

ANALOG SIMULERING AV EN ENKEL
PAPPERSMASKINMODELL

OLLE PETTERSSON

Analog simulering av en enkel
pappersmaskinmodell

Examensarbete av Olle Pettersson

Handledare:

Universitetslektor Björn Wittenmark

Sammanfattning

I detta examensarbete göres en analog simulering av en enkel pappersmaskinmodell med fem tillståndsvariabler, sju insignaler och sju utsignaler.

Målsättningen är, att framför allt visa att modellen i stora drag beter sig som en pappersmaskin, men också att undersöka hur reglering av inloppslådan påverkar utsignalerna och då speciellt ytvikt och fukthalt i det färdiga papperet.

Resultatet av arbetet är, att modellen beter sig som en pappersmaskin med undantag av små avvikelser i stationära värden. Dessa avvikelser hänförs till den starkt olinjära ekvationen för trycket i inloppslådan. De gjorda regleringarna av inloppslådan visar att jämfört med öppna systemet, har ytvikts- och fukthaltsvariationerna minskat.

Abstract

This work concerns an analogous simulation of a simple paper machine model with five state variables, seven inputs and seven outputs.

There are two aims with the work. Firstly it is to verify that the gross features are correct. The second aim is to show what happens with the outputs when control strategies are applied on the head box.

The model is fairly correct with a small divergence in the stationary values due to the non linearity in the equation of the head box pressure.

The control strategies applied on the head box have a positive effect on the basis weight and on the water to fibre ration at the dry end.

1.	Inledning	1
2.	En enkel pappersmaskinmodell	2
2.1	Schematisk bild av pappersmaskin	3
2.2	Olinjära ekvationerna	5
2.3	Summering av pappersmaskinmodell	9
2.4	Linjariseringen	12
3.	Beräkningar för analog uppkoppling	22
3.1	Dataprogram	23
3.2	Skalning	26
3.3	Uppkoppling på analogmaskin	27
4.	Resultat av simuleringen	29
4.1	Öppna systemet	30
4.2	Slutna systemet, inloppslådan reglerad	36
5.	Referenser	49

Bilagor

- I Listning av dataprogram
- II Utskrift av aktuellt driftfall
- III Diagram

1. Inledning

Detta examensarbete behandlar en enkel modell av en pappersmaskin och syftet är att visa att modellens egenskaper motsvarar dess verkliga förlaga. Låt oss först betrakta papperstillverkningsprocessen innan vi ger oss i kast med uppläggningsen av arbetet.

En pappersmaskins funktion är att ta emot ett flöde av oordnade cellulosa-fibrer upplösta i vatten och ordna dessa så att ett ark bildas och slutligen bortföra vattnet från arket så att slutprodukten blir ett papper med önskad ytvikt och fukthalt. Det faller sig naturligt att dela upp pappersmaskinen i en våt ände och en torr. Den våta änden består av en blandningspump, en sluten inloppslåda, en vira med en viragrop och ett pressparti. Den torra änden består av en mängd torkcylindrar uppvärmda av ånga. För att få en ungefärlig uppfattning om processen, så följer vi fiberflödet genom maskinen, men först definierar vi begreppet fuktkvot, som är mängden vatten [kg] dividerat med mängden fibrer [kg] lösta i vattnet. Till blandningspumpen kommer tjockmassa med en fuktkvot kring 40 och blandas med vatten från viragropen. Blandningen, som nu kallas mald, pumpas in i inloppslådan, där fibrerna och vattnet fås att bilda en homogen lösning. Fuktkvoten i inloppslådan ligger i intervallet 100 - 1000 beroende på det slutliga papperets ytvikt. Ut från inloppslådan sprutas malden genom läppöppningen ut på viran. Viran, ett finmaskigt nät med bredden 5 - 10 m och längden kring 30 m, har vanligen samma hastighet som maldstrålen ut från inloppslådan, dvs. 6 - 10 m/s. På viran avrinner det mesta av vattnet ned i viragropen och fuktkvoten sjunker till ca 10. I slutet av viran avlyfts arket med hjälp av speciella valsar och förs in i presspartiet och fuktkvoten är ca 2, när arket når första torkcylindern. Det färdiga papperet har en fuktkvot kring 0,08.

I kapitel 2 redogörs för modellens olinjära ekvationer och hur dessa linjari-seras.

I kapitel 3 behandlas ett beräkningsprogram för den linjariserade modellens matriser, skalning av ekvationerna och slutligen lite om själva uppkopplingen på analogmaskin.

I kapitel 4 diskuteras öppna systemets beteende och hur reglering av inlopps-lådan påverkar modellens beteende.

I kapitel 5 anges referenser.

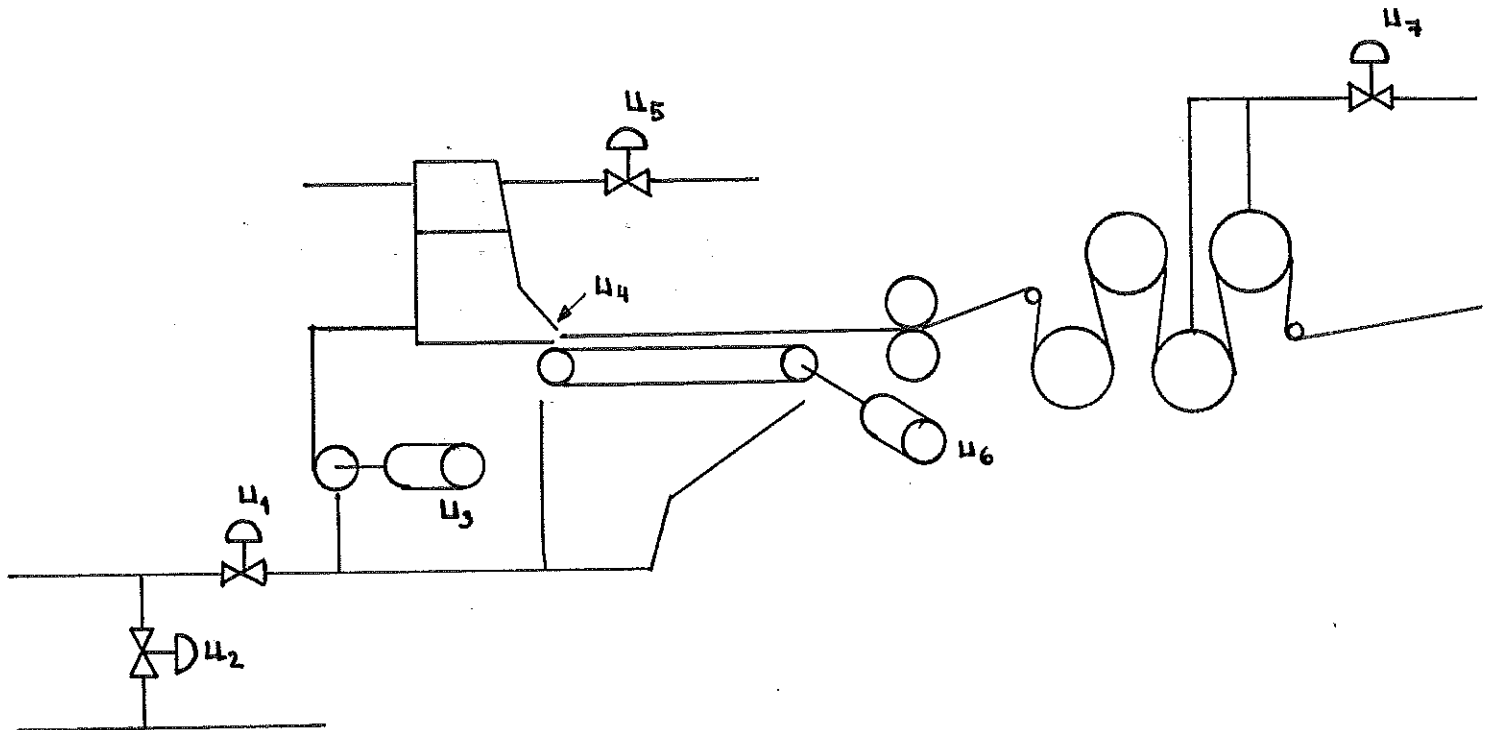
2. Enkel pappersmaskinmodell

Hela pappersmaskinmodellen är sammansatt av enkla modeller för delprocesserna. Inloppslådan beskrivs med två differentialekvationer. En enkel retentionsfaktormodell används för viran. Våta ändens koncentration beskrivs med två differentialekvationer. Presspartiet antages ge en konstant fuktkvot. Borttorkat vatten i torkpartiet anges av en första ordningens modell. Pappersmaskinmodellen blir således av femte ordningen och med sju insignaler och sju utsignaler.

Ekvationerna för de olika delmodellerna kommer att presenteras utan någon djupare härledning. Härledningarna finns redogjorda i Lectures Notes on Paper Machine Control, K.J. Åström.

I avdelning 2.1 ges en uppräknig av alla beteckningar, som använts för att beskriva pappersmaskinen. Sedan genomgås de olinjära ekvationerna för delprocesserna i avdelning 2.2 och avdelning 2.3 är en summering av dessa. Slutligen sker sedan linjariseringen i avdelning 2.4.

2.1 Schematisk bild av pappersmaskin



Insignaler

u_1 tjockmassaflödet	$[m^3/s]$
u_2 fiberkoncentrationen i tjockmassan	$[kg/m^3]$
u_3 flödet genom blandningspumpen	$[m^3/s]$
u_4 läppöppningen	$[m]$
u_5 luftflödet till inloppslådan	$[kg/s]$
u_6 virahastigheten	$[m/s]$
u_7 trycket i sista torksektionen	$[N/m^2]$

Tillståndsvariabler

x_1 nivån i inloppslådan	$[m]$
x_2 övertrycket i inloppslådan	$[m]$
x_3 fiberkoncentrationen i inloppslådan	$[kg/m^3]$
x_4 fiberkoncentrationen i viragropen	$[kg/m^3]$
x_5 borttorkningshastigheten i torkpartiet	$[kg/s]$

Utsignaler

$y_i = x_i$	$i = 1, 2, 3, 4$	
y_5	hastigheten på strålen från läppöppningen	$[m/s]$
y_6	fibervikten	$[kg/m^2]$
y_7	fuktkvoten (kg vatten/kg fibrer) i det färdiga papperet.	

Följande beteckning används för att beskriva den enkla pappersmaskinmodellen.

5	fysiska konstanter	
g	jordaccelerationen	$[m/s^2]$
ρ_0	luftens täthet vid referenstryck	$[kg/m^3]$
P_0	referenstryck	$[N/m^2]$
ρ_2	mäldens täthet	$[kg/m^3]$
κ	adiabatkonstanten för luft	
8	fysiska parametrar	
b	effektiva maskinbredden	$[m]$
A	vätskeytan i inloppslådan	$[m^2]$
A_1	inloppslådans luftutloppsarea	$[m^2]$
V_1	blandningsvolymen för inloppslådan	$[m^3]$
V_2	blandningsvolymen för viragropen	$[m^3]$
α_5	inversa tidskonstanten för torkpartiet	$[1/s]$
β_5 / α_5	förstärkningen i överföringsfunktionen från ångtrycket i torkcylindrarna till mängden borttorkat vatten i torkpartiet	
V	luftvolymen i inloppslådan	$[m^3]$
2	empiriska funktioner	
$r = r(w)$	retentionsfunktion	
$k = k(x)$	funktion som karakteriserar torkpartiet	
1	empirisk konstant	
f_p	fuktkvoten (kg vatten/kg fibrer) efter pressarna	

2.2 Olinjära ekvationerna

Inloppslådans flödesdynamik

Differentialekvationerna för x_1 och x_2 har fåtts genom att betrakta ett vatten-luftsystem. Tag massbalans och energibalans dels för vattnet och dels för luften. Antag sedan att tryckändringarna är adiabatiska och sätt $\frac{p - p_0}{\rho_2 g} = x_2$ så fås de ovan nämnda ekvationerna för x_1 och x_2 .

Vätskeytan A och luftvolymen V i inloppslådan är beroende av inloppslådans geometri och således funktioner av nivån x_1 . I fortsättningen tänker vi oss att inloppslådan har lodräta väggar i det intervall, som vätskeytan varierar i, dvs. vätskeytan A är konstant. Luftvolymen kan nu tecknas $V = A (h_0 - x_1)$ där h_0 är totala höjden i inloppslådan. A och V är i storleksordning 10 m^2 respektive 10 m^3 . Inloppslådans höjd h_0 är 1 till 2 m och nivån x_1 är en halv meter. Om x_1 inte varierar allt för mycket, så kan även luftvolymen anses konstant.

$$\frac{dx_1}{dt} = - \frac{b u_4}{A} \cdot \sqrt{2g(x_1 + x_2)} + \frac{u_3}{A}$$

$$\begin{aligned} \frac{dx_2}{dt} = & - \frac{d p_0 A_1}{\rho_0 \rho_2 g V} \left[\frac{\rho_2 g x_2}{\rho_0} + 1 \right]^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \cdot \sqrt{\frac{2 d \kappa}{\kappa-1} \frac{p_0 \rho_0}{\rho_0} \left[\left(\frac{\rho_2 g x_2}{\rho_0} + 1 \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right]} \\ & - \frac{d p_0}{\rho_2 g V} \cdot \left[\frac{\rho_2 g x_2}{\rho_0} + 1 \right] b u_4 \sqrt{2g(x_1 + x_2)} \\ & + \frac{d p_0}{\rho_0 \rho_2 g V} \left[\frac{\rho_2 g x_2}{\rho_0} + 1 \right]^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} u_5 + \frac{d p_0}{\rho_2 g V} \left[\frac{\rho_2 g x_2}{\rho_0} + 1 \right] u_3 \end{aligned}$$

Ekvationen för x_2 gäller då det är underljudsströmning i luftutloppet på inloppslådan. Är det överljudsströmning i luftutloppet, så ändras den första termen i x_2 's ekvation till:

$$- \frac{d p_0 A_1}{\rho_0 \rho_2 g V} \cdot \left[\frac{\rho_2 g x_2}{\rho_0} + 1 \right]^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \cdot \left[\frac{2}{\kappa+1} \right]^{\frac{1}{\kappa-1}} \cdot \sqrt{\frac{2 d \kappa}{\kappa-1} \frac{p_0 \rho_0}{\rho_0} \left[\frac{\rho_2 g x_2}{\rho_0} + 1 \right]^{\frac{\kappa+1}{\kappa}}}$$

I det följande antages att det är underljudsströmning i luftutloppet.

Våta ändens koncentrationsdynamik

För att kunna beskriva våta ändens koncentrationsdynamik, så har det gjorts några förenklade antaganden. Viran beskrivs med en enkel retentionsfaktor. Endast vatten och fibrer beaktas. Det är ideal blandning i blandningsvolymerna V_1 och V_2 . V_1 hänförs sig i stort sett till inloppslådans vätskevolym och V_2 till viragropens volym. Slutligen har antagits att viraöverlöpet har samma koncentration av fibrer som vätskan i viragropen.

$$V_1 \frac{dx_3}{dt} = -q_1 x_3 + (u_3 - u_1) x_4 + u_1 u_2$$

$$V_2 \frac{dx_4}{dt} = (1-r) q_1 x_3 - u_3 x_4$$

$$q_1 = b u_4 \sqrt{2g(x_1 + x_2)} \quad \text{flödet ut från inloppslådan [m}^3/\text{s]}$$

$$r = r(w) \quad \text{retentionsfaktorn}$$

$$w = \frac{r \cdot q_1 \cdot x_3}{b \cdot u_6} \quad \text{fibervikten [kg/m}^2\text{]}$$

Modell för viran

På viran bildas arket genom avvattnings av mälden. Dräneringen sker genom virans finmaskiga rutnät. Med vattnet följer också fibrer, och det är detta fenomen retentionen beskriver. Här antas att viran helt enkelt beskrivs av en retentionsfaktor r , som beror på fibervikten. Retentionsfunktionen är svår att bestämma. En funktion som stämmer bra överens med empiriska data är

$$r(w) = 1 - \frac{(1-\alpha)(1-e^{-\gamma w})}{\gamma w}$$

där lämpliga värden på α och γ är
 $\alpha = 0.5$ och $\gamma = 50$ [m²/kg]

$$w = \frac{r(w) \cdot q_1 \cdot x_3}{b \cdot u_6} \quad \text{fibervikten [kg/m}^2\text{]}$$

Modell för pressarna

Pressarna antages helt enkelt ge en konstant fuktkvot på pappersarket, som lämnar dem. Ett rimligt värde på fuktkvoten efter pressarna är två. $f_p = 2$.

Modell för torkpartiet

Torkpartiet är en komplicerad process och svår att i detalj beskriva. Här antages borttorkningshastigheten av vatten x_5 [kg/s] att vara relaterat till ångtrycket genom ett första ordningens dynamiskt system.

$$\frac{dx_5}{dt} = -\alpha x_5 + \beta u_7$$

Används den ovan beskrivna modellen för pressarna fås att mängden vatten, som kommer in i torkpartiet är

$$r \cdot q_1 \cdot x_3 \cdot f_p \quad [\text{kg/s}]$$

I torkpartiet torkas x_5 kilogram vatten bort från papperet per sekund. Fuktkvoten efter torkpartiet blir således

$$f_d = \frac{r q_1 x_3 f_p - x_5}{r q_1 x_3} = f_p - \frac{x_5}{r q_1 x_3}$$

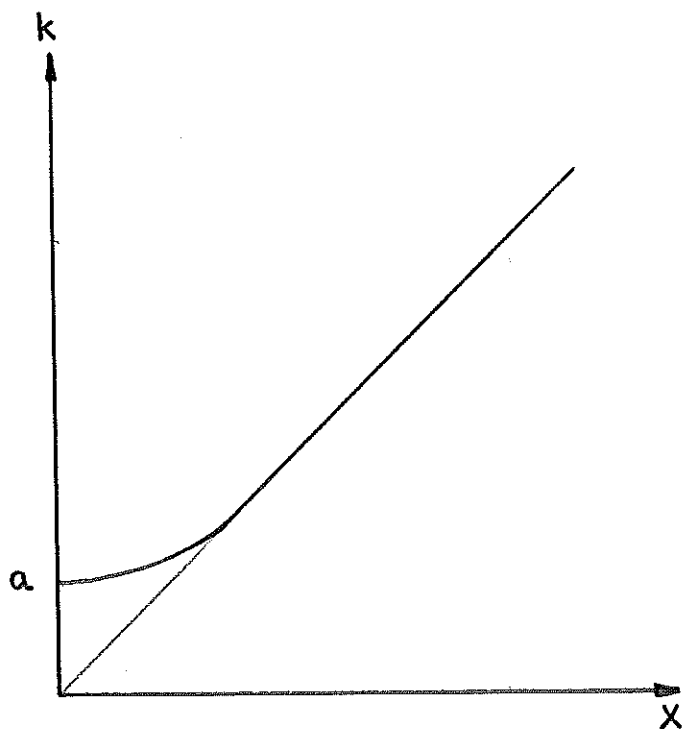
Fuktkvoten är således en linjär funktion av x_5 (mängden vatten som torkas bort ur papperet per sekund). Detta innebär, att oberoende av f_d , fuktkvoten efter torkpartiet, så är det lika svårt att torka bort en given mängd vatten per tidsenhet. Det är välkänt att det blir svårare att torka bort en given mängd vatten per tidsenhet med sjunkande fuktkvot i papperet. För att beskriva detta fenomen, så används en modell byggd på erfarenhet utan någon direkt fysikalisk förklaring. Fuktkvoten efter torkpartiet blir då

$$f_d = k \left(f_p - \frac{x_5}{r q_1 x_3} \right)$$

där k är en funktion

$$k(x) = a \cdot \left[x + \frac{1}{x+1} \right]$$

I figuren nedan visas k grafiskt



Lämpligt värde på a är 0.04 , dvs. lägsta möjliga fuktkvot i det färdiga papperet är 4% .

2.3 Summering av pappersmaskinmodellen

Pappersmaskinen beskrivs av fem ekvationer med tillståndsvariablerna x_1 nivån i inloppslådan, x_2 övertrycket i inloppslådan (m vattenpelare), x_3 koncentrationen i inloppslådan, x_4 koncentrationen i viragropen och x_5 mängden vatten borttorkat per tidsenhet.

Vätskeytan A och luftvolymen V i inloppslådan är båda konstanta. Differentialekvationen för x_2 gäller då det är underljudsutströmning i luftutloppet på inloppslådan.

$$\frac{dx_1}{dt} = - \frac{b \mu_4}{A} \sqrt{2g(x_1 + x_2)} + \frac{\mu_3}{A}$$

$$\begin{aligned} \frac{dx_2}{dt} = & - \frac{d\rho_0 A_1}{\rho_0 \rho_2 g V} \left[\frac{\rho_2 g x_2}{\rho_0} + 1 \right]^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa-1} \rho_0 \rho_0 \left[\left(\frac{\rho_2 g x_2}{\rho_0} + 1 \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right]} \\ & - \frac{d\rho_0}{V \rho_2 g} \left[\frac{\rho_2 g x_2}{\rho_0} + 1 \right] b \mu_4 \sqrt{2g(x_1 + x_2)} \\ & + \frac{d\rho_0}{\rho_0 \rho_2 g V} \left[\frac{\rho_2 g x_2}{\rho_0} + 1 \right]^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \mu_5 \\ & + \frac{d\rho_0}{\rho_2 g V} \cdot \left[\frac{\rho_2 g x_2}{\rho_0} + 1 \right] \mu_3 \end{aligned}$$

$$\frac{dx_3}{dt} = - \frac{q_1 x_3}{V_1} + \frac{(\mu_3 - \mu_4) x_4}{V_1} + \frac{\mu_1 \mu_2}{V_1}$$

$$\frac{dx_4}{dt} = \frac{(1-t) q_1 x_3}{V_2} - \frac{\mu_3 x_4}{V_2}$$

$$\frac{dx_5}{dt} = -\alpha_5 x_5 + \beta_5 \mu_7$$

$$q_1 = b \cdot u_4 \sqrt{2g(x_1 + x_2)}$$

$$r = r(w)$$

Utsignalerna är

$$y_i = x_i \quad i = 1, 2, 3, 4$$

$$y_3 = \sqrt{2g(x_1 + x_2)} \quad \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$y_6 = w = \frac{r \cdot q_1 \cdot x_3}{b \cdot u_6} \quad \begin{array}{l} \text{torra ytvikten} \\ \text{(fibervikten)} \end{array} \quad \left[\frac{kg}{m^2} \right]$$

$$y_7 = k \left(f_p - \frac{x_5}{r x_3 q_1} \right) \quad \text{fuktkvot}$$

Modellen karakteriseras av fem fysiska konstanter

g	jordaccelerationen	$\left[\frac{m}{s^2} \right]$
ρ_0	luftens täthet vid referenstryck	$\left[\frac{kg}{m^3} \right]$
P_0	referenstryck	$\left[\frac{N}{m^2} \right]$
ρ_2	mäldens täthet	$\left[\frac{kg}{m^3} \right]$
δc	adiabatkonstanten för luft	

av åtta fysiska parametrar

b	effektiv maskinbredd	$\left[m \right]$
A	vätskeytan i inloppslådan	$\left[m^2 \right]$
A_1	inloppslådans luftutloppsarea	$\left[m^2 \right]$
V_1	blandningsvolymen för inloppslådan	$\left[m^3 \right]$
V_2	blandningsvolymen för viragropen	$\left[m^3 \right]$
V	luftvolymen i inloppslådan	$\left[m^3 \right]$
α_5	inversa tidskonstanten för torkpartiet	$\left[1/s \right]$
β_5 / α_5	förstärkningen i överföringsfunktionen från ångtrycket i torrcylindrarna till mängden borttorkat vatten per tidsenhet i torkpartiet	

av två empiriska funktioner

r	retentionsfunktion
k	funktion som karakteriserar torkpartiet

av en empirisk konstant

f_p fuktkvoten efter pressarna

Driftdata bestäms av de sju insignalerna

u_1	tjockmassaflödet	$[m^3/s]$
u_2	tjockmassans koncentration	$[kg/m^3]$
u_3	flödet genom blandningspumpen	$[m^3/s]$
u_4	läppöppningen	$[m]$
u_5	luftflödet till inloppslådan	$[kg/s]$
u_6	virahastigheten	$[m/s]$
u_7	trycket i torkcylindrarna	$[bar]$

2.4 Linjarisering

Linjariseringen sker rakt fram med derivering kring någon stationär punkt. Observera att A och V har satts konstanta och därmed oberoende av x_1 .

$$a_{11} = \frac{\partial}{\partial x_1} \left[-\frac{b u_4}{A} \sqrt{2g(x_1 + x_2)} \right] = -\frac{b u_4 \sqrt{2g(x_1 + x_2)}}{2 \cdot A \cdot (x_1 + x_2)}$$

$$= -\frac{q_1}{2 \cdot A \cdot (x_1 + x_2)} = -\alpha_1$$

$$a_{12} = \frac{\partial}{\partial x_2} \left[-\frac{b u_4}{A} \sqrt{2g(x_1 + x_2)} \right] = -\alpha_1$$

$$a_{21} = \frac{\partial}{\partial x_1} \left[-\frac{dP_0}{\rho_2 g V} \left[\frac{\rho_2 g x_2}{\rho_0} + 1 \right] b \cdot u_4 \sqrt{2g(x_1 + x_2)} \right]$$

$$= -\frac{dP_0}{\rho_2 g V} \left[\frac{\rho_2 g x_2}{\rho_0} + 1 \right] \cdot \frac{q_1}{2(x_1 + x_2)} = -\beta \cdot \alpha_1$$

$$\beta = \frac{dP_0 A}{\rho_2 g V} \cdot \left[\frac{\rho_2 g x_2}{\rho_0} + 1 \right] \quad \text{då } x_2 = \frac{P_s - P_0}{\rho_2 g} \quad \text{och}$$

$$\frac{P_s}{\rho_0} = \left(\frac{P_s}{\rho_0} \right)^{\frac{d}{d-1}} \quad \text{då } \beta = \frac{d \cdot A}{\rho_2 g \cdot V} \cdot P_s = \frac{d \cdot A}{\rho_2 g V} \cdot \rho_0 \left(\frac{P_s}{\rho_0} \right)^{\frac{d}{d-1}}$$

$$a_{22} = \frac{\partial}{\partial x_2} \left[\frac{dx_2}{dt} \right] = -\frac{dP_0 A_1}{\rho_0 \rho_2 g V} \cdot \frac{d-1}{d} \cdot \left[\frac{\rho_2 g x_2}{\rho_0} + 1 \right]^{-\frac{1}{d}}$$

$$\cdot \frac{\rho_2 g}{\rho_0} \cdot \sqrt{\frac{2d}{d-1} \cdot \rho_0 \rho_0 \left[\left(\frac{\rho_2 g x_2}{\rho_0} + 1 \right)^{\frac{d-1}{d}} - 1 \right]}$$

$$= -\frac{dP_0 A_1}{\rho_0 \rho_2 g V} \cdot \left[\frac{\rho_2 g x_2}{\rho_0} + 1 \right]^{\frac{d-1}{d}} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{2d}{d-1} \cdot \rho_0 \rho_0 \left[\left(\frac{\rho_2 g x_2}{\rho_0} + 1 \right)^{\frac{d-1}{d}} - 1 \right]}}$$

$$\begin{aligned}
& \cdot \frac{2 \, d\ell}{d\ell-1} \cdot p_0 p_0 \cdot \frac{d\ell-1}{d\ell} \cdot \left[\frac{p_2 g x_2}{p_0} + 1 \right]^{-\frac{1}{d\ell}} \cdot \frac{p_2 g}{p_0} \\
& - \frac{d\ell p_0}{p_2 g} \cdot \frac{p_2 g}{p_0} \cdot q_1 - \frac{d\ell p_0}{p_2 g} \left[\frac{p_2 g x_2}{p_0} + 1 \right] \cdot \frac{q_1}{2A(x_1+x_2)} \\
& + \frac{d\ell p_0}{p_0 p_2 g V} \cdot \frac{d\ell-1}{d\ell} \cdot \left[\frac{p_2 g x_2}{p_0} + 1 \right]^{-\frac{1}{d\ell}} \cdot \frac{p_2 g}{p_0} \cdot U_5 \\
& + \frac{d\ell p_0}{p_2 g V} \cdot \frac{p_2 g}{p_0} \cdot U_3
\end{aligned}$$

I varje stationär punkt gäller följande:

$$q_1 = U_3$$

$$U_5 = \sqrt{\frac{2 \, d\ell}{d\ell-1} \cdot p_0 p_0 \left(\left[\frac{p_2 g x_2}{p_0} + 1 \right]^{\frac{d\ell-1}{d\ell}} - 1 \right)}$$

$$\begin{aligned}
a_{22} &= - \frac{d\ell p_0 A_1}{p_0 p_2 g V} \cdot \left[\frac{p_2 g x_2}{p_0} + 1 \right]^{\frac{d\ell-1}{d\ell}} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{2 \, d\ell}{d\ell-1} \cdot p_0 p_0 \left(\left[\frac{p_2 g x_2}{p_0} + 1 \right]^{\frac{d\ell-1}{d\ell}} - 1 \right)}} \\
& \cdot \frac{2 \, d\ell}{d\ell-1} \cdot p_0 p_0 \cdot \frac{d\ell-1}{d\ell} \cdot \left[\frac{p_2 g x_2}{p_0} + 1 \right]^{-\frac{1}{d\ell}} \cdot \frac{p_2 g}{p_0} \\
& - \frac{d\ell p_0}{p_2 g} \cdot \left[\frac{p_2 g x_2}{p_0} + 1 \right] \cdot \frac{q_1 \cdot A}{2A(x_1+x_2)} \\
& = - \frac{d\ell A_1}{V} \left[\frac{p_2 g x_2}{p_0} + 1 \right]^{\frac{d\ell-2}{d\ell}} p_0 p_0 \cdot \frac{\sqrt{\frac{2 \, d\ell}{d\ell-1} p_0 p_0 \left(\left[\frac{p_2 g x_2}{p_0} + 1 \right]^{\frac{d\ell-1}{d\ell}} - 1 \right)}}{\frac{2 \, d\ell}{d\ell-1} p_0 p_0 \left(\left[\frac{p_2 g x_2}{p_0} + 1 \right]^{\frac{d\ell-1}{d\ell}} - 1 \right)} \\
& - \beta \cdot \alpha_1
\end{aligned}$$

Insättning av $\frac{p_2 g x_2}{p_0} + 1 = \left(\frac{p_3}{p_0} \right)^{\frac{d\ell}{d\ell-1}}$ ger slutligen

$$a_{22} = - \frac{U_5}{2 p_3 V} \cdot \frac{(d\ell-1) \left(\frac{p_3}{p_0} \right)^{\frac{d\ell}{d\ell-1}}}{\left(\frac{p_3}{p_0} \right)^{\frac{d\ell}{d\ell-1}} - 1} - \beta \cdot \alpha_1$$

Uttrycket för a_{22} gäller då det är underljudsströmning i inlopps-
lådans luftutlopp. Görts motsvarande beräkningar för fallet med
överljudsströmning, kan vi skriva följande:

$$a_{22} = -\alpha_2 - \beta \alpha_1$$

β och α_1 definierade enligt ovan.

$$\alpha_2 = \begin{cases} \frac{u_s}{2\rho_s V} \cdot \frac{(\kappa-1) \left(\frac{\rho_s}{\rho_0}\right)^{\kappa-1}}{\left(\frac{\rho_s}{\rho_0}\right)^{\kappa-1} - 1} & \frac{\rho_s}{\rho_0} < \left(\frac{\kappa+1}{2}\right)^{\frac{1}{\kappa-1}} \quad \text{subsonic} \\ \frac{u_s}{2\rho_s V} (\kappa+1) & \frac{\rho_s}{\rho_0} \geq \left(\frac{\kappa+1}{2}\right)^{\frac{1}{\kappa-1}} \quad \text{supersonic} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} a_{31} &= \frac{\partial}{\partial x_1} \left[- \frac{b u_4 \sqrt{2g(x_1+x_2)} X_3}{V_1} \right] \\ &= - \frac{b u_4}{V_1} \cdot \frac{X_3}{2} \cdot \frac{2g}{\sqrt{2g(x_1+x_2)}} = - \frac{q_1}{V_1} \cdot \frac{X_3}{2(x_1+x_2)} \end{aligned}$$

$$a_{32} = \frac{\partial}{\partial x_2} \left[- \frac{q_1 X_3}{V_1} \right] = - \frac{q_1}{V_1} \cdot \frac{X_3}{2(x_1+x_2)}$$

$$a_{33} = \frac{\partial}{\partial x_3} \left[- \frac{q_1 X_3}{V_1} \right] = - \frac{q_1}{V_1}$$

$$a_{34} = \frac{\partial}{\partial x_4} \left[\frac{(u_5 - u_1) X_4}{V_1} \right] = \frac{u_5 - u_1}{V_1}$$

Vid linjariseringen av differentialekvationen för x_4 måste vi ta
hänsyn till att retentionsfaktorn är en funktion av ytvikten w och
att denna i sin tur är en funktion av x_1, x_2, x_3, u_4 och u_6 .

$$r = r(w)$$

$$w = w(x_1, x_2, x_3, u_4, u_6) = \frac{r \cdot q_1 \cdot x_3}{b \cdot u_6}$$

$$q_1 = b \cdot u_4 \sqrt{2 \cdot g \cdot (x_1 + x_2)}$$

Partiella derivatan av w med avseende på q_1 blir:

$$\begin{aligned}\frac{\partial w}{\partial q_1} &= \frac{r \cdot x_3}{b \cdot u_6} + \frac{\partial r}{\partial q_1} \cdot \frac{q_1 \cdot x_3}{b \cdot u_6} = \frac{r \cdot x_3}{b \cdot u_6} + \frac{dr}{dw} \cdot \frac{\partial w}{\partial q_1} \cdot \frac{q_1 \cdot x_3}{b \cdot u_6} \\ &= \frac{w}{q_1} + r' \frac{w}{r} \cdot \frac{\partial w}{\partial q_1}\end{aligned}$$

$$\frac{\partial w}{\partial q_1} = \frac{1}{1 - r' \frac{w}{r}} \cdot \frac{w}{q_1}$$

$$\frac{\partial r}{\partial q_1} = r' \frac{\partial w}{\partial q_1} = \frac{r' \frac{w}{r}}{1 - r' \frac{w}{r}} \cdot \frac{r}{q_1}$$

$$\frac{\partial q_1}{\partial x_1} = \frac{\partial q_1}{\partial x_2} = \frac{q_1}{2(x_1 + x_2)}$$

Partiella derivatan av w med avseende på x_3 blir:

$$\frac{\partial w}{\partial x_3} = \frac{r q_1}{b u_6} + r' \frac{\partial w}{\partial x_3} \cdot \frac{q_1 x_3}{b u_6} = \frac{w}{x_3} + r' \frac{\partial w}{\partial x_3} \cdot \frac{w}{r}$$

$$\frac{\partial w}{\partial x_3} = \frac{1}{1 - r' \frac{w}{r}} \cdot \frac{w}{x_3}$$

$$\frac{\partial r}{\partial x_3} = r' \cdot \frac{\partial w}{\partial x_3} = \frac{r' \frac{w}{r}}{1 - r' \frac{w}{r}} \cdot \frac{r}{x_3}$$

Linjariseringen av x_4 :s differentialekvation sker nu lätt.

$$\begin{aligned}a_{41} &= \frac{\partial}{\partial x_1} \left[\frac{(1-r) q_1 x_3}{V_2} \right] = \frac{(1-r) x_3}{V_2} \cdot \frac{\partial q_1}{\partial x_1} - \frac{\partial r}{\partial x_1} \cdot \frac{q_1 x_3}{V_2} \\ &= \left[\frac{(1-r) x_3}{V_2} - \frac{\partial r}{\partial q_1} \cdot \frac{q_1 x_3}{V_2} \right] \cdot \frac{\partial q_1}{\partial x_1} \\ &= \frac{q_1 x_3}{2 V_2 (x_1 + x_2)} \cdot \left[1 - \frac{r}{1 - r' \frac{w}{r}} \right]\end{aligned}$$

a_{42} fås på exakt samma sätt om man istället differentierar med avseende på x_2 .

$$a_{42} = \frac{q_1 x_3}{2 V_2 (x_1 + x_2)} \cdot \left[1 - \frac{r}{1 - r' \frac{w}{r}} \right]$$

$$a_{43} = \frac{\partial}{\partial X_3} \left[\frac{(1-r)q_1 X_3}{V_2} \right] = \frac{(1-r)q_1}{V_2} - \frac{\partial r}{\partial X_3} \cdot \frac{q_1 X_3}{V_2}$$

$$= \frac{q_1}{V_2} \cdot \left[1 - \frac{r}{1-r} \frac{\partial r}{\partial X_3} \right]$$

$$a_{44} = \frac{\partial}{\partial X_4} \left[-\frac{U_3 X_4}{V_2} \right] = -\frac{U_3}{V_2}$$

$$a_{55} = \frac{\partial}{\partial X_5} \left[-\alpha_5 X_5 \right] = -\alpha_5$$

$$b_{13} = \frac{\partial}{\partial U_3} \left[\frac{U_3}{A} \right] = \frac{1}{A}$$

$$b_{14} = \frac{\partial}{\partial U_4} \left[-\frac{b U_4 \sqrt{2g(X_1+X_2)}}{A} \right] = -\frac{g_1}{A \cdot U_4}$$

$$b_{23} = \frac{\partial}{\partial U_3} \left[\frac{dP_0}{P_2 g V} \cdot \left[\frac{P_2 g X_2}{P_0} + 1 \right] U_3 \right] = \frac{\beta}{A}$$

$$b_{24} = \frac{\partial}{\partial U_4} \left[-\frac{dP_0}{P_2 g V} \cdot \left[\frac{P_2 g X_2}{P_0} + 1 \right] b \cdot U_4 \sqrt{2g(X_1+X_2)} \right]$$

$$= -\beta \cdot \frac{g_1}{A U_4} = \beta \cdot b_{14}$$

$$b_{25} = \frac{\partial}{\partial U_5} \left[\frac{dP_0}{P_2 g V P_0} \left[\frac{P_2 g X_2}{P_0} + 1 \right]^{\frac{\beta-1}{\beta}} U_5 \right]$$

$$= \frac{\beta}{A} \cdot \frac{1}{P_0} \cdot \left[\left(\frac{P_2}{P_0} \right)^{\beta} \right]^{-\frac{1}{\beta}} = \frac{\beta}{A \cdot P_2}$$

$$b_{31} = \frac{\partial}{\partial U_1} \left[\frac{(U_2 - U_1) X_4}{V_1} + \frac{U_2 U_1}{V_1} \right] = \frac{U_2 - X_4}{V_1}$$

$$b_{32} = \frac{\partial}{\partial U_2} \left[\frac{U_2 U_1}{V_1} \right] = \frac{U_1}{V_1}$$

$$b_{33} = \frac{\partial}{\partial u_3} \left[\frac{(u_3 - u_1) X_4}{V_1} \right] = \frac{X_4}{V_1}$$

$$b_{34} = \frac{\partial}{\partial u_4} \left[- \frac{q_1 X_3}{V_1} \right] = - \frac{X_3}{V_1} \cdot \frac{\partial q_1}{\partial u_4} = - \frac{X_3}{V_1} \cdot \frac{q_1}{u_4}$$

$$b_{43} = \frac{\partial}{\partial u_3} \left[- \frac{u_3 X_4}{V_2} \right] = - \frac{X_4}{V_2}$$

$$\begin{aligned} b_{44} &= \frac{\partial}{\partial u_4} \left[\frac{(1-r) q_1 X_3}{V_2} \right] = \frac{(1-r) X_3}{V_2} \frac{\partial q_1}{\partial u_4} - \frac{\partial r}{\partial u_4} \cdot \frac{q_1 X_3}{V_2} \\ &= \left[1-r - \frac{\partial r}{\partial q_1} \right] \frac{X_3}{V_2} \cdot \frac{\partial q_1}{\partial u_4} = \frac{X_3 q_1}{V_2 u_4} \cdot \left[1 - \frac{r}{1-r' \frac{w}{r}} \right] \end{aligned}$$

$$b_{46} = \frac{\partial}{\partial u_6} \left[\frac{(1-r) q_1 X_3}{V_2} \right] = - \frac{\partial r}{\partial u_6} \cdot \frac{q_1 X_3}{V_2} = - \frac{q_1 X_3}{V_2} \cdot r' \frac{\partial w}{\partial u_6}$$

$$w = \frac{r \cdot q_1 X_3}{b \cdot u_6}$$

$$\frac{\partial w}{\partial u_6} = - \frac{q_1 X_3 \cdot r}{b} \cdot \frac{1}{u_6^2} + r' \frac{\partial w}{\partial u_6} \cdot \frac{q_1 X_3}{b u_6} = - \frac{w}{u_6} + r' \frac{w}{r} \cdot \frac{\partial w}{\partial u_6}$$

$$\frac{\partial w}{\partial u_6} = - \frac{w}{u_6} \cdot \frac{1}{1 - r' \frac{w}{r}}$$

$$b_{46} = - \frac{q_1 X_3}{V_2 u_6} \cdot \frac{r' w}{1 - r' \frac{w}{r}}$$

$$b_{57} = \frac{\partial}{\partial u_7} [f_5 u_7] = f_5$$

$$c_{ij} = 1 \quad i=j=1,2,3,4$$

$$c_{51} = \frac{\partial}{\partial x_1} \left[\sqrt{2g(x_1 + x_2)} \right] = \frac{1}{2} \cdot \frac{2g}{\sqrt{2g(x_1 + x_2)}} = \frac{g}{2(x_1 + x_2)}$$

$$C_{52} = \frac{\partial}{\partial X_2} \left[\sqrt{2g(X_1 + X_2)} \right] = \frac{g_5}{2(X_1 + X_2)}$$

$$\begin{aligned} C_{61} &= \frac{\partial}{\partial X_1} \left[\frac{r q_1 X_3}{b u_6} \right] = \frac{q_1 X_3}{b u_6} \cdot \frac{\partial r}{\partial X_1} + \frac{r X_3}{b u_6} \cdot \frac{\partial q_1}{\partial X_1} \\ &= w \left[\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial r}{\partial q_1} + \frac{1}{q_1} \right] \frac{\partial q_1}{\partial X_1} = \frac{w}{2(X_1 + X_2)} \cdot \frac{1}{1 - r' \frac{w}{r}} \end{aligned}$$

Differentieras w med avseende på x_2 fås samma resultat som ovan.

$$C_{62} = \frac{w}{2(X_1 + X_2)} \cdot \frac{1}{1 - r' \frac{w}{r}}$$

$$C_{63} = \frac{\partial}{\partial X_3} \left[\frac{r q_1 X_3}{b u_6} \right] = \frac{q_1 X_3}{b u_6} \cdot \frac{\partial r}{\partial X_3} + \frac{r q_1}{b u_6} = r' \frac{w}{r} \cdot \frac{\partial w}{\partial X_3} + \frac{w}{X_3}$$

enligt föregående beräkningar $\frac{\partial w}{\partial X_3} = \frac{w}{X_3} \cdot \frac{1}{1 - r' \frac{w}{r}}$

$$C_{63} = \frac{w}{X_3} \cdot \frac{1}{1 - r' \frac{w}{r}}$$

$$C_{71} = \frac{\partial}{\partial X_1} [y_7] = \frac{\partial}{\partial X_1} \left[k \left(f_p - \frac{X_5}{r q_1 X_3} \right) \right]$$

sätt $m = f_p - \frac{X_5}{r q_1 X_3}$

$$\frac{\partial}{\partial X_1} [k(m)] = k'(m) \cdot \frac{\partial m}{\partial X_1}$$

$$\frac{\partial m}{\partial X_1} = \frac{\partial}{\partial X_1} \left[f_p - \frac{X_5}{r q_1 X_3} \right] = \frac{X_5}{r q_1^2 X_3} \cdot \frac{\partial q_1}{\partial X_1} + \frac{X_5}{r^2 q_1 X_3} \cdot \frac{\partial r}{\partial X_1}$$

$$= \frac{X_5}{r q_1 X_3} \left[\frac{1}{q_1} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial r}{\partial q_1} \right] \cdot \frac{\partial q_1}{\partial X_1}$$

$$= \frac{X_5}{r q_1 X_3} \cdot \frac{1}{2(X_1 + X_2)} \cdot \frac{1}{1 - r' \frac{w}{r}}$$

$k'(m)$ skall beräknas för den aktuella stationära punkten för fukt-
kvoten y_7 . Det gäller att $y_7 = k(m)$. Argumentet m löses ut och
resultatet blir $m = k^{-1}(y_7)$. Då $k(x) = a \cdot (x + \frac{1}{x+1})$ har en invers
som inte är entydig och som ser ut enligt nedan:

$$k^{-1}(x) = \frac{1}{2a} \left[x - a \pm \sqrt{(x+3a)(x-a)} \right]$$

Funktionen $k(x)$ är definierad för $x > 0$ och då vi inte kan torka bort
mer vatten än det finns i papperet d.v.s $k^{-1}(x) > 0$, så fås $k^{-1}(x)$ en-
tydigt bestämt:

$$k^{-1}(x) = \frac{1}{2a} \left[x - a + \sqrt{(x+3a)(x-a)} \right]$$

c_{71} kan nu tecknas fullständigt.

$$C_{71} = \frac{x_5}{r q_1 x_3} \cdot \frac{1}{2(x_1 + x_2)} \cdot \frac{1}{1 - r' \frac{w}{f}} \cdot k'(k^{-1}(y_7))$$

Differentieras y_7 med avseende på x_2 fås samma resultat som för x_1 .

$$C_{72} = C_{71}$$

$$C_{73} = \frac{\partial}{\partial x_3} [y_7] = \frac{\partial}{\partial x_3} [k(m)] = k'(m) \cdot \frac{\partial m}{\partial x_3}$$

$$\frac{\partial m}{\partial x_3} = \frac{\partial}{\partial x_3} \left[f_p - \frac{x_5}{r q_1 x_3} \right] = \frac{x_5}{r q_1 x_3^2} + \frac{x_5}{r^2 q_1 x_3} \cdot \frac{\partial r}{\partial x_3}$$

enligt föregående beräkningar $\frac{\partial r}{\partial x_3} = \frac{r}{x_3} \cdot \frac{r' w}{1 - r' \frac{w}{f}}$

$$C_{73} = \frac{x_5}{r q_1 x_3^2} \cdot \frac{1}{1 - r' \frac{w}{f}} \cdot k'(k^{-1}(y_7))$$

$$C_{75} = \frac{\partial}{\partial x_5} [y_7] = \frac{\partial}{\partial x_5} \left[k \left(f_p - \frac{x_5}{r q_1 x_3} \right) \right] = - \frac{1}{r q_1 x_3} \cdot k'(k^{-1}(y_7))$$

$$d_{64} = \frac{\partial}{\partial u_4} [w] = \frac{\partial}{\partial u_4} \left[\frac{r q_1 x_3}{b u_6} \right] = \frac{q_1 x_3}{b u_6} \cdot \frac{\partial r}{\partial u_4} + \frac{r x_3}{b u_6} \cdot \frac{\partial q_1}{\partial u_4}$$

$$= w \left[\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial r}{\partial q_1} + \frac{1}{q_1} \right] \frac{\partial q_1}{\partial u_4} = \frac{w}{u_4} \frac{1}{1 - r' \frac{w}{f}}$$

$$d_{66} = \frac{\partial}{\partial u_6} [w] = \frac{\partial}{\partial u_6} \left[\frac{r q_1 x_3}{b u_6} \right] = \frac{\partial w}{\partial u_6}$$

$$\frac{\partial w}{\partial u_6} = \frac{q_1 x_3}{b u_6} \cdot \frac{\partial r}{\partial u_6} - \frac{r q_1 x_3}{b u_6^2} = \frac{w}{r} \cdot r' \frac{\partial w}{\partial u_6} - \frac{w}{u_6}$$

$$\frac{\partial w}{\partial u_6} = - \frac{w}{u_6} \cdot \frac{1}{1 - r' \frac{w}{r}}$$

$$d_{66} = - \frac{w}{u_6} \cdot \frac{1}{1 - r' \frac{w}{r}}$$

$$d_{74} = \frac{\partial}{\partial u_4} [y_7] = k'(m) \cdot \frac{\partial m}{\partial u_4}$$

$$\frac{\partial m}{\partial u_4} = \frac{\partial}{\partial u_4} \left[f_p - \frac{x_5}{r q_1 x_3} \right] = \frac{x_5}{r^2 q_1 x_3} \cdot \frac{\partial r}{\partial u_4} + \frac{x_5}{r q_1^2 x_3} \cdot \frac{\partial q_1}{\partial u_4}$$

$$= \frac{x_5}{r q_1 x_3} \left[\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial r}{\partial q_1} + \frac{1}{q_1} \right] \frac{\partial q_1}{\partial u_4} = \frac{x_5}{r q_1^2 x_3 u_4} \cdot \frac{1}{1 - r' \frac{w}{r}}$$

$$d_{74} = \frac{x_5}{r q_1 x_3 u_4} \cdot \frac{1}{1 - r' \frac{w}{r}} \cdot k'(k^{-1}(y_7))$$

$$d_{76} = \frac{\partial}{\partial u_6} [y_7] = k'(m) \cdot \frac{\partial m}{\partial u_6}$$

$$\frac{\partial m}{\partial u_6} = \frac{\partial}{\partial u_6} \left[f_p - \frac{x_5}{r q_1 x_3} \right] = \frac{x_5}{r^2 q_1 x_3} \cdot \frac{\partial r}{\partial u_6} = \frac{x_5}{r^2 q_1 x_3} \cdot r' \frac{\partial w}{\partial u_6}$$

$$= \frac{x_5}{r^2 q_1 x_3} \cdot r' \left[- \frac{w}{u_6} \cdot \frac{1}{1 - r' \frac{w}{r}} \right]$$

$$d_{76} = - \frac{x_5}{r q_1 x_3} \cdot \frac{r' \frac{w}{r}}{1 - r' \frac{w}{r}} \cdot k'(k^{-1}(y_7))$$

De linjariserade ekvationerna får följande struktur där x markerar element skilda från noll och 0 markerar noll element.

$$\frac{dx}{dt} = \begin{bmatrix} x & x & 0 & 0 & 0 \\ x & x & 0 & 0 & 0 \\ \hline x & x & x & x & 0 \\ x & x & x & x & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 & 0 & x & x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x & x & x & 0 & 0 \\ \hline x & x & x & x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x & x & 0 & x & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x \end{bmatrix} u$$

$$y = \begin{bmatrix} x & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x & 0 \\ x & x & 0 & 0 & 0 \\ x & x & x & 0 & 0 \\ x & x & x & 0 & x \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x & 0 & x & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x & 0 & x & 0 \end{bmatrix} u$$

Notera att matrisen A:s diagonalblock motsvarar flödesdynamiken för inloppslådan, våta ändens koncentrationssdynamik och torkpartiets dynamik. Av matrisen A:s utseende inser vi att modellens egenvärden är lika med delmodellernas.

3. Beräkning för analogiuppkopplingen

För att kunna koppla upp modellen på analogmaskin, krävs en hel del beräkningar. Utgångspunkten är de givna fem fysiska konstanterna, de åtta fysiska parametrarna, de två empiriska funktionerna, ett värde på fuktkvoten efter pressarna och slutligen de sju insignalernas värde. Först beräknas den stationära lösningen ur de kontinuerliga ekvationerna. I nästa steg beräknas den linjariserade modellens matriser. Slutligen beräknas potentiometervärden för analogmaskinen.

Ett dataprogram gör beräkningarna och i avdelning 3.1 redovisas programmets uppbyggnad. I avdelning 3.2 diskuteras skalningen och avdelning 3.3 behandlar helt kort uppkopplingen på analogmaskinen.

3.1 Dataprogram

Programmen är skrivna på Fortran och består av en blockdatasats, huvudprogram, fem subroutines och fem common areas, som svarar för kommunikationen mellan programdelarna. Listning av programmen finns i bilaga I.

Bilaga II är en utskrift av det aktuella driftfallet.

Blockdata

I satsen ges en vektor Z (50) värden.

I vektorn Z (50) är alla nödvändiga utgångsvärden lagrade. Längst till höger anges beteckning som använts i dataprogrammen, när inte Z har använts.

Fysiska konstanter och parametrar

Z (1) =	g	GO
Z (2) =	ρ_0	KO
Z (3) =	ρ_0	PO
Z (4) =	β_2	K2
Z (5) =	\mathcal{H}	H
Z (6) =	b	BO
Z (7) =	A	AO
Z (8) =	A_1	A1
Z (9) =	V	VO
Z (10) =	V_1	V1
Z (11) =	V_2	V2
Z (12) =	α_5	S5
Z (13) =	β_5	T5
Z (14) =	f_p	FP
Z (17) =	a	den konstanta faktorn i funktionen k. C11

Stationära värden på insignalerna

Z (18) =	u_1	US (1)
Z (19) =	u_2	US (2)
Z (20) =	u_3	US (3)
Z (21) =	u_4	US (4)
Z (22) =	u_5	US (5)
Z (23) =	u_6	US (6)
Z (24) =	u_7	US (7)

Skalfaktorer

Z (31) =	amplitudskalfaktorn för	u_1
Z (32) =	"	u_2
Z (33) =	"	u_3
Z (34) =	"	u_4
Z (35) =	"	u_5
Z (36) =	"	u_6
Z (37) =	"	u_7
Z (38) =	tidsskalfaktorn	
Z (41) =	amplitudskalfaktorn för	x_1
Z (42) =	"	x_2
Z (43) =	"	x_3
Z (44) =	"	x_4
Z (45) =	"	x_5
Z (46) =	"	y_5
Z (47) =	"	y_6
Z (48) =	"	y_7

Huvudprogrammet

Efter definitioner och ett anrop på subroutine SUB1, får de fysiska konstanterna och parametrarna samt insignalerna värden från vektorn Z. En kontroll av att det är underljudsströmning i inloppslådans luftutlopp sker innan stationära värden på tillståndsvariablerna och utsignalerna beräknas. Matriserna beräknas sedan och slutligen anropas subroutines POTL, SKR1, SKR2, SKR3.

POTL

I programmet sker beräkningen av potentiometervärdena med skalfaktorer hämtade från vektorn Z. Resultaten lagras i en vektor POT (50).

SKR1

Skriver ut fysiska konstanter, fysiska parametrar, fuktkvoten efter presspartiet, stationära värden för tillståndsvariabler, insignaler och utsignaler. Slutligen skrivs retentionsfaktorn och dess derivata ut.

SKR2

Programmet skriver ut matriserna och skalfaktorerna.

SKR3

Detta program skriver ut en potentiometerlista med beteckningar för potentiometrar på den aktuella analogmaskinen.

SUB1

Programmet möjliggör att vektorn Z kan ändras från teletype vid exekveringen. Biblioteksrutinerna RLINE och RIFF används. RLINE läser en rad till ett område BUFF. RIFF arbetar på BUFF och lagrar heltal skilda åt med komma i en vektor IPOS. När RIFF kommer till begränsaren ARROW ← fortsätter RIFF att stega sig fram, men nu lagras talen i vektorn Z med argumentet hämtat från vektorn IPOS. Slutas raden med PIL ↑ blir det ett återhopp till huvudprogrammet. Består radens slut av blanktecken, anropas RLINE igen. Är raden blank, fås återhopp direkt till huvudprogrammet.

Ett litet exempel på en rad från teletypen:

2, 33, 24 ← 5, 2.3, 1 ↑

raden resulteras i följande:

IPOS (1) = 2

IPOS (2) = 33

IPOS (3) = 24

Z (2) = 5.

Z (33) = 2.3

Z (24) = 1.

3.2 Skalning

Modellen har både långsamma förlopp med tidskonstant kring 800 sekunder och snabba förlopp med tidskonstant kring några sekunder. Ekvationerna har tidsskalats, dels för långsamma förlopp med en tidsskalfaktor 0.01 och dels för snabba förlopp med en tidsskalfaktor 0.1. (Tidsskalfaktor är kvoten mellan sekunder maskintid och sekunder verklig tid i modellen).

Amplitudskalningen har startat med att de maximala ändringarna för tillståndsvariabler och utsignaler har antagits vara tio procent av stationära värdena.

Efter detta fortsätter vidare beräkningar med tidskonstanten 0.01. Dataprogrammet har beräknat en första potentiometerlista. Skalfaktorerna ändras nu så att potentiometervärdena hamnar i intervallet 1 - 0.1. Noteras kan, att utan olägenheter utvidgas intervallet till 100 - 0.1 med hjälp av förstärkarnas s.k. tio ingångar.

Modellen körs på analogmaskinen med enprocentiga störningar på insignalerna. Absolutvärdet av maximala spänningarna på tillståndsvariabler och utsignaler skall vara mindre än 100 V, men större än 10 V, dock kan ett värde på någon volt accepteras.

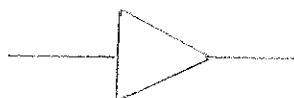
Efter denna sista korrigerings av amplitudskalningen har problemet blivit hyfsat skalat. För tidsskalfaktorn 0.1 ökas skalfaktorerna för x_3 och x_4 med en tiopotens.

3.3 Uppkoppling på analogmaskin

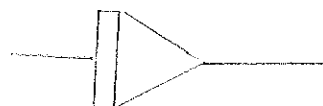
Uppkopplingen har gjorts rakt fram. Om fig. 3.1 studeras, så kan en del ologiska kopplingar förklaras av att signaler med olika tecken reduceras varandra till under absolut 100 V.



potentiometer



summator (byter tecken)



integrator (byter tecken)

Potentiometerlista finns i bilaga II för de båda tidsskalfaktorerna 0.01 respektive 0.1.

Uppkopplingen i fig. 3.1 gäller för tidsskalfaktorn 0.01.

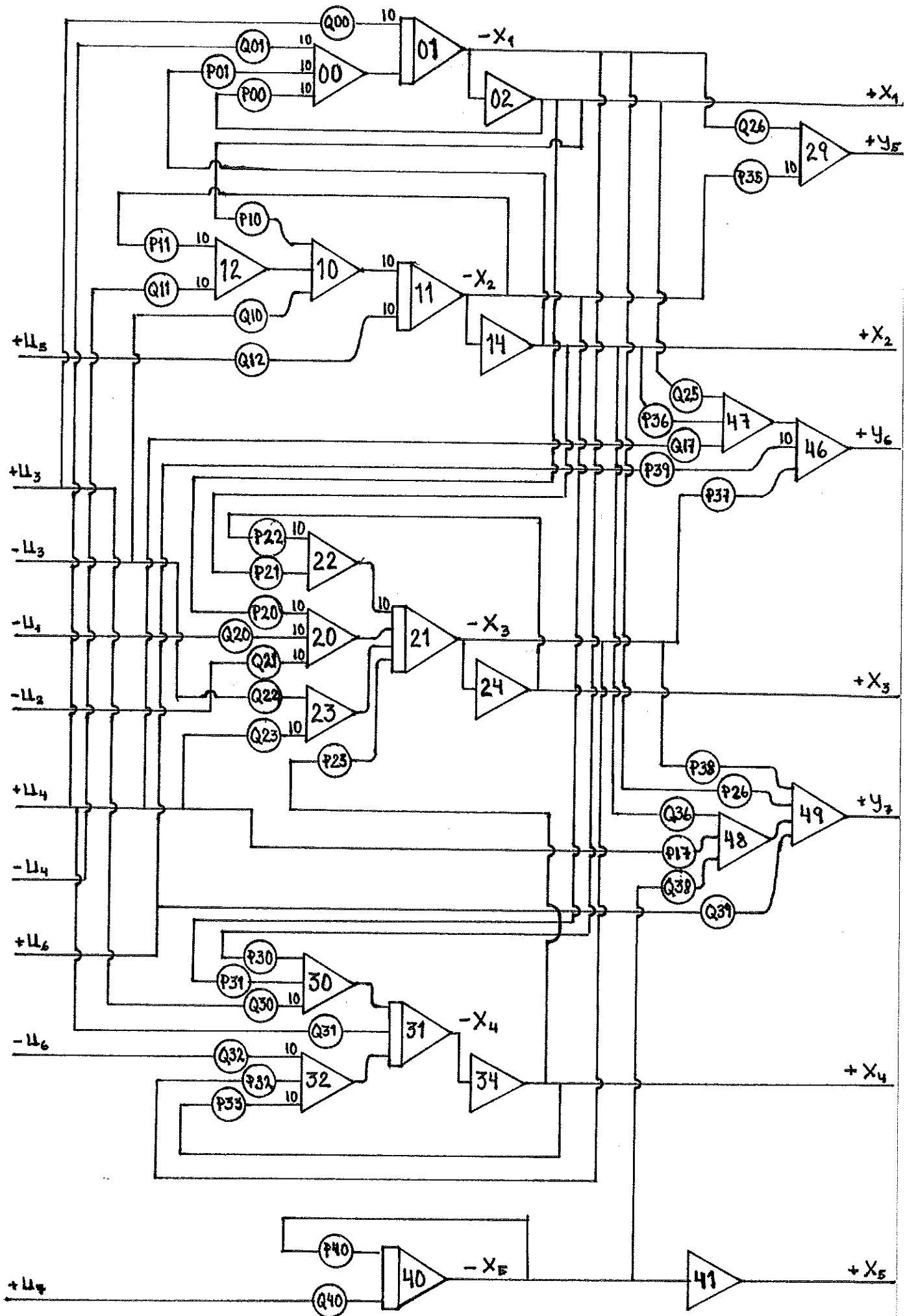


Fig. 3.1

4. Resultat av simuleringen

I detta kapitel redogörs det för den oreglerade modellens beteende, då den stationära lösningen störs av enprocentiga stegökningar i insignalerna. Inverkan av inloppslådereglering undersöks.

Avdelning 4.1 behandlar det öppna systemet.

I avdelning 4.2 diskuteras helt kort hur de optimala regulatorerna har tagits fram samt hur inloppslåderegleringen inverkar på utsignalerna.

4.1 Öppna systemet

De fysiska parametrarna och insignalerna har givits värden, som i stort sett är representativa för en verklig pappersmaskin. Ett litet frågetecken kan noteras för de värden torkpartiet har givits. I bilaga II, som är en utskrift av dataprogrammet anges alla värden.

I bilaga III, diagram 1 - 13 redovisas utsignalernas svar, då enprocentiga stegstörningar appliceras på insignalerna.

I tabellen nedan anger den övre siffran maximala och den nedre siffran stationära avvikelser i procent från de ursprungliga stationära värdena.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	y_5	y_6	y_7
u_1	0 0	0 0	0,79 0,79	0,12 0,12	0 0	0 0	1,00 1,00	0,52 0,52
u_2	0 0	0 0	0,79 0,79	0,12 0,12	0 0	0 0	1,00 1,00	0,52 0,52
u_3	18,6 18,6	1,8 0	-0,95 -0,95	-0,95 -0,95	0 0	0,99 0,99	0,7 0,05	0,26 0,022
u_4	-16,0 -16,0	-1,8 -0,29	-0,24 0	0,004 0	0 0	-0,94 -0,94	1,25 0	0,62 0
u_5	-16,2 -16,2	1,9 1,9	-0,12 -0,004	0,00 -0,000	0 0	0,01 0,001	0,042 -0,002	0,035 -0,01
u_6	0 0	0 0	0,17 0,17	0,86 0,86	0 0	0 0	-1,25 -1,0	-0,12 -0,015
u_7	0 0	0 0	0 0	0 0	0,98 0,98	0 0	0 0	-0,52 -0,52

En enprocentig ökning av tjockmassaflödet u_1 eller dess koncentration u_2 påverkar modellen på likartat sätt. Inloppslådans tillståndsvariabler, nivån x_1 och övertrycket x_2 påverkas kraftigt av ändringar av flödet från blandningspumpen u_3 , av läppöppningens höjd u_4 och av luftflödet u_5 . När u_3 ökas, innebär det att mängden vätska, som pumpas runt i våta änden ökar och en ny stationär punkt uppnås med lägre fiberkoncentrationer både i inloppslådan och i viragropen. Även ytvikten y_6 och fuktkvoten y_7 påverkas, men det får karaktären av impulser, som långsamt avklingar mot noll. Totaltrycket och därmed också hastigheten i strålen ut från läppöppningen ökar. En ökad mängd vatten skall per tidsenhet passera en konstant area.

I diagram 6 ser vi att x_3 ökar först och avtar sedan, när en stegstörning applicerats på blandningspumpen u_3 . Detta beteende av x_3 låter sig inte förklaras fysikaliskt.

Låt oss undersöka överföringsfunktionens nollställen. $G(s) = Y_3/U_3 = X_3/U_3$.

$$G(s) = [0 \ 0 \ 1] \cdot \begin{bmatrix} s + 0.01266 & 0.01266 & 0 \\ 0.25503 & s + 0.28568 & 0 \\ 0.03194 & 0.03194 & s + 0.11900 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} 0.1000 \\ 2.01526 \\ 0.05451 \end{bmatrix}$$

Vi ser direkt att en pol blir -0.1190 . De två övriga polerna beräknas ur ekvationen $s^2 + 0.2992s + 0.0003994 = 0$ och de blir -0.2976 och -0.0016 , dvs. alla polerna i vänstra halvplanet.

Nollställena beräknas ganska enkelt, då den inversa matrisen multipliceras med matrisen $[0 \ 0 \ 1]$.

$$[0 \ 0 \ 1] \cdot \begin{bmatrix} x & x & x \\ x & x & x \\ a & b & c \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0.1000 \\ 2.01526 \\ 0.05451 \end{bmatrix} = 0$$

$$a = 0.25503 \cdot 0.03194 - 0.03194 (s + 0.28658)$$

$$b = - (s + 0.01266) \cdot 0.03194 + 0.03194 \cdot 0.01266$$

$$c = (s + 0.01266) (s + 0.28658) - 0.25503 \cdot 0.01266$$

$$a = -0.03194s - 0.0010077$$

$$b = -0.03194s$$

$$c = s^2 + 0.2992s + 0.0003994$$

$$0.05451s^2 - 0.0512498s - 0.000078998 = 0$$

$$s^2 - 0.94019s - 0.0014492 = 0$$

$$\begin{cases} s_1 = 0.9417 \\ s_2 = -0.001539 \end{cases}$$

Ett av nollställena ligger i högra halvplanet och vi har ett icke-minimum-fas-system. Detta pekar på att inloppslådemodellen är i enklaste laget och att fiberkoncentrationen x_3 således inte är lika stor i olika delar av inloppslådan, då systemet "vandrar" mot en ny stationärpunkt efter en stegstörning.

En ökning i läppöppningen u_4 sänker nivå och ger en ökning i lufttrycket x_2 , som sakta sjunker mot ett nytt stationärt värde. y_5 sjunker då mängden vätska, som skall ut genom läppöppningen är konstant. x_3 , x_4 , y_6 och y_7 får impuls liknande svar på stegökningen i u_4 .

När u_5 ökar, så sjunker nivån x_1 och trycket x_2 ökar så pass att y_5 får en liten ökning och sedan går mot noll. De övriga utsignalerna x_3 , x_4 , y_6 och y_7 ändrar sig väldigt lite.

Virans hastighet u_6 påverkar x_3 , x_4 , y_6 och y_7 . Förändringen av ytviktens y_6 stationära värde sjunker momentant, men ökar sedan lite igen. Ångtrycket u_7 påverkar x_5 (mängden borttorkat vatten per sekund i torkpartiet) och fukthalten y_7 .

Av kurvornas utseende i diagrammen ser vi att det förekommer både små och stora tidskonstanter i modellen. Ur matris A beräknas tidskonstanterna.

$$\underbrace{\left[(s-a_{11}) (s-a_{22}) - a_{12} a_{21} \right]}_{\text{inloppslådan}} \underbrace{\left[(s-a_{33}) (s-a_{44}) - a_{34} a_{43} \right]}_{\text{våta änden}} \underbrace{(s-a_{55})}_{\text{torkpartiet}} = 0$$

	Tidskonstant (sek)
Inloppslådan	$T_1 = 3.36$ $T_2 = 770$
Våta änden	$T_3 = 8.37$ $T_4 = 87$
Torkpartiet	$T_5 = 100$

Systemet har två snabba förlopp med tidskonstanter kring 3 och 8 sekunder, två förhållandevis långsamma förlopp med tidskonstanter på 87 och 100 sekunder och slutligen ett långsamt förlopp med tidskonstant på 770 sekunder. Den stora skillnaden i tidskonstanter har medfört två uppsättningar av kurvor med olika tidsskalfaktorer.

Vi skall nu titta lite närmare på diagrammen 5, 7 och 9.

I diagram 5 går aldrig ytvikt och fukthalt ned till sina stationära värden. Betrakta hela pappersmaskinen som ett system, där mängden fibrer in i systemet är u_1, u_2 [kg/s]. Ut ur systemet kommer mängden fibrer $w/b/u_6$ [kg/s]. Av detta inser man att ytvikt och även fukthalt måste återgå till sina stationära värden, då varken u_1 eller u_2 har ändrats.

I diagram 7 kan vi direkt se att inloppslådans lufttryck avviker från sitt stationära värde, som det borde anta.

I diagram 9 frapperas framför allt av att inte strålen från läppöppningen antar sin stationära hastighet. Avvikelsen ger ett merutflöde på ca $2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$, dvs. det tar flera hundra timmar innan inloppslådan skulle tömmas.

Diagrammen visar på en del oklarheter, som nu skall angripas på ett systematiskt sätt. Först konstaterar vi att dataprogrammet beräknar de nya stationära värdena för de olinjära ekvationerna, när insignalerna ökas med en procent. Det är dessa nya stationära värden för respektive insignal, som de analoga simuleringarna skall resultera i.

För den linjariserade modellen kan de stationära värdena efter en störning beräknas enligt nedan.

Den linjariserade modellen skrivs:

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

$$y = Cx + Du$$

Lös ut y i Laplaceplanet:

$$Y(s) = C(Is - A)^{-1}B \cdot U(s) + DU(s)$$

Slutvärdesteoremet säger att följande gränsvärde är ekvivalenta:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) \quad \overset{\curvearrowright}{=} \quad \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot F(s)$$

Insignalerna är steg, dvs. $U(s) = \frac{1}{s} u$

$$\lim_{s \rightarrow 0} s \cdot Y(s) = -CA^{-1}B \cdot U + D \cdot U$$

I tidsplanet fås:

$$y(t) = -CA^{-1}BU + DU \quad \text{då } t = \infty \quad \text{dvs. stationära värdet på } y(t)$$

A är en 5x5 matris, men blocktriangulär så den är hanterlig för manuell beräkning.

$$A = \left[\begin{array}{cc|cc|c} x & x & 0 & 0 & 0 \\ x & x & 0 & 0 & 0 \\ \hline x & x & x & x & 0 \\ x & x & x & x & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & x \end{array} \right] = \begin{bmatrix} E & 0 & 0 \\ F & G & 0 \\ 0 & 0 & H \end{bmatrix}$$

Inversen till A fås

$$A^{-1} = \begin{bmatrix} E^{-1} & 0 & 0 \\ -G^{-1}FE^{-1} & G^{-1} & 0 \\ 0 & 0 & H^{-1} \end{bmatrix}$$

Sedan följer beräkningar rakt fram. Slutresultatet blir en uppsättning tal, som anger den störda lösningens avvikelse från den ursprungliga stationära lösningen.

Tabellen nedan visar för varje störning avvikelsen i nya stationära värden från den ostörda lösningens stationära värden.

Störning	Analogmaskin	Dataprogram	Linjära modellen	Stationära värden
u_1	0	0	0	$x_1=0.50062$
	0	0	0	$x_2=4.201$
	0.02	0.020	0.020	$x_3=2.524$
	0.00065	0.00065	0.00067	$x_4=0.545$
	0	0	0	$y_5=1.604$
	0.004	0.004	0.0040	$y_6=0.04005$
	0.003	0.003	0.0031	$y_7=0.05817$
u_2	0	0	0	x_1
	0	0	0	x_2
	0.02	0.0209	0.0208	x_3
	0.00065	0.00076	0.00068	x_4
	0	0	0	y_5
	0.0004	0.0040	0.0041	y_6
	0.003	0.0031	0.00031	y_7
u_3	0.093	0.0945	0.0937	x_1
	0	0	0.000318	x_2
	-0.024	-0.0245	-0.0249	x_3
	-0.0052	-0.00529	-0.00547	x_4

Störning	Analogmaskin	Dataprogram	Linjära modellen	Stationära värden
u_3	0.095 0.00002 0.000073	0.0960 0 0	0.0960 0.000071 0.000056	y_5 y_6 y_7
u_4	-0.08 -0.012 0 0 -0.09 0 0	-0.0926 0 0 0 -0.0951 0 0	-0.0937 -0.00032 0.000032 0.000039 -0.0960 -0.000013 -0.000009	$x_1=0.50062$ $x_2=4.201$ $x_3=2.524$ $x_4=0.545$ $y_5=9.604$ $y_6=0.04005$ $y_7=0.05817$
u_5	-0.082 0.080 -0.0001 -0.0000 0.00015 -0.000001 -0.00003	-0.0953 0.0953 0 0 0 0 0	-0.0946 0.0946 0 0 0 0 0	x_1 x_2 x_3 x_4 y_5 y_6 y_7
u_6	0 0 0.0043 0.0047 0 -0.00042 -0.00001	0 0 0.00432 0.00467 0 -0.00040 -0.00001	0 0 0.00441 0.00447 0 -0.00040 -0.000007	x_1 x_2 x_3 x_4 y_5 y_6 y_7
u_7	0.0245 -0.00030	0.025 -0.00032	- -0.00031	$x_5=2.5$ $y_7=0.05817$

Av tabellen ser vi att skillnaderna mellan de tre beräkningarna är små med undantag av x_1 och x_2 , då störningarna är u_4 och u_5 . Det är analogmaskinberäkningen som avviker från de två övriga och denna avvikelse ligger inom felmarginalen på analogmaskinen.

Slutsatsen blir att modellen beter sig som en verklig pappersmaskin trots avvikelserna vid analogmaskinkörningarna.

4.2 Slutna systemet, inloppslådan reglerad

Inloppslådan regleras med P-regulatorer. Totaltrycket och nivån i inloppslådan återkopplas till både blandningspumpen och kompressorn för luftflödet till inloppslådan.

Inställningarna av regulatorerna beräknas av ett dataprogram SYN-PAC. SYN-PAC beräknar optimala P-regulatorer enligt den linjär-kvadratiske metoden.

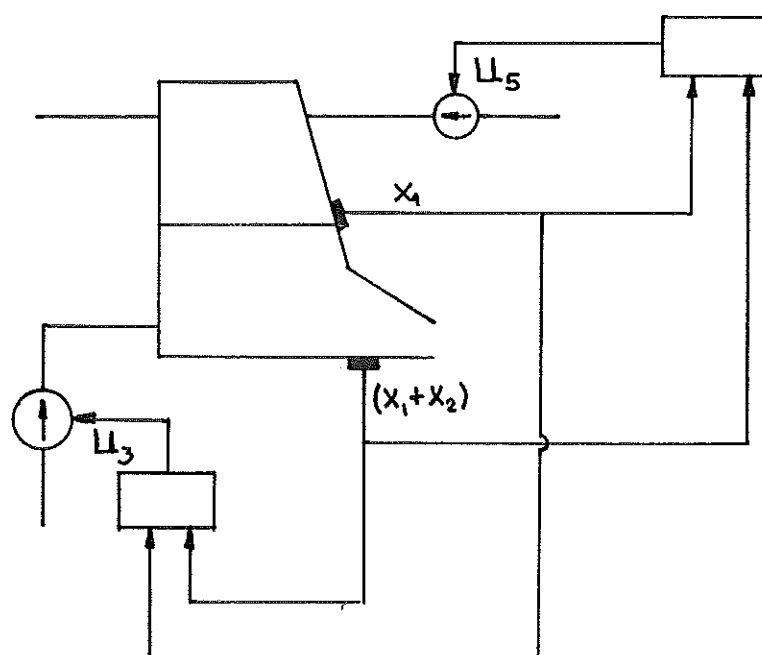


fig 4.2.1

Två optimala regulatorer har beräknats. Vid beräkningarna har följande matriser använts:

$$u = \begin{bmatrix} u_3 \\ u_5 \end{bmatrix} \quad x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} -0.01266 & -0.01266 \\ -0.2550 & -0.2866 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 1.0 & 0.0 \\ 21.153 & 1.0 \end{bmatrix}$$

Notera att B-matrisens första kolon är en tiopotens för stor. Detta

för att få en hyfsad konvergens på problemlösningen. Tiopotensen innebär, att när vi gör beräkningar med hjälp av SYN PAC, så är u_3 en tiopotens mindre än eljest.

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \quad D = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Med hjälp av linjärkvadratisk optimering bestämmer man en linjär återkoppling från inloppslådans tillstånd,

$$u = -L \cdot x$$

som minimerar förlustfunktionen

$$\sum_{t=0}^{\infty} \left[x^T \cdot Q_1 \cdot x + u^T \cdot Q_2 \cdot u \right]$$

För inloppslådan vill man att nivå och totaltryck skall återgå till sina stationära värden efter en störning. Man vill således minimera

$$\sum_{t=0}^{\infty} \left[x_1^2 + (x_1 + x_2)^2 \right]$$

dvs. Q_1 väljes till

$$Q_1 = \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

För att styra inloppslådan använder man blandningspumpen (u_3) och luftflödet (u_5). Två Q_2 har valts så att vi får dels en styrstrategi (reglering I), där luftflödet svarar för merparten av regleringen, dels en styrstrategi (reglering II), där u_3 domineras av totaltrycket och u_5 påverkas starkast av avvikelser i nivå. Den senare strategin motsvarar strategin total head/stock flow i

K.J. Åström, Lecture Notes On Paper Machine Control.

Reglering I

$$Q_1 = \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Straffet på totaltryck och nivå är lika stort.

$$Q_2 = \begin{bmatrix} 100 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

u_3 straffas hårt, dvs. u_5 får svara för det mesta av regleringen.

$$L = \begin{bmatrix} 0.11492 & 0.06611 \\ -0.41311 & 0.42022 \end{bmatrix}$$

Reglering II

$$Q_1 = \begin{bmatrix} 10 & 5 \\ 5 & 5 \end{bmatrix}$$

Totaltryck och nivå straffas lika, men jämfört med I, så straffas avvikelser i totaltryck och nivå starkare.

$$Q_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 10 \end{bmatrix}$$

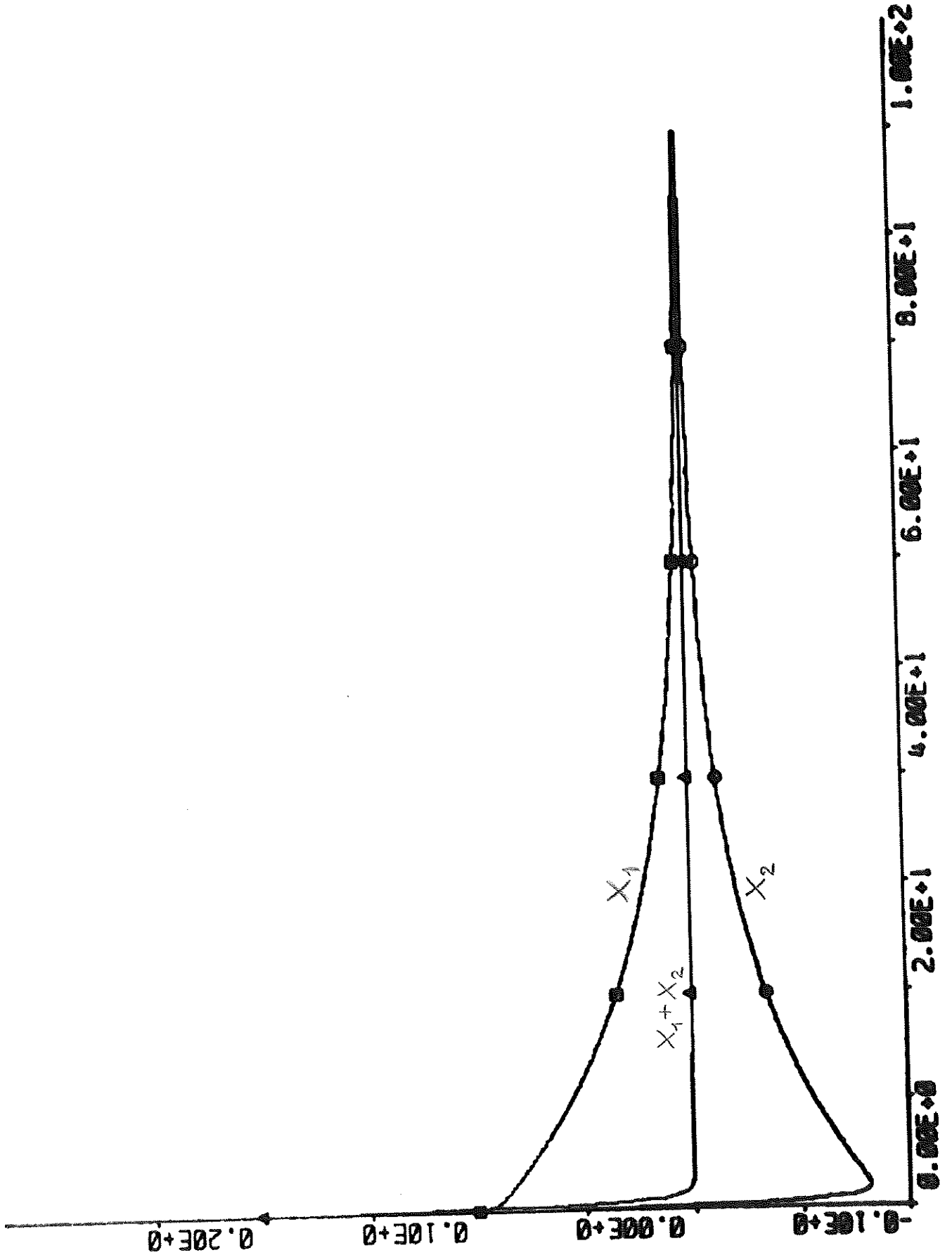
u_5 straffas i förhållande till u_3

$$L = \begin{bmatrix} 0.52026 & 0.44224 \\ -0.65105 & 0.03493 \end{bmatrix}$$

Figur 4.2.2 och 4.2.5 visar hur nivå och totaltryck svänger in sig efter en störning med 0.1 i x_1 och x_2 . Av figurerna framgår att x_1 och x_2 svänger in sig på likartat sätt i de två fallen medan totaltrycket svänger in sig långsammare för reglering II.

Styrsignalerna för de två regleringarna visas i figurerna 4.2.3 (reglering I) och 4.2.7 (reglering II). Regleringarna av inloppslådan är således likartad i de två fallen, men hur påverkas andra variabler?

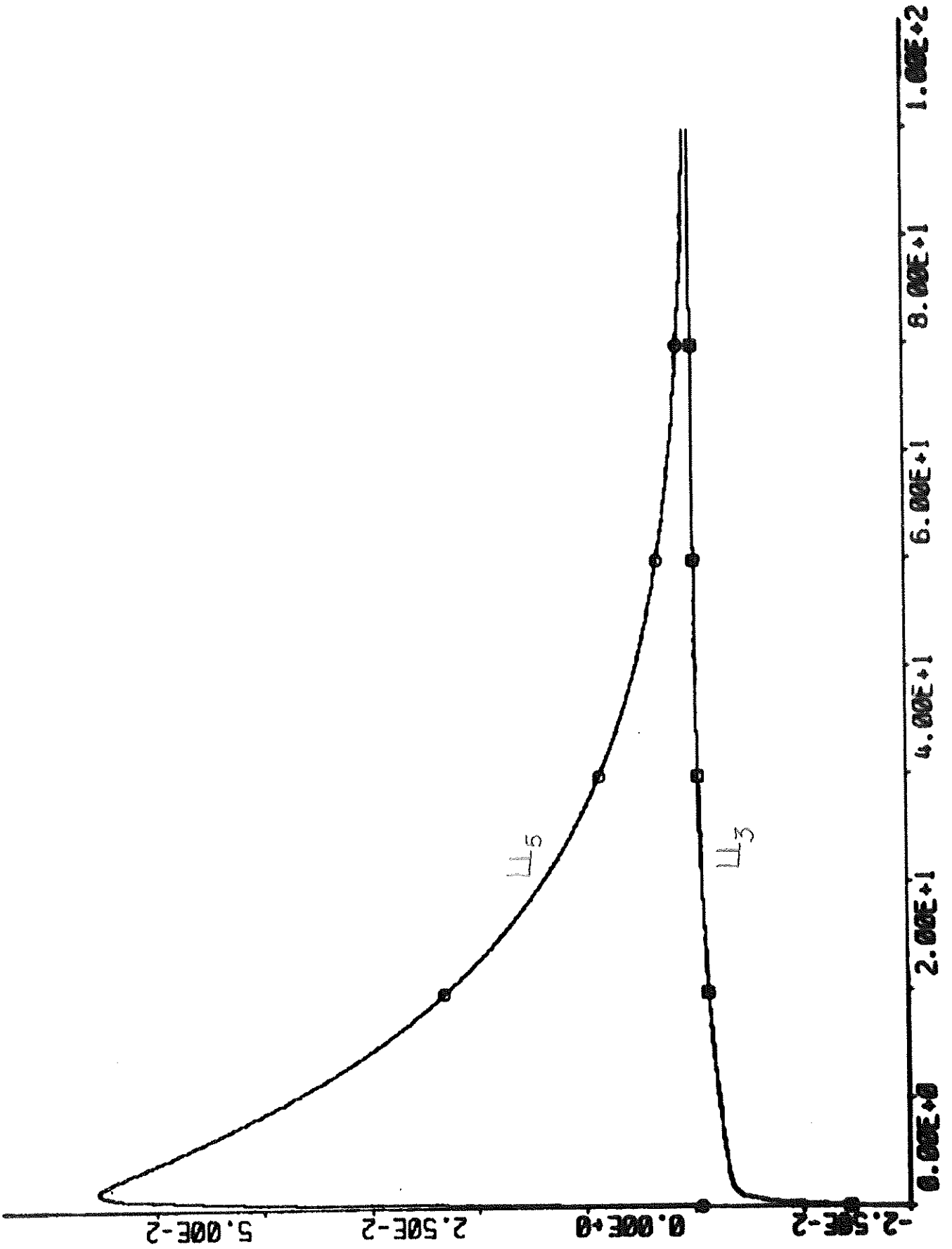
Y 1 2 3



Reglering I

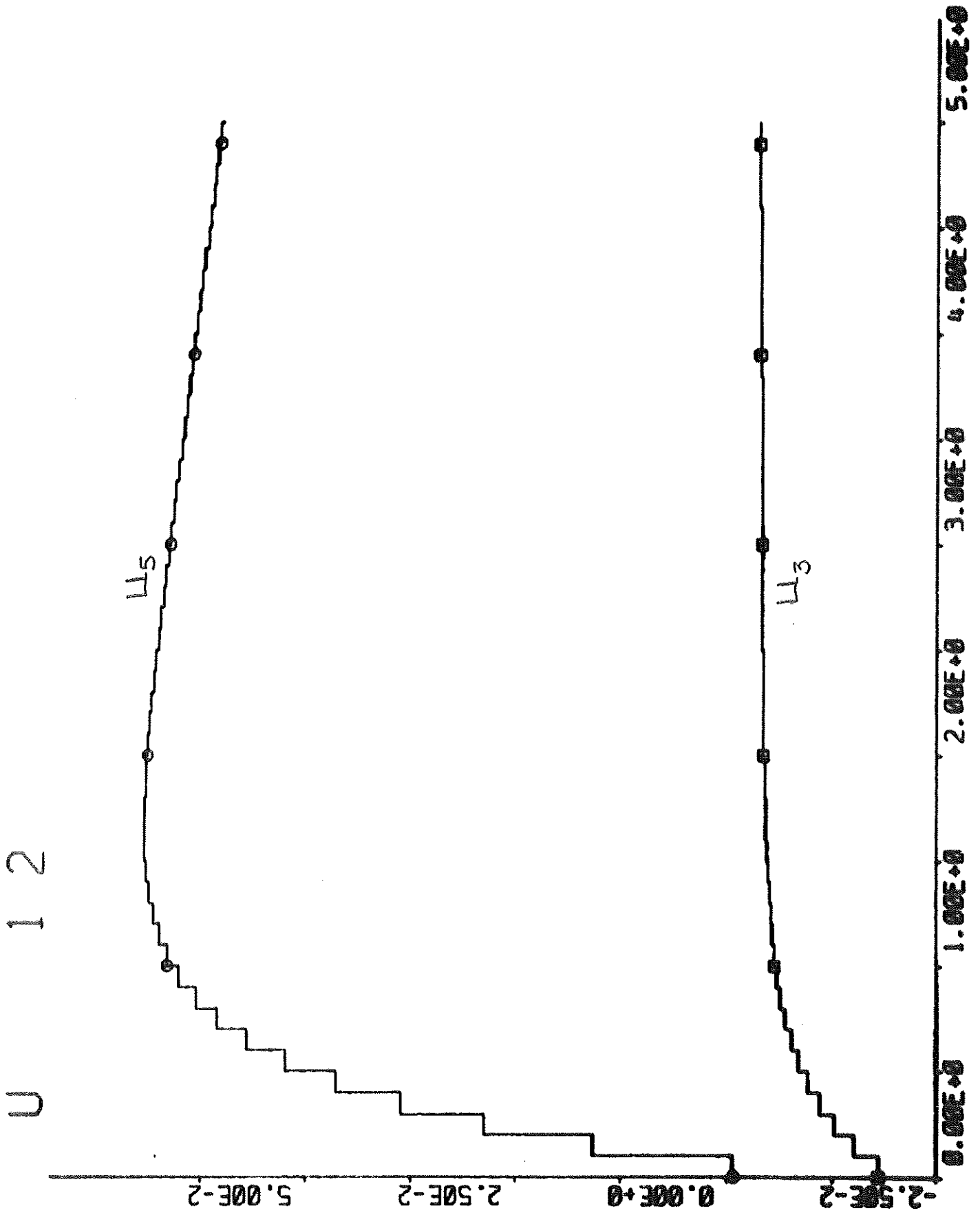
Fig. 4.2.2

U 1 2



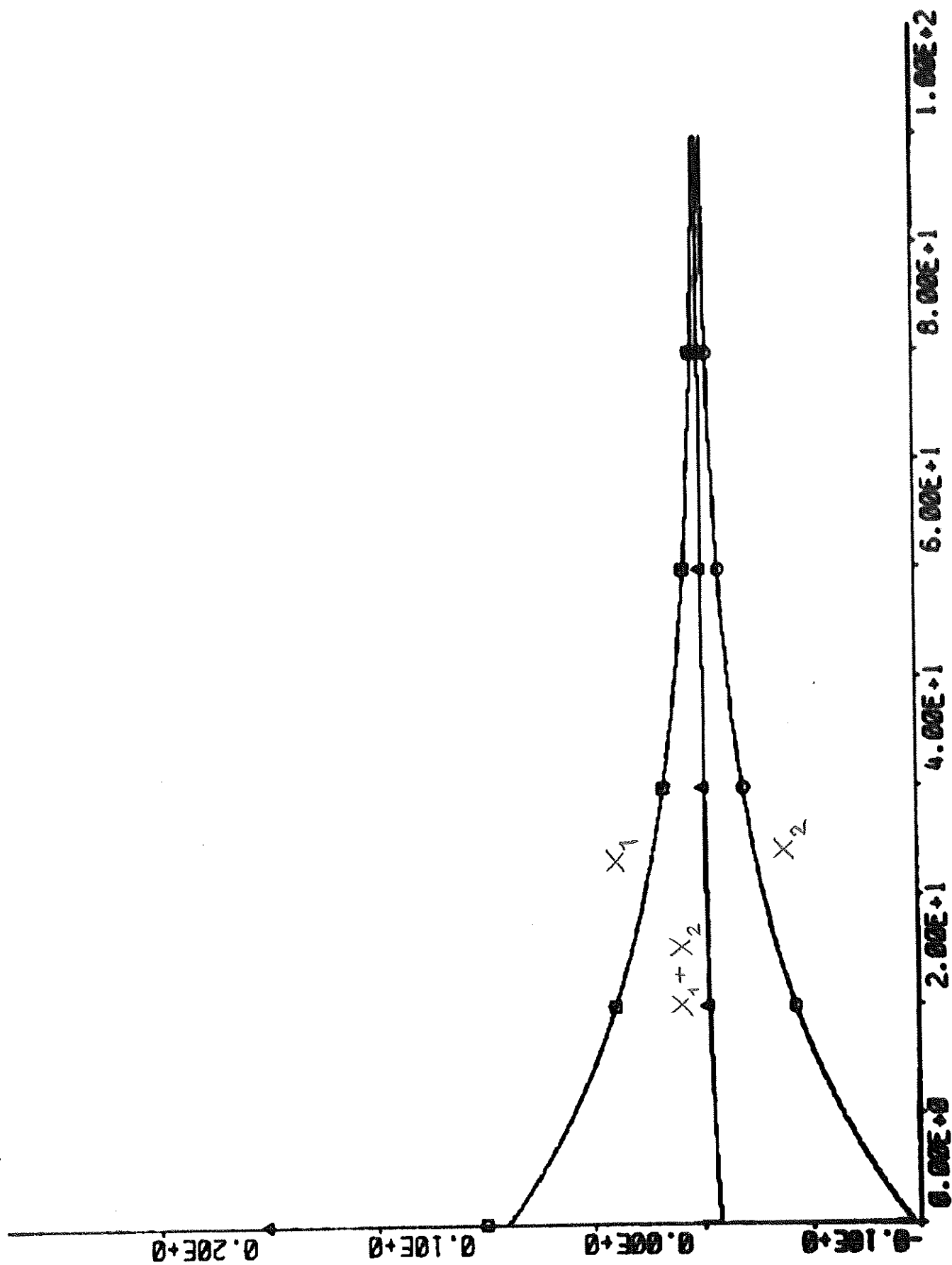
Regleting I

Fig. 4.2.3



Reglering I Fig. 4.2.4

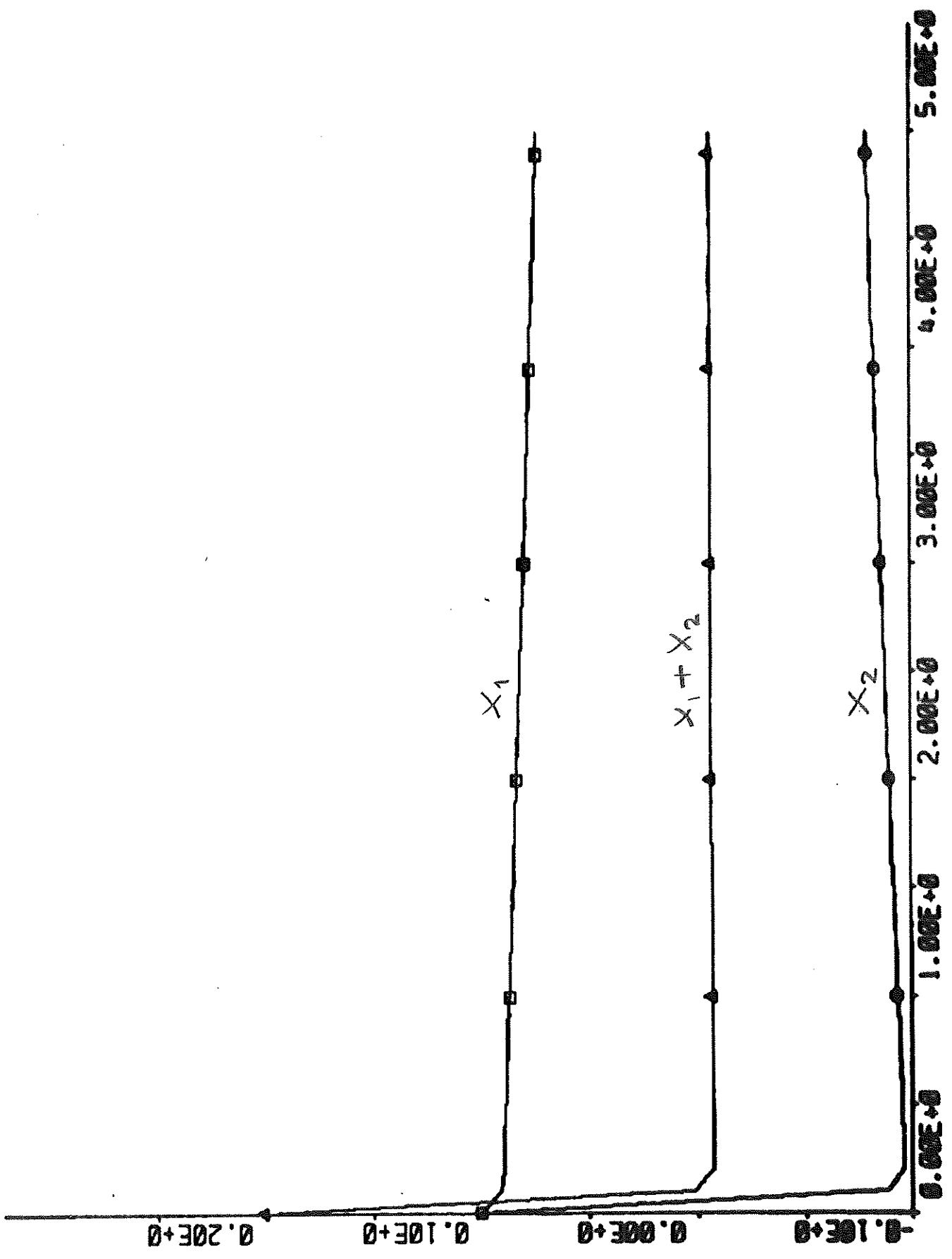
Y 1 2 3



Reglering II

Fig. 4.2.5

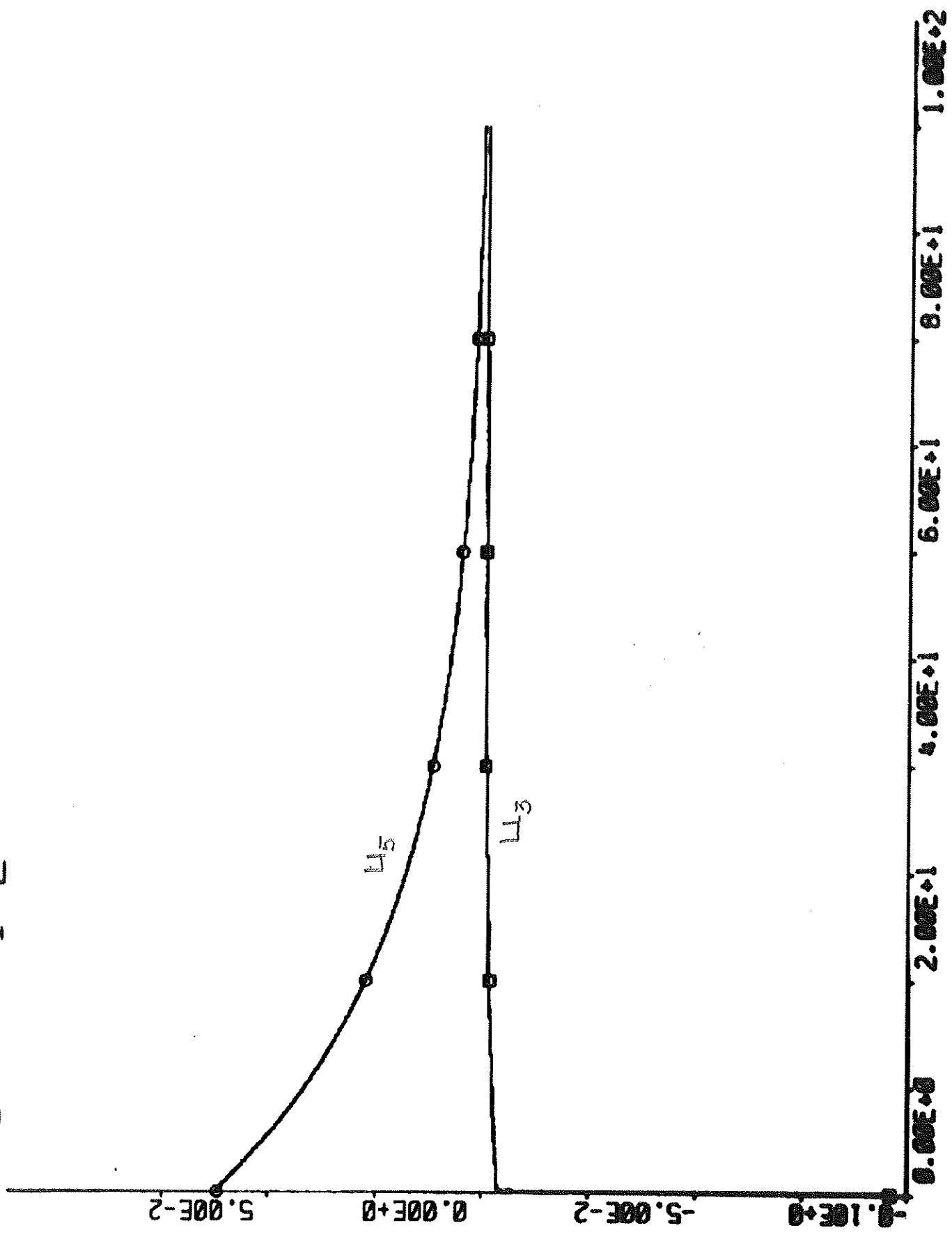
Y 1 2 3



RegLering II

Fig. 4.2.6

U 12



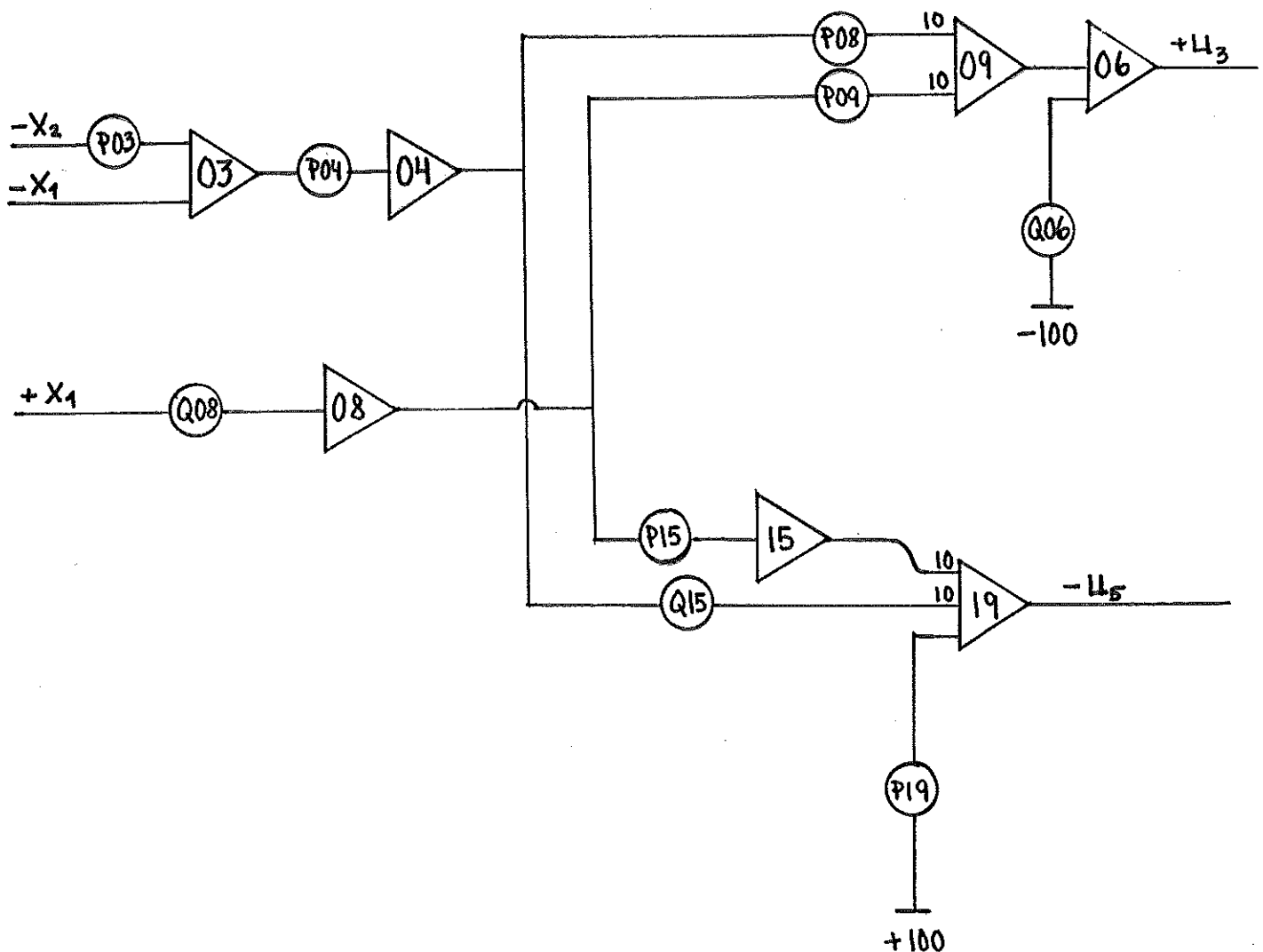
Reglering II Fig 4.2.7

Uppkoppling av regulatorerna på analogmaskin

$$(5000 \mu_3) = -l_{12} \left\{ 5 \cdot [5 \cdot (200x_2) + (1000x_1)] \right\} \\ - (l_{11} - l_{12}) \left\{ 5 \cdot (1000x_1) \right\}$$

$$(5000 \mu_5) = -l_{22} \left\{ 5 \cdot [5 \cdot (200x_2) + (1000x_1)] \right\} \\ - (l_{21} - l_{22}) \left\{ 5 \cdot (1000x_1) \right\}$$

Skalningen är samma för de båda tidskonstanterna $\beta = 0.01$, $\beta = 0.1$



Potentiometrarna P03, P04 och Q08 är alla 0.5

	P08 l_{12}	P09 $l_{11}-l_{12}$	Q15 l_{22}	P15 $l_{21}-l_{22}$
I	0.0661	0.0488	0.4202	0.8333
II	0.4422	0.0780	0.0349	0.6860

För reglering I gäller att u_5 svarar för merparten av regleringen av både totaltryck och nivå.

För reglering II gäller att u_5 dominerar regleringen av nivån medan u_3 dominerar regleringen av totaltrycket.

I bilaga III, diagrammen 14 - 19 visas resultatet av simuleringen med inloppslådan reglerad enligt ovan för stegstörningar på u_3 , u_4 och u_5 .

I tabellen nedan anger den övre siffran största avvikelsen och den undre siffran anger stationära avvikelsen i procent från de ursprungliga stationära värdena.

Störning	Oreglerade systemet	Reglering I	Reglering II	
$u_3 =$ $= 1\%$	-	1	1	u_3
	-	0.565	0.234	
	-	-37.6	1.63	u_5
	-	1.63	1.63	
	18.6	5.8	0.4	x_1
	18.6	5.8	0.4	
	1.8	0.288	0.216	x_2
	0	0.268	0.195	
	-0.95	-0.585	-0.252	x_3
	-0.95	-0.585	-0.252	
	-0.95	-0.142	-0.055	x_4
	-0.95	-0.142	-0.055	
	0.99	0.584	0.250	y_5
	0.99	0.584	0.229	
	0.7	0.175	0.100	y_6
	0.05	0.01	0.005	
	0.26	0.258	0.146	y_7
	0.022	0.0172	0.0086	

Störning	Oreglerade systemet	Reglering I	Reglering II	
$u_4 =$	-	0.590	0.756	u_3
$= 1\%$	-	0.590	0.756	
	-	3.26	-0.245	u_5
	-	-0.326	-0.245	
	-16.0	-5.5	-0.4	x_1
	-16.0	-5.5	-0.4	
	- 1.8	-0.620	-0.464	x_2
	- 0.29	-0.595	-0.440	
	- 0.24	-0.515	-0.745	x_3
	0	-0.398	-0.745	
	0.004	-0.405	-0.734	x_4
	0	-0.405	-0.734	
	- 0.94	-0.563	-0.229	y_5
	- 0.94	-0.563	-0.208	
	1.25	1.25	1.25	y_6
	0	0	0	
	0.62	0.62	0.62	y_7
	0	0	0	
$u_5 =$	-	-0.185	-0.605	u_3
$= 1\%$	-	0.0673	0.0505	
	-	1	1	u_5
	-	0.0408	0.0408	
	-16.2	-0.50	-0.68	x_1
	-16.2	-0.50	-0.68	
	1.9	0.0834	0.0953	x_2
	1.9	0.0743	0.0953	
	- 0.12	-0.0647	-0.0666	x_3
	- 0.004	-0.0167	-0.0118	
	0.00	-0.0069	0.0142	x_4
	- 0.000	-0.0069	-0.0069	
	0.01	0.031	0.0208	y_5
	0.001	0.0062	0.0052	
	0.042	0.019	0.012	y_6
	- 0.002	0	0	
	0.035	0.0165	0.0086	y_7
	- 0.01	0	0	

Kommentar till resultatet av regleringarna.

För båda regleringarna gäller att styrsignalernas storlek är rimliga med ett undantag. När u_3 är störningen, så ger reglering I en kraftig styrsignal på luftflödet, vilken kan bli svår att realisera.

Båda regleringarna förbättrar avsevärt nivåns och tryckets beteende vid alla tre störningarna. Reglering II är klart bättre än reglering I i detta avseende.

Hastigheten på strålen ut från läppöppningen y_5 varierar mindre för de tre störningarna, när inloppslådan regleras. Reglering II ger bästa resultatet båda vad gäller avvikelens storlek och den tid det återgår att uppnå en ny stationär punkt för y_5 .

När u_3 är störningen, så minskar ytviktens avvikelse för båda regleringarna med bästa resultatet för reglering II. Fuktkvotens avvikelser minskar för reglering II medan reglering I inte ger någon nämnvärd förbättring av y_7 's beteende.

När u_4 är störningen ger båda regleringarna ungefär samma resultat för både ytvikt och fuktkvot. Om man jämför y_6 och y_7 i det öppna systemet och i det reglerade systemet, ser vi att regleringarna medför att y_6 och y_7 blir långsammare, men att överslängarna i öppna systemet försvunnit.

När u_5 är störningen får det reglerade systemet vad gäller fuktkvot och ytvikt överslängar, medan avvikelserna minskar jämfört med öppna systemets fuktkvot och ytvikt.

Av det ovan sagda kan vi dra slutsatsen att reglering av inloppslådan ger förbättringar jämfört med öppna systemet och inte några nackdelar.

Simuleringen tycks antyda att man får en bättre totalreglering av pappersmaskinen om man använder reglering II, dvs. totaltrycket regleras med blandningspumpen och nivån med luftflödet, än om man använder reglering I, där både totaltryck och nivå påverkar luftflödet mest.

5. Referenser

1. Karl Johan Åström, Lecture Notes On Paper Machine Control,
2. Björn Wittenmark, Kompendium om Analogmaskiner,
3. Programpaketet SYNPAK.

Alla de refererade skrifterna finns vid Institutionen för Reglerteknik vid Lunds Tekniska Högskola.

B I L A G A I

Listning av dataprogram

```

001 C LINJARISERAD MODEL AV PAPPERSMASKIN. A, B, C OCH D MATRIS-
002 C ERNA BERAKNAS.
003 REAL K0, K2, KS, L
004 DIMENSION A(5,5), B(5,7), C(7,5), D(7,7)
005 F, XS(5), YS(10), US(7), Z(50), POT(50)
006 COMMON /DATA/ Z
007 COMMON /MATR/ A, B, C, D
008 COMMON /MOT/ POT
009 COMMON /STAT/ XS, YS, US
010 COMMON /FYS/ G, K0, P0, K2, H, B0, A0, A1, V0, V1, V2, S5, T5,
011 FFP, R0, R1
012 CALL SUB1
013 C FYSISKA KONSTANTERNA FAR VARDE
014 G=Z(1)
015 K0=Z(2)
016 P0=Z(3)
017 K2=Z(4)
018 H=Z(5)
019 C FYSISKA PARAMETRARNA FAR VARDE
020 B0=Z(6)
021 A0=Z(7)
022 A1=Z(8)
023 V0=Z(9)
024 V1=Z(10)
025 V2=Z(11)
026 S5=Z(12)
027 T5=Z(13)
028 FP=Z(14)
029 XS(1)=Z(15)
030 C11=Z(17)
031 C INSGNALERNA FAR STATIONARA VARDEN
032 US(1)=Z(18)
033 US(2)=Z(19)
034 US(3)=Z(20)
035 US(4)=Z(21)
036 US(5)=Z(22)
037 US(6)=Z(23)
038 US(7)=Z(24)
039 C BER AV HJALP VARIABLER OCH STAT VARD PA TILLSTANDSVAR
040 C OCH UTSIGNALER
041 Q1=US(3)
042 WS=US(5)
043 C LUFTENS TATHET AVGOR S2: S VAEDE
044 C5=P0*K0*2*H/(H-1)*((1.576)**(H-1)-1)
045 C6=US(5)*US(5)/A1/A1
046 IF(C5-C6)2,3,3
047 2 WRITE(9,100)C6
048 100 FORMAT(9X,15H SUPERSONIC C6=,F20.5)
049 3 KS=K0*(1+(H-1)/2/H*WS*WS/P0/K0/A1/A1)**(1/(H-1))
050 S2=WS/2/KS/V0*(H-1)*((KS/K0)**(H-1))
051 F/((KS/K0)**(H-1)-1)
052 L=P0*((KS/K0)**H)/(K2*G)
053 T1=H*A0*L/V0
054 XS(2)=P0/K2/G*((US(5)*US(5)/A1/A1*(H-1)/2/H/P0/K0+1)**
055 F(H/(H-1))-1)
056 XS(1)=(US(3)/US(4)/B0)**2/2/G-XS(2)
057 C1=XS(1)+XS(2)
058 YS(5)=(2*G*C1)**0.5
059 W=US(1)*US(2)/US(6)/B0
060 YS(6)=W
061 R0=1.-0.01/W*(1-EXP(-50*W))
062 R1=0.01/W/W*(1-(1+50*W)*EXP(-50*W))
063 XS(3)=US(1)*US(2)/(R0*(US(3)-US(1))+US(1))

```

```

064      XS(4)=(1-R0)*XS(3)
065      XS(5)=T5*US(7)/S5
066      C10=FP-(XS(5)/(R0*XS(3)*Q1))
067      YS(7)=C11*(C10+1/(C10+1))
068      YS(9)=YS(6)*(1+YS(7))
069      S3=Q1/V1
070      S1=Q1/(2*A0*C1)
071      C2=1-R1*W/R0
072      C      C3 IS THE DERIVATIVE OF THE FUNKTION K
073      C3=C11*(1-1/((C10+1)**2))
074      C      NOLLSTALN AVMATRISERNA
075      DO 14 I = 1, 5, 1
076      DO 14 J = 1, 5, 1
077      14 A(I,J)=0
078      DO 15 I = 1, 5, 1
079      DO 15 J = 1, 7, 1
080      15 B(I,J)=0
081      DO 16 I = 1, 7, 1
082      DO 16 J = 1, 5, 1
083      16 C(I,J)=0
084      DO 17 I = 1, 7, 1
085      DO 17 J = 1, 7, 1
086      17 D(I,J)=0
087      C      A-MATRISEN
088      A(1,1)=-S1
089      A(1,2)=-S1
090      A(2,1)=-T1*S1
091      A(2,2)=-S2-T1*S1
092      A(3,1)=-S3*(XS(3)/(2*C1))
093      A(3,2)=A(3,1)
094      A(3,3)=-S3
095      A(3,4)=(US(3)-US(1))/V1
096      A(4,1)=(Q1*XS(3)/(2*V2*C1))*(1-R0/C2)
097      A(4,2)=A(4,1)
098      A(4,3)=Q1/V2*(1-R0/C2)
099      A(4,4)=-US(3)/V2
100      A(5,5)=-S5
101      C      B-MATRISEN
102      B(1,3)=1/A0
103      B(1,4)=-Q1/(A0*US(4))
104      B(2,3)=T1/A0
105      B(2,4)=T1*B(1,4)
106      B(2,5)=T1/(KS*A0)
107      B(3,1)=(US(2)-XS(4))/V1
108      B(3,2)=US(1)/V1
109      B(3,3)=XS(4)/V1
110      B(3,4)=-((Q1*XS(3))/(V1*US(4)))
111      B(4,3)=-XS(4)/V2
112      B(4,4)=Q1*XS(3)/V2/US(4)*(1-R0/C2)
113      B(4,6)=((Q1*XS(3))/(V2*US(6)))*R1*W/C2
114      B(5,7)=T5
115      C      C-MATRISEN
116      C(1,1)=1
117      C(2,2)=1
118      C(3,3)=1
119      C(4,4)=1
120      C(5,1)=YS(5)/2/C1
121      C(5,2)=C(5,1)
122      C(6,1)=W/(2*C1*C2)
123      C(6,2)=C(6,1)
124      C(6,3)=W/(XS(3)*C2)
125      C(7,1)=XS(5)/(2*R0*Q1*XS(3)*C1*C2)*C3
126      C(7,2)=C(7,1)
127      C(7,3)=XS(5)/(R0*Q1*XS(3)*XS(3)*C2)*C3

```



```
128      C(7,5)=-C3/(R0*Q1*XS(3))
129      C      D-MAIRISEN
130      D(6,4)=W/(US(4)*C2)
131      D(6,6)=-W/US(6)/C2
132      D(7,4)=XS(5)/R0/Q1/US(4)/XS(3)/C2*C3
133      D(7,6)=-XS(5)/R0/Q1/US(6)/XS(3)*R1*W/R0/C2*C3
134      CALL POTL
135      CALL SKR1
136      CALL SKR2
137      CALL SKR3
138      STOP
139      END
```

```
001          BLOCK DATA
002          DIMENSION Z(50)
003          COMMON /DATA/ Z
004          DATA Z(1),Z(2),Z(3),Z(4),Z(5)/9.81,1.293,100000.,,1000.,,1.4/
005          DATA Z(6),Z(7),Z(8),Z(9),Z(10),Z(11),Z(12),Z(13),Z(14),Z(17)
006          F/6.,,10.,,0.0008,10.,,10.,,100.,,0.01
007          F,0.005,2.,,0.04/
008          DATA Z(18),Z(19),Z(20),Z(21),Z(22),Z(23),Z(24)
009          F/0.089,27.,,1.19,0.02065,0.245,10.,,5./
010          DATA Z(31),Z(32),Z(33),Z(34),Z(35),Z(36),Z(37),Z(38)
011          F/100000.,,50.,,5000.,,200000.,,5000.,,100.,,2000.,,0.01/
012          DATA Z(41),Z(42),Z(43),Z(44),Z(45),Z(46),Z(47),Z(48)
013          F/1000.,,200.,,500.,,10000.,,2000.,,500.,,25000.,,5000./
014          DATA Z(15)/0.5/
015          END
```

```

001      C      POTENSIOMETERVARDEN BERAKNAS
002      SUBROUTINE POTL
003      COMMON /DATA/ Z(50)
004      COMMON /MATR/ A(5,5),B(5,7),C(7,5),D(7,7)
005      COMMON /MOT/ POT(50)
006      POT(1)=A(1,1)*Z(41)/Z(38)/Z(41)
007      POT(2)=A(1,2)*Z(41)/Z(38)/Z(42)
008      POT(3)=B(1,3)*Z(41)/Z(38)/Z(33)
009      POT(4)=B(1,4)*Z(41)/Z(38)/Z(34)
010      POT(5)=A(2,1)*Z(42)/Z(38)/Z(41)
011      POT(6)=A(2,2)*Z(42)/Z(38)/Z(42)
012      POT(7)=B(2,3)*Z(42)/Z(38)/Z(33)
013      POT(8)=B(2,4)*Z(42)/Z(38)/Z(34)
014      POT(9)=B(2,5)*Z(42)/Z(38)/Z(35)
015      POT(10)=A(3,1)*Z(43)/Z(38)/Z(41)
016      POT(11)=A(3,2)*Z(43)/Z(38)/Z(42)
017      POT(12)=A(3,3)*Z(43)/Z(38)/Z(43)
018      POT(13)=A(3,4)*Z(43)/Z(38)/Z(44)
019      POT(14)=B(3,1)*Z(43)/Z(38)/Z(31)
020      POT(15)=B(3,2)*Z(43)/Z(38)/Z(32)
021      POT(16)=B(3,3)*Z(43)/Z(38)/Z(33)
022      POT(17)=B(3,4)*Z(43)/Z(38)/Z(34)
023      POT(18)=A(4,1)*Z(44)/Z(38)/Z(41)
024      POT(19)=A(4,2)*Z(44)/Z(38)/Z(42)
025      POT(20)=A(4,3)*Z(44)/Z(38)/Z(43)
026      POT(21)=A(4,4)*Z(44)/Z(38)/Z(44)
027      POT(22)=B(4,3)*Z(44)/Z(38)/Z(33)
028      POT(23)=B(4,4)*Z(44)/Z(38)/Z(34)
029      POT(24)=B(4,6)*Z(44)/Z(38)/Z(36)
030      POT(25)=A(5,5)*Z(45)/Z(38)/Z(45)
031      POT(26)=B(5,7)*Z(45)/Z(38)/Z(37)
032      POT(27)=C(1,1)
033      POT(28)=C(5,1)/Z(41)*Z(46)
034      POT(29)=C(6,1)/Z(41)*Z(47)
035      POT(30)=C(7,1)/Z(41)*Z(48)
036      POT(31)=C(2,2)
037      POT(32)=C(5,2)/Z(42)*Z(46)
038      POT(33)=C(6,2)/Z(42)*Z(47)
039      POT(34)=C(7,2)/Z(42)*Z(48)
040      POT(35)=C(3,3)
041      POT(36)=C(6,3)/Z(43)*Z(47)
042      POT(37)=C(7,3)/Z(43)*Z(48)
043      POT(38)=C(4,4)
044      POT(39)=C(7,5)/Z(45)*Z(48)
045      POT(40)=D(6,4)/Z(34)*Z(47)
046      POT(41)=D(7,4)/Z(34)*Z(48)
047      POT(42)=D(6,6)/Z(36)*Z(47)
048      POT(43)=D(7,6)/Z(36)*Z(48)
049      RETURN
050      END

```

```

001          SUBROUTINE SUB1
002      C          SUB1 MAKES IT POSSIBLE TO CHANGE THE VEKTOR Z FROM
003      C          THE TELETYPE
004          DIMENSION Z(50),IPOS(50),BUFF(16)
005          COMMON/DATA/Z
006          DATA COMMA/1H,/
007          DATA PIL/1H+ /
008          DATA ARROW/1HÉ /
009      1  CALL RLINE(9,8,BUFF,2)
010          I=1
011          DO 20 J=1,50
012              NR=J
013      2  CALL RIFF(I,RRES,IRES,IND)
014          IF(IND-3)49,6,3
015      3  IF(IND-6)49,4,50
016      4  IF(COMMA-RRES)5,2,5
017      5  IF(ARROW-RRES)49,30,49
018      6  IPOS(NR)=IRES
019      20 CONTINUE
020      30 DO 40 J=1,NR
021          M=IPOS(J)
022      31 CALL RIFF(I,RRES,IRES,IND)
023          IF(IND-3)49,32,33
024      32 Z(M)=RRES
025          GO TO 40
026      33 IF(IND-4)36,34,35
027      34 Z(M)=RRES
028          GO TO 40
029      35 IF(IND-6)49,36,36
030      36 IF(COMMA-RRES)37,31,37
031      37 IF(PIL-RRES)38,50,38
032      38 IF(IND-7)49,39,49
033      39 IF(J-NR)49,1,49
034      40 CONTINUE
035      49 WRITE(9,99)
036          GO TO 1
037      99 FORMAT(9X,10HFEL I SUB1)
038      50 RETURN
039          END

```

```

001          SUBROUTINE SKR1
002      C      WRITE CONSTANTS AND STEADY STATE VALUES
003          DIMENSION XS(5),YS(10),US(7)
004          COMMON /DATA/Z(50)
005          COMMON /STAT/ XS,YS,US
006          COMMON /FYS/ G,K0,P0,K2,H,R,B0,A0,A1,V0,V1,V2,S5,T5,
007          FFP,R0,R1
008          WRITE(6,100)Z(1),Z(2),Z(3),Z(4),Z(5)
009      100  FORMAT(1H1,9X,18HFYSISKA KONSTANTER,12X,3HG,=,
010          FF10.5,8H  M/S**2/40X,3HK0=,F10.5,7HKG/M**3/
011          F40X,3HP0=,F10.2,6HN/M**2/
012          F40X,3HK2=,F10.5,9H  KG/M**3/
013          F40X,3HH =,F10.5,/)
014          WRITE(6,200)B0,A0,A1,V0,V1,V2,S5,T5
015      200  FORMAT(///9X,18HFYSISKA PARAMETRAR,12X,3HB,=,F10.5,1HM
016          F/40X,3HA,=,F10.5,4HM**2/
017          F40X,3HA1=,F10.5,4HM**2/
018          F40X,3HV0=,F10.5,4HM**3/
019          F40X,3HV1=,F10.5,4HM**3/
020          F40X,3HV2=,F10.5,4HM**3/
021          F37X,6HALFA5=,F10.5,3H1/S/
022          F37X,6HBETA5=,F15.10,/)
023          WRITE(6,300)FP
024      300  FORMAT(///9X,35HFUKIHALTEN EFTERPRESSPARTIET      FP=,
025          FF10.5)
026          WRITE(6,400)XS(1),XS(2),XS(3),XS(4),XS(5)
027      400  FORMAT(///9X,17HSTATIONARA VARDEN,9X,3HX1=,F10.5,1HM/
028          F26X,3HX2=,F10.5,4HM VP/
029          F26X,3HX3=,F10.5,7HKG/M**3/
030          F26X,3HX4=,F10.5,7HKG/M**3/
031          F26X,3HX5=,F10.5,4HKG/S)
032          WRITE(6,410)YS(5),YS(6),YS(7),YS(9)
033      410  FORMAT(///26X,15HYI=XI,I=1,2,3,4/
034          F26X,3HY5=,F10.5,7HM PER S/
035          F26X,3HY6=,F10.5,23H  KG/M**2  FIBRE WEIGHT/
036          F26X,3HY7=,F10.5,34H  WATER TO FIBRE RATION AT DRY END/
037          F26X,3HY9=,F10.5,27H  KG/M**2  WET BASIS WEIGHT/)
038          WRITE(6,420)US(1),US(2),US(3),US(4),US(5),US(6),US(7)
039      420  FORMAT(///26X,3HU1=,F10.5,6HM**3/S/
040          F26X,3HU2=,F10.5,7HKG/M**3/
041          F26X,3HU3=,F10.5,6HM**3/S/
042          F26X,3HU4=,F10.5,1HM/
043          F26X,3HU5=,F10.5,4HKG/S/
044          F26X,3HU6=,F10.5,3HM/S/
045          F26X,3HU7=,F10.5,5H  BAR/ )
046          WRITE(6,430)R0,R1
047      430  FORMAT(///9X,12HRETENTION      ,6HR....=F10.5/
048          F21X,6HDR/DW=,F10.5)
049          RETURN
050          END

```

```

001          SUBROUTINE SKR2
002 C          SKRIVER UT MATRISERNA OCH SKALFAKTORERNA
003          DIMENSION A(5,5),B(5,7),C(7,5),D(7,7),Z(50)
004          COMMON /MATR/ A,B,C,D
005          COMMON /DATA/ Z
006          WRITE(6,450)
007          450 FORMAT(///9X,8HA-MATRIS)
008          WRITE(6,451)((A(I,J),J=1,5),I=1,5)
009          451 FORMAT(//(10X,5F10.5))
010          WRITE(6,452)((B(I,J),J=1,7),I=1,5)
011          452 FORMAT(///9X,8HB-MATRIS//(10X,7F10.5))
012          WRITE(6,454)((C(I,J),J=1,5),I=1,7)
013          454 FORMAT(///9X,8HC-MATRIS//(10X,5F10.5))
014          WRITE(6,456)((D(I,J),J=1,7),I=1,7)
015          456 FORMAT(///9X,8HD-MATRIS//(10X,7F10.5))
016          WRITE(6,460)(Z(I),I=31,38)
017          460 FORMAT(///10X,15HSKALFAKTOR U1 =,F15.5/
018          F22X,4HU2 =,F15.5/
019          F22X,4HU3 =,F15.5/
020          F22X,4HU4 =,F15.5/
021          F22X,4HU5 =,F15.5/
022          F22X,4HU6 =,F15.5/
023          F22X,4HU7 =,F15.5//
024          F10X,16HTIDSSKALFAKTOR =,F10.5)
025          WRITE(6,461)(Z(I),I=41,48)
026          461 FORMAT(///10X,18HSKALFAKTOR X1,Y1 =,F15.5/
027          F21X,7HX2,Y2 =,F15.5/
028          F21X,7HX3,Y3 =,F15.5/
029          F21X,7HX4,Y4 =,F15.5/
030          F23X,5HX5 =,F15.5/
031          F23X,5HY5 =,F15.5/
032          F23X,5HY6 =,F15.5/
033          F23X,5HY7 =,F15.5)
034          RETURN
035          END

```

```

001          SUBROUTINE SKR3
002 C          SKRIVER POTENTIOMETERLISTA
003          COMMON /MOT/ POT(50)
004          WRITE(6,510)POT(1),POT(2),POT(3),POT(4)
005 510 FORMAT(///9X,18HPOTENTIOMETERLISTA//
006          F20X,8HP00=A11=,F10.5/
007          F20X,8HP01=A12=,F10.5/
008          F20X,8HQ00=B13=,F10.5/
009          F20X,8HQ01=B14=,F10.5)
010          WRITE(6,520)POT(5),POT(6),POT(7),POT(8),POT(9)
011 520 FORMAT(/20X,8HP10=A21=,F10.5/
012          F20X,8HP11=A22=,F10.5/
013          F20X,8HQ10=B23=,F10.5/
014          F20X,8HQ11=B24=,F10.5/
015          F20X,8HQ12=B25=,F10.5)
016          WRITE(6,530)POT(10),POT(11),POT(12),POT(13),POT(14),POT(15)
017          F,POT(16),POT(17)
018 530 FORMAT(/20X,8HP20=A31=,F10.5/
019          F20X,8HP21=A32=,F10.5/
020          F20X,8HP22=A33=,F10.5/
021          F20X,8HP23=A34=,F10.5/
022          F20X,8HQ20=B31=,F10.5/
023          F20X,8HQ21=B32=,F10.5/
024          F20X,8HQ22=B33=,F10.5/
025          F20X,8HQ23=B34=,F10.5/)
026          WRITE(6,540)POT(18),POT(19),POT(20),POT(21),POT(22),POT(23),
027          FPOT(24)
028 540 FORMAT(20X,8HP30=A41=,F10.5/
029          F20X,8HP31=A42=,F10.5/
030          F20X,8HP32=A43=,F10.5/
031          F20X,8HP33=A44=,F10.5/
032          F20X,8HQ30=B43=,F10.5/
033          F20X,8HQ31=B44=,F10.5/
034          F20X,8HQ32=B46=,F10.5/)
035          WRITE(6,550)POT(25),POT(26)
036 550 FORMAT(/20X,8HP40=A55=,F10.5/
037          F20X,8HQ40=B57=,F10.5/)
038          WRITE(6,560)POT(27),POT(28),POT(29),POT(30),POT(31),POT(32)
039          F,POT(33),POT(34),POT(35),POT(36),POT(37)
040 560 FORMAT(20X,8HP25=C11=,F10.5/
041          F20X,8HQ26=C51=,F10.5/
042          F20X,8HQ25=C61=,F10.5/
043          F20X,8HP26=C71=,F10.5/
044          F20X,8HQ35=C22=,F10.5/
045          F20X,8HP35=C52=,F10.5/
046          F20X,8HP36=C62=,F10.5/
047          F20X,8HQ36=C72=,F10.5/
048          F20X,8HQ37=C33=,F10.5/
049          F20X,8HP37=C63=,F10.5/
050          F20X,8HP38=C73=,F10.5/)
051          WRITE(6,570)POT(38),POT(39),POT(40),POT(41),POT(42),POT(43)
052 570 FORMAT(20X,8HQ39=C44=,F10.5/
053          F20X,8HQ38=C75=,F10.5/
054          F20X,8HQ17=D64=,F10.5/
055          F20X,8HP17=D74=,F10.5/
056          F20X,8HP39=D66=,F10.5 /
057          F20X,8HQ39=D76=,F10.5/)
058          RETURN
059          END

```

B I L A G A II

Utskrift av aktuellt driftfall

dels med tidskonstant 0.01 och dels med tidskonstant 0.1

FYSISKA KONSTANTER

G,= 9.81000 M/S**2
 K0= 1.29300KG/M**3
 P0= 100000.00N/M**2
 K2=1000.00000 KG/M**3
 H = 1.40000

FYSISKA PARAMETRAR

B,= 6.00000M
 A,= 10.00000M**2
 A1= 0.00080M**2
 V0= 10.00000M**3
 V1= 10.00000M**3
 V2= 100.00000M**3
 ALFA5= 0.010001/S
 BETA5= 0.0050000000

FUKTHALTEN EFTERPRESSPARTIET FP= 2.00000

STATIONARA VARDEN

X1= 0.50062M
 X2= 4.20105M VP
 X3= 2.52362KG/M**3
 X4= 0.54505KG/M**3
 X5= 2.50000KG/S

YI=XI, I=1,2,3,4

Y5= 9.60452M PER S
 Y6= 0.04005 KG/M**2 FIBRE WEIGHT
 Y7= 0.05817 WATER TO FIBRE RATION AT DRY END
 Y9= 0.04238 KG/M**2 WET BASIS WEIGHT

U1= 0.08900M**3/S
 U2= 27.00000KG/M**3
 U3= 1.19000M**3/S
 U4= 0.02065M
 U5= 0.24500KG/S
 U6= 10.00000M/S
 U7= 5.00000 BAR

RETENTION R....= 0.78402
 DR/DW= 3.70742

A-MATRIS

-0.01266	-0.01266	0.00000	0.00000	0.00000
-0.25503	-0.28658	0.00000	0.00000	0.00000
-0.03194	-0.03194	-0.11900	0.11010	0.00000
0.00010	0.00010	0.00039	-0.01190	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-0.01000

B-MATRIS

0.00000	0.00000	0.10000	-5.76271	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	2.01526	-116.13372	1.21810	0.00000	0.00000
2.64549	0.00890	0.05451	-14.54287	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	-0.00545	0.04771	0.00000	0.00055	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00500

C-MATRIS

1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000
1.02139	1.02139	0.00000	0.00000	0.00000
0.00525	0.00525	0.01958	0.00000	0.00000
0.00409	0.00409	0.01524	0.00000	-0.01247

D-MATRIS

0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	2.39259	0.00000	-0.00494	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	1.86186	0.00000	-0.00073	0.00000

SKALFAKTOR U1 = 100000.00000
 U2 = 50.00000
 U3 = 5000.00000
 U4 = 200000.00000
 U5 = 5000.00000
 U6 = 100.00000
 U7 = 2000.00000

TIDSSKALFAKTOR = 0.01000

SKALFAKTOR X1,Y1 = 1000.00000
 X2,Y2 = 200.00000
 X3,Y3 = 500.00000
 X4,Y4 = 10000.00000
 X5 = 2000.00000
 Y5 = 500.00000
 Y6 = 25000.00000
 Y7 = 50000.00000

POTENTIOMETERLISTA

P00=A11= -1.26551
 P01=A12= -6.32754

Q00=B13= 2.00000
Q01=B14= -2.88136

P10=A21= -5.10066
P11=A22= -28.65764
Q10=B23= 8.06105
Q11=B24= -11.61337
Q12=B25= 4.87238

P20=A31= -1.59683
P21=A32= -7.98413
P22=A33= -11.90000
P23=A34= 0.55050
Q20=B31= 1.32275
Q21=B32= 8.90000
Q22=B33= 0.54505
Q23=B34= -3.63572

P30=A41= 0.10478
P31=A42= 0.52390
P32=A43= 0.78084
P33=A44= -1.19000
Q30=B43= -1.09010
Q31=B44= 0.23856
Q32=B46= 5.50085

P40=A55= -1.00000
Q40=B57= 0.50000

[P25=C11= 1.00000]
Q26=C51= 0.51070
Q25=C61= 0.13135
P26=C71= 0.20444
[Q35=C22= 1.00000]
P35=C52= 2.55349
P36=C62= 0.65677
Q36=C72= 1.02218
[Q37=C33= 1.00000]
P37=C63= 0.97889
P38=C73= 1.52351

[Q39=C44= 1.00000]
Q38=C75= -0.31166
Q17=D64= 0.29907
P17=D74= 0.46547
P39=D66= -1.23517
Q39=D76= -0.36407

klamrar [] innebar att C-matrisens rador
inte kopplas upp.

FYSISKA KONSTANTER

G.= 9.81000 M/S**2
 K0= 1.29300KG/M**3
 P0= 100000.00N/M**2
 K2=1000.00000 KG/M**3
 H = 1.40000

FYSISKA PARAMETRAR

B.= 6.00000M
 A.= 10.00000M**2
 A1= 0.00080M**2
 V0= 10.00000M**3
 V1= 10.00000M**3
 V2= 100.00000M**3
 ALFA5= 0.010001/S
 BETA5= 0.0050000000

FUKTHALTEN EFTERPRESSPARTIET FP= 2.00000

STATIONARA VARDEN

X1= 0.50062M
 X2= 4.20105M VP
 X3= 2.52362KG/M**3
 X4= 0.54505KG/M**3
 X5= 2.50000KG/S

Y1=X1, I=1,2,3,4

Y5= 9.60452M PER S
 Y6= 0.04005 KG/M**2 FIBRE WEIGHT
 Y7= 0.05817 WATER TO FIBRE RATION AT DRY END
 Y9= 0.04238 KG/M**2 WET BASIS WEIGHT

U1= 0.08900M**3/S
 U2= 27.00000KG/M**3
 U3= 1.19000M**3/S
 U4= 0.02065M
 U5= 0.24500KG/S
 U6= 10.00000M/S
 U7= 5.00000 BAR

RETENTION R....= 0.78402
 DR/DW= 3.70742

A-MATRIS

-0.01266	-0.01266	0.00000	0.00000	0.00000
-0.25503	-0.28658	0.00000	0.00000	0.00000
-0.03194	-0.03194	-0.11900	0.11010	0.00000
0.00010	0.00010	0.00039	-0.01190	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-0.01000

B-MATRIS

0.00000	0.00000	0.10000	-5.76271	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	2.01526	-116.13372	1.21810	0.00000	0.00000
2.64549	0.00890	0.05451	-14.54287	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	-0.00545	0.04771	0.00000	0.00055	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00500

C-MATRIS

1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000
1.02139	1.02139	0.00000	0.00000	0.00000
0.00525	0.00525	0.01958	0.00000	0.00000
0.00409	0.00409	0.01524	0.00000	-0.01247

D-MATRIS

0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	2.39259	0.00000	-0.00494	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	1.86186	0.00000	-0.00073	0.00000

SKALFAKTOR U1 = 100000.00000
 U2 = 50.00000
 U3 = 5000.00000
 U4 = 200000.00000
 U5 = 5000.00000
 U6 = 100.00000
 U7 = 2000.00000

TIDSSKALFAKTOR = 0.10000

SKALFAKTOR X1,Y1 = 1000.00000
 X2,Y2 = 200.00000
 X3,Y3 = 5000.00000
 X4,Y4 = 100000.00000
 X5 = 2000.00000
 Y5 = 500.00000
 Y6 = 25000.00000
 Y7 = 200000.00000

POTENTIOMETERLISTA

P00=A11= -0.12655
 P01=A12= -0.63275

Q00=B13= 0.20000
Q01=B14= -0.28814

P10=A21= -0.51007
P11=A22= -2.86576
Q10=B23= 0.80610
Q11=B24= -1.16134
Q12=B25= 0.48724

P20=A31= -1.59683
P21=A32= -7.98413
P22=A33= -1.19000
P23=A34= 0.05505
Q20=B31= 1.32275
Q21=B32= 8.90000
Q22=B33= 0.54505
Q23=B34= -3.63572

P30=A41= 0.10478
P31=A42= 0.52390
P32=A43= 0.07808
P33=A44= -0.11900
Q30=B43= -1.09010
Q31=B44= 0.23856
Q32=B46= 5.50085

P40=A55= -0.10000
Q40=B57= 0.05000

[P25=C11= 1.00000]
Q26=C51= 0.51070
Q25=C61= 0.13135
P26=C71= 0.81774
[Q35=C22= 1.00000]
P35=C52= 2.55349
P36=C62= 0.65677
Q36=C72= 4.08871
[Q37=C33= 1.00000]
P37=C63= 0.09789
P38=C73= 0.60940

[Q39=C44= 1.00000]
Q38=C75= -1.24664
Q17=D64= 0.29907
P17=D74= 1.86186
P39=D66= -1.23517
Q39=D76= -1.45628

klamrar innebär att C-matrisens rutor
inte kopplas upp

B I L A G A III

Diagram på upptagna kurvor

Öppna systemet, diagram 1 - 13

Reglerade systemet, diagram 14 - 19

Innehållsförteckning för bilaga III

Diagram	Störning	Tidsaxeln 1 cm är t sekunder t
Öppna systemet		
1	u_1	1000
2		10
3	u_2	1000
4		10
5	u_3	1000
6		10
7	u_4	1000
8		10
9	u_5	1000
10		10
11	u_6	1000
12		10
13	u_7	10
Reglerade systemet		
14	u_3	50
15		
16	u_4	50
17		
18	u_5	50
19		

Diagram 1

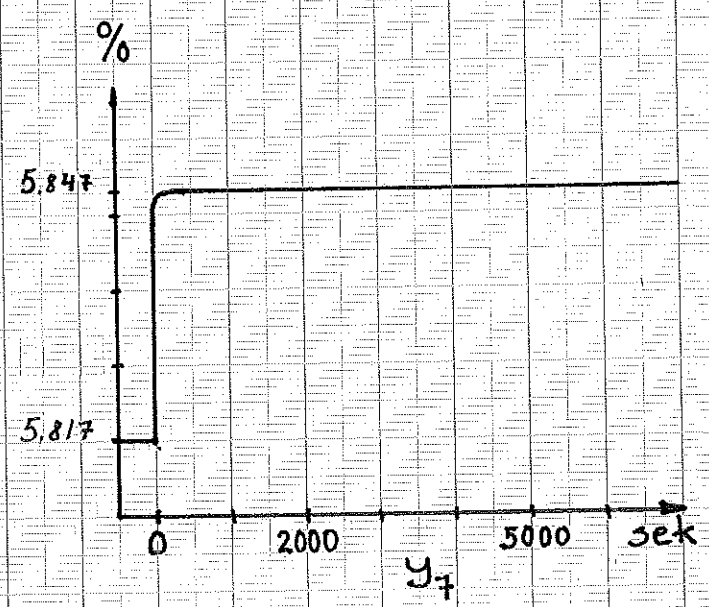
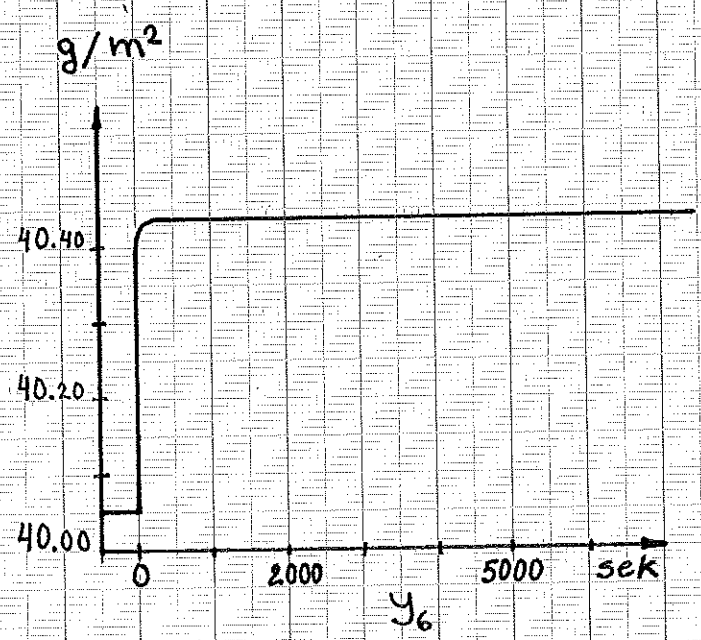
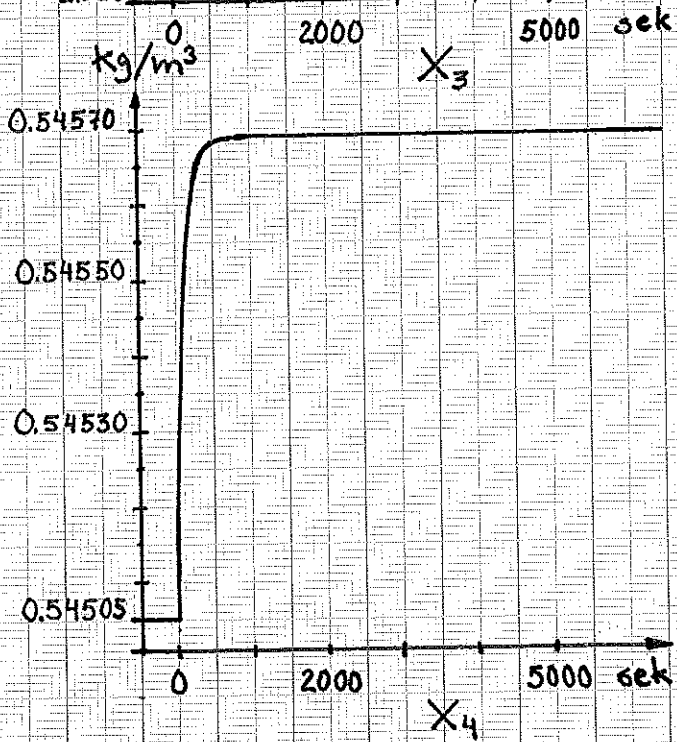
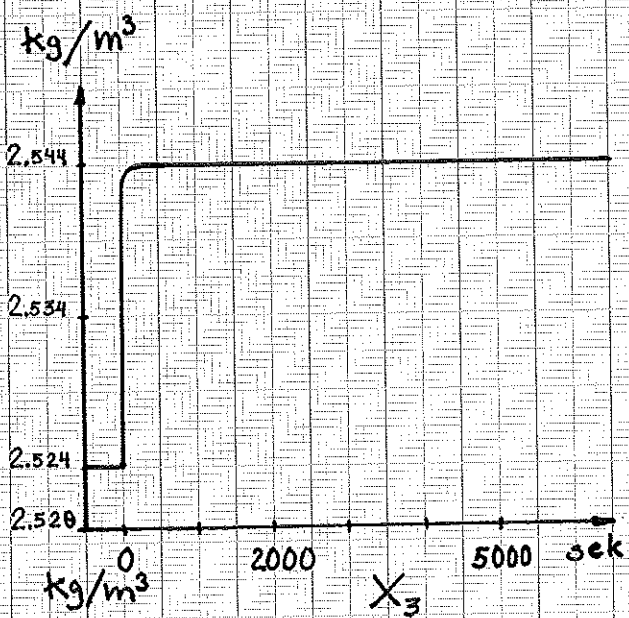
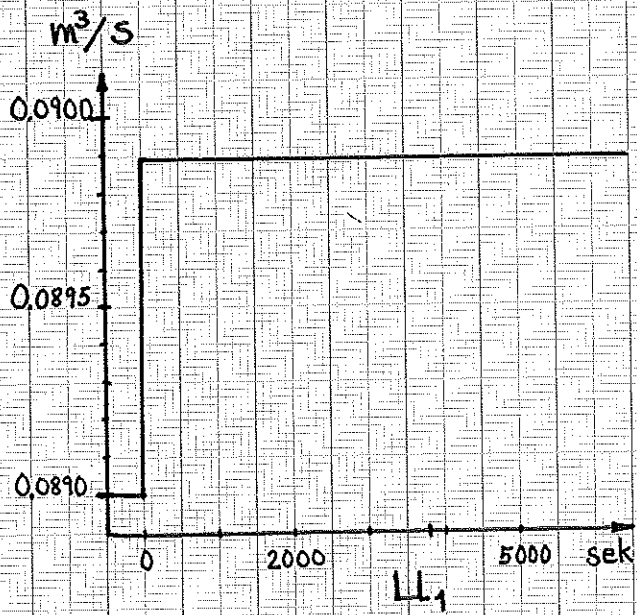


Diagram 2

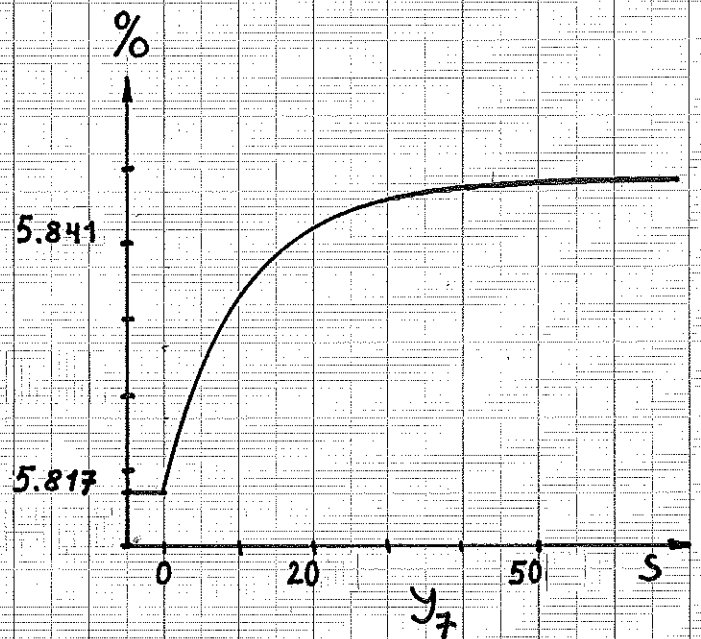
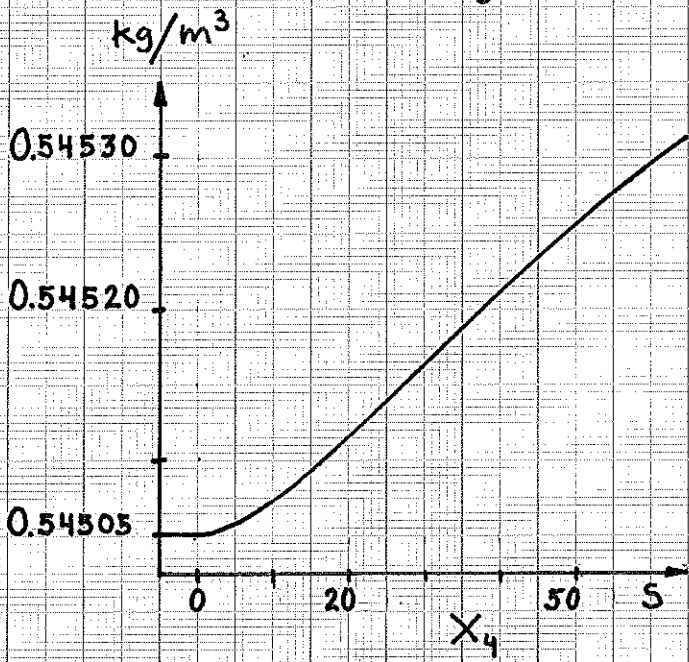
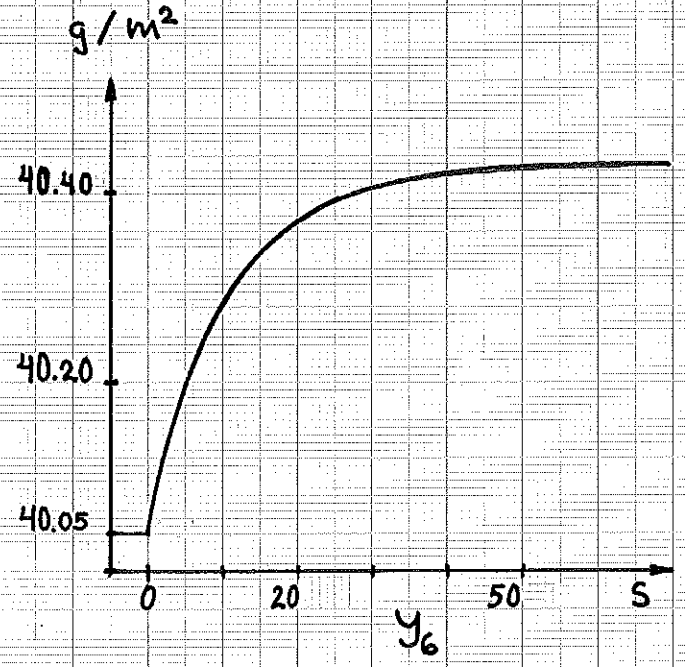
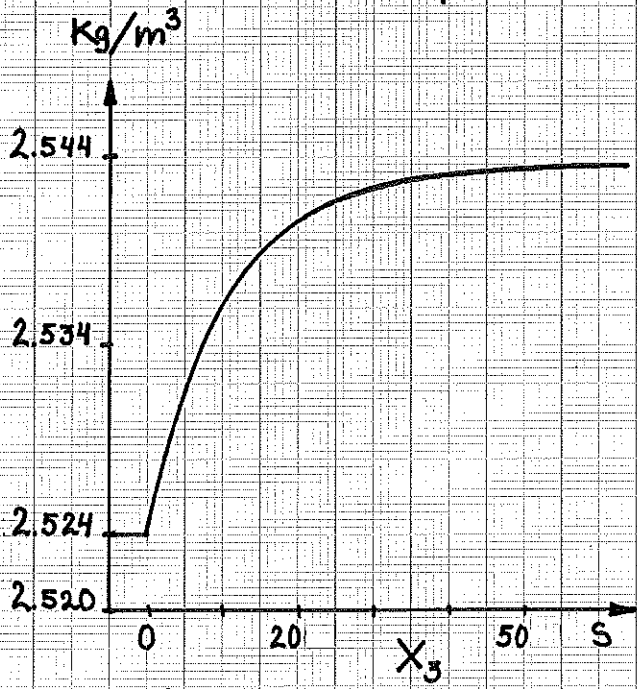
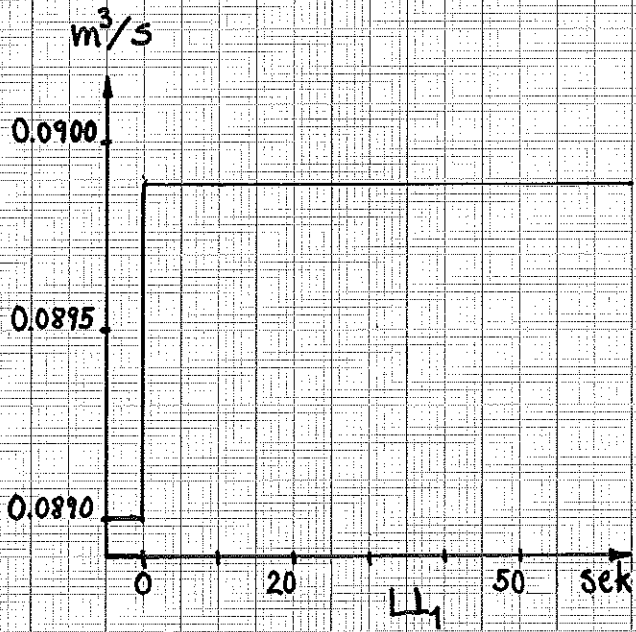


Diagram 3

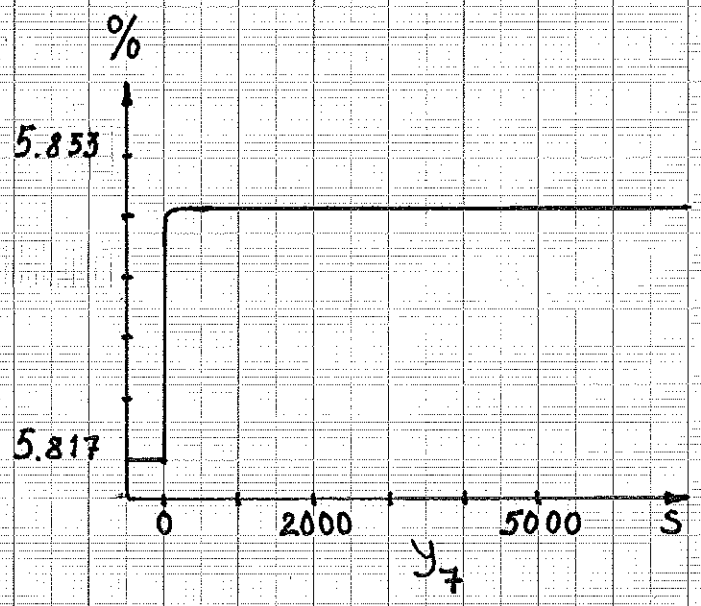
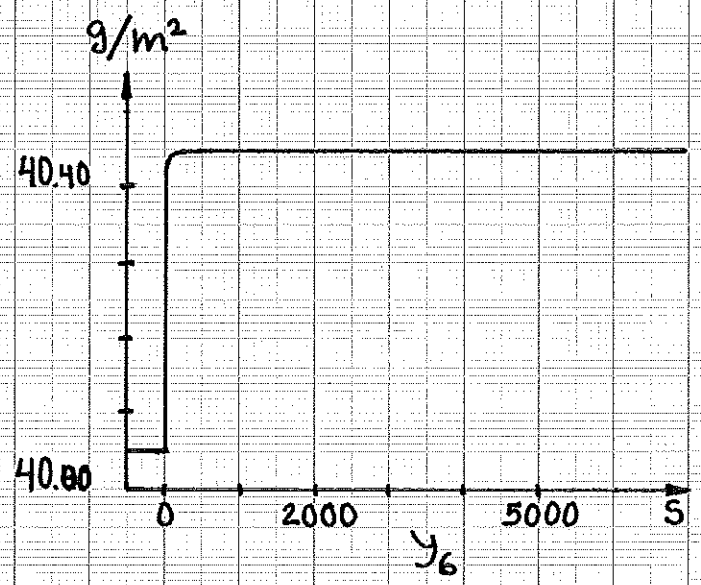
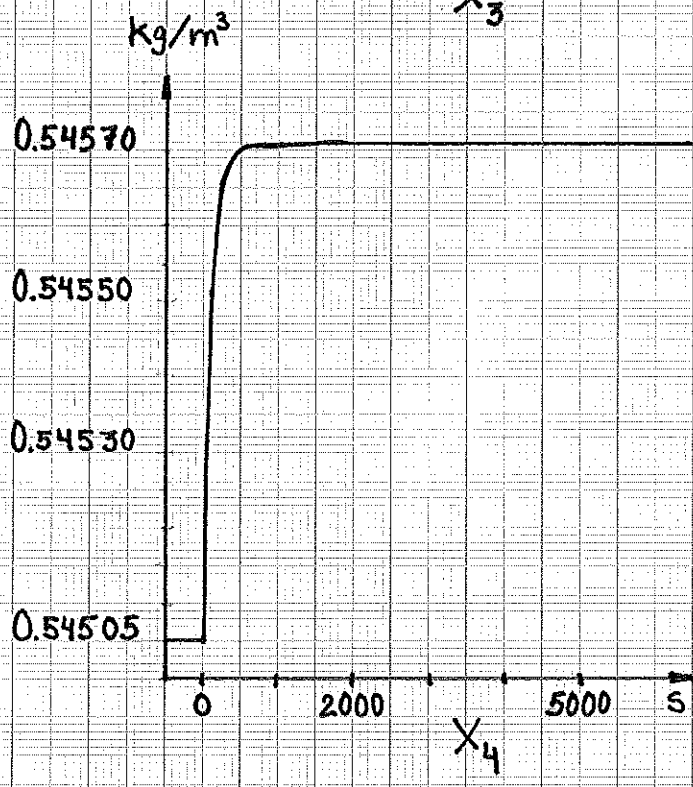
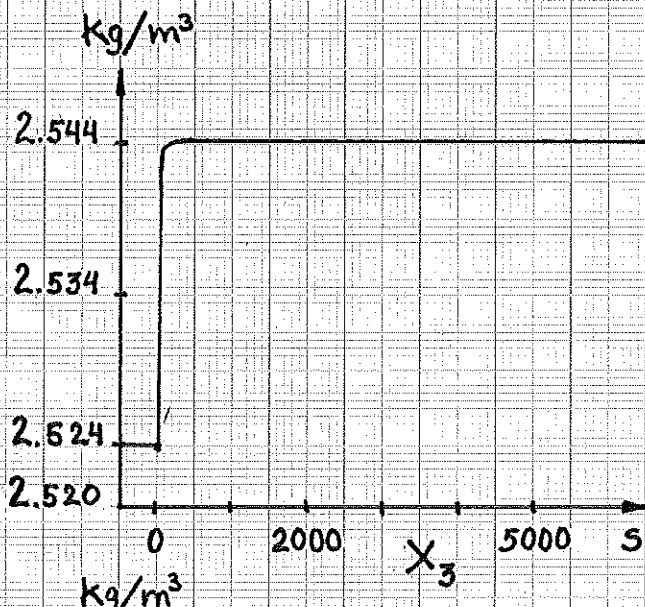
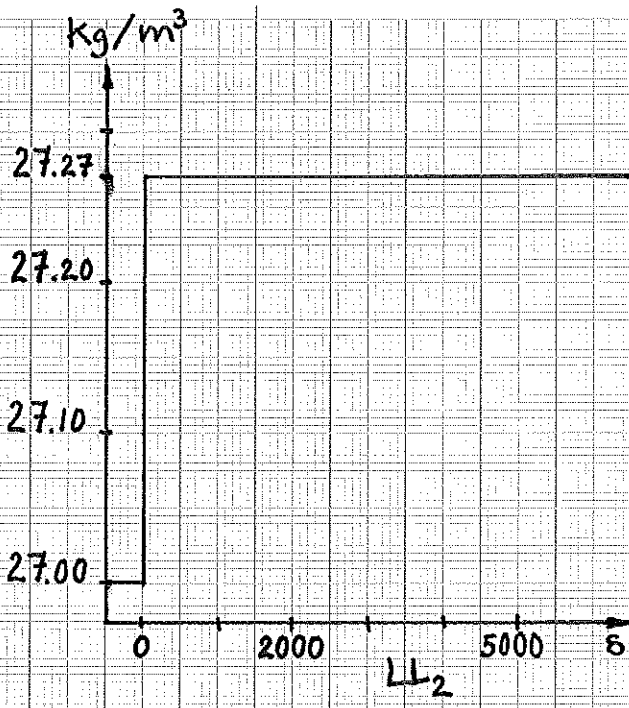


Diagram 4

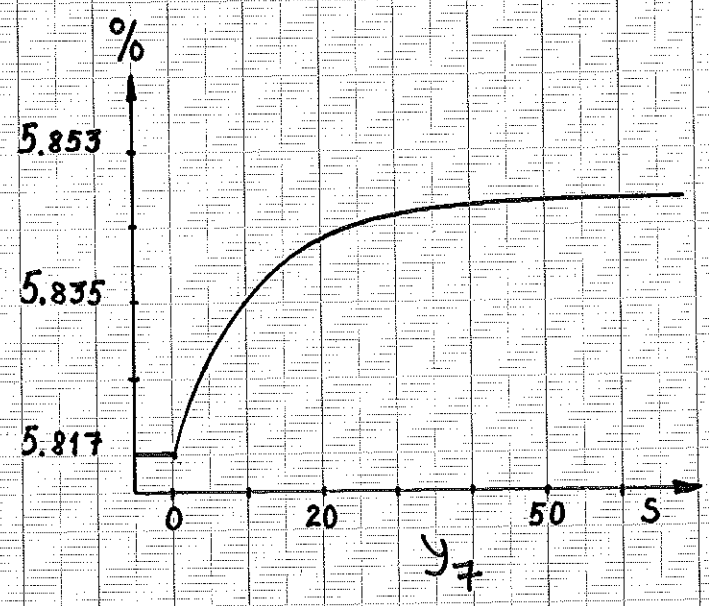
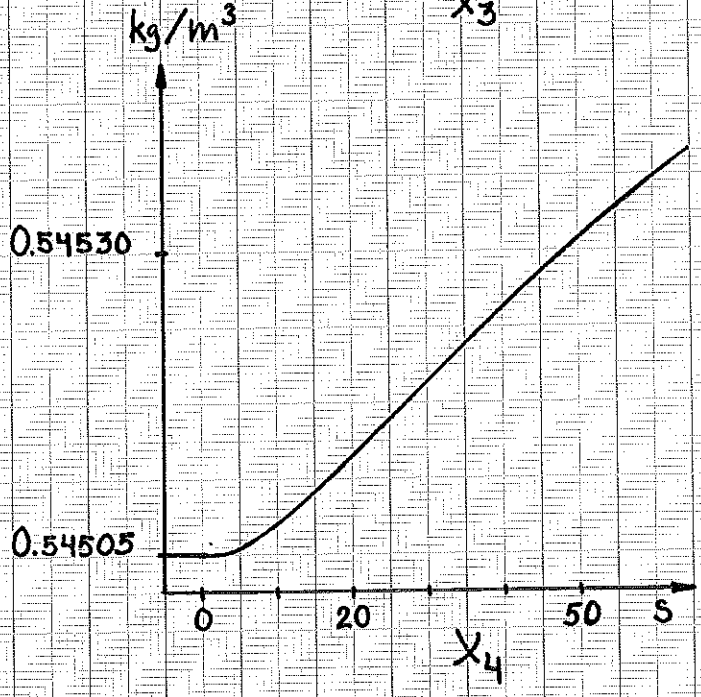
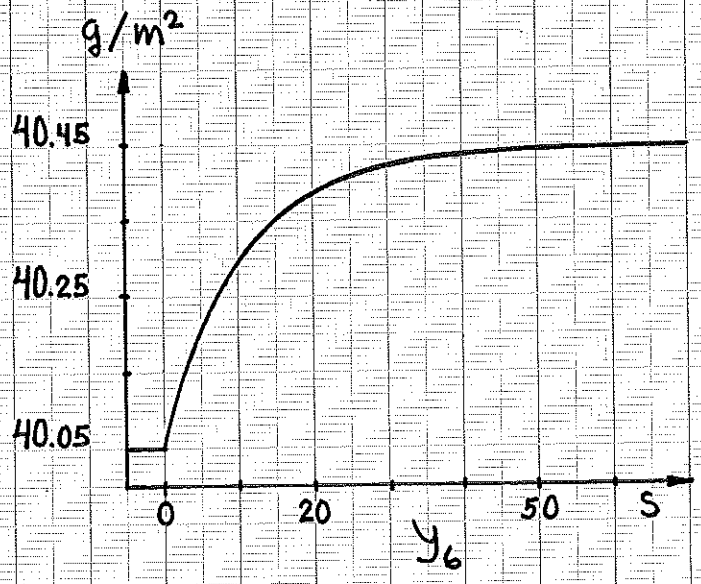
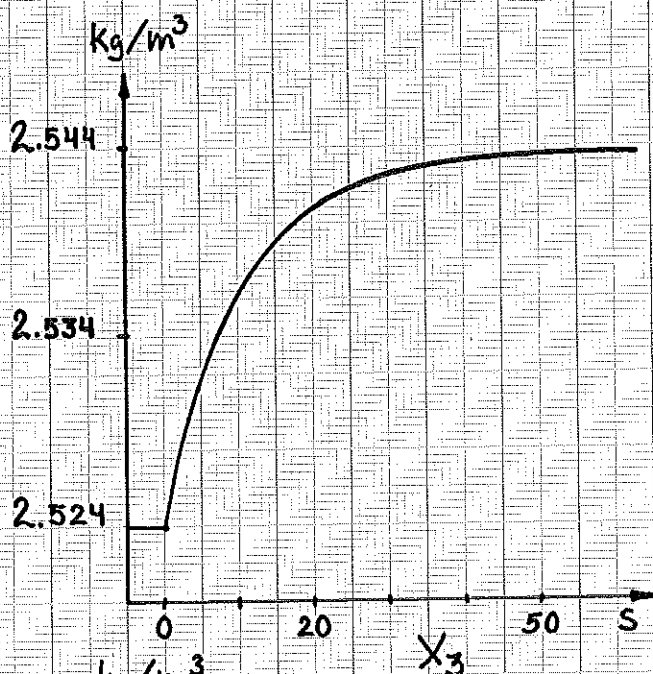
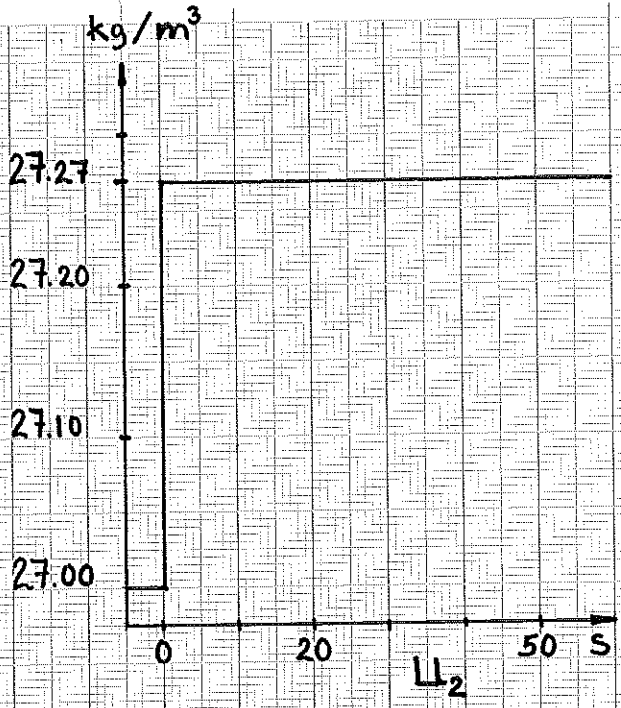


Diagram 5

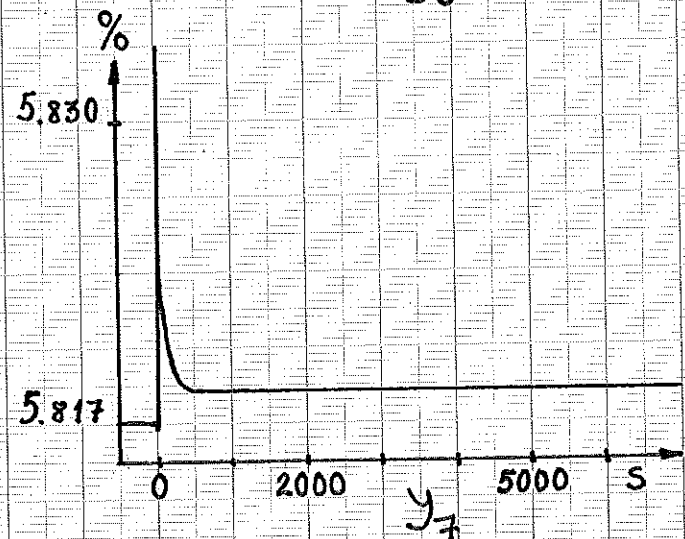
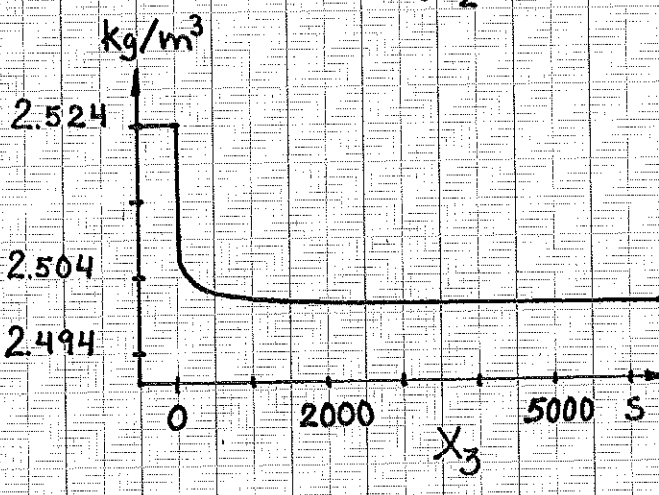
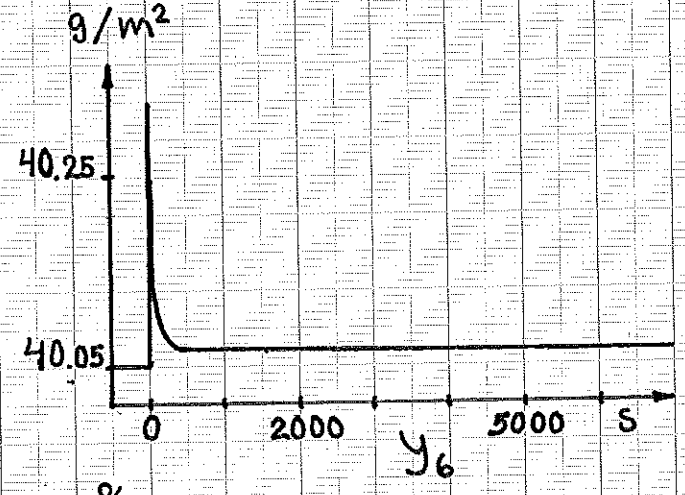
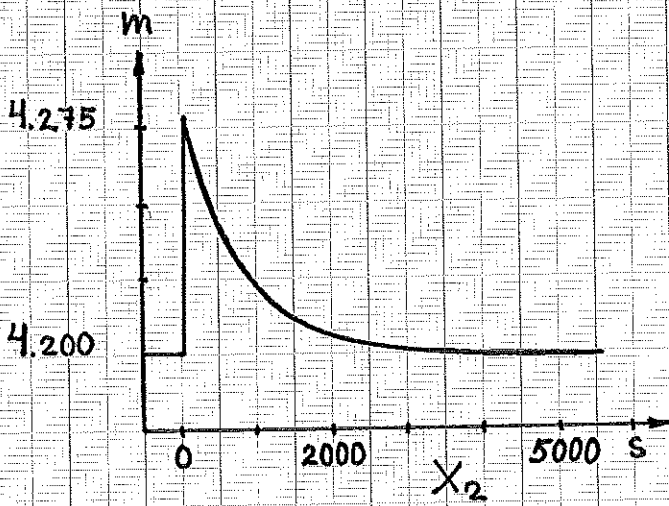
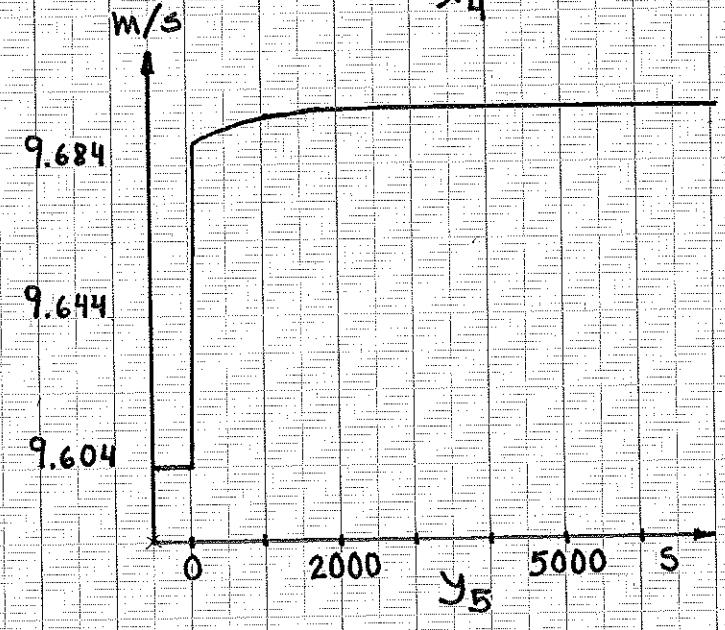
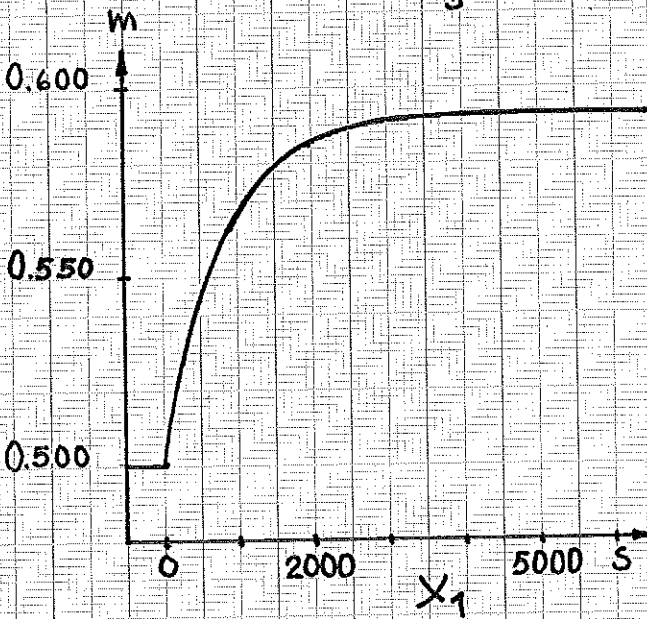
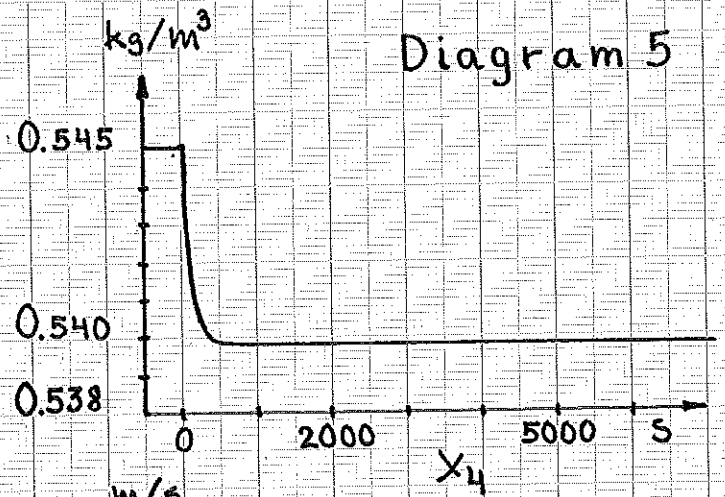
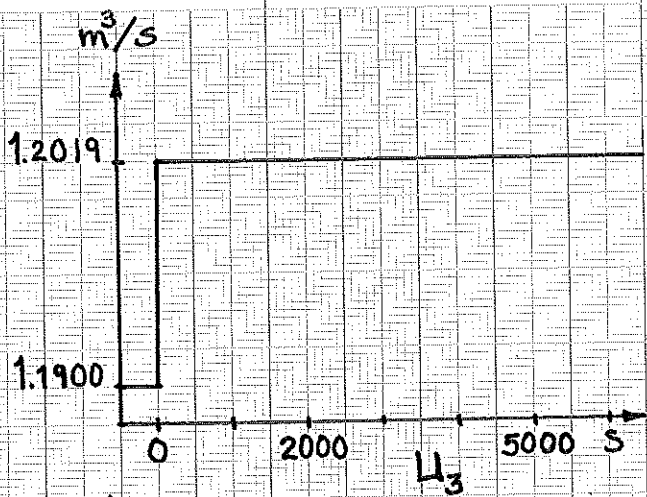


Diagram 6

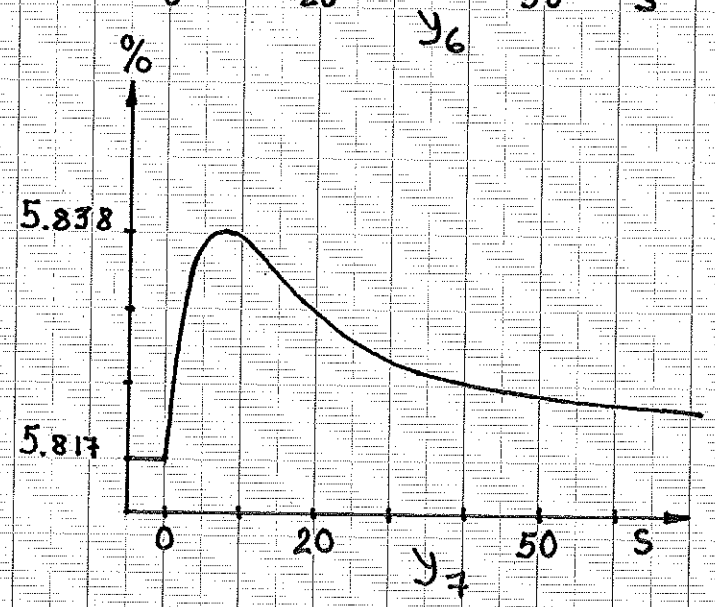
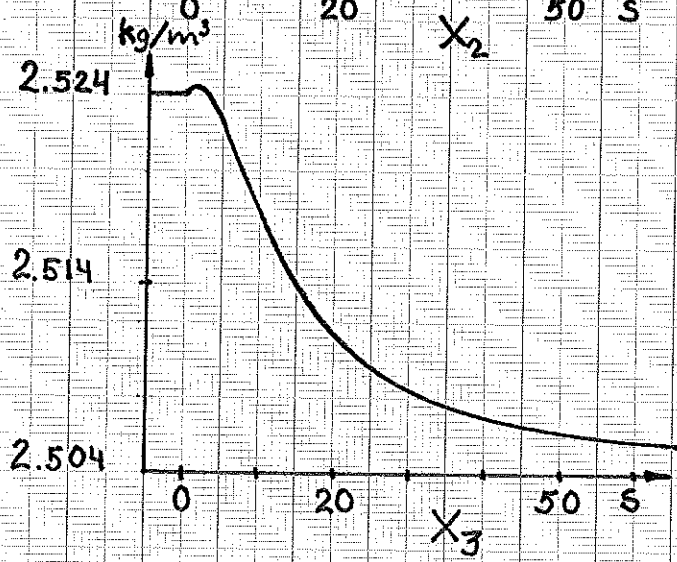
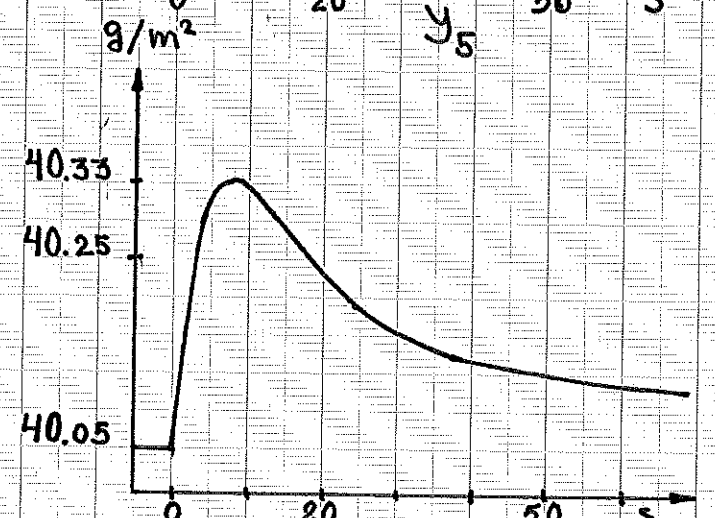
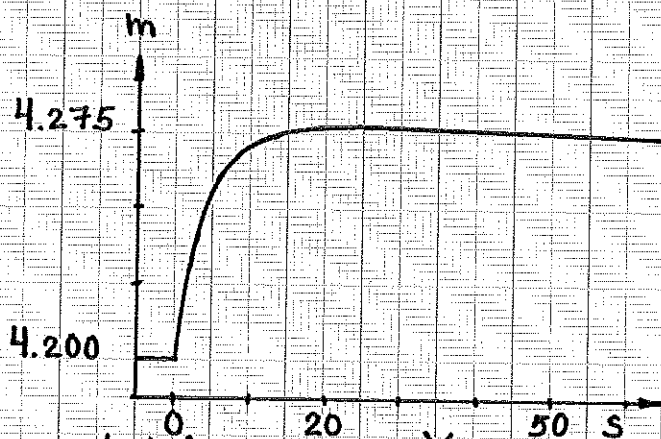
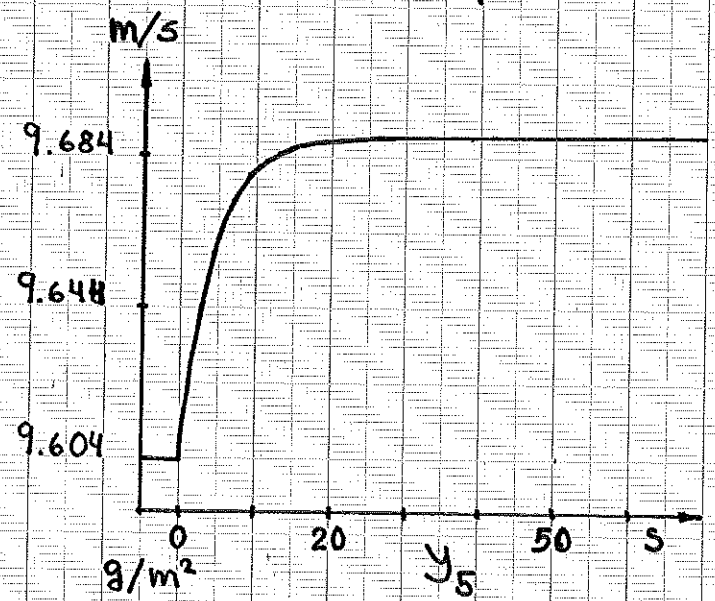
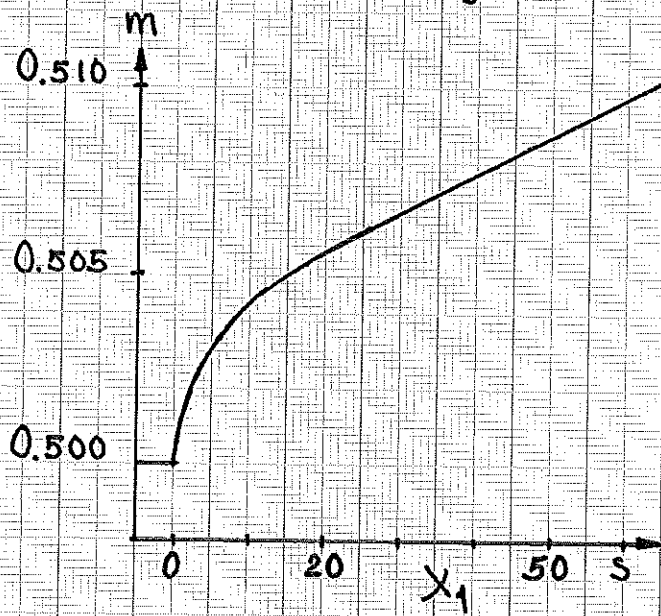
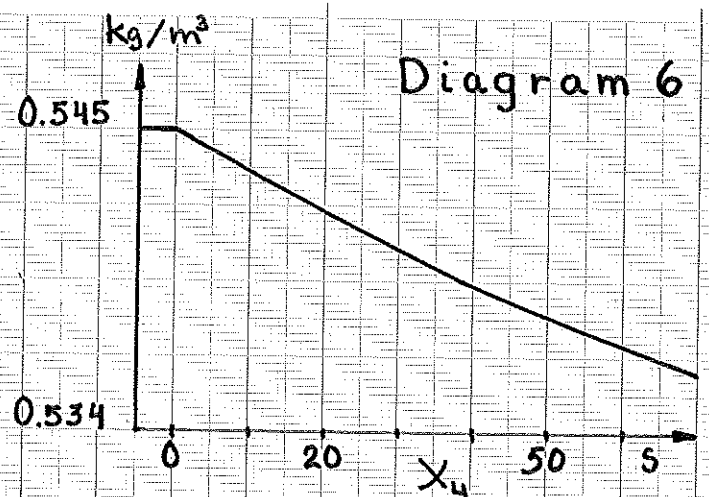
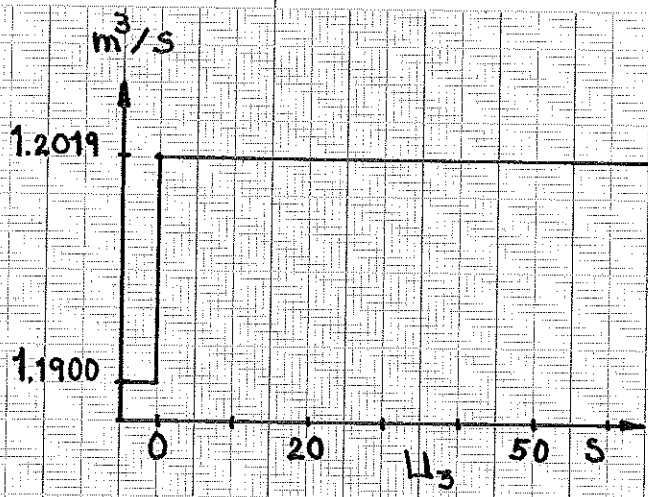


Diagram 7

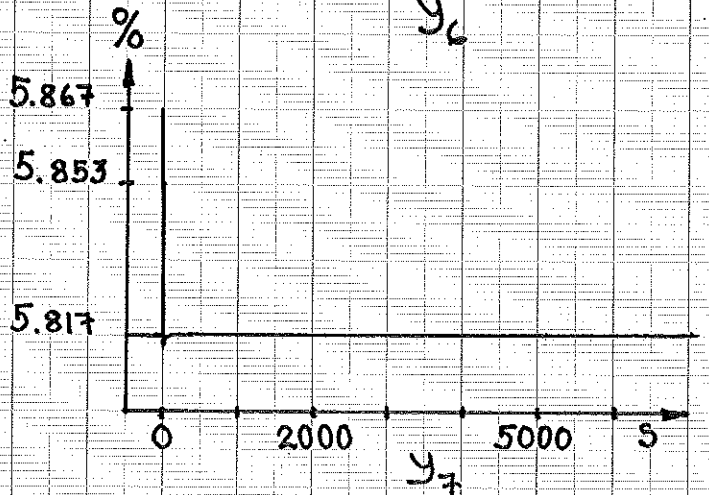
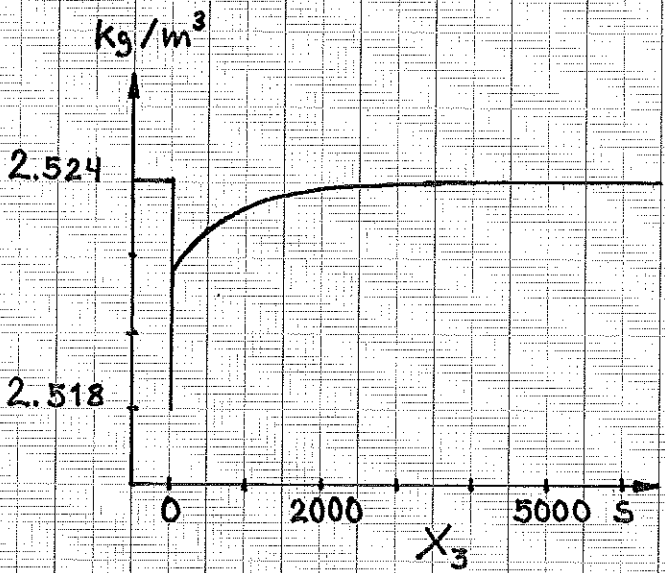
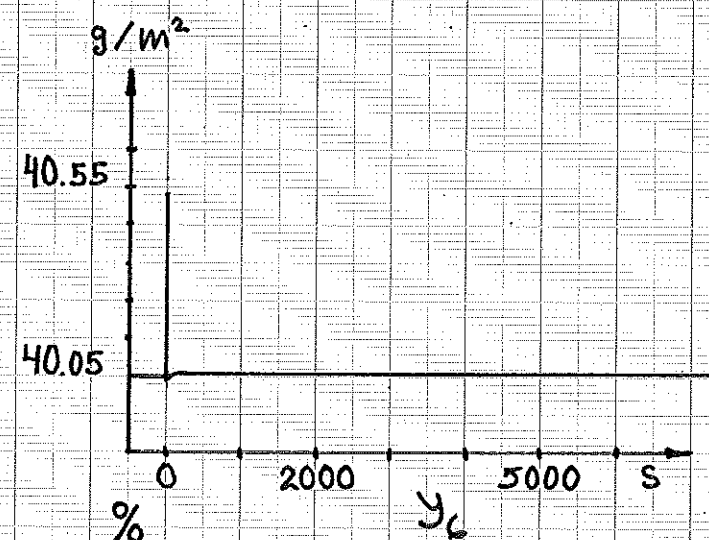
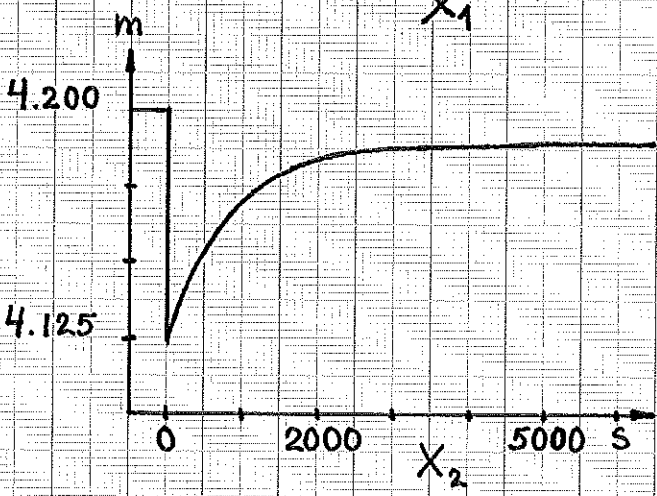
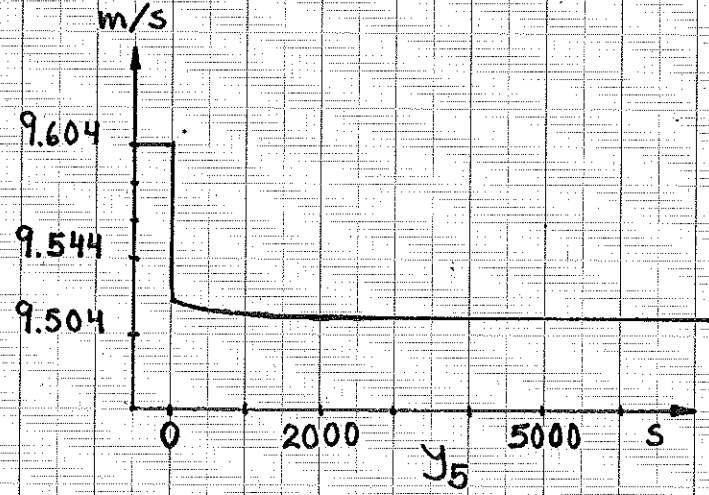
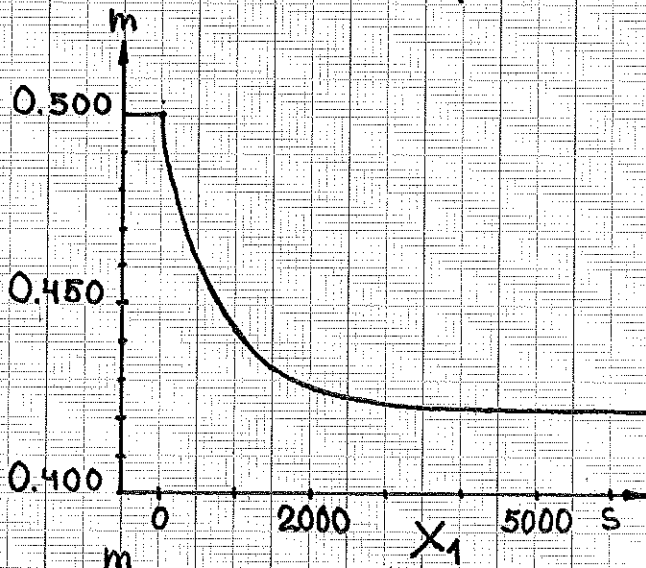
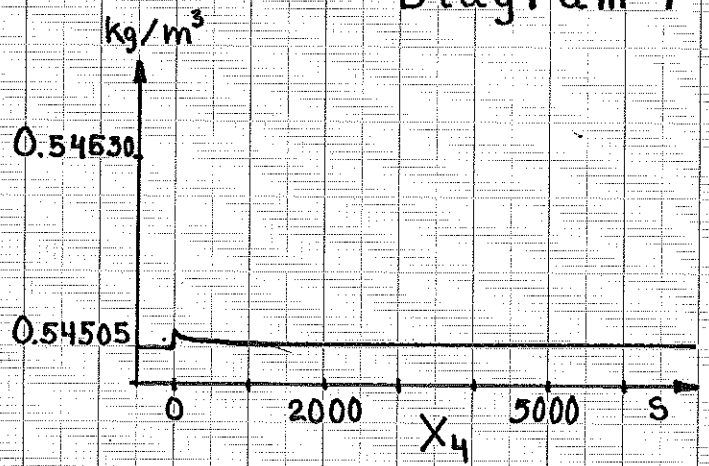
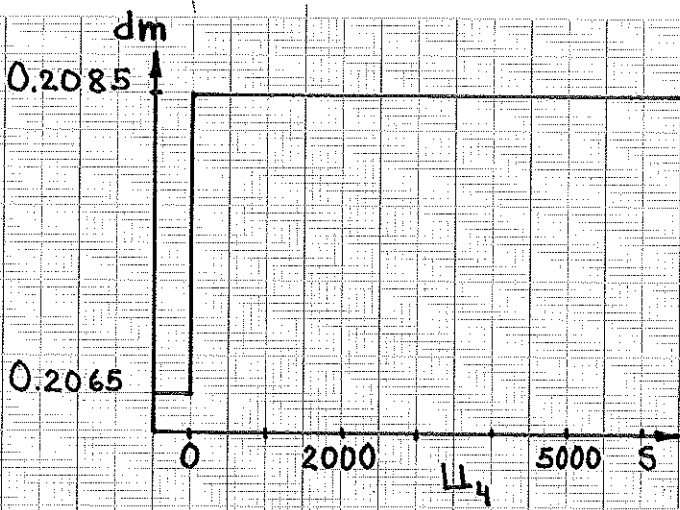


Diagram 8

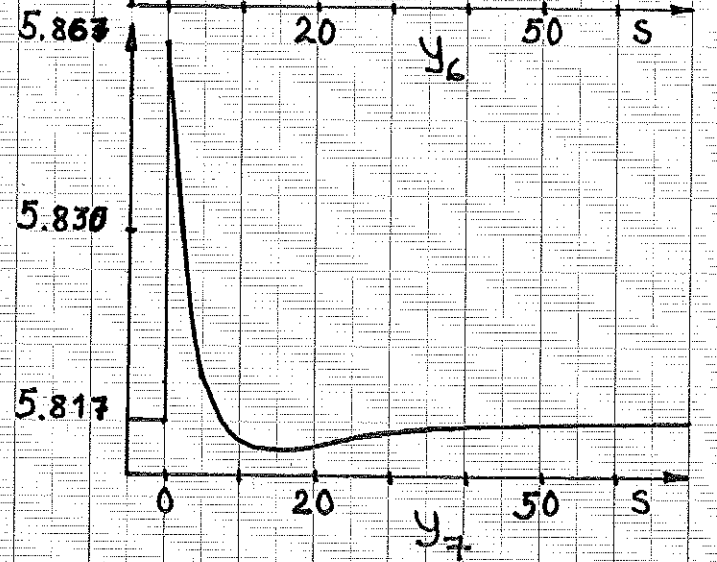
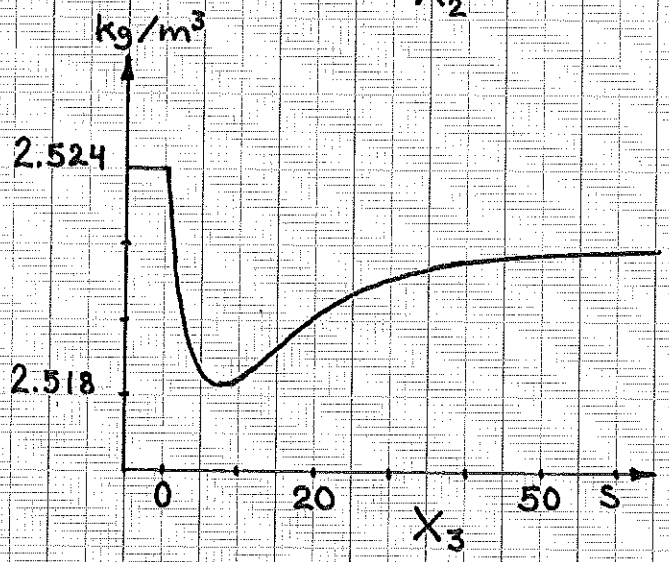
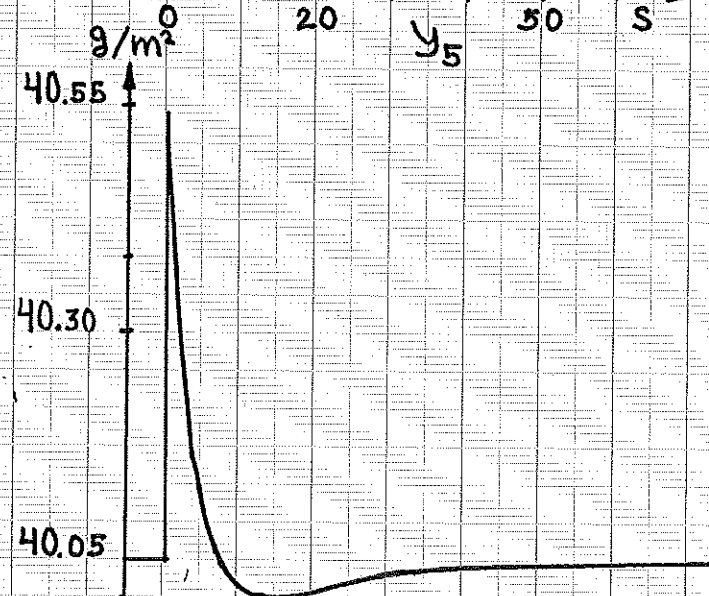
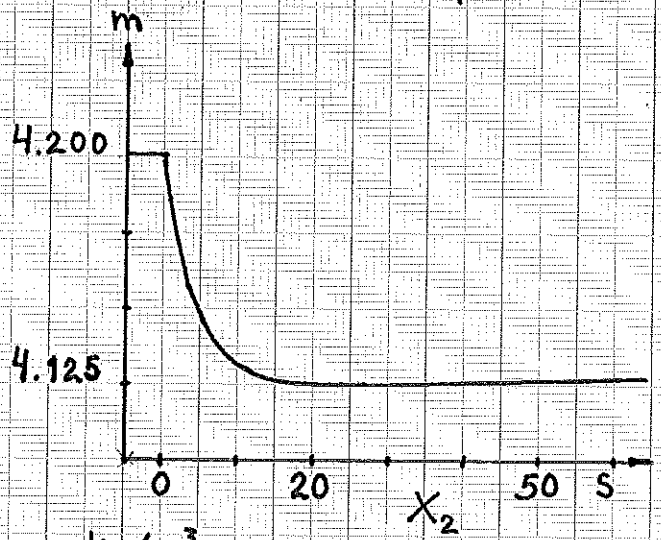
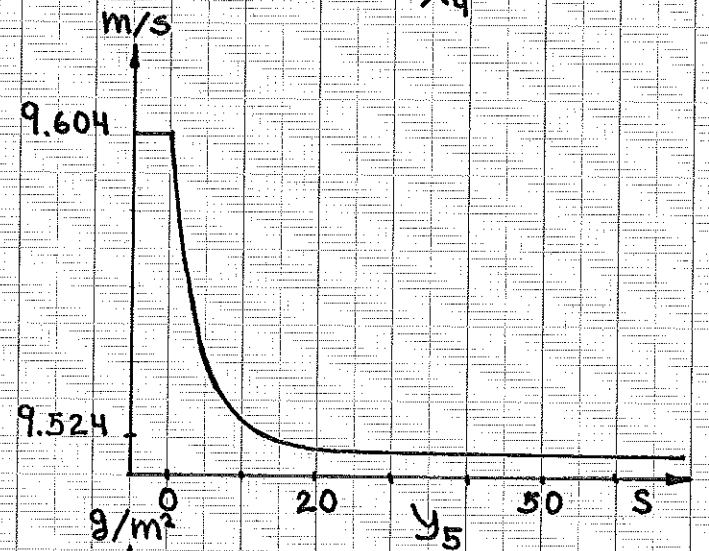
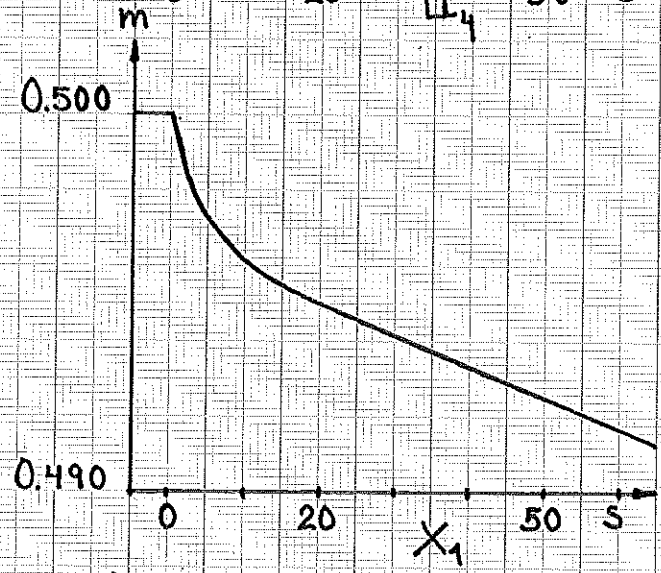
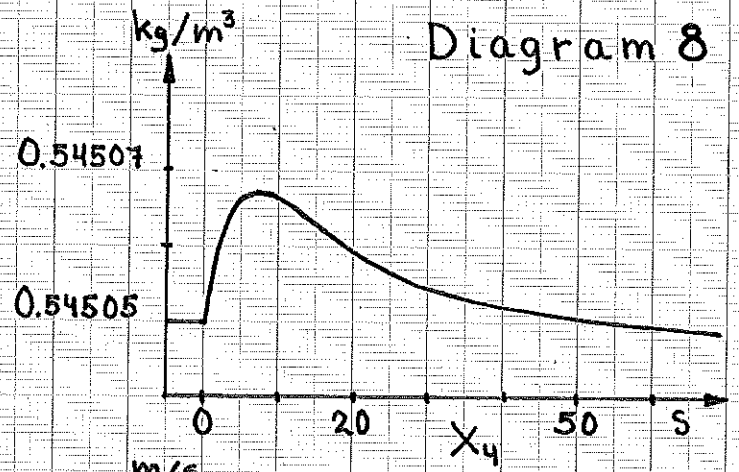
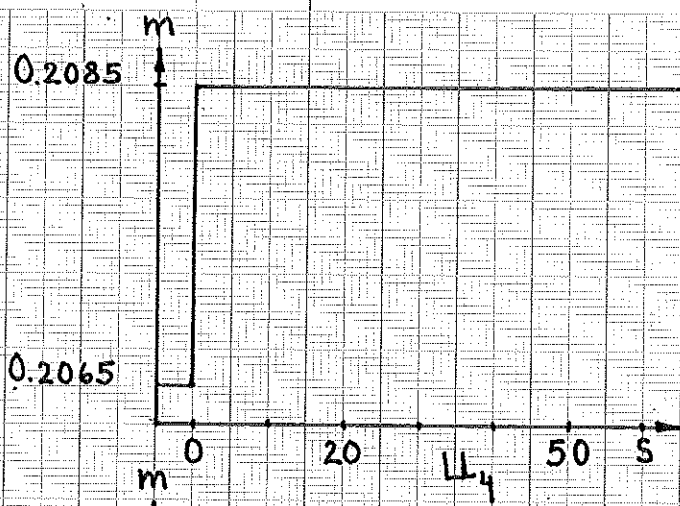


Diagram 9

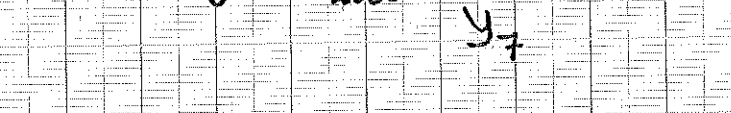
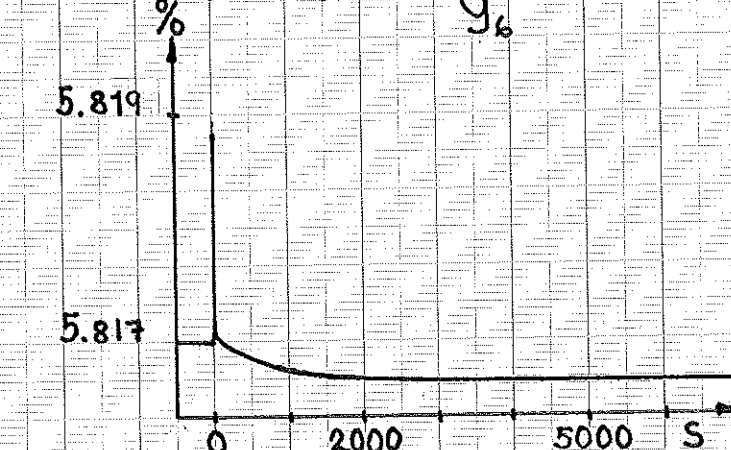
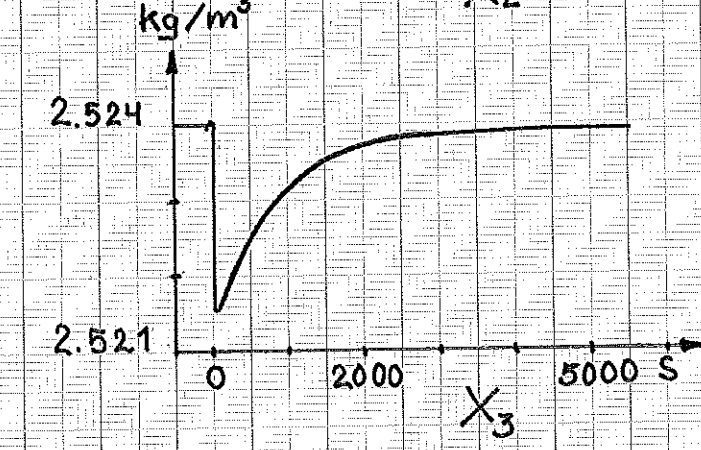
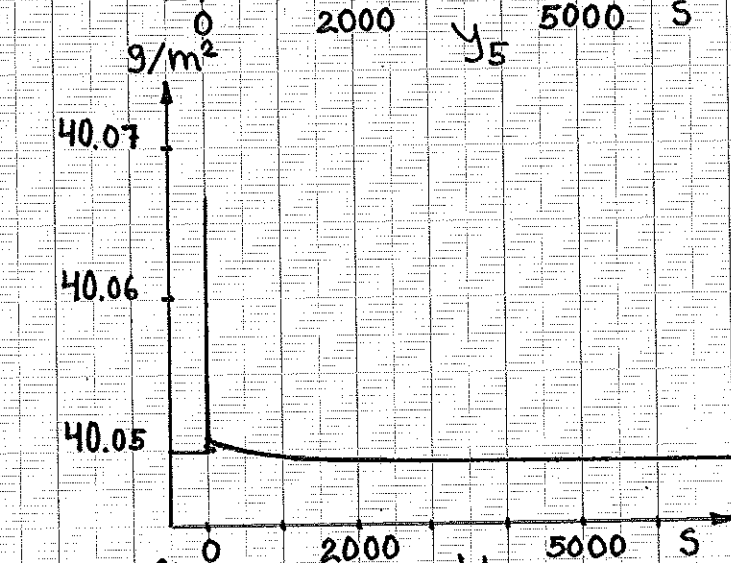
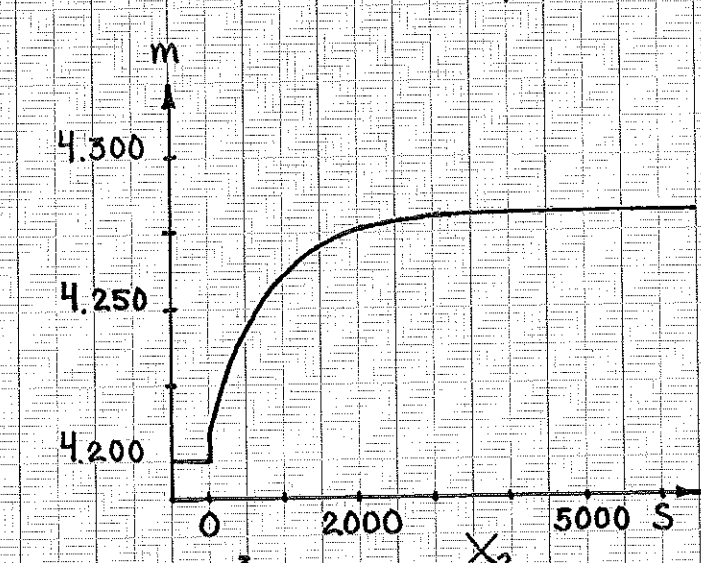
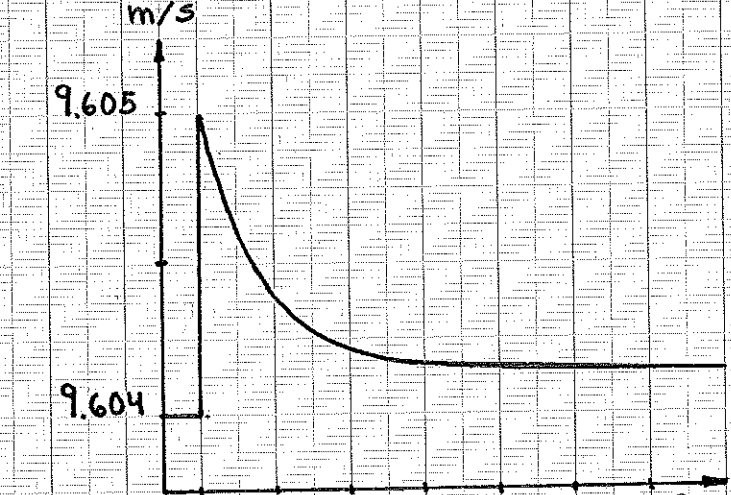
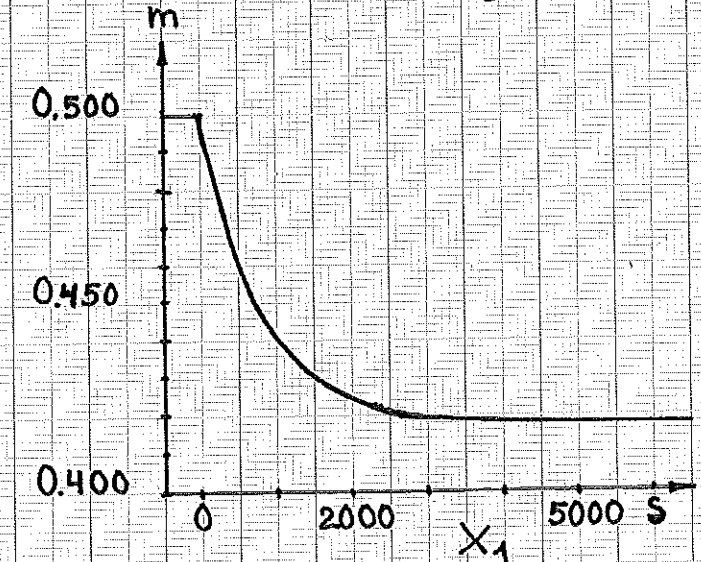
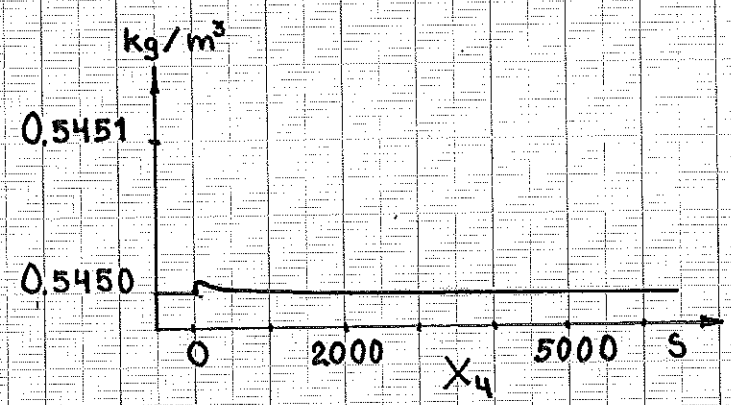
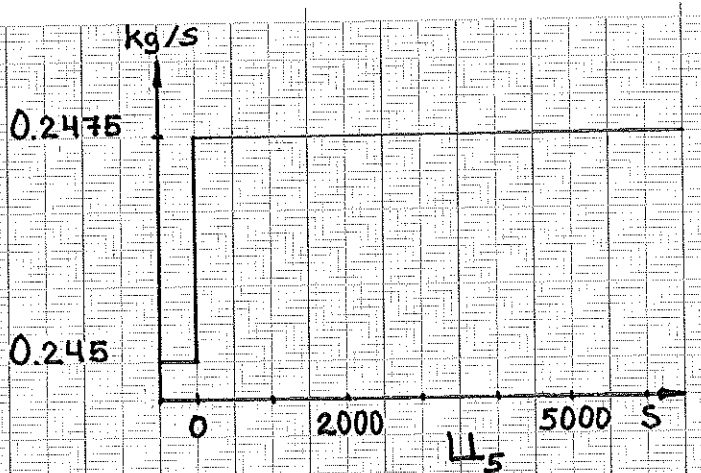


Diagram 10

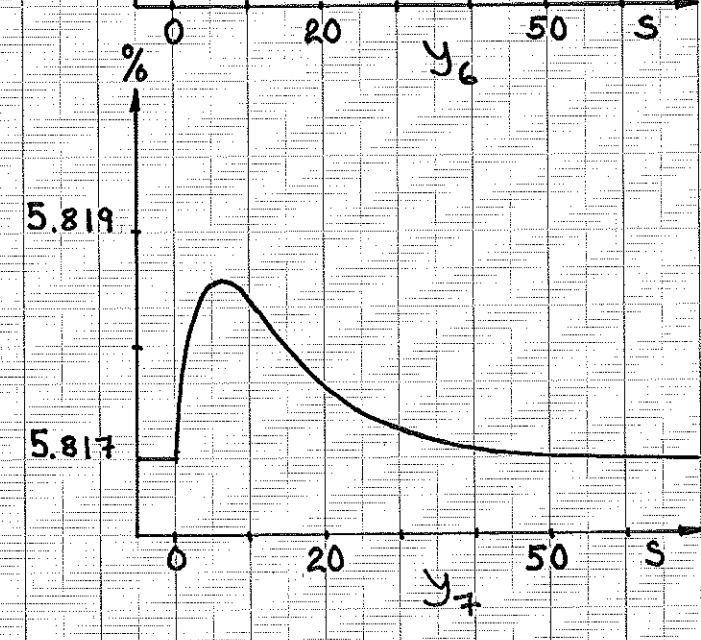
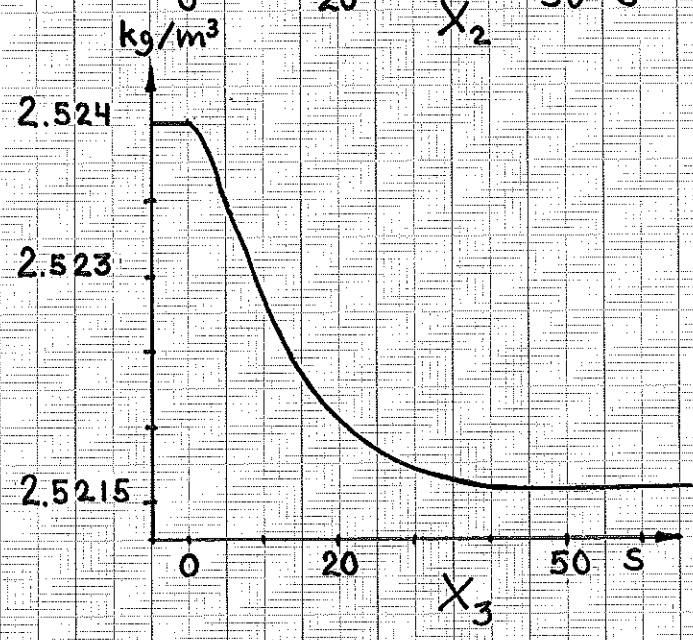
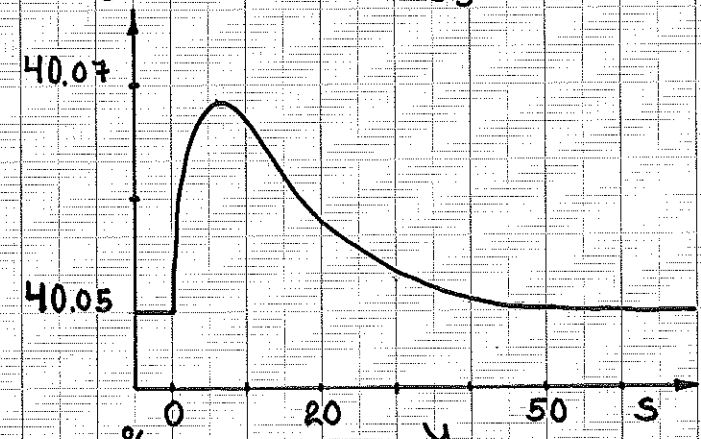
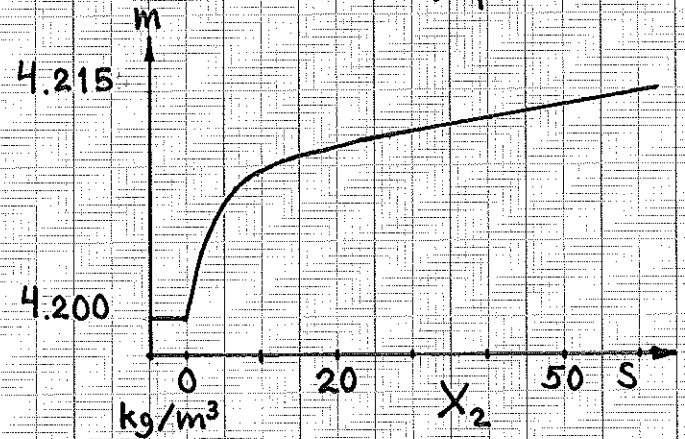
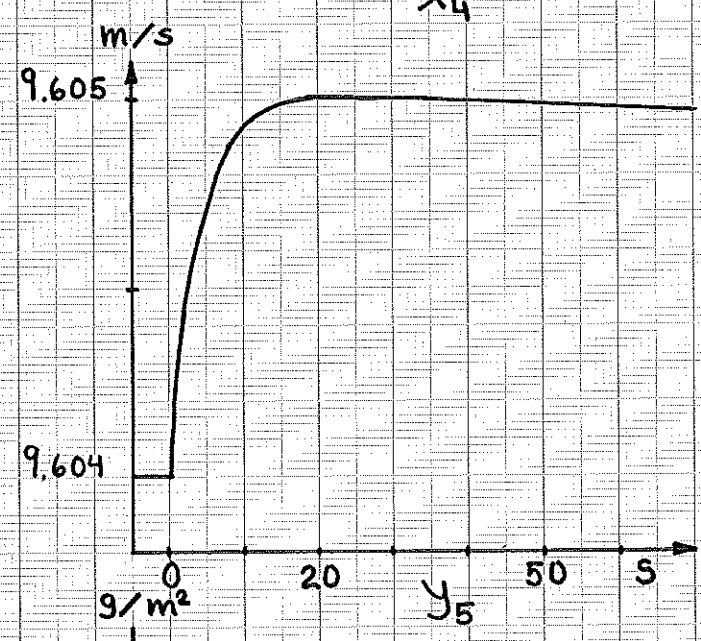
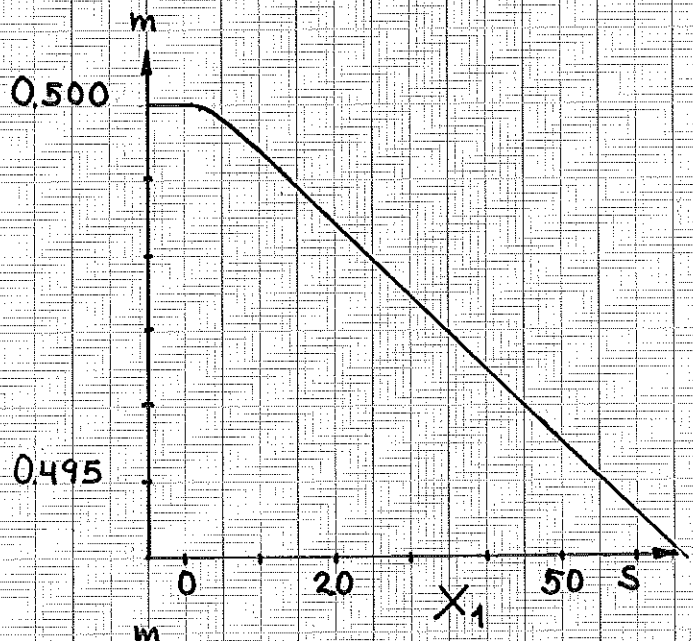
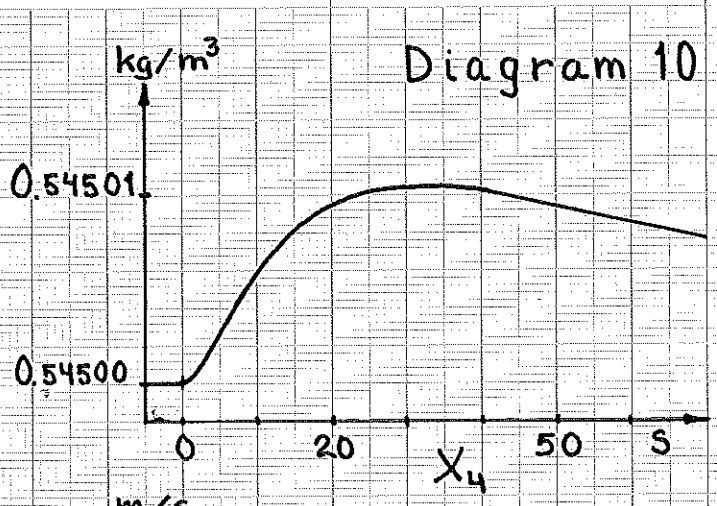
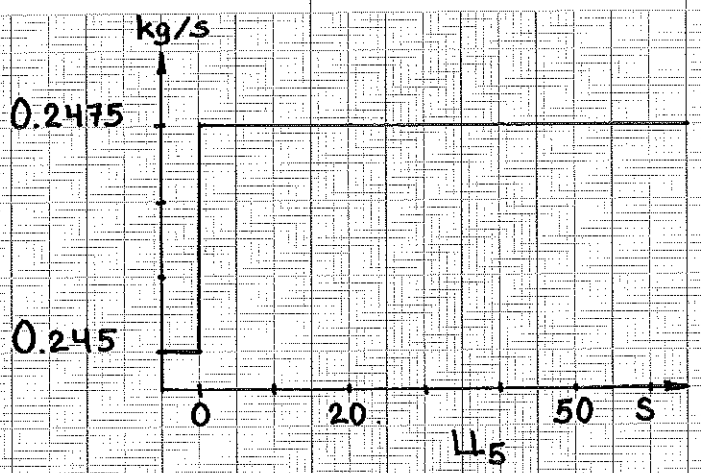


Diagram 11

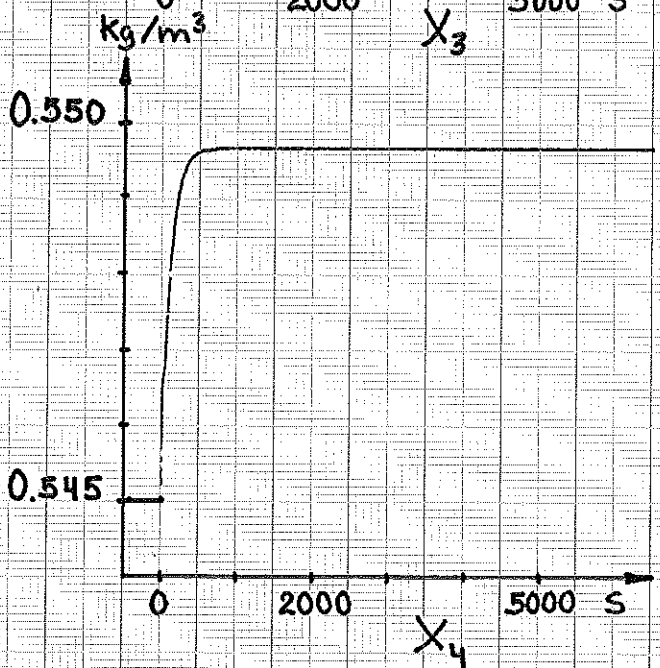
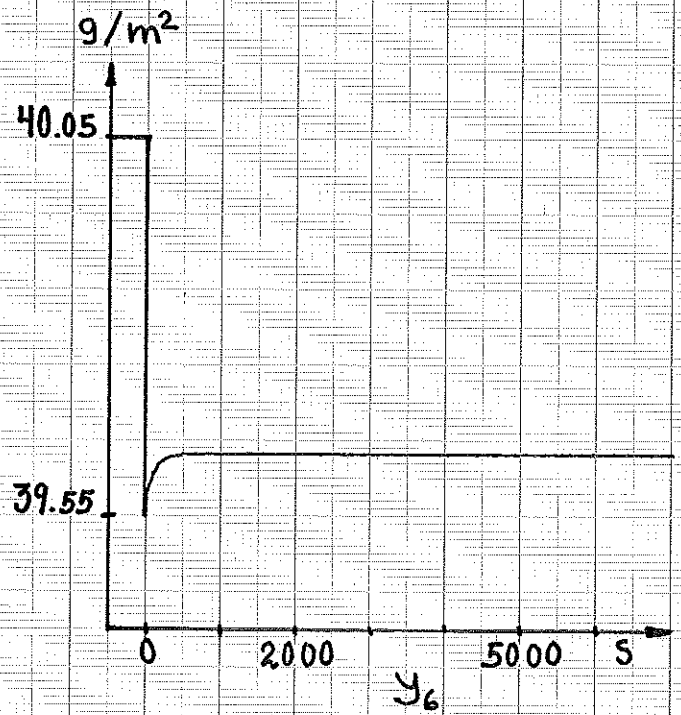
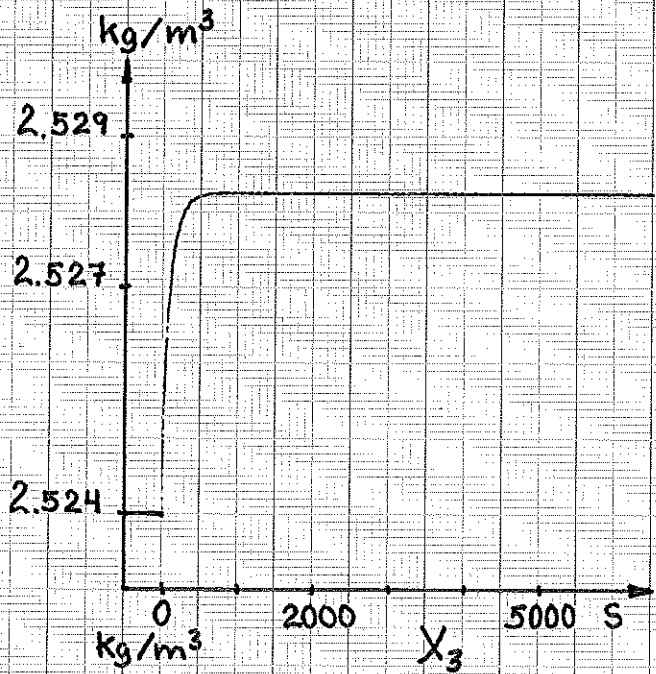
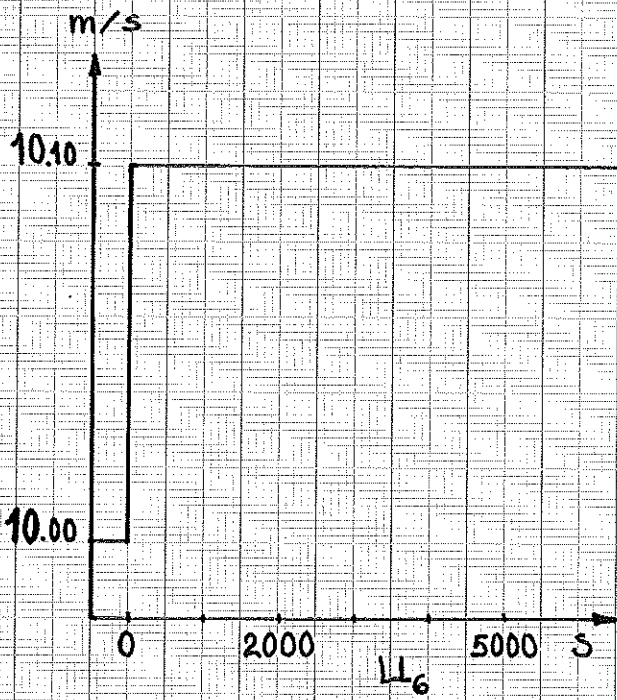
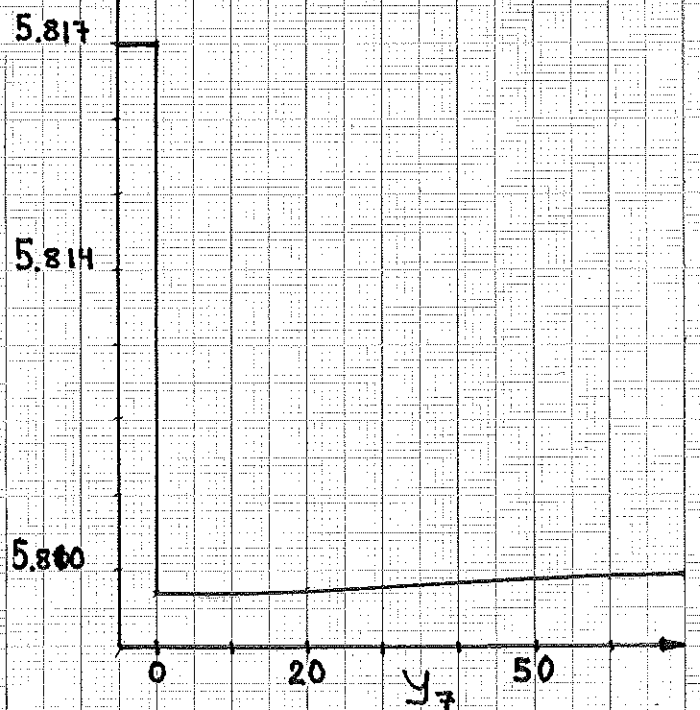
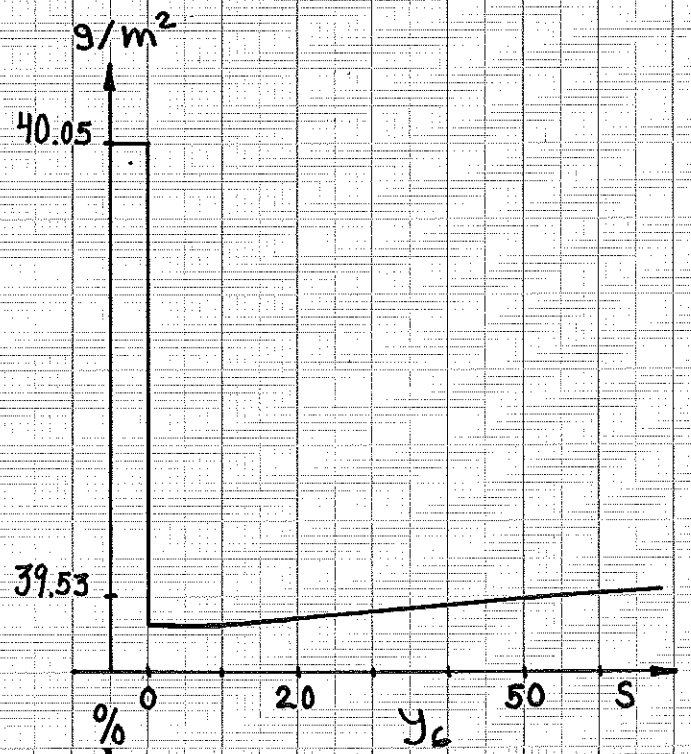
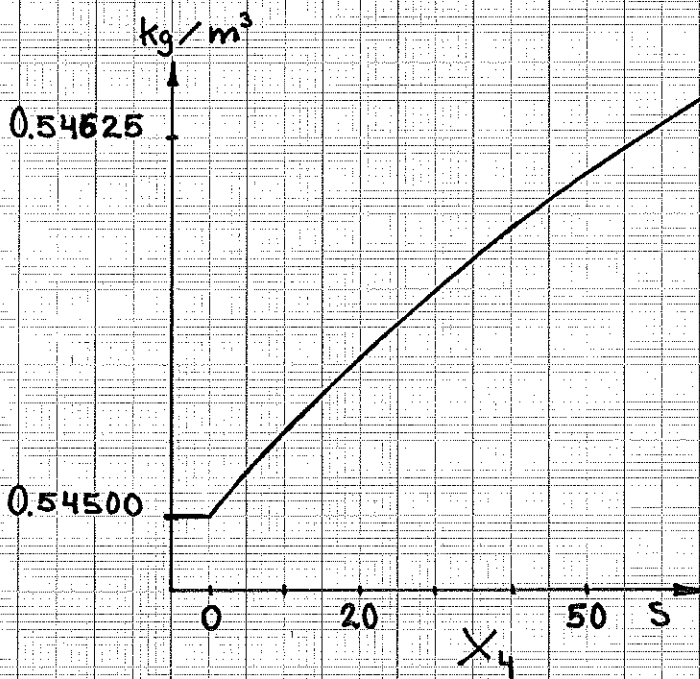
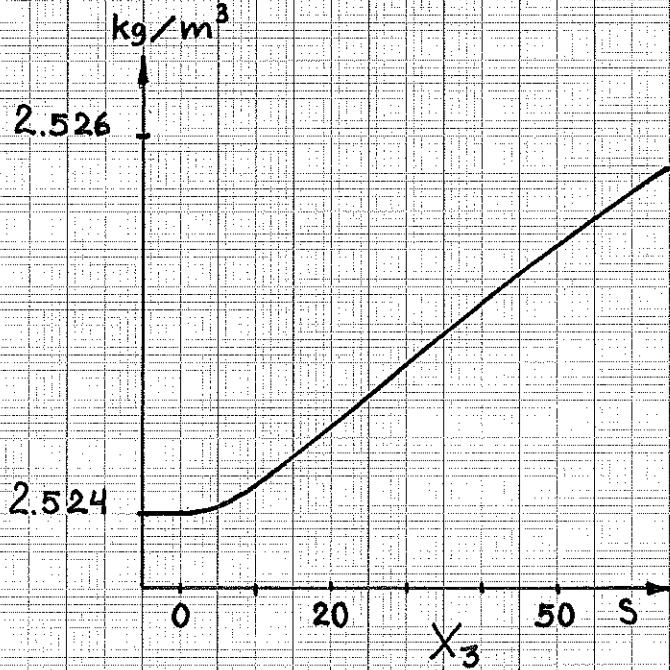
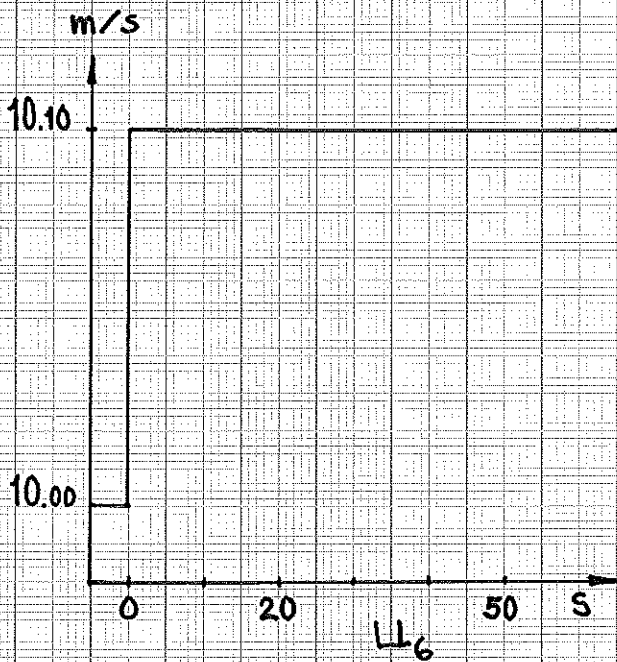


Diagram 12



störningen är ett steg på $u_7 = 0,5$ bar

Diagram 13

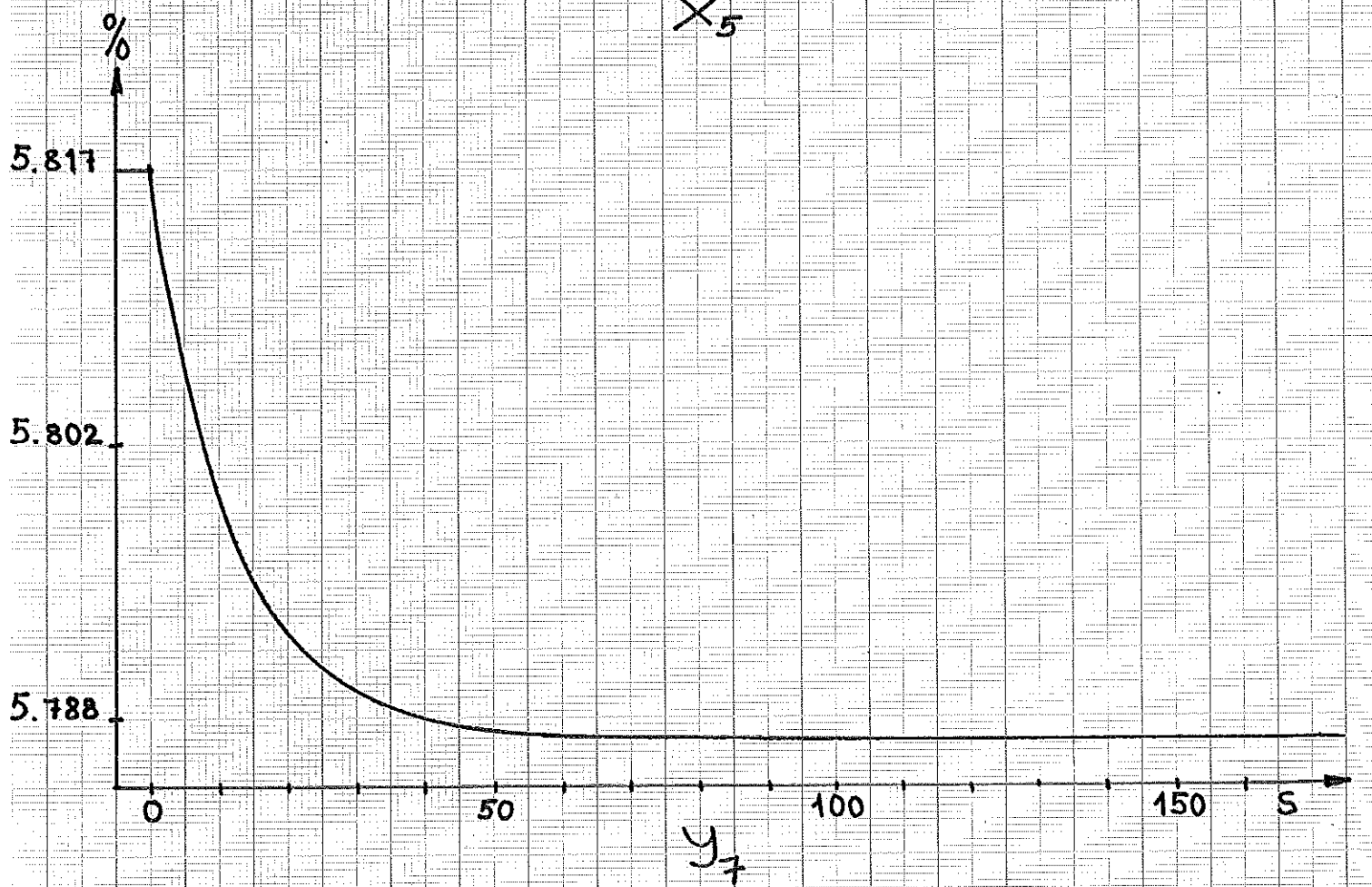
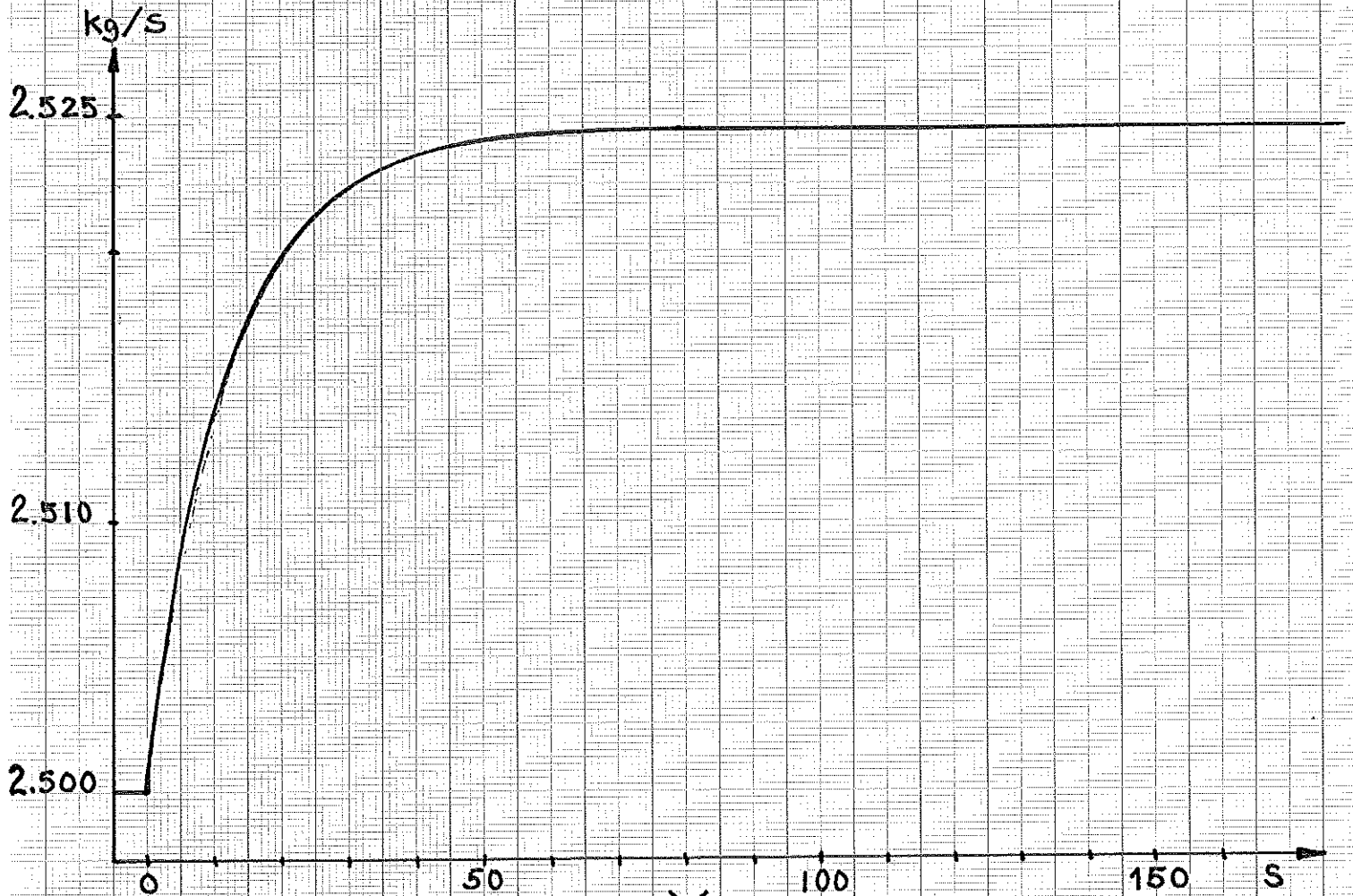


Diagram 14

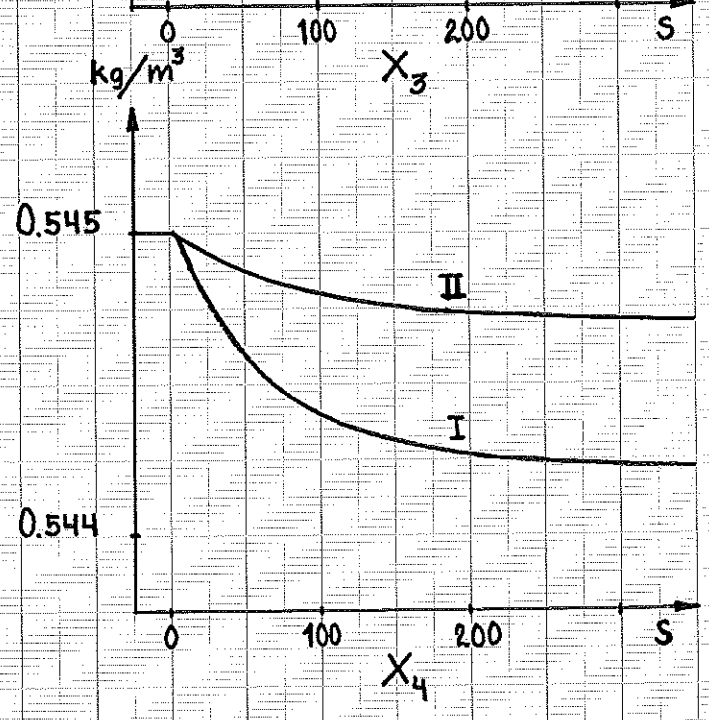
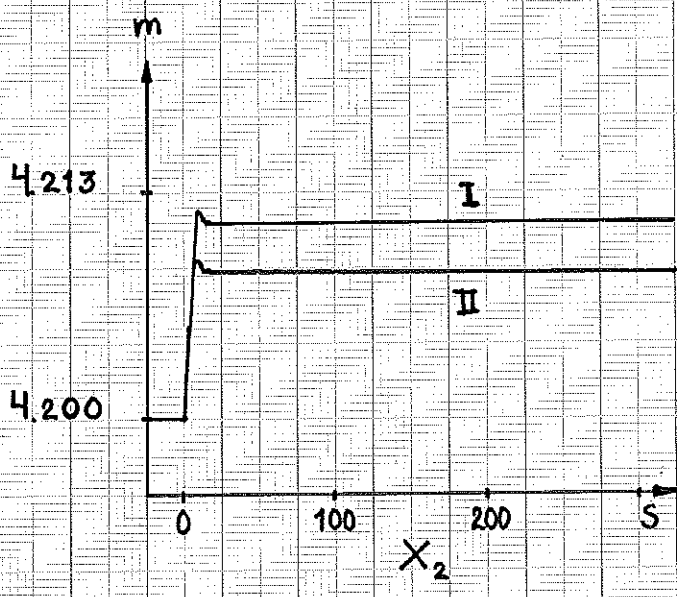
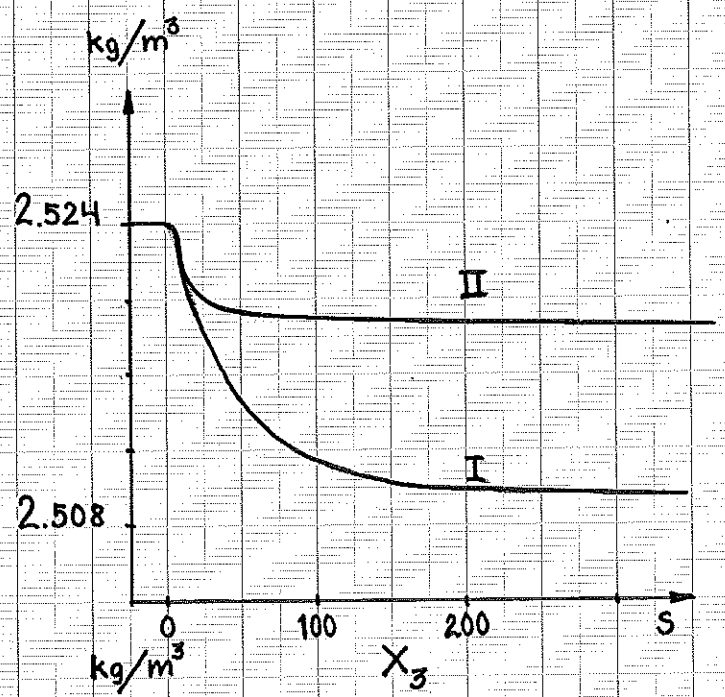
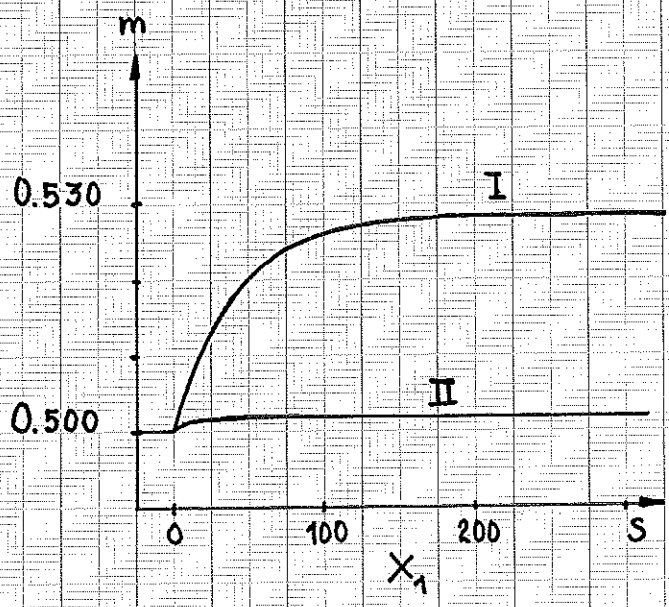
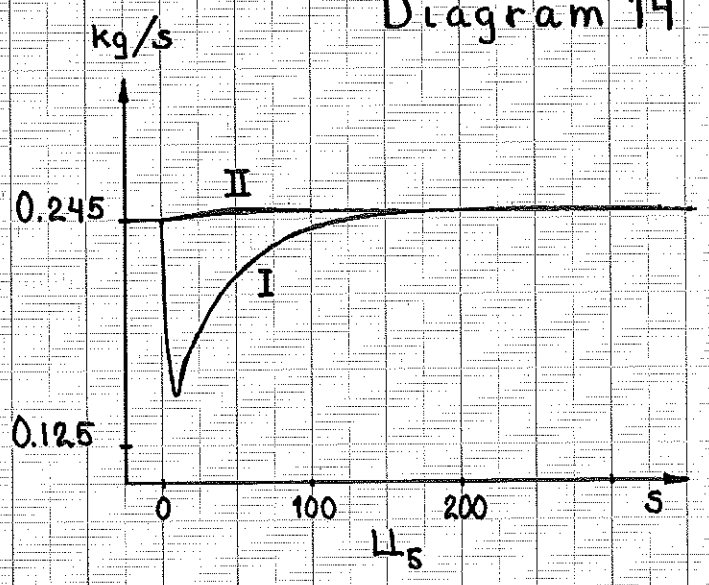
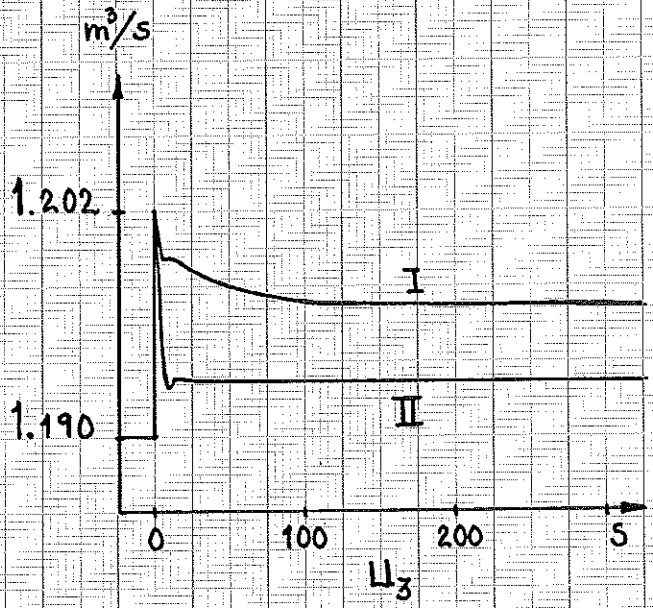


Diagram 15

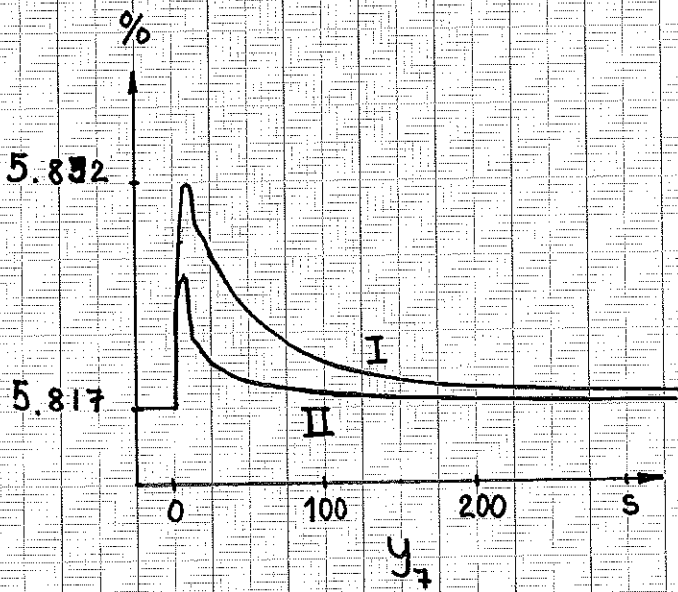
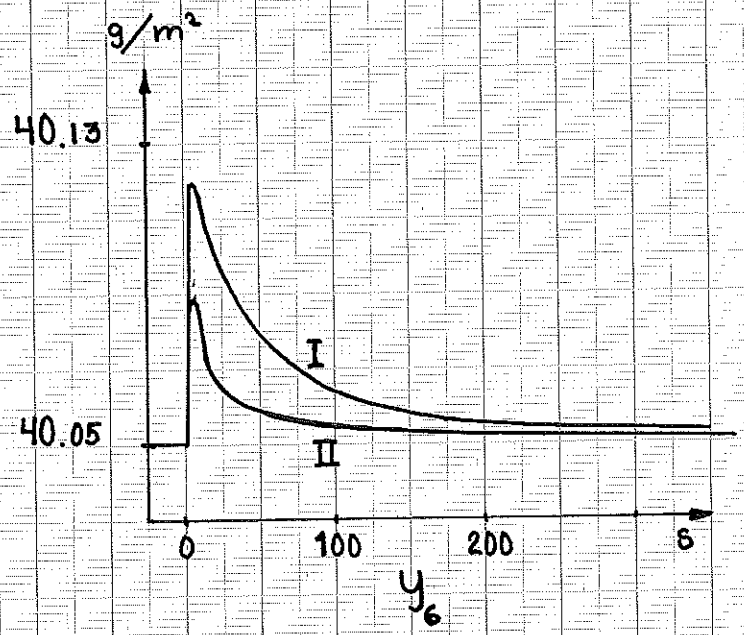
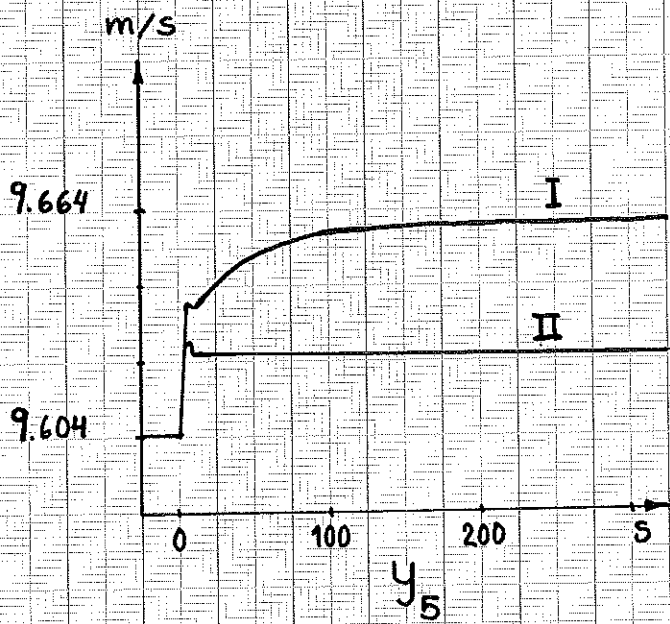


Diagram 16.

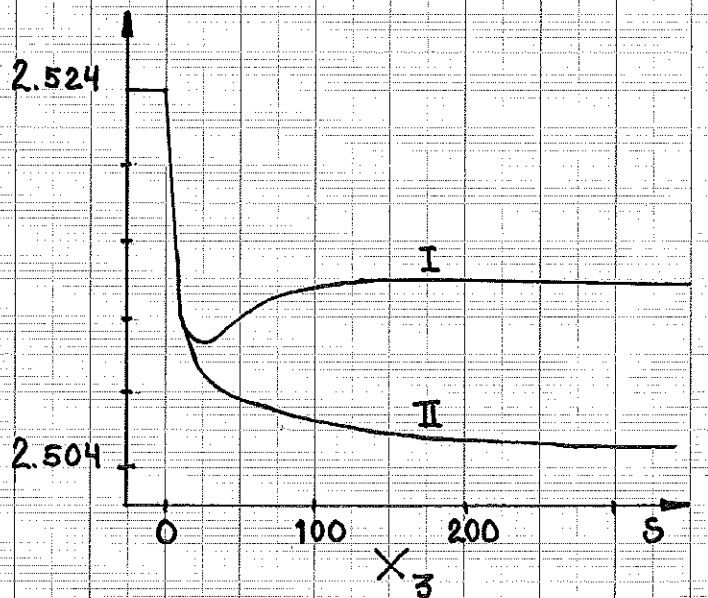
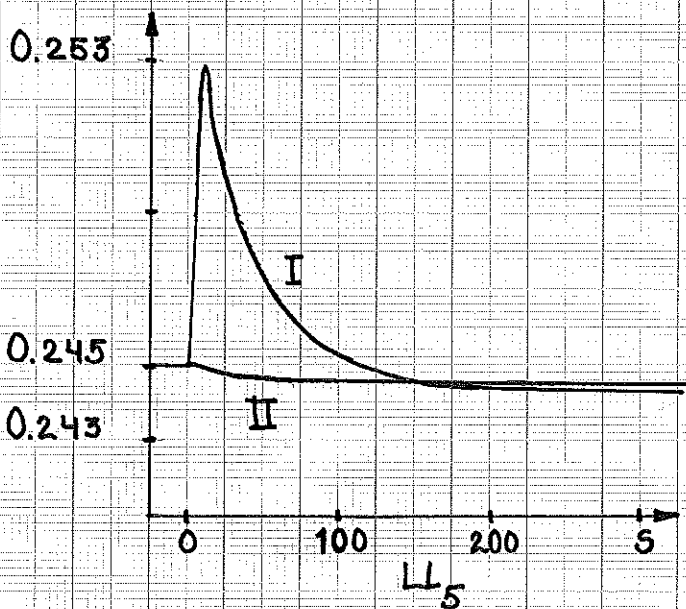
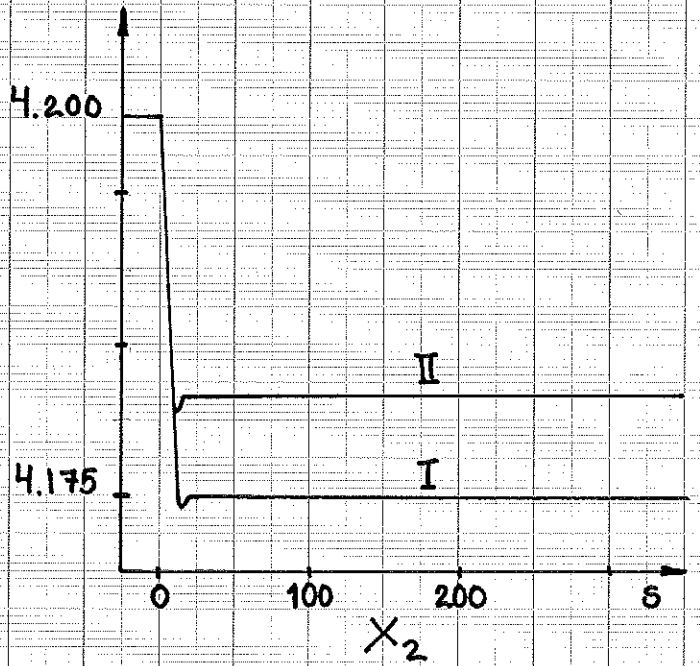
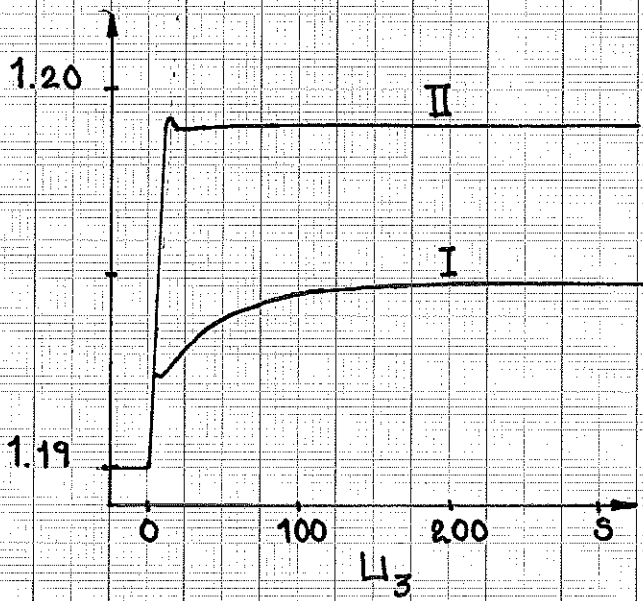
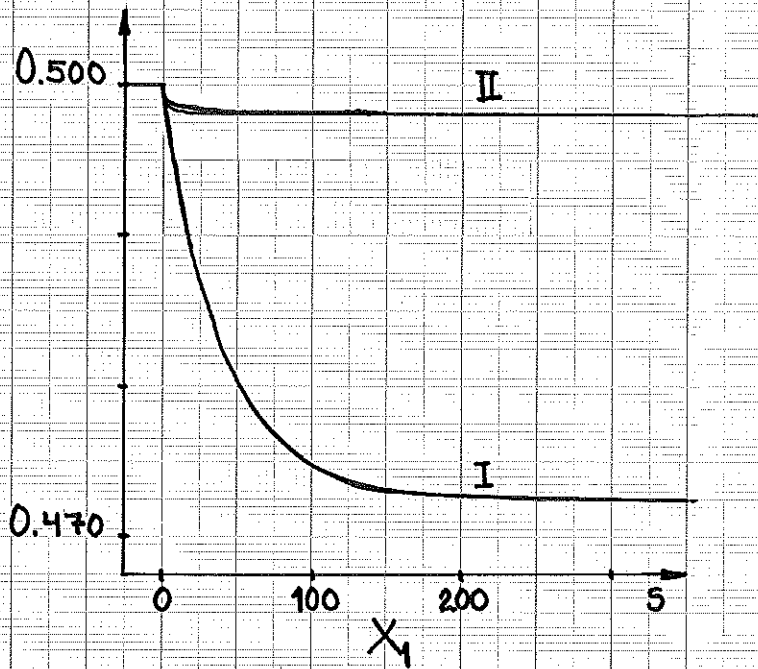
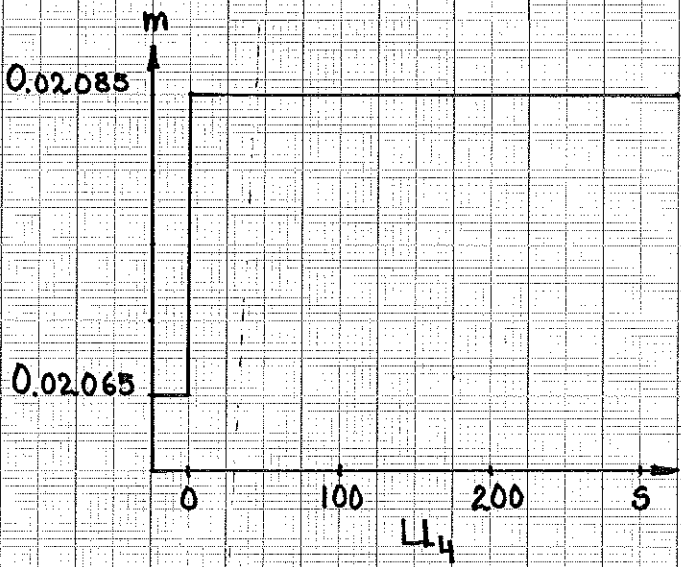
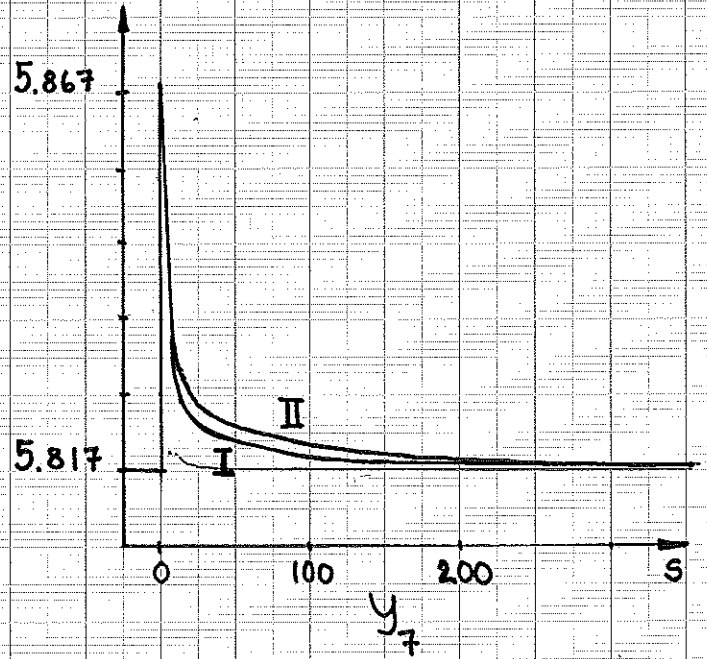
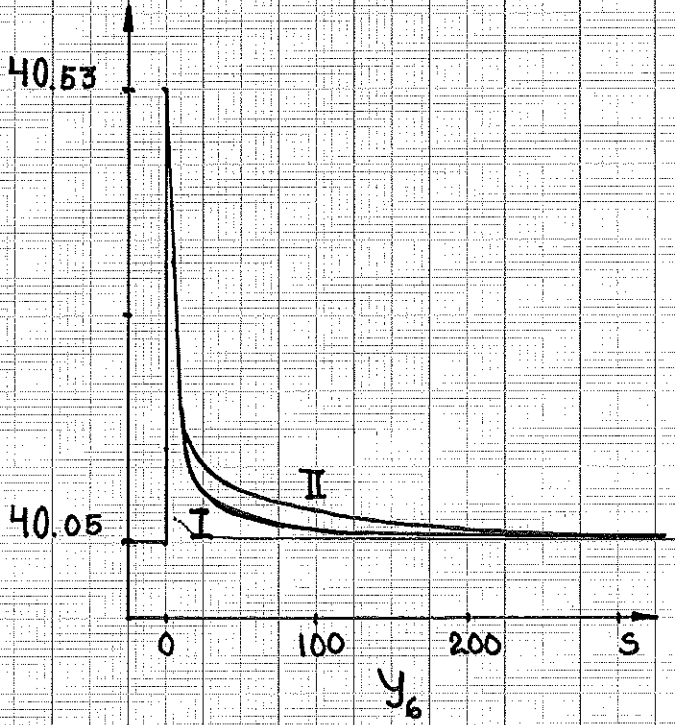
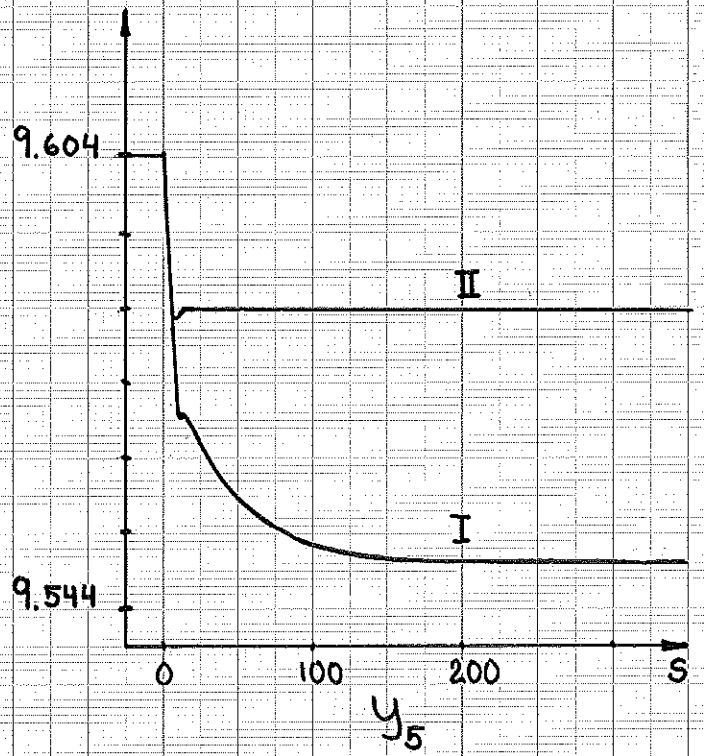
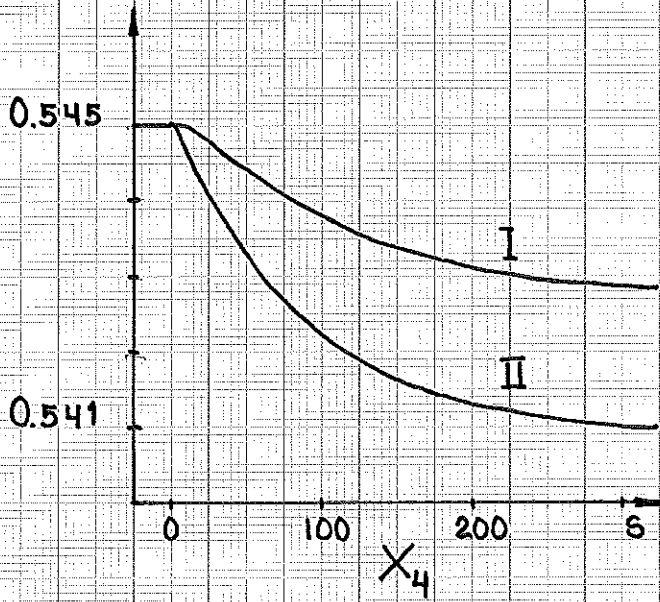


Diagram 17



x

x

Diagram 18

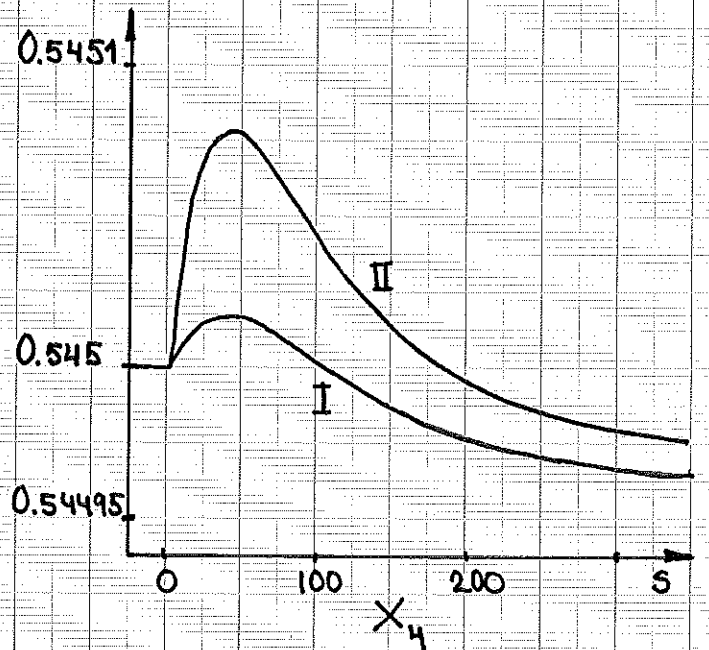
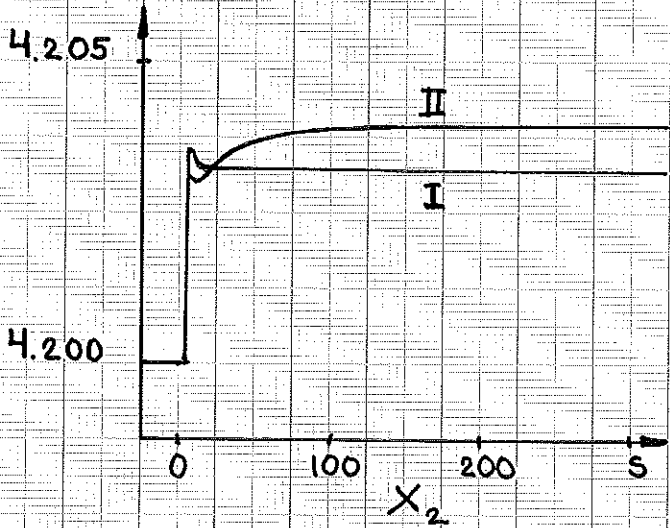
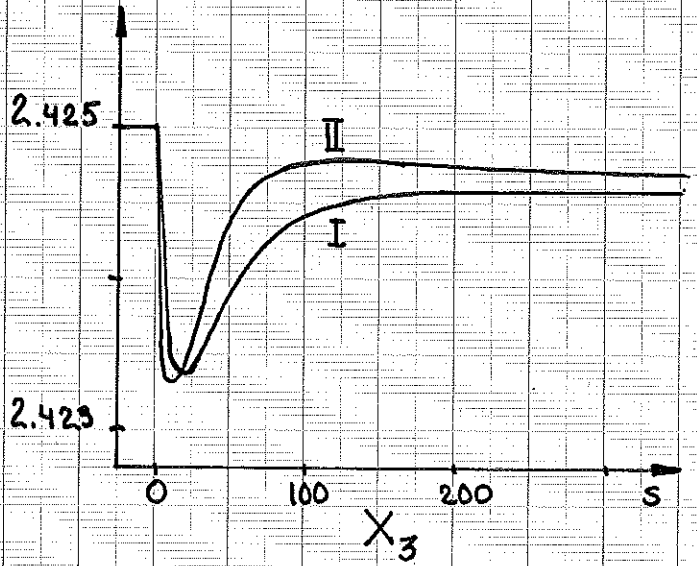
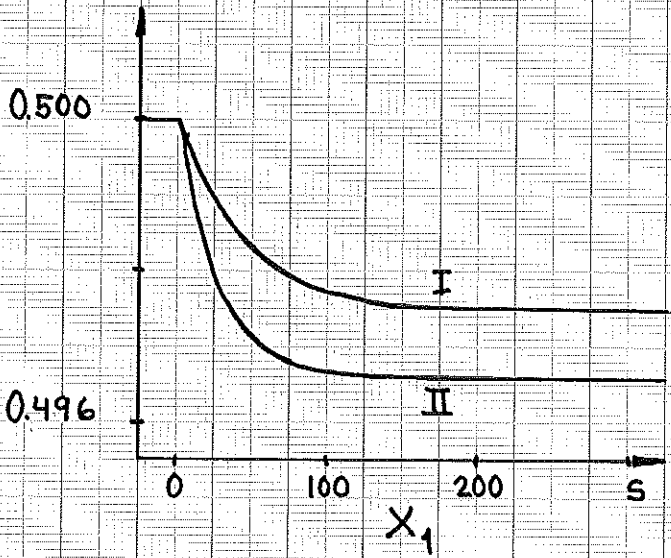
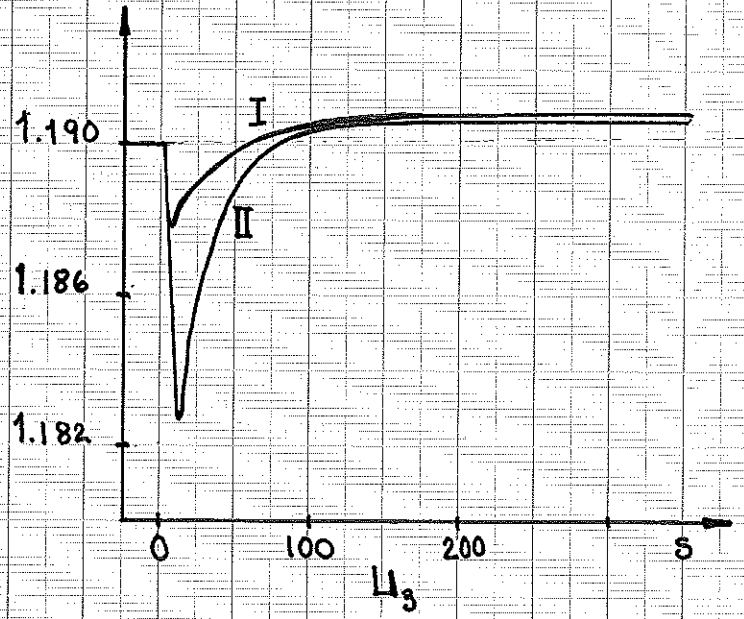
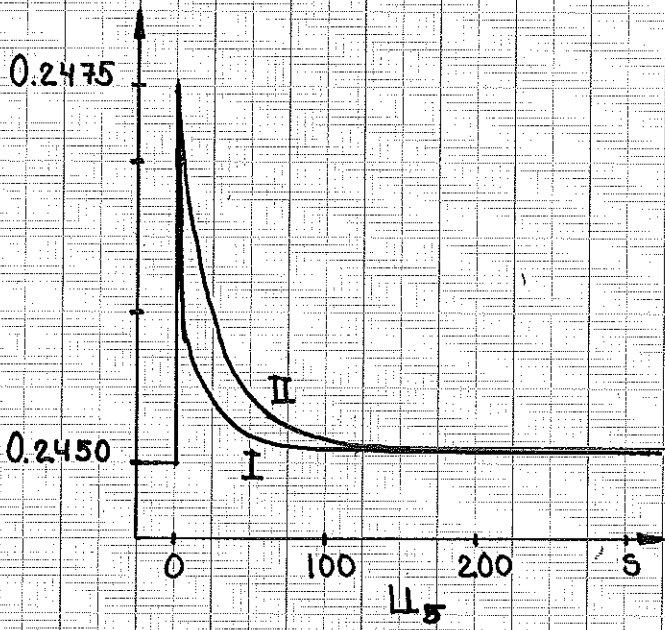


Diagram 19

