



# LUND UNIVERSITY

## Reglering av ångpanna

Persson, Åke; Brink, Olle; Johansson, Gunnar; Johansson, Rolf; Olesen, Henrik; Pålsson, Tyke; Rading, Leif; Rozenwald, Karol; Tengvall, Freddy

1977

*Document Version:*  
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*  
Persson, Å., Brink, O., Johansson, G., Johansson, R., Olesen, H., Pålsson, T., Rading, L., Rozenwald, K., & Tengvall, F. (1977). *Reglering av ångpanna*. (Technical Reports TFRT-7119). Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology (LTH).

*Total number of authors:*  
9

### General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:  
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117  
221 00 Lund  
+46 46-222 00 00

REGLERING AV ÅNGPANNA

O. BRINK  
G. JOHANSSON  
R. JOHANSSON  
H. OLESEN  
Å. PERSSON  
T. PÅLSSON  
L. RADING  
K. ROSENWALD  
F. TENGVALL

Institutionen för Reglerteknik  
Lunds Tekniska Högskola  
Juni 1977

Dokumentutgivare  
Lund Institute of Technology  
Handläggare Dept of Automatic Control  
Gustaf Olsson  
Författare  
Brink  
Gunnar Johansson  
Rolf Johansson  
Henrik Olesen  
Ake Persson  
Tyke Pålsson  
Leif Rading  
Karl Rozenwald  
Freddy Tengvall

Dokumentnamn  
REPORT LUTFD2/(TRF47419)/01-027/(1977)  
Utgivningsdatum  
06T6 1977  
Dokumentbeteckning  
047419  
Ärendebeteckning  
06T6

10T4

Dokumenttitel och undertitel  
Reglering av ångpanna (Boiler Control)

Referat (sammandrag)

This report describes a projekt work on the control of a boiler simulation model. The boiler model is linear and is described by nine state variables, four inputs, and seven outputs. Three different tasks have been specified, control of the dome level, the dome pressure and the super-heater temperature. The disturbances are assumed to be load variations. Different control structures have been examined with feed-forward control from the measurable disturbance variables.

The project has been a study to form in a course "Reglerteknik AK" (Linear System Theory).

Referat skrivet av  
Gustaf Olsson

Förslag till ytterligare nyckelord  
Boiler Control

Klassifikationssystem och -klass(er)  
50T0

Indextermer (ange källa)  
52T0

Omfång  
28 pages

Övriga bibliografiska uppgifter  
56T2

Språk  
Swedish

Sekretessuppgifter  
60T0

ISSN  
60T4

ISBN  
60T6

Dokumentet kan erhållas från  
Department of Automatic Control  
Lund Institute of Technology  
Box 725, S220 07 LUND 7, Sweden

Mottagarens uppgifter  
62T4

Pris  
66T0

## REGLERING AV ANGPANNA

Projektarbete i Reglerteknik AK  
Höstterminen 1976

Författarna:

Olle Brink

Gunnar Johansson

Rolf Johansson

Henrik Olesen

Ake Persson

Tyke Pålsson

Leif Rading

Karol Rozenwald

Freddy Tengvall

Ansvarig handledare: Gustav Olsson  
Björn Wittenmark

### Sammanfattning:

Avsikten med detta projektarbete har varit att studera en simuleringsmodell av en ångpanna. Ångpannmodellen är linjär och beskriver ett system med nio tillståndsvariabler, fyra insignaler och sju utsignaler.

Tre uppgifter har specificerats, reglering av domnivå, domtryck samt överhettartemperaturen. Störningar antages komma in på systemet i form av belastningsförändringar. Olika reglerstrukturer har undersökts med framkopplingar från de mätbara störvariablerna.

Gruppens arbete visar att man utan en alltför ingående teoretisk analys, kan åstadkomma en fungerande reglering. Om den föreslagna regulatorstrukturen är den bästa tänkbara, med avseende på överslängar, insvängningstider m.m., kan en mera omfattande analys ge svar på.

## REGLERING AV ANGPANNA

Sammanfattning

Innehållsförteckning

### 1. Inledning

1.1 Uppgiften

1.2 Experimenten

1.3 Rapporten

1.4 Referenser

### 2. Beskrivning av processen

2.1 Ångpannans fysik

2.2 Ångpannans dynamik

2.3 Simulatore

### 3. Reglerfilosofi

3.1 Potentiella störningar

3.2 Reglerauktoritet

### 4. Simulering

4.1 Reglering av överhettartemperaturen

4.2 Reglering av domtrycket

4.3 Reglering av domnivån

4.4 Reglering av hela systemet

### 5. Kommentarer och erfarenheter

5.1 Målsättningen

5.2 Värdet av projektundervisning

5.3 Det praktiska arbetet

## 1. INLEDNING

### 1.1 Uppgiften

Avsikten med detta projektarbete är att åskådliggöra och belysa en del av de problem, som är förknippade med reglering av ett dynamiskt system. Detta system utgörs av en förenklad ångpannemodell enligt figur 1.1.

Uppgiften är att reglera ångpannemodellen, som består av flera delsystem, ved en given yttre störning i form av ett ökat effektuttag. Här är det viktigt att aktuella parametrar styrs inom vissa tillåtna områden. Olika parametrar har skilda auktoriteter i systemet. Till exempel är det mycket viktigt att domnivån hålls konstant, för att inte dompannan ska brännas sönder vid för låg domnivå eller att vatten inte rinner in i överhettningsskanalerna, detta vid för hög domnivå. Sådana här problem kan kanske i så fall orsaka haveri.

Genom införandet av störningen i systemet undersöker man de olika delsystemens beteende, beroende på tillståndsvariablernas amplitud, snabbhet etc. Detta medför att de olika delsystemen kommer att regleras olika. Att ange någon generell metod vid regleringen är svårt, speciellt vid reglering av vattennivån i domen. En formell analys visar att det dynamiska system som beskriver processen är ett icke-minimum-fassystem, vilket kommer att beskrivas längre fram.

Valet av regulator kan i många fall vara besvärligt, till exempel vid olika typer av fram- och återkopplingar. Hur snabbt kan och bör bränsletillförseln ske? Vilka temperaturvariationer är tillåtna vid överhettarna? Hur stora överslängar i domnivån är man beredd att acceptera? etc.

### 1.2 Experimenten

Experimenten har utförts så att ångpannesimulatorn har knutits till små analogmaskiner, som finns tillgängliga på institutionen för reglerteknik. Dessa analogmaskiner har använts för att simulera själva regulatorerna.

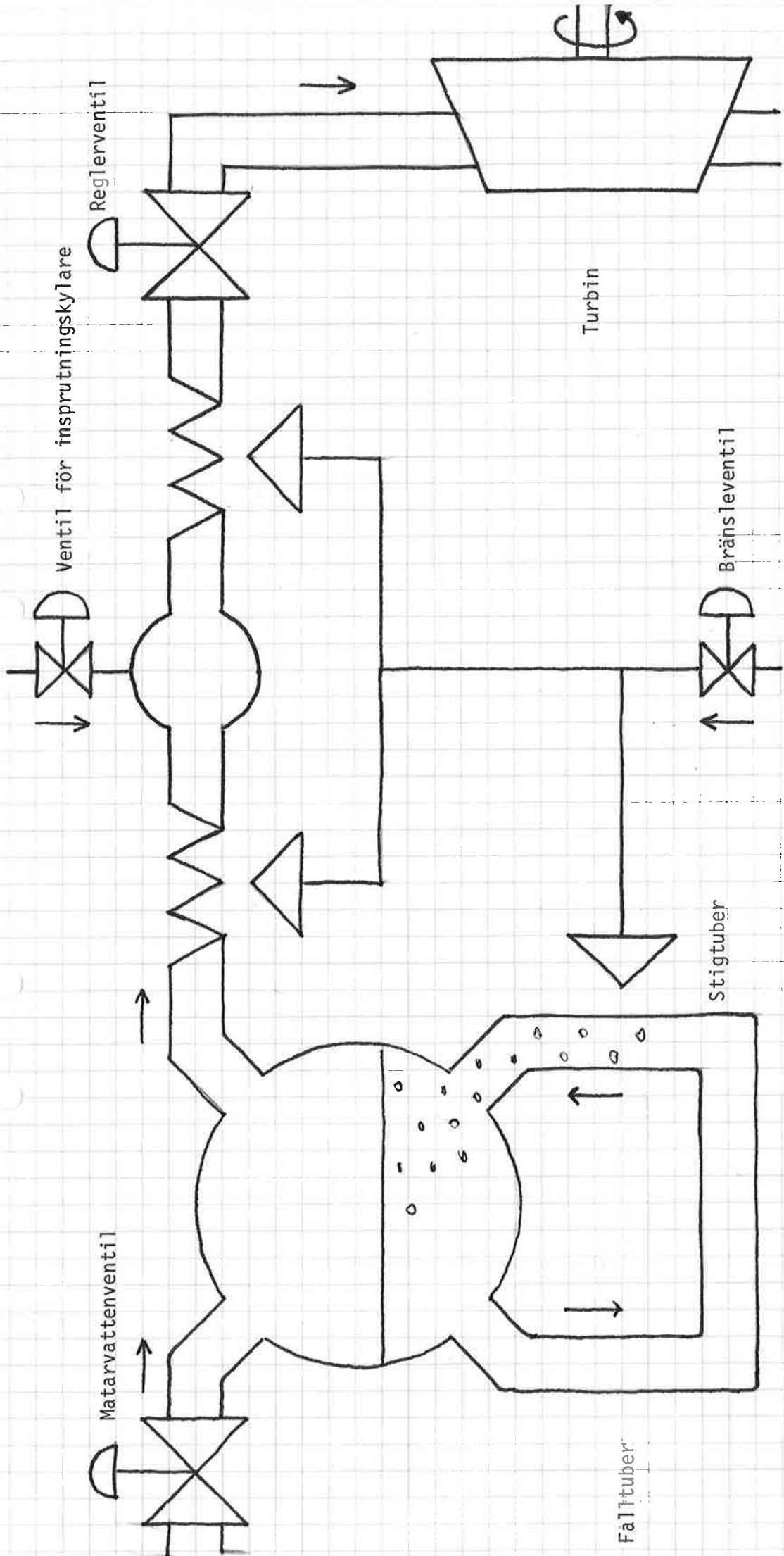


Fig. I: I Principskiss av en ångpannemodell.



### 1.3 Rapporten

I det följande beskriver avsnitt 2 själva processen, dess fysik, dynamik samt simulatorns utseende och arbetsområde.

I avsnitt 3 diskuteras olika reglerfilosofier, det vill säga var störningar kan komma in, vilken reglerauktoritet som olika styrsignaler har samt vilka strukturer på regler-systemen som kan tänkas förekomma.

Avsnitt 4 redovisar resultaten av simuleringarna med olika reglerstystem, nämligen reglering av överhettartemperatur, domtryck samt domnivå. Avsnittet avslutas med en presentation av ett reglersystem för hela systemet.

Några allmänna slutsatser presenteras slutligen i avsnitt 5.

### 1.4 Referenser

Allmän reglerteori kan studeras i

Åström, K. J.: Reglerteori, AWE/Gebbers.

För mera ingående analys av ångpannesystem hänvisas till

Åström, K. J. & Eklund, K.: A Simplified Model of a Drum Boiler-Turbine Unit, Report 7104

Eklund, K.: Linear Drum Boiler-Turbine Models, Report 7117. Jämförelser med ett liknande projektarbete kan göras i

Wittenmark, B., m. fl.: Systemteknik, Projektarbeten 1972, Report 7213 (B).

## 2. BESKRIVNING AV PROCESSEN

I detta avsnitt ska vi kort beskriva ångpannan. Först ges en kvalitativ beskrivning av de ingående komponenterna och av den rent fysikaliska bakgrunden. I 2.2 beskrives kvalitativt hur ångpannans dynamik fungerar, storleksordningar på tidskonstanter samt styrsignalernas auktoritet. Slutligen beskrives simulatoren och dess arbetsområde i 2.3.

### 2.1 Ångpannans fysik

Ångpannesystemets principiella uppbyggnad framgår av figur 1.1.

Ångdom, fall- och stigtuber bildar ett slutet system som hela tiden är vattenfyllt till en viss nivå. Vattnet i stigtuberna upphettas med oljebrännare och ånga bildas. Ångan lagras i domen och sätter denna under tryck. Från domen leds ångan till turbinen via överhettare, insprutningskylare och ångventil.

Överhettarna uppvärms även de med oljebrännare. De har till uppgift att ge ångan ett så högt energinnehåll att inget kondensvatten bildas i turbinen, vilket annars skulle medföra turbinhaveri.

I insprutningskylarna sprutas små mängder vatten direkt in i ångan. Genom att variera detta vattenflöde kan ångans temperatur hållas inom de snäva toleranser som krävs.

Med hjälp av reglerventilen kan ångflödet, och därmed av turbinen avgiven effekt, snabbt ställas in till önskat värde. Detta tillsammans med ångdomens funktion som energireservoir gör det möjligt att följa snabba belastningsändringar.

På längre sikt måste dock avgiven effekt vara lika stor som den som tillförs systemet genom bränsleflödet. För att uppnå detta regleras olje-flödet med brännarventilen.

För att ersätta den vattenmängd som lämnar domen som ånga och hålla domnivån konstant, pumpas matarvatten in. Detta flöde regleras med matarvattenventilen.

## 2.2 Ångpannans dynamik

Ångpannans dynamik har studerats med stegstörningsexperiment på några av modellens tillståndsvariabler. Vid en stegökning av ångventilläget ser vi enligt diagram 2.1 att domtryck och domnivå reagerar relativt långsamt medan däremot uteffekten reagerar direkt. Vidare visar diagram 2.2 hur domtryck, domnivå och uteffekt uppträder vid en stegökning av bränsleflödet. Den långsamma reaktionen är nu gemensam för dessa tre storheter. Domnivåns stegsvar visar också att det är fråga om ett icke-minimum-fassystem.

Den stora trögheten i domen vid ökat bränsleflöde kan förklaras genom att betrakta domen som en stor energireservoir. Energin ligger upplagrad i vatten, ånga och stålkonstruktion. När eldningen ökar värms först stigtubens ytterväggar, energin leds vidare genom väggarna och överförs till vattnet i stigtuben och resulterar i temperatur- och tryckökning i domen. Då det rör sig om stora massor, bland annat uppskattningsvis  $30 \text{ m}^3$  vatten, blir det en stor tidskonstant.

Den stora inre energin förklarar också domens reaktion vid en stegändring i ångventilens läge. Ökningen av energiuttaget är endast en bråkdel av den inre energin. Att turbineffekten direkt svarar på en ändring i ångventilens läge är naturligt då turbineffekten beror direkt på ångflödet.

Ett snabbt svar visar även, vilket ej visas i något diagram, ångflödets temperatur vid en ändring av vattenflödet till insprutningskylarna. Detta förklaras av den relativt stora inre energiskillnaden mellan flödena, och den direkta flödesblandningen.

Att domnivån är icke-minimum-fas med avseende på matarvattenflödet beror av att då det kalla matarvattnet kommer i kontakt med vattnet i domen sker en kondensation i en del av de ångbubblor som bildats i stigtuberna. Denna "bubbelkollaps" resulterar i en volymminskning hos vattnet och med denna en nivå-sänkning. Naturligtvis stiger domnivån efter en stund.

Relationen mellan domnivå och ångventilläge är också i icke-minimum-fas. Detta beror i första hand på att då ångflödesuttaget ökar, minskar trycket i domen, vilket ger en kokpunktssänkning. Detta resulterar i en ökad produktion av ångbubblor i stigtuberna och då stiger vattennivån. På

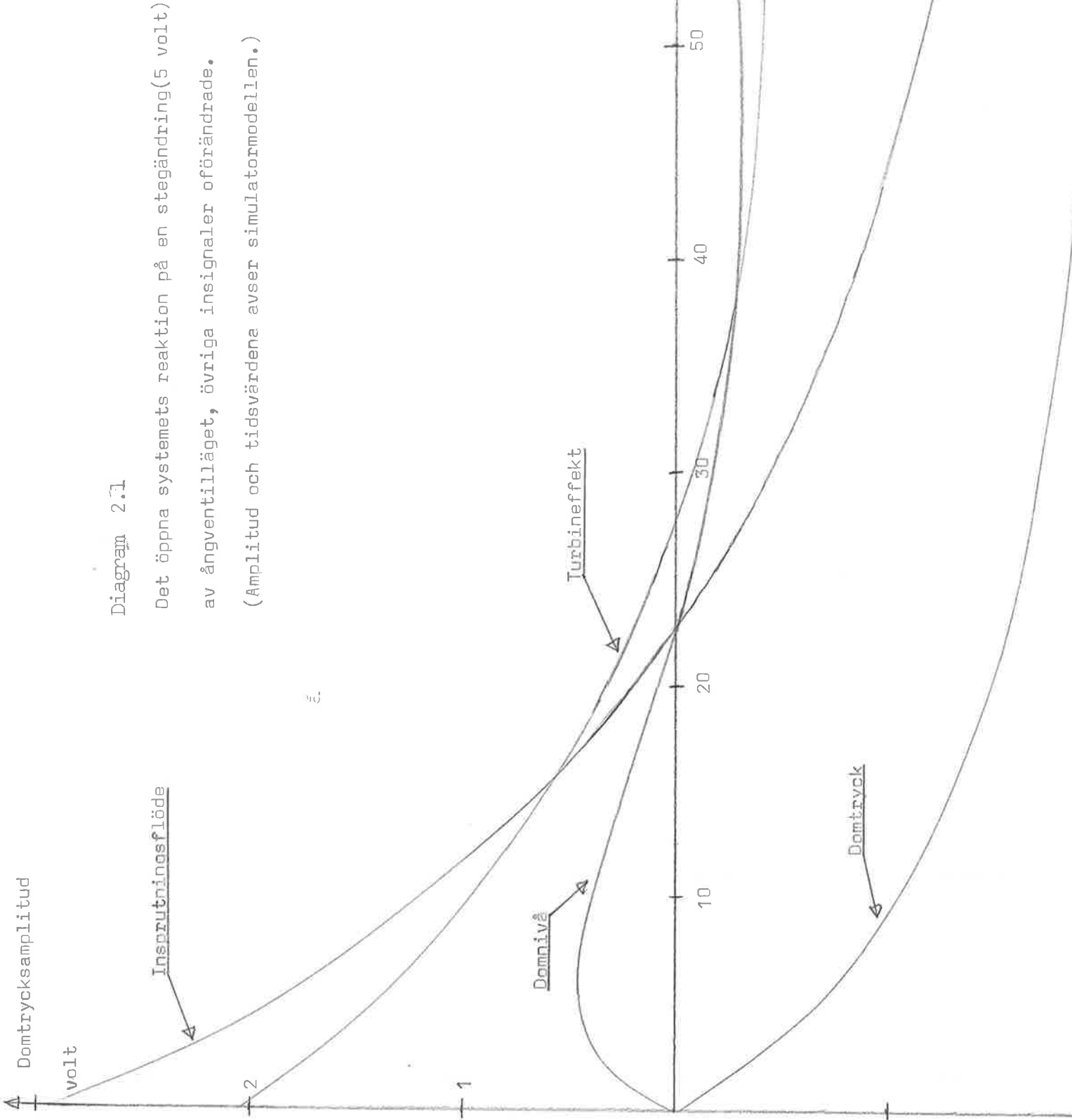


Diagram 2.1

Det öppna systemets reaktion på en stegändring(5 volt) av ångventilläget, övriga insignaler oförändrade. (Amplitud och tidsvärdena avser simulatormodellen.)

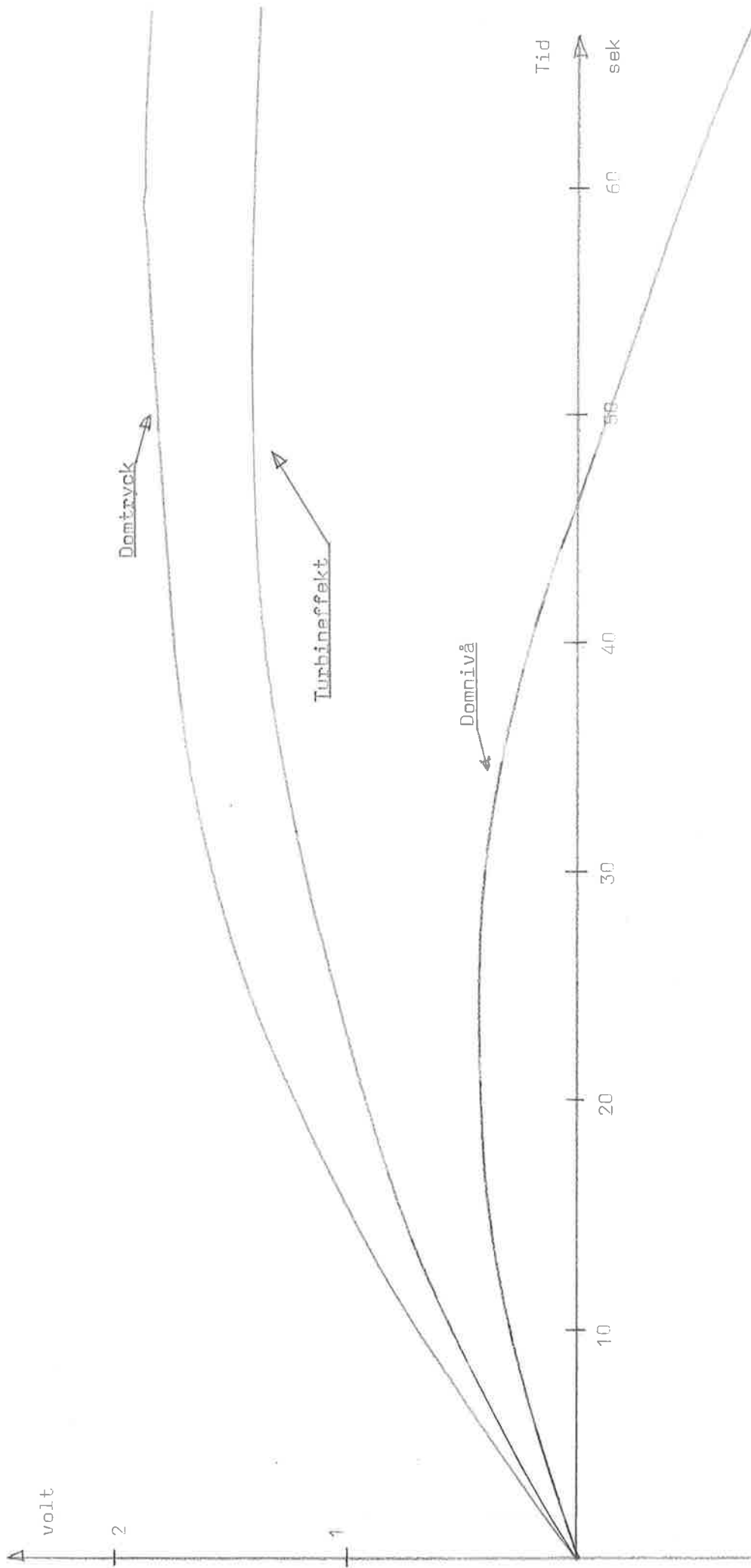


Diagram 2.2

Det öppna systemets reaktion på en stegändring av bränsleflödet, övriga insignaler oförändrade. (Amplitud och tidsvärden avser simulatormodellen.)

grund av att massbalansen ej är uppfylld sjunker vattennivån efter ett tag. I båda fallen kommer på grund av temperaturändringen även volyminiteteten att ändras, vilket också påverkar nivån.

### 2.3 Simulatorens

Simulatorns syfte består i, att vi billigt och riskfritt kan utföra experiment med regulatorer, där våra eventuella resultat relativt enkelt kan överföras till den nyttiga, verkliga processen. Det riktiga ångkraftverket skulle säkerligen ha sprängts, om det befunnit sig under våra klåparaktiga fingrars och experiments inflytande. Man kan tillåta sig ganska lättsinnigt utförda försök utan allvarliga konsekvenser.

Konstruktionen av simulatorens grundar sig på den vanliga användningen av operationsförstärkare i integrator- och summatorkopplingar. Det behövs nio stycken integratorkopplade operationsförstärkare för att beskriva våra tillstånd. Tillståndens innebörd framgår av tabell 2.1. Vi intresserade oss inte särskilt mycket för simulatorens. Avsikten var ju att fundera ut regulatorer, och då kändes det osportsligt att titta alltför nycket i vad vi upplevde som facit.

Feltyperna hos simulatorens är som vanligt, när det gäller översättningar av beteenden, exempelvis linjaritetsfel, arbetspunktsfel och skalfel. De två senare består av dels egentliga fel och dels sådana, som man inför för att få lämpliga skalningar. De egentliga felen bestod i lite drift i operationsförstärkarna, då de hade varit inkopplade länge. Det var emellertid aldrig besvärade. Vi retade oss mera på, att mätsignalen "ångtemperatur efter överhettare" betedde sig fysikaliskt orimligt (se nedan).

Begränsningar och underligheter framgår bäst, om man tittar i kalibreringstabellen (tab 2.1). Utanför dessa arbetsområden representerar simulatorutslagen inte längre processens beteende. Förstärkarna bottenar ju. Den, som tycker om att generalisera, skulle möjligen beskriva detta som linjaritetsfel. I själva arbetsområdet finns det bara en uppenbarligen fysikaliskt felaktig egenskap. Detta gäller utsignalen "ångtemperatur efter överhettare" och dess svar på en stegändring i insignalen "flöde till insprutningskylare". Om man nämligen kontinuerligt sprutar in vatten

i en ångström och vid någon tidpunkt börjar spruta in ytterligare lite till, så torde ångtemperaturen ganska snart ställa in sig vid en ny konstant nivå. Detta sker emellertid inte, eftersom simulatoren är konstruerad, så att  $\dot{y}_5 \sim u_3$  med någon liten proportionalitetskonstant, och därför stiger  $y_5$  som en ramp vid en stegstörning i  $u_3$ . Om man är försiktig, så använder man simulatoren endast under små tidsintervall från det att man har startat den.

Tabell 2.1 Simulatorns tillståndsvariabler och arbetspunkter.

<u>Tillstånd</u>	<u>Arbetspunkt</u>
$x_1$ domtryck (bar)	130 $\pm$ 10
$x_2$ domnivå, vatten (m)	$\pm$ 0.2
$x_3$ medeltemperatur i domen ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\pm$ 20
$x_4$ medeltemperatur i stigtuber ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\pm$ 20
$x_5$ ångkvalitet	$\pm$ 0.02
$x_6$ medeltemperatur i överhettare 1 ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\pm$ 20
$x_7$ medeltemperatur i överhettare 2 ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\pm$ 20
$x_8$ medeltemperatur i överhettare 3 ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\pm$ 20
$x_9$ domnivå, ångbubblor (m)	
<u>Insignaler</u>	
$u_1$ bränsleflöde (kg/s)	10 $\pm$ 1
$u_2$ matarvattenflöde (kg/s)	130 $\pm$ 10
$u_3$ insprutningskylarflöde (kg/s)	2 $\pm$ 2
$u_4$ ångventilläge (%)	80 $\pm$ 20
<u>Utsignaler</u>	
$y_1$ domnivå ( $x_2+x_9$ )	
$y_2$ domtryck ( $x_1$ )	
$y_3$ ångtemperatur före överhettare ( $^{\circ}\text{C}$ )	420 $\pm$ 20
$y_4$ ångtemperatur efter insprutningskylare ( $^{\circ}\text{C}$ )	500 $\pm$ 20
$y_5$ ångtemperatur efter överhettare ( $^{\circ}\text{C}$ )	530 $\pm$ 20
$y_6$ ångflöde (kg/s)	130 $\pm$ 10
$y_7$ uteffekt (MW)	150 $\pm$ 20

#### Tidsskalning

Simulatoren arbetar 10 gånger fortare än den verkliga processen.

### 3. REGLERFILOSOFI

Innan lämpliga reglerkonfigurationer kan hittas måste man veta något om storleken och karaktären på de störningar som uppträder i systemet.

Störningarnas karaktär samt insignalernas reglerauktoritet diskuteras kort i detta avsnitt.

#### 3.1 Potentiella störningar och modellens snabbhet

Den vanligaste störningen är en belastningsändring på nätet, vilket yttrar sig som en ändring i ångventilläget. Andra störningar, som skiftande bränslekvalitet, läckage eller slitage, märks ej i modellen.

Vid en stegändring av ångventilens läge, stabiliseras domtrycket på en ny nivå efter cirka 500 sekunder. Icke-minimum-fas-effekten hos domnivån och ångtemperaturen efter överhettaren tar cirka 250 respektive 500 sekunder. Se även diagram 4.4.

#### 3.2 Reglerauktoritet

Insignalernas förmåga att påverka aktuella parametrar redovisas i tabellform:

<u>Parameter</u>	<u>Insignal</u>			
	<u>Bränsleflöde</u>	<u>Matarvatten</u>	<u>Kylarflöde</u>	<u>Ventilläge</u>
<u>Domnivå</u>	liten transient betydelse	långsam men betydelsefull		icke-minimum-fas-effekt genom trycket
<u>Domtryck</u>	exponentiellt stegsvar	liten effekt		exponentiellt stegsvar
<u>Temperatur efter ÖH</u>	integrerande effekt		mycket stor effekt	
<u>Ångflöde</u>				proportionell innan andra effekter tar vid



#### 4. SIMULERINGAR

Resultaten av simuleringarna visas i detta avsnitt. Tre olika variabler skall regleras. Först har simulerats reglersystem för reglering av var och en separat, vilket redovisas i avsnitten 4.1 - 4.3. Därefter presenteras ett reglersystem som skall reglera alla variablerna - överhettartemperatur, domtryck och domnivå - samtidigt.

##### 4.1 Reglering av överhettare

Det väsentliga vid regleringen är att hålla temperaturen konstant inom ganska snäva ramar. Detta skall ske utan att för den sakens skull domtryck och domnivå ändras för kraftigt. Det är också av vikt att överslängar hålls nere samtidigt som systemet bör svänga in sig snabbast möjligt.

Diagram 4.1 visar systemets stegsvar. Steget har förts in på reglerventilen med en höjd som är 20% av den maximala belastningsökningen. Vid första återkopplingen användes enbart proportionell återkoppling. Se figur 4.1. Resultat från försök med olika K-värden är plottade i diagram 4.1. För vilket värde på K som än användes så kvarstod ett stationärt fel.

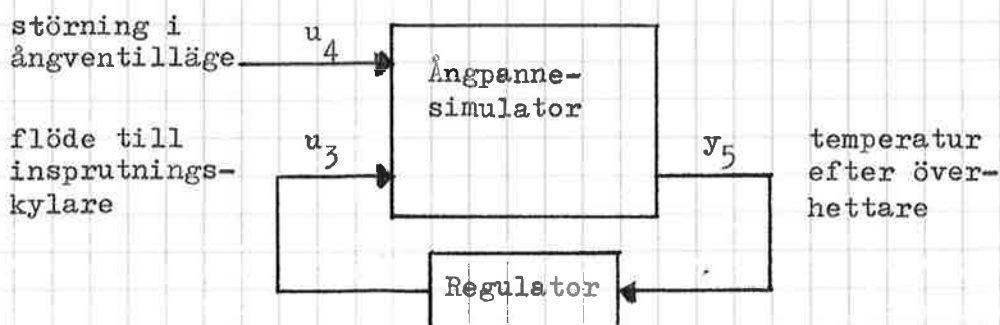
Figur 4.1 Uppkoppling vid reglering av överhettare.

Regulatorkoppling vid

proportionell reglering:

$$u_3 = K \cdot y_5$$

proportionell och integrerande reglering:  $u_3 = K \cdot y_5 + T \cdot \int y_5 \, dt$



För att förbättra resultatet, och om möjligt reducera det stationära felet, lade vi till en integrerande del. Resultatet från varierande värden på de båda parametrarna  $K$  och  $T$  syns i diagram 4.1. Som man kan utläsa ur diagrammet kan man, med lämpliga parametervärden, eliminera det stationära felet. Som också framgår av diagrammet får man en relativt snabb insvängning.

Ytterligare återkoppling med deriverande regulator har visat sig att inte leda till några förbättringar. Framkopplingar har också visat sig vara onödiga.

Överhettartemperatur  
Volt (simulatormodellen)

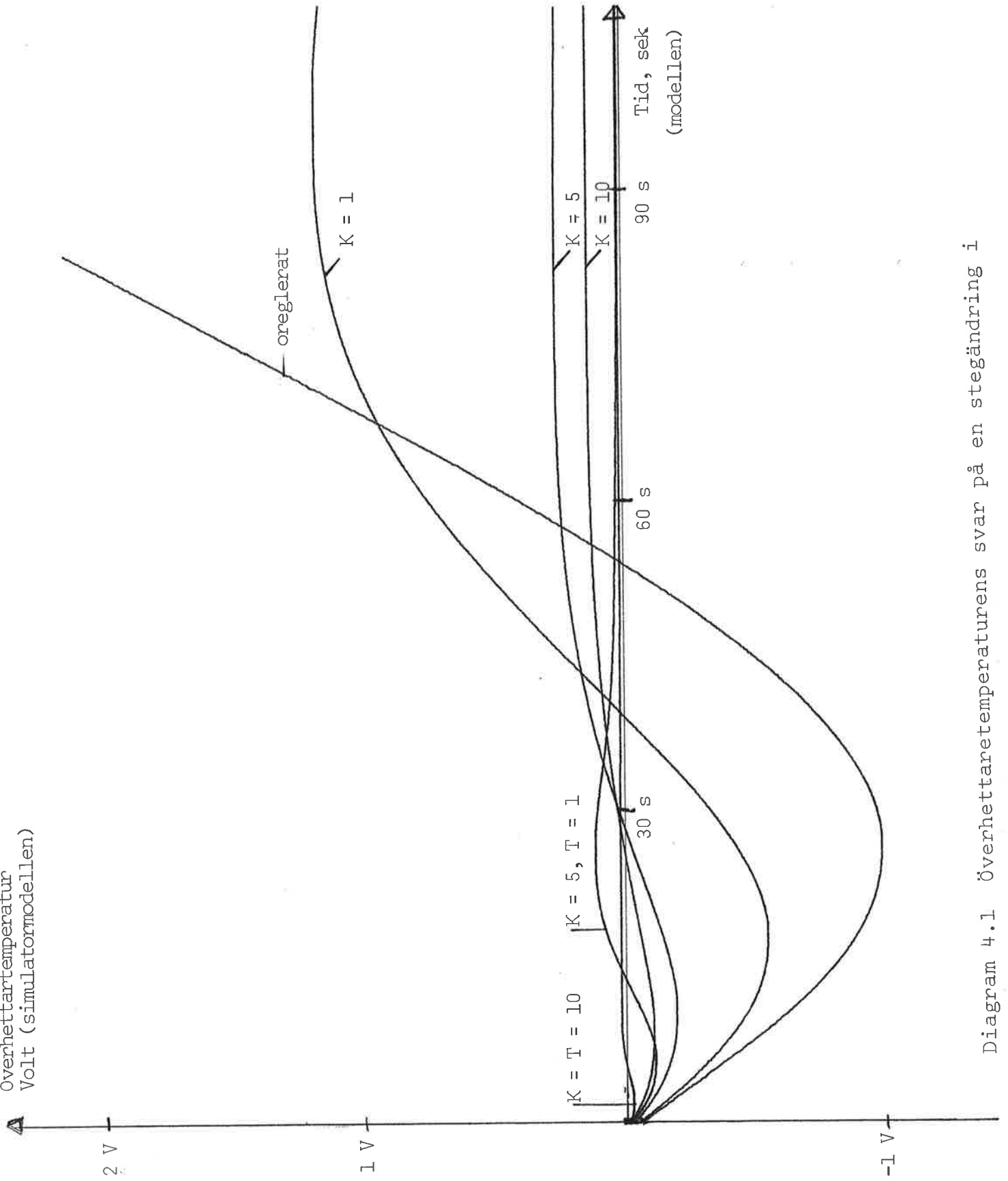


Diagram 4.1 Överhettartemperaturens svar på en stegändring i ångventilläget.

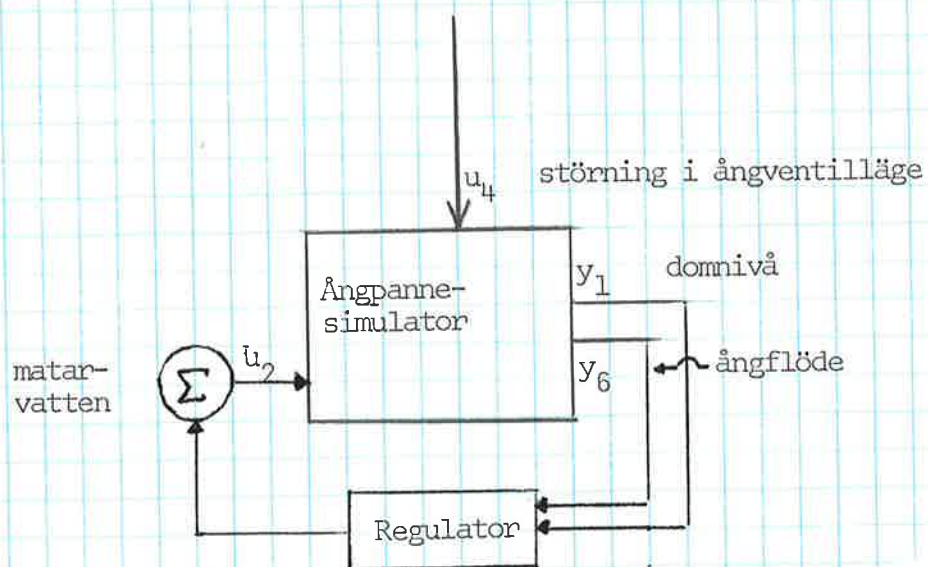


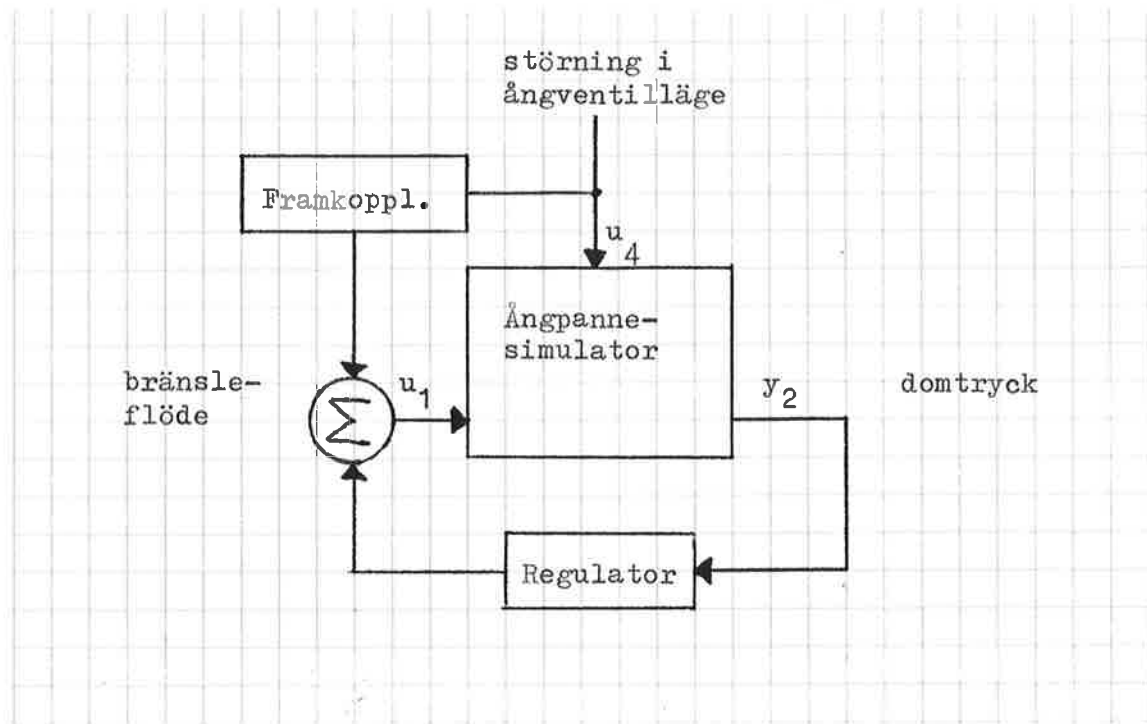
Fig 4.3

Regulatorstruktur vid reglering av domnivån.

## 4.2 Domtrycksreglering

Med utgångspunkt konstanttrycksreglering, valde vi följande enkla regulatorstruktur. (Figur 4.2)

Figur 4.2 Regulatorstruktur vid reglering av domtryck.



Vår princip bygger på att framkoppla ångventilläge till bränslematningen för grovreglering och en återkoppling mellan domtryck och bränsleventil för finreglering.

Som regulator i återkopplingslänken användes först en proportionell regulator. Det visade sig att ett stationärt fel kvarstod. Genom att komplettera med en integrerande del kunde det stationära felet helt elimineras.

I diagram 4.2 är upptaget tryckets stegsvar för olika val av PI-regulatorns konstanter. Enligt diagrammet fås att lämpligt val av parametrar är  $K = 10$  och  $T = 5.6$ .

Med vald regulatorinställning upptogs även tryckstegsvar för stegstörningar hos överhettare och matarvatten. Som synes i diagram 4.3 fungerar regleringen tillfredsställande även för andra störningar än effektstörningar.

För att uppnå en bättre reglering är det lämpligt att införa dynamiska framkopplingar från samtliga mätbara störningar som påverkar domtrycket. På grund av parametervariationer och ofullständigheter i modellen erhöles ett reglerfel som kommer att elimineras av PI-regulatorn.

Domtrycksamplitud

volt

0.4

0.2

Diagram 4.2

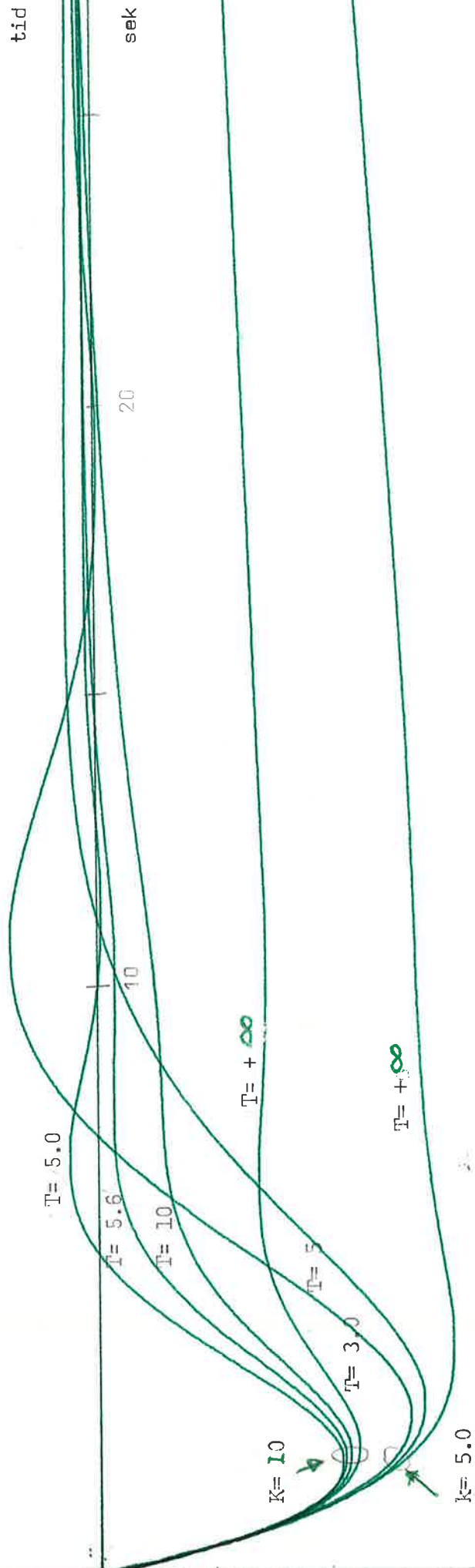
Domtryckets stegfunktionssvar, då domtrycket är reglerat och övriga parametrar är oreglerade.

Konstanterna K och T syftar på parametrarna i

följande PI-regulator:  $G(s) = K(1 + 1/T \cdot 1/s)$ .

Stegamplitud är 5 volt.

(Amplitud och tidsvärdena avser simulatormodellen.)



Domtrycksamplitud

Diagram 4.3

Domtryckets förändring för ångventillägges, matarvattenflödes och insprutningsflödesstörningar. Domtrycket reglerat med följande parametervärden,  $K=10$  och  $T=5.6s$ , övriga parametrar oreglerade.  
(Amplitud och tidvärden avser simulatormodellen.)

volt

0.4

0.2

Insprutningsflöde

Matarvatten

Ångventilläge

Tid

10

—20

sek

### 4.3 Domnivåreglering

#### 1. Framkoppling från ventilläge till matarvattenflöde.

Denna metod visade sig inte särskilt fruktbar. Det var svårt att finna något sammanhang mellan ventilläge och ångflöde. Transienterna blev stora, och de stationära värdena blev inte heller bra.

#### 2. Framkoppling från ångflöde till matarvattenflöde.

Metoden är intuitivt tilltalande, eftersom man så när som på ett litet bidrag från insprutningskylaren med en enkel återkoppling kan så att säga fylla på lika mycket som man tar ut. Regleringen ger mycket måttliga amplituder hos domnivåns variationer. Systemet är emellertid ganska långsamt. Det krävs vidare kompletterande regulatorer för att maskinen skall få acceptabelt stationärt tillstånd. När vi provade alla gruppernas regulatorer, fungerade det bra inom ganska stora toleranser.

##### a. Bränsleflödesreglering från ventilläge.

På rent empirisk väg bestämdes en framkoppling från ventilläge till bränsleflöde. Med framkopplingskonstanten 0.28 erhöles ett konstant tryck i domen under överblickbart lång tid

##### b. Återkoppling från domnivå till matarvattenflöde.

Denna återkoppling är nödvändig trots alla möjligheter till framkopplingar. Vidare är det tyvärr så, att en icke-minimum-faseffekt uppträder, eftersom nivån, som dels består av ångbubbelvolymen och dels den egentliga vätskevolymen, sänks ett ögonblick, efter det att man hållt i litet (kallt) matarvatten. Ångbubblornas volym minskar ju tillfälligt, när kokningen avstannar. Av detta skäl är det svårt att arbeta med snabbt verkande regulatorer. Vid våra försök fick vi bäst resultat med proportionella regulatorer. Det var inte så värst noga med proportionalitetskonstanternas värde, och man kunde med ungefär lika goda resultat ta en konstant mellan 0.1 och 0.5. Deriverande regulatorer hade liten effekt, och integrerande försämrade i allmänhet resultatet väsentligt. Vätskebehållaren fungerade ju själv som en integrator.



#### 4.4 Reglering av hela systemet

De under 4.1 - 4.3 enskilt utprovade regulatorerna kombinerades, varvid dessa regulatorer med separat studerade parametrar väsentligen uppförde sig som tidigare. Kopplingar och egenskaper kan ses i figur 4.4 och i diagram 4.4. Vi kunde inte konstatera, att några icke önskvärda korskopplingsfenomen uppträdde. Vi noterade redan inledningsvis, att vissa storheter inte kunde regleras meningsfullt, såvida man inte hade en viss stationaritet hos andra storheter i systemet. Det var exempelvis svårt att prova ut bra parametervärden för domnivåregulatorn utan att ha åtminstone en provisorisk reglering av trycket i domen. Resultaten från domnivåregleringen hänförs sig därför till fall, då flera regulatorer var inkopplade. Detta är vidare tillfredsställande såtillvida, att man vid utprovning av flera regulatorer i samma system lämpligen börjar med regulatorn för den snabbaste och avslutar med regulatorn för den långsammaste eller "stillsammaste" processen.

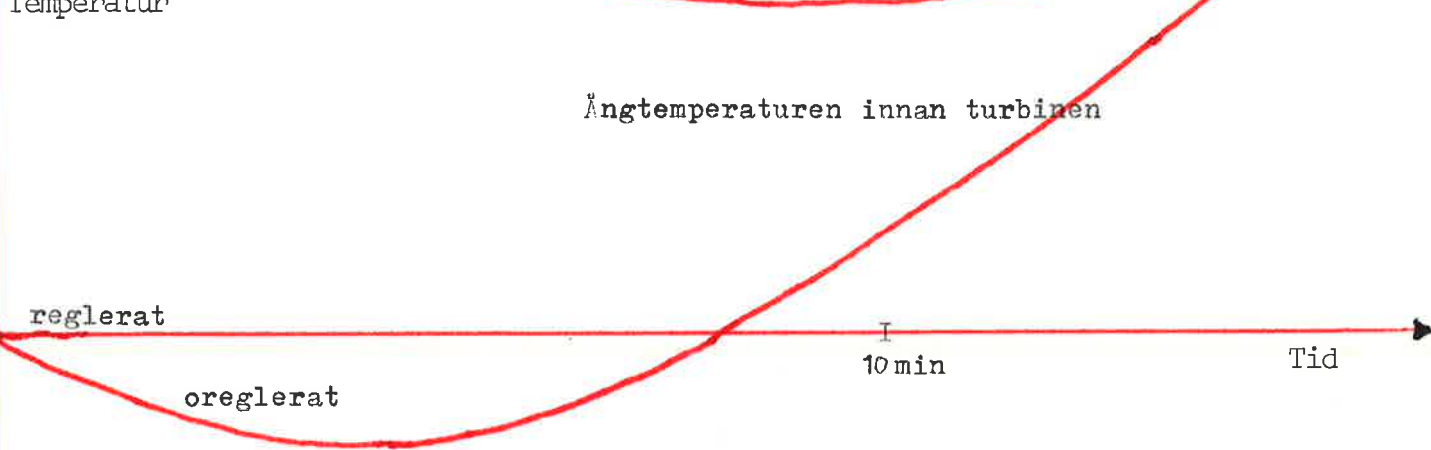
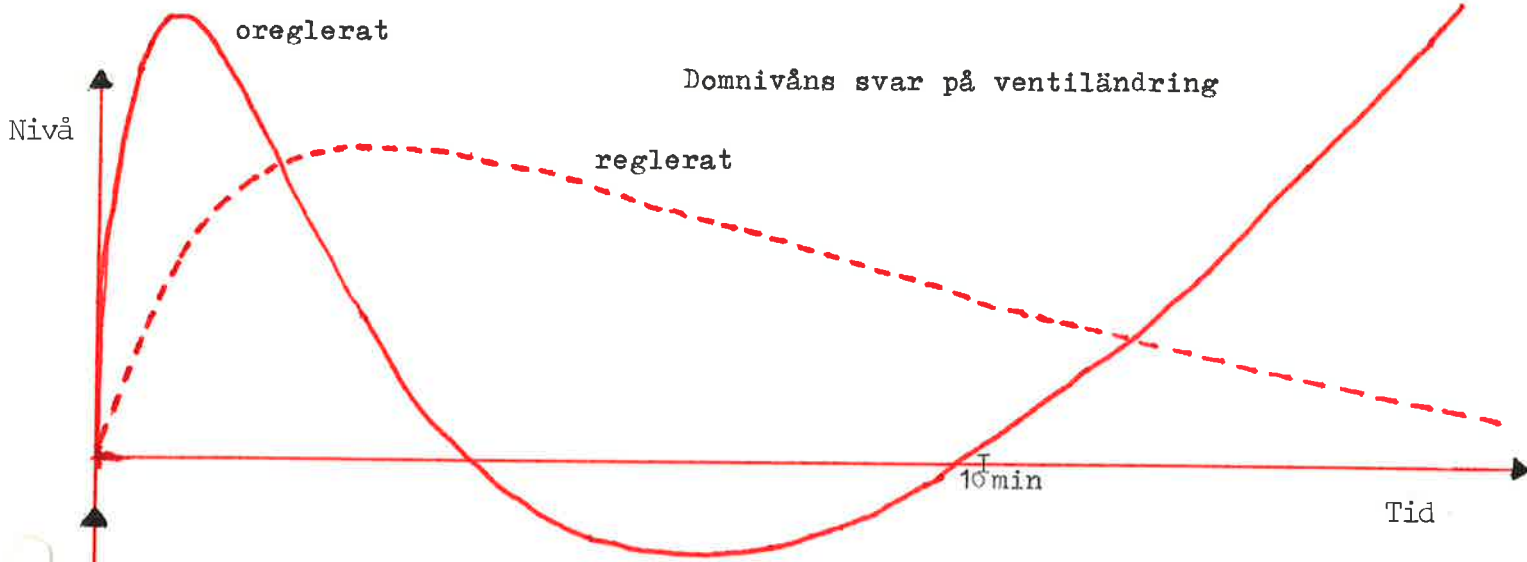


Diagram 4.4  
Diagrammet visar olika parametrars svar på en stegändring av utgångsventilen med fullständig reglering och helt utan reglering.

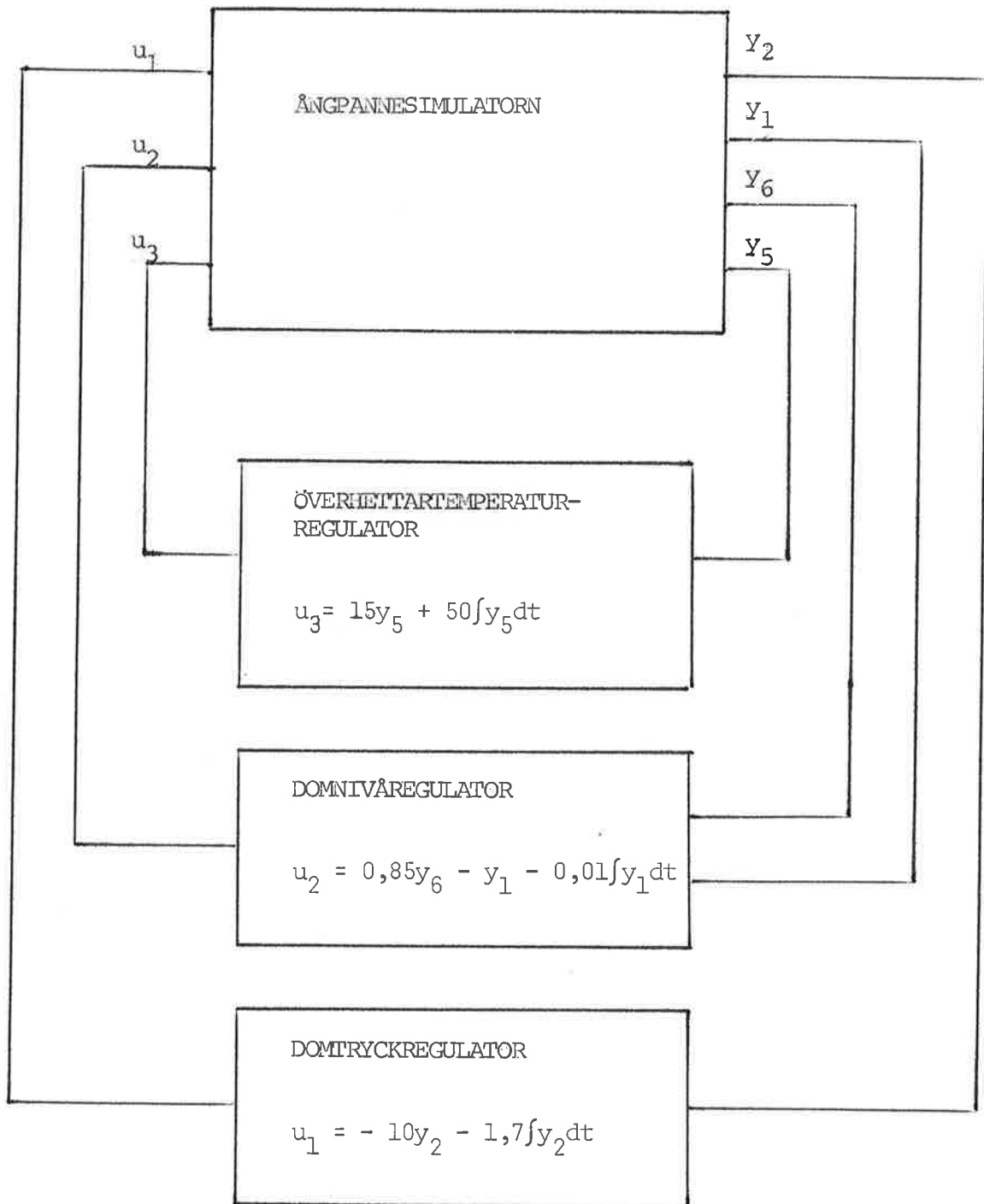


Fig 4.4 Blockschemat över det slutliga regulatorsystemet.

## 5. KOMMENTARER OCH ERFARENHETER

### 5.1 Målsättningen

Projektarbetet har utförts av en grupp teknologer som en del i undervisningen vid Reglertekniska institutionen. För gruppen har projekt målet framstått som tvådelat:

1. att praktiskt få tillämpa kunskaperna i reglerteori.
2. att i grupp angripa och ge en lösning på ett tekniskt problem.

### 5.2 Värdet av projektundervisning

Många teknologer som läst reglerteori har kritiserat den teoretiska nivån och den dåliga anknytningen till verkliga industriuppdrag. Projektarbetet blev för gruppen en mycket intressant tillämpning och förhöjde kraftigt värdet av kursen. Intresset för denna typ av undervisning är mycket stort då anknytningen till framtida uppgifter för en civilingenjör ofta saknas helt i undervisningen. Det största felet med en "fördjupningsuppgift" är att så få teknologer kan delta.

### 5.3 Det praktiska arbetet

Ämnet reglerteori läses på LTH av teknologer på sektionerna F, E och M. De teoretiska kunskaperna hos teknologen varierar stort mellan individerna men framförallt mellan sektionerna. Detta faktum gör projektarbetet i reglerteori mycket intressant. I arbetet måste gruppen ta tillvara de olika specialkunskaperna som finns, och ta hänsyn till eventuell avsaknad av kunskap. Som exempel kan nämnas F- och E-teknologernas större kännedom om elkomponenter och operationsförstärkare, eller M-teknologernas kännedom om systemtekniskt problem- och konstruktionsarbete. Tyvärr var gruppen i inledningsskedet av projektet dåligt medveten om dessa skillnader varför arbetet fortskredit långsamt. Arbetet borde startat med en annan typ av problemgenomgång inom gruppen. För många av medlemmarna fanns inte heller någon klar problemdefinition eller något uppsatt mål. Redan i inledningsskedet kom gruppen därför in på fel väg och mycket har sedan fått lösas med individuella insatser.

Till sist kan nämnas några åtgärder som kanske skulle göra projektarbetet ännu intressantare och mera lärorikt:

1. Gruppen måste definiera problem och mål på ett klarare sätt. Även delproblem och delmål bör klart definieras.
2. Gruppen bör styras att först ta del av bakgrundsteorin till exempel genom litteraturhänvisningar. Detta bland annat för att få en hårdare knytning till verkliga problemen.
3. Kunskaperna i reglerteori är vid projektarbetets början dålig, varför en orientering om speciella problem (här t. ex. icke-minimum-fassystem) skulle underlätta arbetet.
4. Rapporteringen inom gruppen har varit mycket svår att ordna. Om denna kunde lösas skulle mycket av arbetet underlättas.