

EXPERIMENTELL UNDERSÖKNING
AV BLANDNINGSPROCESS

KONSTANTINOS KALLIAKMANIS
ELIE TSANIS

INSTITUTIONEN FÖR REGLERTEKNIK
LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
JANUARY 1982

LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY DEPARTMENT OF AUTOMATIC CONTROL Box 725 S 220 07 Lund 7 Sweden	Document name MASTER THESIS	
	Date of issue January 1982	
	Document number CODEN:LUTFD2/(TFRT-5267)/1-054/(1982)	
Author(s) Konstantinos Kalliakmanis Elie Tsanis	Supervisor Björn Wittenmark	
	Sponsoring organization	
Title and subtitle Experimentell undersökning av blandningsprocess (Investigation of a mixing process)		
Abstract This thesis describes studies of a process for measurement and regulation of concentration of a soluble salt. The experimental set up includes a delay element and a tank system, both as direct systems and as systems with recirculation. The idea of the studies is to perform measurements, mathematical models, simulations, regulation and experiments with the process. The last mentioned will be the base for a new laboratory experiment in the general courses of Automatic Control System.		
Key words		
Classification system and/or index terms (if any)		
Supplementary bibliographical information		
ISSN and key title		ISBN
Language Swedish	Number of pages 54	Recipient's notes
Security classification		

DOKUMENTDATABLAD RT 3/81

Distribution: The report may be ordered from the Department of Automatic Control or borrowed through the University Library 2, Box 1010, S-221 03 Lund, Sweden, Telex: 33248 Lubbis lund.

SAMMANFATTNING

Detta examens arbete behandlar en process för mätning och reglering av saltkoncentration.

Processuppställningen innehåller ett tidsfördröjningsselement och ett tank system , både som direkta system och system med återcirkulation. Arbetet går ut på att göra mätningar, matematiska modellbyggen, simuleringar, reglering och experiment med processen.

Det sista skall ligga till grund för en ny laboration i den allmänna kursen i reglerteknik.

INNEHÅLLSFÖRTECKNINGSid Nr

1.	Inledning	1
2.	Förarbete	
2.1	Kontroll av kalibrering av flödesmätare	3
2.2	Mätning av olika delars dimensioner	5
2.2.1	Tank	5
2.2.2	Fördröjningselement	5
2.3	Apparatur	5
3.	Modellbygge	
3.1	Tank	6
3.2	Simulering	20
3.3	Modifiering av den ursprungliga modellen	22
3.4	Fördröjningselement	25
4.	Processerna med återkoppling	
4.1	Tank	31
4.1.1	Experiment med tank	33
4.1.2	Simulering	36
4.2	Fördröjningselement	38
5.	Reglering	
5.1	Utan återcirkulation	43
5.2	Med återcirkulation	47
6.	Förslag till laboration	
6.1	Hemuppgifter	52
6.2	Laborationsuppgifter	52
7.	Referenslista	54

1. INLEDNING

Vi fick en färdigbyggd saltblandningsprocess för laboratoriebruk med utseende enligt figur 1. Uppställningen är kopplad till en vattenkran. Från vattenkranen utgår en slang, som via en flödesmätare (A) leder kranvattnet till en konduktivitetsmätare (B) för koncentrationsmätningar. Högst upp på uppställningen finns en plastbehållare som innehåller mättad saltlösning. En pump (C) med en mycket smal slang suger upp saltlösningen och för den vidare till ingången på konduktivitetsmätaren, där den blandas med färskvatten; före mätarens elektroder.

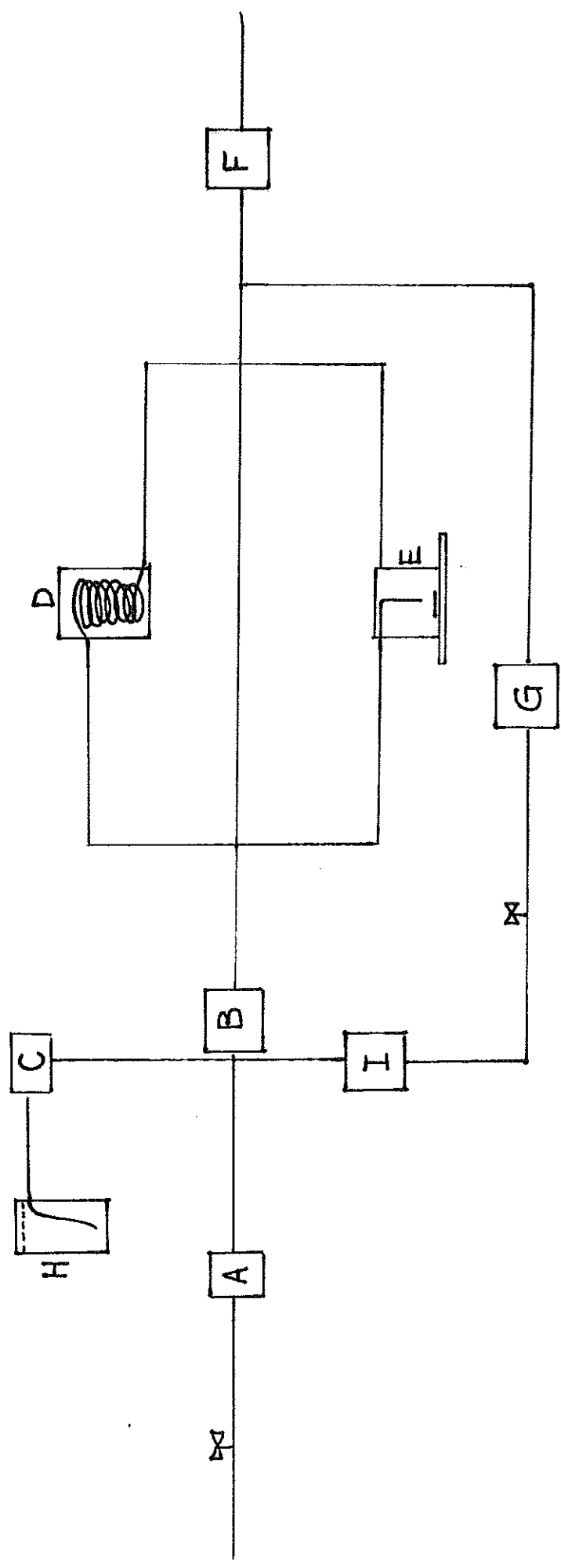
Efter konduktivitetsmätaren kan man välja mellan tre olika processer; en - som inte är av något intresse - som endast består av en rak kort slang direkt till utgången; en som innehåller en mycket lång slang som är instoppad i en burk (D) och fungerar som fördröjningselement; och slutligen en process som består av en liten tank med magnetomrörare (E) som man kan slå till och från från panelen.

Vid utgången finns det en konduktivitetsmätare till (F) för att mäta koncentrationen även här.

Det finns en återcirkulationsslang som med hjälp av en pump (G) återcirkulerar saltblandningen i alla tre delprocesserna. Återcirkulationen är reglerbar med hjälp av en ratt och en flödesmätare (I).

Hela processen styrs och kontrolleras från en panel. På denna finns en till- och frånkopplare för hela uppställningen, brytare för magnetomröraren och pumpen (G) samt två indikatorer som är kopplade till konduktivitetsmätarna. Under indikatorerna finns det uttag som ger ut en spänning som är analog med saltkoncentrationen. Denna spänning kan registreras på oscilloscop och skrivare. Vidare finns det en pulsgivare med möjlighet till olika tidsinställningar: från 1 till 10 sekunder. Det finns också ett uttag så att man med hjälp av ett spänningsaggregat och en potentiometer kan ge systemet steg av olika amplitud.

Figur 1.



- A, I = flödesmätare
- B, F = konduktivitetmätare
- C, G = pumpar
- D = fördröjningselement
- E = tank med omrörare
- H = burk med saltlösning

2. FÖRARBETE

2.1 Kontroll av kalibrering av flödesmätare.

Det fanns ett färdigställt kalibreringsdiagram (figur 3), vars riktighet vi för säkerhets skull ville undersöka. Vi gjorde detta med hjälp av ett tidtagarur och ett mätglas. För olika nivåer på flödesmätaren mätte vi under en minut vattnet som rann ut i ett mätglas. Resultatet av de olika mätningarna plottades på millimeter-papper.

Som framgår av figur 3, är överensstämmelsen god.

Vi kan utan större fel approximera den upptagna kurvan med en rät linje och med hjälp av linjär regression få fram linjens ekvation.

x :	0.2	0.34	0.5	0.65	0.83	1.02	1.24	liter/minut
u :	20	40	60	80	100	120	140	mm

$$x = \alpha^* + \beta^*(u - \bar{u}) \text{ där}$$

$$\alpha^* = \frac{1}{n} \sum_i x_i = 0.68$$

$$\beta^* = \frac{S_{ux}}{S_{uu}}$$

$$\bar{u} = \frac{1}{n} \sum_i u_i = 80$$

$$S_{ux} = \sum u_i x_i - \frac{1}{n} (\sum u_i) (\sum x_i) = 96.2$$

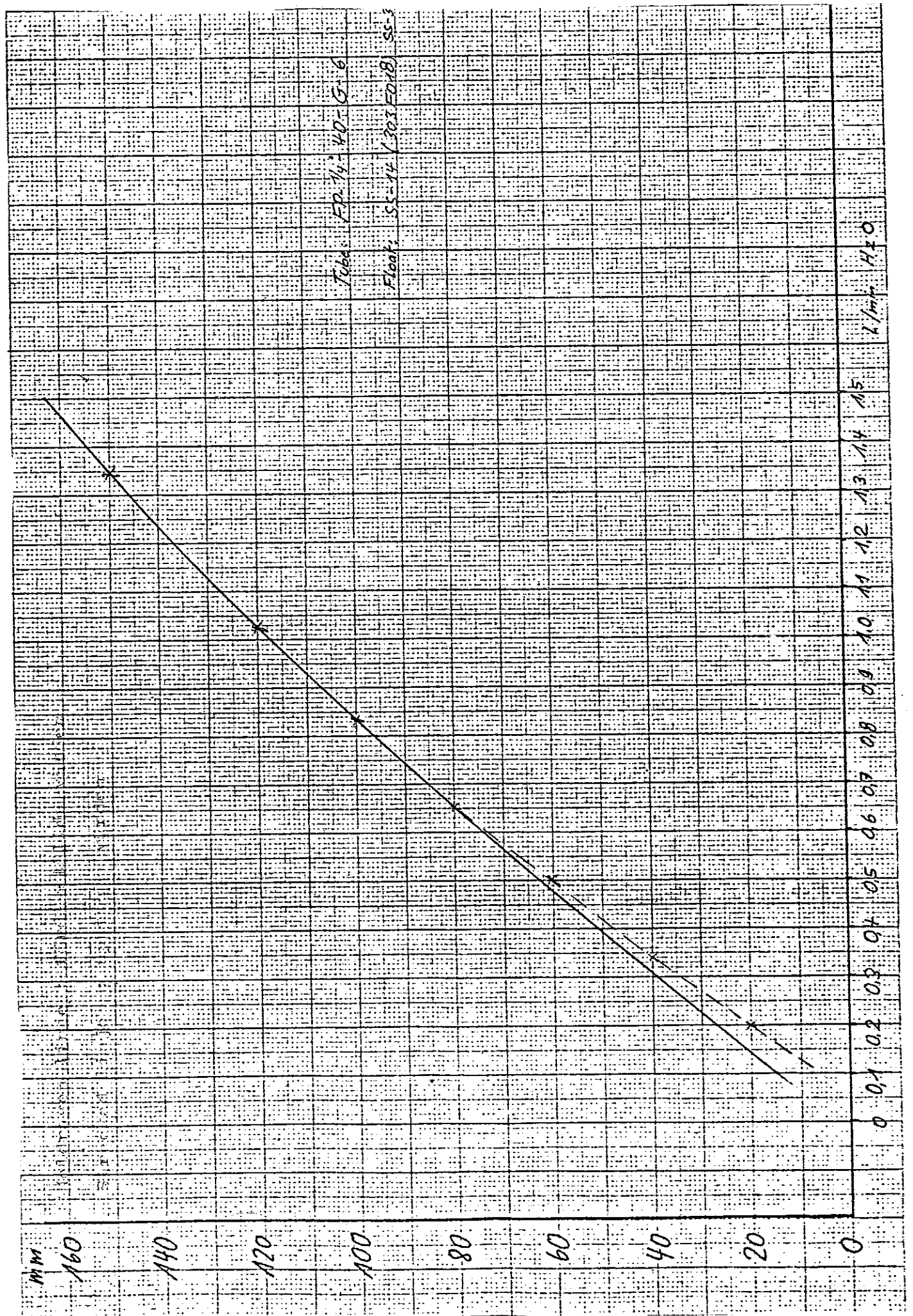
$$S_{uu} = \sum u_i^2 - \frac{1}{n} (\sum u_i)^2 = \frac{1}{200}$$

$$\text{alltså } \beta^* = S_{ux}/S_{uu} = 96.2/11200 = 0.0086$$

slutligen blir linjens ekvation

$$x = 0.68 + 0.0086 (u - 80).$$

Fig.3. Helt dragen linje ; färdigt ställda värden
 Streckad linje ; upptagna värden



2.2 Mätning av olika delars dimensioner.

2.2.1 Tank.

Tankens volym	0.825 l
" Höjd	10 cm
" area	85 cm ²

Volymen av slangen mellan konduktivitetmätare och tank är ungefär 1 dl.

2.2.2 Fördröjningselement.

Fördröjningselementets uppmätta volym är $V_f = 0.44$ l

Fördröjningselementets slang, yttre diameter, är $d = 11$ mm.

Slangväggens tjocklek $t = 1.2$ mm

Slangens inre diameter $d = 11 - 2.4 = 8.6$ mm.

Beräkning av slangens längd:

$$V_f = l \pi r^2 \quad \text{där } l = \text{slangens längd}$$

$$r = \text{slangens inre radie}$$

$$l = \frac{V_f}{\pi r^2} = \frac{440 \text{ cm}^3}{5.8 \cdot 10^{-1} \text{ cm}^2} = 7,59$$

2.3 Apparatur.

Till vårt förfogande hade vi ett minnesoscilloscop av märke TEKTRONIX och en skrivare av märke PHILIPS.

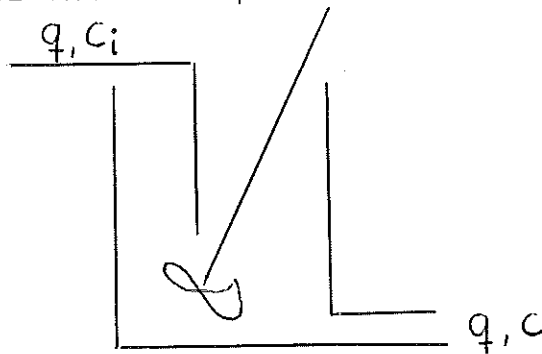
3. MODELLBYGGE.

I alla de följande fallen är dynamik hos konduktivitetsmätarna försumbar.

3.1 Tank.

Här försökte vi göra en matematisk modell för uppställningen, med tanken inkopplad utan återcirkulation. Som tillståndsvariabel för systemet avsätter vi saltkoncentrationen i tanken.

En enkel skiss för processen är följande:



Ekvationen för processen är

$$v \cdot \frac{dc}{dt} = qc_i - qc \quad (I)$$

där v = tankens volym

q = inflödet, som är lika med utflödet

c_i = inflödets koncentration

c = utflödets koncentration

Här har vi försummat q_i från pumpen, i jämförelse med q från kranen.

$$(I) \Rightarrow v \cdot \frac{dc}{dt} + qc = qc_i$$

Laplace transform ger

$$V \cdot sC + qC = qC_i \Rightarrow$$

$$C(VS + q) = qC_i \Rightarrow$$

$$C = \frac{q}{VS + q} C_i \Rightarrow$$

$$G_t(s) = \frac{q}{VS + q}$$

Överföringsfunktionen för processen är.

$$G_t(s) = \frac{1}{\frac{v}{q} \cdot s + 1} = \frac{1}{Ts + 1} \quad T = v/q$$

där T är tankens tidskonstant.

För att undersöka den matematiska modellens riktighet gjorde vi några experiment med den verkliga modellen. Vi gjorde tre mätningar för tre olika inställningar på flödesmätaren.

Experimentet går till på sådant sätt att för ett givet inflöde av färskvatten skickar vi en konstant mängd saltlösning. Den injektionen erhåller vi genom att från spänningsaggregaten skicka ett steg, som är en spänning på 5 volt, till pumpen (G).

I de här experimenten har vi omrörning i tanken.

a/ Inflöde 1.47 liter/minut, spänning till pumpen 5V.

$$T \text{ (ur experiment)} = 0.43 \text{ min.}$$

$$T = v/q = \frac{0.825}{1.46} = 0.56 \text{ min.}$$

b/ Inflöde 1.025 liter/minut.

$$T_{\text{upp}} = 0.65 \text{ min.}$$

$$T_{\text{teor}} = \frac{0.825}{1.025} = 0.8 \text{ min}$$

c/ Inflöde 0.65 liter/minut.

$$T_{\text{upp}} = 0.825$$

$$T_{\text{teor}} = \frac{0.825}{0.65} = 1.26 \text{ min.}$$

Sammanställning av resultaten finns i tabell 2.

Graferna från b och c experiment visas i figur 4 och 5.

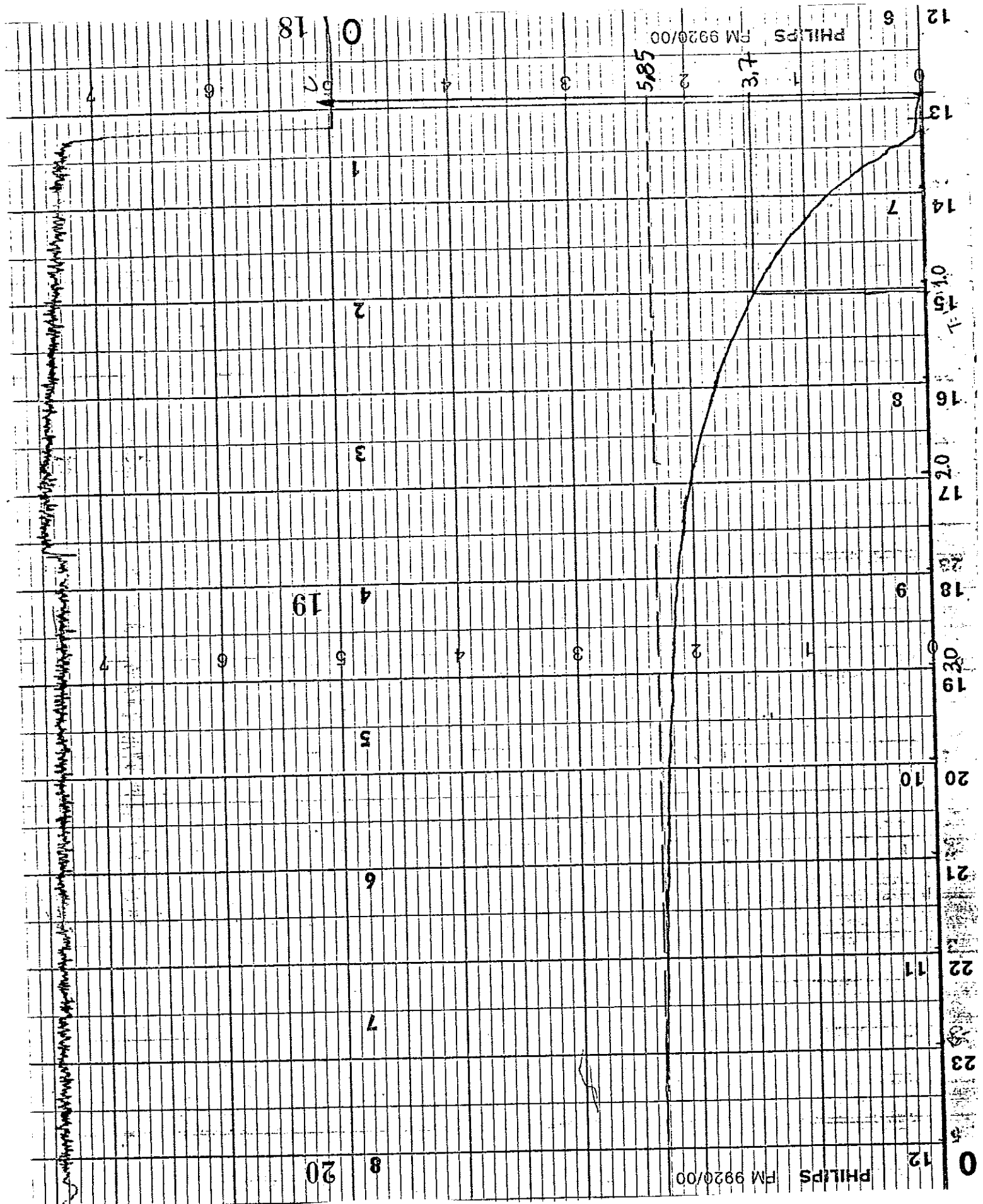
TABELL 2

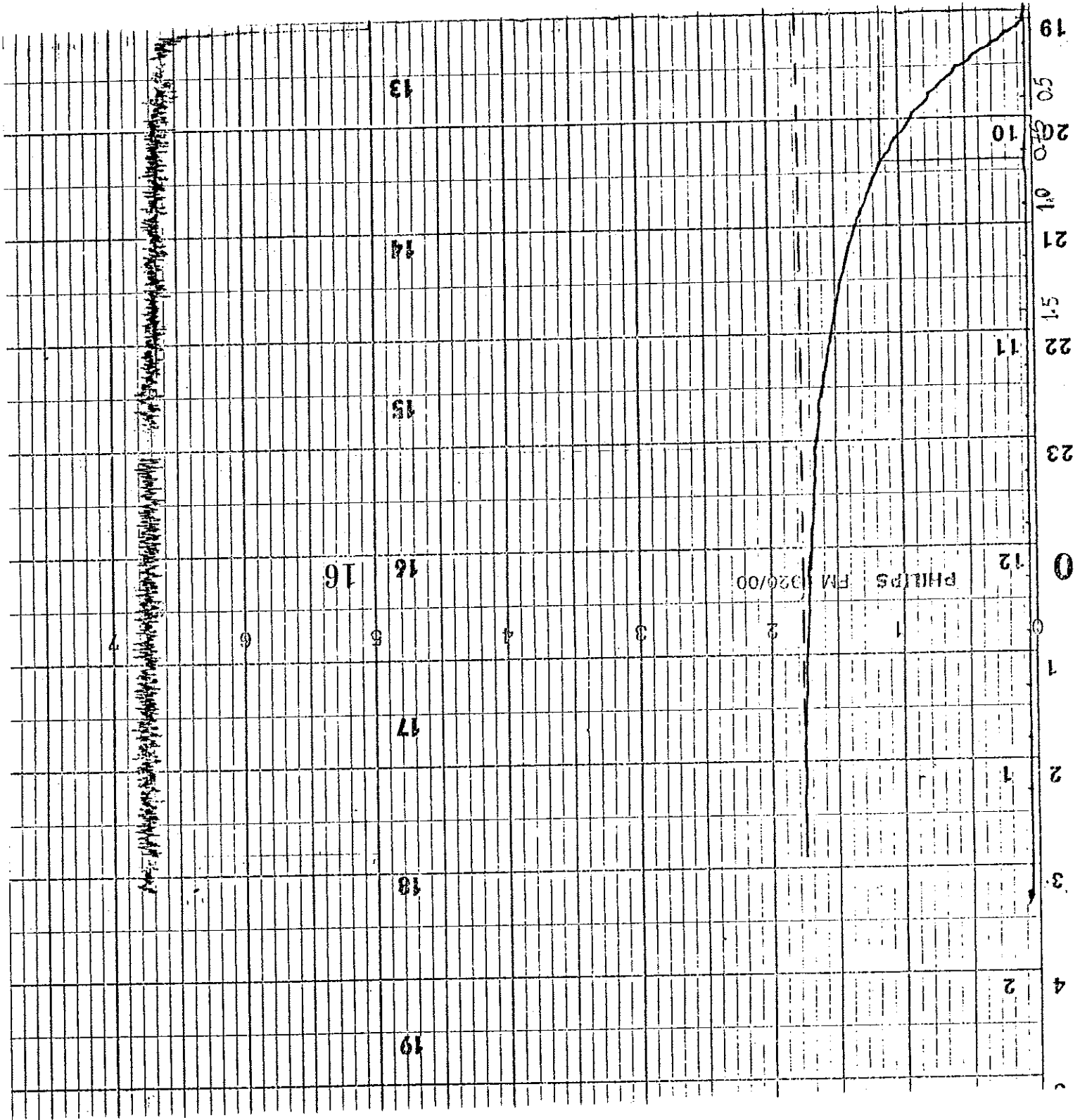
INFLÖDE (lit/min)	1.47	1.025	0.65
T_{teor} (min)	0.56	0.8	1.26
T_{uppm} (min)	0.43	0.65	0.54
V_{uppm} (lit)	0.63	0.67	0.54

Där V_{uppm} är den volym av tanken vi får om vi räknar med den uppmätta tidskonstanten T_{uppm} . Det är den delen av volymen som deltar i processen - den effektiva volymen.

$$T_{\text{teor}} = v/q$$

Fig. 4. Stegsvar vid tank med omröring. ($q=1.025$ l/min.)





Som framgår av tabellen föreligger en skillnad mellan de teoretiskt räknade och de upptagna stigtiderna: den teoretiska modellen är långsammare än den verkliga. Den mest realistiska förklaringen till detta är att vi har en dålig omrörning. Magnetomröraren är liten och roterar med relativt låg hastighet. Följden av detta blir att inte hela volymen deltar i processen, dvs hela volymen i tanken är inte effektiv.

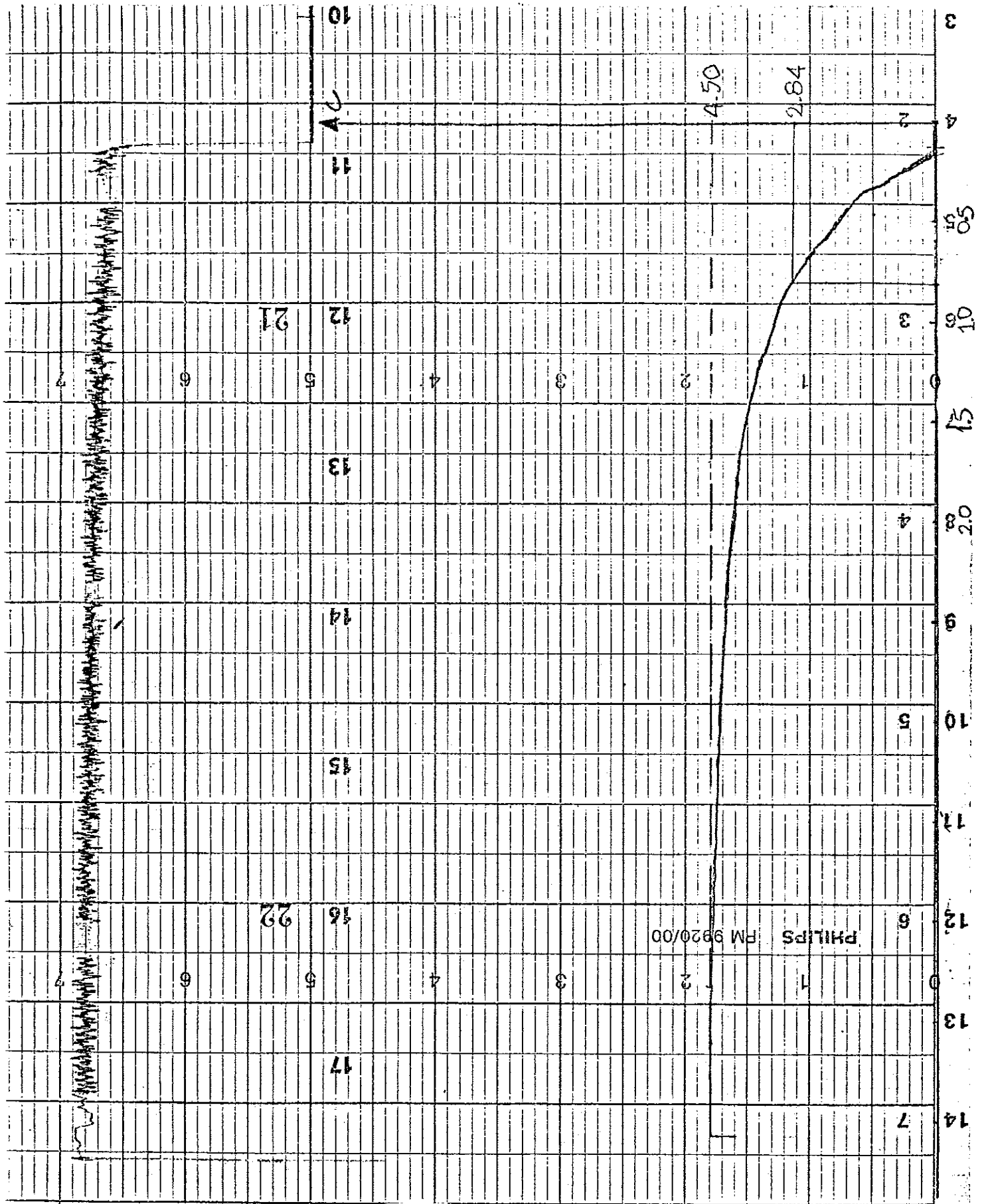
För att med ögat kunna följa blandningen i tanken tillsatte vi röd karamellfärg i saltblandningen (vi försäkrade oss om att karamellfärgen inte vätte väggarna i tanken respektive slangarna). Vi kunde då konstatera att blandningen i tanken inte var tillfredsställande. För att styrka denna förklaring gjorde vi några experiment utan omrörning (Tab. 3). Det visade sig att dessa mätningar var nästan identiska med dem med omrörning. Fig 6 .

TABELL 3.

UTAN OMRÖRNING.

INFLÖDE (lit/min)	1.47	1.025	0.65
T_{uppm} (min)	0.46	0.67	0.975
V_{uppm} (lit)	0.68	0.69	0.63

Fig.6. Stegsvär vid tank utan omröring.



Vi misstänkte också att tankens konstruktion inte lämpade sig för en tillfredsställande omrörning. Därför använde vi oss också av tre andra tankar med olika volymer och lite annorlunda konstruktion, men med samma typ av omrörning. Vi skickade in samma steg och registrerade stegsvaret. Resultaten finns på sidorna 14 och 15 .

Vid mindre volymer är felet mindre, detta kan förklaras av att vid mindre volymer är omrörningen bättre. Vid de större volymerna kvarstår skillnaden mellan de teoretiskt framräknade värdena och de upptagna.

Vi använde oss av tanken på 0.63 liter och skickade in för olika inflöden; först ett steg på 8 volt och sedan ett på 2 volt. Resultatet finns på sidan 15.

Skillnaderna kvarstår, det för situationen nya är att dessa inte uppträder konsekvent.

0.27 lit. 5 V

q = 0.65 l/min p.h 40 mm/min

$T_e = 0.338$

$T_t = 0.415$

$\Delta = 0.077$

q = 1.025 l/min

$T_e = 0.25$

$T_t = 0.26$

$\Delta = 0.01$

q = 1.47 l/min

$T_e = 0.175$

$T_t = 0.184$

$\Delta = 0.009$

0.63 lit. 5 V

q = 0.65 l/min

$T_e = 0.775$

$T_t = 0.969$

$\Delta = 0.194$

q = 1.025 l/min

$T_e = 0.55$

$T_t = 0.615$

$\Delta = 0.065$

q = 1.47 l/min

$T_e = 0.4$

$T_t = 0.429$

$\Delta = 0.029$

1.05 lit/min

q = 0.65 l/min

p.h 40 mm/min

$T_e = 1.275$

$T_t = 1.62$

$\Delta = 0.345$

q = 0.83 l/min

$T_e = 1$

$T_t = 1.265$

$\Delta = 0.265$

Forts.

$$\underline{q = 1.025 \text{ l/min}}$$

$$T_e = 0.825$$

$$T_t = 1.024$$

$$\Delta = 0.199$$

$$\underline{q = 1.47 \text{ l/min}}$$

$$T_e = 0.575$$

$$T_t = 0.714$$

$$\Delta = 0.139$$

$$\underline{\underline{0.63 \text{ lit.} \quad \quad \quad 8 \text{ V}}}$$

$$\underline{q = 0.65 \text{ l/min}}$$

$$T_e = 0.638$$

$$T_t = 0.969$$

$$\Delta = 0.331$$

$$\underline{q = 1.025 \text{ l/min}}$$

$$T_e = 0.5$$

$$T_t = 0.614$$

$$\Delta = 0.114$$

$$\underline{q = 1.47 \text{ l/min}}$$

$$T_e = 0.35$$

$$T_t = 0.429$$

$$\Delta = 0.079$$

$$\underline{\underline{0.63 \text{ lit.} \quad \quad \quad 2 \text{ V}}}$$

$$\underline{q = 0.65 \text{ l/min}}$$

$$T_e = 0.85$$

$$T_t = 0.969$$

$$\Delta = 0.119$$

$$\underline{q = 1.025 \text{ l/min}}$$

$$T_e = 0.588$$

$$T_t = 0.615$$

$$\Delta = 0.027$$

$$\underline{q = 1.47 \text{ l/min}}$$

$$T_e = 0.425$$

$$T_t = 0.428$$

$$\Delta = 0.003$$

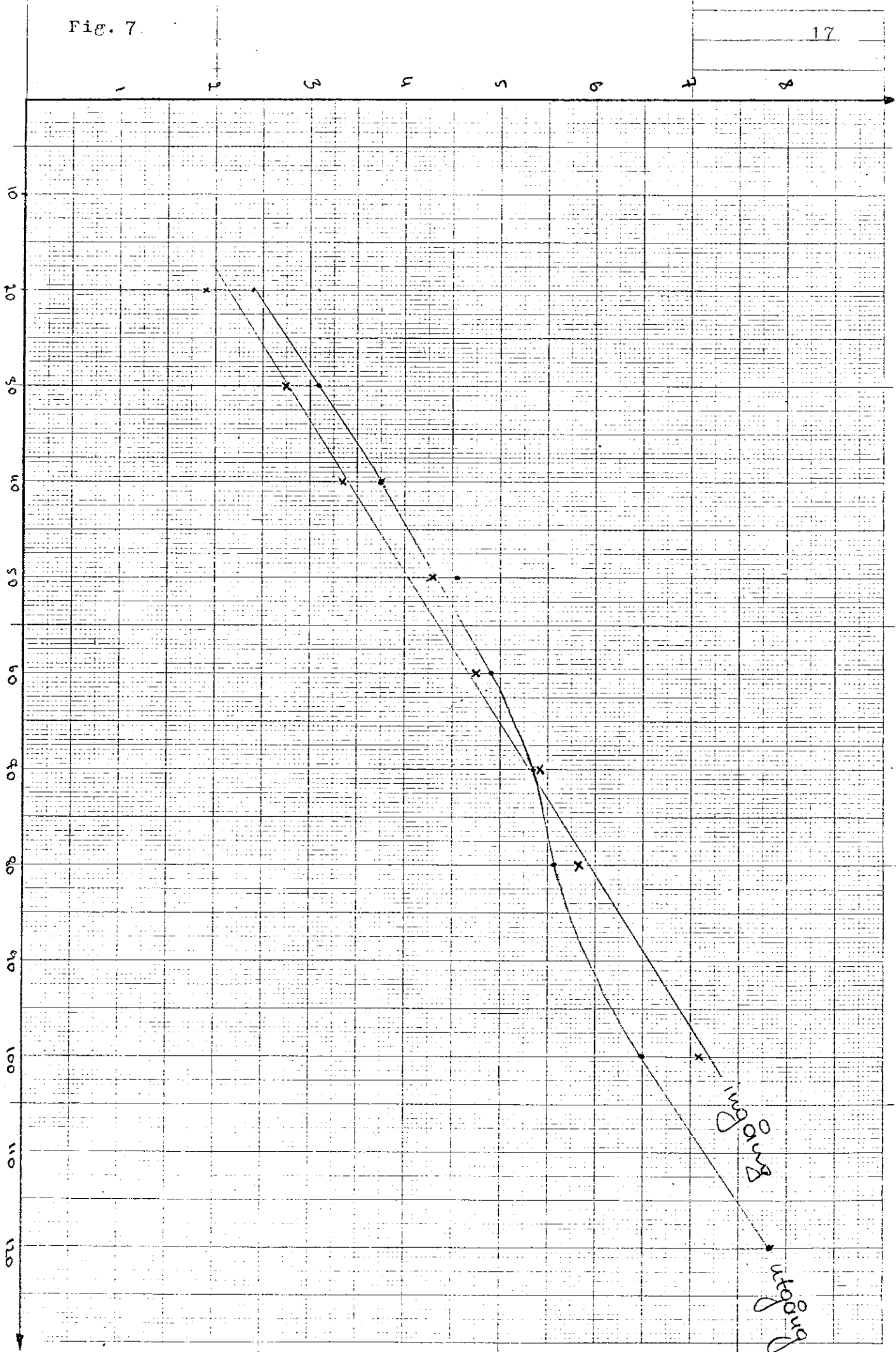
I sökandet efter en bra förklaring kom vi även att betrakta möjligheten att orsaken kunde ligga i konduktivitetensmätarna och till dem hörande elektronik. Eftersom vi inte hade tillgång till någon ny konduktivitetensmätare att använda som referens kopplade vi helt enkelt bort våra konduktivitetensmätare från systemet. Vi gjorde sedan olika saltlösningar med vilka vi fyllde mätarna och kontrollerade dessa utslag. När mätresultaten sedan plottades på millimeterpapper framgick det att medan ingångsapparaturen var relativt linjär så var det något onormalt vad beträffar utgångsapparaturen.

För små koncentrationer av salt ligger utgångsapparaturens utslag klart över ingångens, medan det är tvärtom vid större koncentrationer (figur 7).

För att kontrollera de dynamiska egenskaperna kopplade vi sedan konduktivitetensmätarna med en kort slang efter varandra. Detta kopplades därefter till systemet.

Sedan körde vi på vanligt sätt med konstanta saltinjektioner vid olika flödesmängder. Vi fick då en skillnad på ingångs- och utgångsapparatur som ej förblev konstant vid ändring av inflödet (dvs vid ändring av saltkoncentrationen).

Fig. 7.



Nästa logiska steg var att vända på konduktivitetensmätarnas elektronik. Vi gjorde nya mätningar, vars resultat återfinns i tabell 4 och i figur 8.

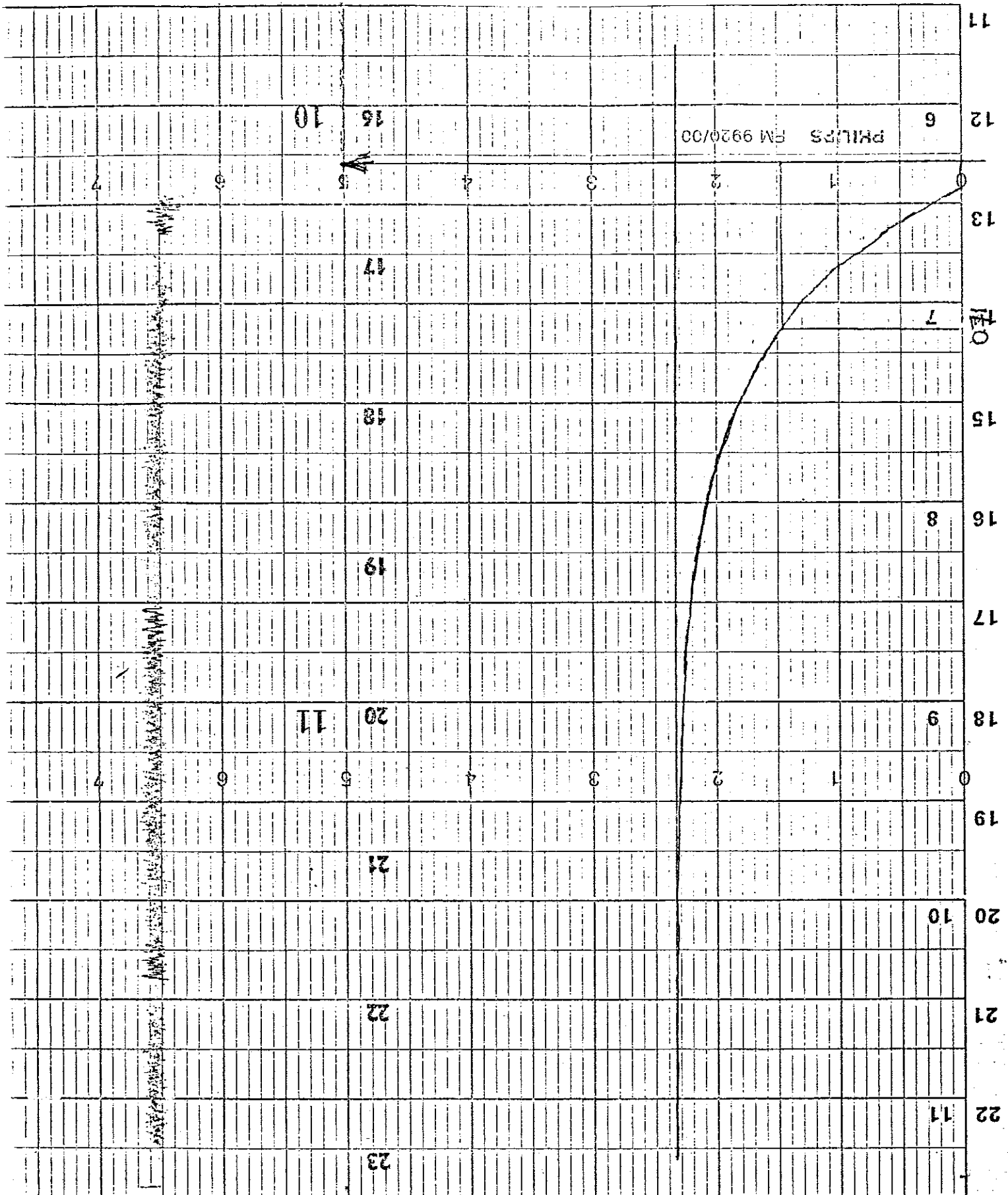
Här måste tilläggas att vi nu använder oss av en ny formel för beräkning av tidskonstanten vari ingår saltlösningens inflöde. Denna försummade vi i de tidigare mätningarna, av orsaker som kommer att ges längre fram i detta moment. Som framgår av mätningarna får vi här en avsevärt bättre överensstämmelse mellan de teoretiska och de upptagna värdena. En viss skillnad finns fortfarande kvar; denna är proportionellt sett konsekvent. Detta leder till att vi får en konsekvent effektiv volym, vilket innebär att vårt antagande om att det en del av tankens volym som deltar i processen är sant.

TABELL 4.

MED OMVÄND FÖRSTÄRKARELEKTRONIK.

INFLÖDE (lit/min)	1.47	1.025	0.65
T_{teor} (min)	0.55	0.79	1.22
T_{uppm} (min)	0.5	0.71	1.06
V_{uppm} (lit)	0.75	0.75	0.72

Där $T_{\text{teor}} = v/(q + q_i)$ där $q_i = 25$ mlit



3.2 SIMULERING AV PROCESSEN MED HJÄLP AV SIMNON.

Enligt den matematiska modellen för processen gjorde vi ett simuleringsprogram i institutionens eget programpaket SIMNON. Programmet ser ut som följer:

```
CONTINUOUS SYSTEM TANK

STATE CT
TIME T
DER DCT
CI = IF T<0 THEN 0 ELSE 1
DCT = ( Q*CI - Q*CT ) / V
V : 0.825
Q : 0.65
CT: 0
END
```

Resultatet av simuleringen framgår av fig. 9.

Vi ser att kurvorna tenderar mot samma värde, vilket inte är riktigt. Vid ökat vatteninflöde borde vi ha lägre saltkoncentration i utgången. Vi modifierar därför den ursprungliga modellen.

81.07.05 - 21:42:13 nr: 6
HCOPY1.2

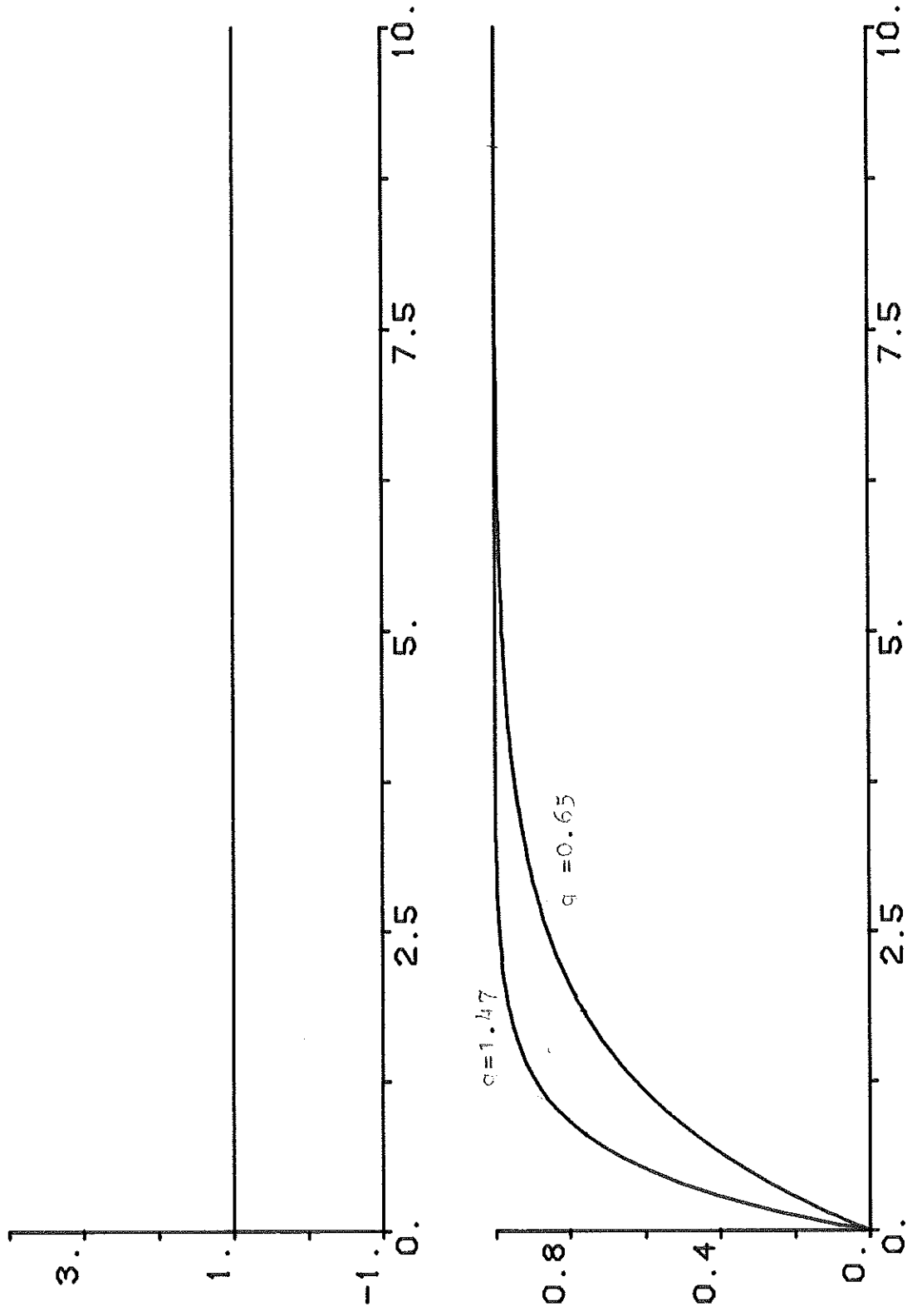
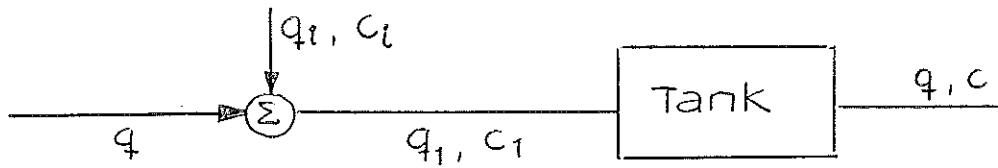


Fig. 9

3.3 MODIFIERING AV DEN URSPRUNGLIGA MODELLEN.



q = inflöde av färskvatten

q_i = inflöde av saltlösning

q_1 = utflöde från systemet

c_i = saltlösningens koncentration

c = utgångens saltkoncentration

a/ Flödesbalans kring (Σ) :

$$q + q_i = q_1$$

b/ Massbalans kring (Σ) :

$$q \cdot 0 + q_i c_i = q_1 \cdot c_1$$

c/ Koncentrationsändring i tanken:

$$v \cdot \frac{dc}{dt} = q_i c_i - (q + q_i) c$$

$$v \cdot \frac{dc}{dt} + (q + q_i) c = q_i \cdot c_i$$

Laplace transformering ger

$$V s C + (q + q_i) C = q_i c_i \Rightarrow$$

$$(V \cdot s + q + q_i) C = q_i c_i \Rightarrow$$

$$\frac{C}{c_i} = \frac{q_i}{V s + q + q_i} \Rightarrow$$

$$\frac{C}{c_i} = \frac{q_i / (q + q_i)}{\frac{v}{q + q_i} s + 1} \Rightarrow$$

$$\frac{C}{c_i} = \frac{q_i}{q + q_i} \cdot \frac{1}{T s + 1} \quad \text{där } T = V / (q + q_i)$$

Här ser vi att T är beroende av q_i också; det var hit vi hänvisade tidigare i texten.

Här måste vi göra ett nytt simuleringsprogram:

```
CONTINUOUS SYSTEM TANK
```

```
STATE C
```

```
TIME T
```

```
DER DC
```

```
CI = IF T < 0 THEN 0 ELSE 1
```

```
DC = ( QI * CI - ( Q + QI ) * C ) / V
```

```
V: 0.825
```

```
Q: 0.65
```

```
QI: 0.025
```

```
C: 0
```

```
END
```

Simulering med detta program ger följande figur (Fig. 10).

81.07.09 - 22:01:06 nr: 4
HCOPY1.2 "SYSTEM UTAN ATERCIRKULATION Q: 0.65 , 1.025 , 1.47"

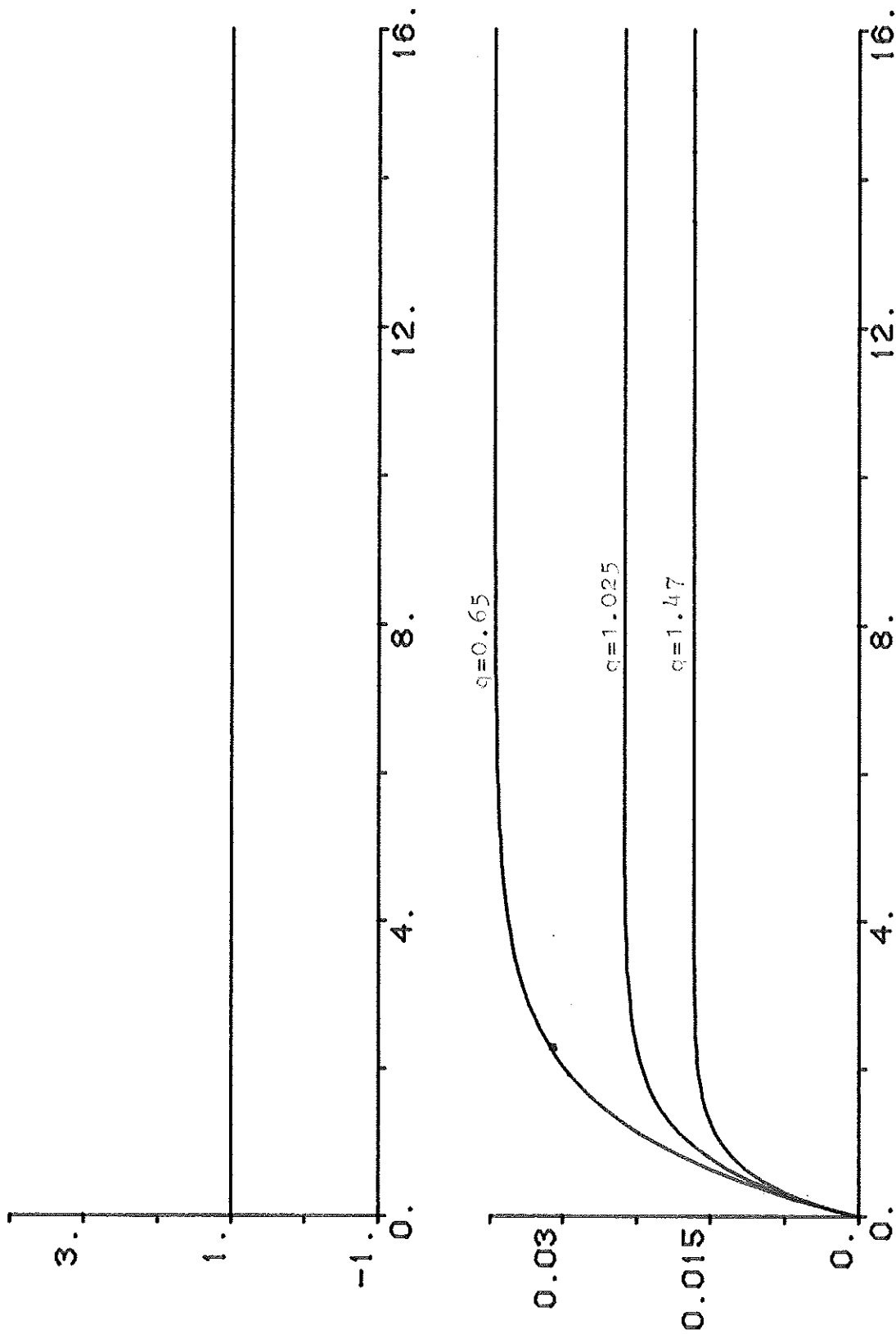
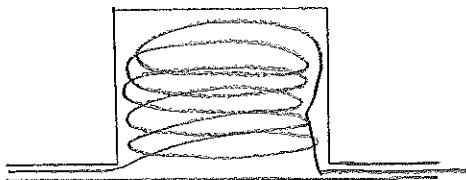


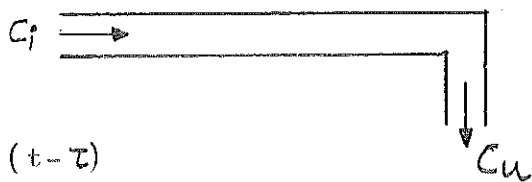
Fig.10

3.4 SYSTEM MED FÖRDRÖJNINGSELEMENT INKOPPLAT.

Fördröjningselementet i saltblandningsprocessen är helt enkelt en lång slang. Slangen är insatt i en plastburk som synes i nedanstående skiss.



För den matematiska modellen ser vi att slangens åstadkommer en tidsfördröjning.



$$C_u(t) = C_i(t - \tau)$$

Laplace transformering ger

$$C_u(s) = C_i e^{-s\tau}$$

$$C_F(s) = e^{-s\tau}$$

$$\left. \begin{array}{l} \tau = \frac{l}{v} \\ v = \frac{q + q_i}{A} \end{array} \right\} \Rightarrow \tau = \frac{lA}{q + q_i}$$

$$C_F(s) = e^{-s l A / (q + q_i)}$$

$$l = 7.59 \text{ cm}$$

$$A = 58.1 \text{ mm}^2 = 0.581 \text{ cm}^2$$

$$lA = 440.9 \text{ cm}^3 = 0.44 \text{ lit.}$$

$$C_F(s) = e^{-s 0.44 / (q + q_i)}$$

$$\tau = \frac{0.44}{q + q_i}$$

Här måste det adderas till slangens volym, volymen av slangarna som sammankopplar burken med konduktivitetsmätarna.

Då blir:

$$\left. \begin{aligned} \tau &= \frac{l_1}{v_1} + \frac{l_2}{v_2} \\ v_1 &= \frac{q+q_i}{\Lambda_1} \\ v_2 &= \frac{q+q_i}{\Lambda_2} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \tau = \frac{l_1 \Lambda_1}{q+q_i} + \frac{l_2 \Lambda_2}{q+q_i}$$

$$\tau = \frac{l_1 \Lambda_1 + l_2 \Lambda_2}{q+q_i} = \frac{0.1+0.44}{q+q_i}$$

$$\tau = \frac{0.54}{q+q_i}$$

Experiment med fördröjningselement ger följande tabell och figur 11 och 12.

INFLÖDE (lit/min)	1.47	1.025	0.65
τ_{uppm} (min)	0.34	0.48	0.74
τ_{teor} (min)	0.36	0.51	0.8

Fig.11. Stegsvär från fördröjningselementet. ($\eta=1.47.$)

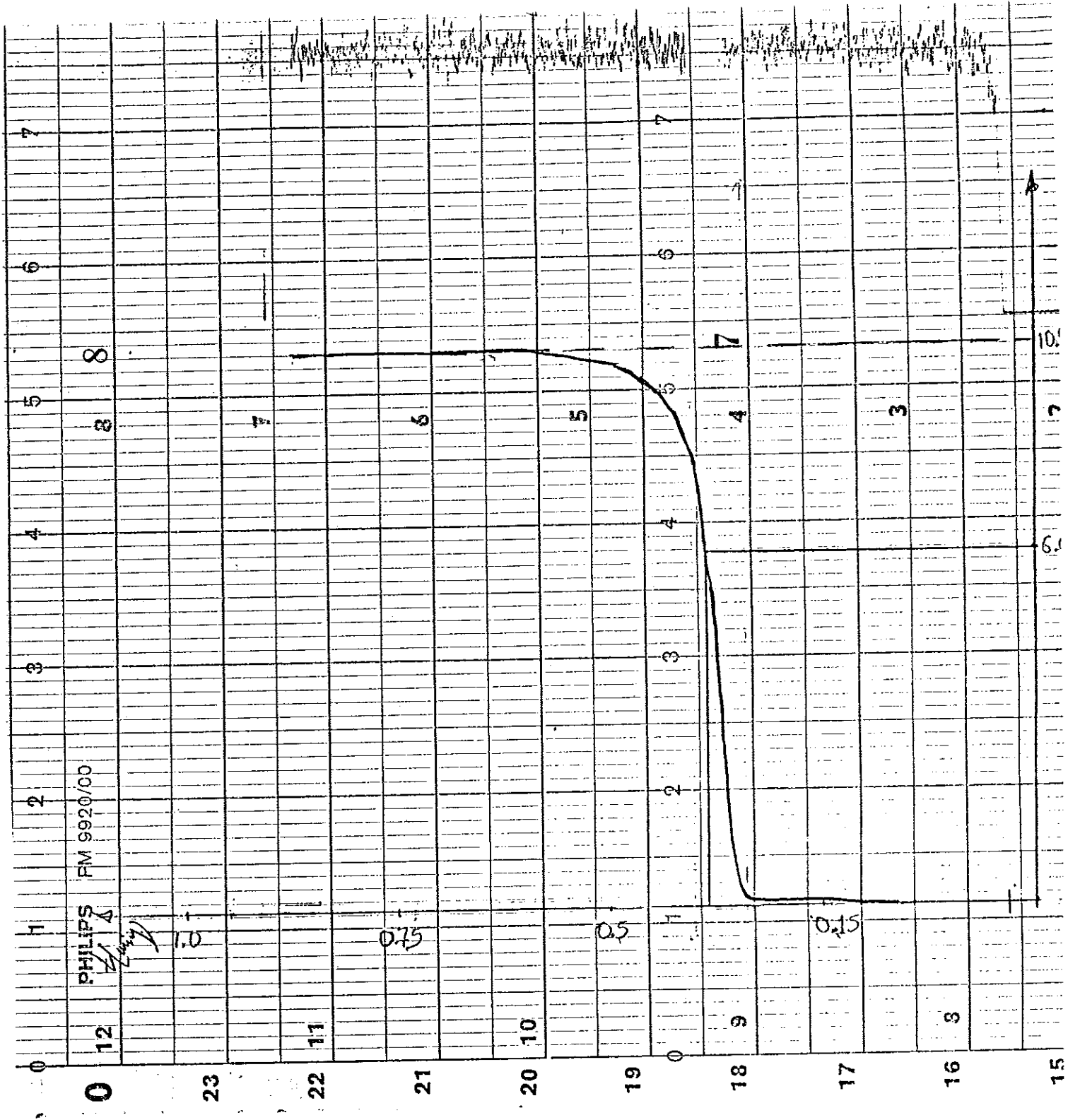
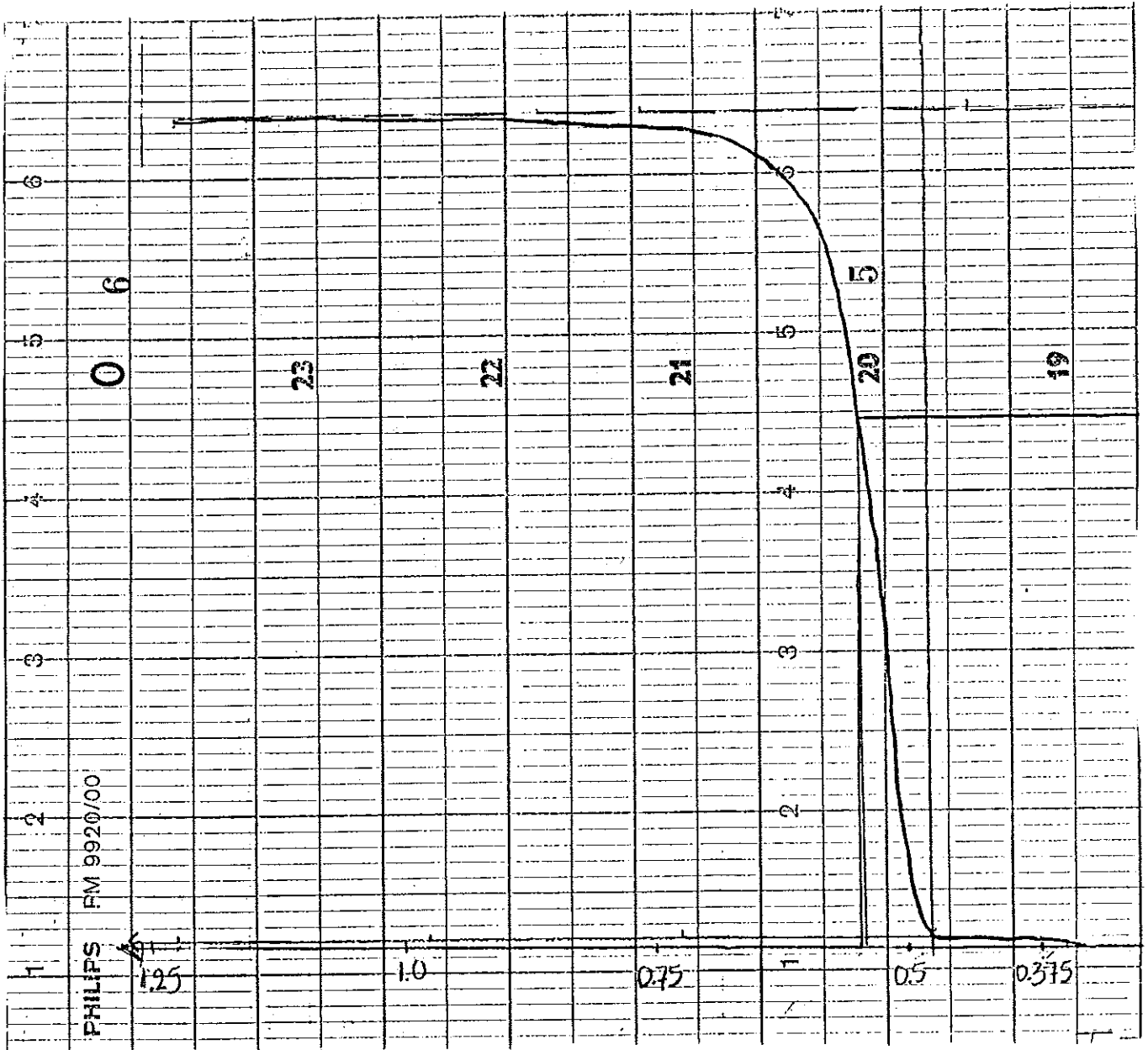
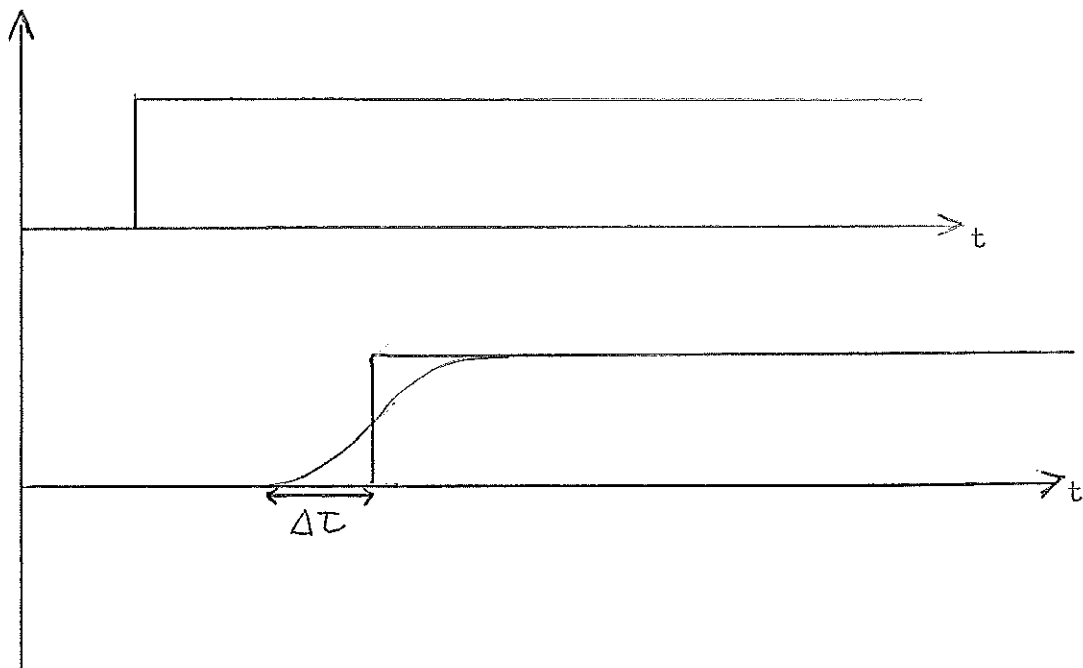


Fig. 12. Stegsvär från fördröjningselementet. ($q=1.025$).



PHILIPS FM 9920/00



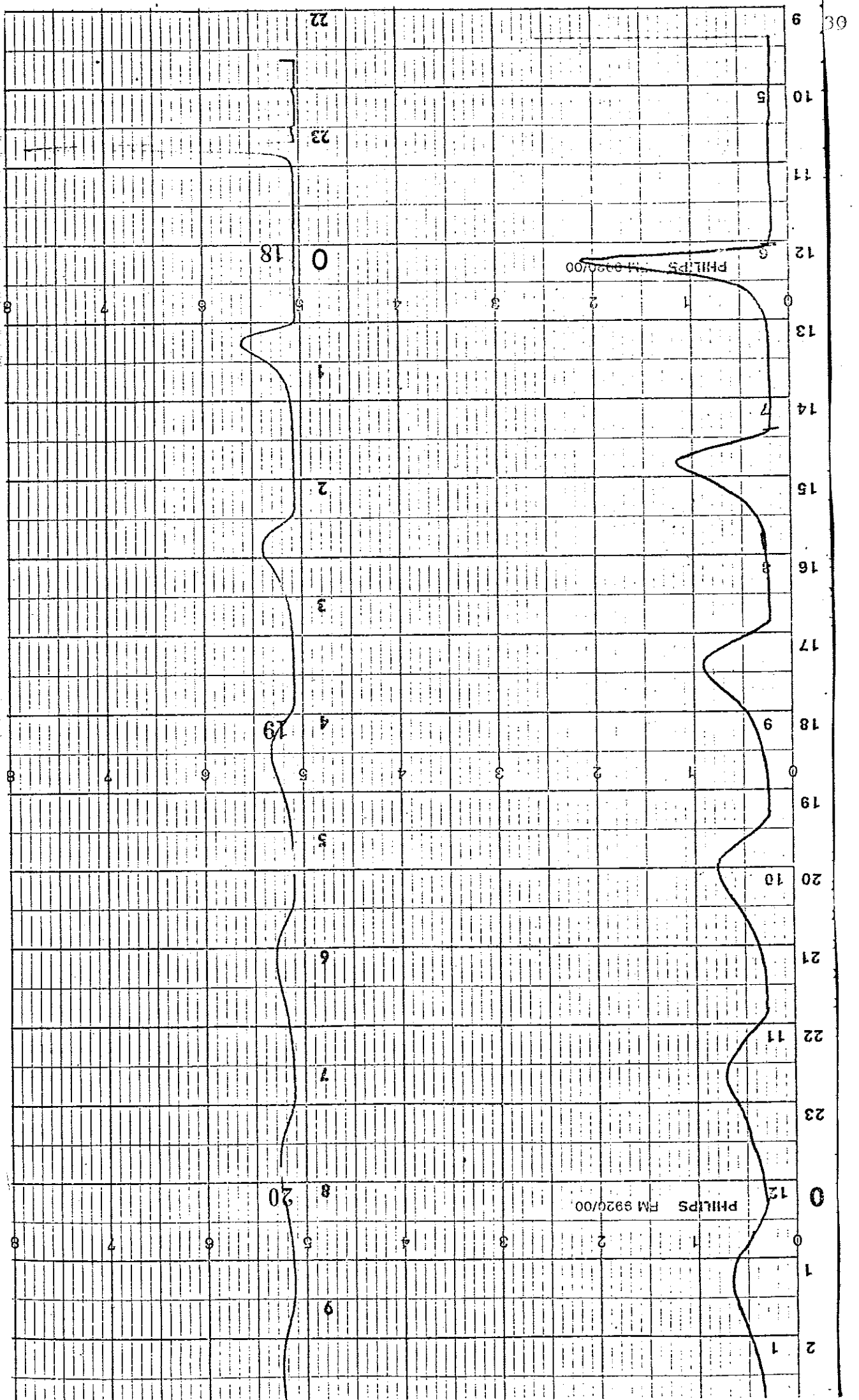
Det finns en liten skillnad i τ_{upptagen} och τ_{teor} , beräknad, som minskar med ökat inflöde. Detta kan lätt förklaras med att vi inte har något riktigt pluggflöde. Vid högre flöde dominerar pluggflödet och vi har därför en obetydlig skillnad. Vid lägre flöden däremot är flödet mer laminärt. Ovanstående påstående kan stödjas av följande experiment.

Efter att ha skickat in en puls ströp vi in- och utgången och lät systemet, med fördröjningselementet inkopplat, gå med hjälp av pumpen.

De första pulserna är mycket skarpa, medan de andra blir bredare och mindre skarpa. Detta beror på den uppblandning som sker pga att vi inte har rent pluggflöde i slangarna. Mot slutet försvinner dessa svängningar helt och vi får ut ett konstant värde. Detta beror på att allt salt är uppblandat i systemets vatten.

Experimentets graf visas i fig. 13 .

Fig. 13. Pulsvandring i slutet system.



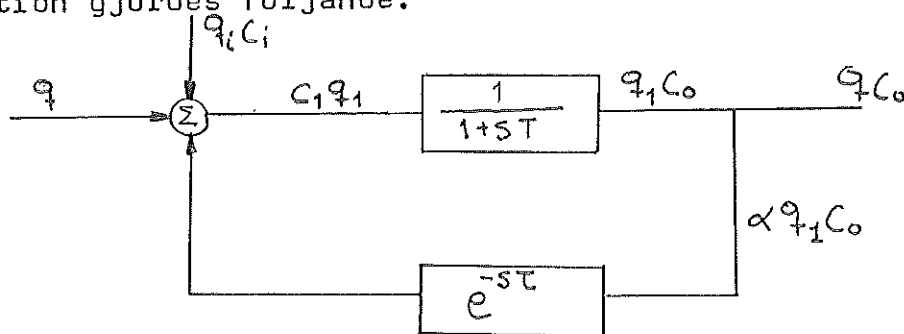
4. PROCESSERNA MED ÅTERKOPPLING.

I systemet har vi också möjligheter till återcirkulation. Strax före konduktivitetmätaren vid utgången utgår en slang som via en pump, en kran och en flödesmätare - identisk med den vid ingången - går till början av uppställningen, strax före den första konduktivitetmätaren. Pumpen kontrolleras från panelen.

Den del av saltlösningen som skall återcirkulera kan ställas in med hjälp av kranen och flödesmätaren.

4.1 TANK.

För den matematiska modellen av tanken med återcirkulation gjordes följande:



I utflöde är det egentligen $q + q_i$
 c_i mol/l ; q_i l/min

Flödesbalans kring Σ

$$q + q_i + \alpha q_1 = q_1$$

$$q_1 = \frac{1}{1-\alpha} (q + q_i) \quad \text{försumma } q_i \text{ i jfr med } q$$

Insignal $c_i q_i$ mol/min.

Koncentrationsbalans:

$$q \cdot 0 + q_i c_i + q_1 c_0 (t - \tau) = c_1 q_1$$

$$c_1 q_1 = q_1 c_0 (t - \tau) + c_i q_i$$

$$c_0(s) = \frac{1}{1+ST} c_1(s)$$

$$q_1 (1+ST) c_0(s) = q_1 c_0(s) e^{-S\tau} + q_i c_i$$

$$c_0(s) = \frac{1}{q_1 (1+ST - \alpha e^{-S\tau})} \cdot q_i c_i$$

$$c_0(s) = \frac{(1-\alpha)/q}{1+ST - e^{-S\tau}} q_i c_i \quad \text{anta } \tau = 0$$

$$c_0(s) = \frac{1-\alpha}{q} \cdot \frac{1}{1+ST} q_i c_i = \frac{1}{q} \frac{1}{1+ST/(1-\alpha)} \cdot q_i c_i$$

4.1.1 EXPERIMENT MED TANK.

Experimenten förlöpte på samma sätt som förut, med enda skillnad att vi här har återcirkulation. Se fig. 14 och 15.

a/ Inflöde: 1.025 lit/min (120 mm)

Pappershastighet 40 mm/min.

$$T_{\text{uppm}} = 0.925 \text{ min}$$

$$\alpha q_1 = 0.39 \text{ lit/min}$$

$$\alpha = 0.28$$

$$T_{\text{teor}} = 0.81 \text{ min}$$

b/ Inflöde: 1.025 lit/min (120 mm)

Återcirkulation 0.83 lit/min (100 mm)

$$T_{\text{uppm}} = 0.76 \text{ min}$$

$$\alpha = 0.45$$

$$T_{\text{teor}} = 0.81 \text{ min}$$

c/ Inflöde: 1.47 lit/min (160 mm)

Återcirkulation: 0.47 lit/min (60 mm)

$$T_{\text{uppm}} = 0.61 \text{ min}$$

$$\alpha = 0.24$$

$$T_{\text{teor}} = 0.56 \text{ min}$$

d/ Inflöde: 1.47 lit/min (160 mm)

Återcirkulation: 0.83 lit/min (100 mm)

$$T_{\text{uppm}} = 0.675 \text{ min}$$

$$\alpha = 0.36$$

$$T_{\text{teor}} = 0.56 \text{ min}$$

e/ Inflöde: 1.47 lit/min (160 mm)

Återcirkulation 1.18 lit/min (135 mm)

$$T_{\text{uppm}} = 0.68 \text{ min}$$

$$\alpha = 0.445$$

$$T_{\text{teor}} = 0.56 \text{ min}$$

Vi ser att de teoretiska stigtiderna har samma värde vid samma inflöde trots att vi varierar återcirkulationen, något som inte stämmer med verkligheten. Anledningen till detta är att vi i den matematiska modellen har försummat τ som är fördröjningen i återcirkulationsslangen.

Fig. 14. Stegsvär vid tank med återcirkulation. ($q=1.47, \alpha q=0.83$).

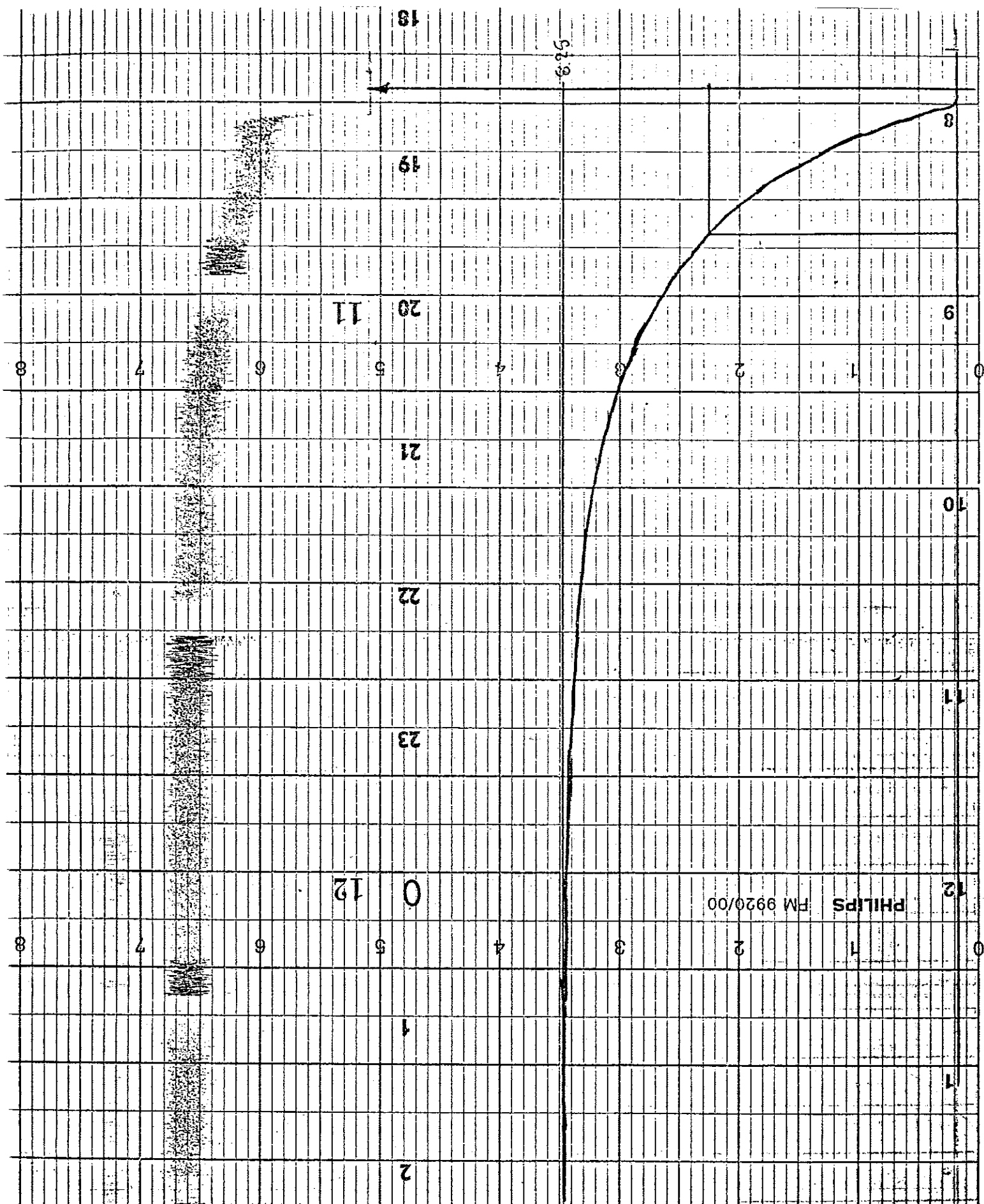
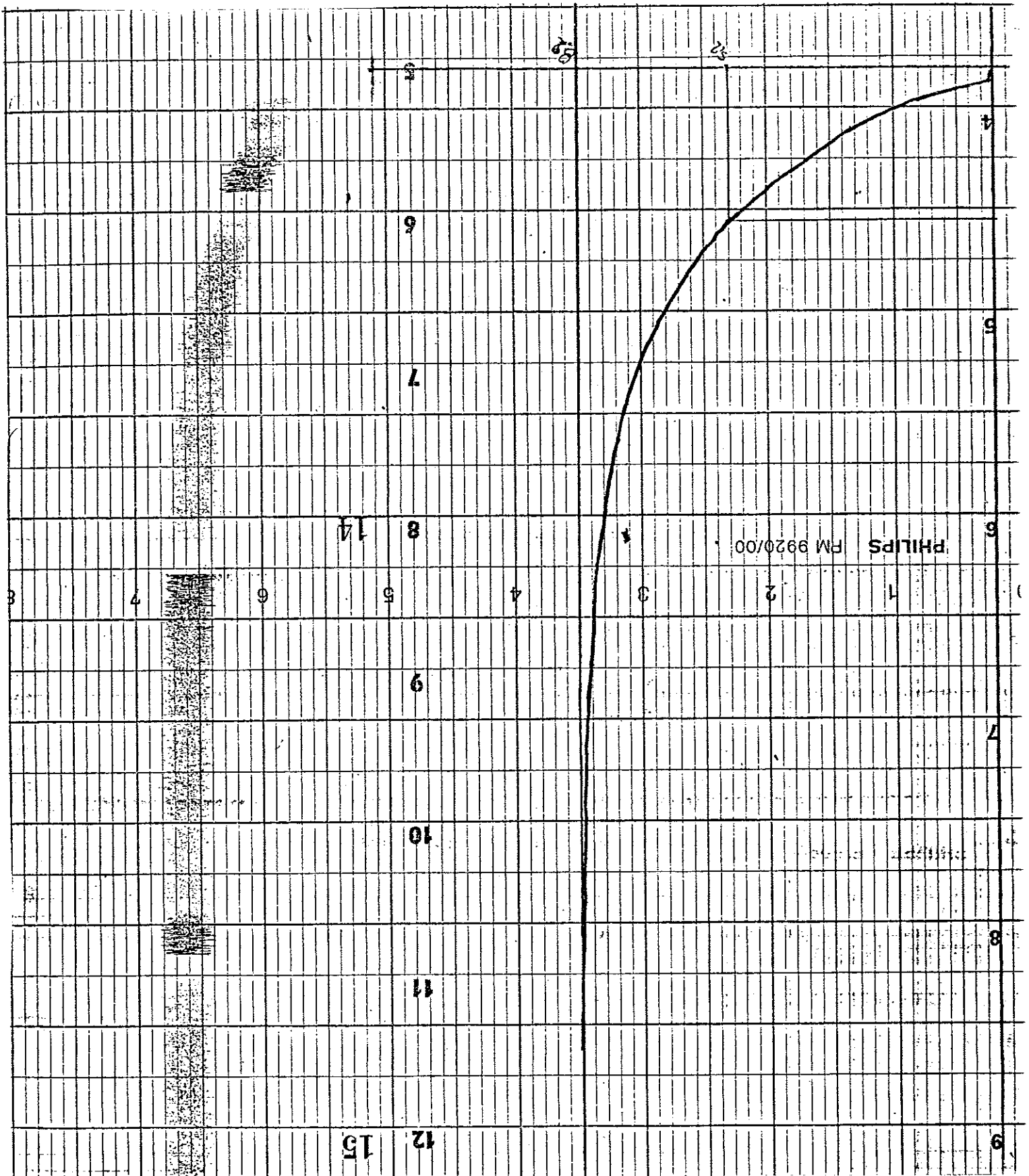


Fig.15. Stegsvär vid tank med återcirkulation. ($q=1.47, \alpha q=1.18$).



4.1.2 SIMULERINGSPROGRAM FÖR TANK MED ÅTERCIRKULATION.

Som vi tidigare konstaterat i samband med antagandet att $\tau = 0$ så är differentiella ekvationen som beskriver processen följande:

$$DC_0 = (q_i c_i - (q + q_i) C_0) / V$$

I programform ser den ut på följande vis:

```
CONTINUOUS SYSTEM RETANK
```

```
STATE CO
TIME T
DER DCO
CI = IF T < 0 THEN 0 ELSE 1
DCO = (QI * CI - (Q + QI) * CO) / V
V : 0.825
Q : 0.65
QI : 0.025
CO : 0
END
```

Simuleringen för de tre olika inflödena ger fig. 16.

81.07.09 - 21:47:47 nr: 3
HCOPY1.2 "SYSTEM MED ATERCIRKULATION Q: 0.65 , 1.025 , 1.47"

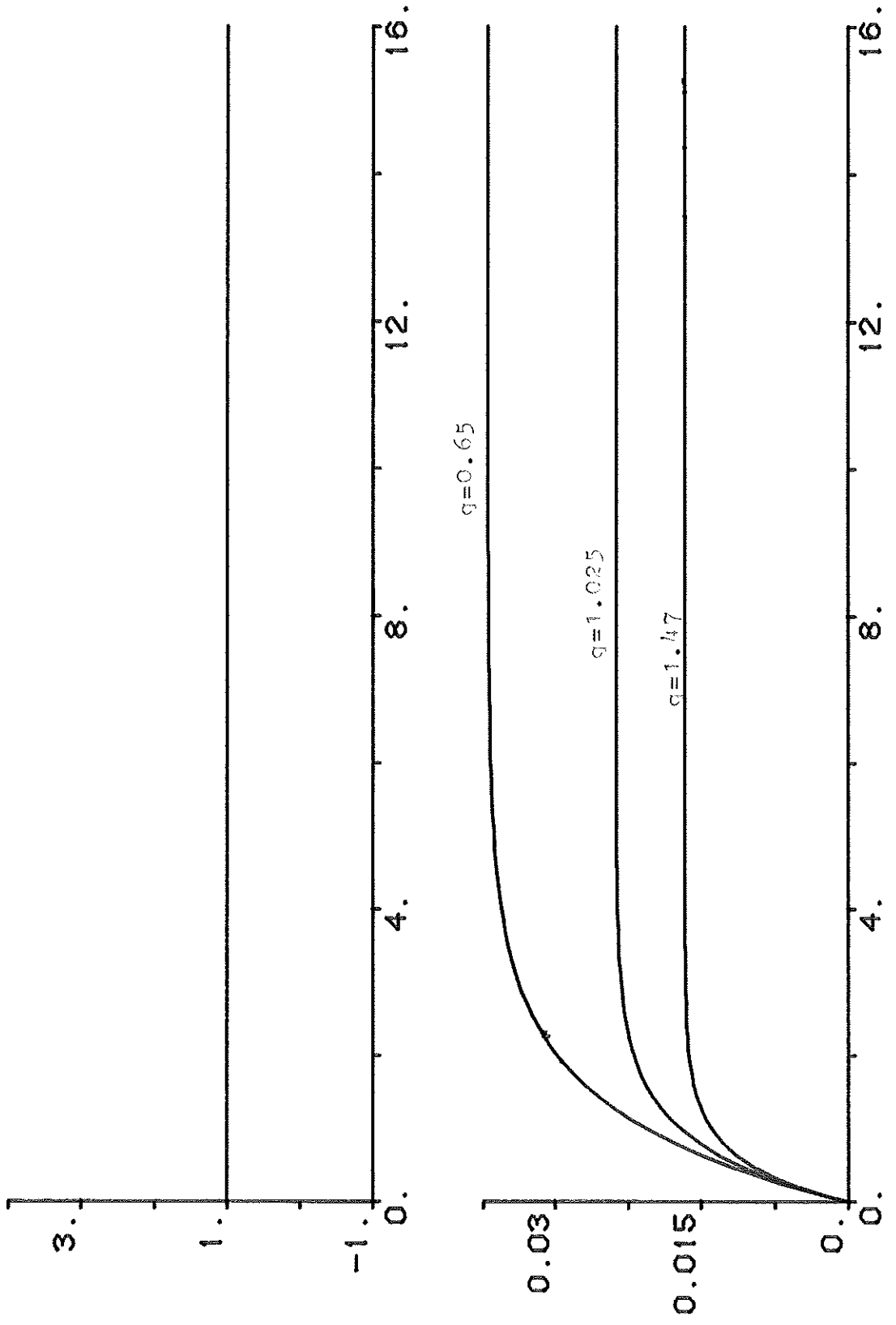
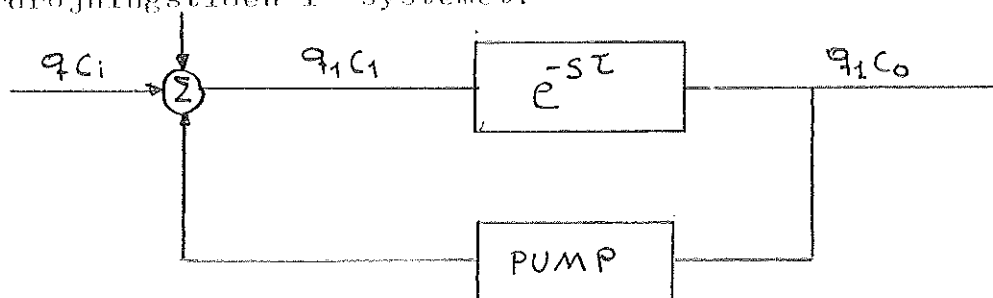


Fig. 16

4.2 FÖRDRÖJNINGSELEMENT.

På samma sätt som tidigare beräknar vi den totala fördröjningstiden i systemet:



$$\left. \begin{aligned} H(s) &= \frac{(1-\alpha)G_D(s)}{1-\alpha G_D(s)} \\ G_D(s) &= e^{-s\tau} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$H(s) = \frac{(1-\alpha)e^{-s\tau}}{1-\alpha e^{-s\tau}}$$

$$\left. \begin{aligned} \tau &= \frac{l_1}{v_1} + \frac{l_2}{v_2} \\ v_1 &= \frac{q_1}{A_1} \\ v_2 &= \frac{\alpha q_1}{A_2} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\tau = \frac{l_1 A_1}{q_1} + \frac{l_2 A_2}{\alpha q_1} = \frac{v_1}{q_1} + \frac{v_2}{\alpha q_1} = \left\{ q_1 = \frac{q}{1-\alpha} \right\} =$$

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{(1-\alpha)v_1}{q} + \frac{(1-\alpha)v_2}{\alpha q} \\ &= \frac{(1-\alpha)(\alpha v_1 + v_2)}{\alpha q} \end{aligned}$$

I det här fallet med återcirkulation skickar vi in en puls istället för ett steg för att kunna registrera toppen från återcirkulationen. Experimenten återfinnes i figur 17 och 18

Experimentellt:

- a/ Inflöde: 0.65 lit/min (80 mm)
 Pappershastighet 80 mm/min
 Återcirkulation: $\alpha q_1 = 0.48$ lit/min
 $T_{\text{uppm}} = 0.875$ min
 $\alpha = 0.425$
 $T_{\text{teor}} = 0.9$ min
- b/ Inflöde: 1.025 lit/min (120 mm)
 Pappershastighet: 80 mm/min
 Återcirkulation: $\alpha q_1 = 0.47$ lit/min
 $T_{\text{uppm}} = 0.74$ min
 $\alpha = 0.315$
 $T_{\text{teor}} = 0.78$ min
- c/ Inflöde: 1.025 lit/min (120 mm)
 Pappershastighet: 80 mm/min
 Återcirkulation: $\alpha q_1 = 0.65$ lit/min
 $T_{\text{uppm}} = 0.61$ min
 $\alpha = 0.39$
 $T_{\text{teor}} = 0.63$ min
- d/ Inflöde: 1.47 lit/min
 Pappershastighet: 80 mm/min
 Återcirkulation: 0.39 lit/min
 $\alpha = 0.21$
 $T_{\text{uppm}} = 0.75$ min
 $T_{\text{teor}} = 0.81$ min
- e/ Inflöde: 1.47 lit/min
 Pappershastighet: 80 mm/min
 Återcirkulation: 0.83 lit/min
 $\alpha = 0.36$
 $T_{\text{uppm}} = 0.475$ min
 $T_{\text{teor}} = 0.48$ min

f/ Inflöde: 1.47 lit/min
Pappershastighet: 80 mm/min
Återcirkulation: 1.12 lit/min
 $\alpha = 0.43$
 $T_{\text{uppm}} = 0.39 \text{ min}$
 $T_{\text{teor}} = 0.40 \text{ min}$

De små skillnaderna i upptagna och teoretiska värden förklaras på samma sätt som i föregående experiment med fördröjningselementet.

Fig.17. Pulssvar för fördröjningselementet med återcirkulation.
 ($q=1.47, \alpha q=1.12$).

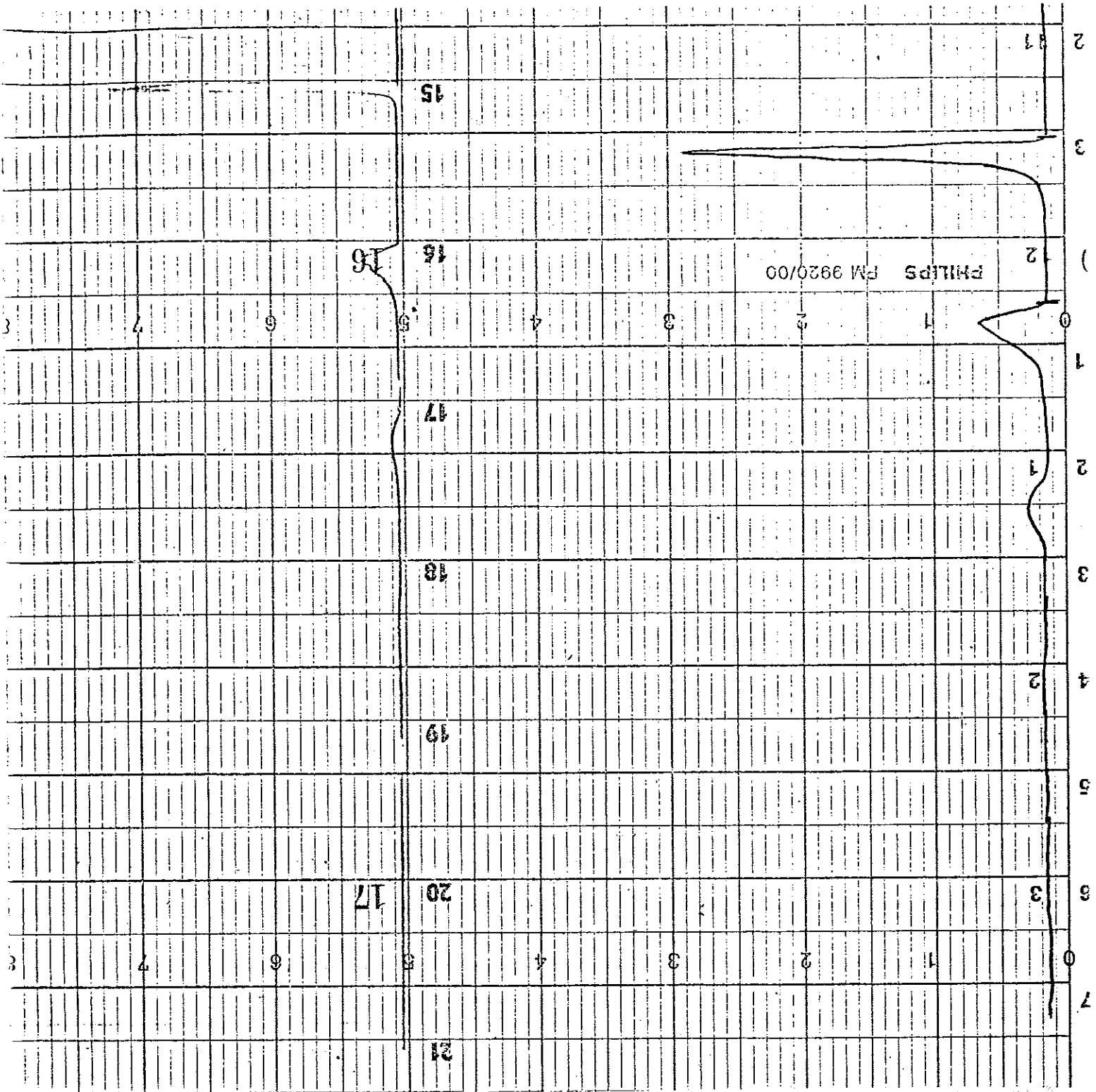
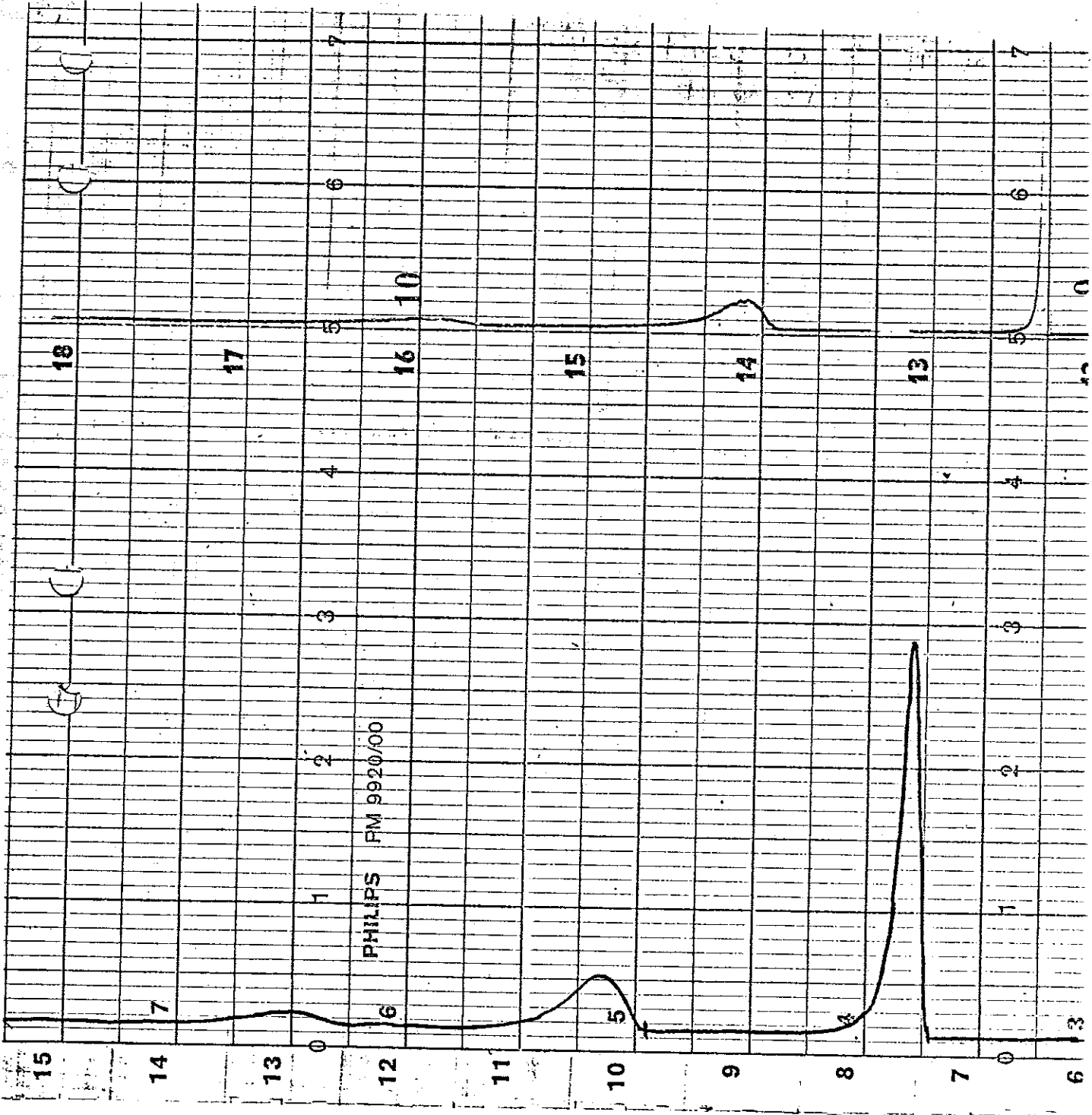


Fig.18. Pulssvar för fördröjningselementet med återcirkulation.
 ($q=1.025, \alpha q=0.65$).



5. REGLERING.

5.1 UTAN ÅTERKOPPLING.

Ett mycket viktigt moment i processen är att reglera den. Detta ska vi försöka göra med hjälp av en PID-regulator. En sådan regulator kan ställas in på många olika sätt; det som först föll oss in var att ställa regulatorn i de värden vi får fram med hjälp av Ziegler-Nichols metod. Vi använde oss därför av följande tillvägagångssätt.

Vi kopplade in en proportionell regulator. Regulatorns förstärkning ökades succesivt tills systemet började självsvänga med konstant amplitud. Det kritiska värdet på förstärkningen k_c och svängningens period T_0 registrerades. Med hjälp av de registrerade värdena går vi in i Ziegler-Nichols tabell ur vilken vi hämtar lämpliga regulatorinställningar. I figur 19 återfinnes våra försök att bestämma k_c och T_0 .

Det kritiska k blir 20 och T_0 blir 0,6375 min = 38,25 sek.

Då blir $P = 12$

$$T_I = 19,125$$

$$T_D = 4,78$$

Om man ställer in dessa värden på PID-regulatorn blir resultatet mycket dåligt. Detta kan bero på att Ziegler-Nichols rekommendationer kan ge felaktiga inställningar för processer vars dynamik approximeras som första eller andra ordningens system. Därför försöker vi reglera systemet på egen hand; se fig. 20.

Vi ställer in olika värden på P och T_I ; de bästa resultaten uppnås med $K = 1.5$ och $T_I = 50$, då systemet ger ganska bra stegsvar med relativt snabb insvängning och utan stationärt fel.

Inkoppling av deriverande delen - i syfte att öka snabbheten i systemet - gav ingen positiv respons.

Fig. 19.

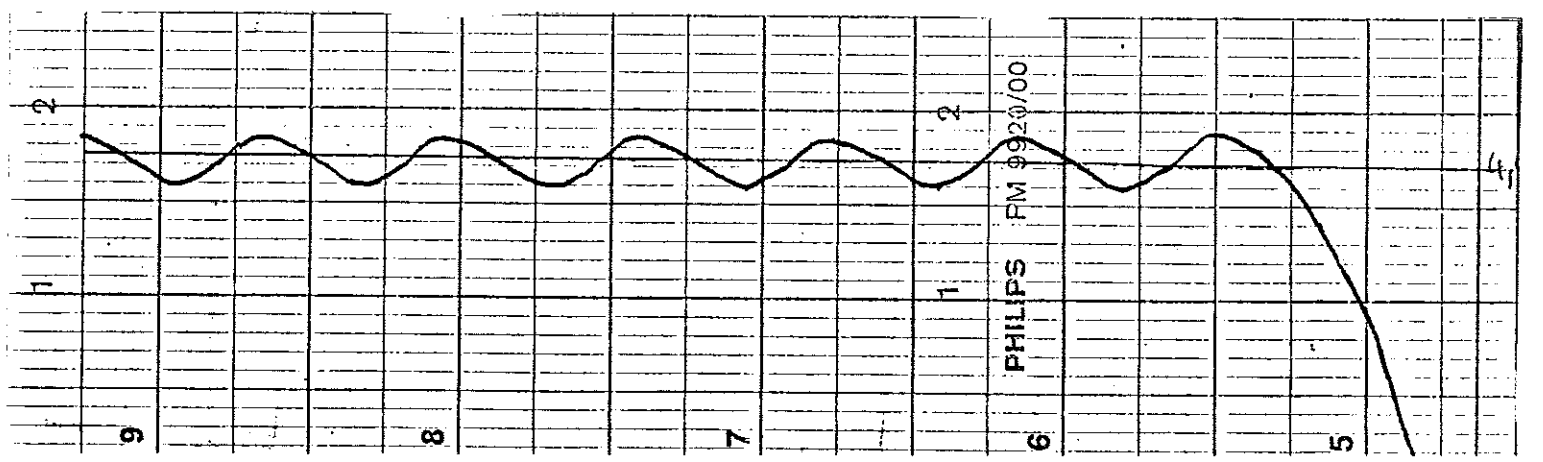
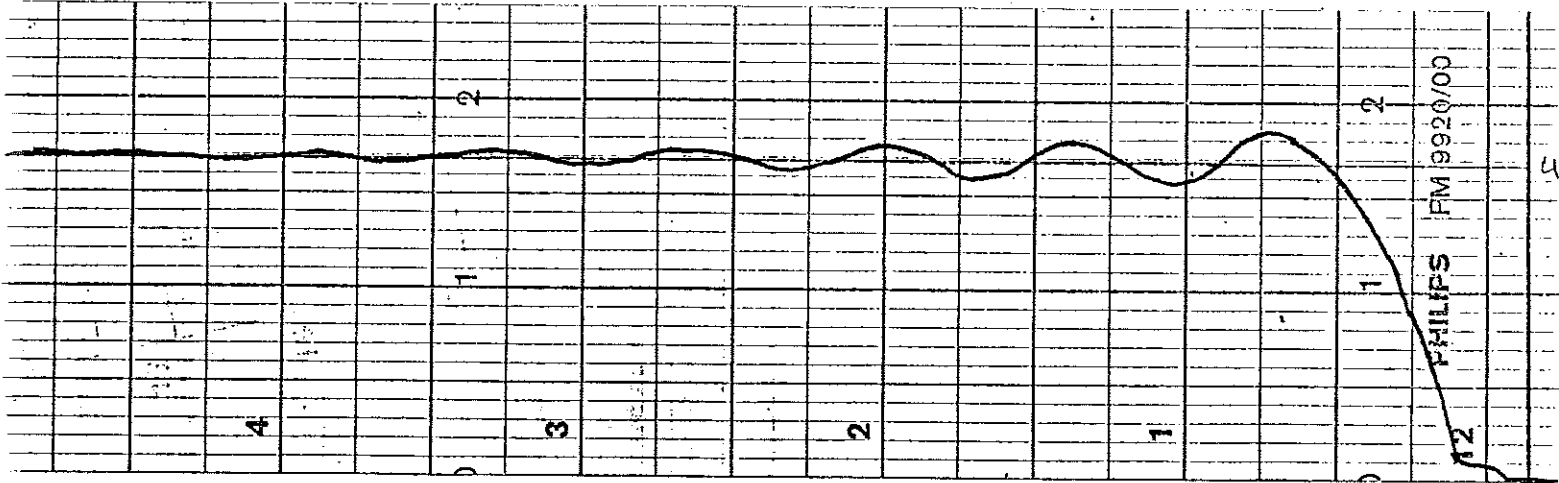
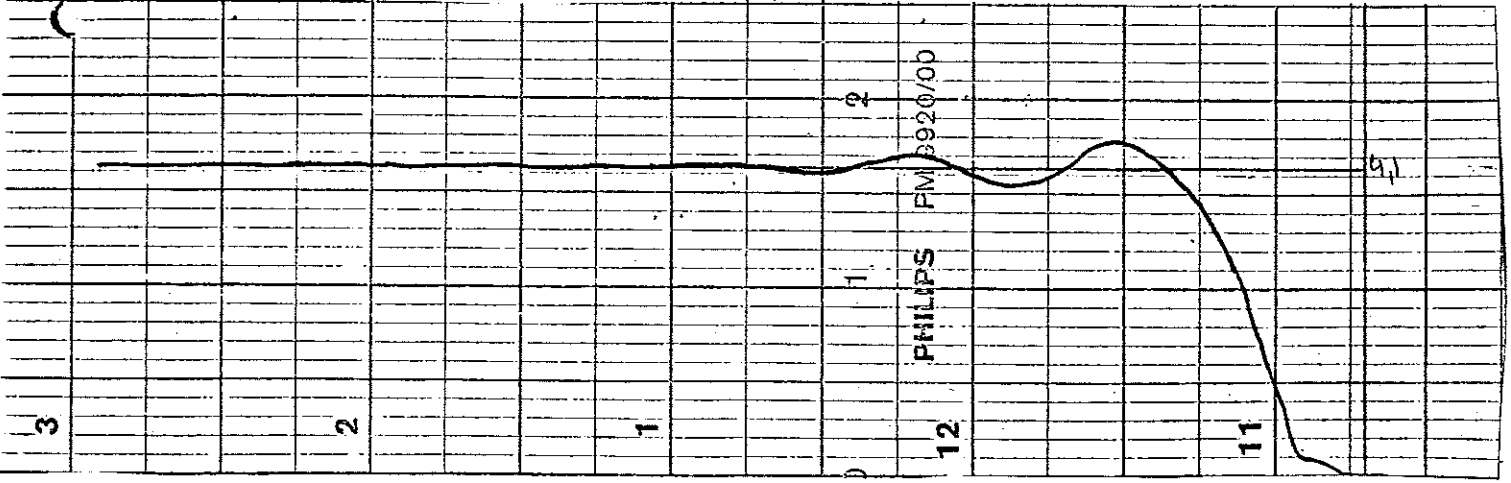
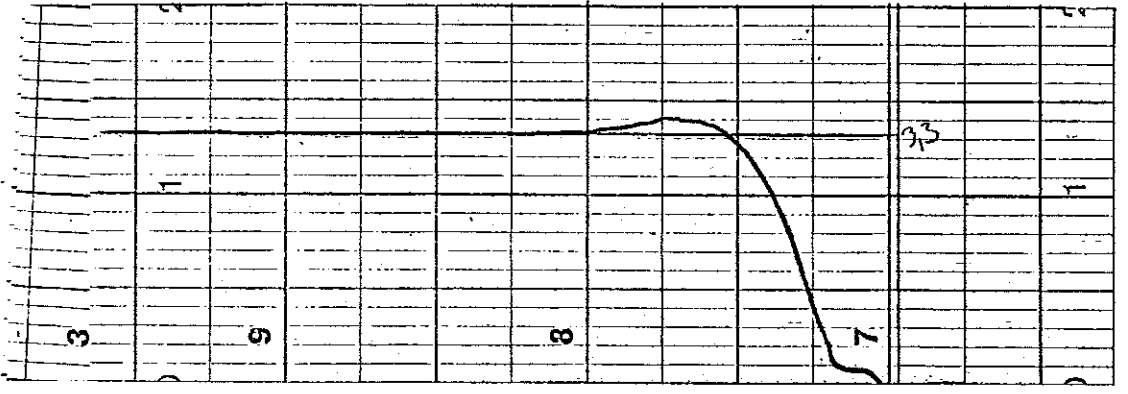
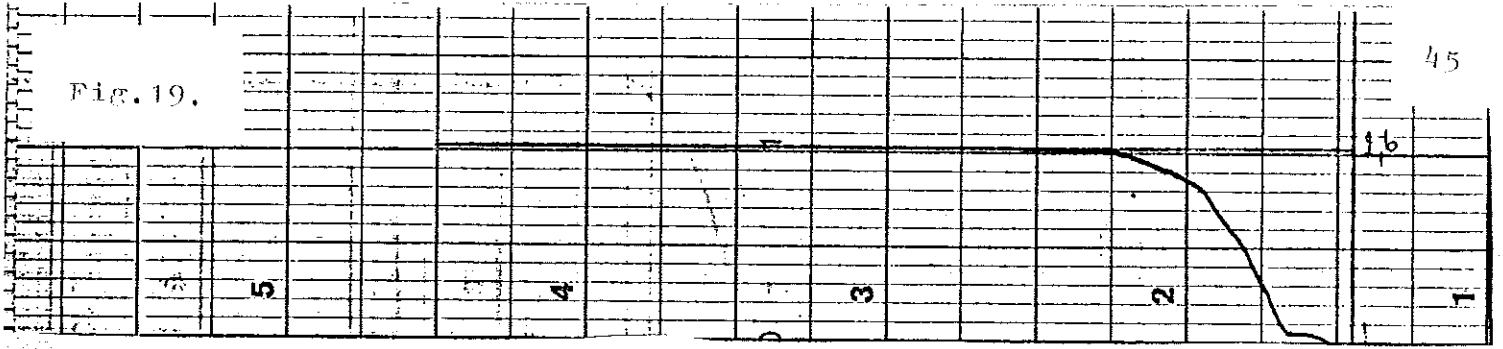
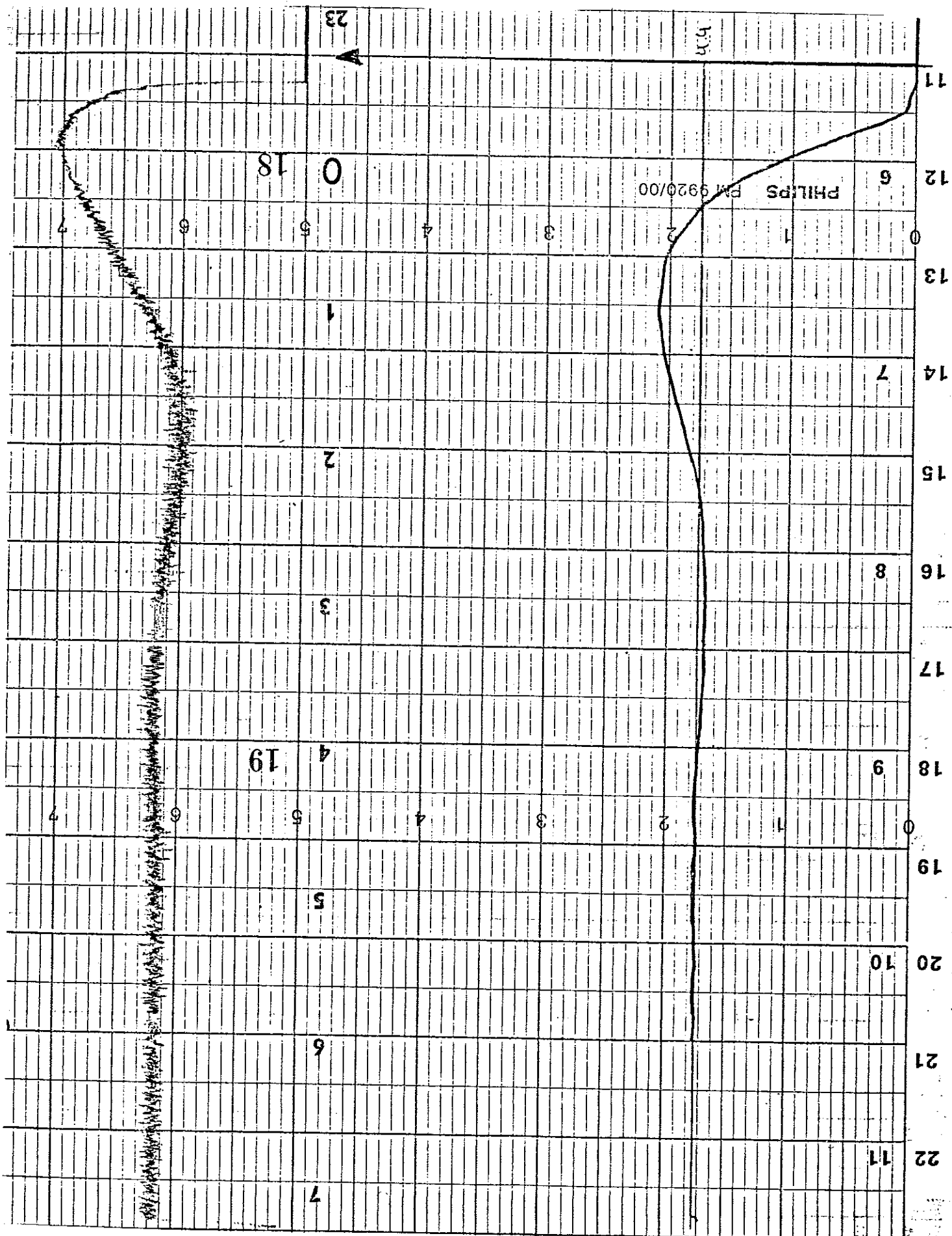


Fig. 20.



5.2 MED ÅTERCIKULATION.

Vi tillämpade samma förfarande som i systemet utan återcirkulation.

K_c bestämdes till 50

T_o bestämdes till 0.38 min eller 22.8 sek.

Se figur nr 21 .

Ziegler-Nichols metod ger för PI-reg:

$K = 22.5$

$T_I = 19$

Då tillräckliga inställningsmöjligheter ej finns på regulatorn använder vi oss av $K = 20$ och $T_I = 20$, se figur 22 . Dessa värden leder till ett instabilt system.

Ziegler-Nichols metod för PID-regulator ger

$K = 30$

$T_I = 11.4$

$T_D = 2.85$

Av samma anledning som ovan gör vi om värdena till

$K = 35$

$T_I = 10$

$T_D = 3.5$

Systemet blir även denna gång instabilt, se fig.23 .

Anledningen till att de här två regleringsförsöken har misslyckats är att Ziegler-Nichols metod inte är tillämpningsbar på detta systemet.

Vi försöker återigen att reglera systemet på egen hand. Vi använde oss av ungefär samma recept.

Bästa resultat får vi för $T_I = 50$ och K någonstans mellan 5 och 7.5. Fig. 24 .

Fig. 21.

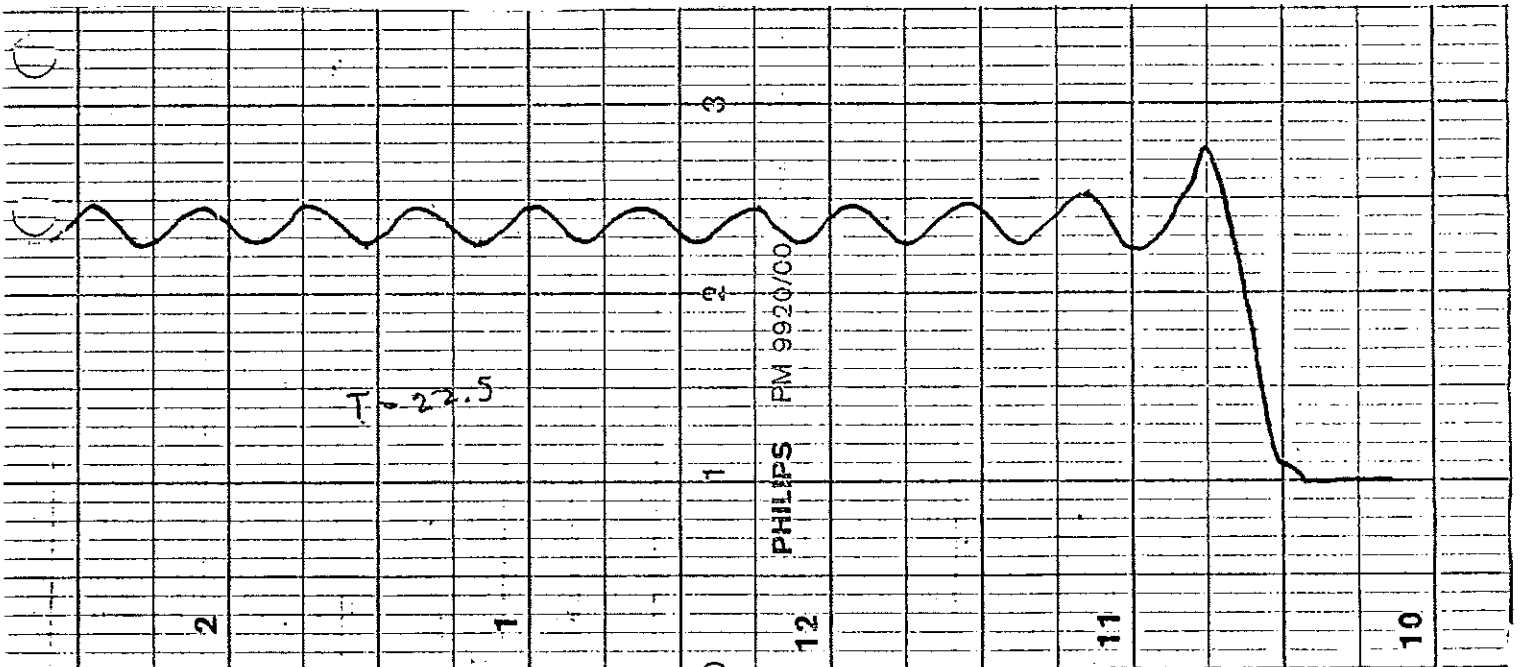
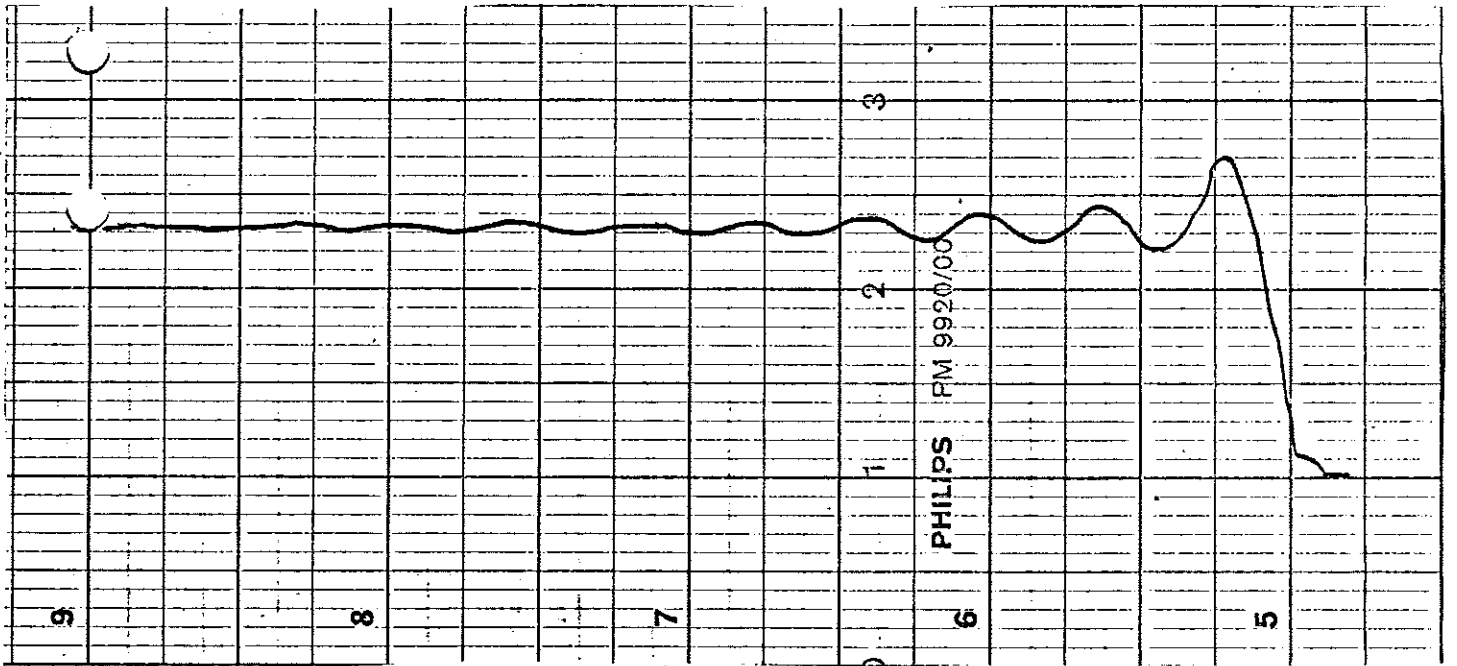
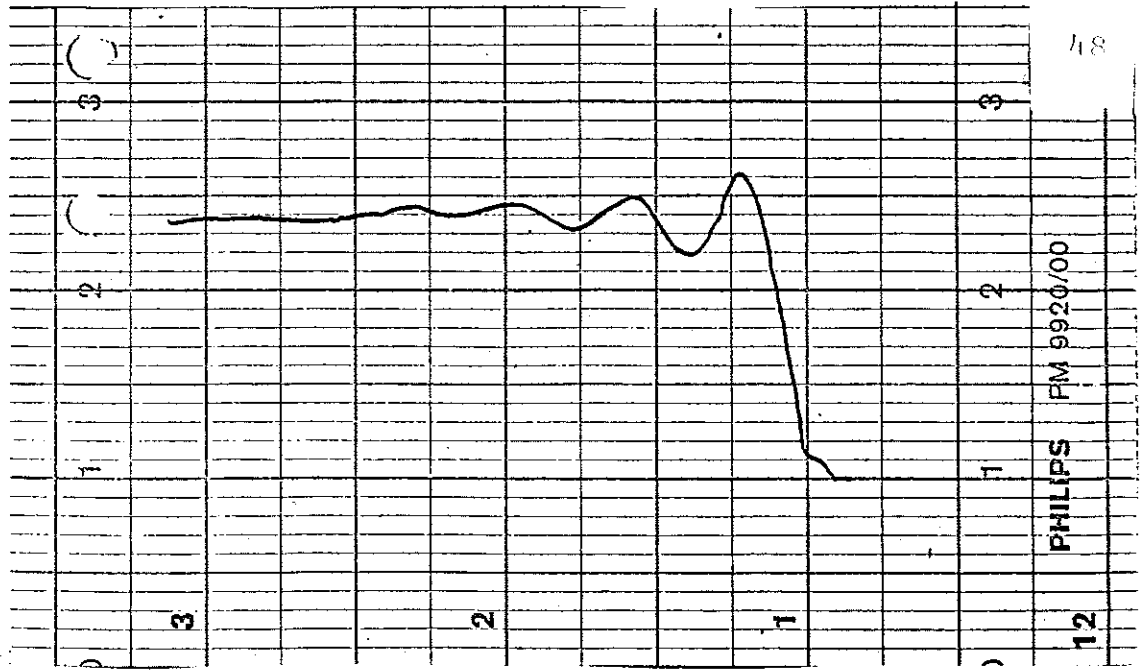


Fig.22. Försök till reglering med hjälp av Ziegler-Nichols metod. ($K=20, T_I=20$).

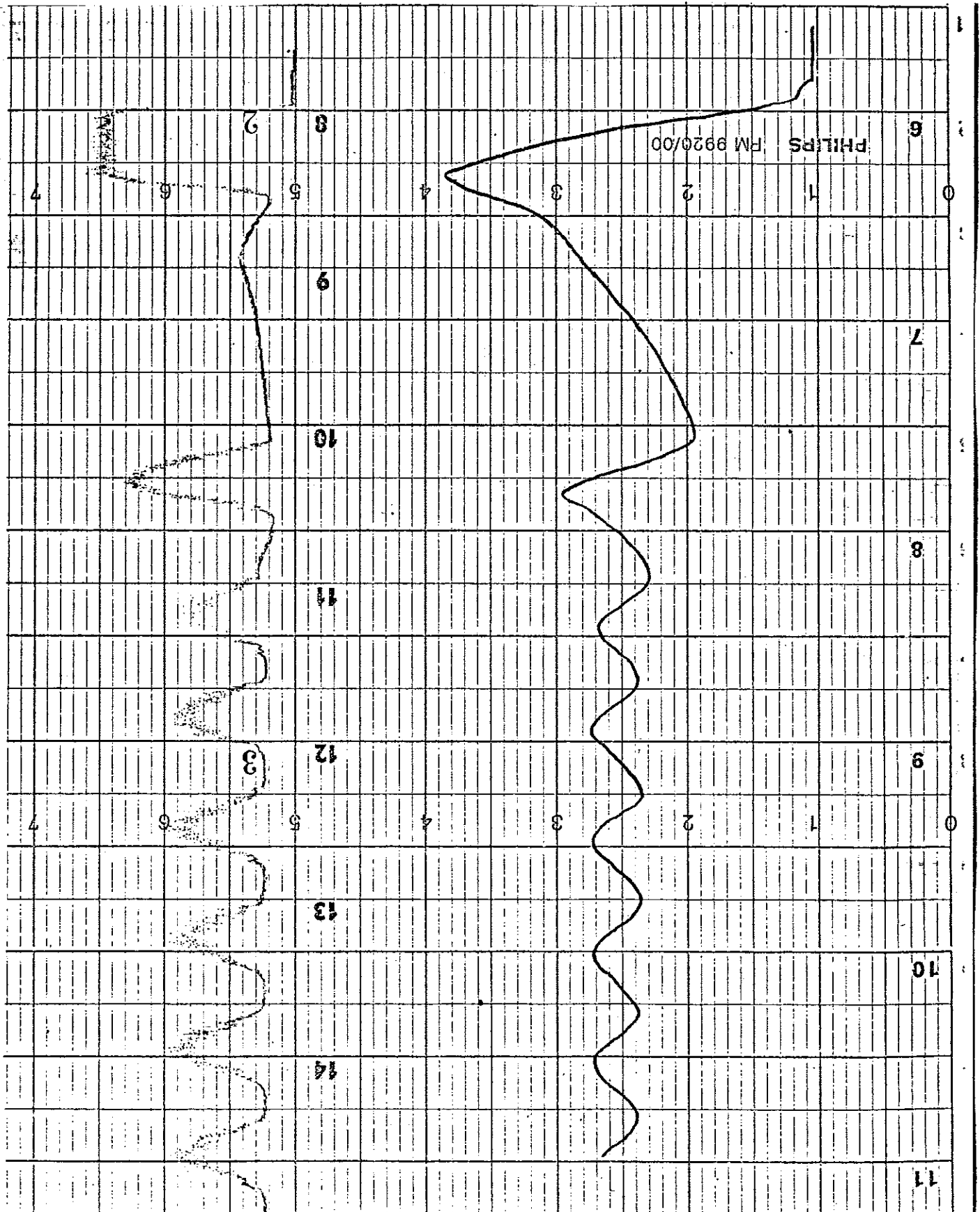


FIG. 23. Försök till reglering med hjälp av Ziegler-Nichols metod.
($K=35, T_I=10, T_D=3.5$).

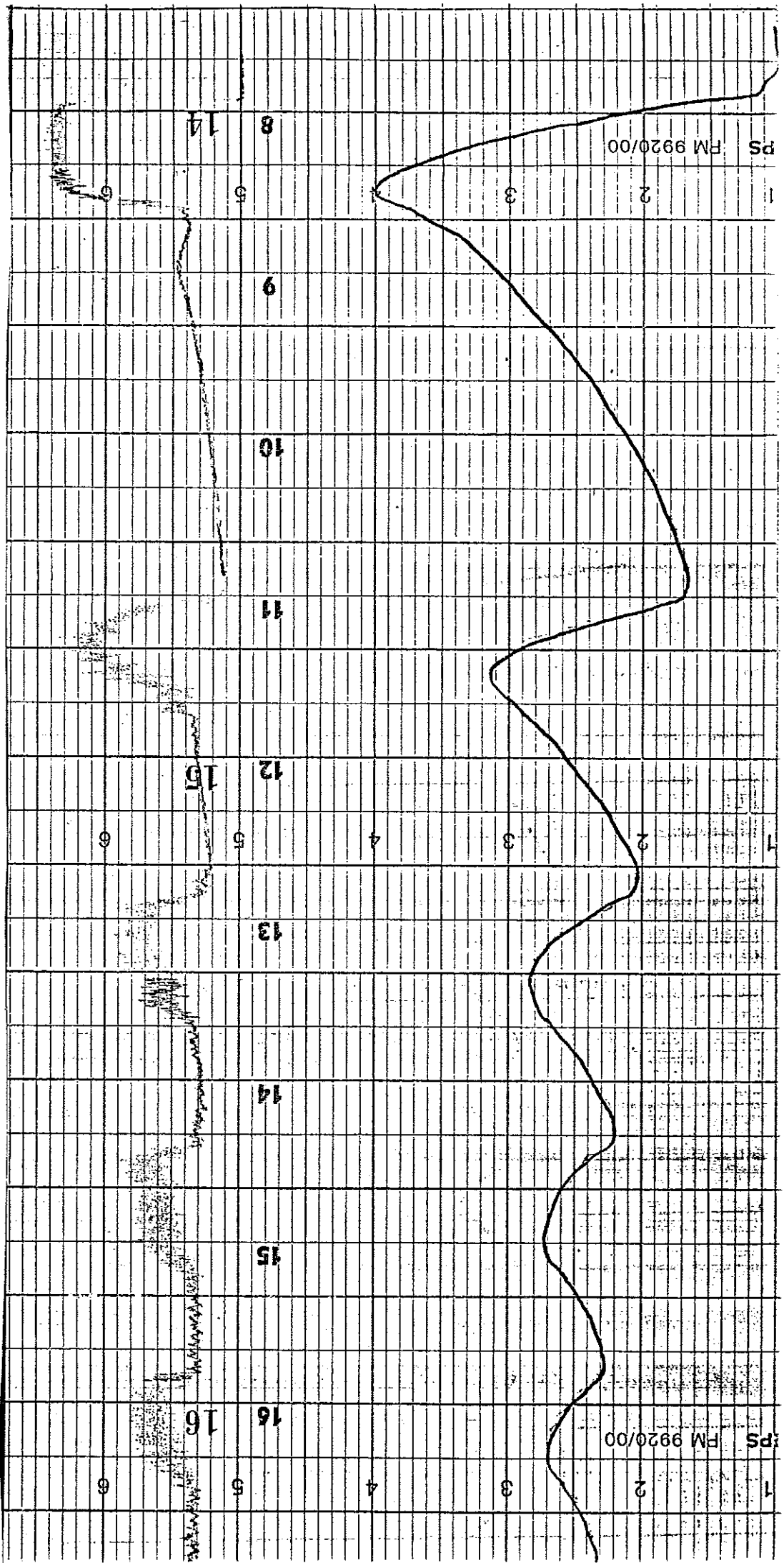
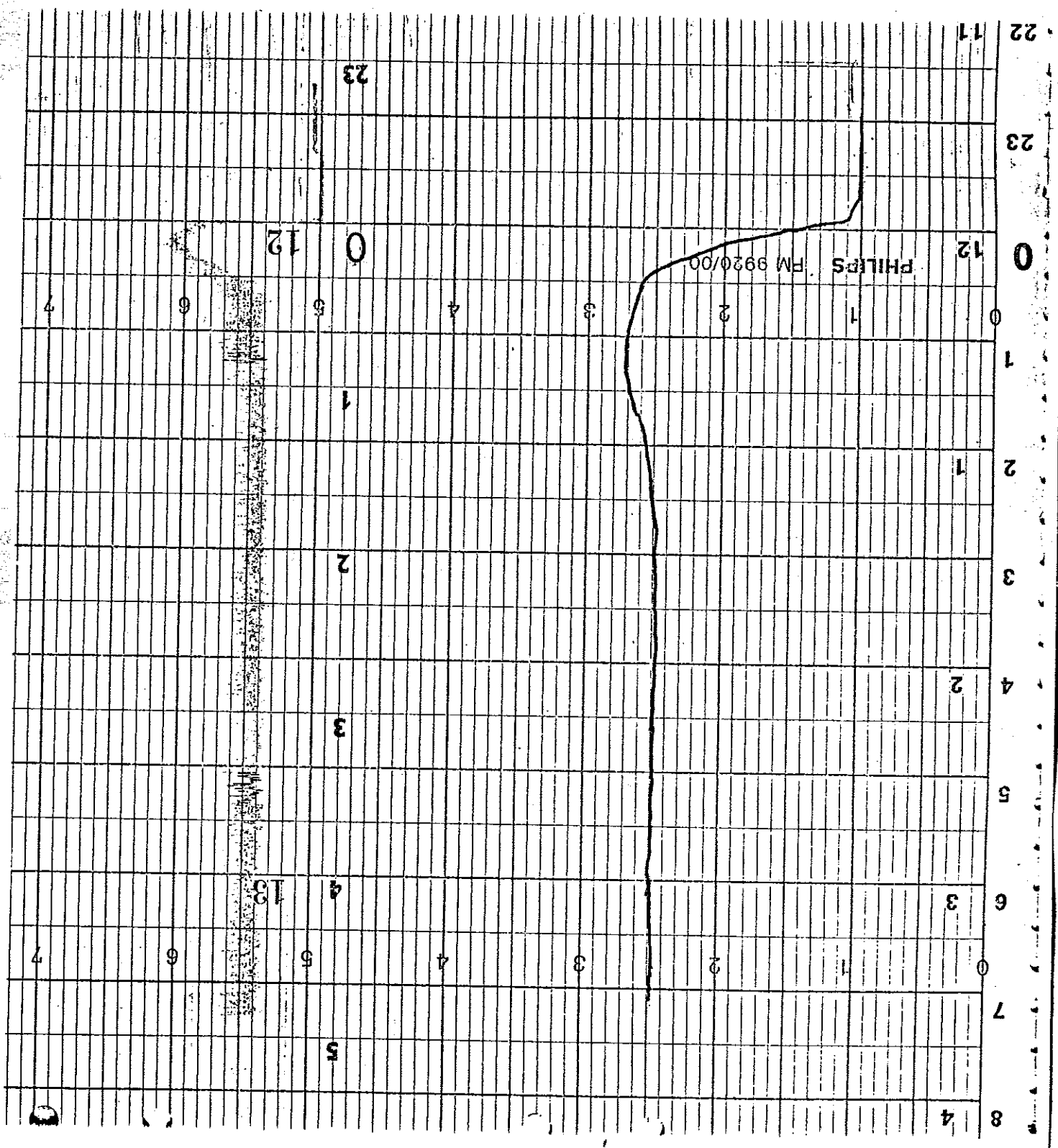


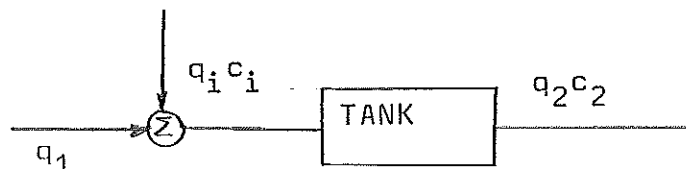
Fig.24. Bästa reglering. ($K=7.5, T_I=50$).



6. FÖRSLAG TILL LABORATION.

6.1 HEMUPPGIFTER.

1/ Blockdiagrammet för saltblandningsprocessen är följande:



- q_1 = inflöde av färskvatten
- q_i = inflöde av saltlösning
- c_i = saltlösningens koncentration
- q_2 = utflöde från systemet
- c_2 = utflödets saltkoncentration

Betrakta $q_i c_i = u$ som insignal till systemet och c_2 som utsignal. Försök ta fram en överföringsfunktion för systemet. Vad blir i så fall tidskonstanten för systemet ?

2/ Fördröjningselementet är en lång slang , 7.59 m lång och med en inre radie på 4.3 mm. Passagetiden genom en slang är v/q där q = vätskeflödet genom slangen. Beräkna fördröjningen för $q = 1.47; 1.025; 0.65$ l/min.

6.2 LABORATIONSUPPGIFTER.

1/ Tanken inkopplad.

Skicka genom spänningsaggregatet in ett steg på 5 volt till pumpen som injicerar saltlösning till systemet. Registrera stegsvaret på plottern för $q = 1.47; 1.025; 0.65$ l/min genom att koppla utgångens konduktivitetsmätare till den.

Lämpliga inställningar till plottern är:
hastighet för pappersframmatning 40mm/min
känslighet: maxutslag på 10 volt

Beräkna tidskonstanten från de erhållna diagrammen.
Detta gör man lämpligast om man beräknar den tid det

tar för utgången att nå 63,3% av det slutliga värdet. Beräkna de teoretiska värdena och jämför dessa med tidskonstanterna som erhålles från diagrammen. Försök förklara skillnaderna.

Beräkna den effektiva volymen.

2/ Fördröjningselementet inkopplat.

Skicka in ett steg på 5 volt med samma inställningar som förut, för $q = 1.47; 1.025; 0.65$ l/min. Jämför värdena från hemuppgift 2 med de praktiskt erhållna. Försök förklara skillnaderna.

3/ Gör motsvarande experiment och jämförelser med återcirkulationsgrenen inkopplad. Inkopplingen sker genom att sätta igång återcirkulationspumpen. Se till att återcirkulationsventilerna är öppna när pumpen sätts igång.

4/ Försök reglera systemet med hjälp av en PID-regulator. Sätt $Y_r = 5$ volt. Slå ifrån I- och D-delen. Börja med det lägsta K-värdet och gå uppåt. Kontrollera vad som händer med det stationära felet; vad som händer när K blir mycket stort.

Koppla in den integrerande delen, sätt $K = 1.5$ och $T_I = 20; 50; 500$. För vilken kombination av K och T_I erhålles det bästa resultatet? Vad händer med det stationära felet?

I allmänhet när man vill snabba upp ett system använder man en regulator som har en deriverande del också. Experimentera hur D-delen påverkar systemets snabbhet - använd det bästa erhållna resultatet med PI-regleringen inställd i regulatorn.

7. REFERENSLISTA.

K.J.Åström	REGLERTEORI
K.J.Åström	FLOWSYSTEMS 1975
I.Otterlund	FYSIK 1 Lund 1974
P.Hagander	ANALYS OCH KARAKTERISERING AV FYSIOLOGISKA FÖRLOPP