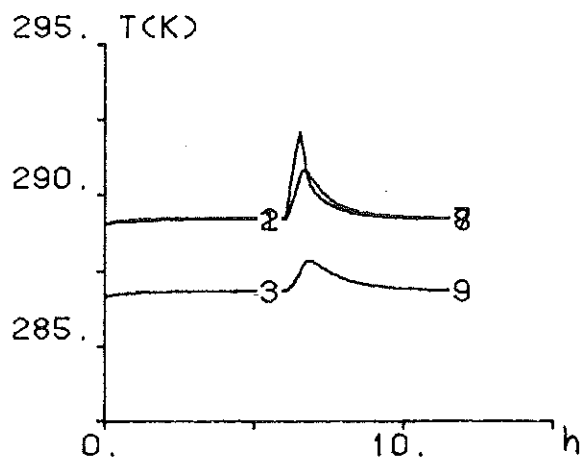
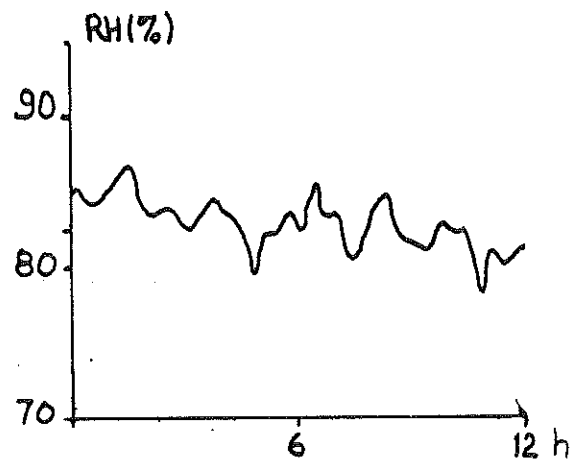
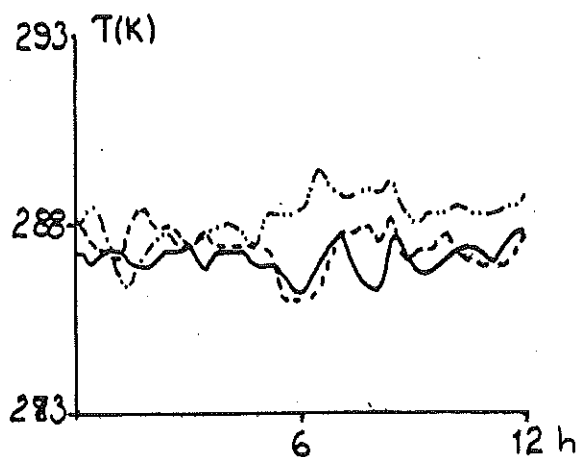
Utvärdering av modellen

Överst : utetemperatur och tilluftsarea enl mätningar
underst: utetemperatur och tilluftsarea enl simuleringar



Utvärdering av modellen

överst : innetemp och fuktighet enl mätningar
 mitten : innetemp och fuktighet enl simulering (utan vind)
 underst : innetemp och fuktighet enl simulering (med vind)



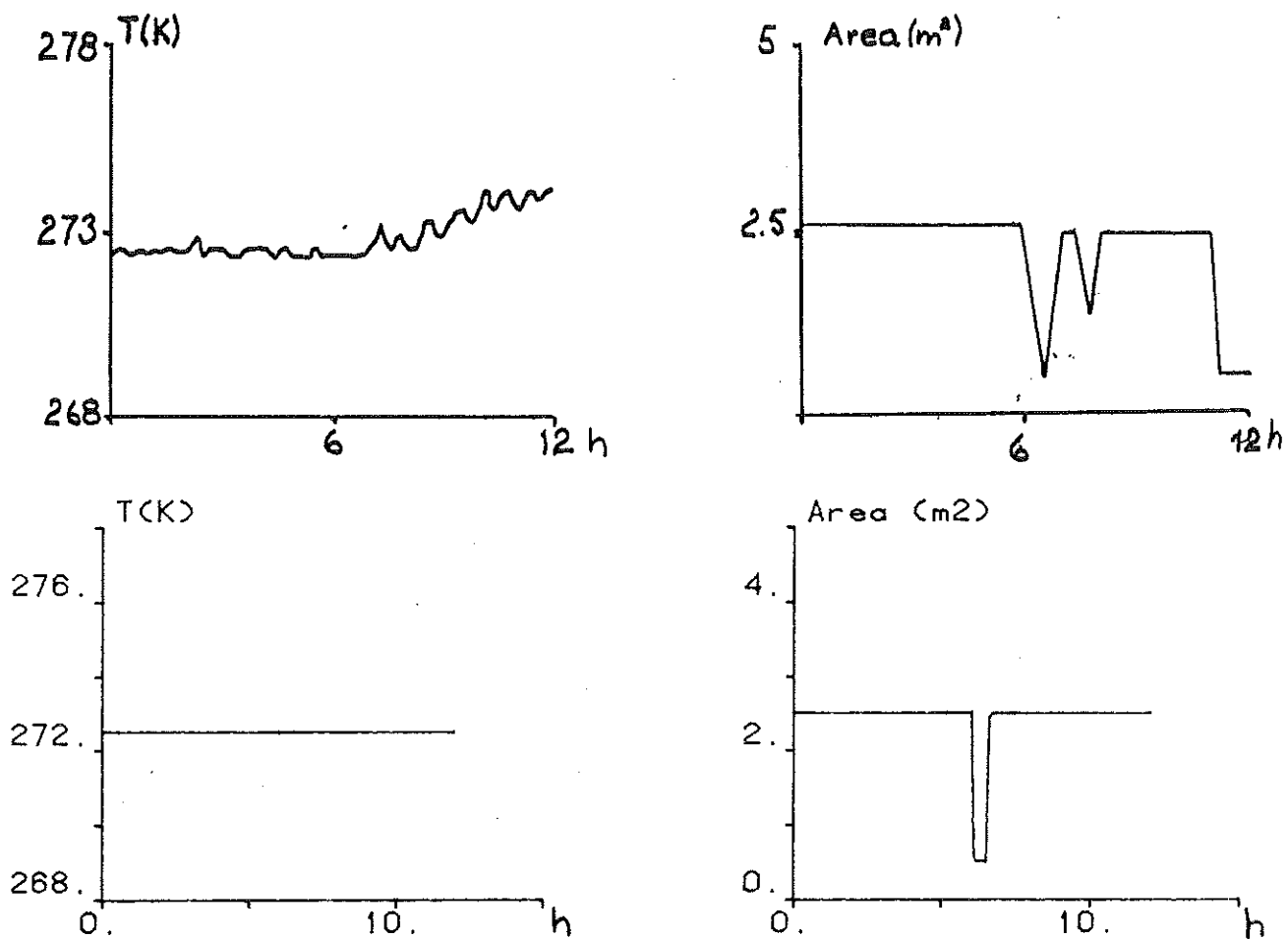
datum:800409

vindhastighet:0 m/s \Rightarrow ventilationsflöde: 6.0 m /s

vindhastighet:1 m/s \Rightarrow ventilationsflöde: 6.2 m /s

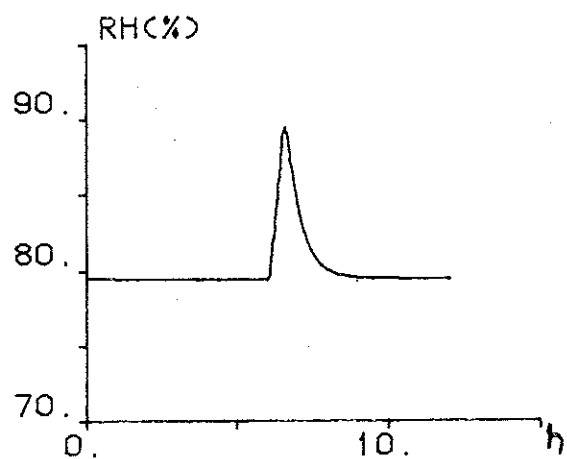
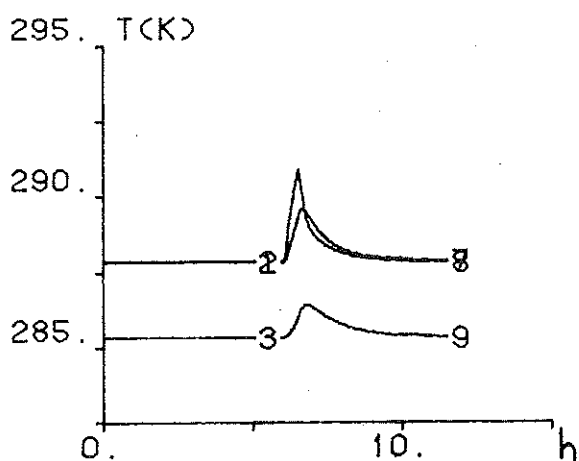
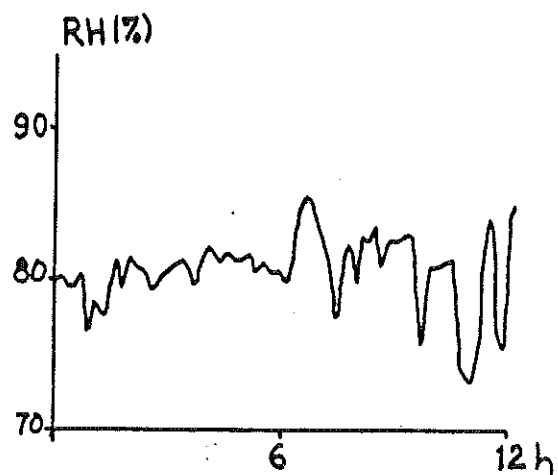
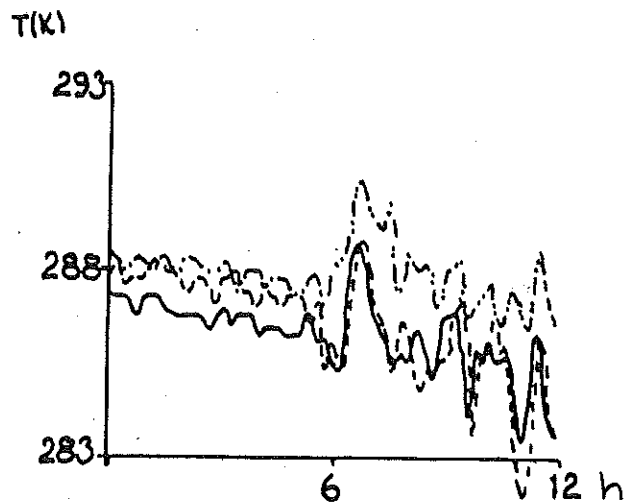
Utvärdering av modellen

överst: utetemperatur och tilluftsarea enl mätningar
underst: utetemperatur och tilluftsarea enl simuleringar



Utvärdering av modellen

överst: innetemp och fuktighet enl mätningar
 underst: innetemp och fuktighet enl simulering (utan vind)



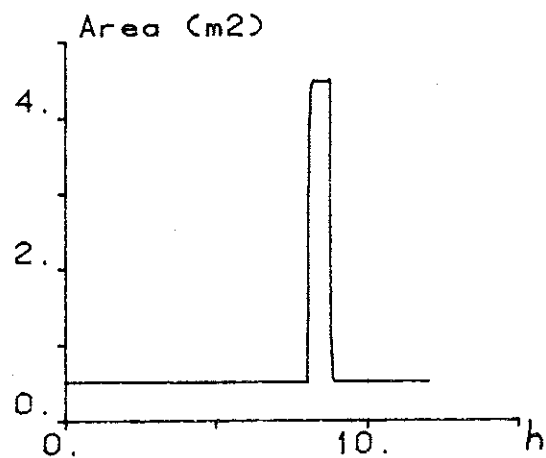
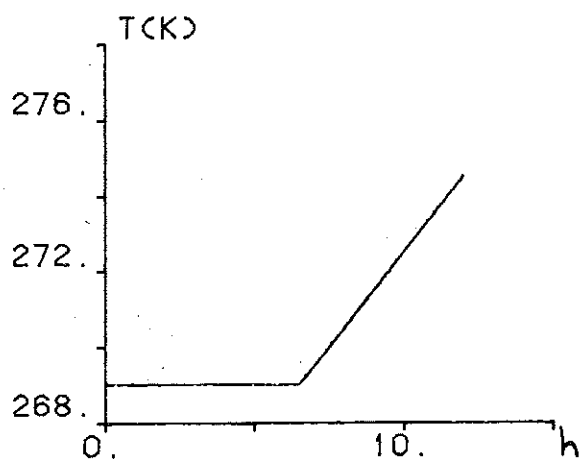
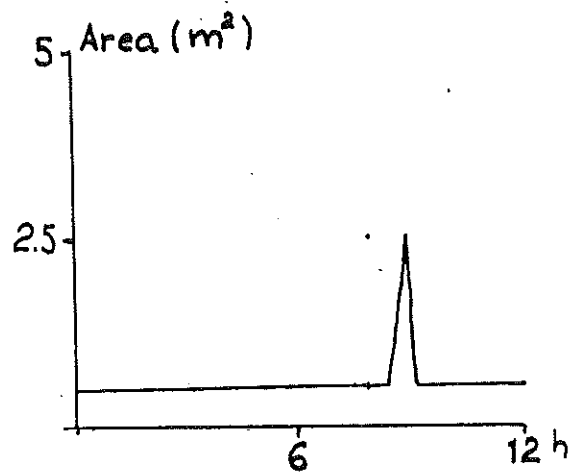
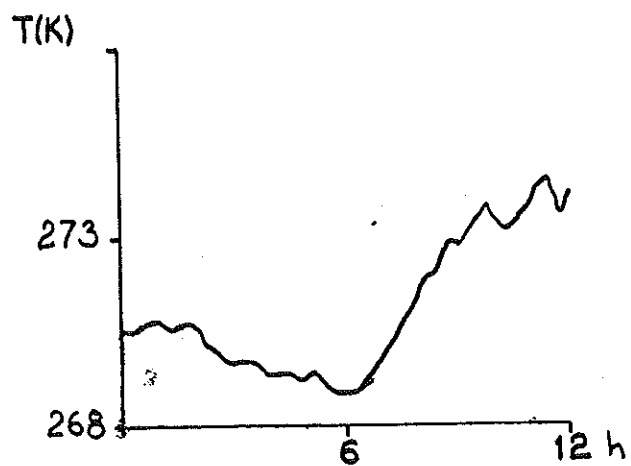
datum:800412

vindhastighet:0 m/s ⇒ ventilationsflöde: 6.2 m /s

Utvärdering av modellen

överst: utetemperatur och tilluftsarea enl mätningar

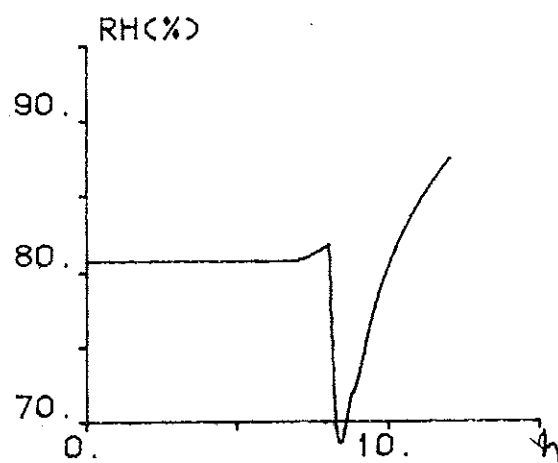
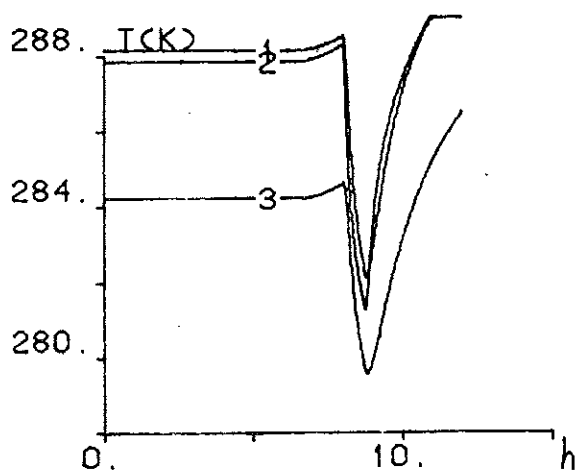
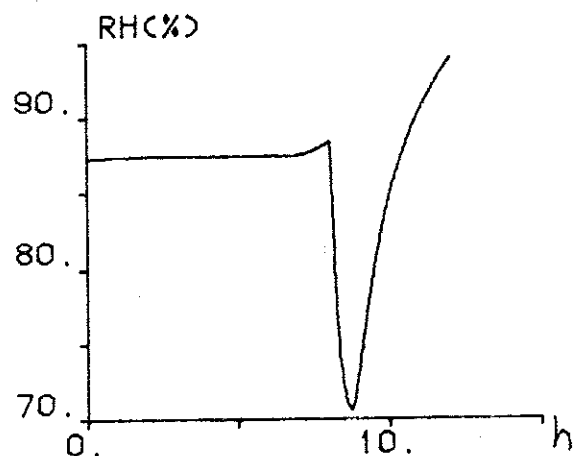
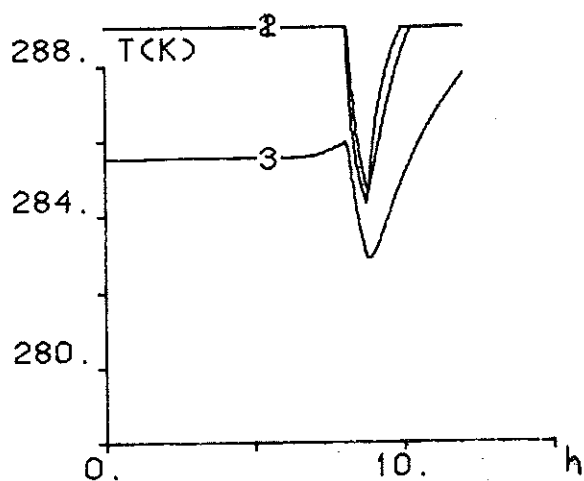
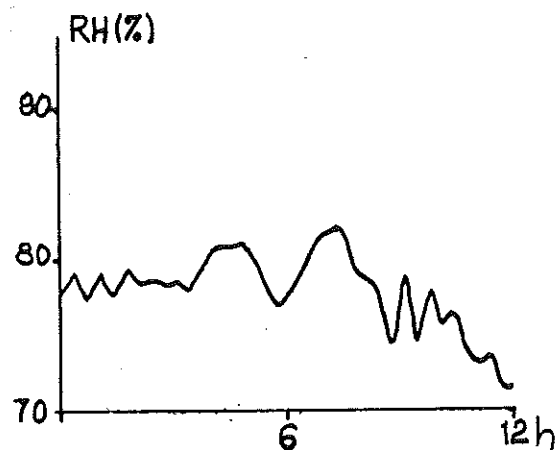
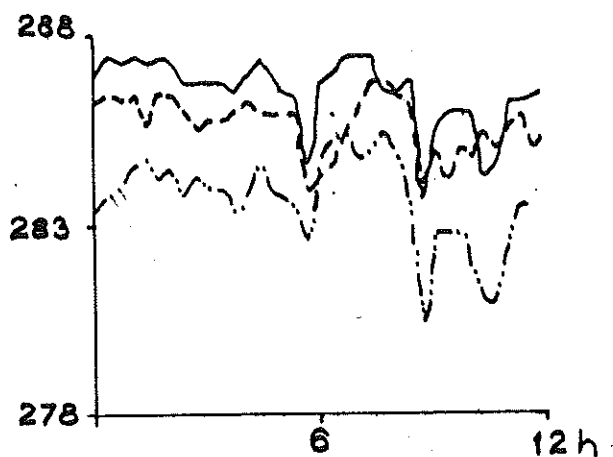
underst: utetemperatur och tilluftsarea enl simuleringar



Utvärdering av modellen

överst : innetemp och fuktighet enl mätningar
 mitten : innetemp och fuktighet enl simulering (utan vind)
 underst: innetemp och fuktighet enl simulering (med vind)

T(K)



datum:800422

vindhastighet:0 m/s → ventilationsflöde: 4.2 m /s

vindhastighet:3 m/s → ventilationsflöde: 4.8 m /s

Utvärdering av modellen

För att verifiera påståendet i 4.5 om att solinstrålningen på väggarna är av mindre betydelse har följande simulering gjorts med en instrålad effekt av 500 resp 200 W/m² men i övrigt samma klimatdata.

soleffekt : 200 W/m²
 vind : 0 m/s
 utetemperatur : 0 °C
 innetemperatur : 16.1 °C
 tilluftsarea : 2.5 m²
 frånluftsarea : 18 m²
 RH inomhus : 99 %
 ventilationsflöde : 5 m³/s

soleffekt : 500 W/m²
 vind : 0 m/s
 utetemperatur : 0 °C
 innetemperatur : 16.7 °C
 tilluftsarea : 2.5 m²
 frånluftsarea : 18 m²
 RH inomhus : 97 %
 ventilationsflöde : 5 m³/s

Mätningarna och simuleringarna visar, i statistiskt hänseende, en god överensstämmelse, om man gör jämförelser innan kl 6 på morgonen. Efter klockan 6 kommer det in obekanta störningar, eftersom morgonrutinerna då börjar. Om vi exempelvis studerar mätningarna 800412 kan vi se att utetemperaturen stiger mellan klockan 7 och 12, trots detta sjunker temperaturen inne i stallet. En rimlig förklaring kan vara att portarna har stått öppna. En liknande tendens står att finna i mätningarna 800422. Därför bör bara jämförelser göras mellan värden innan klockan 6 på morgonen.

Vid simuleringarna, med vind, har vinden simulerats som om den blåste med konstant hastighet, och ändringarna i vindhastighet gjordes stegvis. Enligt mätningarna varierar vindhastigheten ganska mycket och med en relativt hög frekvens. En variation på 1-3 m/s under en timme är inte ovanligt. Denna variation i vindhastigheten kan vara förklaringen till "bruset" som finns överlagrat på inomhustemperaturen.

Utvärdering av modellen

Vindens inverkan på den statiska temperaturen kan antagas vara relativt riktigt simulerad. Om vi studerar mätningarna gjorda 800412, då det var vindstilla, ser vi att de simulerade temperaturerna ligger något under de uppmätta, samt att de har en något större spridning mellan gavlar och mitt, än de uppmätta. Vid mättillfället 800422 ser vi att simuleringar utan vind ger alltför hög temperatur inne i stallet. Mättillfället 800409 är här ett problem, eftersom simuleringarna visar bättre överensstämmelse om det inte togs hänsyn till vinden. Dock blir skillnaderna små. Samma tendenser som när det gäller temperaturen står att finna i värdena på den relativa fuktigheten. Simuleringar med vind ger en bättre överensstämmelse med mätningarna än utan.

När det slutligen gäller jämförelsen mellan Övedsklosters dynamik och den simulerade byggnadens dynamik, är jämförelser nästan omöjliga att göra. Detta pga de okända störningar som tidigare har nämnts. Det enda som kan sägas är att byggnaden och modellen ser ut att vara ungefär lika snabba när det gäller temperaturen, medan byggnaden har en betydligt långsammare dynamik när det gäller luftfuktigheten. En förklaring till detta kan vara att byggnaden och dess innehåll absorberar ansevärliga mängder vatten, vilket det inte togs hänsyn till i modellen.

Sammanfattningsvis kan alltså sägas att modellen och mätningarna visar en god överensstämmelse. Alla simulerade värden ligger nära de uppmätta, med undantag av dynamiken i luftens fuktighet. Simuleringsprogrammet kan därför bli en god vägledning för dimensionering av naturlig ventilation i djurstallar.

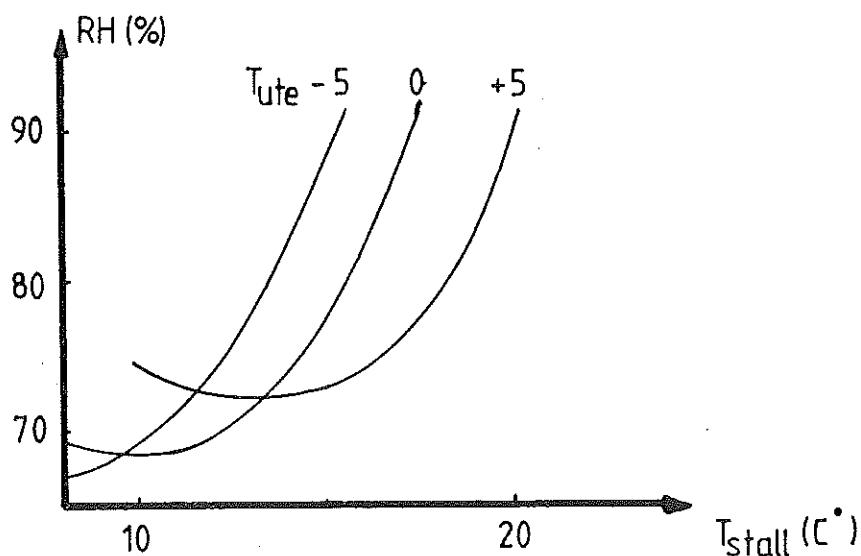
Reglerprinciper

7. REGLERPRINCIPER

I detta kapitel behandlas hur modellen kan regleras dels med hänsyn till luftfuktigheten och dels med hänsyn till temperaturen. Strukturen på de olika regulatorerna kommer att diskuteras. Kapitlet innehåller även programrealiseringar av de två regulatorerna, skrivna i Simnon, som enkelt kan överföras till önskat programspråk. Kapitlet avslutas med en motivation av valet att använda en temperaturregulator.

7.1 Strukturen av en fuktighetsregulator

Trots att den relativa luftfuktigheten är en viktig parameter att reglera, är det inte vanligt att sådana regulatorer användes. Orsaken till detta är att den relativa luftfuktigheten beror på ett komplext sätt av både temperaturerna inomhus och utomhus, av ventilationsflödet, och luftfuktigheten utomhus. Dessutom är den beroende av hur väl byggnaden är isolerad och djurens värme- och fuktavgivning.



golvarea : 400 m²

k-värde : 1 W/m²*K

antal kor : 60 st

vikt : 550 kg

mjölkprod/kapita : 20 kg

fig 7.1 exempel på luftfuktighetens beroende

(S. Pedersen J.S. Ström 1977)

Av figuren kan vi se att med ökad ventilation, och därmed sänkt stalltemperatur, kommer luftfuktigheten att sjunka ner till en viss nivå varefter den kommer att stiga igen. Var detta minima ligger är beroende av alla de faktorer som tidigare nämnts. Detta förlopp beror av att vattenmängden

Reglerprinciper

som luften kan innehålla är beroende av temperaturen exponentiellt, men samtidigt är vatteninnehållet och temperaturen beroende på ventilationen.

Detta komplexa uppträdande gör att det krävs en optimalsökande regulator för att reglera luftfuktigheten.

Principen för en optimalsökande regulator är att fasläget mellan insignal och utsignal kommer att skifta 180° beroende av var på processens parameterkurva man befinner sig.

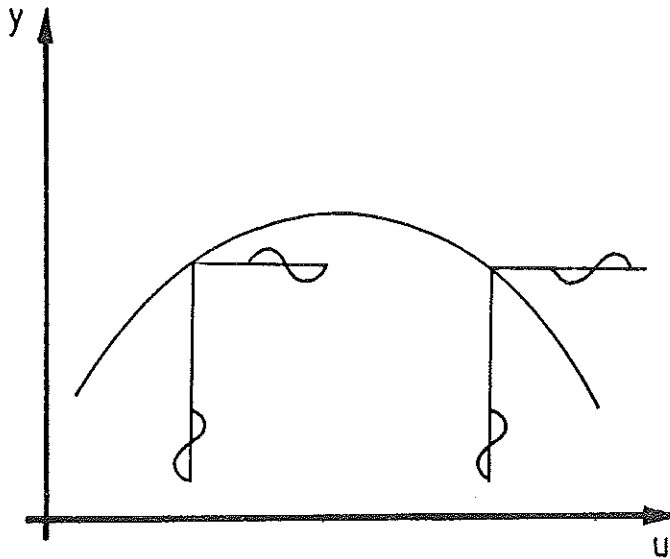
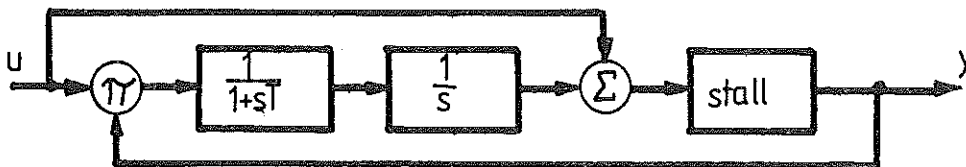


fig 7.2 principen för en optimalsökande regulator (K.J. Åström)

Detta innebär att om man stör processen med en liten sinus signal, mäter utsignalen och multiplicerar denna med störningen har man efter lågpasfiltrering och integrering en signal vars storlek och tecken är beroende på var man ligger, dvs under, på eller över minimat.



$$u=A \cdot \sin \omega \cdot t$$

fig 7.3 blockschema för en optimalsökande regulator

Problemet med systemet är störningar och dynamik. Störningarna i utsignalen måste vara så små att resultatet inte drunknar i störningarna. Alternativt måste sinussignalen ha tillräckligt stor amplitud. Dynamiken i systemet tvingar störningen att ha så låg frekvens att

Reglerprinciper

fasläget mellan insignal och utsignal inte störs av fasförskjutningen pga dynamiken.

7.2 Strukturen av en temperaturregulator

Att reglera temperaturen i stallar är ett mer rätframt problem. Förloppen är enkelt, större ventilationsarea medför lägre temperatur.

Stallar idag är oftast utrustade med en enkel integrerande regulator. Principen är att tilluftsdonen är kopplade till en spjällmotor som minskar tilluftsarean om det är för kallt och ökar den om det är för varmt. Spjällmotorn går långsamt tills önskad temperatur har uppnåtts då den stannar. Det är dessutom inlagt ett dödband för att minska slitaget på motorn. Denna metod innehåller en del olämpligheter. En är att man inte drar nytta av att man vet ungefär hur stor tilluftsarea som behövs vid olika utomhustemperaturer, dvs man framkopplar inte. En annan brist är att den stora skillnaden i processens förstärkning vid låga och höga utomhustemperaturer gör att regulatorn inte går att ställa in optimalt. Om man ställer in regulatorn optimalt vid 0°C kommer den att självsvänga vid -20°C och om den ställs in optimalt vid -20°C kommer den att vara mycket långsam vid 0°C. Figuren här nedan visar detta.

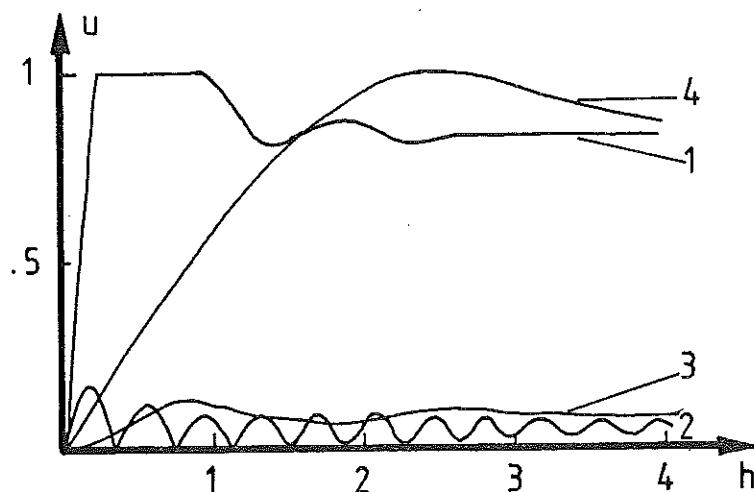


fig 7.4 Regulatorns utsignal vid olika inställningar och olika utomhustemperaturer.

- 1: utetemp= 0°C integreringstid= 500 samplingsintervall
- 2: utetemp=-20°C integreringstid= 500 samplingsintervall
- 3: utetemp=-20°C integreringstid=2000 samplingsintervall
- 4: utetemp= 0°C integreringstid=2000 samplingsintervall
samplingsintervall=120s

Det finns två sätt att kringgå detta problem, dels additiv och dels multiplikativ framkoppling från utomhustemperaturen.

Reglerprinciper

Additiv framkoppling

Detta innebär att man låter tilluftsarean vara direkt beroende av utomhustemperaturen.

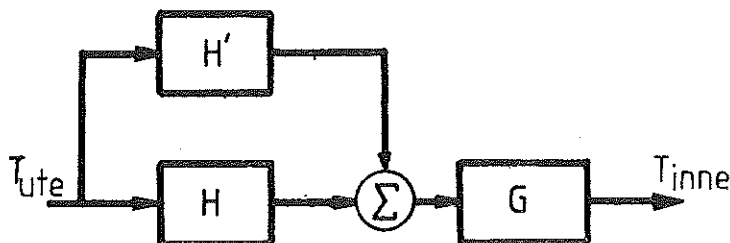


fig 7.5 framkoppling

Om $H' = H^{-1}$ så kommer T_{ute} inte att påverka T_{inne} . Nackdelen med metoden är att man måste känna H väl ty T_{inne}

återkopplas ej. Men med återkoppling via en annan regulator med hjälp av en inomhusgivare kan vissa modellfel elimineras. Vid mätliga krav på regleringen, såsom vid temperaturregulering i hus och stall, kan H' förenklas till en statisk förstärkning. Som vi vet påverkas även parametrarna i H av utomhustemperaturen. Detta ger nästa framkopplingsstrategi.

Multiplikativ framkoppling

Genom att låta regulatorn i återkopplingen ha en förstärkning som är beroende av utomhustemperaturen, på så sätt att den är omvänt proportionell till byggnadens förstärkning vid de olika temperaturerna, kan den öppna slingans förstärkning hållas konstant, och man kan finna en regulatorinställning som är optimal för alla temperaturer.

Kombineras dessa två framkopplingar kommer ett inneklimat som ej är beroende av utomhustemperaturen väl att uppnås.

Tyvärr är det inte det vi önskar. Som vi vet från diskussionen om fuktighetsregulatorn vill vi ha sänkt temperatur i stallet med sänkt utomhustemperatur. Detta leder fram till parameterstyrning, dvs att börvärdet till regulatorn är beroende av utomhustemperaturen.

Angående den bit av regulatorn som behandlar den återkopplade signalen kan här användas en PI-regulator (Jensen, 1978).

Detta gör att blockschemat till en komplett temperaturregulator får följande utseende.

Reglerprinciper

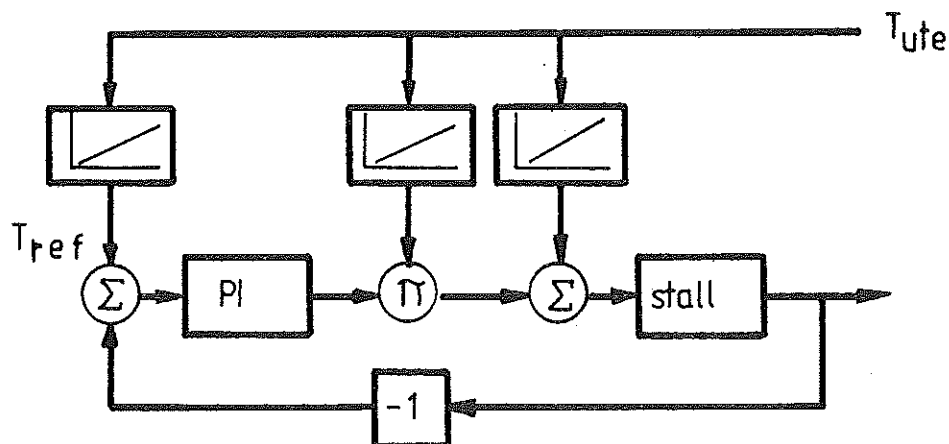


fig 7.5 blockschema över en temperaturregulator.
Realiserad i Simnon

```

discrete system regul
"PI-regulator med framkoppling och antireset windup från
"K.J. Aström och B. Wittenmarks Computer Control Theory
input Tin Tout
output out
state ini
new nil
time t
tsamp ts
e1=T-Tref
i1=ini+k*e1*h/tid
v1=k*e1+i1+Fk          "PI-regulatorn med framkoppling
out=if v1<vmin then vmin else if v1>vmax then v1 else vmax
nil=i1+out-v1
k=(273-Tout)*deltak+k0
Fk=(Tout-253)*deltaFk+Fk0
ts=t+h
Tref=max(Tmin,ref)    "börvärdet minbegränsat
ref=(Tout-273)*deltaT+T0
h:120                "samplingsintervall i sekunder
k:1                  "proportionell förstärkning
tid:500              "reset tid
vmin:0               "minsta utsignal
vmax:1               "största utsignal
k0:1                 "förstärkning vid 0°C
deltak:0.025         "den multiplikativa karaktären
Fk0:0.8              "tilluft vid 0°C
deltaFk:0.05         "den additiva karaktären
T0:285               "börvärde vid 0°C
deltaT:0.5           "börvärdesändring
end

```

Reglerprinciper

7.3 En lämplig regulator

Även om fuktighetsregulatorn verkar mera lockande har jag valt att gå vidare med temperaturregulatorn. Detta motiverar jag med att följande svårigheter finns i att realisera en regulator för fuktigheten: Givaren är, även om den inte behöver vara kalibrerad för en sådan här regulator, känslig för nedsmutsning. Dessutom kan det vara svårt att detektera den utsignal som den periodiska störningen ger, pga andra störningar i signalen. Då kan man tillgripa mer avancerad signalbehandling, såsom signalanpassade filter, vilket jag dock anser vara alltför avancerad teknik för att vara motiverad i en stallbyggnad. En annan metod är att öka amplituden på signalen, detta leder dock till stora temperaturväxlingar i stallet vilket kan befaras vara skadliga för djur och människor.

Temperaturregulatorn är alltså att föredra pga den enklare tekniken, och med metoden att parameterstyra från utetemperaturen bör även en tillfredsställande luftfuktighet kunna uppnås.

8. SIMULERINGSRESULTAT

I detta kapitel presenteras simuleringsresultaten av den modell av ett djurstall, reglerad med temperaturregulator, som tidigare behandlats. Strategin för simuleringarna har varit att först finna ut hur en lämplig regulator skall se ut. Därmed menas vilka framkopplingar som behövs och vilken inverkan de har. Först presenteras simulering med enbart I-regulator, dvs P-delens utsignal i programmet sättes lika med O. Denna regulator är, som tidigare nämnts den allmänt förhärskande. Dessa simuleringar visar klart det olämpliga i att använda en sådan regulator. Därefter simuleras med en PI-regulator, både med och utan vindpåverkan. Denna PI-regulator byggs sedan ut med olika framkopplingar och med parameterstyrning av börvärdet. Det utföres även simuleringar med flera regulatorer, sektionvis reglering. Dessa simuleringar har utförts på en modell av Övedskloster. När så en lämplig regulator har framtagits undersöks hur denna uppträder då den användes på andra byggnadstyper, såsom t ex lätta byggnadskroppar som är välisolerade eller tunga byggnadskroppar som är dåligt isolerade. Vid simuleringarna har diskretiseringen bestått i att byggnaderna delats upp i åtta sektioner.

Presentationen av simuleringsresultaten består i huvudsak av fyra diagram på en sida. Dessa diagram visar innetemperatur, relativa luftfuktigheten och regulatorns/regulatorernas utsignal. Vid de simuleringar där endast en regulator har simulerats visar diagrammen följande.

diagram	kurva	visar
1	1	temperaturen vid givaren
1	2,3	temperaturen vid stallets gavlar
2		stallets medeltemperatur
3		luftfuktigheten inne och ute
4		regulatorns utsignal

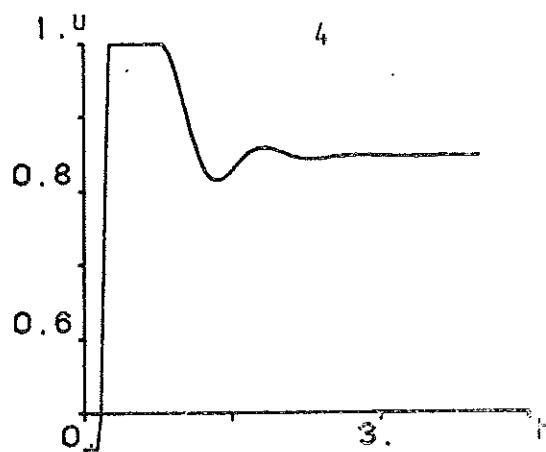
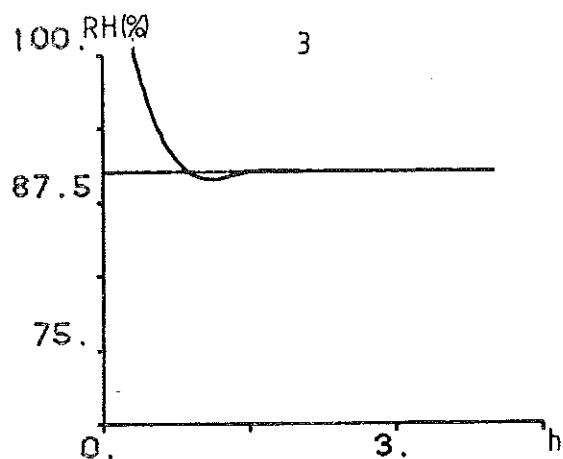
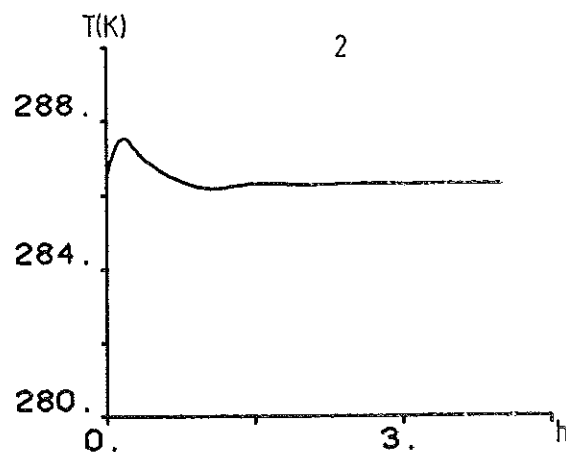
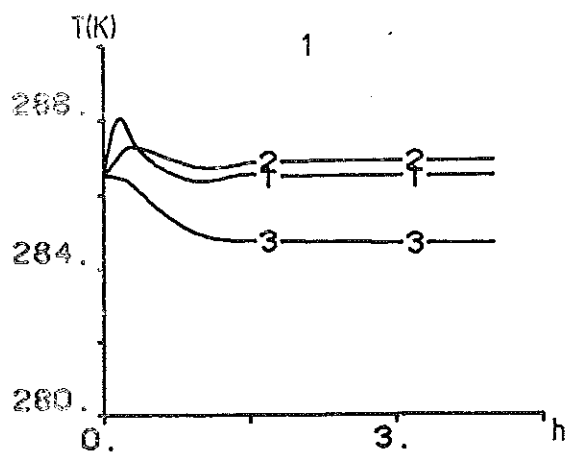
Vid de simuleringar där två regulatorer har simulerats visar diagrammen följande.

diagram	kurva	visar
1	1,2	temperaturerna vid givarna
1	3,4	temperaturen vid stallets gavlar
2		stallets medeltemperatur
3		luftfuktigheten inne och ute
4	1,2	regulatorernas utsignaler

Om sidor med andra diagram än ovanstående presenteras, förklaras dessa speciellt.

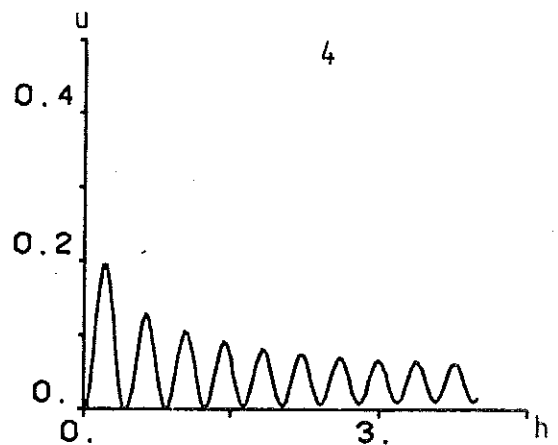
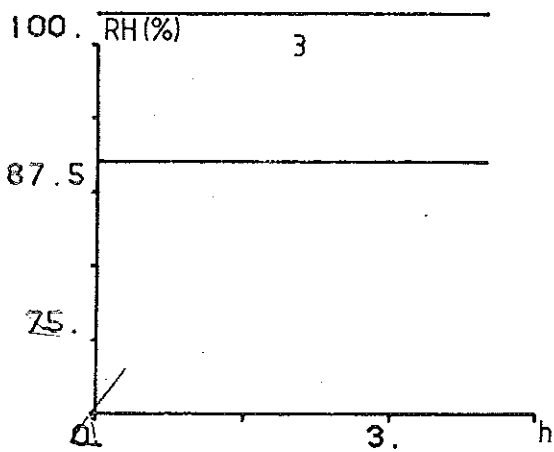
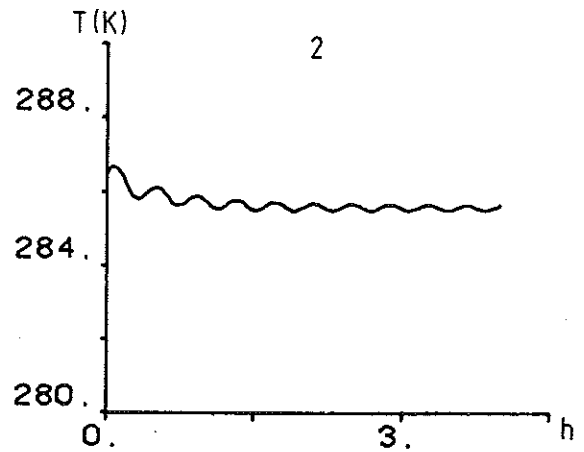
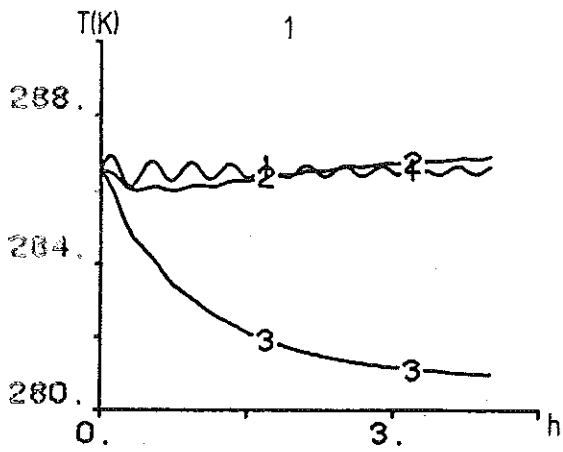
Alla simuleringarna kommer att uppvisa en transient i början, trots att riktig temperatur råder i stallet. Detta beror på att i de sektioner där temperaturgivare saknas är detta inte en stationär punkt.

8.1 Simuleringar på Övedskloster

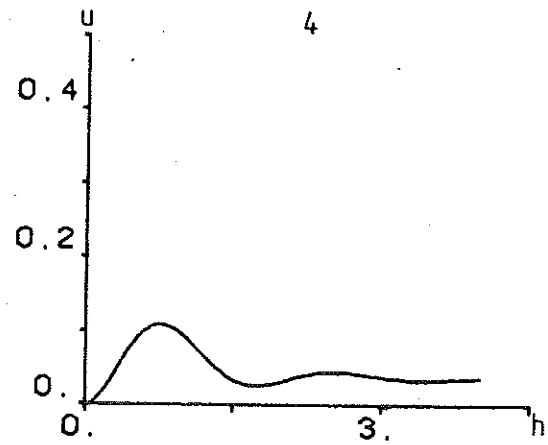
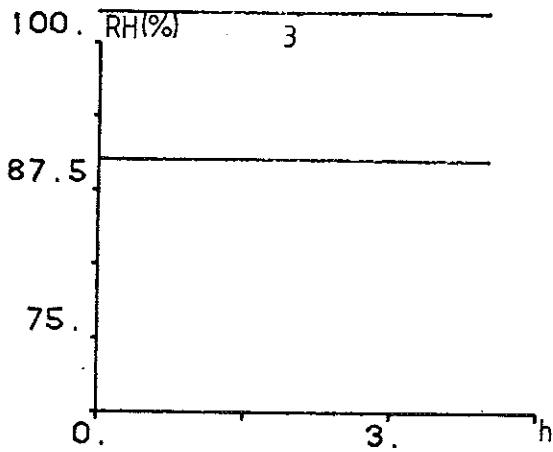
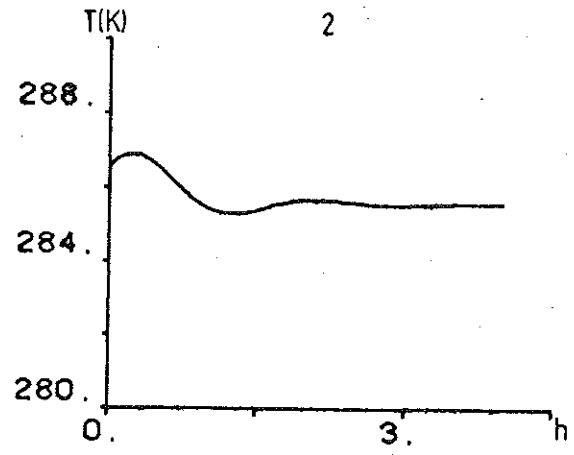
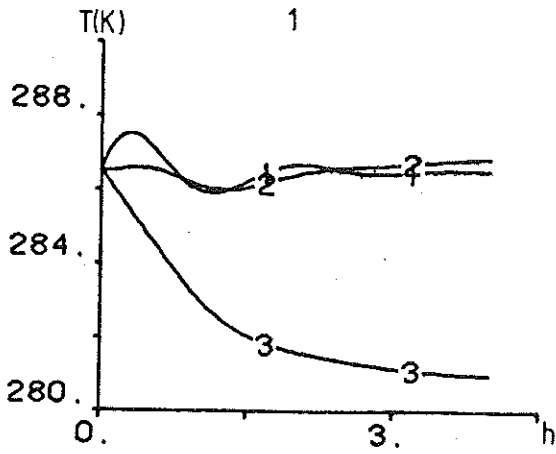


8.1.1 Simulering med I-regulator

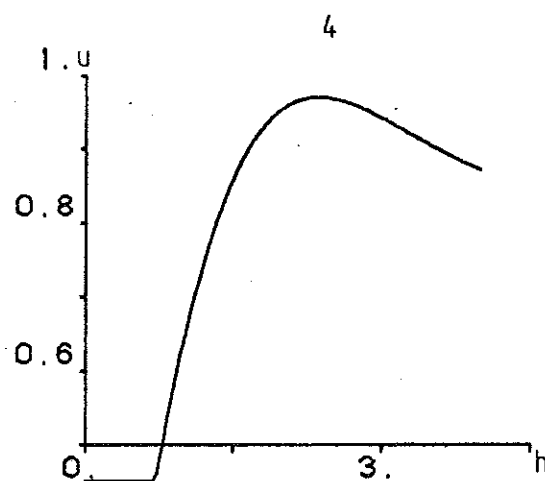
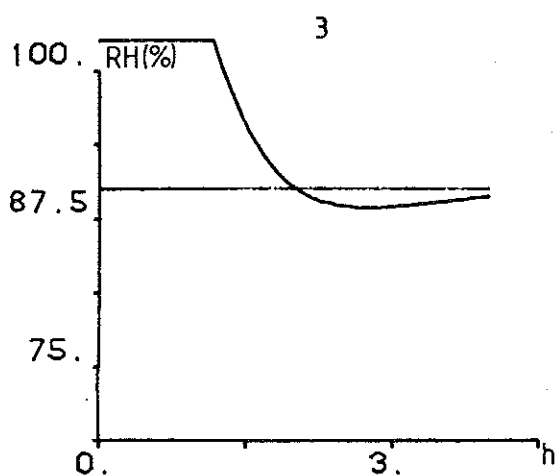
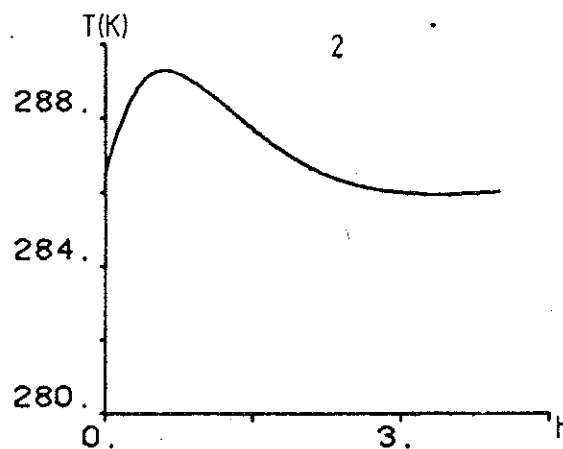
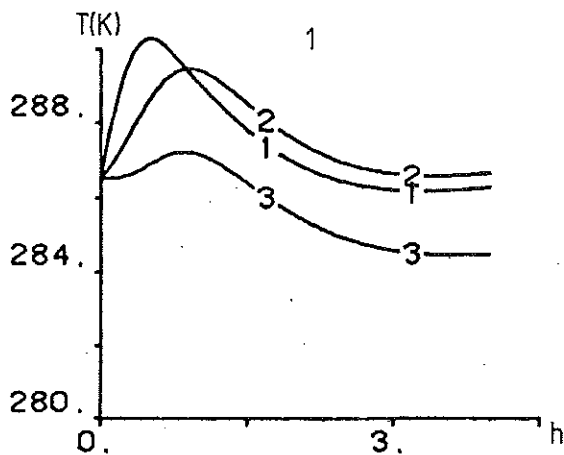
Simulering med I-regulator
börvärde : 286.5 K
utetemperatur : 273 K
reset-time : 500
samplingsintervall : 120 s



Simulering med I-regulator
 börvärde : 286.5 K
 utetemperatur : 253 K
 reset-time : 500
 samplingsintervall : 120 s



Simulering med I-regulator
 börvärde : 286.5 K
 utetemperatur : 253 K
 reset-time : 8000
 samplingsintervall : 120 s

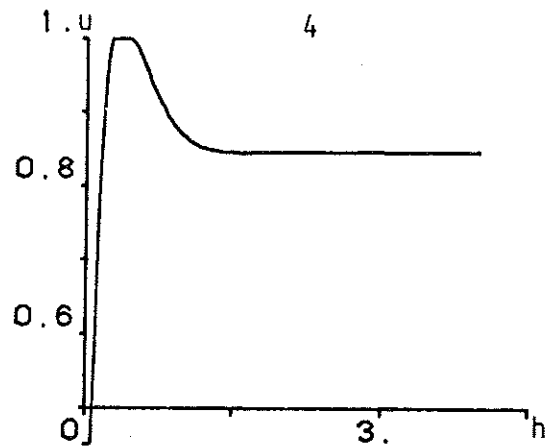
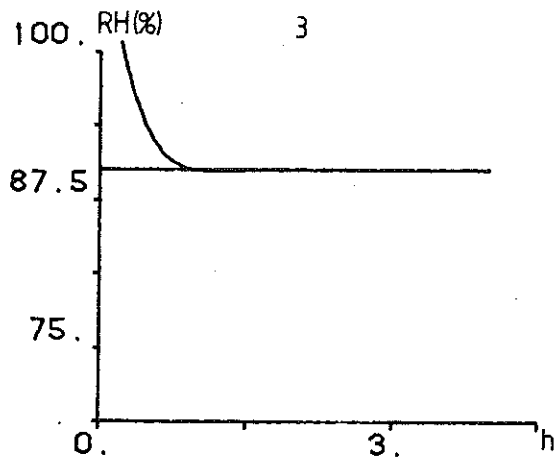
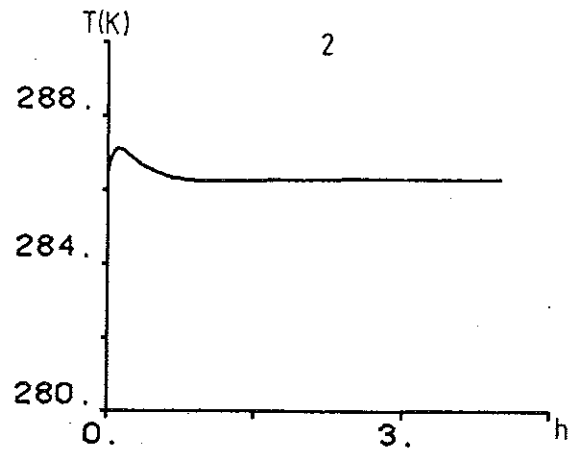
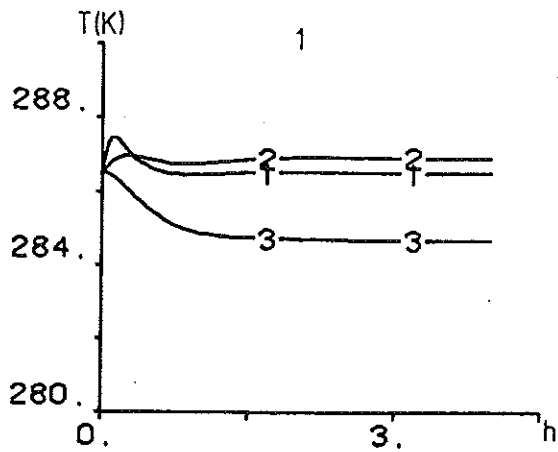


Simulering med I-regulator

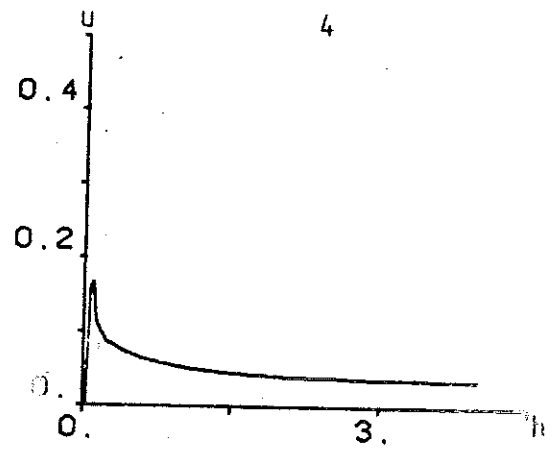
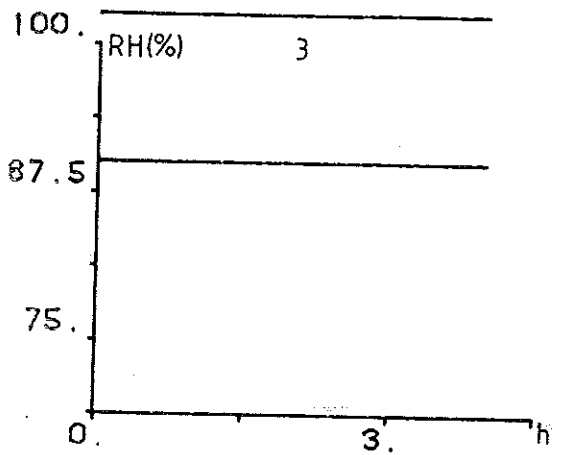
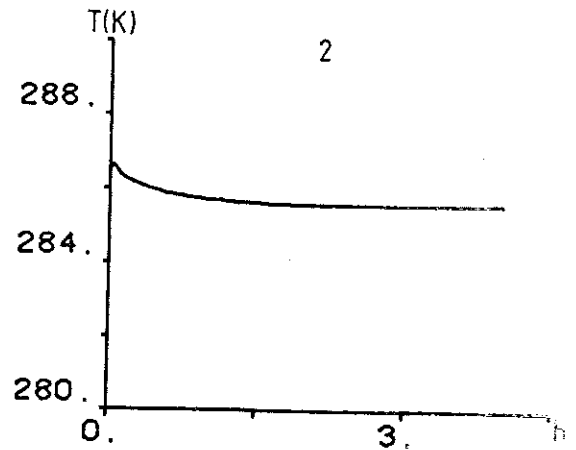
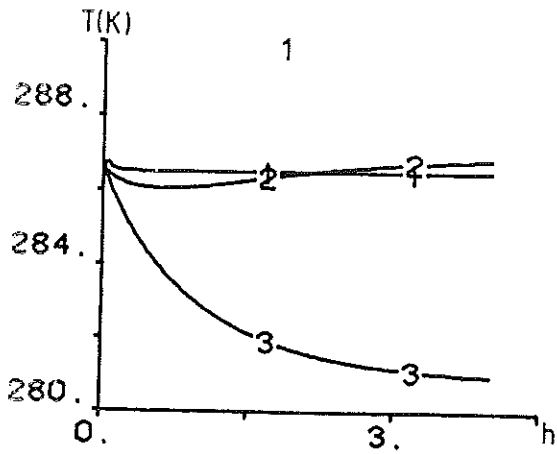
börvärde : 286.5 K
 utetemperatur : 273 K
 reset-time : 8000
 samplingsintervall : 120 s

En regulator med endast integrerande verkan går ej att ställa in optimalt, så att inställningen gäller för alla temperaturer. Orsaken är att processens förstärkning ökar med växande skillnad mellan inne- och utetemperatur, varför regulatorn måste ställas in efter den största förstärkningen. Med en så inställd regulator kommer temperaturregleringen att bli långsam vid normala driftsfall, dvs mellan 0-10°C.

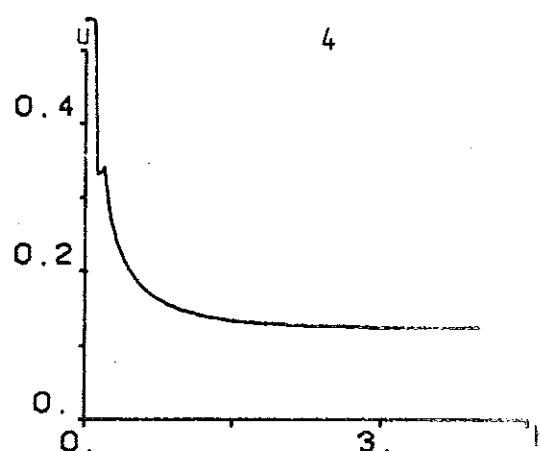
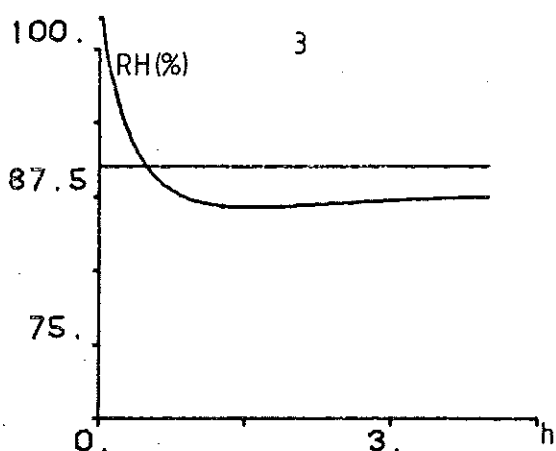
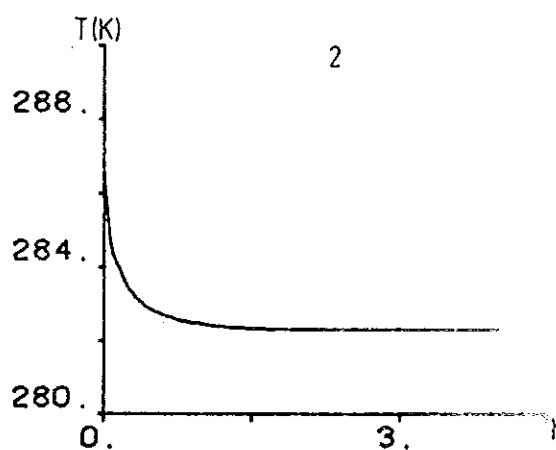
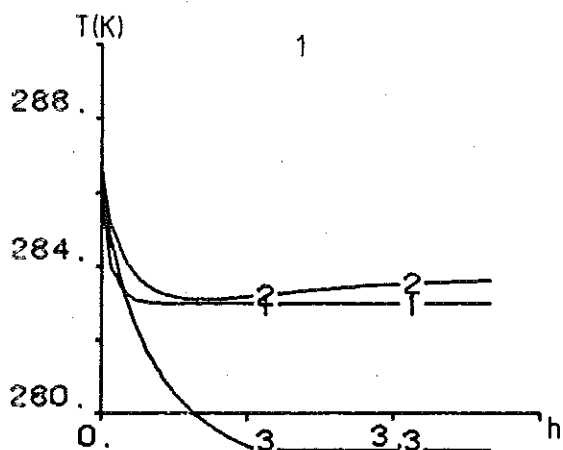
8.1.2 Simulering med PI-regulator



Simulering med PI-regulator
börvärde : 286.5 K
vindhastighet : 0 m/s
utetemperatur : 273 K
förstärkning : $0.5 \text{ m}^2/\text{K}$
reset-time : 500
samplingsintervall : 120 s



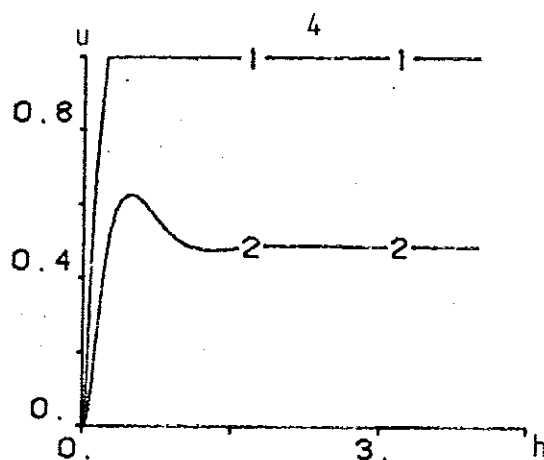
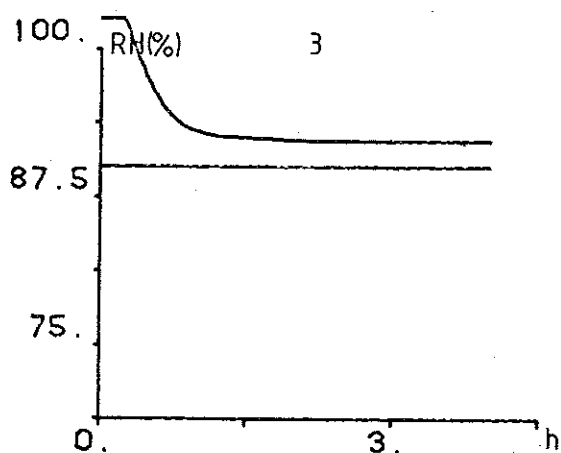
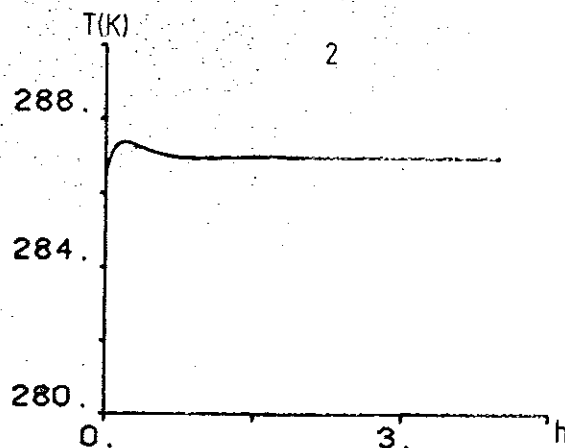
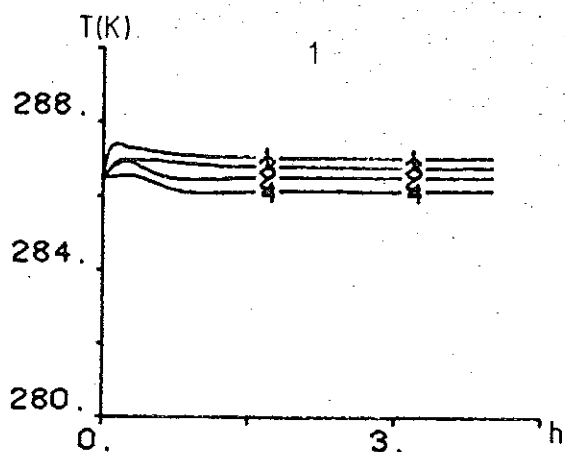
Simulering med PI-regulator
 börvärde : 286.5 K
 vindhastighet : 0 m/s
 utetemperatur : 253 K
 förstärkning : 0.5 m²/K
 reset-time : 500
 samplingsintervall : 120 s



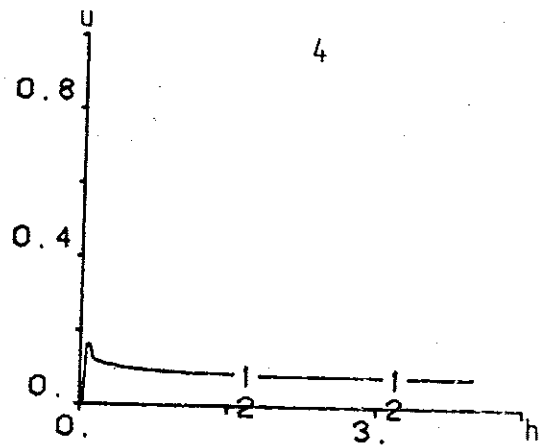
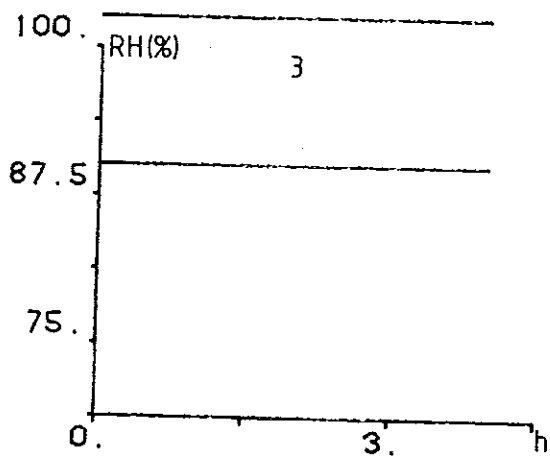
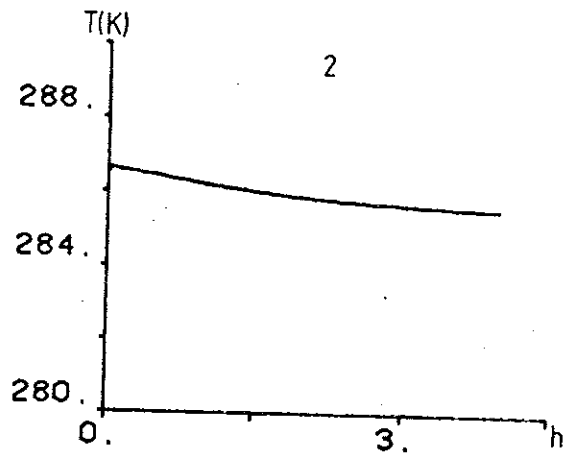
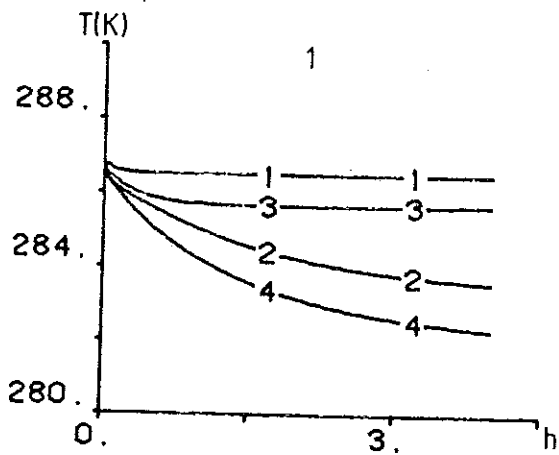
Simulering med PI-regulator
 börvärde : 283 K
 vindhastighet : 0 m/s
 utetemperatur : 253 K
 förstärkning : 0.5 m²/K
 reset-time : 500
 samplingsintervall : 120 s

Med en enkel PI-regulator kan klimatet i stallet regleras väl, i den punkt där temperaturgivaren sitter. Temperaturskillnaderna kommer dock att vara betydande mellan olika delar av stallet. Luftfuktigheten blir alltför hög med temperaturen 286.5 K för att sänka den kan man sänka börvärdet till 283 K och på det viset få ner den till ca 80 %.

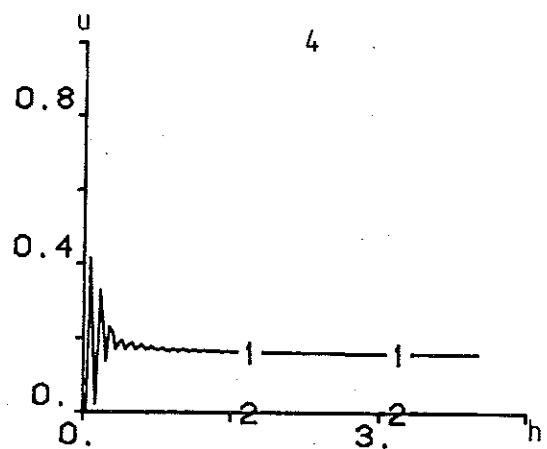
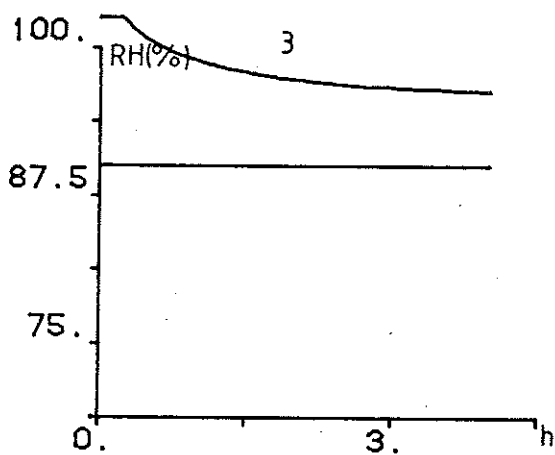
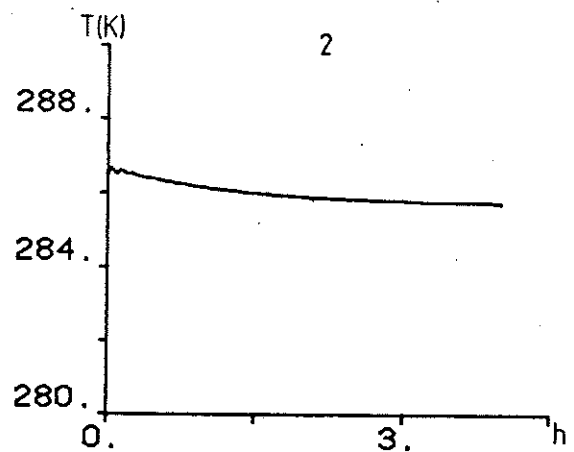
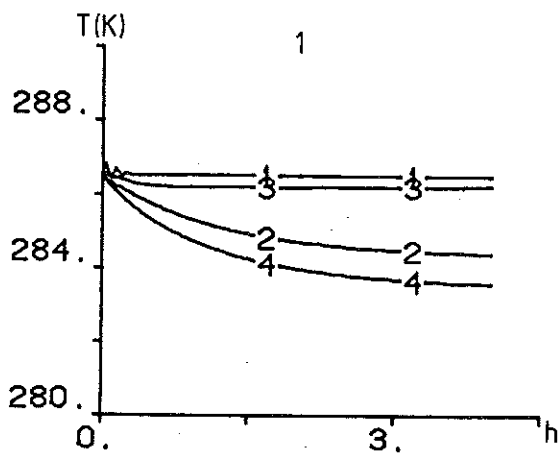
8.1.3 Simulering med två PI-regulatorer



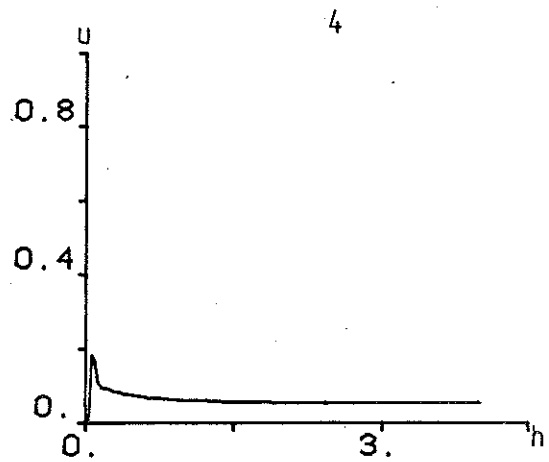
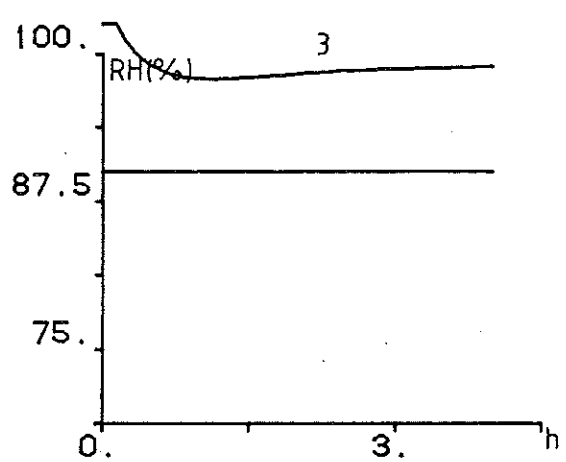
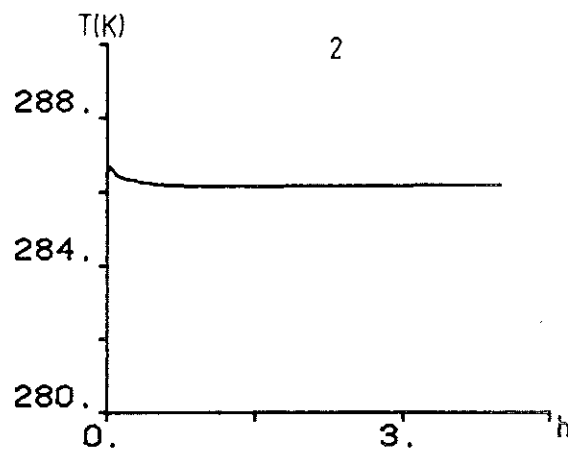
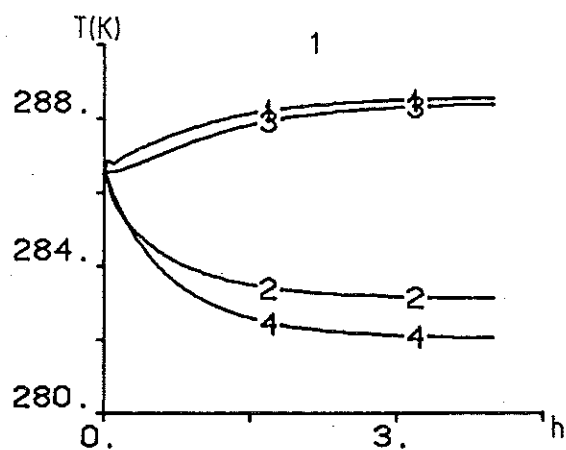
Simulering med två PI-regulatorer
och sektionvis reglering
temperaturgivarna sitter 10m från resp gavel
börvärde : 286.5 K
vindhastighet : 0 m/s
utetemperatur : 273 K
förstärkning : 0.5 m^2/K
reset-time : 500
samplingsintervall : 120 s



Simulering med två PI-regulatorer
 och sektionsvis reglering
 temperaturgivarna sitter 10m från resp gavel
 börvärde : 286.5 K
 vindhastighet : 0 m/s
 utetemperatur : 253 K
 förstärkning : 0.5 m²/K
 reset-time : 500
 samplingsintervall : 120 s



Simulering med två PI-regulatorer
 och sektionvis reglering
 temperaturgivarna sitter 10m från resp gavel
 börvärde : 286.5 K
 vindhastighet : 4 m/s
 utetemperatur : 263 K
 förstärkning : 0.5 m²/K
 reset-time : 500
 samplingsintervall : 120 s



Simulering med en PI-regulator
 börvärde : 286.5 K
 vindhastighet : 4 m/s
 utetemperatur : 263 K
 förstärkning : 0.5 m²/K
 reset-time : 500
 samplingsintervall : 120 s

Genom att dela upp stallet kan man uppnå ett jämnare klimat i stallet. Detta syns tydligt vid de jämförande simuleringarna vid 263 K.

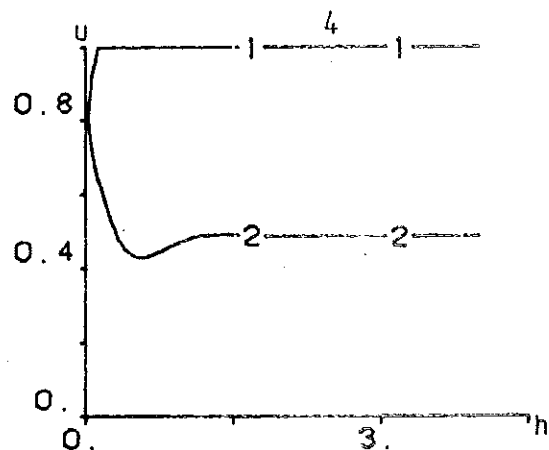
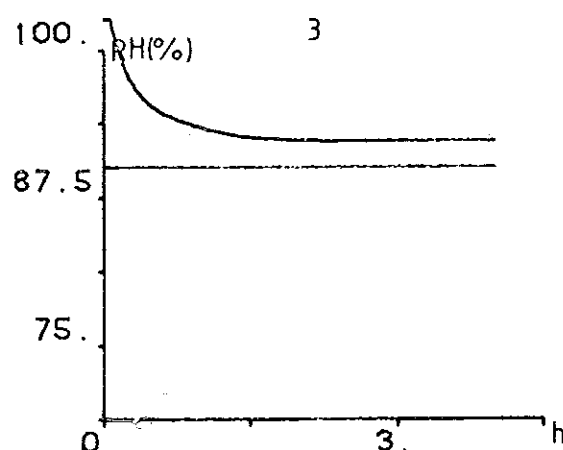
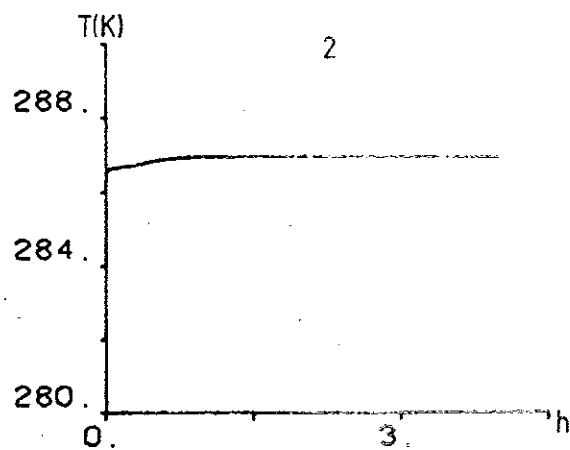
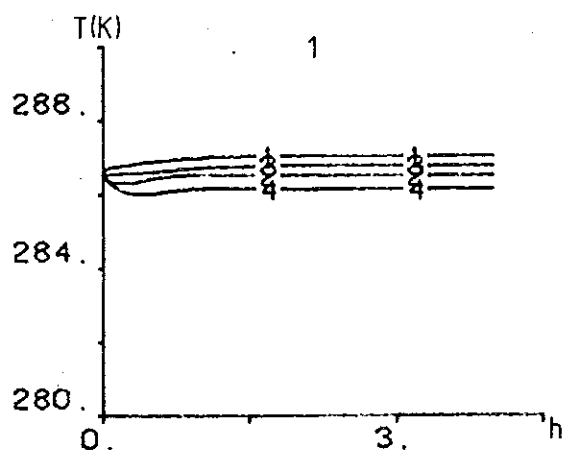
6.1.3 Simuleringar framkoppling

Additiv framkoppling

En signal framkopplas direkt till regulatorns utsignal, från utomhustemperaturen enligt

$$F_k = (T - 273) * k + F_{k0}$$

$k = 0.0475$ och $F_{k0} = 1$. Detta innebär att vid 273 K kommer tilluftsdonen att vara helt öppna för att stängas med sjunkande utomhustemperatur. Utöver framkopplingen finns de två tidigare simulerade PI-regulatorerna kvar.



Simulering med två PI-regulatorer med additiv framkoppling och sektionvis reglering

temperaturgivarna sitter 10m från resp gavel

börvärde : 286.5 K

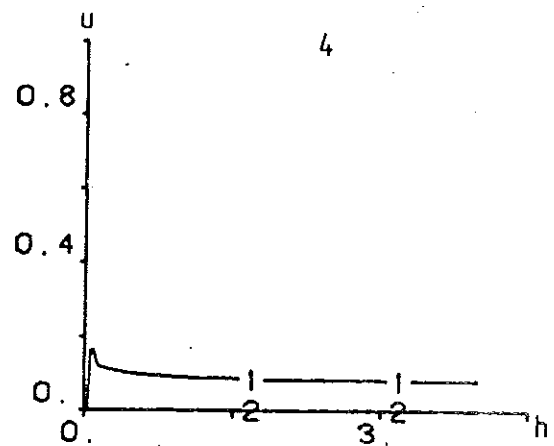
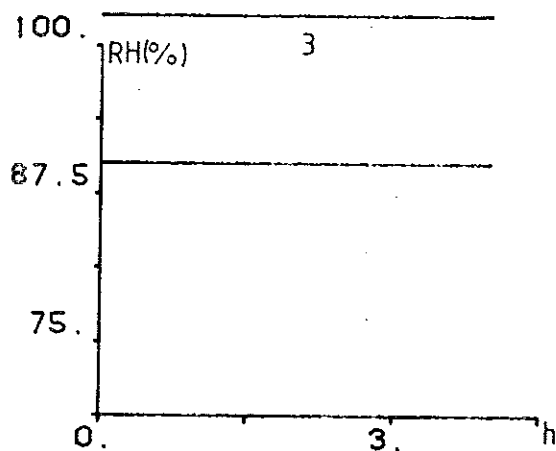
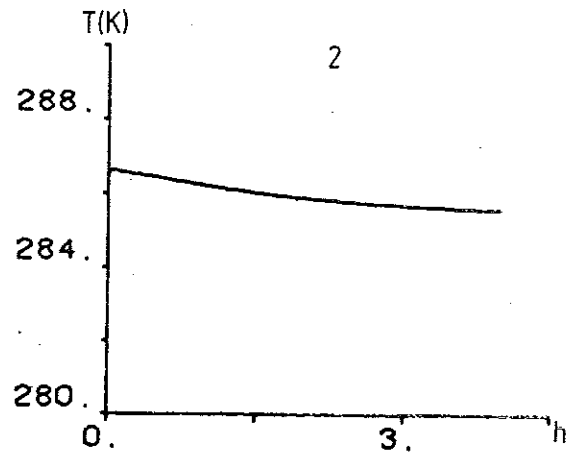
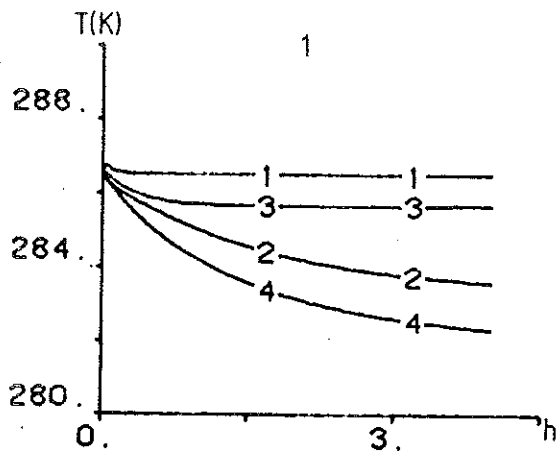
vindhastighet : 0 m/s

utetemperatur : 273 K

förstärkning : $0.5 \text{ m}^2/\text{K}$

reset-time : 500

samplingsintervall : 120 s



Simulering med två PI-regulatorer med additiv framkoppling och sektionvis reglering

temperaturgivarna sitter 10m från resp gavel

börvärde : 286.5 K

vindhastighet : 0 m/s

utetemperatur : 253 K

förstärkning : 0.5 m²/K

reset-time : 500

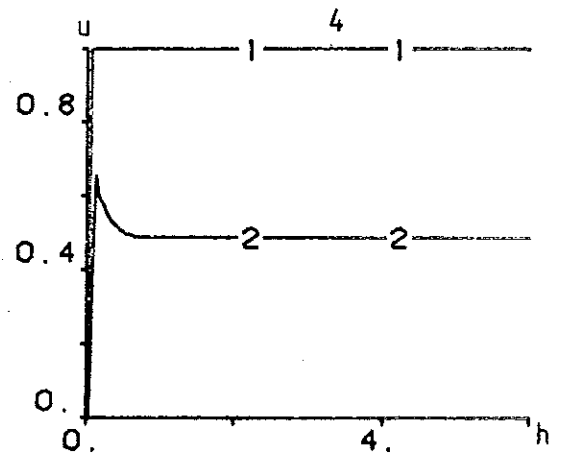
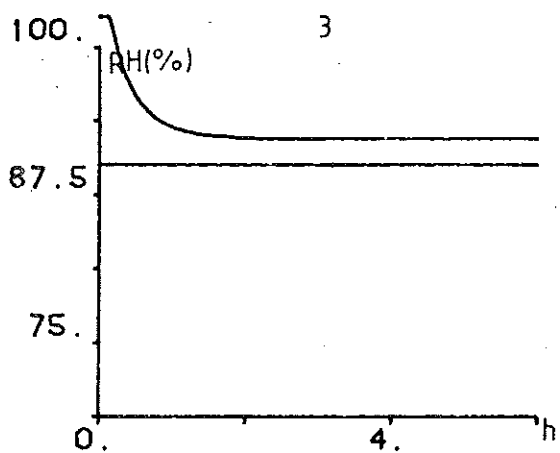
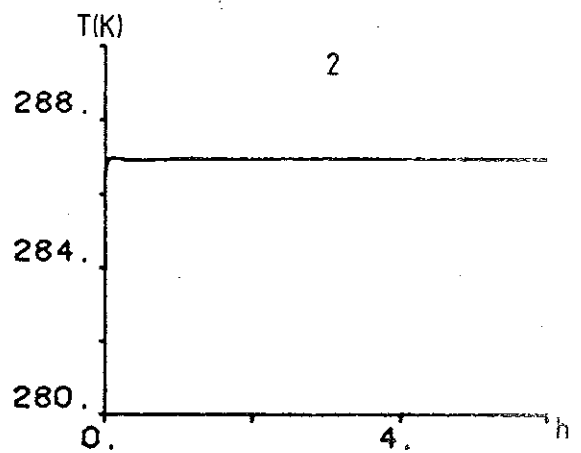
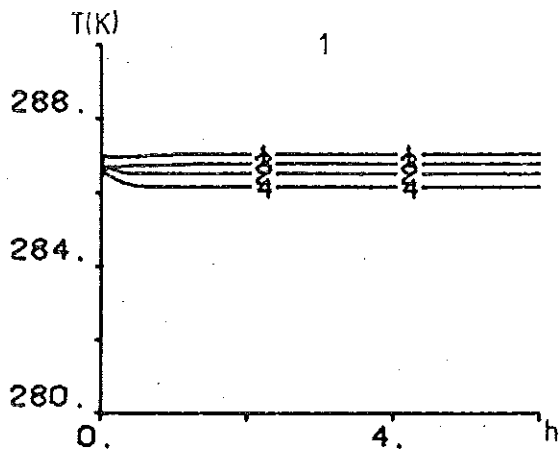
samplingsintervall : 120 s

Multiplikativ framkoppling

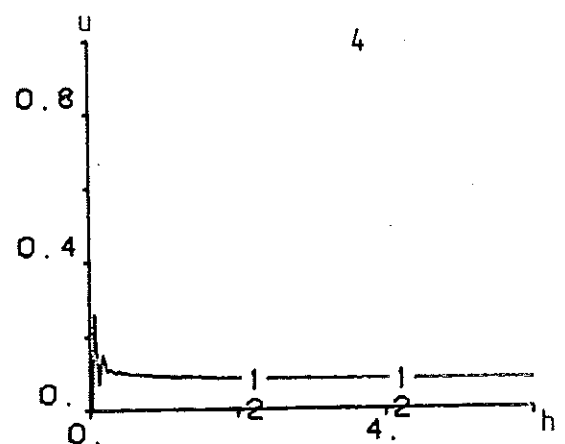
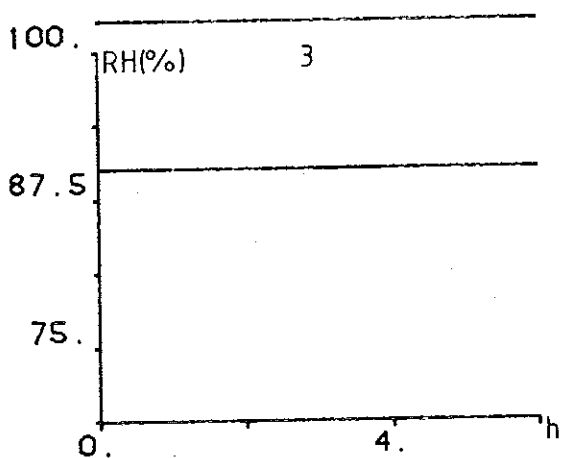
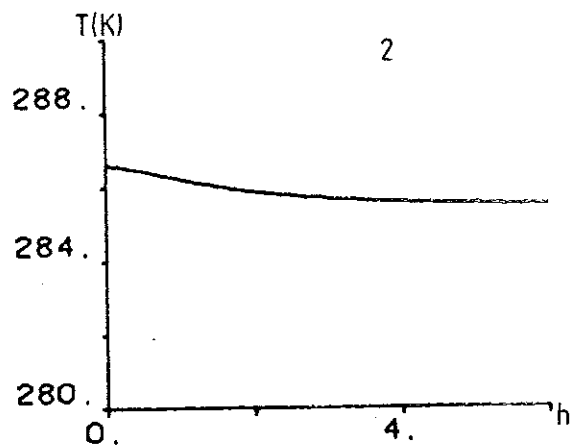
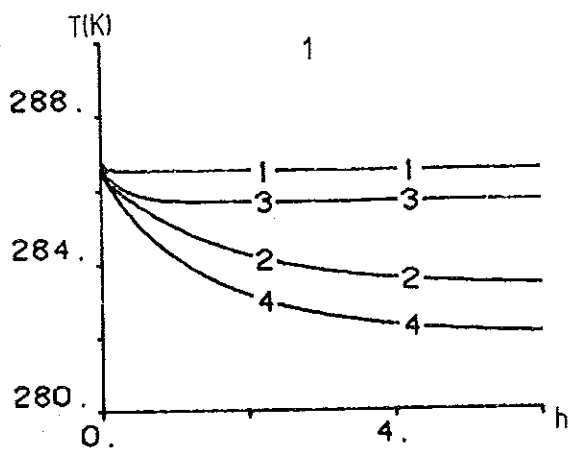
För att kompensera ventilationens temperaturberoende modifieras PI-regulatorns förstärkning med multiplikativ framkoppling enligt följande

$$k = k_0 * ((T - 273) * C + 1)$$

Där k är förstärkningen, k₀ förstärkningen vid 273 och C en kompenseringskonstant. C sättes till 0.025 1/K



Simulering med två PI-regulatorer med additiv och
 multiplikativ framkoppling samt sektionvis reglering
 temperaturgivarna sitter 10m från resp gavel
 börvärde : 286.5 K
 vindhastighet : 0 m/s
 utetemperatur : 273 K
 förstärkning vid 0°C: 1 m²/K
 reset-time : 500
 samplingsintervall : 120 s



Simulering med två PI-regulatorer med additiv och multiplikativ framkoppling samt sektionvis reglering
 temperaturgivarna sitter 10m från resp gavel

börvärde : 286.5 K

vindhastighet : 0 m/s

utetemperatur : 253 K

förstärkning vid 0°C: 1 m²/K

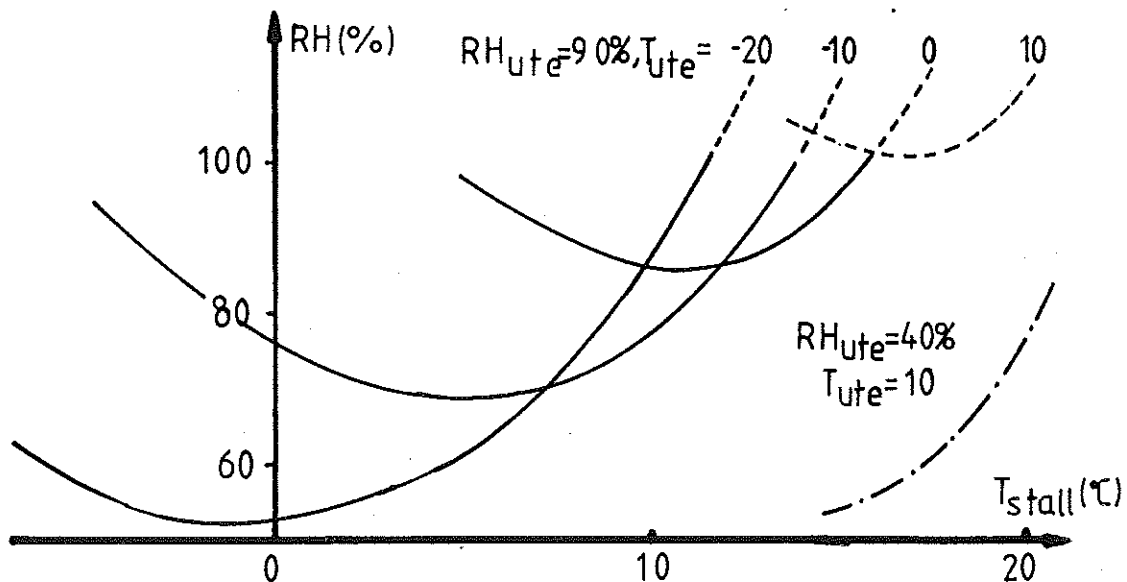
reset-time : 500

samplingsintervall : 120 s

Med dessa framkopplingsstrategier ser vi att en mycket snabb och följsam regulator har uppnåtts.

Simulering med parameterstyrning

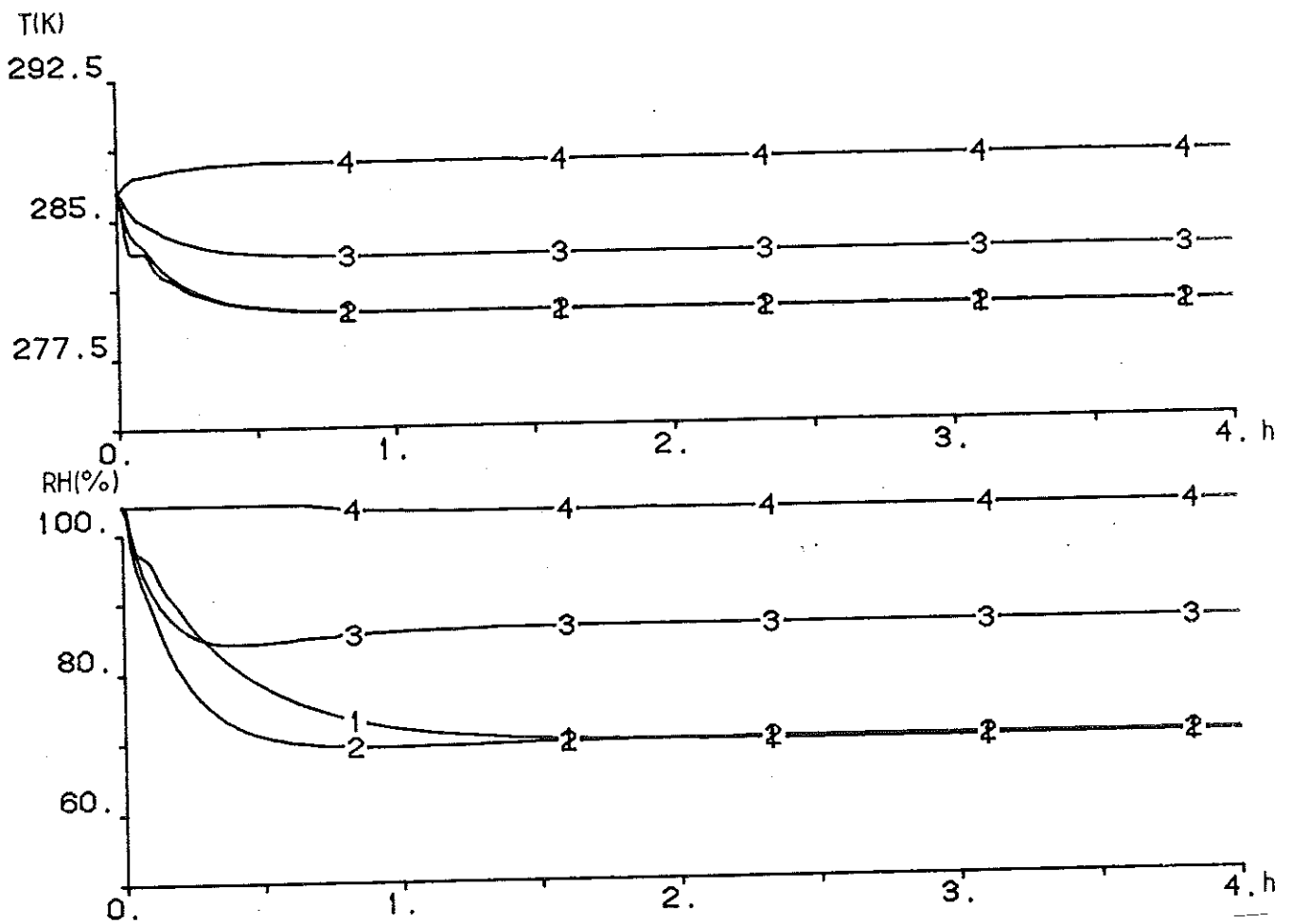
Avslutningsvis skall simuleringar med en regulator där börvärdet är styrt av utomhustemperaturen presenteras. Figuren nedan visar hur den relativa luftfuktigheten i Övedskloster varierar med olika utomhus- och stalltemperaturer om luftfuktigheten utomhus är 90 %.



Med utgångspunkt från denna figur sättes börvärdet till:

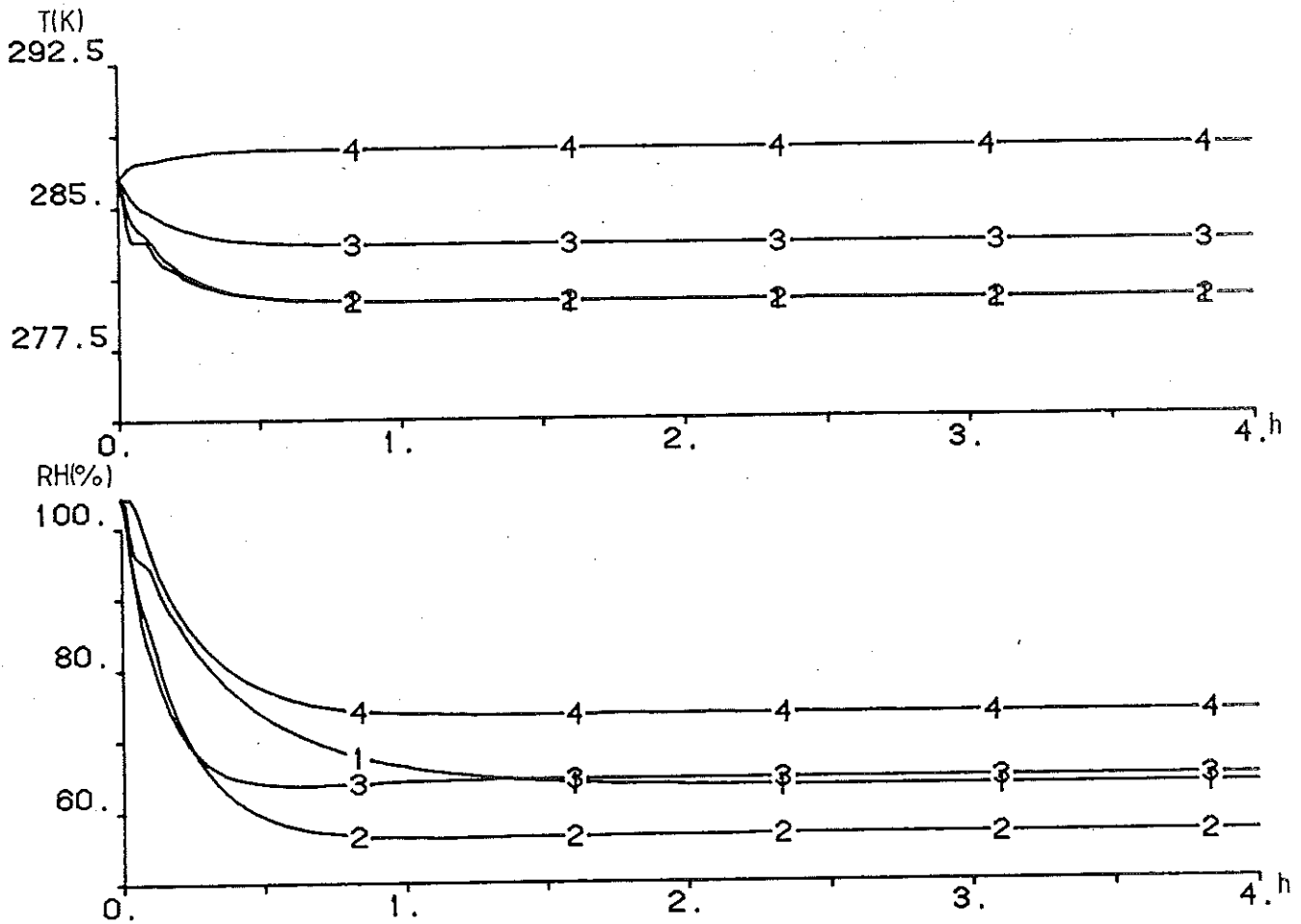
$$T_{ref} = ((T-273) * \Delta T) + T_0$$

Där T är utomhustemperaturen och ΔT är proportionalitetsfaktorn för den kurva som börvärdet skall följa. Den sättes till 0.5 K/K. T_0 är börvärdet vid 273 K och sättes till 283 K dessutom minimibegränsas T_{ref} till 280 K.



Simulering med en PI-regulatorer med parameterstyrning
 börvärde : funktion av utomhustemperaturen
 vindhastighet : 0 m/s
 $RH_{out} = 90\%$
 utetemperatur : 253, 263, 273, 283 K
 förstärkning : $0.5 \text{ m}^2/\text{K}$
 reset-time : 500
 samplingsintervall : 120 s

kurva	T_{ute}	T_{ref}
1	253	280
2	263	280
3	273	283
4	283	288



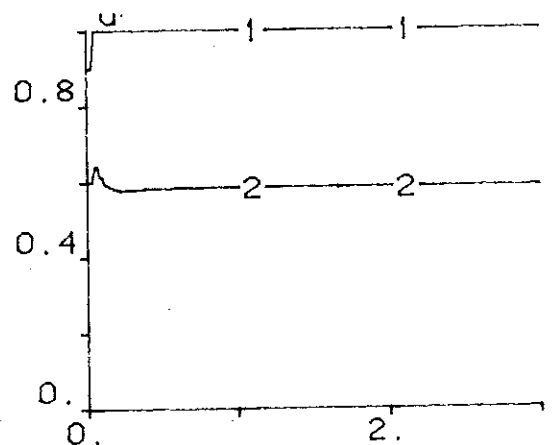
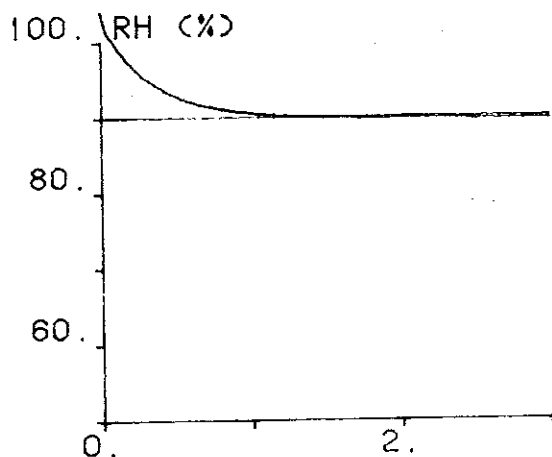
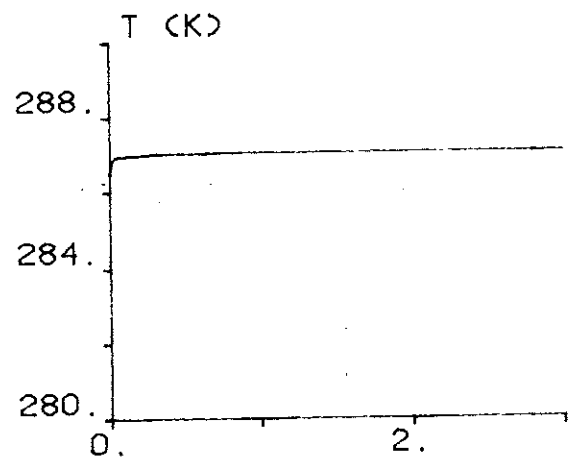
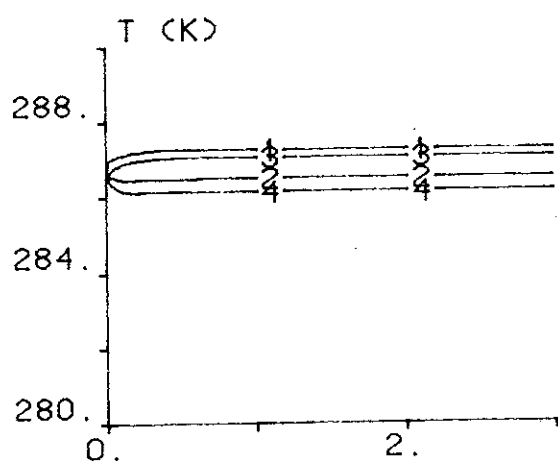
Simulering med en PI-regulatorer med parameterstyrning
 börvärde : funktion av utomhustemperaturen
 vindhastighet : 0 m/s
 RH_{out} = 60 %
 utetemperatur : 253, 263, 273, 283 K
 förstärkning : 0.5 m²/K
 reset-time : 500
 samplingsintervall : 120 s

kurva	T _{ute}	T _{ref}
1	253	280
2	263	280
3	273	283
4	283	288

8.2 Olika byggnadstyper

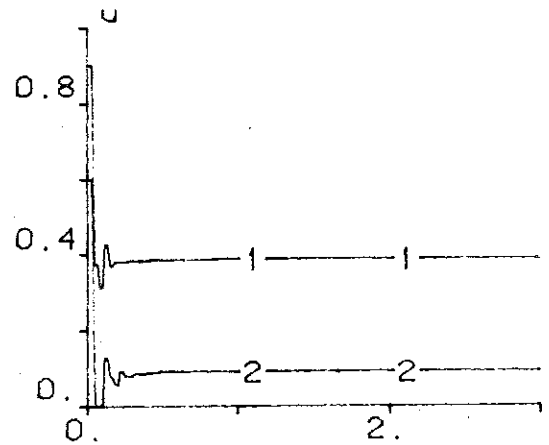
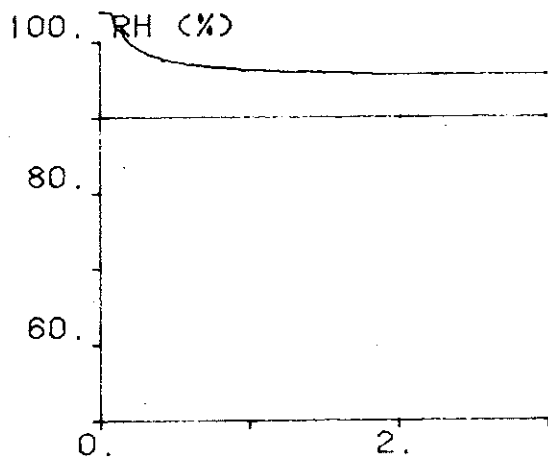
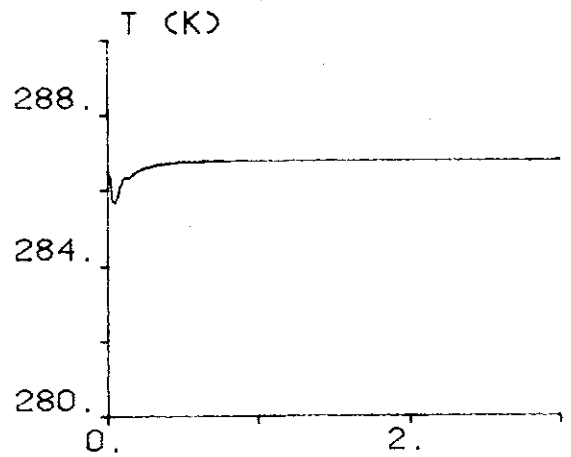
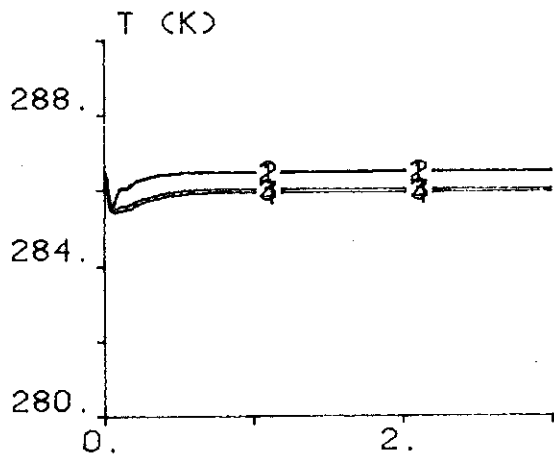
För att se om byggnadens värmekapacitet inverkar på regleringen simuleras först en lätt byggnadskropp, uppförd som en regelkonstruktion, därefter en mycket tung byggnad, uppförd i gråsten. Förutom byggnadsmaterialet har dessa byggnader samtliga data lika med de som gäller för Övedskloster. Efter dessa simuleringar följer simuleringar på byggnaden i Frörum, där en i mitt tycke lämplig regulator har införts. Dessa byggnaders data finns redovisade i appendix 1 tillsammans med beräkningarna.

8.2.1 Lätt byggnadskropp



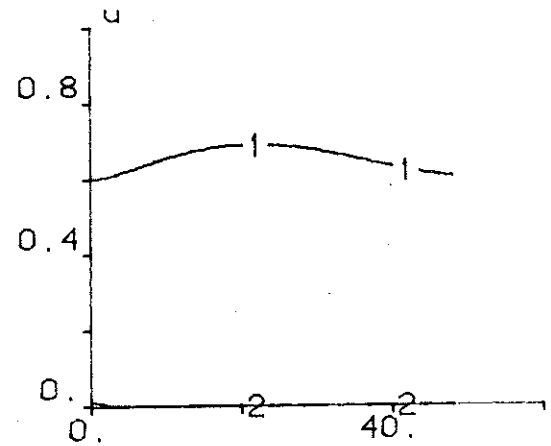
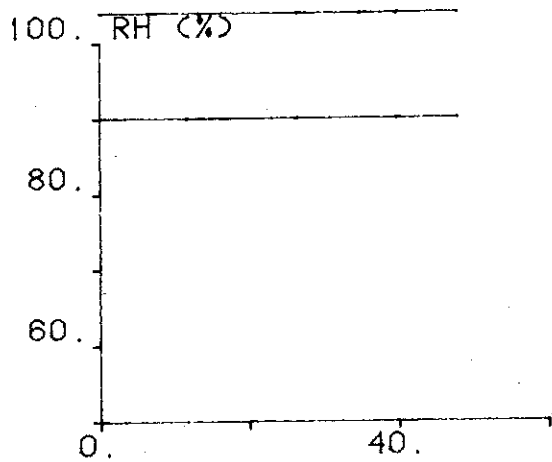
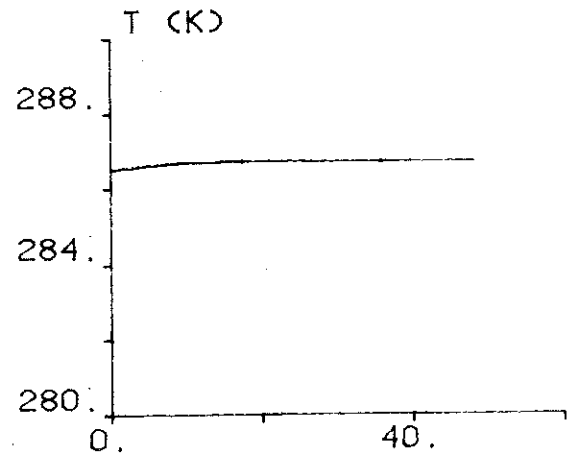
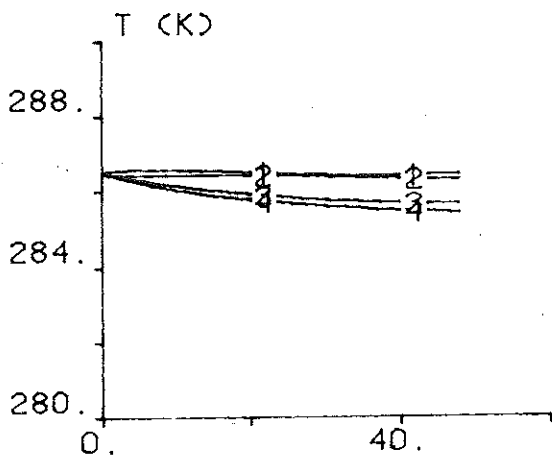
Simulering med två PI-regulatorer
och sektionsvis reglering
temperaturgivarna sitter 10m från resp gavel

börvärde	: 286.5 K
vindhastighet	: 0 m/s
utetemperatur	: 273 K
förstärkning	: 0.5 m ² /K
reset-time	: 500
sampleingsintervall	: 120 s

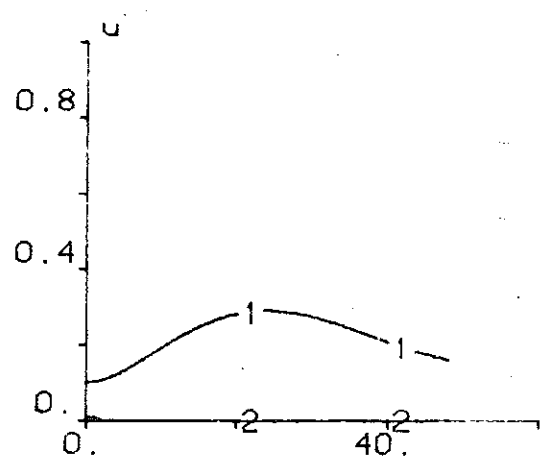
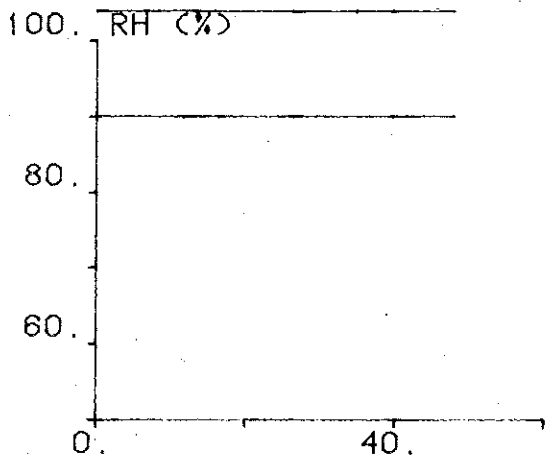
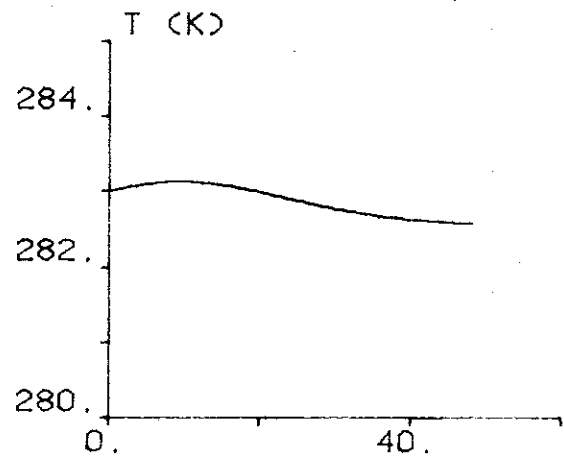
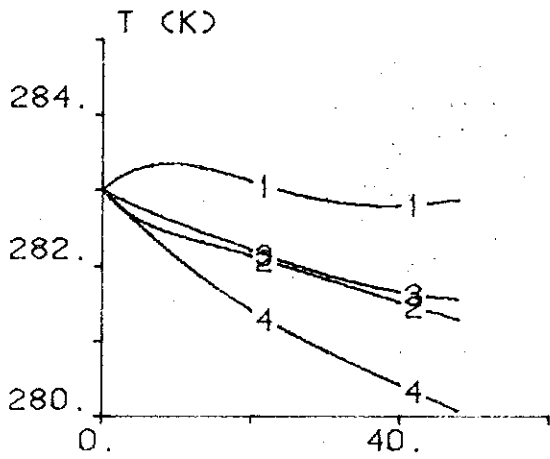


Simulering med två PI-regulatorer
 och sektionsvis reglering
 temperaturgivarna sitter 10m från resp gavel
 börvärde : 286.5 K
 vindhastighet : 0 m/s
 utetemperatur : 263 K
 förstärkning : 0.5 m²/K
 reset-time : 500
 samplingsintervall : 120 s

8.2.2 Tung byggnadskropp



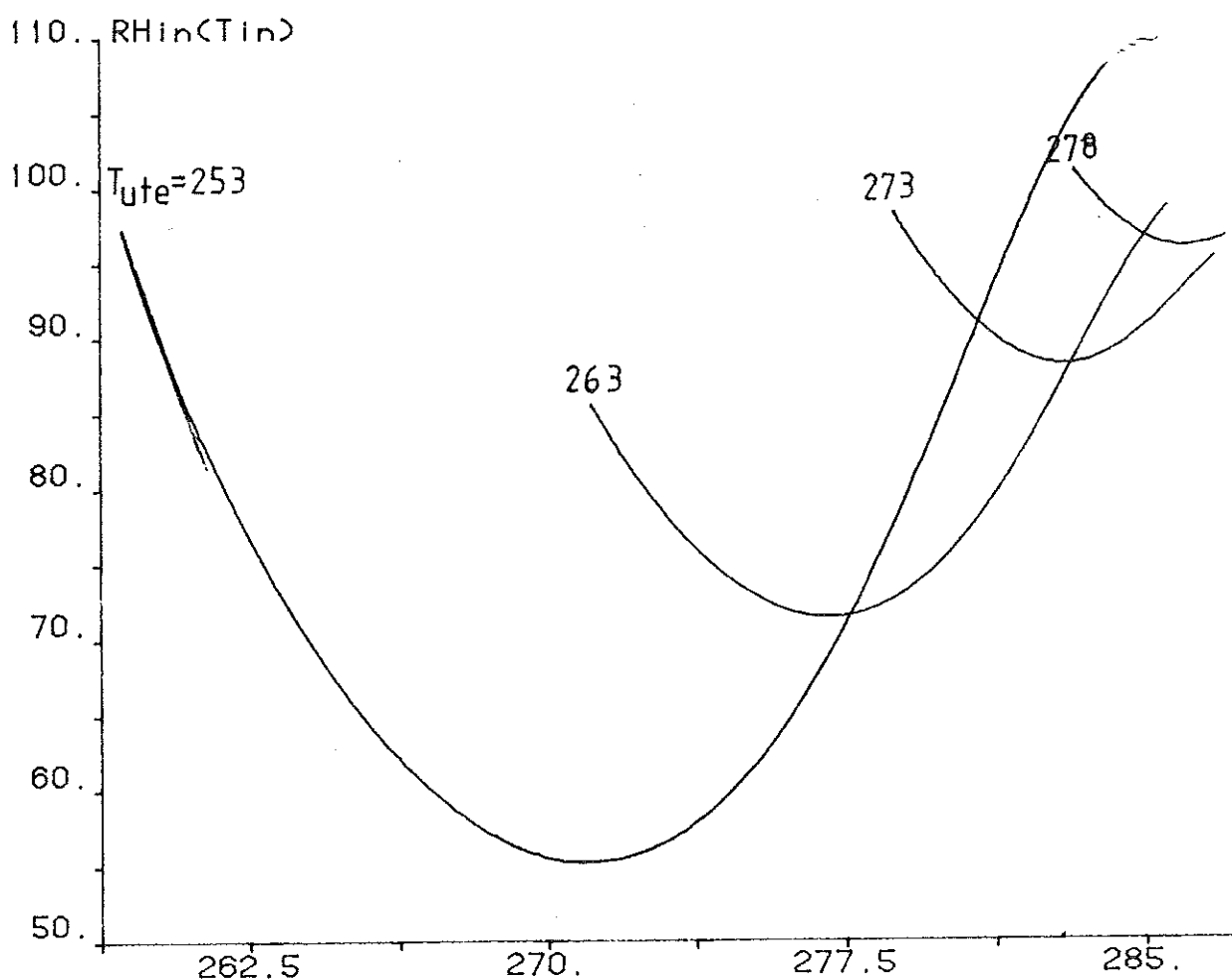
Simulering med två PI-regulatorer
och sektionsvis reglering
temperaturgivarna sitter 10m från resp gavel
börvärde : 286.5 K
vindhastighet : 0 m/s
utetemperatur : 273 K
förstärkning : 0.005 m²/K
reset-time : 500
samplingsintervall : 120 s



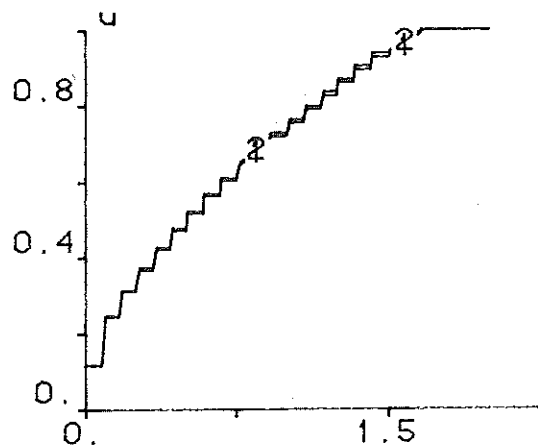
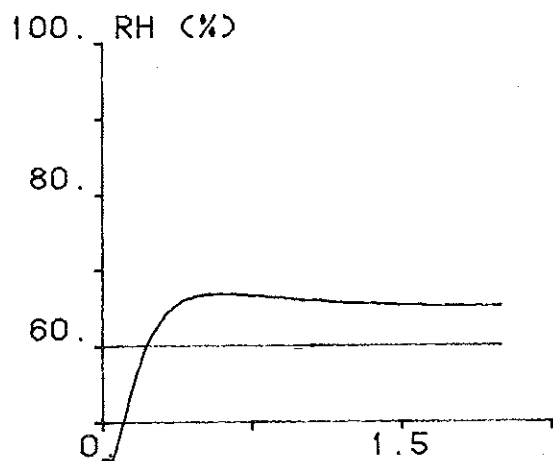
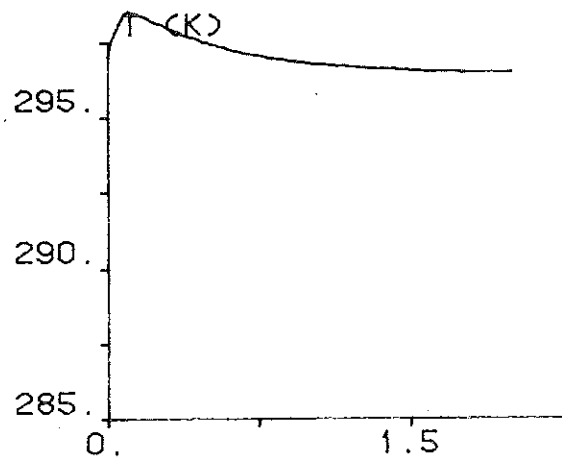
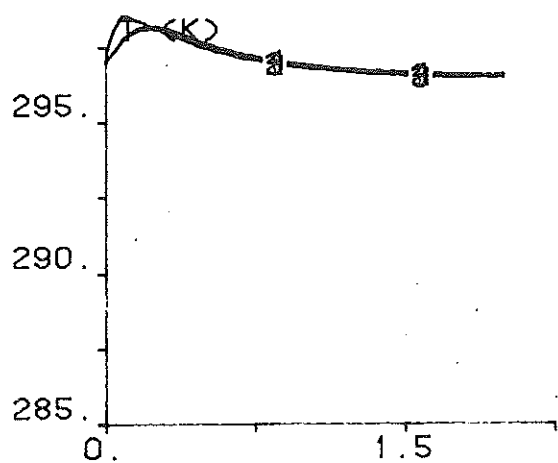
Simulering med två PI-regulatorer
 och sektionsvis reglering
 temperaturgivarna sitter 10m från resp gavel
 börvärde : 283 K
 vindhastighet : 0 m/s
 utetemperatur : 263 K
 förstärkning : 0.005 m²/K
 reset-time : 500
 samplingsintervall : 120 s

8.2.3 Frörum

Denna simulering har gjorts för att kunna sätta börvärdet optimalt med hänsyn till de relativa luftfuktigheten. Andra simuleringar visade att regulatorns förstärkning vid 0 °C skall vara 0.02 och att den skall minska med 0.0008 för varje grads sänkning av utomhustemperaturen. Någon framkoppling direkt från utomhustemperaturen till tilluftsdonen har inte gjorts.

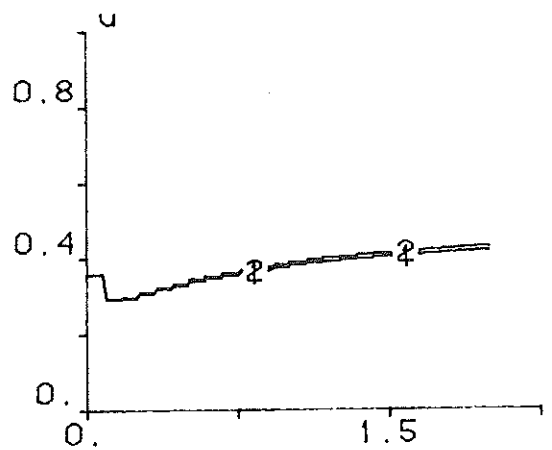
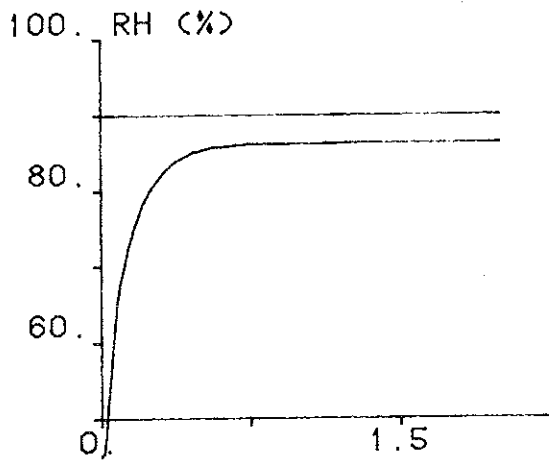
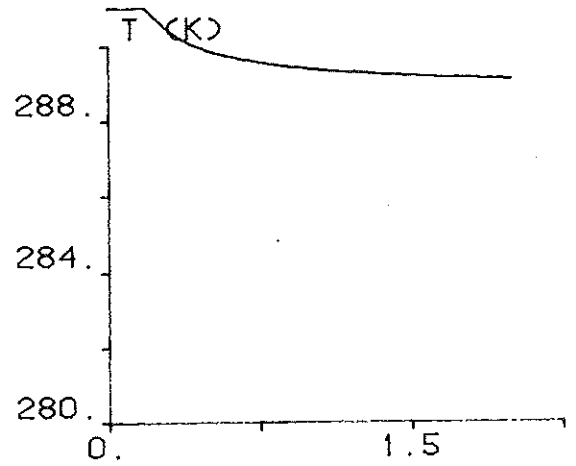
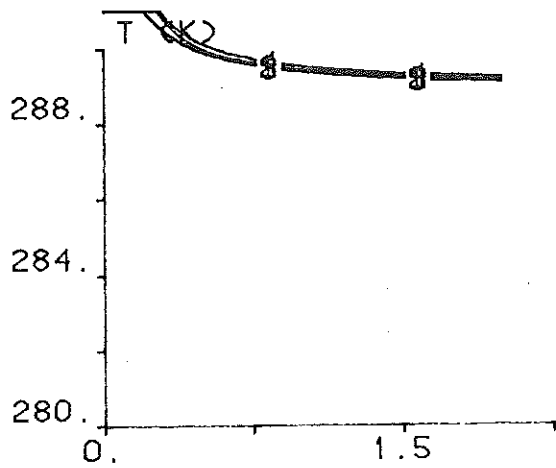


Luftfuktighetens beroende av inomhustemperaturen vid olika utomhustemperaturer.

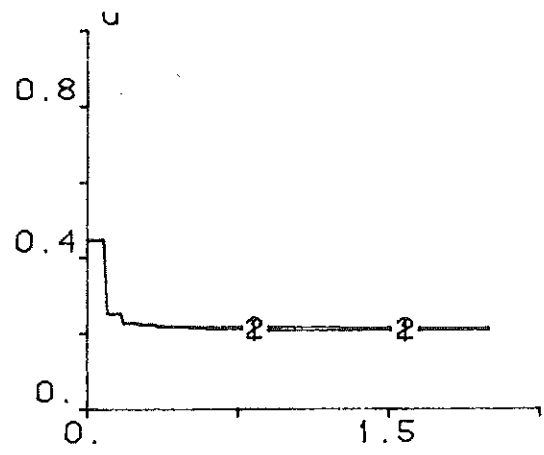
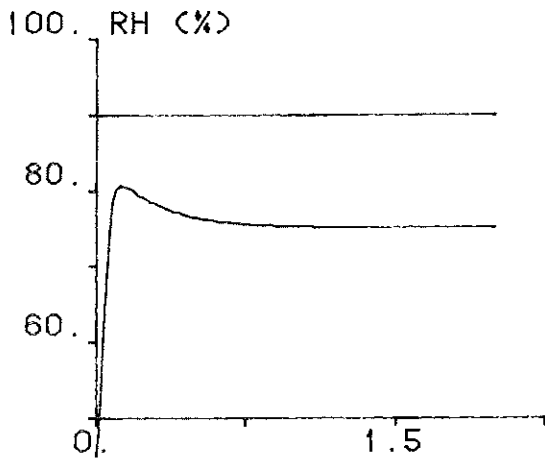
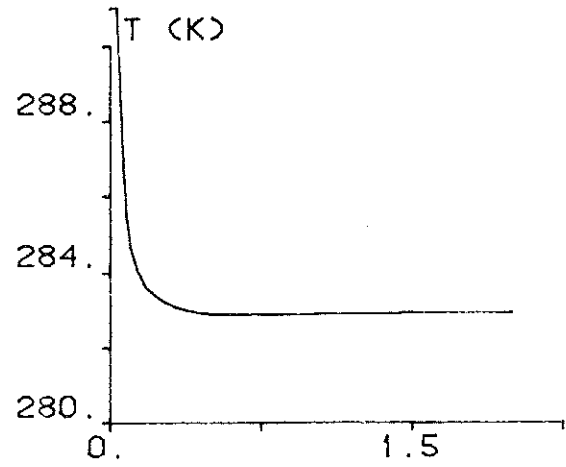
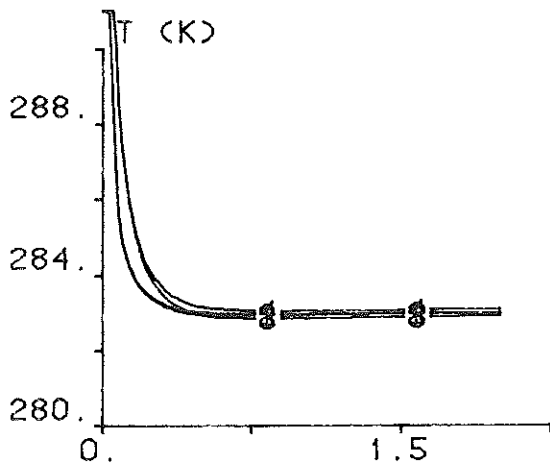


Simulering med två PI-regulatorer med
 multiplikativ framkoppling samt sektionsvis reglering
 temperaturgivarna sitter 3m från resp gavel
 börvärde : 283 K vid 273 K
 ökar med 0.6 K/K
 ute

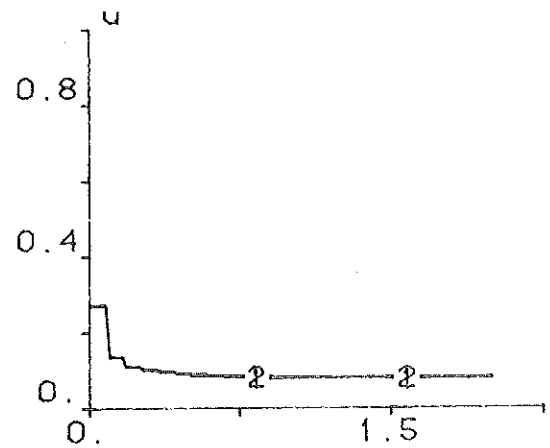
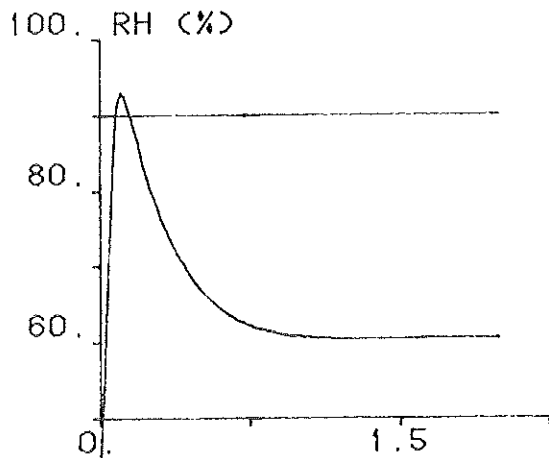
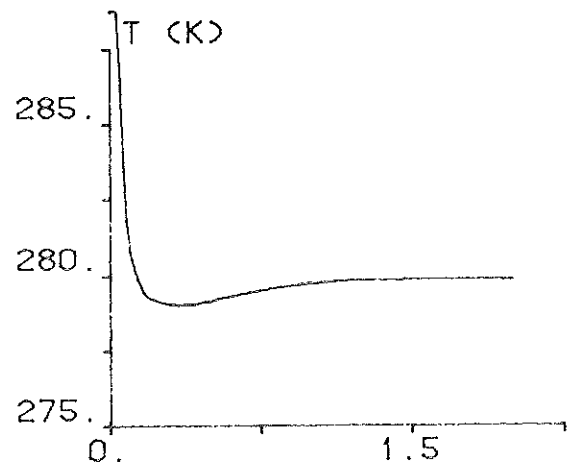
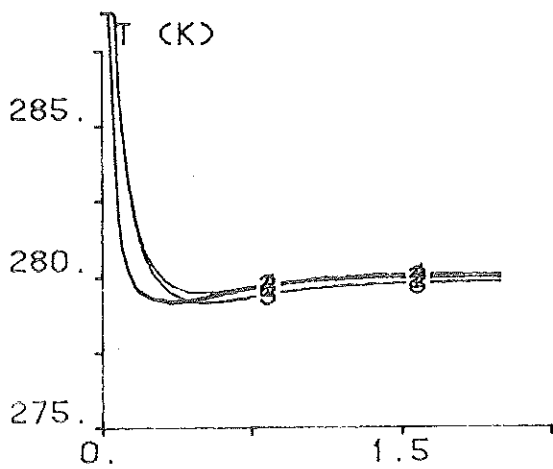
vindhastighet : 0 m/s
 utetemperatur : 293 K
 förstärkning vid 0°C: 1 m²/K
 reset-time : 500
 samplingsintervall : 300 s



Simulering med två PI-regulatorer
 multiplikativ framkoppling samt sektionvis reglering
 temperaturgivarna sitter 3m från resp gavel
 börvärde : 283 K vid 273 K
 ökar med 0.6 K/K
 ute
 vindhastighet : 0 m/s
 utetemperatur : 283 K
 förstärkning vid 0°C: 1 m²/K
 reset-time : 500
 samplingsintervall : 300 s

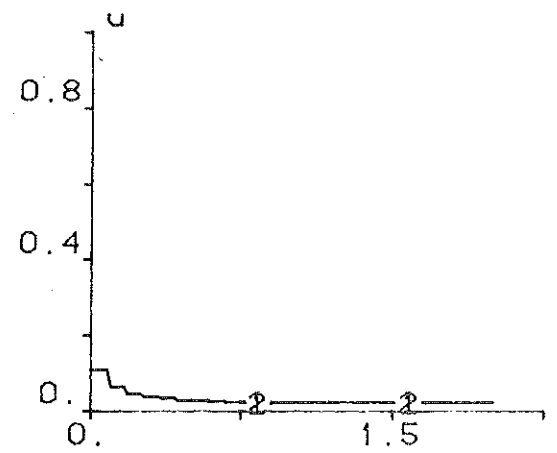
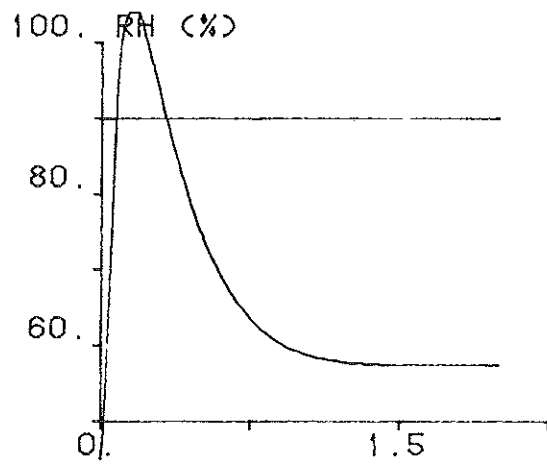
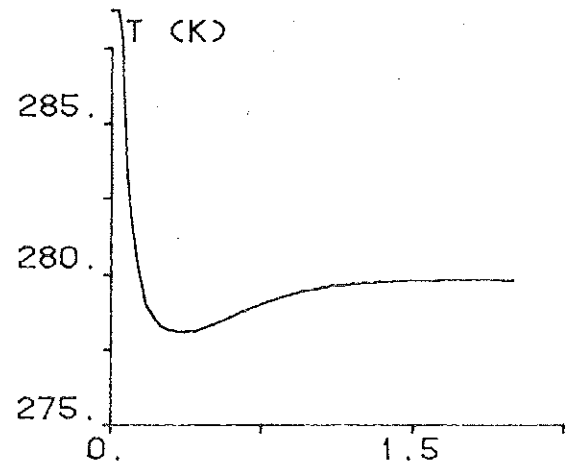
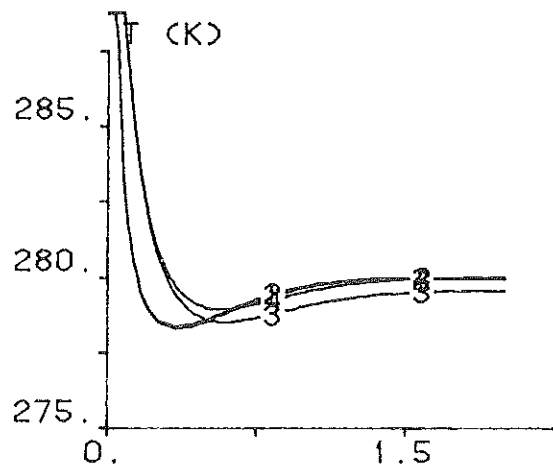


Simulering med två PI-regulatorer
 multiplikativ framkoppling samt sektionvis reglering
 temperaturgivarna sitter 3m från resp gavel
 börvärde : 283 K vid 273 K
 ökar med 0.6 K/K
 ute
 vindhastighet : 0 m/s
 utetemperatur : 273 K
 förstärkning vid 0°C: 1 m²/K
 reset-time : 500
 samplingsintervall : 300 s



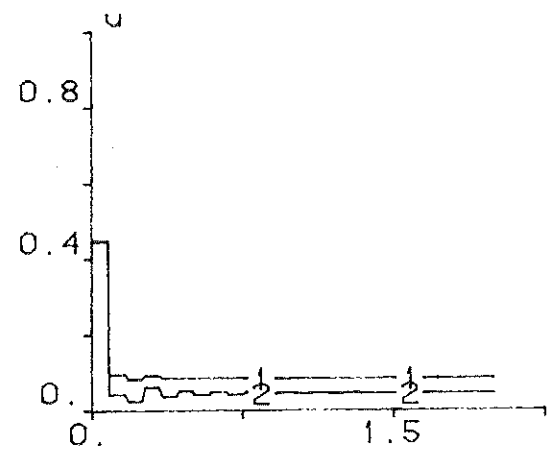
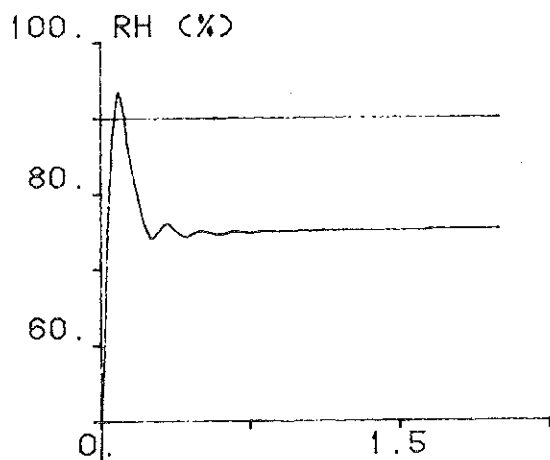
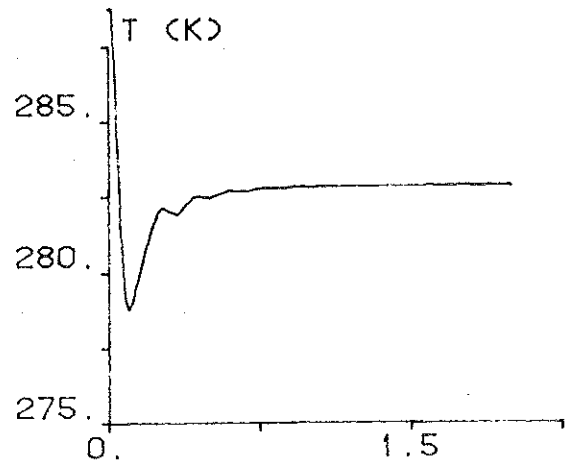
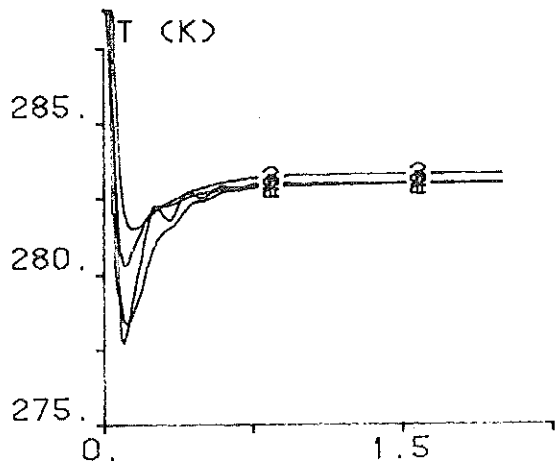
Simulering med två PI-regulatorer
 multiplikativ framkoppling samt sektionvis reglering
 temperaturgivarna sitter 3m från resp gavel
 börvärde : 283 K vid 273 K
 ökar med 0.6 K/K
 ute

vindhastighet : 0 m/s
 utetemperatur : 263 K
 förstärkning vid 0°C: 1 m²/K
 reset-time : 500
 samplingsintervall : 300 s



Simulering med två PI-regulatorer
 multiplikativ framkoppling samt sektionvis reglering
 temperaturgivarna sitter 3m från resp gavel
 börvärde : 283 K vid 273 K
 ökar med 0.6 K/K
 ute

vindhastighet : 0 m/s
 utetemperatur : 253 K
 förstärkning vid 0°C: 1 m²/K
 reset-time : 500
 samplingsintervall : 300 s



Simulering med två PI-regulatorer
 multiplikativ främkoppling samt sektionvis reglering
 temperaturgivarna sitter 3m från resp gavel
 börvärde : 283 K vid 273 K
 ökar med 0.6 K/K
 ute

vindhastighet : 4 m/s
 utetemperatur : 273 K
 förstärkning vid 0°C: 1 m²/K
 reset-time : 500
 samplingsintervall : 300 s

Simuleringarna visar att en reglering med PI-regulator där börvärdet och förstärkningen styrs av utomhustemperaturen ger en utmärkt reglering i ett sådant här stall, där ventilationens areor är väl dimensionerade. Den goda isoleringen av byggnaden gör att den relativa luftfuktigheten kan hållas väl nere.

Slutsatser och rekommendationer

9. SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER

I detta kapitel drages de slutsatser om simulering och reglering av djurstallar som examensarbetet har givit upphov till. Först behandlas simuleringsprogrammet och därefter regleringen av modellen.

Det simuleringsprogram som har utvecklats med detta examensarbete har visat sig kunna simulera djurstallar utrustade med naturlig ventilation på ett mycket tillfredsställande sätt. Det har en god flexibilitet när det gäller simulering av olika byggnader. Man kan enkelt variera byggnadens värmetröghet, dess k-värde, dess storlek och dess djurfördelning. Det är också enkelt att variera ventilationsanläggningens utformning, och att välja olika reglerstrategier. Simuleringarna i 8.2 av byggnader med helt olika tidskonstant (tre tiopotenser skiljer) visar att inga problem med programmets uppträdande uppstår. Temperaturfördelningarna i stallets längsled kan väl åskådliggöras med programmet, trots att mycket enkla antagande om deras uppkomst har gjorts. Här ligger dock modellens svaghet, eftersom en blandningskonstant, som inte är fysikaliskt härledd, har behövts sättas in. Denna osäkerhet påverkar inte den totala värmebalansen i stallen, och inte heller temperaturfördelningens principiella utseende, däremot är temperaturvariationerna storlek osäkra. Dock tål att upprepas att det endast gäller variationen, medeltemperaturen i stallen påverkas inte av denna osäkerhet. Programmet kan alltså sägas beskriva temperaturfördelningen mera kvalitativt än kvantitativt. Programbiblioteket kan enkelt byggas ut för att göra det möjligt att simulera andra djurslag än kor. Vidare är det också enkelt att prova andra regulatorer och andra ekvationer för ventilationen. Programmet kan alltså vara ett behändigt hjälpmedel för att simulera klimatet i projekterade byggnader.

Simuleringarna gjorda i kapitel 8 visar att om naturlig ventilation skall användas i kostallar måste stallen vara väl isolerat för att en godtagbar relativ luftfuktighet skall kunna uppnås, vidare skall till- och frånluftsareor vara betydligt större än de på Övedskloster. Byggnaden i Frörum visar sig vara väl lämpad för naturlig ventilation, den har tillräckligt lågt k-värde och tillräckligt stora areor för ventilationen.

De slutsatser som kan dragas ur simuleringarna på Övedskloster är att en I-regulator inte kan styra klimatet tillfredsställande. För att få en god reglering krävs en PI-regulator. Dock blir både börvärdet och regulatorförstärkningen en dålig kompromiss om inte framkoppling från utomhustemperaturen användes. Att införa additiv framkoppling från utomhustemperaturen är inte av någon större nytta. Detta

Slutsatser och rekommendationer

beror dels på att vindstörningarna är så stora att modellen blir alltför stort, dels på att störningarna från utomhustemperaturen är så långsamma att återkopplingen kan reglera bort den störningen. Eventuellt hade en framkoppling från vindhastigheten kunnat förbättra regleringen då den störningen har hög frekvens. Däremot kommer en framkoppling där regulatorns förstärkning är beroende av utomhustemperaturen att förbättra regleringen avsevärt. Detta eftersom den öppna kretsens förstärkning då kan hållas relativt konstant. Tidigare nämndes att stallets isolering var av betydelse för luftens relativa fuktighet. För att hålla den nere krävs även att temperaturen i stallet varierar med utomhustemperaturen och den relativa fuktigheten utomhus. Eftersom problemet med hög luftfuktighet i regel endast uppstår under vintern, då den relativa fuktigheten utomhus är konstant ungefär 90%, räcker det att låta börvärdet följa utomhustemperaturen. De simuleringar som har gjorts med en sådan regulator visar att vid normala luftfuktigheter utomhus kommer luftfuktigheten i Frörumstallet att ligga mellan 60-80% vilket är mycket tillfredsställande.

Att endast använda en regulator för regleringen av stallet har visat sig ge stora temperaturvariationer i stallets längsled, pga vindstörningar och ojämn värmebelastning. Simuleringarna visar att genom att reglera stallet i sektioner med flera regulatorer, kommer temperaturvariationerna att minskas. Temperaturgivarna bör placeras långt från varandra, men inte för nära gavlarna.

Sammanfattningsvis kan alltså sägas att:
Naturlig ventilation kan säkerställa att ett erforderligt klimat uppnås om

- byggnaden är välisolerad
- till- och frånluftsareor är större än vad som tidigare varit fallet
- regleringen sker med PI-regulatorer där förstärkningen och börvärdet framkopplas från utomhustemperaturen
- stallet delas in i sektioner som regleras separat

Appendix 1

Beräkning av k-värde och värmekapacitet för Övedskloster

Taket har utvändigt 6 mm eternit, 130 mm mineralull och invändigt en tunn plåt.

För k-värdet gäller:

$$\frac{1}{k_{\text{tak}}} = \frac{1}{\alpha_u} + \frac{d_e}{\lambda_e} + \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_i}$$

α_u = värmeövergångstalet för ute-tak = $8.8 \text{ W/m}^2\text{K}$

d_e = eternitens tjocklek = 6 mm

λ_e = lamda-värdet för eternit = 0.60 W/mK

d_i = isoleringens tjocklek = 130 mm

λ_i = lamda-värdet för mineralull = 0.050 W/mK

α_i = värmeövergångstalet för inne-tak = $7 \text{ W/m}^2\text{K}$

Med dessa värden insatta blir k-värdet:

$$k_{\text{tak}} = 0.35 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Väggarna består av 250 mm Leca block med ett λ -värde på 0.20 W/mK om α_i och α_u sättes samma som för taket blir k-värdet:

$$k_{\text{wall}} = 0.69 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Portarna k-värde uppgår till $5 \text{ W/m}^2\text{K}$ (F. Peterson 1978) och golvet värmeövergångstalet sättes till $10 \text{ W/m}^2\text{K}$ (K. Sällvik och C. Nilsson 1977).

För byggnadens värmekapacitet får summas takets bidrag.

Väggarna har en volym av 140 m^3 och en densitet (ρ) av 650

kg/m^3 samt en värmekapacitivitet av $900 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$. Den

inneslutna luftens volym är 4763 m^3 och dess densitet är 1.2

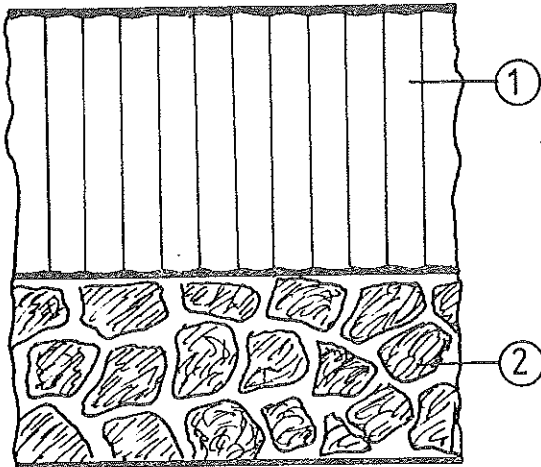
kg/m^3 samt dess värmekapacitivitet är $1000 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$. Detta

medför att byggnadens värmekapacitet blir:

$$M_{\text{tot}} = 140 \cdot 650 \cdot 900 + 4763 \cdot 1.2 \cdot 1000 = 46 \text{ MJ/K}$$

Beräkning av k-värde och värmekapacitet för en byggnad uppförd i gråsten med samma data i övrigt som Övedskloster

Appendix 1



1: planktak klätt med korrugerad plåt $k=1 \text{ W/m}^2\text{K}$ 2: vägg i gråsten

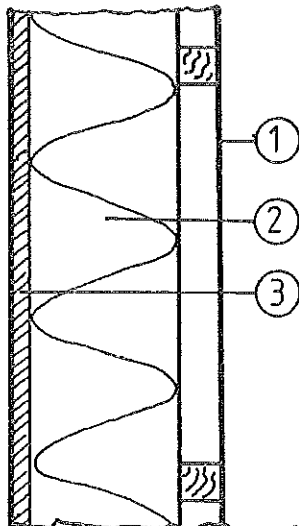
$$\alpha_u = 8.8 \text{ W/m}^2\text{K} \quad \alpha_i = 7 \text{ W/m}^2\text{K} \quad \lambda = 3 \text{ W/m}^2\text{K} \quad \rho = 27\,000 \text{ kg/m}^3 \quad c_p = 800$$

$$\text{J/kg}\cdot\text{K} \quad d = 0.5 \text{ m}$$

$k = 2.36 \text{ W/m}^2\text{K}$ väggens volym (V) blir 307 m^3

$$M_{\text{tot}} = V/2 \cdot \rho \cdot c_p = 3.3 \cdot 10^9 \text{ J/K}$$

Beräkning av k-värde och värmekapacitet för en byggnad uppförd av regeltyp med samma data i övrigt som Övedskloster



1: tunn stålplåt $\alpha_i = 5, \alpha_u = 10 \text{ W/m}^2\text{K}$ 2: 200 mm mineralull

$\lambda = 0.050 \text{ W/m}\cdot\text{K}$; $\alpha_u = 10 \text{ W/m}^2\text{K}$ 3: 18 mm spånskiva $\lambda = 0.15 \text{ W/m}\cdot\text{K}$;

$\alpha_i = 5 \text{ W/m}^2\text{K}$ dessa värden ger $k_{\text{vägg}} = 0.20 \text{ W/M}^2\text{K}$

Appendix 1

Väggarnas värmekapacitet Gullfibers densitet är 2.2 kg/m och spånskivans är 700 kg/M³. Väggarnas totala vikt blir då 6000 kg. Om luft spånskiva och Gullfiber antages ha samma värme- kapacitivet blir $M_{\text{vägg}} = 3 \cdot 10^6 + M_{\text{luft}} = 8.9 \cdot 10^6$

$$\Rightarrow M_{\text{tot}} = 1.2 \cdot 10^7 \text{ J/K}$$

Beräkning av k-värde och värmekapacitet för försöksbyggnaden i Frörum

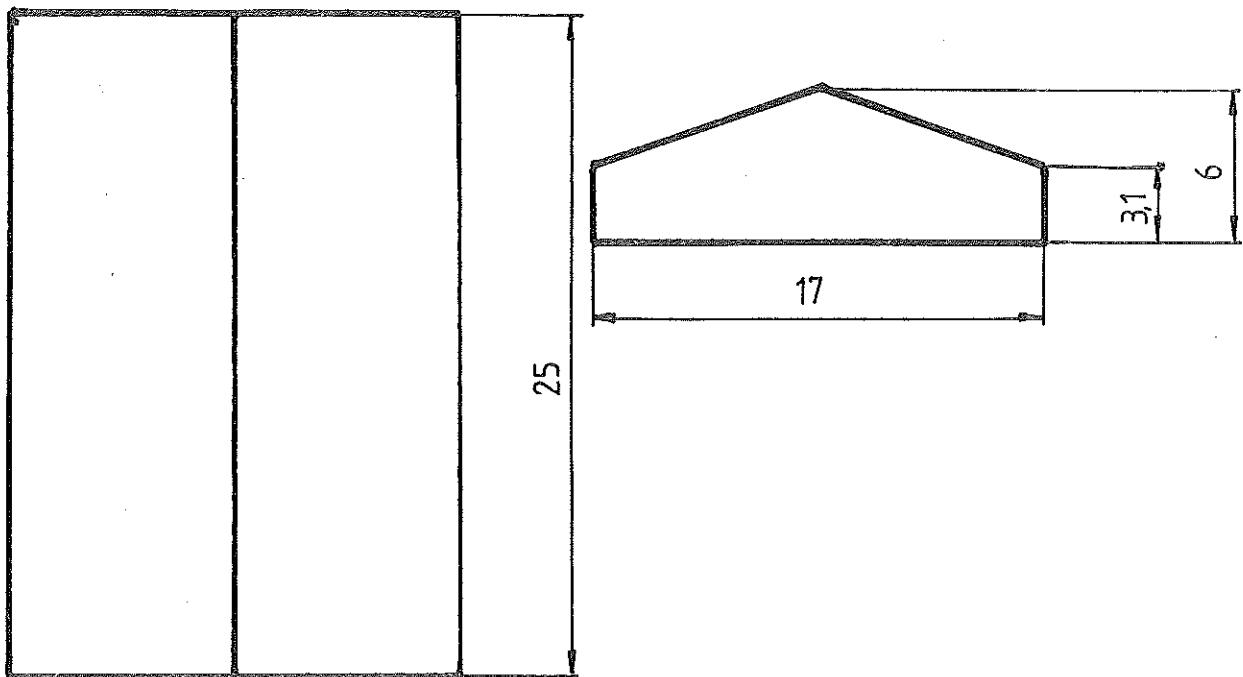


fig byggnadens yttermått

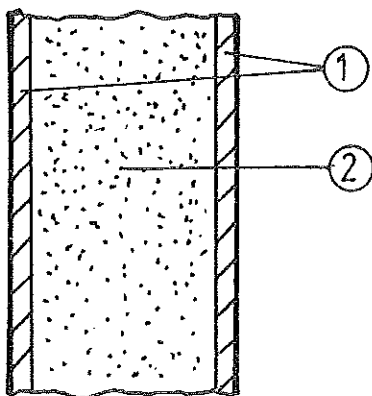


fig väggarnas konstruktion

Appendix 1

1: 12 mm spånskiva 2: 125 mm cellplast För spånskivan gäller

$$\alpha_i = 5 \text{ W/m}^2\text{K} \quad \alpha_u = 10 \text{ W/m}^2\text{K} \quad \lambda = 0.15 \text{ W/mK} \quad \rho = 700 \text{ kg/m}^3$$

För cellplasten gäller

$$\lambda = 0.022 \text{ W/m}\cdot\text{K} \quad \rho = 3 \text{ kg/m}^3 \quad c_p \approx 1000 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$$

Detta ger väggarnas k-värde $k = 0.17 \text{ W/m}^2\text{K}$

Som tak användes Lättelement som enligt fabrikanter har

$k = 0.12 \text{ W/m}^2\text{K}$ egenvikt $= 33 \text{ kg/m}^2$ värmekapaciteten antages till $c_p \approx 1000 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$

Väggarnas volym $\approx 42 \text{ m}^3 \Rightarrow M_{\text{vägg}} = 6.66 \cdot 10^6 \text{ J/K}$ Byggnadens

volym $\approx 193 \text{ m}^3 \Rightarrow M_{\text{luft}} = 2.32 \cdot 10^6 \text{ J/K}$ Takets area $= 449 \text{ m}^2$

$\Rightarrow M_{\text{tak}} = 2.32 \cdot 10^6 \text{ J/K} \Rightarrow M_{\text{tot}} = 13 \cdot 10^6 \text{ J/K}$

Appendix 2

Formel för bestämning av ventilationsflödet då en tryckskillnad förorsakad av vind finnes mellan till- och frånluftsdon

Inne i stallet finnes en tryckskillnad mellan till- och frånluftsdonen som är Δp_{in}

$$\Delta p_{in} = \Delta \rho \cdot g \cdot H$$

$\rho = \rho_1$ = luftens densitet index 1 vid tillluftsdonen och index 2 vid frånluftsdonen

g = tyngdaccelerationen

H = höjdskillnad mellan till- och frånluftsdon

Detta medför:

$$\Delta \rho \cdot g \cdot H + \Delta p_{vind} = \xi_1 \cdot \rho_1 \cdot v_1^2 + \xi_2 \cdot \rho_2 \cdot v_2^2$$

ξ_1 = engångsmotståndstal i tillluftsdonen

ξ_2 = engångsmotståndstal i frånluftsdonen

v_1 = lufthastigheten i tillluftsdonen

v_2 = lufthastigheten i frånluftsdonen

$$2 \cdot (\Delta \rho \cdot g \cdot H + \Delta p_{vind}) = \rho_2 \cdot \xi_2 \left[\frac{\xi_1 \cdot \rho_1 \cdot v_1^2}{\rho_2 \cdot \xi_2} + v_2^2 \right]$$

$$Q = v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2 \quad (\text{luftmängd in} = \text{luftmängd ut})$$

$$\frac{2 \cdot (\Delta \rho \cdot g \cdot H + \Delta p_{vind})}{\rho_2 \cdot \xi_2} = \frac{Q^2}{A_2^2} \left(\frac{\rho_1 \cdot \xi_1}{\rho_2 \cdot \xi_2} \cdot \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 + 1 \right)$$

$$\frac{\rho_1 \cdot T_1}{\rho_2 \cdot T_2} \quad \frac{353.2}{T_1}$$

$$\Rightarrow Q = A_2 \left[\left(\frac{2 \cdot \Delta T \cdot g \cdot H}{T_1 \cdot \xi_1} + \frac{2 \cdot p_{vind} \cdot T}{353.2 \cdot \xi_2} - 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{1 + \frac{T_2}{T_1} \cdot \frac{\xi_1}{\xi_2} \cdot \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

continuous system barn

" en modell av en byggnad med sjalvdragsventilation
 " foljande index: enkla index tex v1 galler i en sektion
 " dubbla index tex v12 galler mellan tva sektioner
 " referensriktningen ar fran 1 till 2

" q: flode (m3/s)

" v: hastighet (m/s)

" T: temperatur (K)

" P: effekt (W)

" X: luftens vatteninnehall (g/m3)

" x: stallets vattenomsattning (g/s)

input Pani1 Pani2 Pani3 Pani4 Pani5 Pani6 Pani7 Pani8

input q1 q2 q3 q4 q5 q6 q7 q8 Tout xout scalefkt Psun Xani

output Tin1 Tin2 Tin3 Tin4 Tin5 Tin6 Tin7 Tin8 RHin

state T1 T2 T3 T4 T5 T6 T7 T8 x

der dT1 dT2 dT3 dT4 dT5 dT6 dT7 dT8 dx

"

"***** byggnadens data *****

"***** dessa data skall fyllas i for varje byggnad *****

b:0 " bredd

l:0 " langd

h1:0 " hojd till takfot

h2:0 " hojd till taknock

kwall:0 " k-varde i vagg

Adoor1:0 " portarea i forsta gaveln

Adoor8:0 " portarea i andra gaveln

kdoor:0 " portens k-varde

kroof:0 " takets k-varde

alfa:0 " takets ref.koff

au:0 " varmeovergangstal tak-ute

Mtot:0 " byggnadens totala varmekap i Ws/K

"

"*****:*****

"***** dessa konstanter anger kopplingen mellan

" tva sektioner och kan bytas men behove ej *****

A:0.05 " nettoflodesterm, sorten: m3/K

mix:0.95 " blandningsforhallande, 0-0.95 qturb/(qturb+qout)

"*****:*****

Tin1=T1 "innetemp

Tin2=T2

Tin3=T3

Tin4=T4

Tin5=T5

Tin6=T6

Tin7=T7

Tin8=T8

T1:285 " initialvarde

T2:285

T3:285

T4:285

T5:285

T6:285

T7:285

T8:285

"foljande ekv beskriver temp i 8 olika sektioner i byggnaden

"Fn ar koppling mellan sektionerna pga ett nettoflode av luft

"FF ar koppling mellan sektionerna pga luftblandning

$dT1 = (Pani1 + Pwall1 + PQ1 + Kfloor/n + Proof - F1 * Ta1 + FF * (T2 - T1)) / M1$

$dT2 = (Pani2 + Pwall2 + PQ2 + Kfloor/n + Proof + F1 * Ta1 - F2 * Ta2 + FF * (T1 + T3 - 2 * T2)) / M1$

```

dT3=(Pani3+Pwall3+PQ3+Kfloor/n+Proof+F2*Ta2-F3*Ta3+FF*(T2+T4-2*T3))/M
dT4=(Pani4+Pwall4+PQ4+Kfloor/n+Proof+F3*Ta3-F4*Ta4+FF*(T3+T5-2*T4))/M
dT5=(Pani5+Pwall5+PQ5+Kfloor/n+Proof+F4*Ta4-F5*Ta5+FF*(T4+T6-2*T5))/M
dT6=(Pani6+Pwall6+PQ6+Kfloor/n+Proof+F5*Ta5-F6*Ta6+FF*(T5+T7-2*T6))/M
dT7=(Pani7+Pwall7+PQ7+Kfloor/n+Proof+F6*Ta6-F7*Ta7+FF*(T6+T8-2*T7))/M
dT8=(Pani8+Pwall8+PQ8+Kfloor/n+Proof+F7*Ta7+FF*(T7-T8))/M8
Pwall1=(Awall1*kwall1+Adoor1*kdoor)*(Tout-T1) " forluster i vaggar
Pwall2=(Awall*kwall)*(Tout-T2)
Pwall3=(Awall*kwall)*(Tout-T3)
Pwall4=(Awall*kwall)*(Tout-T4)
Pwall5=(Awall*kwall)*(Tout-T5)
Pwall6=(Awall*kwall)*(Tout-T6)
Pwall7=(Awall*kwall)*(Tout-T7)
Pwall8=(Awall8*kwall1+Adoor8*kdoor)*(Tout-T8)
PQ1=q1*cp*r*Tout-qout1*cp*r*Tb1 " forluster genom ventilationen
PQ2=q2*cp*r*Tout-qout2*cp*r*Tb2
PQ3=q3*cp*r*Tout-qout3*cp*r*Tb3
PQ4=q4*cp*r*Tout-qout4*cp*r*Tb4
PQ5=q5*cp*r*Tout-qout5*cp*r*Tb5
PQ6=q6*cp*r*Tout-qout6*cp*r*Tb6
PQ7=q7*cp*r*Tout-qout7*cp*r*Tb7
PQ8=q8*cp*r*Tout-qout8*cp*r*Tb8
qout1=q1-q12 " ventilationens franluftsflode
qout2=q2+q12-q23
qout3=q3+q23-q34
qout4=q4+q34-q45
qout5=q5+q45-q56
qout6=q6+q56-q67
qout7=q7+q67-q78
qout8=q8+q78
qtot=qout1+qout2+qout3+qout4+qout5+qout6+qout7+qout8 "tot vent flide
q12=v12*A " horisontellt nettoflode
q23=v23*A
q34=v34*A
q45=v45*A
q56=v56*A
q67=v67*A
q78=v78*A
v12=(T2-T1) " luftens horisontella hastighet
v23=(T3-T2)
v34=(T4-T3)
v45=(T5-T4)
v56=(T6-T5)
v67=(T7-T6)
v78=(T8-T7)
F1=q12*cp*r " koppling mellan sektionerna pga nettoflode i W/k
F2=q23*cp*r
F3=q34*cp*r
F4=q45*cp*r
F5=q56*cp*r
F6=q67*cp*r
F7=q78*cp*r
FF=qtot/8*mix/(1-mix)*r*cp " kopplingsfaktor mellan sektionerna
Ta1=if q12>0 then T1 else T2
Ta2=if q23>0 then T2 else T3
Ta3=if q34>0 then T3 else T4
Ta4=if q45>0 then T4 else T5
Ta5=if q56>0 then T5 else T6
Ta6=if q67>0 then T6 else T7

```

```

Ta7=if q78>0 then T7 else T8
Tb1=if qout1>0 then T1 else Tout
Tb2=if qout2>0 then T2 else Tout
Tb3=if qout3>0 then T3 else Tout
Tb4=if qout4>0 then T4 else Tout
Tb5=if qout5>0 then T5 else Tout
Tb6=if qout6>0 then T6 else Tout
Tb7=if qout7>0 then T7 else Tout
Tb8=if qout8>0 then T8 else Tout
***** fysikaliska värden av intresse
Tin=(T1+T2+T3+T4+T5+T6+T7+T8)/8 " medeltemperatur inne
r=353.2/Tin " luftens densitete
cp=1000 " luftens varmekapacitet J/K
g=9.81 " tyngdaccelerationen
n=8 " antal sektioner som byggnaden ar uppde
***** har beraknas vissa byggnadsdata
Volume=b*1*(h1+(h2-h1)/2)
Aroof=2*SQRT(b/2*b/2+(h2-h1)*(h2-h1))*1
Afloor=b*1
Awall1=b*h1+b/2*(h2-h1)-Adoor1+2*1/n*h1
Awall=2*1/n*h1
Awall8=b*h1+b/2*(h2-h1)-Adoor8+2*1/n*h1
Kfloor=Afloor*10 " varmeforlusterna i golvet antages till 10W/
scaleM=Mtot/scalefkt " skalad kapacitet
Atot=Awall1+Awall8+(n-2)*Awall " vaggarnas totala area
M1=Awall1/Atot*scaleM " de enskilda delarnas varmekapacitet
M=Awall/Atot*scaleM
M8=Awall8/Atot*scaleM
*****
***** har foljer en linjariserad modell av takets varmetransport
Troof=Term1/Term2
Term1=Psun*(Afloor/Aroof)*alfa+(4.2+au)*Tout+kroof*Tin+403.4
Term2=5.6+kroof+au
Proof=Aroof*kroof*(Troof-Tin)/n
*****
***** berakning av vattenhalten i stallet
dx=xout*qtot/Volume*scalefkt+Xani/Volume*scalefkt-x*qtot/Volume*scalefkt
xmax=EXP(-5103.7031/Tin+20.2717)
RHin=(5.75-0.016*Tin)*x/xmax*100 "luftfuktighet korrigerad
xmax1=EXP(-5103.7031/Tin1+20.2717)
RHin1=(5.75-0.016*Tin1)*x/xmax1*100 "luftfuktighet i sektion 1
xmax2=EXP(-5103.7031/Tin2+20.2717)
RHin2=(5.75-0.016*Tin2)*x/xmax2*100 "luftfuktighet i sektion 2
xmax3=EXP(-5103.7031/Tin3+20.2717)
RHin3=(5.75-0.016*Tin3)*x/xmax3*100 "luftfuktighet i sektion 3
xmax4=EXP(-5103.7031/Tin4+20.2717)
RHin4=(5.75-0.016*Tin4)*x/xmax4*100 "luftfuktighet i sektion 4
xmax5=EXP(-5103.7031/Tin5+20.2717)
RHin5=(5.75-0.016*Tin5)*x/xmax5*100 "luftfuktighet i sektion 5
xmax6=EXP(-5103.7031/Tin6+20.2717)
RHin6=(5.75-0.016*Tin6)*x/xmax6*100 "luftfuktighet i sektion 6
xmax7=EXP(-5103.7031/Tin7+20.2717)
RHin7=(5.75-0.016*Tin7)*x/xmax7*100 "luftfuktighet i sektion 7
xmax8=EXP(-5103.7031/Tin8+20.2717)
RHin8=(5.75-0.016*Tin8)*x/xmax8*100 "luftfuktighet i sektion 8
END

```

```

continuous system animal
output Pani1 Pani2 Pani3 Pani4 Pani5 Pani6 Pani7 Pani8 Xani
input T1 T2 T3 T4 T5 T6 T7 T8
n1:0 "antal mjolkande kor i sektion 1
m1:0 "antal icke mjolkande kor i sektion 1
n2:0
m2:0
n3:0
m3:0
n4:0
m4:0
n5:0
m5:0
n6:0
m6:0
n7:0
m7:0
n8:0
m8:0
massn:0 "medelvikt pa mjolkande kor
massm:0 "medelvikt pa icke mjolkande djur
"*****
"***** berakning av kornas avgivna varme
Pnomilk1=m1*(1450+11.4*massm-0.037*massm*T1-4.7*T1)
Pmilk1=n1*(5850+7.7*massn-0.025*massn*T1-19*T1)
Pani1=Pnomilk1+Pmilk1
Pnomilk2=m2*(1450+11.4*massm-0.037*massm*T2-4.7*T2)
Pmilk2=n2*(5850+7.7*massn-0.025*massn*T2-19*T2)
Pani2=Pnomilk2+Pmilk2
Pnomilk3=m3*(1450+11.4*massm-0.037*massm*T3-4.7*T3)
Pmilk3=n3*(5850+7.7*massn-0.025*massn*T3-19*T3)
Pani3=Pnomilk3+Pmilk3
Pnomilk4=m4*(1450+11.4*massm-0.037*massm*T4-4.7*T4)
Pmilk4=n4*(5850+7.7*massn-0.025*massn*T4-19*T4)
Pani4=Pnomilk4+Pmilk4
Pnomilk5=m5*(1450+11.4*massm-0.037*massm*T5-4.7*T5)
Pmilk5=n5*(5850+7.7*massn-0.025*massn*T5-19*T5)
Pani5=Pnomilk5+Pmilk5
Pnomilk6=m6*(1450+11.4*massm-0.037*massm*T6-4.7*T6)
Pmilk6=n6*(5850+7.7*massn-0.025*massn*T6-19*T6)
Pani6=Pnomilk6+Pmilk6
Pnomilk7=m7*(1450+11.4*massm-0.037*massm*T7-4.7*T7)
Pmilk7=n7*(5850+7.7*massn-0.025*massn*T7-19*T7)
Pani7=Pnomilk7+Pmilk7
Pnomilk8=m8*(1450+11.4*massm-0.037*massm*T8-4.7*T8)
Pmilk8=n8*(5850+7.7*massn-0.025*massn*T8-19*T8)
Pani8=Pnomilk8+Pmilk8
"*****
"***** berakning av kornas fuktavgivning
Ptot=Pani1+Pani2+Pani3+Pani4+Pani5+Pani6+Pani7+Pani8
Tin=(T1+T2+T3+T4+T5+T6+T7+T8)/8
Xani=Ptot/500*EXP(0.1566*Tin-38.92)/3600
END

```



```

continuous system natvent
input T1 T2 T3 T4 T5 T6 T7 T8 Tout Vwind direct scalefkt
input regul1 regul2 regul3 regul4 regul5 regul6 regul7 regul8
output q1 q2 q3 q4 q5 q6 q7 q8
state Ain1 Ain2 Ain3 Ain4 Ain5 Ain6 Ain7 Ain8
der dAin1 dAin2 dAin3 dAin4 dAin5 dAin6 dAin7 dAin8
"***** data som bestammer ventilationsflodet *****
H:0 " hojdskillnad mellan tilluftsdon och franluftsdon
e1:0 " engangsmotstand for tilluftsdon
e2:0 " - " - franluftsdon
Aout:0 " total franluftsarea
Ainmin:0 " minsta tillopsarea
Ainmax:0 " storsta tillopsarea
Tau:0 "spjallets tidskonst
"*****
n:8 "systemet uppdelat i 8 sektioner
Pdiff=(353.2/Tout*Vwind*Vwind/2)/4
j=if direct(0.5 then 1 else n
deltaP=Pdiff/j
q1=A2*sqrt(ABS(TERMa1*TERMb1))*sign(TERMa1)+q0 " luftflodet horisontellt
q2=A2*sqrt(ABS(TERMa2*TERMb2))*sign(TERMa2)+q0
q3=A2*sqrt(ABS(TERMa3*TERMb3))*sign(TERMa3)+q0
q4=A2*sqrt(ABS(TERMa4*TERMb4))*sign(TERMa4)+q0
q5=A2*sqrt(ABS(TERMa5*TERMb5))*sign(TERMa5)+q0
q6=A2*sqrt(ABS(TERMa6*TERMb6))*sign(TERMa6)+q0
q7=A2*sqrt(ABS(TERMa7*TERMb7))*sign(TERMa7)+q0
q8=A2*sqrt(ABS(TERMa8*TERMb8))*sign(TERMa8)+q0
q0:0.07
TERMa1=2*g*H*(T1-Tout)/(Tout*e2)+2*deltaP/(353.2/T1*e2) "353.2/T=luft.dens
TERMb1=1/(1+T1/Tout*e1/e2*A2*A2/Ain1/Ain1)
TERMa2=2*g*H*(T2-Tout)/(Tout*e2)+2*deltaP*2/(353.2/T2*e2) "353.2/T=luft.dei
TERMb2=1/(1+T2/Tout*e1/e2*A2*A2/Ain2/Ain2)
TERMa3=2*g*H*(T3-Tout)/(Tout*e2)+2*deltaP*3/(353.2/T3*e2) "353.2/T=luft.dei
TERMb3=1/(1+T3/Tout*e1/e2*A2*A2/Ain3/Ain3)
TERMa4=2*g*H*(T4-Tout)/(Tout*e2)+2*deltaP*4/(353.2/T4*e2) "353.2/T=luft.dei
TERMb4=1/(1+T4/Tout*e1/e2*A2*A2/Ain4/Ain4)
TERMa5=2*g*H*(T5-Tout)/(Tout*e2)+2*deltaP*5/(353.2/T5*e2) "353.2/T=luft.dei
TERMb5=1/(1+T5/Tout*e1/e2*A2*A2/Ain5/Ain5)
TERMa6=2*g*H*(T6-Tout)/(Tout*e2)+2*deltaP*6/(353.2/T6*e2) "353.2/T=luft.dei
TERMb6=1/(1+T6/Tout*e1/e2*A2*A2/Ain6/Ain6)
TERMa7=2*g*H*(T7-Tout)/(Tout*e2)+2*deltaP*7/(353.2/T7*e2) "353.2/T=luft.dei
TERMb7=1/(1+T7/Tout*e1/e2*A2*A2/Ain7/Ain7)
TERMa8=2*g*H*(T8-Tout)/(Tout*e2)+2*deltaP*8/(353.2/T8*e2) "353.2/T=luft.dei
TERMb8=1/(1+T8/Tout*e1/e2*A2*A2/Ain8/Ain8)
g:9.81
A2=Aout/n
Amax=Ainmax/n
Amin=Ainmin/n
K=scalefkt/Tau
Ain1:0.01 " initialvarde
Ain2:0.01
Ain3:0.01
Ain4:0.01
Ain5:0.01
Ain6:0.01
Ain7:0.01
Ain8:0.01
dAin1=K*(regul1-(Ain1-Amin)/(Amax-Amin))
dAin2=K*(regul2-(Ain2-Amin)/(Amax-Amin))

```

```
dAin3=K*(regul3-(Ain3-Amin)/(Amax-Amin))
dAin4=K*(regul4-(Ain4-Amin)/(Amax-Amin))
dAin5=K*(regul5-(Ain5-Amin)/(Amax-Amin))
dAin6=K*(regul6-(Ain6-Amin)/(Amax-Amin))
dAin7=K*(regul7-(Ain7-Amin)/(Amax-Amin))
dAin8=K*(regul8-(Ain8-Amin)/(Amax-Amin))
Aintot=Ain1+Ain2+Ain3+Ain4+Ain5+Ain6+Ain7+Ain8
END
```

```
continuous system climat
input scalefkt
output Psun Tout Vwind direct xout
time tid
t=tid/86400*scalefkt
Twint:273 "meddeltemp vinter
Tsum:289 "meddeltemp sommar
TAw:3 "temp var natt dag pa vintern
TAs:10 "temp var natt dag pa sommaren
dir:1 "0 eller 1 for tvars byggnaden eller langs
wind:0
RHout:40 "%"
Vwind=wind
direct=dir
*****
cycle1=-cos(w1*t) "dygncykel
cycle2=sin(w2*(t-30))*sin(w2*(t-30)) "ars cykel
"t ar tid i dygn
w1:6.2831853
w2=w1/365/2
***** soleffekt
Pmax=200+700*cycle2 "soleffekt kl12 under aret
P1=Pmax-900*(1-cycle1)
Psun=max(0,P1)
***** utetemperatur
T1=Twint+(Tsum-Twint)*cycle2
T2=TAw/2+(TAs-TAw)/2*cycle2
T3=T2*cycle1
Tout=T1+T3
***** luftfuktighet
xout=RHout/100*EXP(-5103.7031/Tout+20.2717)
Psol:0 "dummy namn utan funktion
Tute:0
END
```

```
continuous system climat
input scalefkt
output Psun Tout Vwind direct xout
time tid
t=tid/86400*scalefkt
Twint:273 "meddeltemp vinter
Tsum:289 "meddeltemp sommar
TAw:3 "temp var natt dag pa vintern
TAs:10 "temp var natt dag pa sommaren
dir:1 "0 eller 1 for tvars byggnaden eller langs
wind:0
RHout:40 "%"
Vwind=wind
direct=dir
*****
cycle1=-cos(w1*t) "dygncykel
cycle2=sin(w2*(t-30))*sin(w2*(t-30)) "ars cykel
"t ar tid i dygn
w1:6.2831853
w2=w1/365/2
***** soleffekt
Pmax=200+700*cycle2 "soleffekt kl12 under aret
P1=Pmax-900*(1-cycle1)
Psun=0
***** utetemperatur
T1=Twint+(Tsum-Twint)*cycle2
T2=TAw/2+(TAs-TAw)/2*cycle2
T3=T2*cycle1
Tout=T1+T3
***** luftfuktighet
xout=RHout/100*EXP(-5103.7031/Tout+20.2717)
Psol:0 "dummy namn utan funktion
Tute:0
END
```

```
continuous system climat
input scalefkt
output Psun Tout Vwind direct xout
time t
Psol:0 " soleffekt
Tute:273
wind:0 " vindhastighet i m/s
dir:0 " vindriktning 0 eller 1
RHout:90 " relativa luftfuktigheten
Psun=Psol
Tout=Tute
Vwind=wind
direct=dir
xout=RHout*EXP(-5103.7031/Tout+20.2717)/100
Twint:0 " dummy namn som inte har ngn funktion i detta system
Tsum:0
TAw:0
TAs:0
w1:0
w2:0
END
```

```
discrete system regul
" PI-regulator med framkoppling och antireset windup
" fran KJ.Astrom och B.Wittenmark Computer Control Theory
input T1 T2 T3 T4 T5 T6 T7 T8 Tout RHin scalefkt
output regul1 regul2 regul3 regul4 regul5 regul6 regul7 regul8
state in1
new nil
time t
tsamp ts
e1=Tm1-Tref
i1=in1+k*e1*h/tid
v1=P*k*e1+I*i1+Fk
out1=if v1<vmin then vmin else if v1<vmax then v1 else vmax
nil=i1+out1-v1
out2:0
ts=t+h/scalefkt
h:120 " samplingsintervall i sekunder
Tref=max(Tmin,ref) " borvarde
ref=(Tout-273)*deltaT+T0
T0: 285
Tmin:283
deltaT:0
tid:600 " reset time
vmin:0 " minbegransning utsignal
vmax:1 " maxbegransning --"
k=k0*((Tout-273)*deltak+1)
Fk=(Tout-273)*deltaFk+Fk0
P:1 " P del on/off
I:1 " I --"
k0:1
deltak:0
deltaFk:0
Fk0:0
manuell:0.5
regul1=regul5
regul2=regul5
regul3=regul5
regul4=regul5
regul5=if (I+P+Fk)<0.01 then manuell else out1
regul6=regul5
regul7=regul5
regul8=regul5
Tm1=T5
END
```

```
discrete system regul
" PI-regulator med framkoppling och antireset windup
" fran KJ.Astrom och B.Wittenmark Computer Control Theory
input T1 T2 T3 T4 T5 T6 T7 T8 Tout RHin scalefkt
output regul1 regul2 regul3 regul4 regul5 regul6 regul7 regul8
state ini in2
new ni1 ni2
time t
tsamp ts
e1=Tm1-Tref
i1=ini+k*e1*h/tid
v1=P*k*e1+I*i1+Fk
out1=if v1<vmin then vmin else if v1<vmax then v1 else vmax
ni1=i1+out1-v1
e2=Tm2-Tref
i2=in2+k*e2*h/tid
v2=P*k*e2+I*i2+Fk
out2=if v2<vmin then vmin else if v2<vmax then v2 else vmax
ni2=i2+out2-v2
ts=t+h/scalefkt
h:120 " samplingsintervall i sekunder
Tref=max(Tmin,ref) " borvarde
ref=(Tout-273)*deltaT+T0
T0:285
Tmin:283
deltaT:0
k0:0.5 " prop forstarkning
tid:500 " reset time
vmin:0 " minbegransning utsignal
vmax:1 " maxbegransning "--
P:1 " P del on/off
I:1 " I "--
Fk0:0 " framkoppling
deltafk:0
deltak:0
k=k0*((Tout-273)*deltak+1)
Fk=(Tout-273)*deltafk+Fk0
manuell:0.5
regul1=regul3
regul2=regul3
regul3=if (I+P+Fk)<0.01 then manuell else out1
regul4=regul3
regul5=regul6
regul6=if (I+P+Fk)<0.01 then manuell else out2
regul7=regul6
regul8=regul6
Tm1=T2
Tm2=T7
end
```

```
connecting system sect8
Pani1[barn]=Pani1[animal]
Pani2[barn]=Pani2[animal]
Pani3[barn]=Pani3[animal]
Pani4[barn]=Pani4[animal]
Pani5[barn]=Pani5[animal]
Pani6[barn]=Pani6[animal]
Pani7[barn]=Pani7[animal]
Pani8[barn]=Pani8[animal]
Xani[barn]=Xani[animal]
q1[barn]=q1[natvent]
q2[barn]=q2[natvent]
q3[barn]=q3[natvent]
q4[barn]=q4[natvent]
q5[barn]=q5[natvent]
q6[barn]=q6[natvent]
q7[barn]=q7[natvent]
q8[barn]=q8[natvent]
xout[barn]=xout[climat]
Psun[barn]=Psun[climat]
Tout[barn]=Tout[climat]
scalefkt[barn]=skala
T1[animal]=Tin1[barn]
T2[animal]=Tin2[barn]
T3[animal]=Tin3[barn]
T4[animal]=Tin4[barn]
T5[animal]=Tin5[barn]
T6[animal]=Tin6[barn]
T7[animal]=Tin7[barn]
T8[animal]=Tin8[barn]
T1[natvent]=Tin1[barn]
T2[natvent]=Tin2[barn]
T3[natvent]=Tin3[barn]
T4[natvent]=Tin4[barn]
T5[natvent]=Tin5[barn]
T6[natvent]=Tin6[barn]
T7[natvent]=Tin7[barn]
T8[natvent]=Tin8[barn]
regul1[natvent]=regul1[regul]
regul2[natvent]=regul2[regul]
regul3[natvent]=regul3[regul]
regul4[natvent]=regul4[regul]
regul5[natvent]=regul5[regul]
regul6[natvent]=regul6[regul]
regul7[natvent]=regul7[regul]
regul8[natvent]=regul8[regul]
direct[natvent]=direct[climat]
Tout[natvent]=Tout[climat]
Vwind[natvent]=Vwind[climat]
scalefkt[natvent]=skala
scalefkt[climat]=skala
RHin[regul]=RHin[barn]
T1[regul]=Tin1[barn]
T2[regul]=Tin2[barn]
T3[regul]=Tin3[barn]
T4[regul]=Tin4[barn]
T5[regul]=Tin5[barn]
T6[regul]=Tin6[barn]
T7[regul]=Tin7[barn]
```



```
T8[regul]=Tin8[barn]
Tout[regul]=Tout[climat]
scalefkt[regul]=skala
skala:1 "valj 1 for s 3600 for h 86400 for dygn
END
```

Litteratur

- J.M. Bruce
J.J. Clark
Models of heat production and critical temperature for growing pigs.
The Scottish Farm Building Investigation Unit, Aberdeen, AB2 9TR
- D.R. Charles
Practical ventilation and temperature control for poultry.
Agricultural Development and Advisory Sharlow, Derby
- U. Isacson
K. Sällvik
Enkla tilluftskanaler för undertrycksventilation i djurstallar.
Specialmeddelande 78, LBT Lund 1978
- L. Jensen
Digital reglering av klimatprocesser
Department of Automatic Control LTH
Lund 1978
- C. Nilsson
K. Sällvik
Beräkning av energiförbrukning för uppvärmning och ekonomiskt val av värmeisolerings i svinstallar.
Specialmeddelande 66, LBT Lund 1977
- S. Olofsson
Naturlig ventilation av djurstallar
LBT Lund, ej publicerad
- I. Otterlund
Fysik I. LTH Lund 1974
- S. Pedersen
F. Möller
Vanddampproduktionen i husdyrstalde i praksis.
Ugeskrift for Jordbrug 42 1979
- S. Pedersen
J.S. Ström
Staldtemperaturens inflydelse på den relative luftfugtigheden.
Tolvmandsbladet 3 1977
- F. Petersson
Värmebehovsberäkningar. Uppvärmning och ventilationsteknik.
KTH kompendium I:1 Stockholm 1978
- J.S. Ström
Ändret dimensioneringsgrundlag för staldventilation.
Tolvmandsbladet 2 1978
- K. Sällvik
Principles for mechanical exhaust ventilation systems in animal houses.
Rapport 8, LBT Lund 1979
- C. Ulvås
Energi
Läromedelsförlaget teknik och ekonomi
Lund 1969

Litteratur

A.J.F. Webster Optimal housing criteria for animals
Department of animal husbandry
University of Bristol

K.J. Aström Reglerteori
Almqvist&Wiksell Uppsala 1976

K.J. Aström Computer Control Theory
B. Wittenmark Department of Automatic Control LTH
Lund 1982

Svensk Byggnorm 1975

Tidigare examensarbeten vid institutionen

Krister Sällvik	Ventilationsundersökning vintern 1963-64 (1966)
Sven-Olof Månsson	Utnyttjande av det befintliga ekonomibyggnadsbeståndet (1967)
Lennart Ling	Upphandlingsformer för lantbruksbyggnader (1969)
Evert Olsson	Ett försök till ekonomisk särvärdering av lantbrukets byggnader i Blekinge län (1970)
Ake Skaborn	Inventering, ekonomisk bedömning samt utvecklingsmöjligheter för ett byggvaruregister avsett för lantbrukets ekonomibyggnader (1970)
Christer Nilsson	Inventering av ny- och ombyggda suggstallar i Skåne (1970)
Per Dahlström	Inventering av ny- och ombyggda suggstallar i Mälardalslän (1971)
Lars Pålsson	Svinstallsinredningar (1971)
Jonas Carlander	Slaktsvinstallar - resultat av en inventering (1971)
Lars Helgstrand	Förslag till planeringsmetod för lantbruksbyggnader (1971)
Ulf Johansson	Utfodringsutrustningar i slaktsvinstallar (1971)
Lars-Ove Jonsson	Funktionsstudier av behandlingsavdelningar i lösdriftstallar för mjölkkor (1971)
Claes Wallenborg	Sträckmetall och dess användning som golvmaterial i svinstall (1971)
Gunnar Alm	Årskostnaderna för lantbrukets ekonomibyggnader (1972)
Jan-Olof Sannö	Organisationsproblem i integrerad svinproduktion (1972)
Lennart Pettersson	Fixerad eller lösgående sinsugga. En beteendestudie (1973)
John Wessman	Skadeinventering av invändiga beklädnadsmaterial (1974)

- | | | |
|--|---------------------------------|---|
| | Jan Fimmerstad | De expanderande mjölkbesättningsarnas byggnadsproblem (1974) |
| | Göran Hellqvist | Lantbrukaren som fritidshusbyggare (1975) |
| | Ulf Karlsson | Predisponerande faktorer för spenkramp (1975) |
| | Pavel Starec | Gasbetong i lantbruksbyggnader - en byggnadsteknisk funktionsstudie (1976) |
| | Kjell Gustavsson | Förslitningspunkter - slaktsvinställ (1977) |
| | Åsa Rejkestam och Bodil Cornell | Getskötseln i Sverige 1975/76. Inventering av utfodring, skötsel och närmiljö. Publicerad vid Inst. för Husdjurens Utfodring och vård. Rapport nr 47, 1977. |
-
- | | | |
|----|--|--|
| 24 | Margareta Bäckström | Närmiljöns inverkan på beteende hos kalvar och ungdjur av mjölkkoras (1977) |
| 25 | Tommy Bergström | Kostnadsminimering av värmetransmissionsförluster för djurstallar - principer - ADB-ansats och körnings-exempel (1977) |
| 26 | Catharina Svala | Exteriöra förändringar på halländska lantbruksbyggnader under de senaste 10-15 åren (1978) |
| 27 | Håkan Örberg | Inventering av mjölkstallar i Västernorrlands län med hänsyn till klimatbetingade problem (1978) |
| 28 | Anders Ehrlemark och Annigun Wedin | Närmiljön i svinstallar. Litteraturstudie och förslag till praktisk värderingsmetodik (1978) |
| 29 | Mariana Femling | Upplandsgårdens byggnadsbestånd - gårdsbild - utnyttjandegrad - framtida användning (1978) |
| 30 | Gunnar Israelsson och PerArne Mattsson | Foderliggbåsstallar (1979) |
| 31 | Mats Jeppsson | Beteendestudier på lösgående och fixerade sinsugor under samma skötsel-, utfodrings- och stallförhållanden (1979) |
| 32 | Nils Jonsson | Mjölkornas dricksvattenförsörjning (1980) |

- 34 Alf Gustavsson Boardbalkar för lantbruksbyggnader (1980)
- 35 Lennart Javelius Mätinstrument för uppbundna kors närmiljö (1980)
- 36 Karin Granström Orsaker till olika produktionsresultat i smågrisbesättningar. En fältstudie (1981)
- 37 Gunnel Persson Resnings- och lägningsrörelser på suggor samt beteendestudier med ETM-teknik på lös-gående och fixerade sinsuggor under samma miljöförhållanden (1981)
- 38 Pernilla Salevid Arbetsförbrukning och ekonomi vid lagring och eldning av flis och halm på familjejordbruk (1981)
- 39 Kristina Hedin Byggprocessen vid egen regi bygge - lantbrukare intervjuade (1981)
- 40 Torbjörn Andersson Vatten till slaktsvin - dimensionerande värden för projektering av vattningssystem (1981)
- 41 P Jonsson Varmluftstorkning av spannmål med värmestillskott genom solfångare (1981)
- 42 Lennart Axelsson Planeringsmått för lantbrukets driftsbyggnader. Ett förslag till metod för en mått-sammanställning (1982)
- 43 Bengt Nilsson Fiber- och lättballastbetong för lantbruket (1982)
- 44 Pernilla Fajersson Bensskador på smågrisar beroende på underlaget i boxarna - en jämförelse mellan tre olika golvtyper (1982)
- 45 Kristina Ahlmann Nyfödda grisars rektaltemperatur under olika miljöförhållanden (1982)