

NIVÅ OCH FLÖDESREGLERING PÅ LABORATORJE-
PROCESS

GUNNAR OSCARSSON
STEFAN WENSHEIM

Inst. för Reglerteknik
Lunds Tekniska Högskola
November 1976

Dokumentutgivare
Lund Institute of Technology
Handläggare Dept of Automatic Control
Björn Wittenmark
Författare
Gunnar Oscarsson
Stefan Wensheim

Dokumentnamn
REPORT LUTFD2/(TFRT-5189)/1-062/(1976)
Utgivningsdatum
Nov: 1976
Dokumentbeteckning
06T6
Ärendebeteckning
06T6

10T4

Dokumenttitel och undertitel

18T0
Nivå och flödesreglering på laboratorieprocess
(Level and flow control on a laboratory process)

Referat (sammandrag)

26T0
A laboratory system consisting of three tanks, pumps, valves, levelmeters and flowmeters have been modelled and controlled. The flow and the levels in the different tanks have been controlled. Feedback and feedforward control has been investigated. Conventional controllers as well as state feedback regulators have been used.

Referat skrivet av

42T0 Wittenmark

Förslag till ytterligare nyckelord

44T0
level control, flow control, laboratory process model

Klassifikationssystem och -klass(er)

50T0

Indextermer (ange källa)

52T0
Laboratory equipment, Process control
(Thesaurus of Eng. and Scientific terms, Engineers Joint Council, N.Y., USA)

Omfång

62T0 pages

Övriga bibliografiska uppgifter

56T2

Språk

58T0
Swedish

Sekretessuppgifter

60T0

ISSN

60T4

ISBN

60T6

Dokumentet kan erhållas från

64T0
Department of Automatic Control
Lund Institute of Technology
P O Box 725, S-220 07 LUND 7, Sweden

Mottagarens uppgifter

62T4

Pris

38T0

Blankett LU 11:25 1976-07

FÖRORD

Föreliggande rapport är resultatet av ett examensarbete utfört under sommaren och hösten 1976 vid institutionen för reglerteknik vid Lunds Tekniska Högskola.

Vi vill tacka vår handledare universitetslektor Björn Wittenmark för många goda råd och vägledning i arbetet.

Lund i november 1976

Gunnar Oscarsson

Stefan Wensheim

Abstract

Our task was to establish a model of, and to control, a system consisting of three tanks, pumps, valves, levelmeters, and flowmeters. The controlling that was performed was level- and flowcontrolling. An experiment to illustrate the principle of feed-forward was also performed. The levelcontrol of tank 1 and tank 2 and the flowcontrol was made by means of conventional PI(D)-controllers. When controlling the level in tank 3 we used feed-back of states.

Recommended parameters:

Levelcontrol of tank 1: P-band = 13 %

$T_I = 1$ min.

$T_D = 0$

Levelcontrol of tank 2: P-band = 25 %

$T_I = 1$ min.

$T_D = 0,10$ min.

Levelcontrol of tank 3: Gain $K = 13,7$

Feed-back parameters: $l_1 = 0,244$

$l_2 = 0,444$, $l_3 = 1$.

Flowcontrolling: P-band = 100 %

$T_I = 0,05$ min.

$T_D = 0$

Sammanfattning

Vår uppgift var att sätta upp en modell av och reglera ett system, populärt kallat Plask & Bysen, bestående av tre tankar, pumpar, ventiler, nivågivare och flödesmätare. Med hjälp av modellen utfördes nivåreglering och flödesreglering, samt ett försök som belyser användandet av framkoppling. Reglering av nivån i tank 1 och 2 samt flödesregleringen genomfördes med hjälp av konventionell PI(D) - regulator. För reglering av nivån i tank 3 utnyttjades tillstånd-återkoppling.

Rekommenderade parametrar är:

Reglering av nivån i tank 1: P-band = 13%

$$T_I = 1 \text{ min.}$$

$$T_D = 0$$

Reglering av nivån i tank 2: P-band = 25%

$$T_I = 1 \text{ min.}$$

$$T_D = 0,10 \text{ min.}$$

Reglering av nivån i tank 3: Förstärkning $K = 13,7$

Återkopplingsparametrar: $l_1 = 0,244,$

$$l_2 = 0,444, \quad l_3 = 1.$$

Flödesreglering:

P-band = 100%

$$T_I = 0,05 \text{ min.}$$

$$T_D = 0$$

Innehållsförteckning

	Sid.
1. Inledning	4
2. Presentation av ingående komponenter	7
2.1 Nivågivare	7
2.2 Flödesmätare	9
2.3 Ventiler	11
2.4 Ström/tryck omvandlare	17
2.5 Skrivare	18
2.6 Summator	18
2.7 Regulatorer	19
2.8 Uppskattning av brus	30
3. Matematisk modell för systemet	31
3.1 Tankdynamiken	31
3.2 Nivågivare, ventil, flödesmätare	33
4. Reglering	34
4.1 Metoder att bestämma reglerparametrar	34
4.2 Reglering av tank 1	36
4.3 Flödesreglering. Jämförelse med nivåreglering	40
4.4 Reglering av tank 2	42
4.5 Reglering av tank 3	45
4.6 Frankoppling	57
5. Referenser	62

1. Inledning

Plask och pysen består av tre tankar på olika nivå. Tankarna är förbundna med varandra så att utloppet från en tank är inlopp till närmaste lägre tank. Två pumpar driver runt vatten i systemet. Den ena pumpen pumpar vatten från en vattenreservoar till övre tanken, den andra pumpar vatten från nedre tankens utlopp till vattenreservoaren. Inloppet till översta tanken och utloppet från den understa kan styras med ventiler. Tillgängliga mätsignaler är trycket i botten på varje tank (dvs. i princip vattennivån i tanken) samt flödet in till den översta och ut från den understa tanken. Samtliga mät- och ställdon drivs pneumatiskt.

Till processen hör en panel enligt fig. 1.1. På panelen finns samtliga mätsignaler tillgängliga på tre ställen. För varje ventil finns en omkopplare som gör det möjligt att välja mellan att styra ventilen från en potentiometer eller från en signalingång. Panelen har också ett interface för kommunikation med dator. Detta innehåller 9 logiska ingångar, 9 logiska utgångar, 8 analoga ingångar samt 4 analoga utgångar. Den 6:e mätsignalen finns inte tillgänglig ännu. Den ska härledas från en konduktivitetmätare som ännu ej installerats.

För analog styrning och registrering har panelen en PID-regulator, en PI-regulator, en summator samt en skrivare för samtidig registrering av två signaler.

Mätsignalerna ligger mellan 1V och 5V när de kommer in. 5V svarar mot full tank resp. maximalt flöde. Styrsignalerna skall ligga inom samma spänningsområde. Den övre ventilen stängs för 1V medan den undre öppnas för 1V. Anledningen till detta är att tankarna skall tömmas om spänningen faller ifrån.

Slutligen finns på panelen en strömbrytare för hela processen och en återställningsknapp för den skyddskrets, som stänger den övre ventilen och öppnar den undre om någon tank överfylls.

Systemet är olinjärt i flera avseendet:

1. Systemet skrivet på formen

$$\frac{dx}{dt} = f(x,u)$$

$$y = h(x,u)$$

ger att f och h ej är linjära i x och u . Här är tillståndsvektorn x nivåerna i tankarna och u inflöde.

2. Totaltrycksförlusternas variationer på ventil.

3. Olika tidskonstanter i systemet (en del varierar med nivån)

4. Ventilen är olinjär i flera avseenden: dess statiska karakteristik är kraftigt olinjär; inget flöde från ventilen förrän ventilsignalen är ca 40 % av maximala värdet. Ventilen har olika tidskonstanter beroende på om den öppnar eller stänger och beroende på om valvactorn är inkopplad eller ej.

5. Flödesmätarna har kvadratisk karakteristik.

6. Att vattnet endast rinner åt ett håll torde kunna räknas till olinjäriteterna.

Av detta förstår man att det kan vara förenat med vissa svårigheter att reglera systemet.

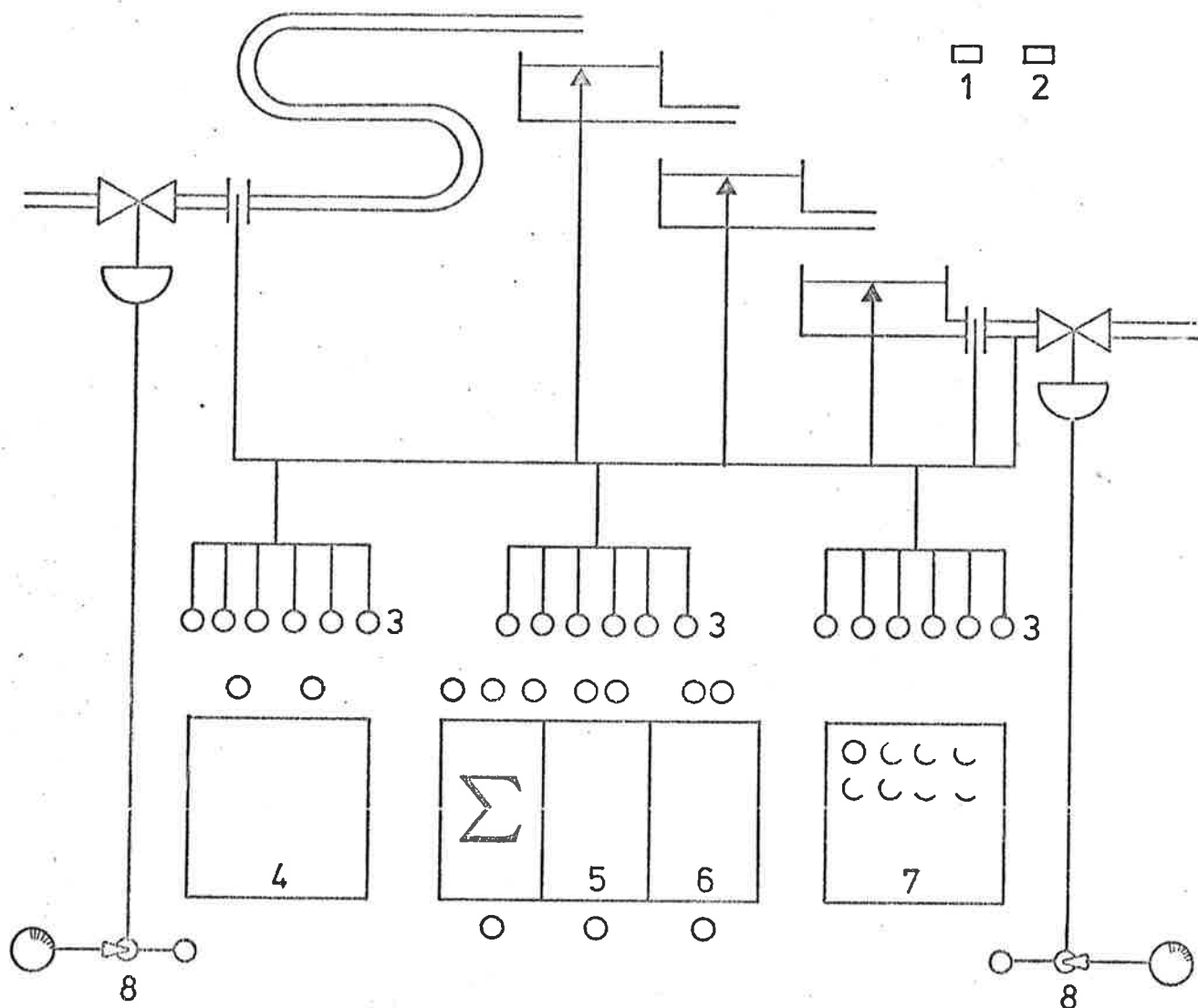


Fig 1.1 Plask-och-pysens panel

1. Återställning av skyddskretsen
2. Nätströmbrytare
3. Mätutgångar
4. Skrivare
5. PID - regulator
6. PI - regulator
7. Interface
8. Omkopplare för ventilstyrning

2. Presentation av ingående komponenter.

2.1 Nivågivare

Nivågivarna utgöres av 3 stycken NAF 350451

Data mätområde: 0-100skaldelar(tankgradering)

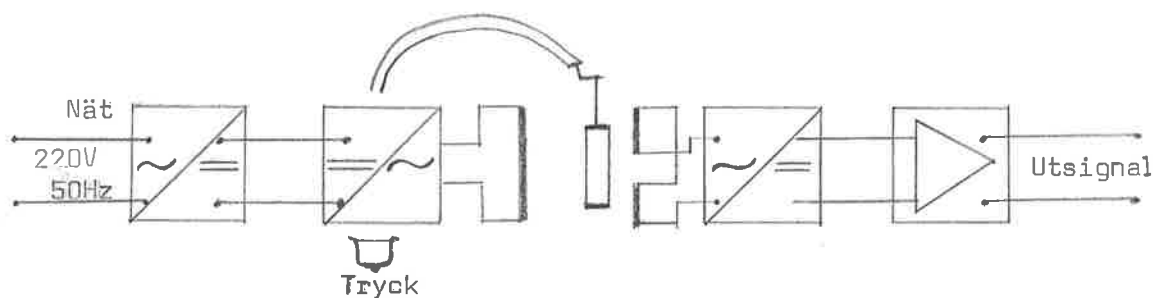
Detta motsvarar 0-42,5 centimetrar.

42,5 centimetrar motsvarar ungefär 9 decilitrar vätska.

utsignal: 10-50mA

Mätsystemet: denna typ av givare består av ett bälgsystem.

Se figur 21. Matningen sker med 220V, växelspanning. Denna likriktas och omvandlas i en oscillator krets till en ny växelspanning på 2,7kHz. Trycket påverkar mätorganet och åstadkommer en rörelse i bälgen som ändrar läget av en järnkärna i en differentialtransformator. Växelspanningens amplitud från de seriekopplade motlindade sekundärlindningarna bestäms av järnkärnans läge. Ju mer järnkärnan förflyttas från sitt utgångsläge desto större amplitud. Sekundärsidans växelspanning medelvärdeslikriktas och omvandlas i förstärkarde-len till en strömsignal, 10-50mA. Medelvärdesbildningen eliminerar de variationer i utsignalen som kan uppstå vid eventuella vibrationer i järnkärnan.



Figur 21. Principskiss över nivågivare.

Kalibrering.

Till hjälp vid kalibreringen har man en nollpunktpotentiometer och en mätomfångspotentiometer. Vid tom tank justerar man med nollpunktpotentiometern tills man får utslaget 0 på skrivaren. Skrivaren förutsättes kalibrerad. Om vi har stor avvikelse från 0 måste man lossa på muttern som håller järnkärnan och för hand flytta denna tills vi får ett utslag nära 0 och sedan justera med nollpunktskruven. Man fyller sedan tanken och reglerar mätomfångspotentiometer så att full tank ger fullt skrivarutslag. Tyvärr är inte nollpunktskruven och mätomfångsskruven oberoende av varandra så man måste göra ett antal kontroller och korrigeringar innan kalibreringen är klar. Därefter fylls tanken med olika vivåer och motsvarande skrivar-signal mäts. Resultatet återfinns i diagram 1.

Överföringskonstanterna för respektive vivågivare blir:

Tank 1: 2,35 skd/cm eller 0,094V/cm

Tank 2: 2,49 skd/cm eller 0,097V/cm

Tank 3: 2,72 skd/cm eller 0,101V/cm

Mätsignalerna på panelen ges i volt varför vi behöver känna till sambandet mellan nivå och volt. Se figur 2.2

2.2 Flödesmätare.

Flödesmätarna är 2 stycken NAF 355600 X elmätgivare för mätning av differensstryck.

Data mätområde: 0-415 mm Vp
 utsignal: 10-50 mA

Arbets sätt: givaren arbetar enligt kraftbalansprincipen. Vid flöde genom givaren utgör en membrankapsel ett strömningsmotstånd för vätskan. Tryckdifferensen över membranet ger en kraft som balanseras mot den kraft som uppkommer då utgångsströmmen går igenom en dykspole som befinner sig i ett magnetfält. Vid obalans ändrar kärnan i en differentialtransformator läge - mycket små ändringar - och styr via en oscillatorförstärkare utgångsströmmen till ny kraftbalans.

Magnetfältet alstras av en permanentmagnet. Utgångsströmmen blir då linjär i förhållande till differensstrycket vilket innebär att den i sin tur beror kvadratisk av flödet. Det finns matningsdon som drar roten ur differensstrycket, dvs. man erhåller en signal proportionell mot flödet. Med hjälp av Bernouillis ekvation visar man följande samband mellan tryckdifferens och flöde:

$$p = \rho \cdot q^2 / 2A^2$$

p = trycket

q = flödet, ρ = densiteten, A = strypningens area.

Detta samband förklarar ovanstående resonemang.

Nollpunktsjusteringen gjordes med hjälp av en utifrån åtkomlig nolljusteringsskruv. Mätomfånget kan justeras genom att ändra förhållandet hävarmslängderna emellan två bommar.

Kalibrering: Man upptar först flödessignal som funktion av ventilsignal. Flödessignalen upptas i form av skaldelar på skrivaren. Ventilsignalen kan uttryckas i skaldelar eller i volt. $100 \text{ skd} = 5V$, $0 \text{ skd} = 1V$. Ventilsignalen tas från regulatorn. För att få noggrann inställning på skaldelarna kopplar man utsignalen från regulatorn till mätsignalen och justerar sedan utsignalen med den manuella kontrollspaken tills deviationsindikatorn visar noll. Diagram 2 och 3 visar samband mellan flödessignal och ventilsignal för övre respektive undre flödesmätaren. Kurvornas omvända utseende har förklarats i "ledning".

För att ta reda på vad en viss flödessignal innebär i flöde tar man reda på vilket flöde man får för en viss ventilsignal. Vid denna signal kniper man om utloppslangen till en tank och mäter tiden det tar för vattenytan i tanken att höjas en viss sträcka, t.ex. 20 cm. Genom att man känner tankens tvärsnittsarea beräknar man lätt flödet. Vid kalibrering av undre flödesmätaren får man förfara på ett annat sätt. Man ställer in en viss ventilsignal och vet därmed från kalibreringen av övre flödesmätaren hur stort utflödet till tank 3 är. Sedan regleras utflödet med hjälp av nedre ventilen så att nivån blir konstant. Vi vet då flödet genom nedre ventilen och avläser motsvarande flödessignal.

Resultaten återfinns i diagram 2-6.

2.3. Ventiler

Fabrikat Foxboro V 4 A

C v : 0,56

utsignal : 3-15 psi

utsignal : flöde 0-100 cm³/s

maximalt drivtryck 60 psi

drivtryck 1,4 kp/cm² - 20 psi

Försedd med Typ C Vernier Valvactor Positioner.

En styrsignal från regulatorn omvandlas i I/p- omvandlaren till ett motsvarande tryck. SE figur 2.2 och figur 2.4. I det fall att vi ej har valvactorn inkopplad styr detta tryck direkt läget av en nålspets i ventilen som påverkar strömmingsmotstånd och därmed flöde.

Funktionen av ventilen med valvactor framgår av figur 2.3.

På ventilen finns tre tryckmätare. Instrument visar trycket från I/p- omvandlaren. Supply visar drivtryck och output visar trycket som påverkar nålen. Utan valvactor är alltså Instrumenttryck lika med outputtryck. Med valvactor händer följande: Antag att vi får en ökande regulatorsignal. I/p- omvandlaren ökar trycket. Bälgen (A) utvidgas och trycker på bygel (B) åt höger i frihetsgraden 1. Klaffen (E) stänger munstycket (F). Trycket på membranet i kontrollreläetök ökar, utloppskanalen stänger och drivtryckskanalen öppnar. Fullt drivtryck går till output. Via en diafragmamotor öppnas ventilnålen. Genom en mekanisk återkoppling kommer denna rörelse att rotera axeln (C) och därmed röra bygel (B) i frihetsgraden 2. Rörelsen blir sådan att klaffen (E) ställer in sig i ett jämviktsläge med munstycket (F). Efter någon stunds fundering inser man att

nålläget blir proportionellt mot signaltrycket. Anledningen till att man använder valvactor är att den eliminerar eller minimerar verkan av friktion och variabelt tryck. Emellertid kan valvactorn påverka även den process som ska regleras. I vissa fall kan valvactorn stabilisera en process men i andra orsaka limit cycle. Exempel på första fallet är nivåreglering och exempel på andra är flödesreglering. Se vidare under rubriken Reglering. Användandet av valvactorn innebär alltså att man slår en loop runt ventilmotorn.

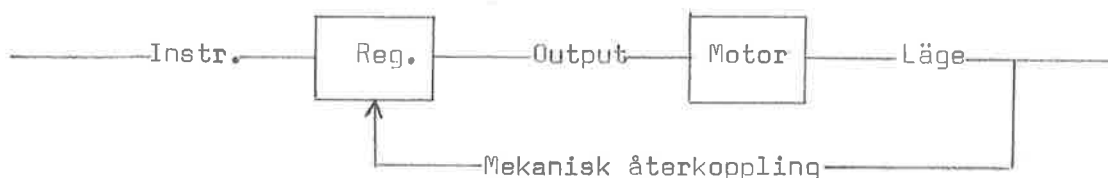
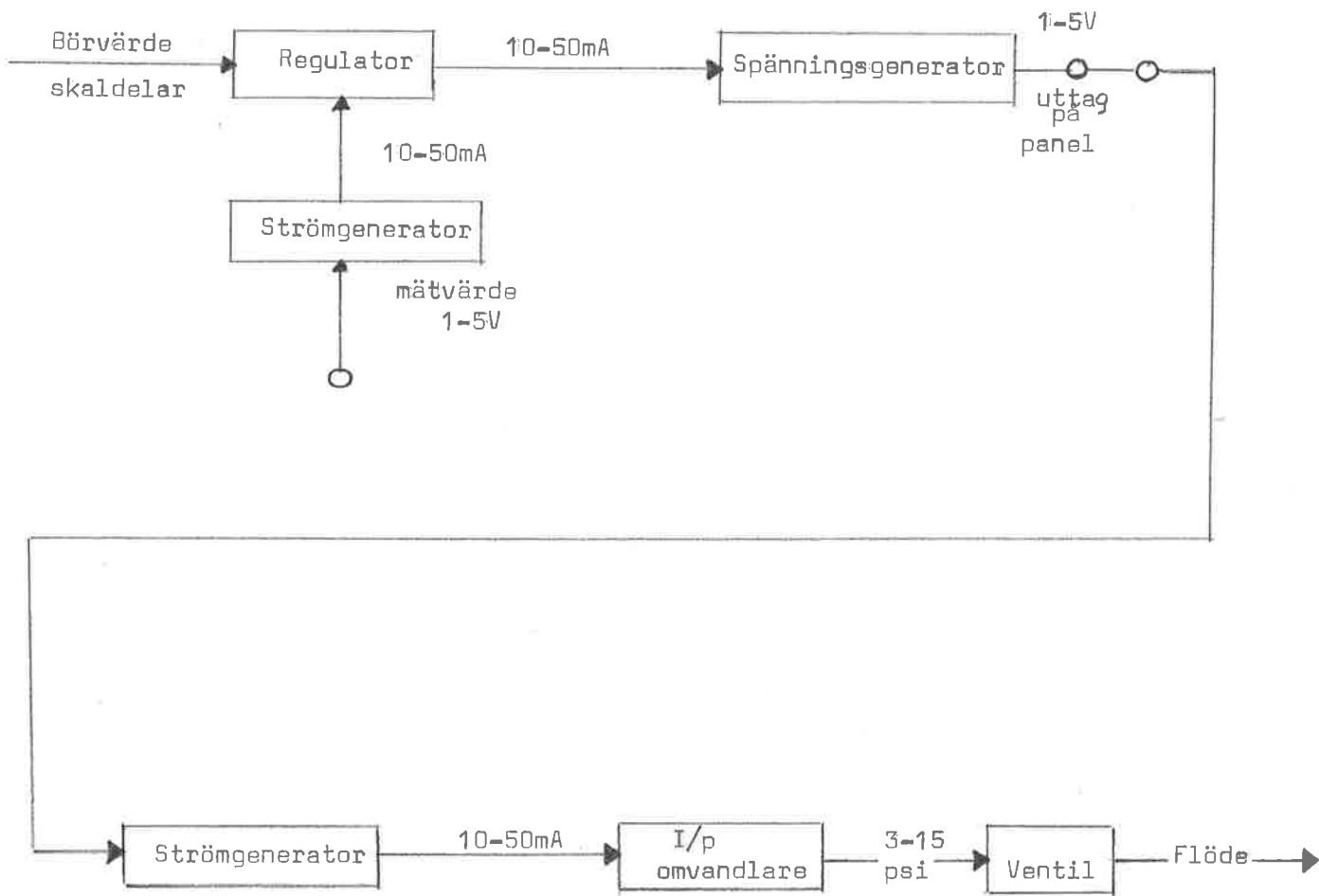


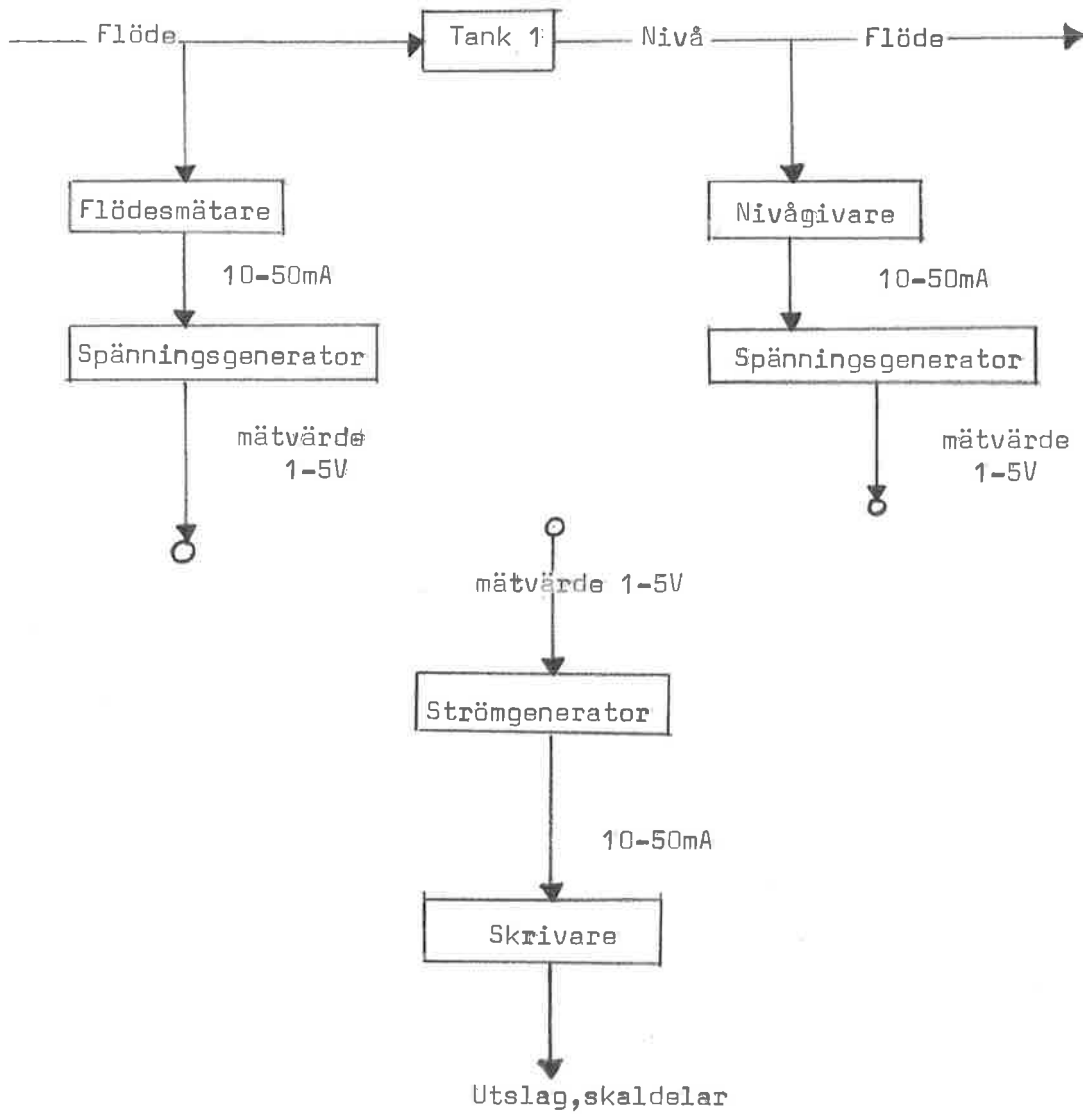
Diagram 7 och 8 visar ventilens statistiska karakteristik för övre resp. undre ventilen. De anger alltså flödet som funktion av signalen till ventilen. Ventilsignalen kan lika gärna graderas i volt, där 0 skd. motsvarar 1V och 100 skd. motsvarar 5V. Vi ser att karakteristiken är olinjär. På den linjära biten är dock lutningen $62,5 \text{ cm}^3/\text{s}/\text{volt}$. Om vi antar att ventilen är ett första ordningens system kan dess överföringsfunktion skrivas :

$$G_V(s) = 62,5/(1 + sT), \quad T \text{ är tidskonstanten.}$$

En allvarlig komplikation är att tidskonstanten ej är entydig. Man kan lätt uppskatta tidskonstanten genom att studera flödes-signalen på oscilloskop. En fyrkantvåg från analogmaskinen fungerar som utmärkt steg. Det visar sig att utan valvactor är T ungefär 3 sekunder för öppning av ventil och 1 sekund för stängning av ventilen. Med valvactor blir T för stängning av ventilen 0,5 sekunder medan tidskonstanten för öppning blir samma som för utan val-

Figur 2.2 Samband mellan olika storheter.





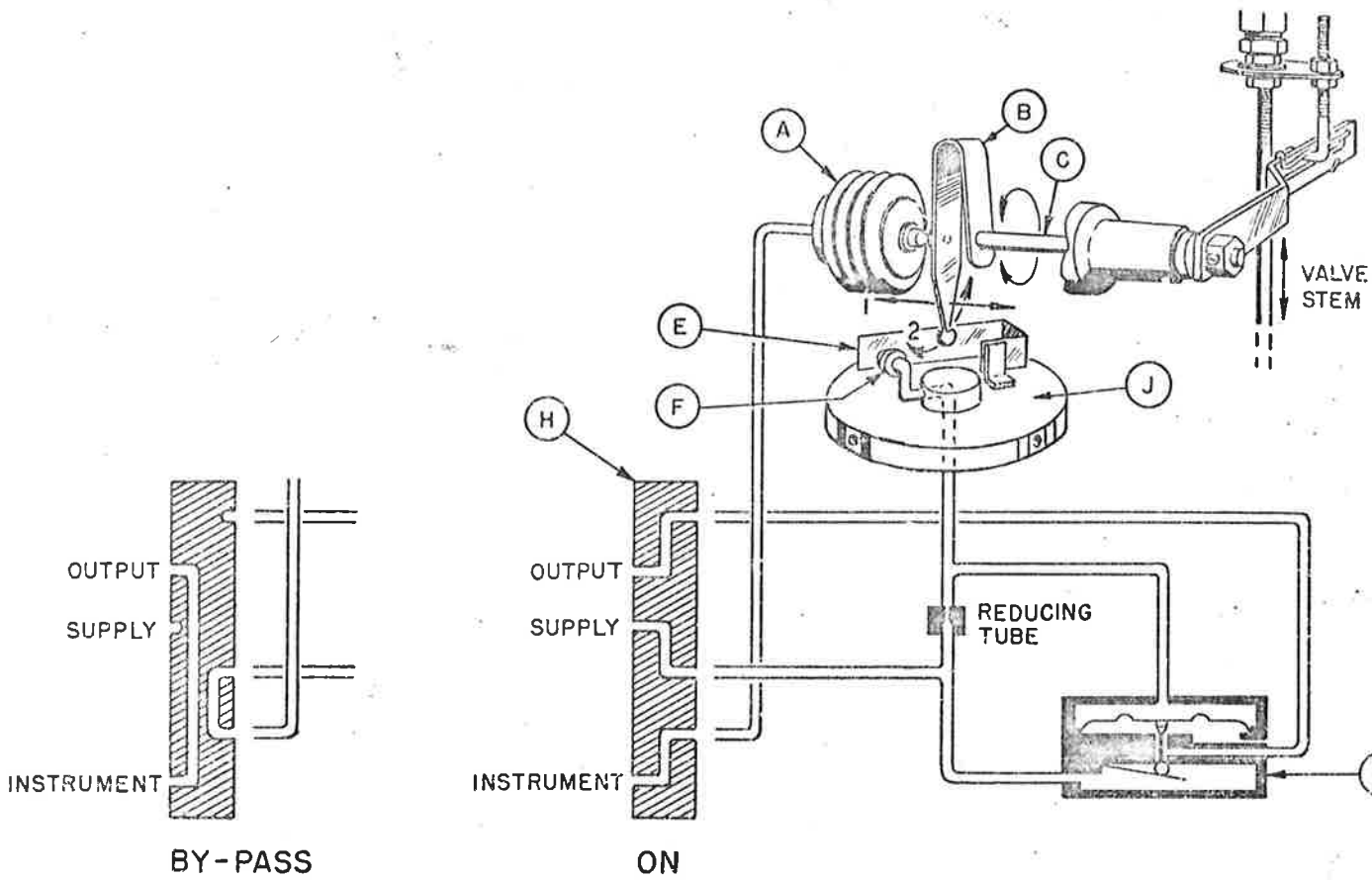
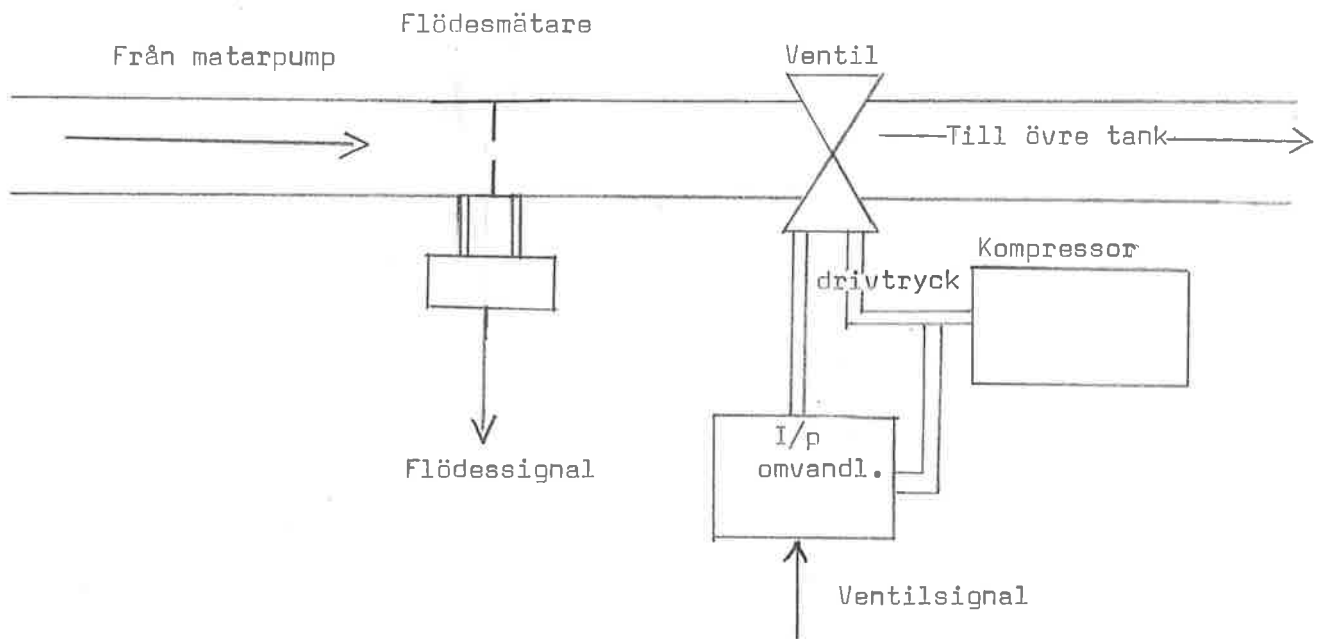
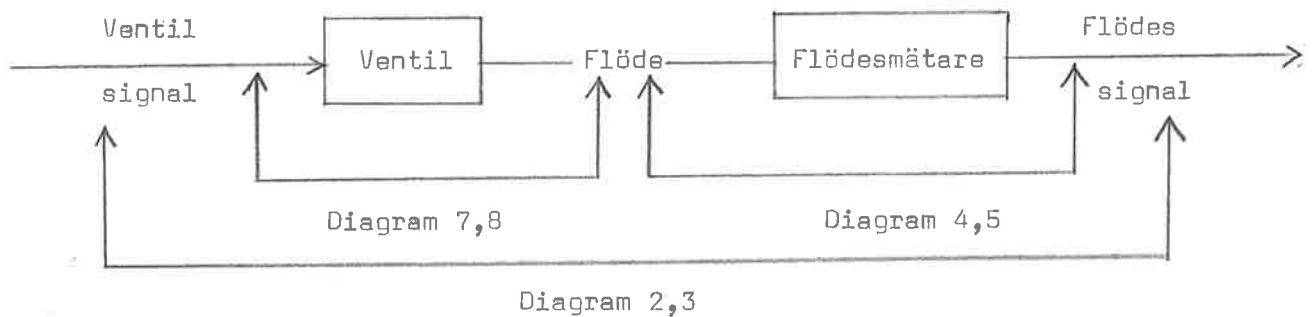


Fig. 2.3 Valvactorn's funktion.

vactor. Detta förhållande kommer att ha betydelse senare vid reglering av tank 3. Orsaken till att tidskonstanten är så pass mycket större vid öppning av ventilen är att kompressorn ej orkar hålla drivtrycket vid $1,4 \text{ kp/cm}^2$ utan detta sjunker till $1,2 \text{ kp/cm}^2$.



Figur24.



Figur25.

2.4. Ström/tryck - omvandlare.

Data: insignal: 10-50 mA
 utsignal: 3-15 psi (0,2- 1,0 bar)
 drivtryck: 1,4 kp/cm²
 mätsystem: elektrisk dykspole.

I denna signalomvandlare omvandlas en elektrisk signal till en motsvarande pneumatisk. Omvandlaren utnyttjar kraftbalansprincipen:

Insignalen, som går genom en dykspole, åstadkommer i denna en kraft som i balanssystemet motverkas av kraften från en bälg, vilken är ansluten till utsignalen. Balanssystemets rörelse avkänns av en dysa, och dystrycket förstärks i ett relä till utsignal.

I box 4 bakom panelen finns ett system av nollpunkts- och omfångsskruvar med vilka man justerar så att 1V insignal på panelen ger 10 mA till I/p- omvandlaren och 5V ger 50 mA. Diagram 9 är kalibreringsdiagram för I/p- omvandlaren. Man tar bort kåpan och lossar de trådar som för in strömmen och ansluter en amperemeter och avläser strömmen som flyter för en viss given signal från regulatorn.

Motsvarande uttryck avläses på tryckmätaren Instrument.

2.5 Skrivare.

Fabrikat Foxboro

Data insignal: 10-50mA

utsignal: 0-100skaldelar

skrivarhastighet: 100 var 15 s

Skrivaren kan kalibreras med hjälp av en nollpunktpotentiometer och en mätomfångspotentiometer som finns i den strömgenerator som hör till skrivaren (box 5 bakom panelen).

2.6 Summator

Summatoren har en utsignal och tre insignaler vilka kan ges valfritt tecken. Utsignalen ger alltid en utspänning större än eller lika med 1V. Summation eller subtraktion sker med 1V som nollpunkt.

Exempel:

$1V + 1V$ ger 1V ut

$1,75V + 2,50V$ ger 3,25V ut

$2,50V - 1,75V$ ger 1,75V ut

$1,75V - 2,50V$ ger 1V ut

2.7 Regulatorer.

Fabrikat: Foxboro Model 62H-4 (PI) och Model 62-5 (PID)

Data insignal: 10-50mA

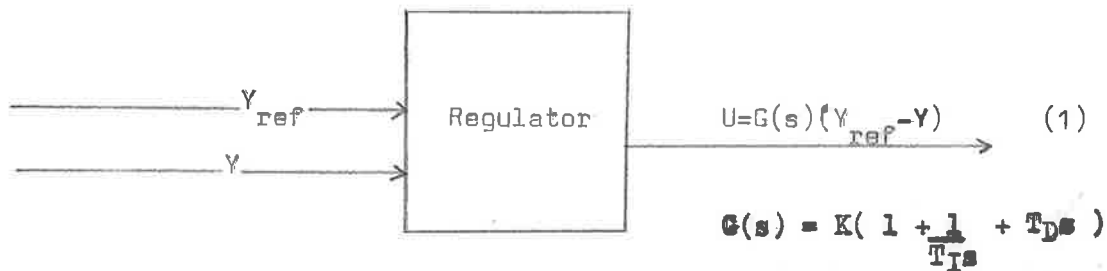
utsignal: 10-50mA

proportionalband: 5-300%

integrationstid T_I : 0,015-30 minuter

derivationstid T_D : 0,015-30 minuter

Samband mellan förstärkning K och proportionalband P : $K=100/P$



Referensvärde ställs in på en i aktuell enhet graderad skala.

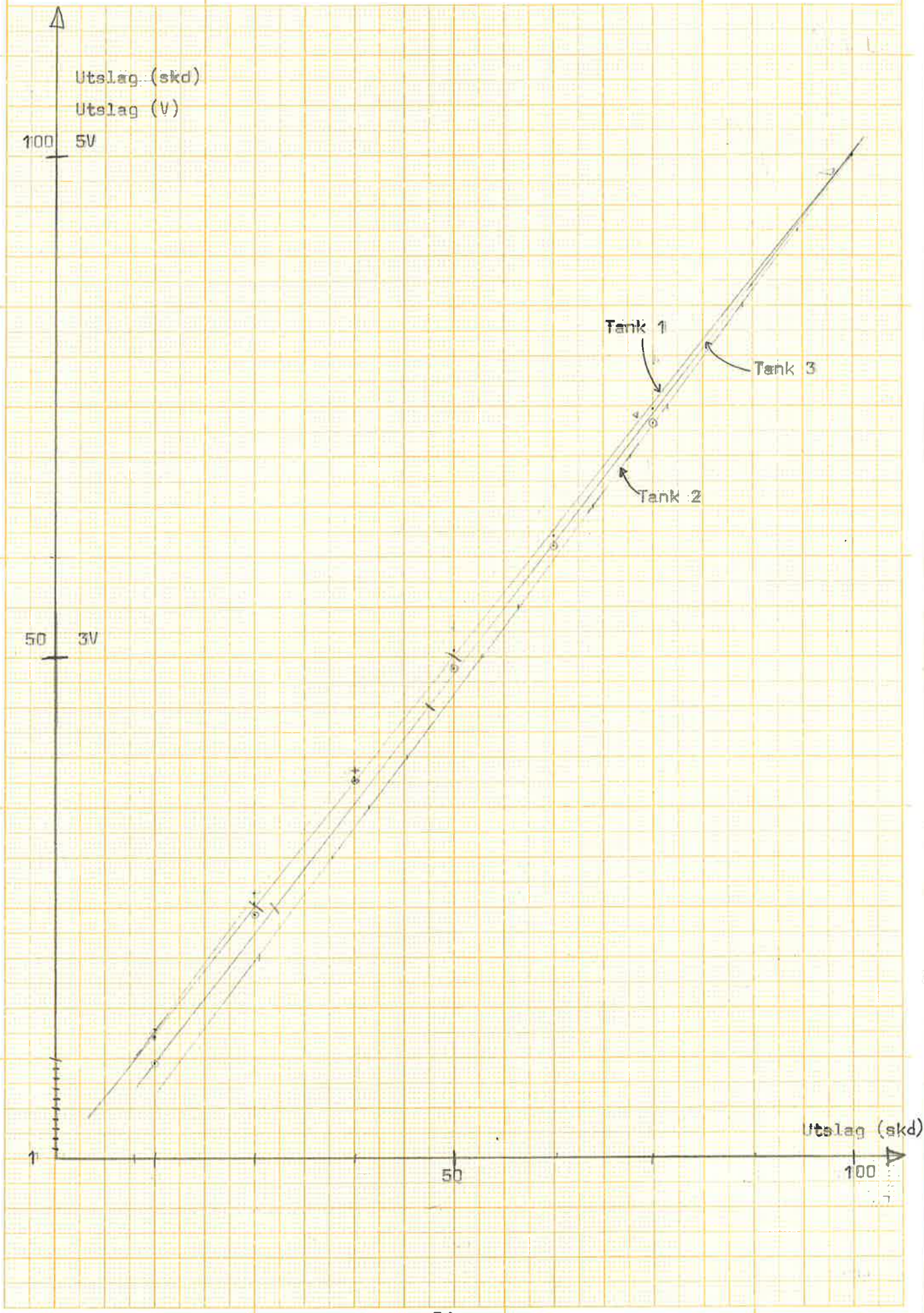
Över denna skala finns en följindikator som anger hur mycket ärvärde och börvärde skiljs åt i skaldelar. Under finns en utsignalsindikator som anger utsignalens storlek i skaldelar. Längst ned på regulatorns panel finns en switch med lägena manual och auto. I läge manual kan man med två olika hastigheter öka eller minska utsignalen genom att manuellt föra switchen mycket eller litet åt höger eller vänster. I läge auto fungerar regulatorn som en PI(D) regulator och ger en utsignal enligt (1). Vid uppstartning av en process bör man först manuellt se till att felet blir litet innan man slår över i läge auto.

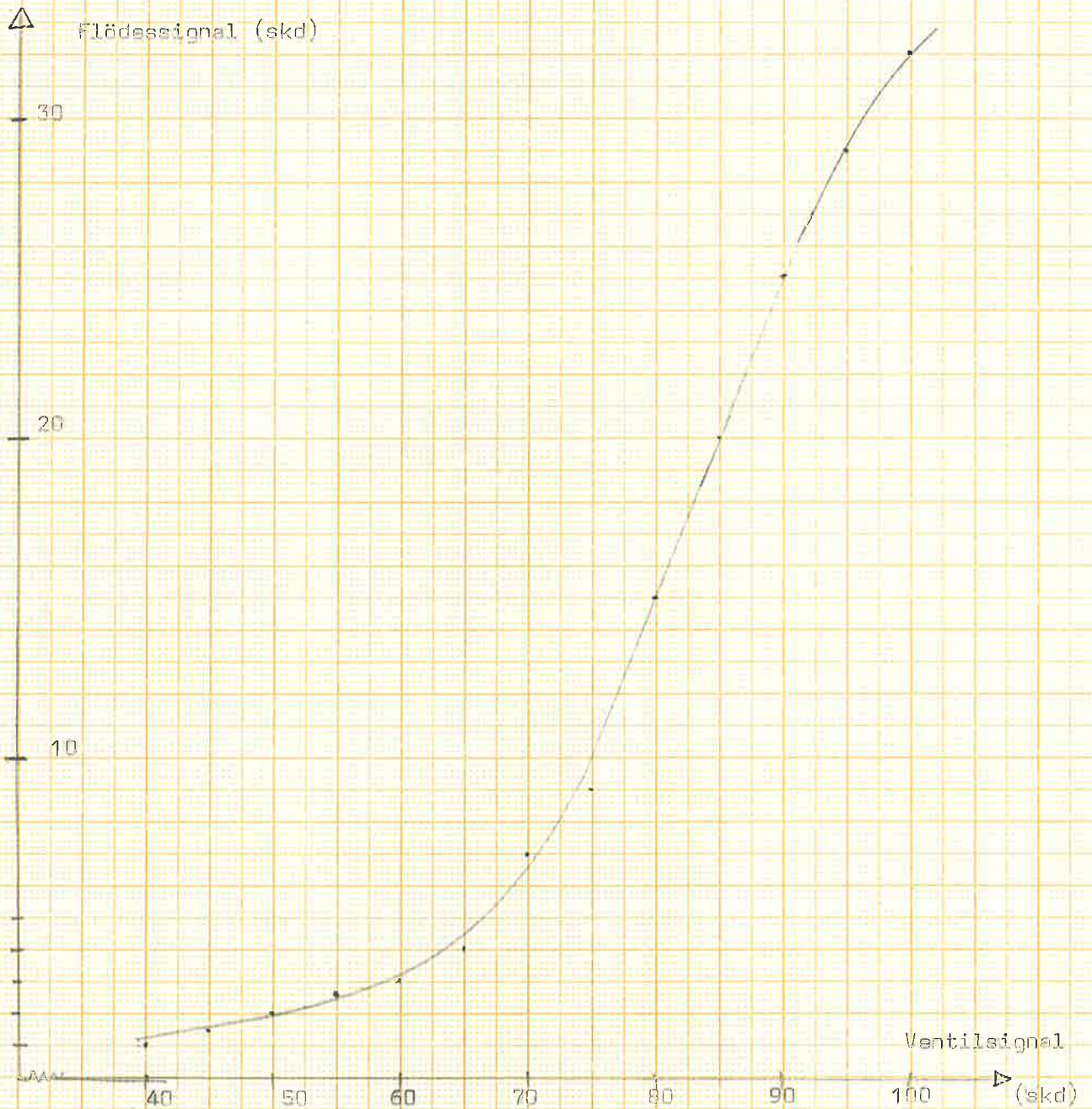
Genom att dra ut regulatorn en bit ur panelen finner man knapparna för inställning av K, T_I, T_D . Hur detta kan göras, se under rubriken

Reglering. På samma ställe finns två skruvar att justera utsignalens storlek. Tyvärr har vi inte lyckats få dem att fungera. Dessutom finns en omkopplare med lägena local och remote. I läge local ställer man in referensvärdet med hjälp av den graderade skalan som beskrivits ovan (detta är det vanliga fallet). Läge remote innebär att referensvärdet kopplas in från en yttre enhet (se t.ex. försöket med ~~locket-~~ **reglering**). I detta fall kopplas den yttre enhetens signal till börvärde på panelen.

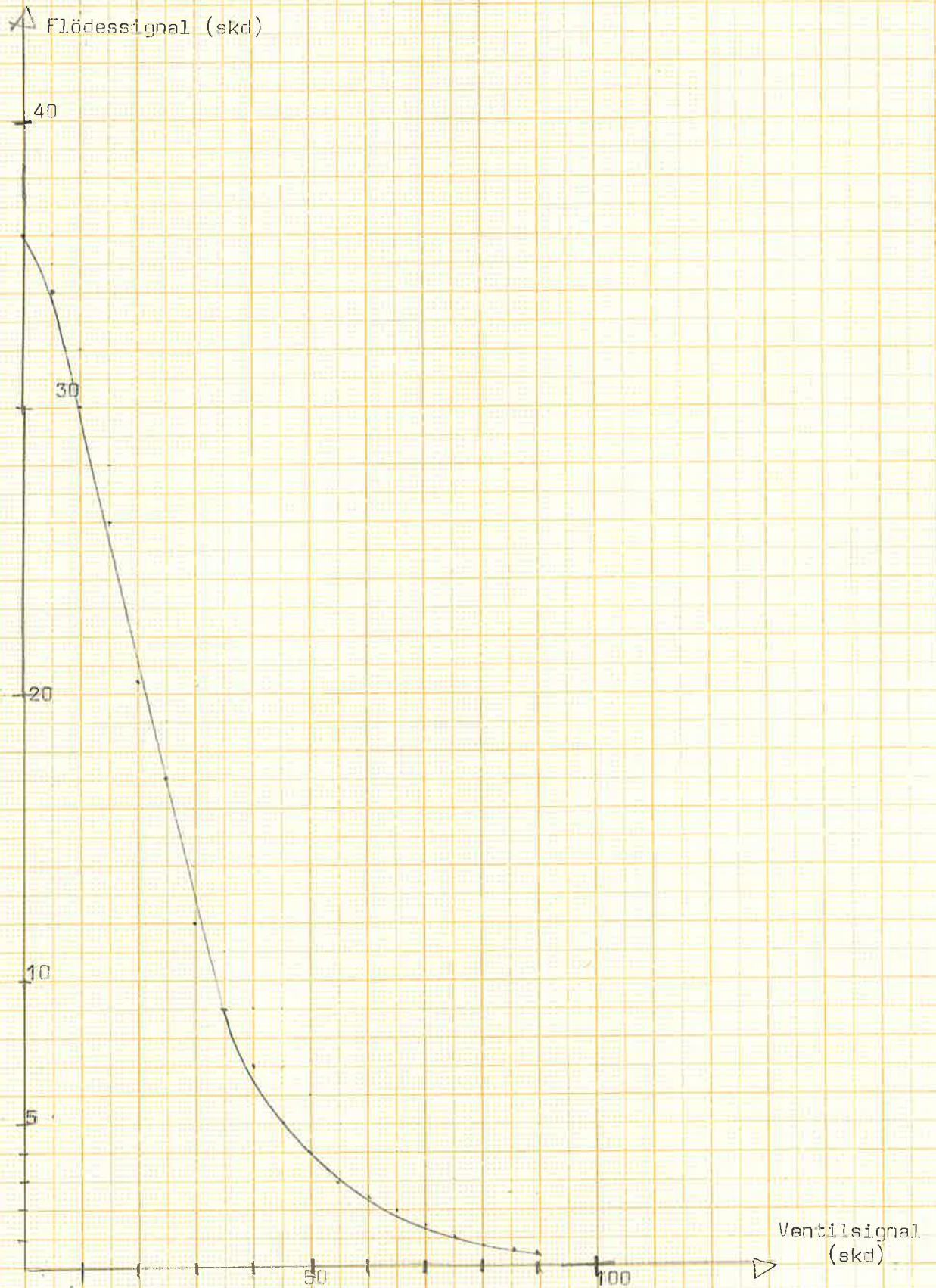
Kalibreringsdiagram för nivågivare

Diagram 1





Undre Flödesmätaren.



Flödessignal som funktion av flöde.
Övre flödesmätaren.

▲ Skrivarutslag

40

30

20

10

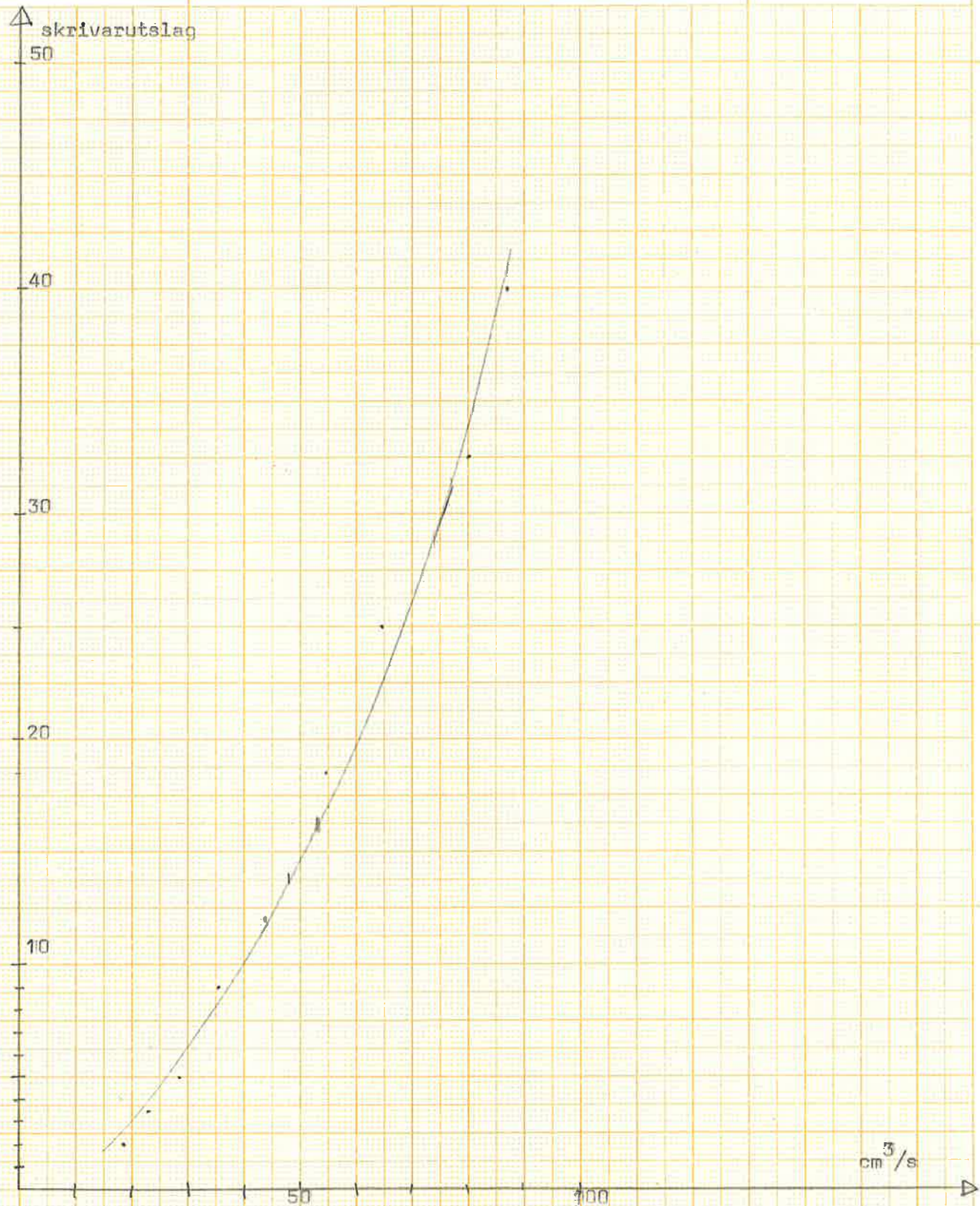
0

50

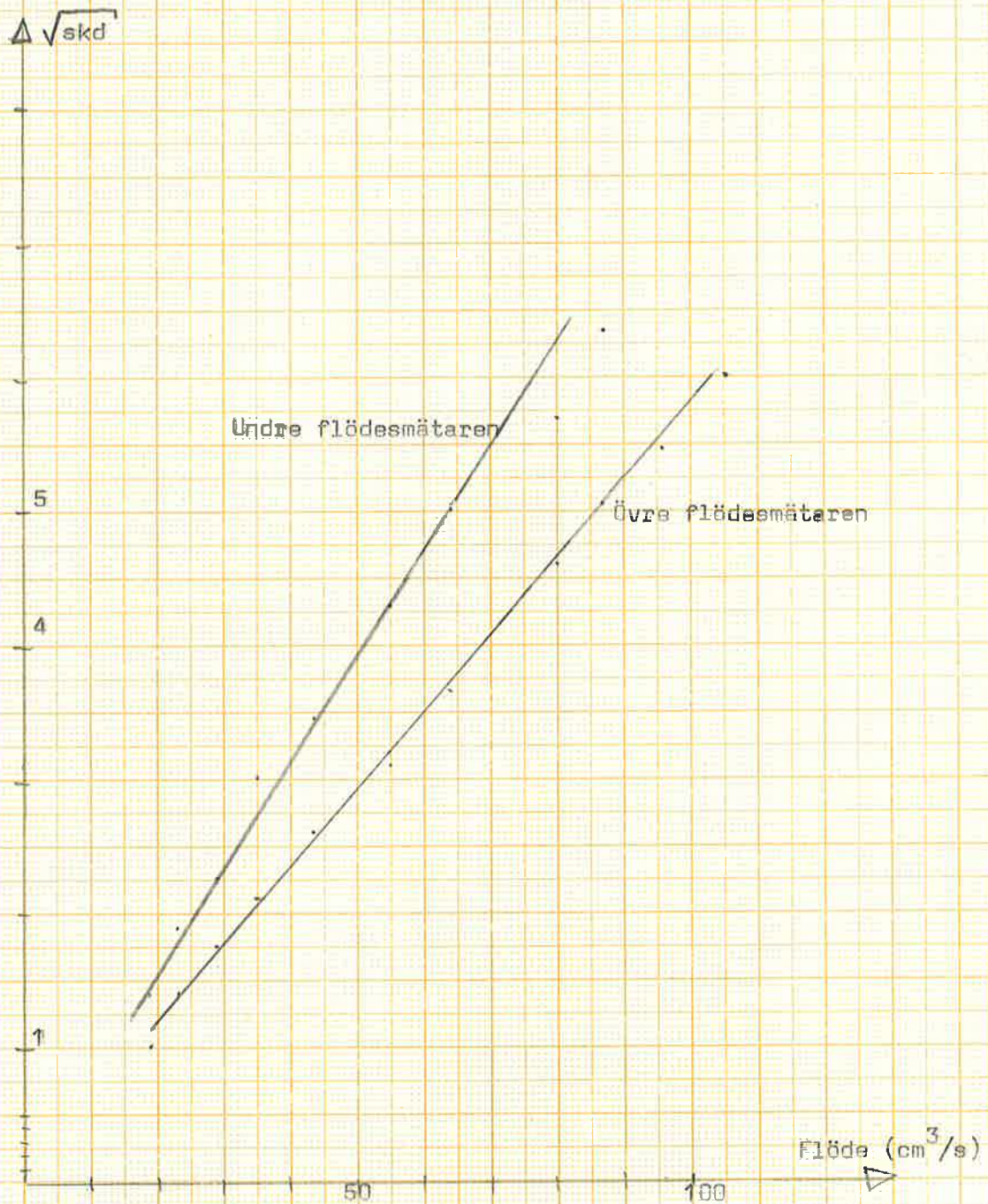
100

cm^3/s

Flödessignal som funktion av flöde.
Undre flödesmätaren.



Kvadratroten ur flödessignal som
funktion av flöde för flödesmätarna,



▲ Flöde (cm³/s)

100

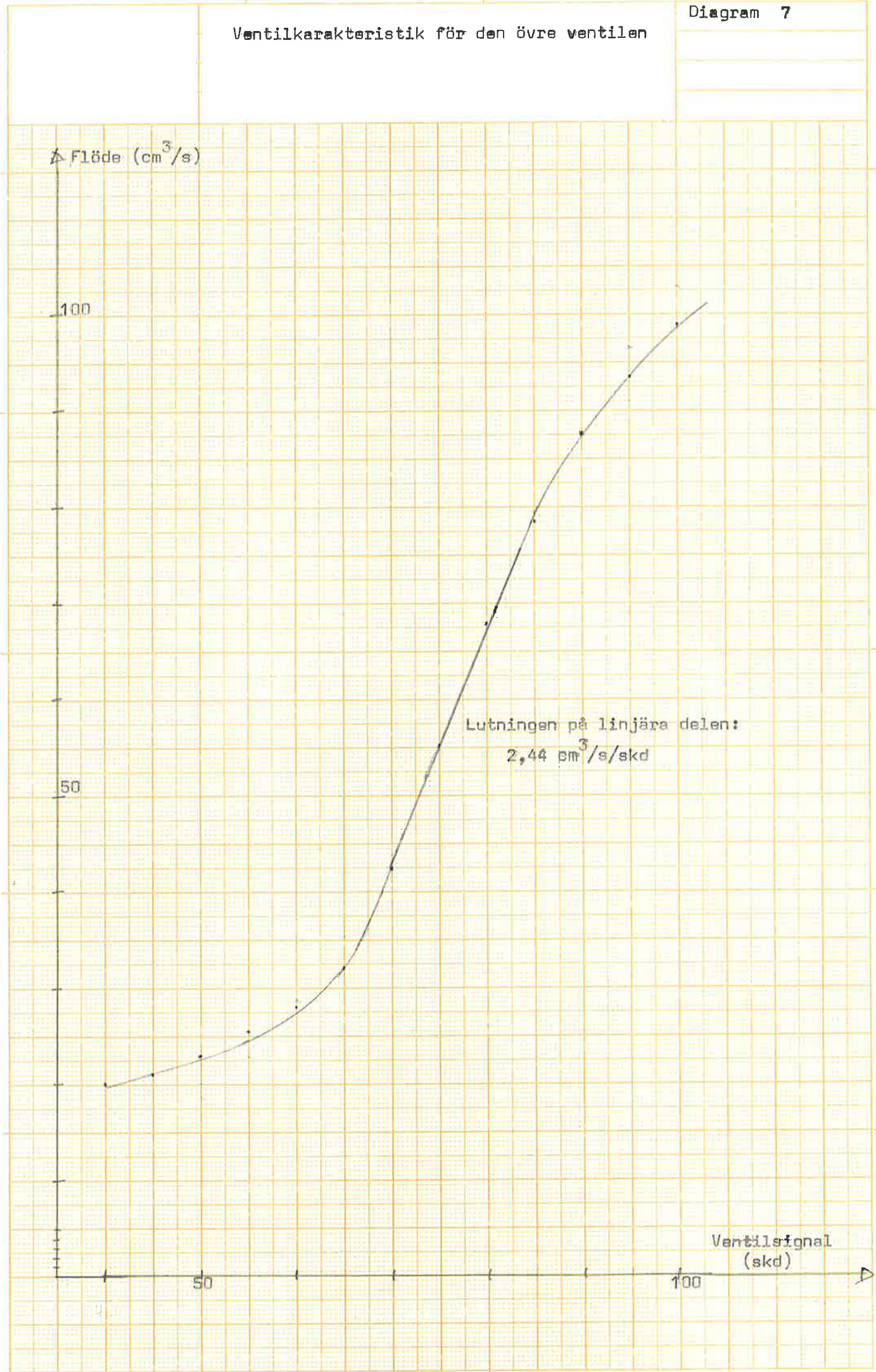
50

Lutningen på linjära delen:
2,44 cm³/s/skd

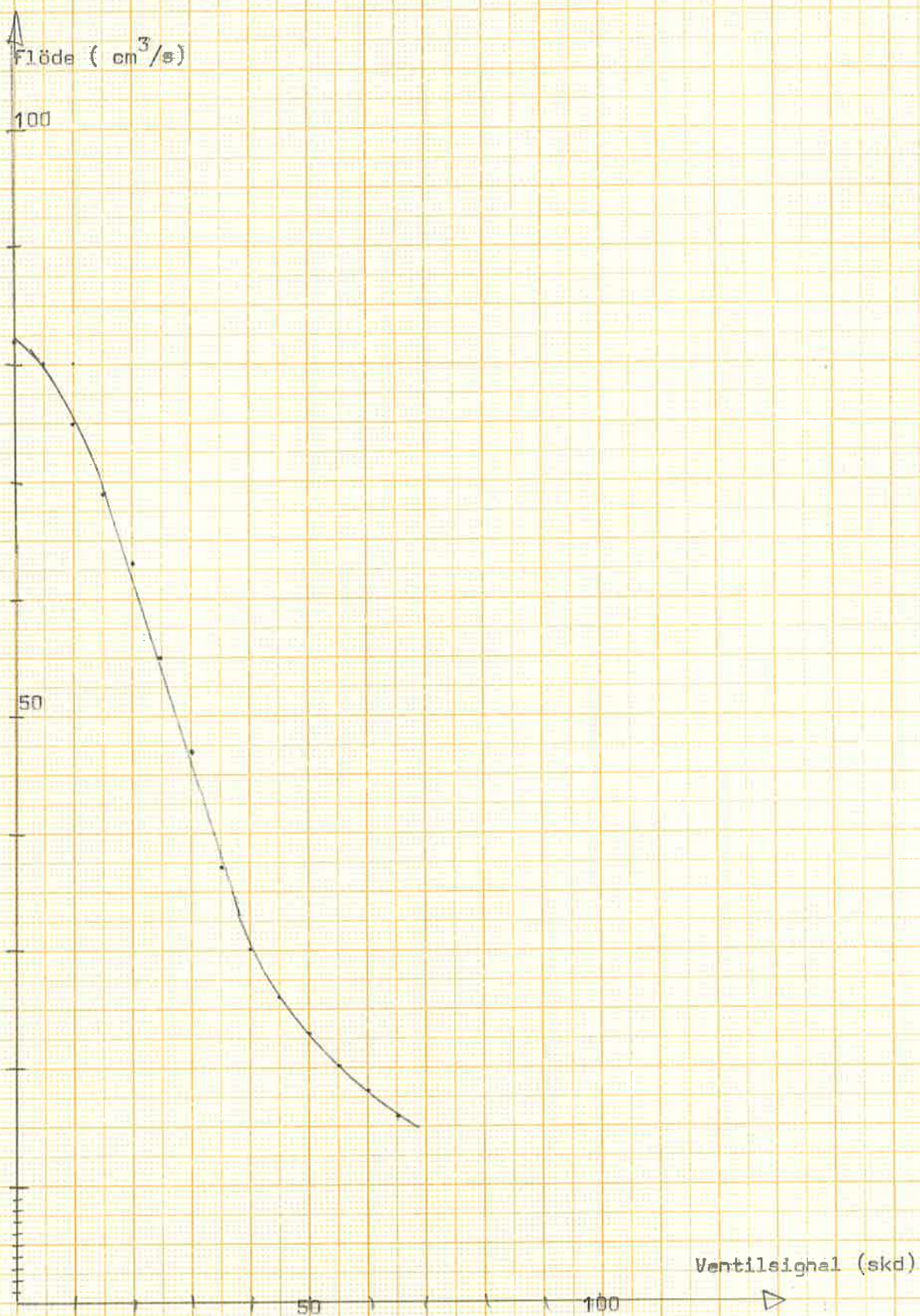
Ventilsignal
(skd)

100

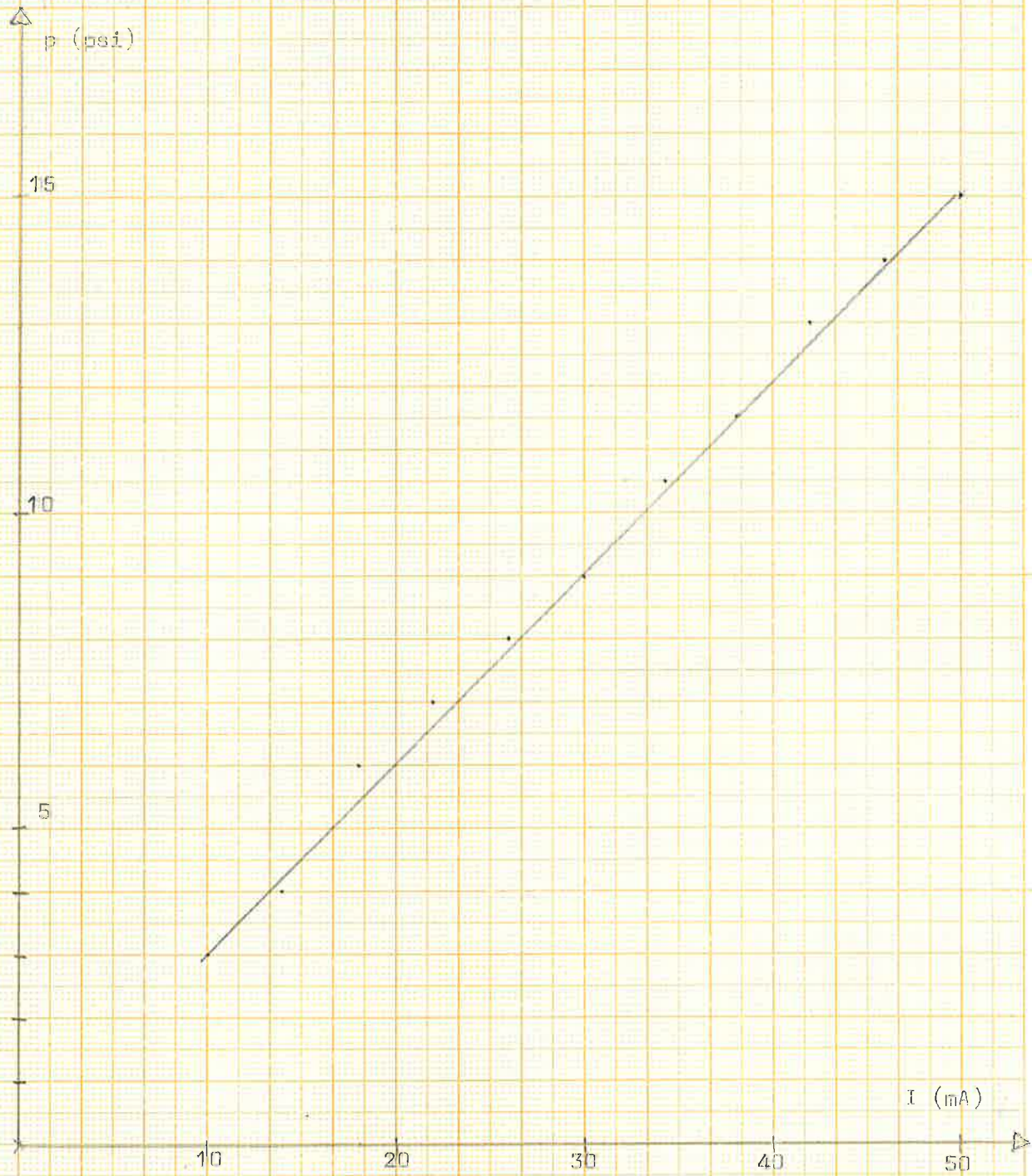
50



Ventilkaraktistik för undre ventilen.



Trycket från ström/tryck-givaren som
funktion av strömmen.



$$p = k \cdot I, \quad k = 0,3 \text{ psi/mA}$$

2.8 Uppskattning av brus

En uppskattning av bruset göres lämpligen med hjälp av minnesoscilloscop eller UV-skrivare. Följande uppskattning av bruset i olika signaler kan göras:

Nivån tank 1:	peak to peak	$\sim 0,01$ V	frekvens	~ 3 Hz
Nivån tank 2:	"	$\sim 0,005$ V	"	~ 5 Hz
Övre flödesmätare	"	$\approx 0,01$ V	"	~ 10 Hz

Dessa värden gäller överlagrade signaler till stationära likspänningsnivåer.

Små tryckvariationer ger upphov till motsvarande variationer i flöde, vilket ger variationer i nivå i tank 1, dock av lugnare slag. Dessa variationer slår igenom ändå mindre i tank 2.

3. Matematisk modell för systemet.

3.1. Tankdynamiken

De tre tankarna har identiska tvärsnittsareor och utloppsareor:

$$A_i = A = \frac{(4,99)^2 \cdot \pi}{4} = 19,6 \text{ cm}^2$$

$$a_i = a = \frac{(0,74)^2 \cdot \pi}{4} = 0,43 \text{ cm}^2 \quad (\text{se fig. 3.1})$$

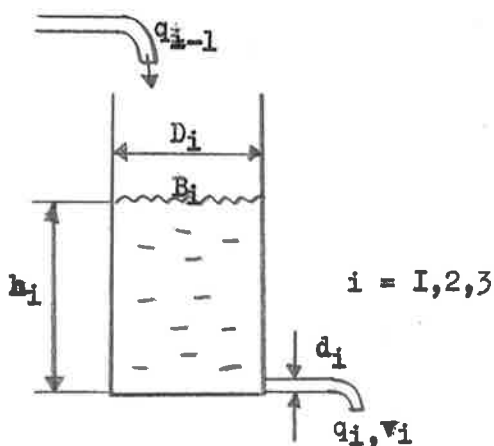


Fig. 3.1 Tank.

- q_{i-1} - inflöde
- q_i - utflöde
- h_i - nivå
- D_i - tankdiameter = 4,99 cm
- d_i - utloppsdiameter = 0,74 cm
- B_i - vattenytans hastighet
- v_i - utloppshastighet

Tillämpas Bernoullis ekvation:

$$p + \frac{\rho \cdot v}{2} + h \cdot \rho \cdot g = \text{konstant, på detta fall fås:}$$

$$p + \frac{\rho \cdot B_i}{2} + h_i \cdot \rho \cdot g = p + \frac{\rho \cdot v_i}{2} \quad \neq 0$$

$$\text{Antagandet } B_i \ll v_i \text{ ger } v_i = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_i} \text{ och } q_i = a_i \cdot v_i = a_i \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_i}$$

Massbalans ger:

$$A_i \cdot \frac{dh_i}{dt} = q_{i-1} - q_i \quad \text{dvs.:}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} A_1 \cdot \frac{dh_1}{dt} = q_0 - a_1 \sqrt{2 \cdot g \cdot h_1} \\ A_2 \cdot \frac{dh_2}{dt} = a_1 \sqrt{2 \cdot g \cdot h_1} - a_2 \sqrt{2 \cdot g \cdot h_2} \\ A_3 \cdot \frac{dh_3}{dt} = a_2 \sqrt{2 \cdot g \cdot h_2} - q_3 \end{array} \right. \quad (\text{ekv. 3.1})$$

Här antages att pumpen i utloppet till tank 3 håller konstant flöde oberoende av höjden. Linearisering av ekv. 3.1 kring en stationär punkt

$h_1 = h_{10}$ om $q_0 = q_{00}$ ger:

$$\left\{ \begin{aligned} A_1 \frac{d(h_1 - h_{10})}{dt} &= q_0 - q_{00} - (h_1 - h_{10}) \cdot a_1 \cdot \sqrt{\frac{g}{2 \cdot h_{10}}} \\ A_2 \frac{d(h_2 - h_{20})}{dt} &= (h_1 - h_{10}) \cdot a_1 \cdot \sqrt{\frac{g}{2 \cdot h_{10}}} - (h_2 - h_{20}) \cdot a_2 \cdot \sqrt{\frac{g}{2 \cdot h_{20}}} \quad (\text{ekv. 3.2}) \\ A_3 \frac{d(h_3 - h_{30})}{dt} &= (h_2 - h_{20}) \cdot a_2 \cdot \sqrt{\frac{g}{2 \cdot h_{20}}} \end{aligned} \right.$$

Införes de nya variablerna:

$$x_i = h_i - h_{i0}, \quad i = 1, 2, 3$$

$$u = q_0 - q_{00}$$

$$T_j = \frac{A_j}{a_j} \cdot \frac{2 \cdot h_{i0}}{g}, \quad j = 1, 2$$

Kan systemet ekv. 3.2 skrivas på tillståndsformen:

$$\dot{x} = \begin{pmatrix} -\frac{1}{T_1} & 0 & 0 \\ \frac{1}{T_1} & -\frac{1}{T_2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{T_2} & 0 \end{pmatrix} x + \begin{pmatrix} \frac{1}{A} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} u \quad (\text{ekv. 3.3})$$

$$y = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} x$$

Laplacetransformering av ekv. 3.3 ger

$$\left\{ \begin{aligned} sX_1(s) &= -\frac{X_1(s)}{T_1} + \frac{U(s)}{A} \\ sX_2(s) &= \frac{X_1(s)}{T_1} - \frac{X_2(s)}{T_2} \\ sX_3(s) &= \frac{X_2(s)}{T_2} \end{aligned} \right. \quad (\text{ekv. 3.4})$$

Ur ekv. 3.4 fås överföringsfunktionerna från avvikelse i insignal (U) till resp. avvikelse i nivå (X_1):

$$\left\{ \begin{aligned} G_1(s) &= \frac{X_1(s)}{U(s)} = \frac{1/A}{s + 1/T_1} \\ G_2(s) &= \frac{X_2(s)}{U(s)} = \frac{1/A \cdot T_1}{(s + 1/T_1)(s + 1/T_2)} \\ G_3(s) &= \frac{X_3(s)}{U(s)} = \frac{1/A \cdot T_1 \cdot T_2}{(s + 1/T_1)(s + 1/T_2) \cdot s} \end{aligned} \right. \quad (\text{ekv. 3.5})$$

3.2 Nivågivare, ventil, flödesmätare.

Överföringsfunktionen för nivågivare kan sättas till 0,1 V/cm. Ventilen har överföringsfunktionen $\frac{62,5}{1 + Ts}$ cm³/sV där T ej är entydig (se avsnitt 2.3).

För flödesmätarna får man linearisera kring stationära punkter (se t.ex avsnitt 4.6).

4. Reglering

4.1 Metoder att bestämma reglerparametrar

Vi ska använda oss av två metoder vilka båda bygger på arbeten av Ziegler och Nichols. Metoderna finns återgivna i referens 9, sid. 251-257. Den ena av dessa (självsvängningsmetoden) återfinns även i referens 7, något modifierad. Det är denna version som återges här.

I. Självsvängningsmetoden

Denna metod är hantverksmässig, man följer ett antal punkter för att bestämma parametrarna:

1. Med omkopplingsknappen i läge " manual " sätts proportionalbandet till maximum, eller till ett högt, säkert värde. Sätt integrations-tiden till maximum.
2. Koppla bort derivationstiden eller sätt den till ett lågt säkert värde.
3. Justera " output " tills avvikelseindikatorn visar noll.
4. Slå över omkopplingsknappen till läge " auto ". Gör en liten stegändring (upp eller ner). Kontrollera utslaget på avvikelse-skalan.
5. Om " cycling " inte uppträder så skifta över till " manual " och justera propotionalbandet till halva föregående värde.
6. Upprepa punkterna 4 och 5 tills " cycling " uppträder. Öka propor-tionalbandet till dubbla värdet. Glöm ej att slå över till " manual ".
7. Med omkopplingsknappen i " auto " justeras derivationstiden till dubbla värdet.
8. Gör en liten stegändring (upp eller ner) och observera utslaget på avvikelsskalan.
9. Upprepa punkterna 7 och 8 tills " cycling " uppträder. Justera därefter derivationstiden till hälften av sista värdet.

10. Sätt integrationstiden till fyra gånger den slutliga derivations- tiden i punkt 9.

Detta ger alltså parametrarna till en PID-regulator. Har man en PI-regulator förfar man sålunda: Efter punkt 6 ovan halveras integrations- tiden tills "cycling" uppträder. Sen väljer man integrationstiden till dubbla det värde för vilket "cycling" uppträdde.

Man bör ha i minnet att parametrarna bestämda på detta sätt ger en första approximation till en bra inställning. Uti från dessa kan man ofta justera till ändå bättre reglering. Denna anmärkning gäller även följande metod.

2. Metoden med stegvarsanalys

Man undersöker stegsvaret för det öppna systemet:

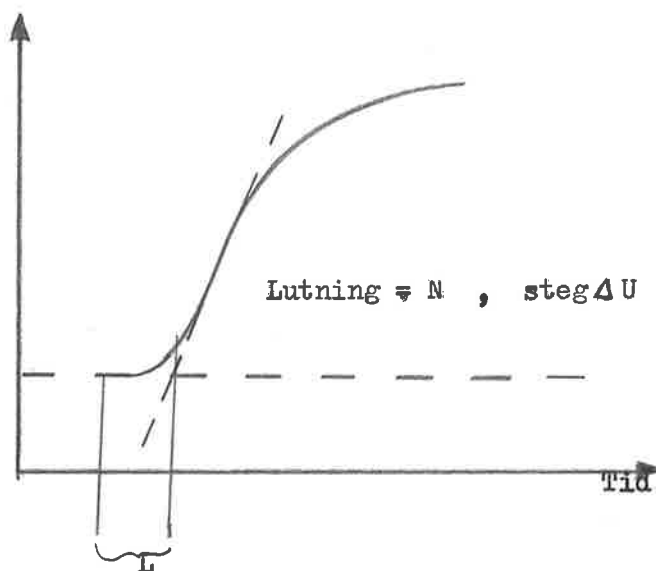


Fig. 4.1 Öppna systemets stegsvar

Parametrarna väljes i tur och ordning enligt:

$$P: \quad K = \frac{\Delta U}{N \cdot L}$$

$$PI: \quad K = \frac{0,9 \cdot \Delta U}{N \cdot L}$$

(ekv. 4.1)

$$T_I = \frac{L}{0,3}$$

$$PID: \quad K = \frac{1,2 \cdot \Delta U}{N \cdot L} \quad , \quad T_I = \frac{L}{0,5} \quad , \quad T_D = 0,5 \cdot L$$

4.2 Reglering av tank I

Blockschema för systemet som ska nivåregleras ges av fig. 4.2.

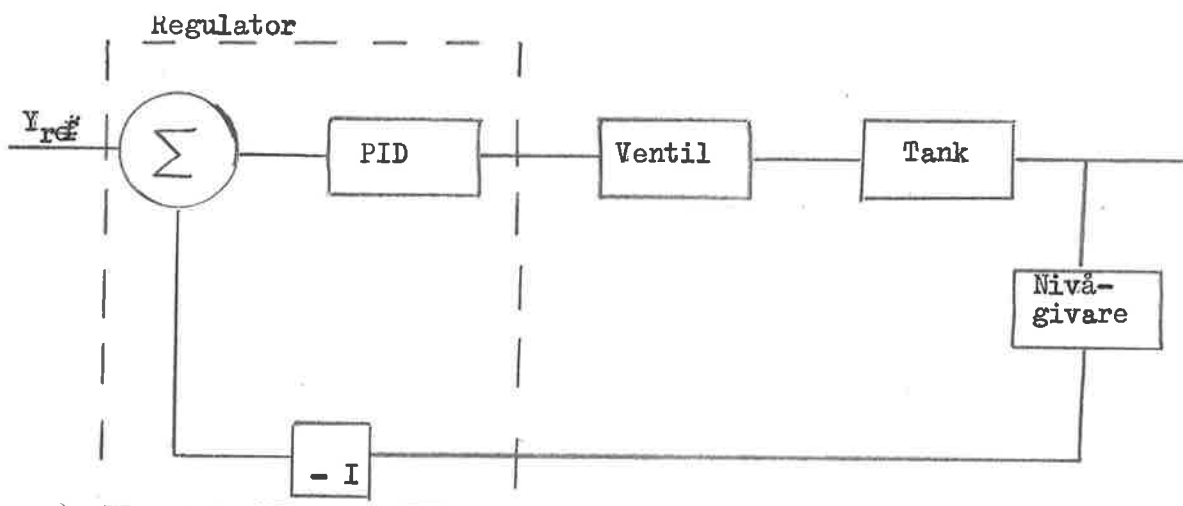


Fig. 4.2 Blockschema vid reglering av tank I.

Vi undersöker först stegsvar , där vi använt självsvängningsmetoden, fig 4.3 och fig 4.4.

Rekommendabel inställning är:

Prop. band = 13 %

$T_I = 1 \text{ min.}$

$T_D = 0$

Valvactor inkopplad.

Utan valvactor får man ett något slängigare system än med. Man kan eventuellt precis koppla på T_D men hålla den mycket liten, detta ger något mindre översläng, men i detta fall bör valvactorn frånkopplas ty man ser en tendens till oscillationer. Se fig. 4.3. I allmänhet bör man dock använda valvactor vid nivåreglering.

Wid reglering på högre nivåer finns en stor skillnad mellan tidskonstanterna för höjning resp. sänkning av nivån, fig 4.4. Detta

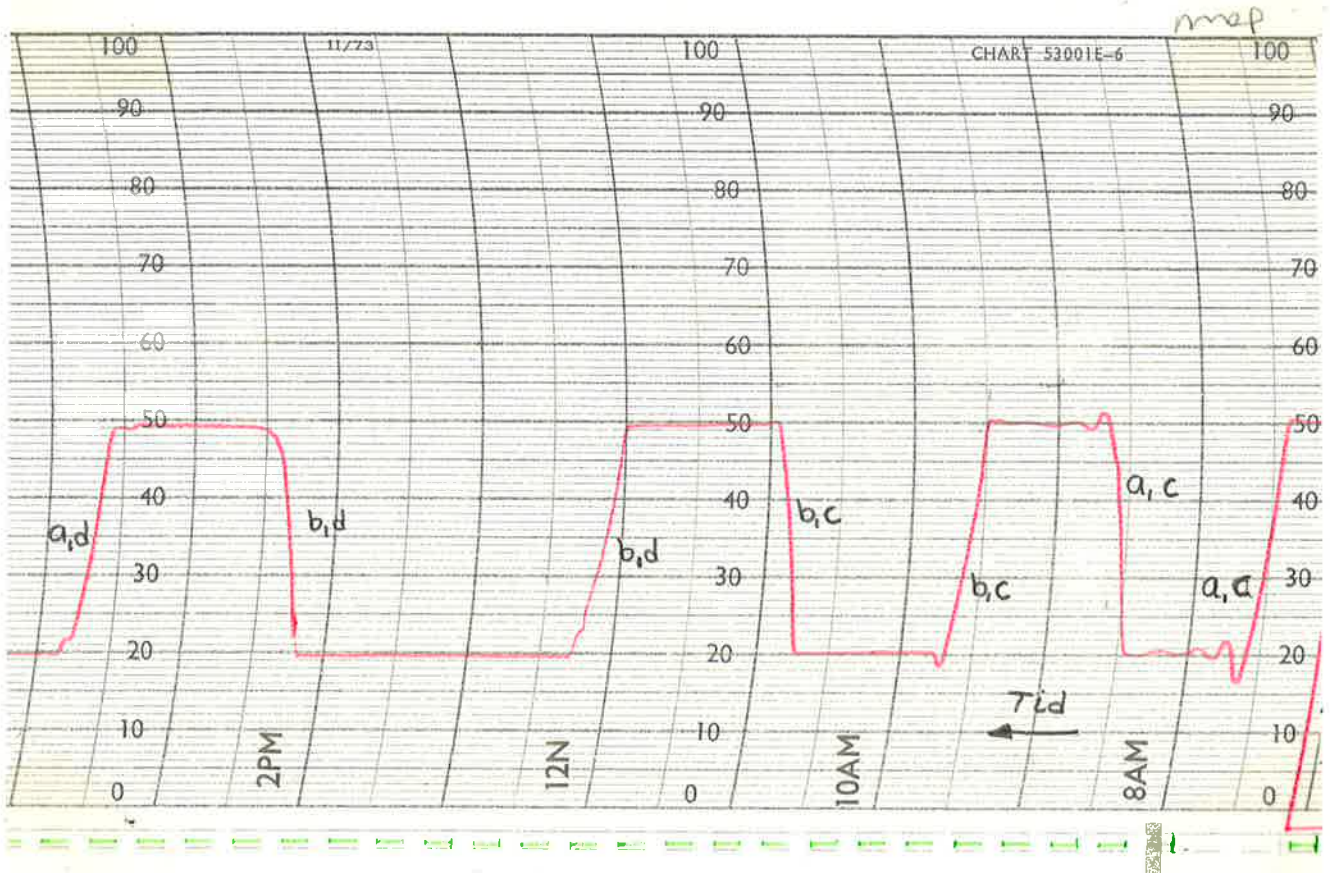


Fig. 4.3

Fig. 4.3 Stegsvär vid reglering av tank I.
 a - utan valvactor
 b - med valvactor
 c - $T_D = 0$
 d - $T_D > 0$, men mycket litet

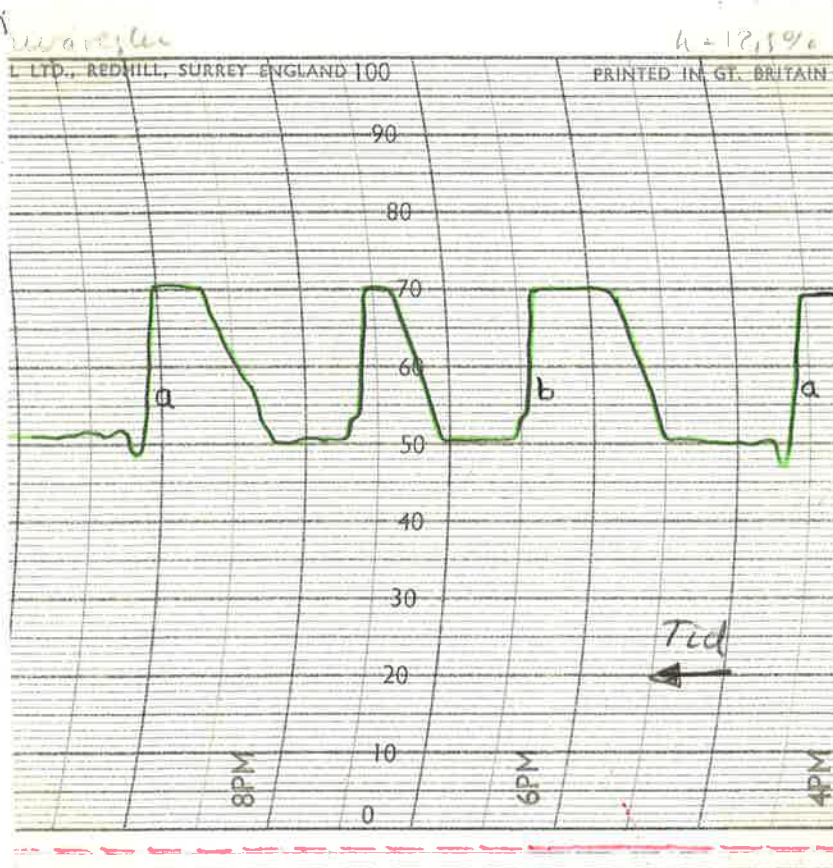


Fig. 4.4 Reglering på höga nivåer. Beteckningar som ovan.

Fig. 4.4

beror på att när man ska höja nivån i detta fall så ändras ventilläget ganska litet, ty ventilen står redan nästan helt öppen, detta ger en liten flödesändring och nivån stiger lite långsammare. Dessutom är ventilens tidskonstant i detta fall större. Vid ändring nedåt ändras flödet mera och snabbare.

Orsaken till att man måste vara försiktig med D-delen i regulatorn torde återfinnas i det faktum att bruset är ganska kraftigt. Se avsnitt 2.8

Metoden med stegvarsanalys ger reglering enligt fig. 4.6. Parametrarna beräknas med hjälp av fig. 4.5.

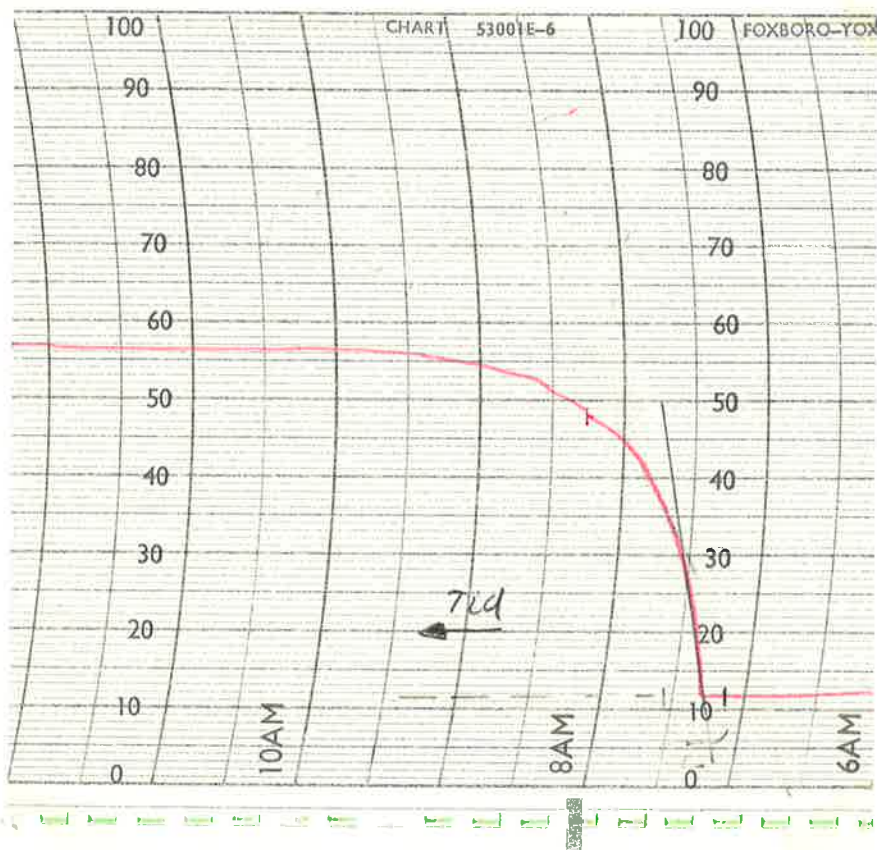


Fig. 4.5. Reglering av tank 1, stegändring på det öppna systemet.

$$\Delta u = 56,5 - 11,9 = 44,6$$

$$L = 5,1 \text{ s}$$

$$M = \frac{50 - 11,9}{13,6 - 5,1} = 4,5$$

Parametrarna blir:

$$P: K = \frac{44,6}{4,5 \cdot 5,1} = 1,94$$

$$P\text{-band} = 51 \%$$

$$PI: P\text{-band} = 57\%$$

$$T_I = 0,25 \text{ min.}$$

$$PID: P\text{-band} = 43\%$$

$$T_I = 0,17 \text{ min.}$$

$$T_D = 0,04 \text{ min.}$$

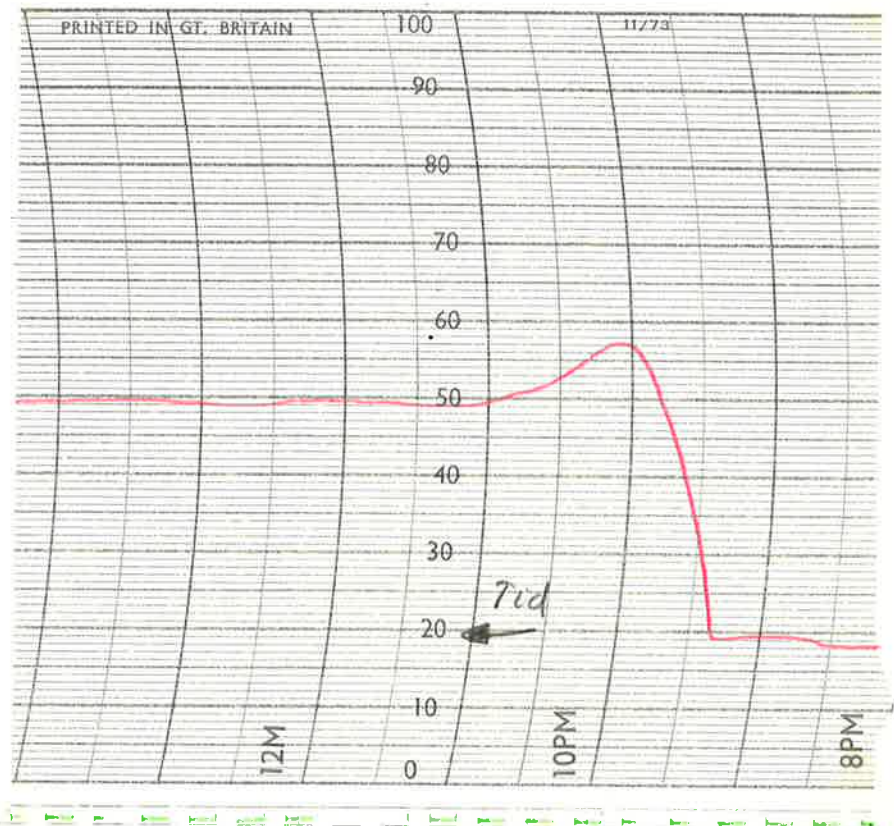


Fig. 4.6 reglering av tank 1 med PID - regulator, då regulatorparametrarna bestämts genom metoden med stegsvarsanalys.

En jämförelse mellan metoderna ger vid handen att regleringen med hjälp av självsvängningsmetoden blir den bästa. Möjligen kan man ytterligare förfina inställningen i stegsvarsanalys fallet.

4.3 Flödesreglering. Jämförelse med nivåreglering

Uppkoppling enligt fig. 4.7 användes.

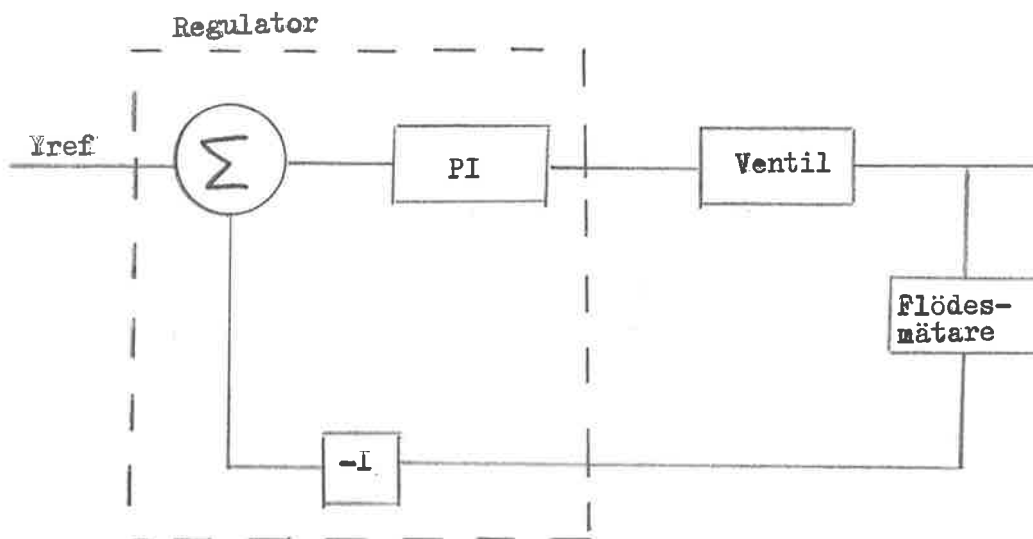


Fig. 4.7 Blockschema för flödesreglering.

Stegsvar vid flödesreglering finns i fig. 4.8.

Följande inställning rekommenderas (självsvängningsmetoden):

P-band = 100 %

$T_I = 0,05$ min.

$T_D = 0$

Valvactor urkopplad.

Flödessignalen är rik på brus vilket omöjliggör en D-del i regulatorn.

Dessutom måste förstärkningen hållas låg. Se avsnitt 2.8.

Vid nivåregleringen av tank I blir tankens dynamik den avgörande delen i överföringsfunktionen. Vid flödesreglering är ventilen den långsammaste komponenten i systemet och blir den komponent som bestämmer systemets egenskaper. Vi får därför vissa skillnader i de två fallen. I referens 10 diskuteras inverkan av valvactor vid flödesreg-

lering och nivåreglering. Vid flödesreglering får valvactorn en negativ inverkan på grund av att ventilens snabbhet ökar, dynamiska förstärkningen ökar. Vi kan få instabilitet. Vid nivåreglering däremot kan hysteresverkan i ventilen och en regulator med integrerande del ge tendens till instabilitet. Detta avhjälpas med valvactorn, man sluter då en loop runt ventilmotorn. Se avsnitt 2.3

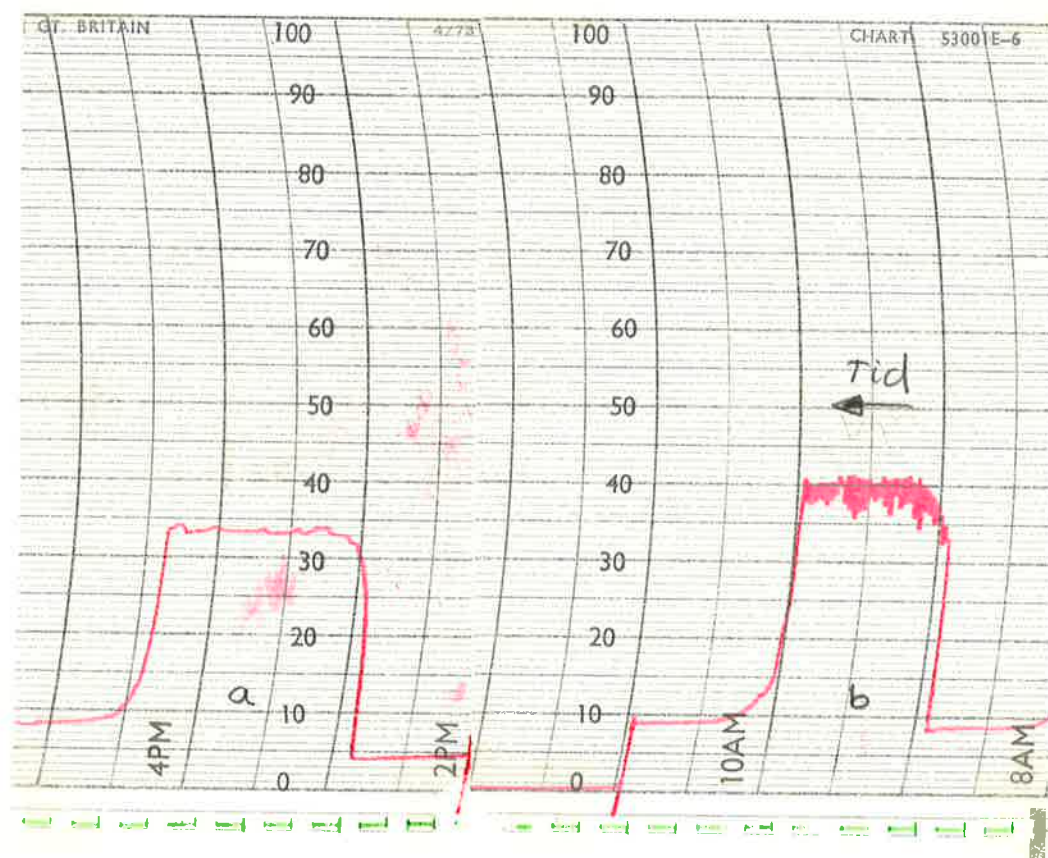


Fig. 4.8 Stegsvär vid flödesreglering.
a - utan valvactor
b - med valvactor

4.4 Reglering av tank 2

Systemet får utseendet enligt fig. 4.9.

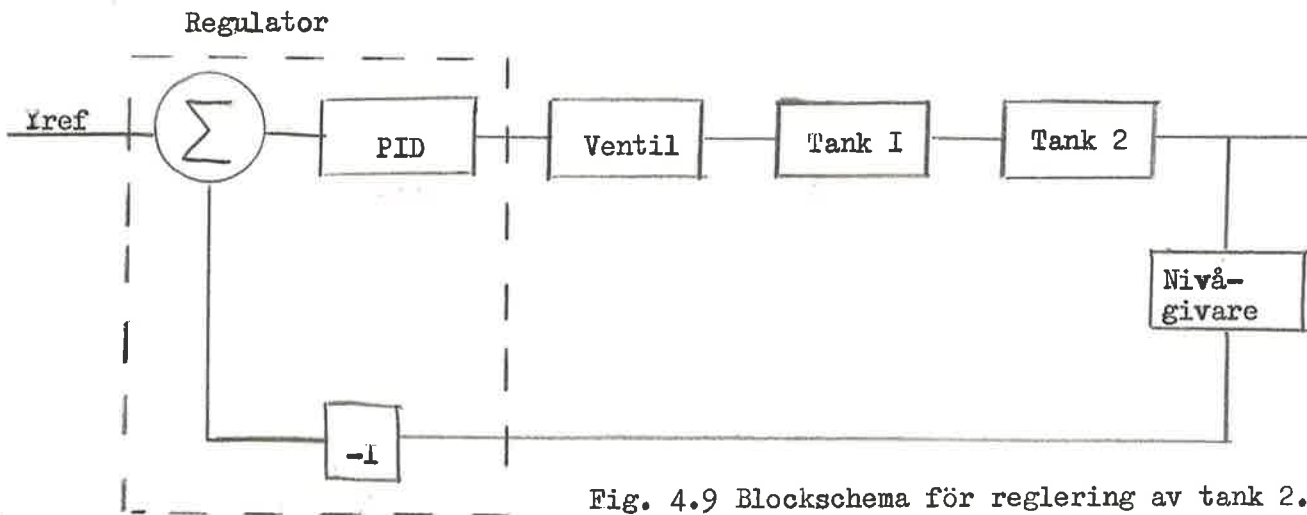


Fig. 4.9 Blockschemat för reglering av tank 2.

Stegsvar för de olika metoderna finns i fig. 4.10 resp. fig. 4.12.

Rekommenderade parametrar är (självsvängningsmetoden) :

P-band = 25 %

$T_I = 1$ min.

$T_D = 0,10$ min.

Denna inställning ger bättre resultat än den man kommer fram till

via metoden med stegvarsanalys. För stegvarsanalysen se fig. 4.11.

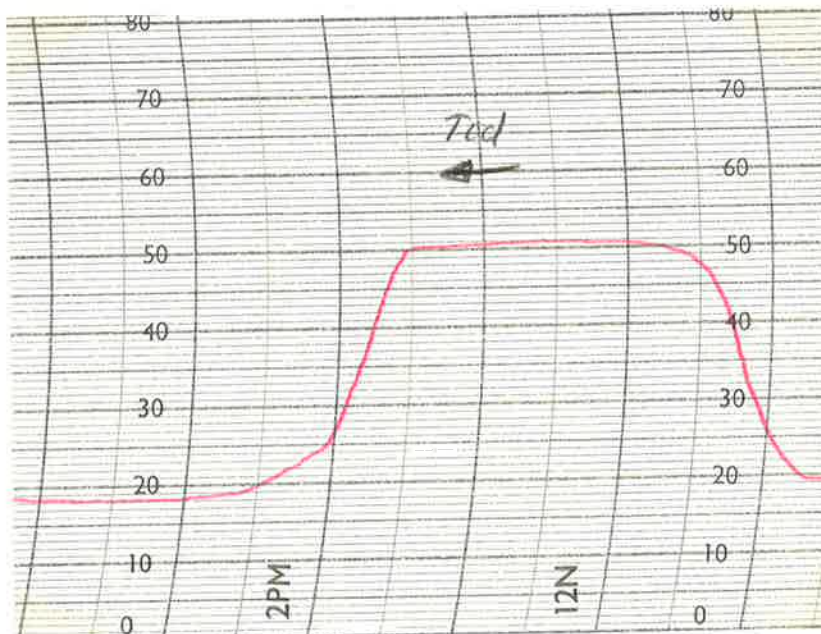


Fig. 4.10 Stegsvär för tank 2. Parametrar enl. metoden med självsvängning.



Fig. 4.II Stegsvär för det öppna systemet.

$$\Delta U = 6I$$

$$N = 1,3$$

$$L = 8,5$$

$$P: P\text{-band} = 18 \%$$

$$PI: P\text{-band} = 20 \%$$

$$T_I = 0,47 \text{ min.}$$

$$PID: P\text{-band} = 15 \%$$

$$T_I = 0,28 \text{ min.}$$

$$T_D = 0,07 \text{ min.}$$

Bruset i tank 2 är mindre vilket möjliggör en D-del i regulatorn.

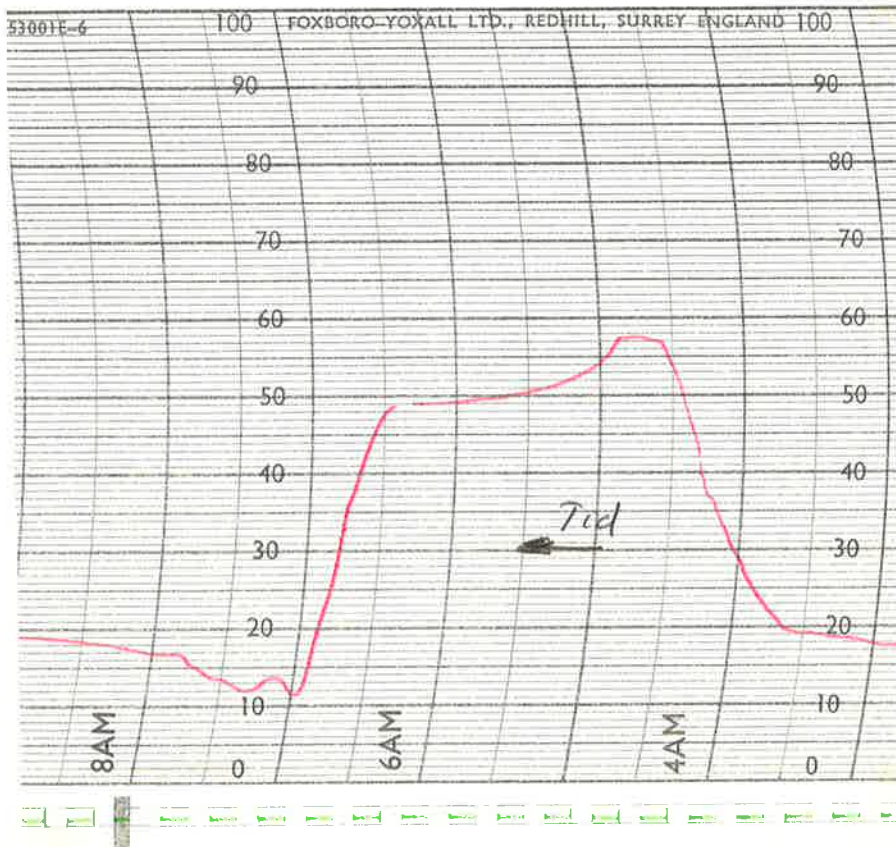


Fig. 4.12 Stegsvär för tank 2. Parametrar enl. metoden med stegsvärsanalys.

4.5 Reglering av tank 3.

Enligt den matematiska modellen är överföringsfunktionen från avvikelse i insignal till nivåavvikelse i tredje tanken:

$$\frac{1/A \cdot T_1 \cdot T_2}{(s + 1/T_1)(s + 1/T_2)s}$$

Vårt problem var att med en styrlag (se referens II, sid 230) försöka styra tredje tankens nivå genom återkoppling från tankarnas nivåer. För att göra detta räcker det inte enbart med att utgå från den ovan givna överföringsfunktionen utan hänsyn måste också tas till ventil och nivågivares överföringsfunktioner. Styrlagen får utseendet:

$$U = Y_{ref} - l_1 \cdot x_1 - l_2 \cdot x_2 - x_3$$

Signalerna från tanknivåerna leds in i en analogmaskin, där de sammansätts till ovan givna styrsignal och denna signal förs ut till övre ventilen. Genom att införa en förstärkningsparameter K i analogmaskinen behåller vi friheten att placera systemets poler vart vi vill.

Denna gång får systemet utseendet enligt fig. 4.I3.

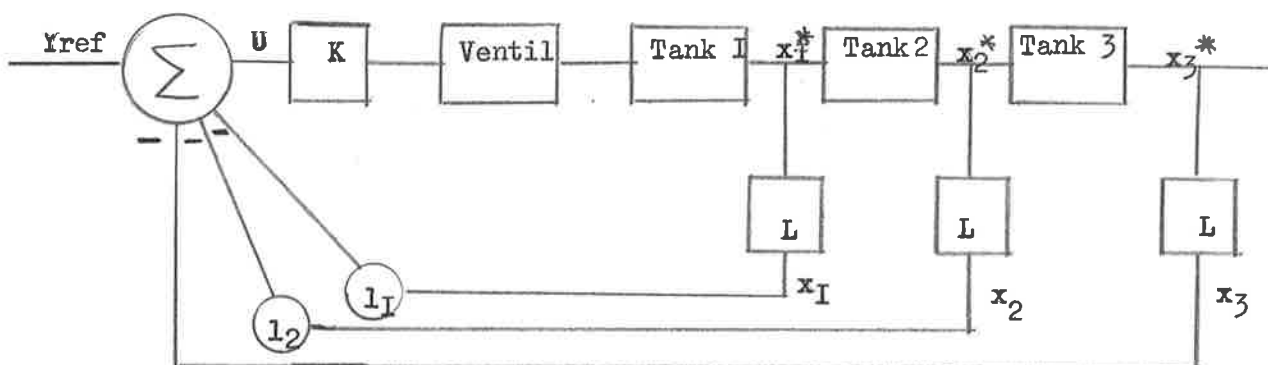


Fig. 4.I3 Blockschemata för reglering av tank 3.

Överföringsfunktioner:

Förstärkningsparametern - K

Ventil - $62,5 \text{ (cm}^3/\text{s)}/V$

Tank 1 och 2 - $\frac{0,5}{10s + 1} \text{ cm}/(\text{cm}^3/\text{s})$

Tank 3 - $\frac{0,05}{s}$ "

Nivågivare, L - $0,1 \text{ V}/\text{cm}$

Ventildynamiken har försumrats, vilket ger ett visst fel kommer det att visa sig.

Fig. 4.13 ger:

$$x_1 = \frac{2,8 \cdot U \cdot K}{10s + 1}$$

$$x_2 = \frac{0,5}{10s + 1} \cdot x_1$$

$$x_3 = Y = \frac{0,05}{s} \cdot x_2 = \frac{2,8 \cdot U \cdot K \cdot 0,5 \cdot 0,05}{(10s + 1)^2 \cdot s} \quad \Leftrightarrow$$

$U = \frac{(10s + 1)^2 \cdot s}{0,073 \cdot K} \cdot Y$ vilket tillsammans med styrlagen ekv. 4.2 ger:

$$\frac{(10s + 1)^2 \cdot s}{0,073 \cdot K} \cdot Y = Y_{\text{ref}} - l_1 \cdot \frac{3 \cdot s}{0,073} \cdot (10s + 1) \cdot Y - l_2 \cdot \frac{1,47}{0,073} \cdot s \cdot Y - Y \quad \Leftrightarrow$$

$$Y = \frac{Y_{\text{ref}} \cdot 0,073 \cdot K}{(10s + 1)^2 \cdot s + l_1 \cdot 3 \cdot (10s + 1) \cdot Ks + l_2 \cdot 1,47 \cdot K \cdot s + 0,073 \cdot K} \quad (\text{ekv. 4.3})$$

Ur ekv. 4.3 kan den karakteristiska ekvationen och överföringsfunktionen från Y_{ref} till Y avläsas. Vi ser att vid stationaritet ($s = 0$) blir $Y = Y_{\text{ref}}$. Tack vare att tredje tanken fungerar som integrator (vilket sker tack vare att utflödet är konstant, se ekv. 3.1) får vi inget stationärt fel, förutsatt att den tredje återkopplingsparametern, l_3 , sätts = 1. Införandet av K eliminerar då inverkan av restriktionen $l_3 = 1$.

Karakteristiska ekvationen blir:

$$s^3 + 20 + \frac{l_1 \cdot 30 \cdot K}{100} \cdot s^2 + \frac{l_1 + l_1 \cdot 3 \cdot K + l_2 \cdot 1,47 \cdot K}{100} \cdot s + \frac{0,073 \cdot K}{100} = 0 \quad (\text{ekv. 4.4})$$

Vi ser direkt i den karakteristiska ekvationen att problem kanske kan

uppstå. Om vi lägger polerna alltför långt från origo i vänstra halvplanet ser vi på termen $\frac{0,073 \cdot K}{100}$ att K kommer att bli mycket stort vilket kan ge problem med överstyrningar av operationsförstärkarna. Om vi däremot lägger en pol nära origo, för att därmed få ned storleksordningen på K, kommer stabilitetsproblem att dyka upp.

För att undersöka giltigheten av resonemanget ovan simulerades systemet på institutionens dator, PDP-15, med hjälp av SIMNON (ett interaktivt simuleringsprogram för olinjära system). För resultatet se fig. 4.14 och fig. 4.15. Om polerna läggs i $(-1 + j \cdot 0,01, -1 - j \cdot 0,01, -1)$ ger detta en karakteristisk ekvation med utseendet:

$$s^3 + 1,2 \cdot s^2 + 0,201 \cdot s + 0,01 = 0$$

Identifiering med ekv 4.4 ger:

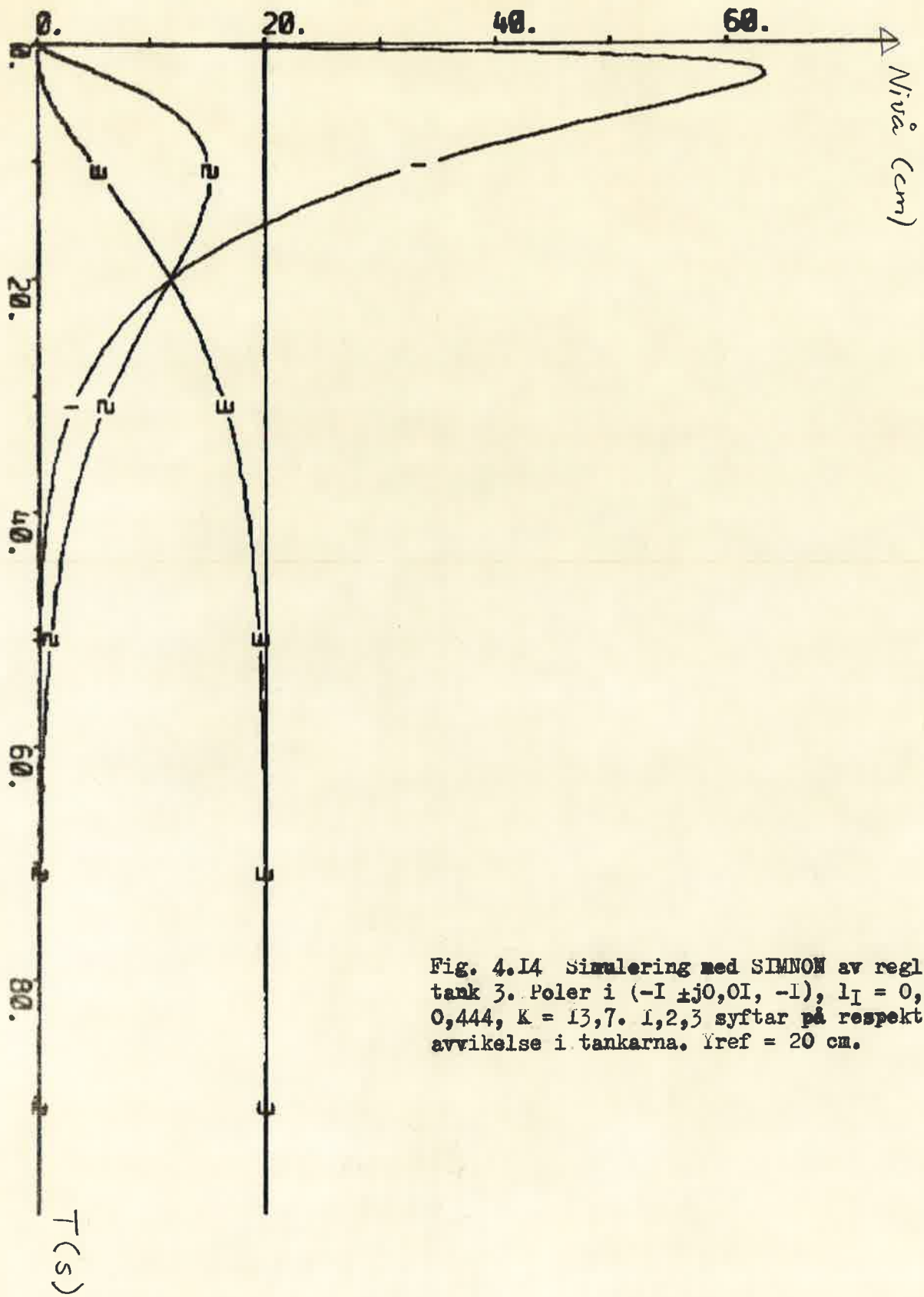
$$K = 13,7$$

$$l_1 = 0,244$$

$$l_2 = 0,444$$

Simulering med denna polplacering illustreras av fig. 4.14. Ytterligare en simulering gjordes, då med polerna i $(-1,873 \pm j \cdot 1,468, -0,004)$, se fig. 4.15.

Efter dessa förberedelser är det nu dags att reglera vårt verkliga system. För att få den önskade styrlagen enligt ekv. 4.1 användes alltså en analogmaskin. För uppkopplingen se fig 4. 20. Då nivåsignalerna ligger mellan 1 och 5 V måste vi minska signalerna från tankarna med 1 V och addera 1 V ut från analogi maskinen. Tref innebär den ändring man vill ha från en stationär punkt. För ytterligare synpunkter på det praktiska reglerandet se sid. 55. Hur regleringen lyckades för några olika polplaceringar framgår av fig. 4.16, 4.17, 4.18 och 4.19. Under alla upptagningar av kurvorna för olika l_1 , l_2 och K fann vi en markant skillnad mellan steg upp och steg ner. På steg upp var överensstämmelsen med datorsimuleringen god. När vi med samma polinställning tog upp kurvan för steg ner



PLOT X1 X2 X3
 PLOT YREF

Fig. 4.14 Simulering med SIMNON av reglering av tank 3. Poler i $(-1 \pm j0,01, -1)$, $l_1 = 0,244$, $l_2 = 0,444$, $K = 13,7$. 1,2,3 syftar på respektive nivåavvikelse i tankarna. Yref = 20 cm.

PLOT X1 X2 X3 YREF

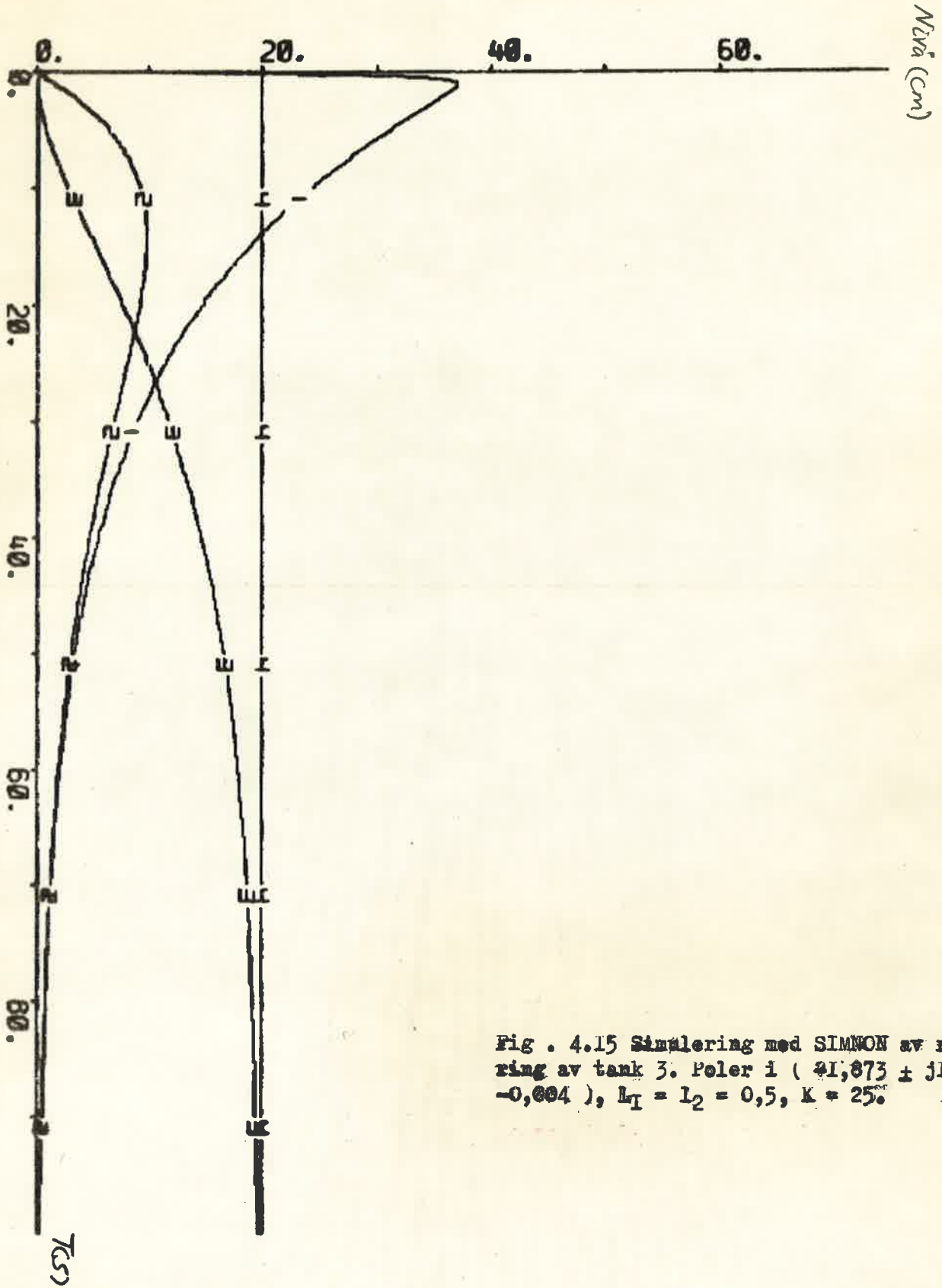


Fig . 4.15 Simulering med SIMNON av regle-
ring av tank 3. Poler 1 ($-1,873 \pm j1,468$,
 $-0,004$), $l_1 = l_2 = 0,5$, $K = 25$.

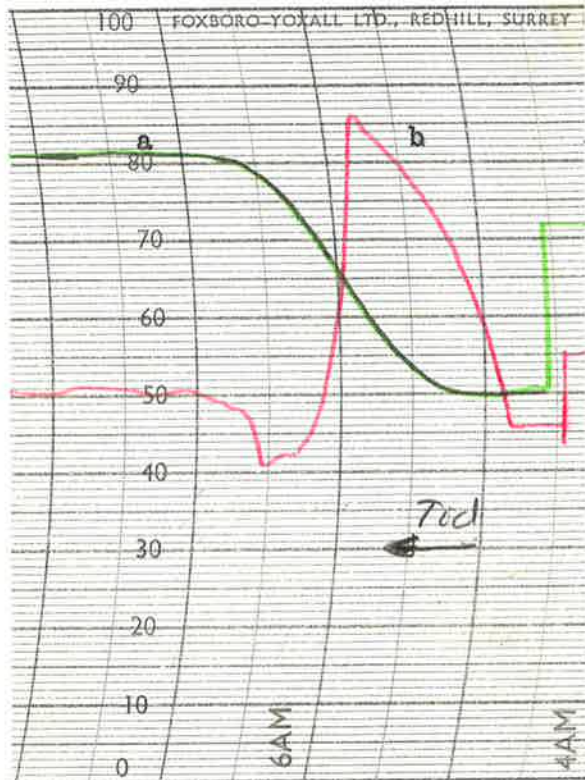


Fig.4.I6 och 4.I7 Reglering av tank 3 med hjälp av tillstånds-återkoppling. Polerna i $(-1 \pm j0,01, -1)$, $l_1 = 0,244$, $l_2 = 0,444$, $K = 13,7$.
 a - nivån i tank 3
 b - nivån i tank 1
 c - flödet ut ur tank 3

Fig. 4.I6



Fig. 4.I7

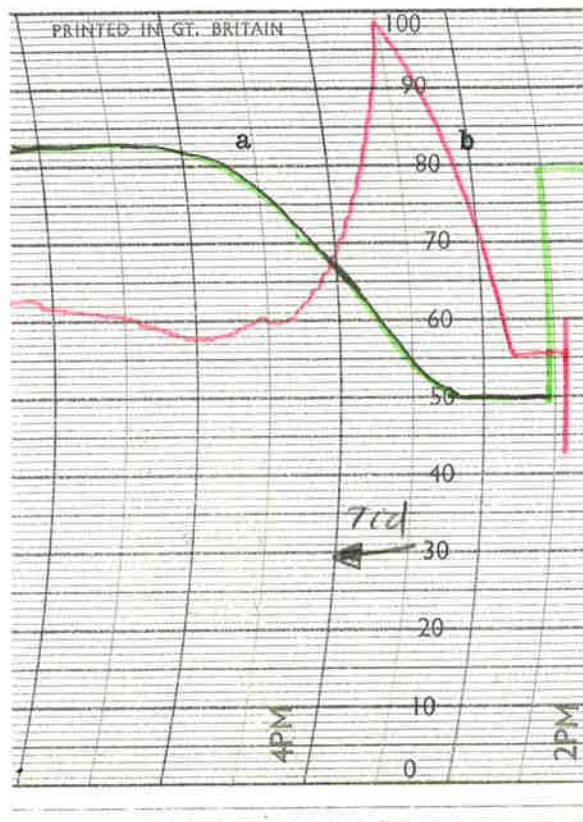


Fig. 4.18 och 4.19. Reglering av tank 3 med hjälp av tillstånd återkoppling. Några ytterligare parameterkombinationer.

Fig. 4.18 $l_1 = 0,5 = l_2$, $K = 25$.

Fig. 4.19 $l_1 = 0,8$, $l_2 = 0,444$, $K = 13,7$.

a - nivå i tank 3

b - nivå i tank I

Fig. 4.18

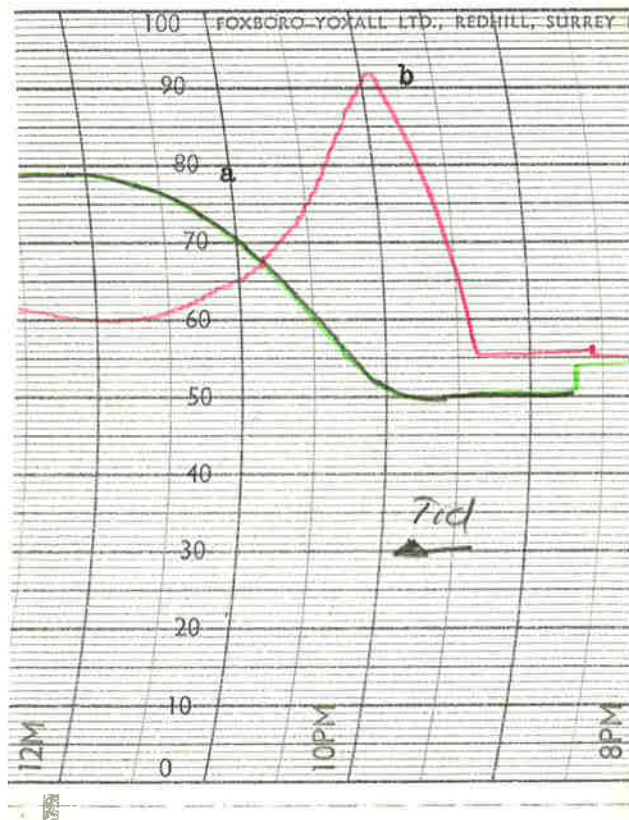
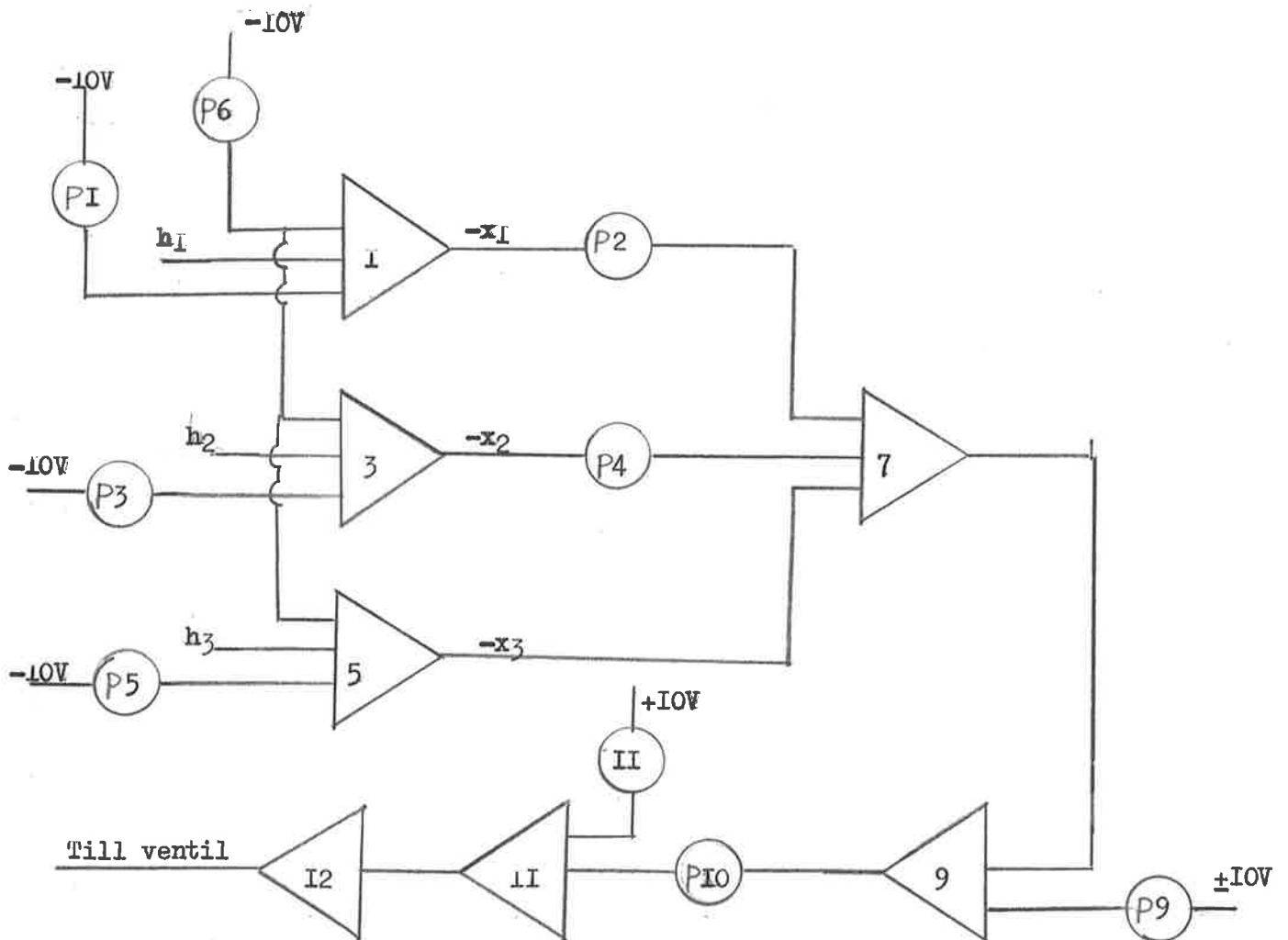


Fig. 4.19



Potentiometerlista: P1 - variabel

P2 - l_1

P3 - variabel

P4 - l_2

P5 - variabel

P6 - 0,1

P9 - Y_{ref}

P10 - K (för att realisera K används i allmänhet också ett antal operationsförstärkare)

P11 - 0,1

Fig. 4.10 Kopplingsschema på analogmaskin för reglering av tank 3. Realisering av styrlagen.

fick vi en översläng där vi väntade oss ett exponentiellt förlopp. Simuleringen ger ingen skillnad (linjärt system) utan orsaken måste sökas hos ventilen. Vid steg ner stänger först ventilen nära idealt (idealt = momentant). När sedan ventilen ska öppna igen sker detta så långsamt att vi hinner få en översläng innan ventilen har öppnat tillräckligt. Vid steg upp händer ej detta eftersom ventilen stänger tillräckligt snabbt och förhindrar därför översläng. Detta beror alltså på att ventilen har olika tidskonstanter vid öppning och stängning. Se avsnitt 2.3.

Då vi använder stora K kommer redan små signaler att bottna operationsförstärkarna och vi får endera $+ I_2 V$ eller $- I_2 V$ ut till ventilen. Resultatet blir att ventilen kommer att stå och slå mellan öppet och stängt läge. I praktiken kan man alltså inte placera polerna hur som helst. $K \leq 100$ är lämpligt. Här har vi ytterligare en olinjäritet.

Jämförelse med kaskadreglering

Vid den kaskadreglering som utfördes i projektarbetet enligt referens I2 användes en uppkoppling enligt fig. 4.21.

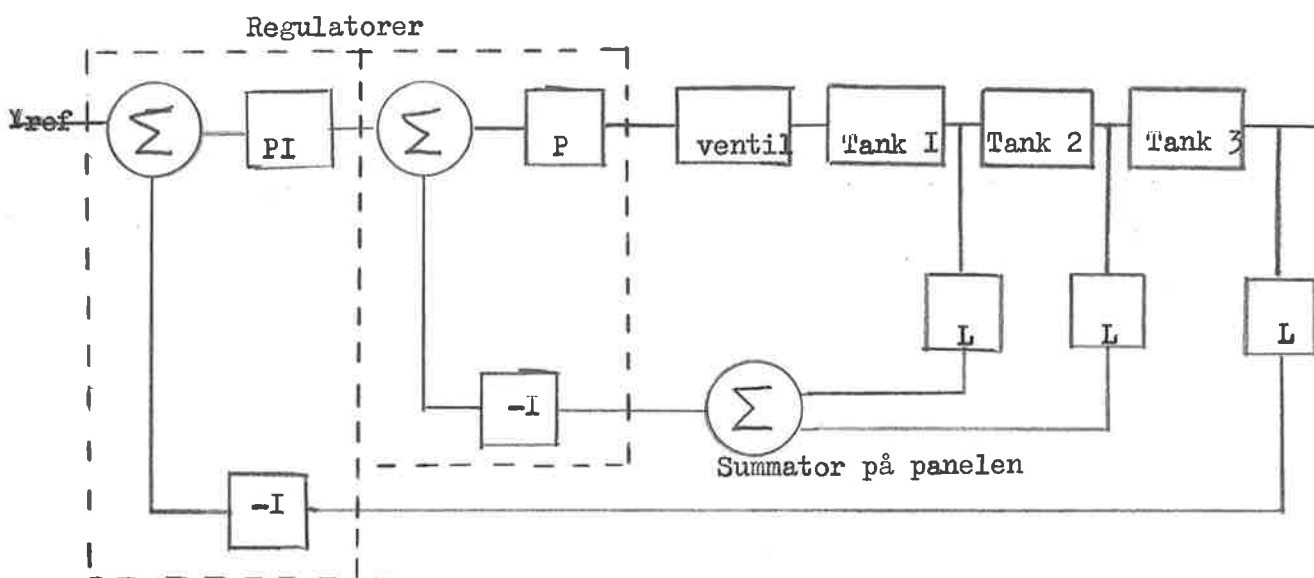


Fig. 4.21. Blockschemat för kaskadreglering av tank 3, ur referens I2.

P - regulatorn står här i läge "remote". Den inställning som användes i projektarbetet var:

P - regulator: P-band = 50%

PI - regulator: P-band = 100%, $T_I = 0,45$ min.

Man får kurvor enligt fig. 4.22 och 4.23.

En jämförelse mellan de två metoderna ger vid handen: Tillståndsåterkoppling ger ett snabbare, mindre slängigt system. Tillståndsåterkopplingen fungerar endast på högre nivåer, användningen av analogmaskin ger en del besvärligheter. Kaskadkopplingen är enkel och snabb att koppla upp. Sammanfattningsvis kan man säga att tillståndsåterkopplingen ger en bättre reglering, men är besvärligare rent praktiskt att genomföra än kaskadregleringen (se också sid. 55).

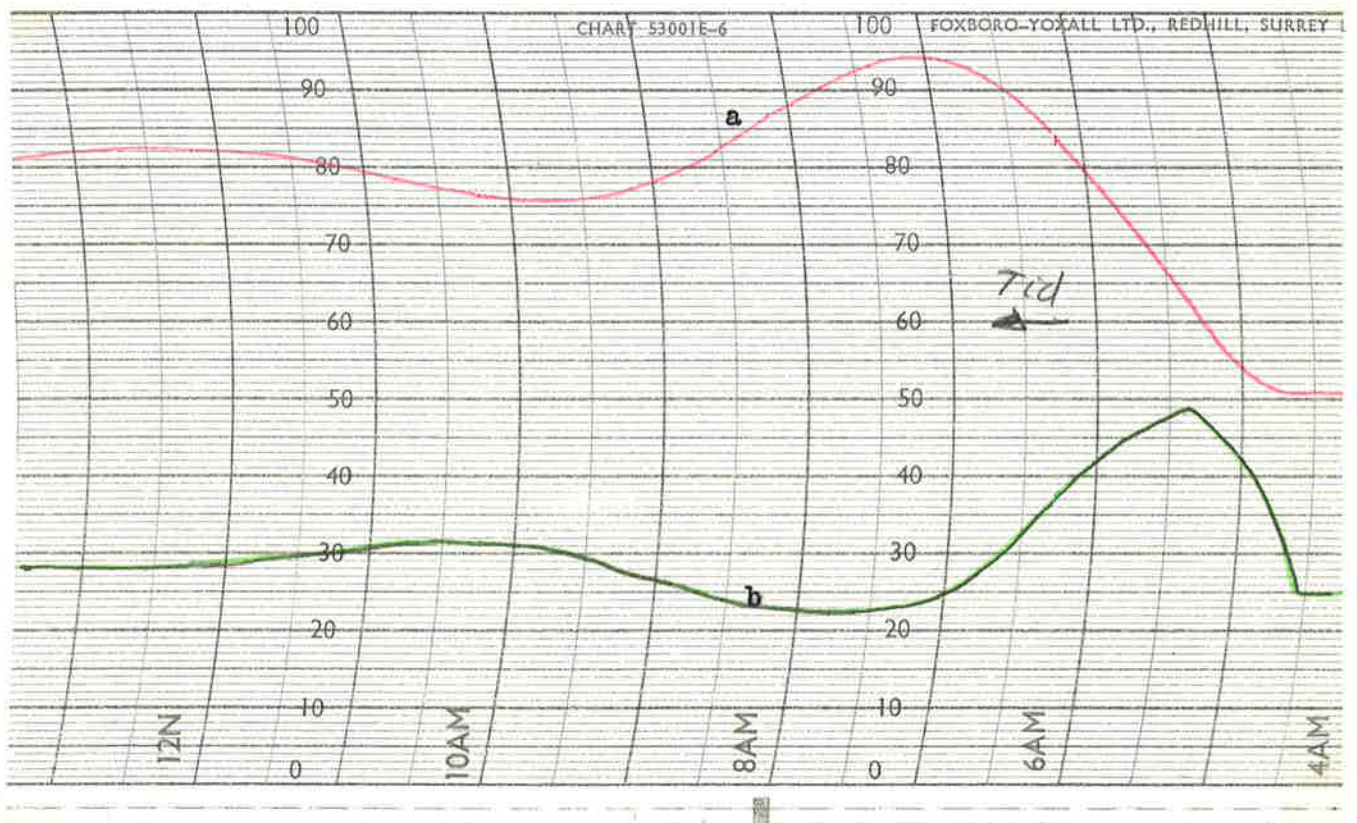


Fig. 4.22 Kaskadreglering av tank 3.
a - nivån i tank 3
b - nivån i tank I

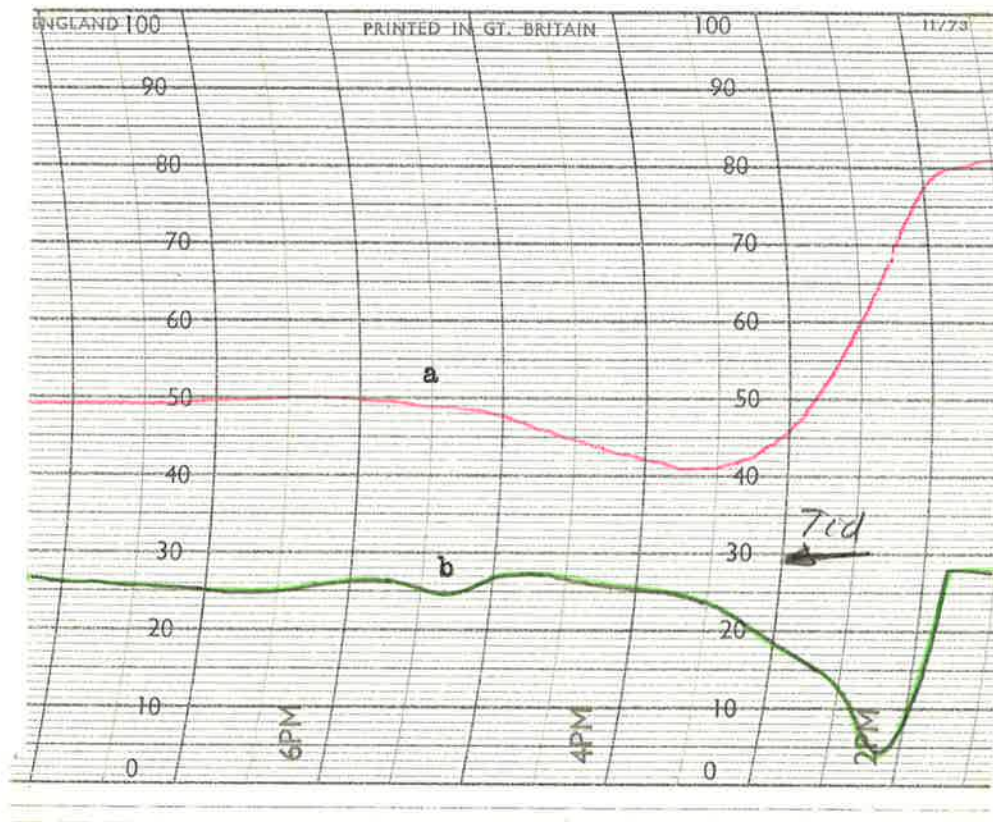


Fig. 4.23 Kaskadreglering av tank 3.
a - nivå i tank 3
b - nivå i tank I

Några praktiska synpunkter på reglering med hjälp av tillstånds-
återkoppling.

Reglering kan börja då systemet intagit ett stationärt tillstånd ($q_{00}, h_{10}, h_{20}, h_{30}$). Innan reglering börjar ställer man med hjälp av potentiometrarna P_1, P_3 och P_5 in så att tillståndsvariablerna x_1, x_2 och x_3 blir små. Man ställer också in den avvikelse från det stationära värdet h_{30} man önskar genom potentiometern P_9 . $Y_{ref} = 0,1$ V ger en avvikelse av 1 skd. Ett positivt Y_{ref} ger en höjning av nivån, ett negativt ger en sänkning. Medan man ställer in detta står ventilkopplaren i läge manuell. När sen reglering ska börja slår man över så att ventilsignalen från analogmaskinen kopplas in.

Ett stationärt värde kan ställas in för hand. Man låter övre ventilläget inta ett fixt läge och reglerar sen manuellt på nedre ventilen. De två övre tankarna intar snart stationära nivåer vilket inte tredje nivån gör. Lättast och snabbast är dock att använda en PI-regulator som reglerar på nedre ventilen. När man sen ska reglera med hjälp av tillståndsåterkoppling måste man förståss koppla ifrån regulatorn.

Reglering under 30 skd är svårt, ty då håller ej pumpen konstant utflöde, på grund av att det bildas luftbubblor på låga nivåer. Då gäller inte teorin ovan.

4.6 Framkoppling.

Syftet med framkoppling är att eliminera inverkan av en störning genom att mäta den innan den hunnit påverka ärvärdet. Här kommer vi att ha som syfte att reglera nivån i tank 3, att kunna hålla den konstant trots störning i form av ändrat utflöde från tank 3. Inflödet sker direkt i tank 3.

Massbalans ger :

$$A \cdot \frac{dh}{dt} = x(t) - v(t) , \text{ där } x(t) \text{ är inflöde och } v(t) \text{ utflöde.}$$

Vi använder en uppkoppling enligt fig.4.24.

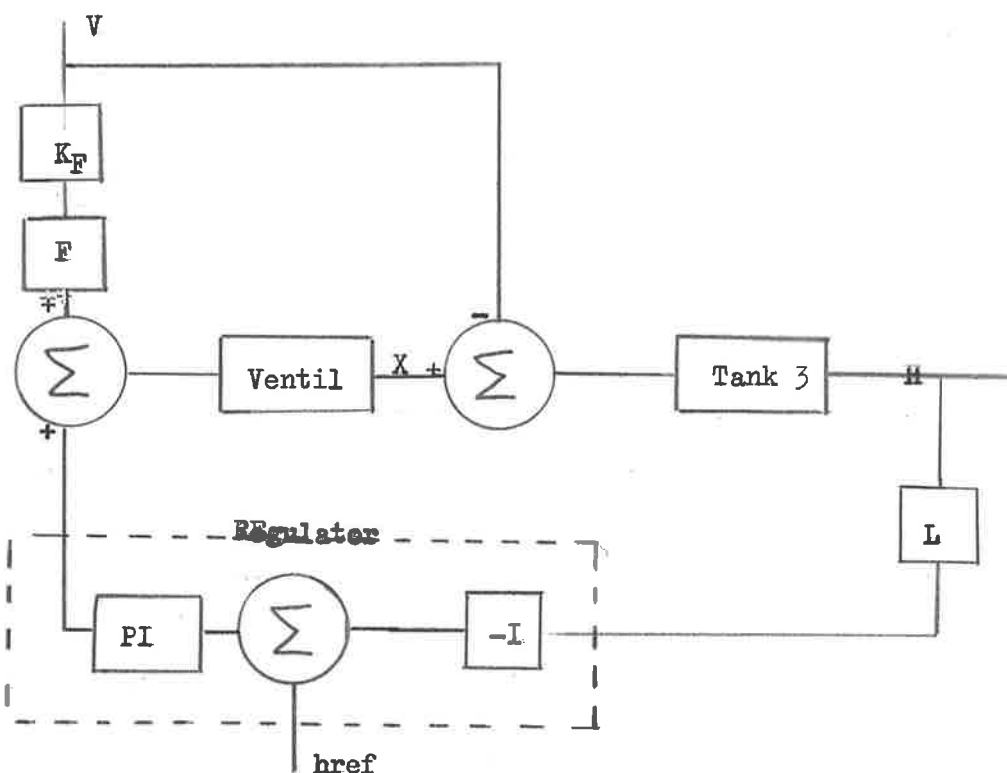


Fig. 4.24 Blockschemata för demonstration av framkoppling.

Här är flödesmätaren med överföringsfunktion K_F och framkopplingslänken med överföringsfunktionen F nya komponenter. F skall bestämmas så att inverkan av flödet V på nivån H elimineras. Betrakta då framkopplings-

slingan:

$$(V \cdot K_F \cdot F \cdot \frac{62,5}{I + T_s} - V) \cdot \frac{0,05}{s} = H$$

$$V \cdot (K_F \cdot F \cdot \frac{62,5}{I + T_s} - 1) \cdot \frac{0,05}{s} = H$$

För att ingen inverkan V skall finnas fordras:

$$K_F \cdot F \cdot \frac{62,5}{I + T_s} = 1$$

$$F = \frac{I + T_s}{62,5 \cdot K_F}$$

Egentligen borde framkopplingslänken bestå av en PD-regulator, men vi stryker D-delen ty vi är rädda för brus i flödessignalen. Eftersom flödesmätaren är olinjär varierar K_F med flödet. För 30 skd blir $K_F = 0,03 \text{ V}/(\text{cm}^3/\text{s})$ och $F = 0,5$, 15 skd ger $K_F = 0,02 \text{ V}/(\text{cm}^3/\text{s})$ och $F = 0,8$. Då vi kör med både framkoppling och regulator inkopplad betyder det inte så mycket, men med bara framkoppling blir det viktigt. $F = 0,7$ ger hyggliga resultat för de flöden som används här.

Man ställer först in reglerparametrarna så man får hyggliga stegsvar, se fig. 4.25. Bra parametrar är:

P-band* 25%

$T_I = 1 \text{ min.}$

Fig. 4.26 visar hur snabbt nivån stiger om man varken har framkoppling eller regulator inkopplad och utflödet minskar.

Fig. 4.27 visar inverkan av en störning på nivån då vi endast har framkoppling, regulatorn i manual. Vi får drift på grund av att någon självreglering ej är inkopplad, men mest på grund av känsligheten för värdet på F . Man kan om man vill variera F under försökets gång och på så sätt parera för driften.

Nästa figur (fig. 4.28) visar inverkan av störningen då man har regulatorn inkopplad men framkopplingslänkan bruten.

I fig. 4.29 visas så hur oberörd för störningar nivån blir då både regulator och framkoppling utnyttjas.

Fig. 4.30 slutligen, visar hur inflödet reagerar på störningen. Observera att pennorna inte sitter riktigt på linje.

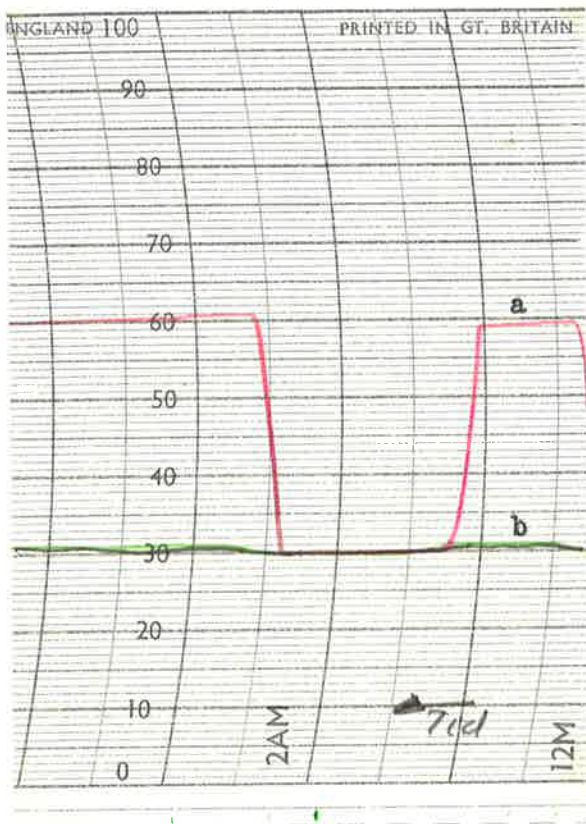


Fig. 4.25 Stegsvär vid framkoppling.
 a - nivå i tank 3
 b - utflöde

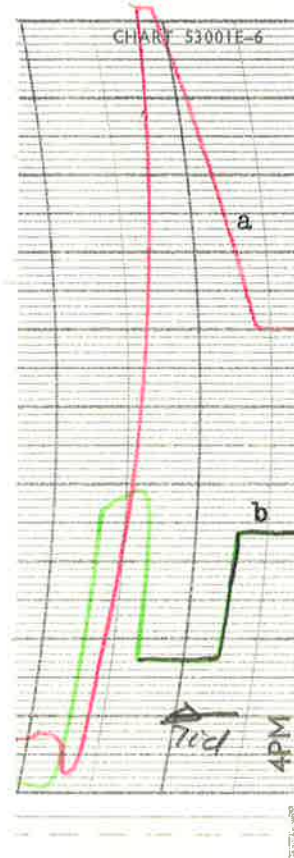


Fig. 4.26 Framkoppling bruten, regulator i manual.
 a - nivå i tank 3
 b - utflöde

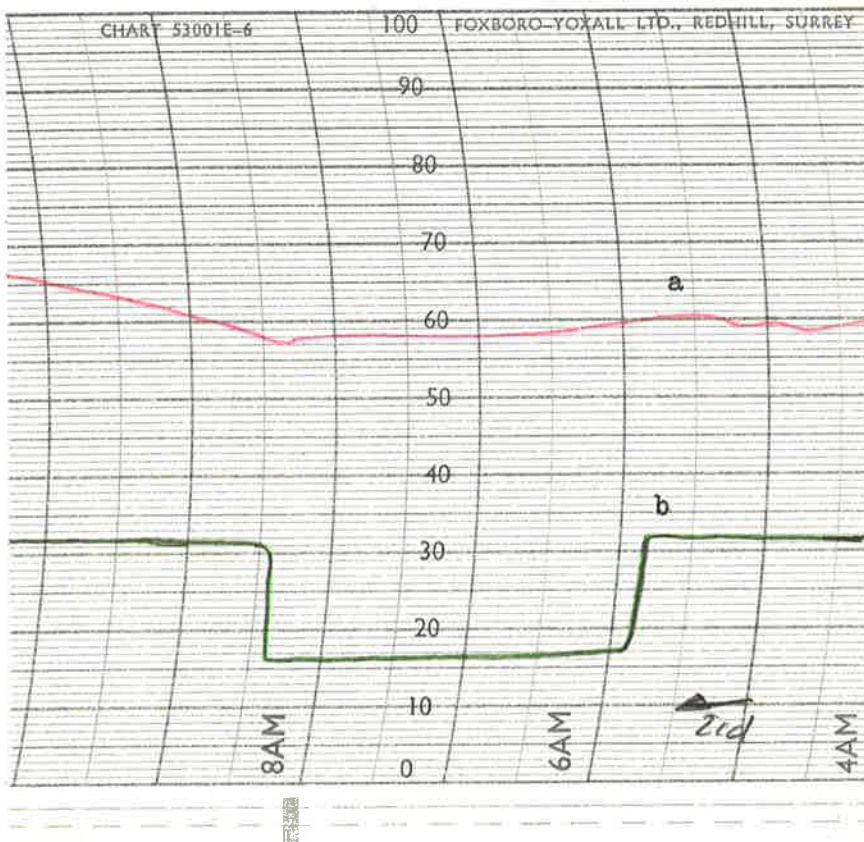


Fig. 4.27 Framkoppling inkopplad, regulator i manual.
 a - nivå i tank 3
 b - utflöde

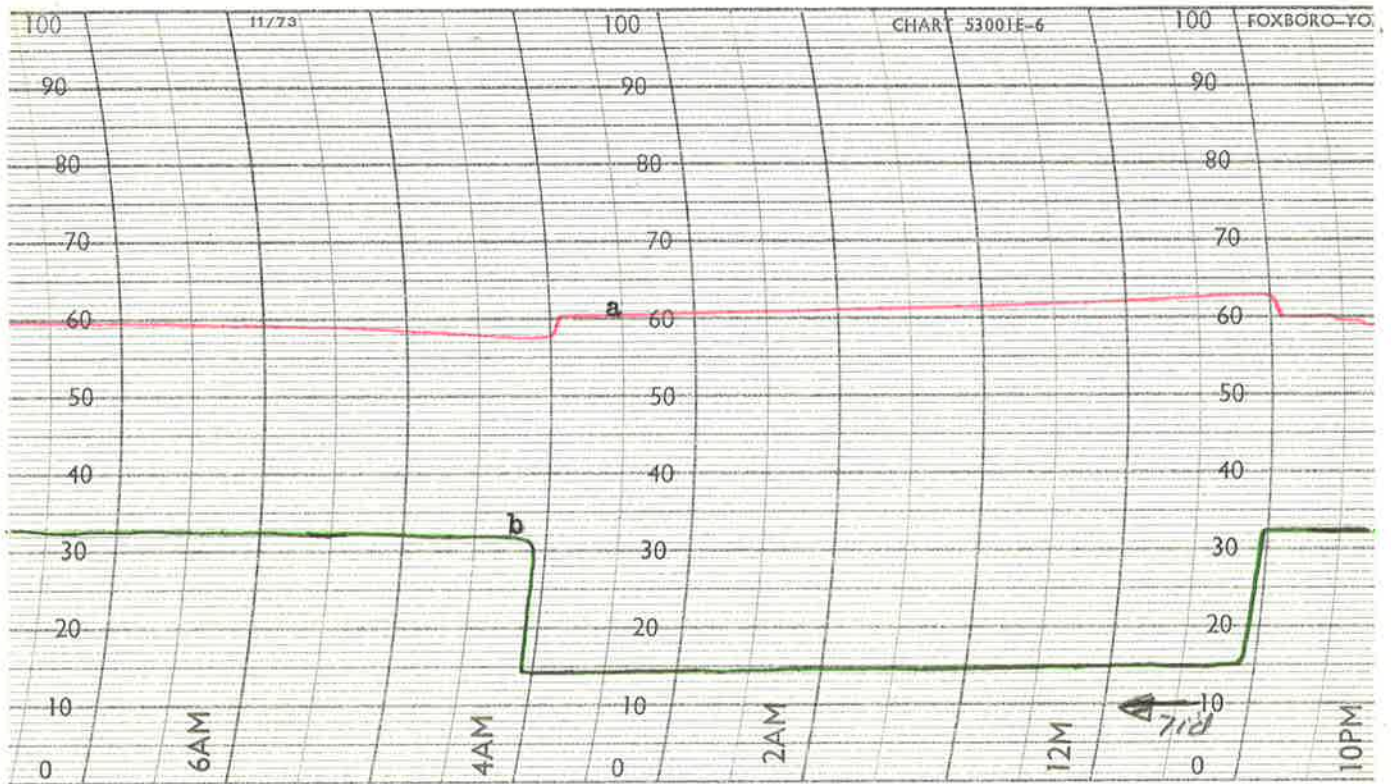


Fig. 4.28 Framkoppling bruten, regulator inkopplad.
 a - nivån i tank 3
 b - utflöde

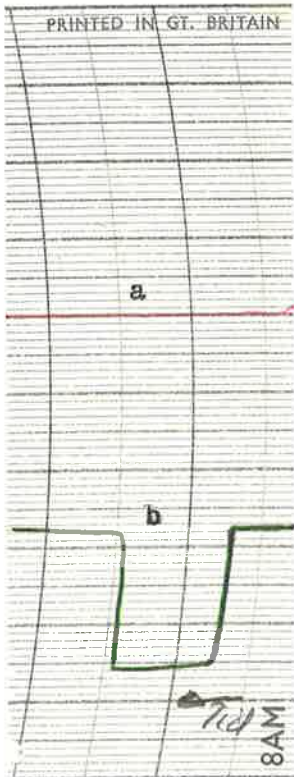


Fig. 4.29. Framkoppling och regulator inkopplad.
 a - nivån i tank 3
 b - utflöde



Fig. 4.30 Inflödet vid störningen.
 a - inflöde
 b - utflöde

5. Referenser

1. Instruktion #1 I5.22, Nordarmatur
2. Instruktion #1 I5. 31, Nordarmatur
3. Instruktion Fk I8.72 , Nordarmatur
4. Model V4A Needle Style Control Valve, General Specification, The Foxboro Company
5. Instructions, Book No I886, The Foxboro Company
6. 62 H Series Electronic Control Controller, General Specification, The Foxboro Company
7. Model 62 H Controller, Style C, Installation And Operation, The Foxboro Company
8. 64 H Series Electronic Control Recorder, General Specification, The Foxboro Company
9. Automatic Classical Linear Theory, G. Thaler
10. Application News, When To Use Valve Positioner, Greg Shrinsky, The Foxboro Company
11. Reglerteori, K. J. Åström, Almqvist & Wiksell, I:a upplagan, 1968
12. Plask & Pys, Projektarbete i Systemteknik VE-75, Rapport 7518(C), Alberg m.fl., Inst. för reglerteknik, LTH.