



LUND UNIVERSITY

Lägesstyrning av pneumatiskt ställdon

Lange, Egon; Jensen, Lars

1976

Document Version:
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):
Lange, E., & Jensen, L. (1976). *Lägesstyrning av pneumatiskt ställdon*. (Research Reports TFRT-3141). Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology (LTH).

Total number of authors:
2

General rights

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

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

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

Take down policy

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

LUND UNIVERSITY

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

LÄGESSTYRNING AV PNEUMATISKT STÄLLDON

Lars Jensen

Egon Lange

Denna rapport avser anslag 740622-5 från Statens råd för byggnadsforskning till institutionerna för Byggnadskonstruktionslära och Reglerteknik vid Lunds Tekniska Högskola, Lund.

INNEHALLSFÖRTECKNING

1	Inledning - Frågeställning	1
2	Modellbygge	1
2.1	Direktstyrt ställdon	1
2.2	Servostyrt ställdon	4
3	Simulering	6
4	Fullskaleexperiment	14
4.1	Försöksuppställning	14
4.2	Undersökning av förstärkning	14
4.3	Undersökning av dödtid	15
4.4	Undersökning av hysteres	15
5	Jämförelser och slutsatser	23
	BILAGA 1	24

1 Inledning - Frågeställning

Rapporten dokumenterar en undersökning av ett pneumatiskt ställdon, vars läge styrs genom att blåsa av eller på ställdonet med två magnetventiler. Ställdonet kan därvid bli ekvivalent med ett elektromekaniskt ställdon.

En fördel är att vid elbortfall så kan ställdonen gå till ett önskat läge. En annan fördel är att om elektroniska reglercentraler används tillsammans med pneumatiska ställdon, så kan kostnaden minskas avsevärt. Kostnaden för en strömtryckomvandlare ligger omkring 2 000 kronor. Detta skall jämföras med kostnaden för två magnetventiler som är 200 kronor. Vid en eventuell datorreglering blir besparingen ytterligare något större, då en analog utgång ersätts med två logiska utgångar.

I kapitel 2 tas en enkel modell för ställdonet fram. Modellen skall användas för att undersöka hur olika parametrar påverkar ställdonets egenskaper såsom förstärkning och hysteres. Detta sker både för ett direktstyrt och ett servostyrt ställdon. Skillnaden är att hos det servostyrda ställdonet så är styrluftsvolymen konstant och läget är proportionellt mot styrtrycket.

Simulering av modellen sker i kapitel 3.

I kapitel 4 bestäms motsvarande egenskaper för ett direktstyrt ställdon i fullskala. De erhållna resultaten jämförs med de som erhållits för den matematiska modellen i kapitel 5.

2 Modellbygge

2.1 Direktstyrt ställdon

Avsikten med modellbygget är att undersöka hur olika parametrar påverkar ställdonets statiska egenskaper och då främst

lokal och total förstärkning

som en funktion av

öppnings- och stängningstryck

öppnings- och stängningsvolym

Med förstärkning avses här sambandet mellan läget och på- och avblåsningstiden. Önskemålet är att sambandet är så linjärt som möjligt. Detta är viktigt då ett olinjärt samband kan försämra regleringen.

Med dödtid avses här den tid det tar innan ställdonet börjar röra sig från min eller maxläget efter en fullständig av- respektive påblåsning. För att få ställdonet att öppna helt och att stänga helt, så måste motsvarande lufttryck ligga mellan avblåsningstrycket (atmosfärtryck) och påblåsningstrycket (försörjningstryck). Detta medför att överpåblåsning och överavblåsning kan ske av ställdonet och detta kan tolkas som så kallad windup.

Följande beteckningar används

p	tryck i ställdonet
p_1	försörjningstryck
p_2	atmosfärtryck
$p_{\min}$	tryck när helt stängd
$p_{\max}$	tryck när helt öppen
A	kolvarea
V	volym
T	temperatur
k	fjäderkonstant
$x_{\min}$	minsta kammarlängd
$x_{\max}$	största kammarlängd

I denna modell görs följande förenklade antaganden

- 1 Massflödet in och ur ställdonet är proportionellt mot kvadratroten av tryckskillnaden
- 2 Luftens temperatur är konstant
- 3 Ingen friktion i ställdonet

Massbalans

Allmänna gaslagen ger

$$pV = m R T$$

och efter derivering fås

$$\dot{p}V + p\dot{V} = \dot{m} R T$$

Ställdonets volym kan skrivas som

$$V = A \cdot x$$

Kammarlängden x bestäms av en kraftbalans mellan fjäderkraft och tryckkraft

$$A(p - p_{\min}) = k(x - x_{\min})$$

För tidsderivatan av V gäller då att

$$\dot{V} = \begin{cases} A^2 \dot{p}/k & p_{\min} < p < p_{\max} \\ 0 & \text{för övrigt} \end{cases}$$

För volymen gäller det att

$$V = \begin{cases} A_{x\min} & p \leq p_{\min} \\ A_{x\min} + A^2(p - p_{\min})/k & p_{\min} < p < p_{\max} \\ A_{x\min} + A^2(p_{\max} - p_{\min})/k & p \geq p_{\max} \end{cases}$$

Massbalansekvationen kan nu skrivas som

$$\dot{p} = \frac{R T k \dot{m}}{A^2 f(p)}$$

och här är

$$f(p) = \begin{cases} p_0 & p_{\min} \leq p \\ p_0 + 2p - p_{\min} & p_{\min} < p < p_{\max} \\ p_0 + p_{\max} - p_{\min} & p \geq p_{\max} \end{cases}$$

där

$$p_0 = k x_{\min}/A$$

Massflödet vid av- och påblåsning kan skrivas som

$$\dot{m}_2' = -\sqrt{a_2(p-p_2')}$$

resp.

$$\dot{m}_1 = \sqrt{a_1(p_1-p)}$$

Här antas a_1 och a_2 vara skilda från noll vid på- respektive avblåsning.

Modellen har programmerats i SIMNON-språket och modellen återges i bilaga 1.

För att förenkla modellen så har friktionen försumrats. Friktionens storlek kan ofta vara svår att bestämma. Förutom ställdonets egen friktion så skall även reglerobjektets friktion tas med. Om den totala friktionen är känd så kan den uppkomna hysteresen beräknas. Om fjäderkraftskillnaden mellan fullt öppet och fullt stängt ställdon är $F_2 - F_1$, motsvarande lägeskillnad är $x_2 - x_1$ och friktionskraften är F så kan hysteresen h beräknas som

$$h = F(x_2 - x_1)/(F_2 - F_1)$$

2.2 Servostyrt ställdon

Om man använder sig av servostyrt ställdon så behöver den föregående modellen inte användas utan en enkel modell kan formuleras. I ett servostyrt ställdon används styrtrycket endast för att jämföras med läget och inte för att driva själva ställdonet. Detta sker med försörjningsluft via en separat luftledning. Volymen på styrtryckssidan kan därför antas vara konstant, vilket leder till följande enkla modell för styrtrycket som är proportionellt mot läget

$$\frac{dp}{dt} = -a\sqrt{p-p_2} \quad \text{avblåsning}$$

$$\frac{dp}{dt} = a\sqrt{p_1-p} \quad \text{påblåsning}$$

Med $a=1.0$, $p_1=2.0$ och $p_2=1.0$ så kan dessa två differentialekvationer implicit skrivas som

$$t = f_1(p) = 1 - \sqrt{p-p_1} \quad \text{avblåsning}$$

$$t = f_2(p) = 1 - \sqrt{p_2-p} \quad \text{påblåsning}$$

Av lösningarna framgår det att hela av- eller påblåsningen tar 1 tidsenhet. Dödzonen, av- och påblåsningstiden kan beräknas på följande sätt

Dödtid avblåsning	$t_1 = f_1(1.7) = 0.16$
Dödtid påblåsning	$t_2 = f_2(1.3) = 0.16$
Gångtid avblåsning	$t_3 = f_1(1.3) - t_1 = 0.45$
Gångtid påblåsning	$t_4 = f_2(1.7) - t_2 = 0.45$

Dödtiden utgör alltså omkring hälften av gångtiden oavsett på- eller avblåsning. Av- och påblåsningstiderna är lika, vilket också kan inses av symmetriskäl. Överblåsningstiden är i båda fallen 0.55 tidsenheter. Detta innebär att överblåsningen tar längre tid att åstadkomma än att eliminera (jfr dödtid på 0.16 tidsenheter).

Förstärkningen kan beräknas genom att derivera ekvationerna $t=f_1(p)$ och $t=f_2(p)$

$$\frac{dp}{dt} = -2\sqrt{p-p_1} \quad \text{avblåsning}$$

$$\frac{dp}{dt} = 2\sqrt{p_2-p} \quad \text{påblåsning}$$

Den största förstärkningen till beloppet är

$$\frac{dp}{dt} = 2 \sqrt{0.7} = 1.67$$

och den minsta är

$$\frac{dp}{dt} = 2 \sqrt{0.3} = 1.10$$

Förstärkningen varierar alltså omkring 50%.

3 Simulering

Tre olika ställdon har simulerats för några olika starttryck, öppnings- och stängningstryck. Förhållandet mellan minsta och största volym hos ställdonet har varit 1:6, 1:2 och 2:3. Försörjningstrycket har satts till 2.0 kp/cm^2 och avblåsningstrycket är detsamma som atmosfärstrycket dvs 1.0 kp/cm^2 . De använda stängnings- och öppningstrycken har varit följande par (1.1, 1.9), (1.2, 1.8) och (1.3, 1.7) kp/cm^2 . Dessa tryck skall jämföras med det normala försörjningstryck på 15 psi eller 1.05 kp/cm^2 (övertryck) och det normala arbetsområdet på 4-11 psi eller $0.28 - 0.77 \text{ kp/cm}^2$ (övertryck). Observera att arbetsområdet ligger symmetriskt i förhållande till av- och påblåsningstrycket.

Hur dödtiden beror på starttrycket vid av- eller påblåsning återges i FIG. 3.1 - 3.3 för de tre olika ställdonen och för ett arbetsområde på $1.3 - 1.7 \text{ kp/cm}^2$. Hur förstärkningen beror av de olika ställdonens utformning framgår också.

Hur förstärkningen beror på arbetsområde i förhållande till av- och påblåsningstrycket framgår av kurvorna i FIG.3.4 - 3.6 för de tre olika ställdonen. I samtliga fall så har av- och påblåsningstrycket varit 1.0 kp/cm^2 respektive 2.0 kp/cm^2 . Arbetsområdet har varierats enligt paren (1.1, 1.9), (1.2, 1.8) och (1.3, 1.7) kp/cm^2 .

I TAB.3.1 har resultaten från de olika simuleringarna sammanställts. Ju större ställdonets arbetsområde är desto större förstärkningsvariationer vid påblåsning. Vinsten är att dödtiden minskar både absolut och rela-

tivt gångtiden för en stängning. Ett eventuellt val av arbetsområde blir en kompromiss mellan förstärkningsvariationer och dödtid.

Det arbetsområde som är standard omkring $1.3 - 1.7 \text{ kp/cm}^2$ torde vara ett lämpligt val. Förstärkningsvariationen är omkring en faktor 2 och dödtiden utgör högst 20% av gångtiden för en stängning.

TAB.3.1

Volym min:max	Ställdon Tryck kp/cm^2	Förstärkning mm/sek				Dödtid sek	
		total av	total på	lokal min på	lokal max på	av	på
1:6	1.3 - 1.7	2.6	2.5	1.7	3.3	3.0	0.5
1:2	1.3 - 1.7	2.2	2.1	1.5	2.8	5.0	2.5
2:3	1.3 - 1.7	1.9	1.8	1.3	2.3	7.5	5.0
1:6	1.1 - 1.9	1.5	1.4	0.6	3.1	1.5	0.2
1:2	1.1 - 1.9	1.1	1.0	0.5	1.9	2.5	1.0
2:3	1.1 - 1.9	0.9	0.8	0.4	1.4	4.0	2.0

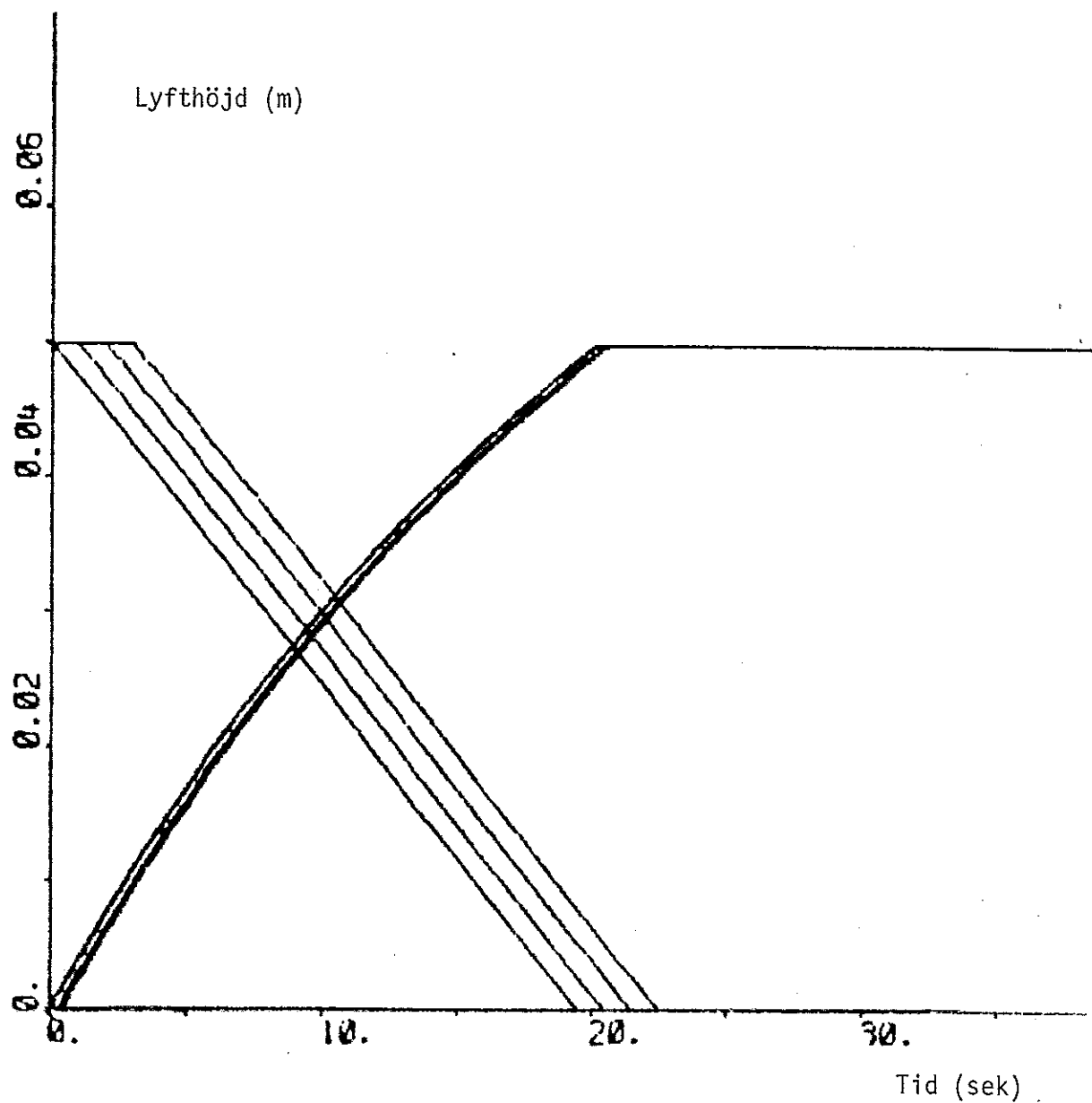


FIG.3.1 Lyfthöjd som funktion av av- och påblåsning vid olika starttryck. 1.7, 1.8, 1.9 och 2.0 kp/cm^2 respektive 1.0, 1.1, 1.2 och 1.3 kp/cm^2 . Arbetsområdet är 1.3 - 1.7 kp/cm^2 . Volymförhållandet är 1:6.

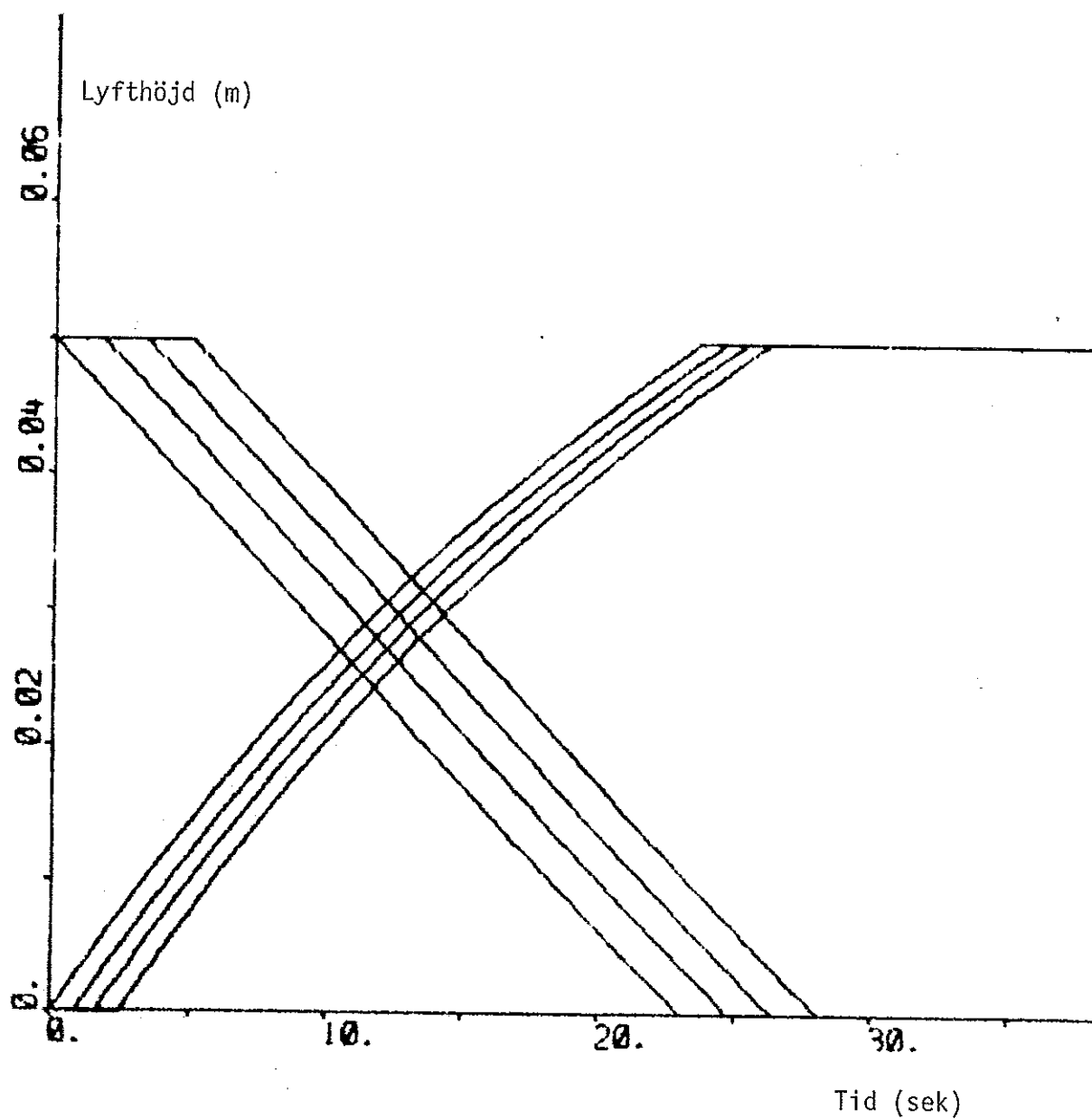


FIG.3.2 Lyfthöjd som funktion av av- och påblåsning vid olika starttryck. 1.7, 1.8, 1.9 och 2.0 kp/cm^2 respektive 1.0, 1.1, 1.2 och 1.3 kp/cm^2 . Arbetsområdet är 1.3 - 1.7 kp/cm^2 . Volymförhållandet är 1:2.

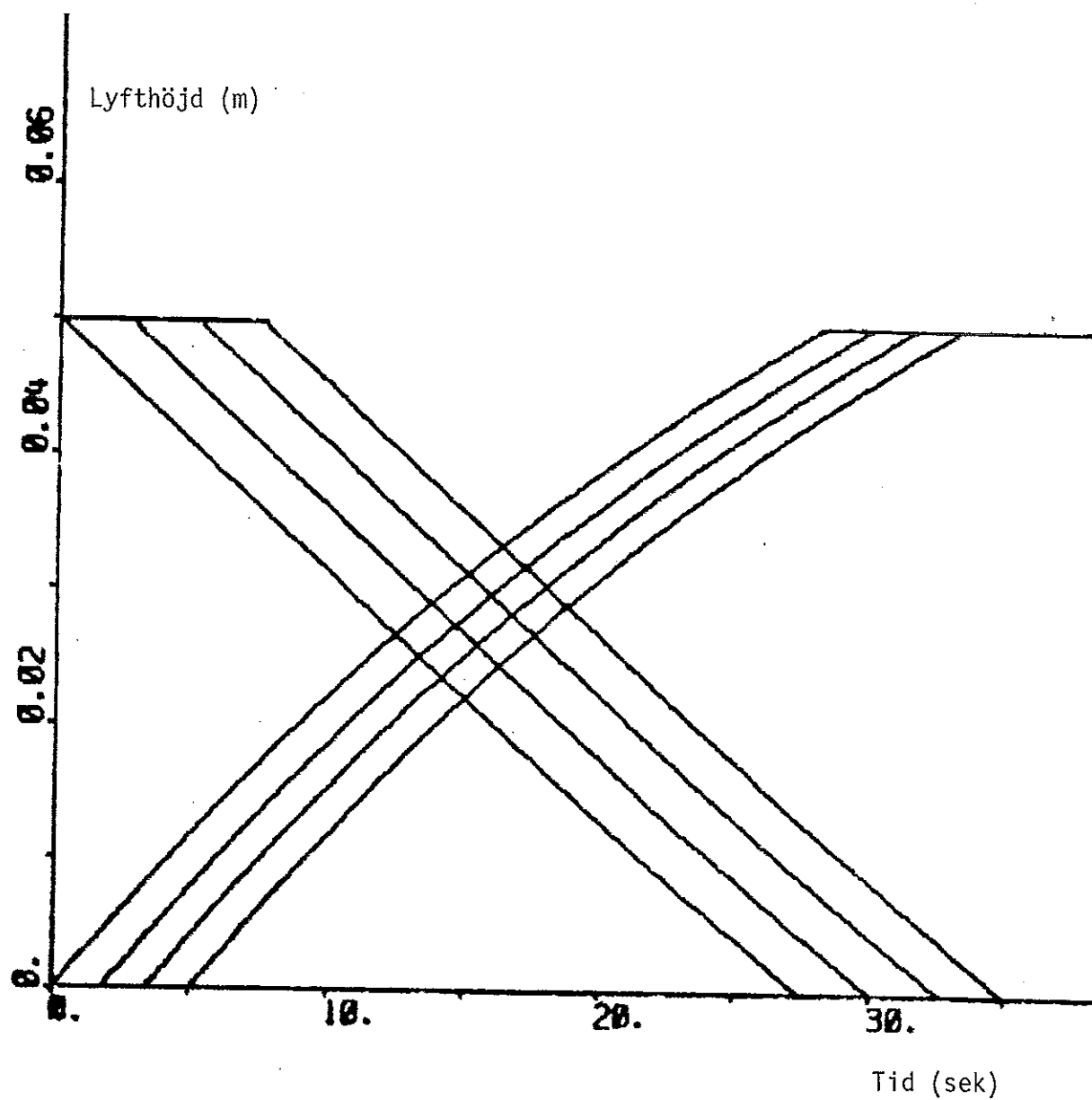


FIG.3.3 Lyfthöjd som funktion av av- och påblåsning vid olika starttryck. 1.7, 1.8, 1.9 och 2.0 kp/cm^2 respektive 1.0, 1.1, 1.2 och 1.3 kp/cm^2 . Arbetsområdet är 1.3 - 1.7 kp/cm^2 . Volymförhållandet är 2:3.

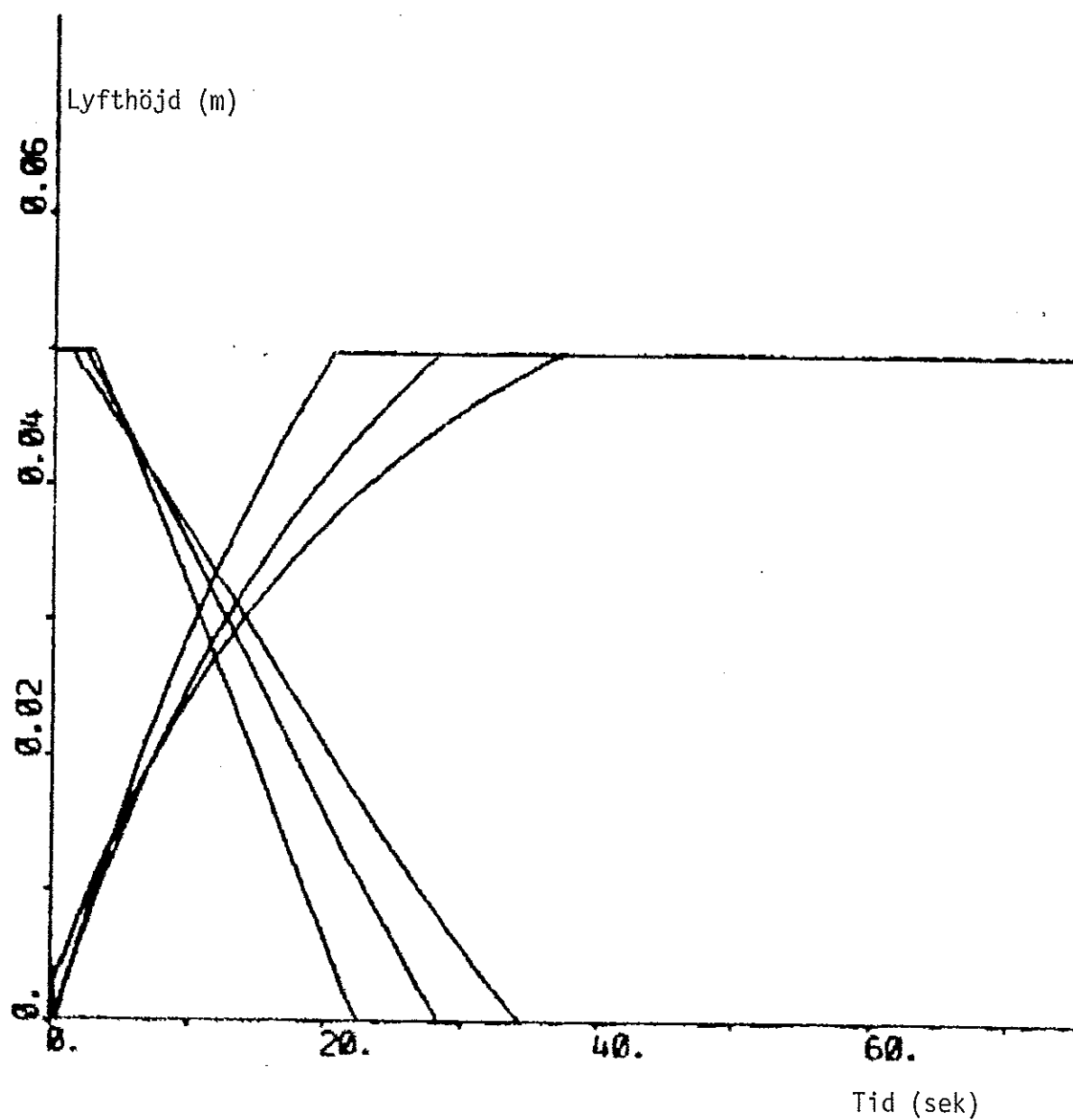


FIG.3.4 Lyfthöjd som funktion av av- och påblåsning vid olika arbetsområden. (1.1, 1.9), (1.2, 1.8) och (1.3, 1.7) kp/cm^2 . Volymförhållandet är 1:6.

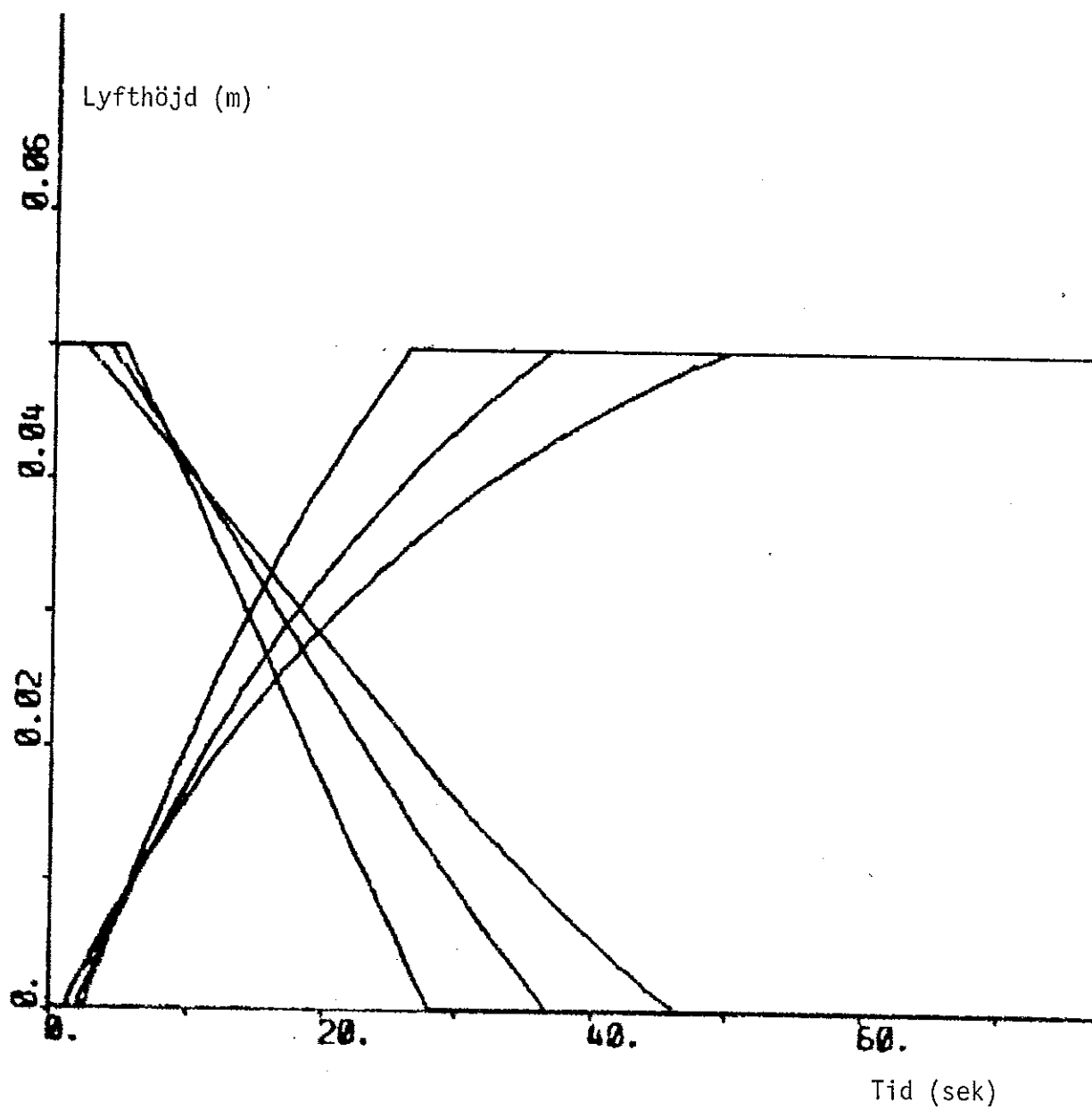


FIG.3.5 Lyfthöjd som funktion av av- och påblåsning vid olika arbetsområden. (1.1, 1.9), (1.2, 1.8) och (1.3, 1.7) kp/cm^2 . Volymförhållandet är 1:2.

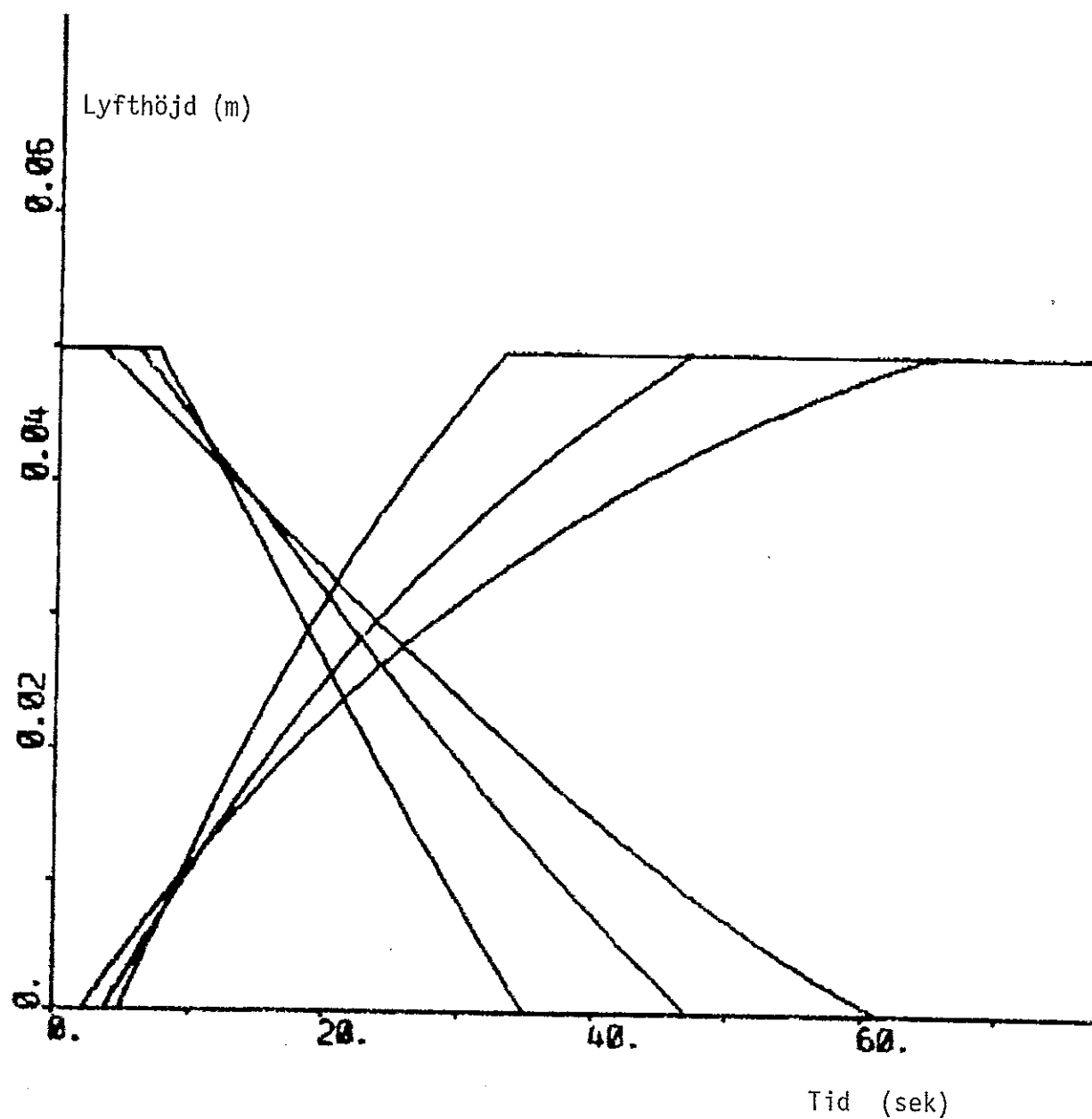


FIG.3.6 Lyfthöjd som funktion av av- och påblåsning vid olika arbetsområden. (1.1, 1.9), (1.2, 1.8) och (1.3, 1.7) kp/cm^2 . Volymförhållandet är 2:3.

4 Fullskaleexperiment

I detta kapitel dokumenteras några av de experiment, som har utförts, för att undersöka olika egenskaper hos det pneumatiska ställdonet. I första avsnittet beskrivs själva försöksutrustningen och i de tre följande behandlas förstärkningen, dödtiden och hysteresen.

4.1 Försöksuppställning

Det pneumatiska ställdon, som har använts vid försöken, har följande data

fabrikat	Johnson 5-10 MP
slaglängd	55 mm
kolvarea	$\sim 20 \text{ cm}^2$
minvolym	$\sim 50 \text{ cm}^3$
maxvolym	$\sim 150 \text{ cm}^3$
arbetsområde	$\sim 1.3 - 1.7 \text{ kp/cm}^2$

Försörjningsluft erhöles från en enkel tryckreducerstation. På- och avblåsning skedde med två magnetventiler med följande data

fabrikat	Bürkert
typ	312 C 000
spänning	220 V 50 Hz

Luftflödet till och från ställdonet kunde strypas med en för av- och påblåsning gemensam strypning. Ställdonsläget uppmättes med en potentio- meter och mätsignalen registrerades med en xy-skrivare. I FIG.4.1 återfinnes en skiss av försöksuppställningen.

4.2 Undersökning av förstärkning

Genom att pulsa på- och avblåsning och samtidigt rita upp läget som funktion av tiden, så kan man undersöka förstärkningens variation med läget, på- eller avblåsningstiden. Den lokala förstärkningen kan enkelt erhållas som lägesändring för en puls dividerat med pulslängden. Förut-

sättningen är att pulstiden och periodtiden är så valda att ställdonet hinner anta sitt nya jämviktsläge. Den dynamik som kan observeras beror på att tryckskillnaden över strypningen skall utjämnas. Periodtiden och pulstiden sattes till 10 sek respektive 1 sek.

I FIG.4.2 - 4.4 återges tre experiment med olika tryck på försörjningsluften (2.0 kp/cm^2 , 2.5 kp/cm^2 och 3.0 kp/cm^2) för fallet med påblåsning. Den tryckoberoende avblåsningen bortsett från dödtiden återges i FIG.4.5.

I samtliga fall finner man att en påblåsningsskarp ger upphov till en större lägesändring vid nästan stängt ställdon än vid nästan helt öppet ställdon. Förklaringen är att mottrycket ökar ju mer ställdonet öppnar.

Påblåsningstiden kan kvantifieras till 19, 11 och 7 sekunder för de tre olika försörjningstrycken. Avblåsningstiden blev 21 sekunder. För att få samma förstärkning vid av- och påblåsning så inser man att ett försörjningstryck på omkring 1 atö är lämpligt. Det försörjningstryck som normalt användes är omkring 1 atö.

I TAB.4.1 har en sammanställning gjorts av den totala och lokala förstärkningen och dödtiden. Ställdonets volymförhållande uppmättes till omkring 1:3.

4.3 Undersökning av dödtid

Genom att blåsa av eller på ställdonet helt och därefter blåsa på respektive blåsa av ställdonet och mäta tiden tills dess att ställdonet börjar röra sig. Mätresultaten har skalats i förhållande till avblåsningstiden och angivits i TAB.4.1.

4.4 Undersökning av hysteres

Detta skedde genom att mäta trycket i ställdonet med en manometer och genom att stegvis öka trycket och därefter stegvis sänka trycket. Ställdonsläget och trycket uppmättes. Resultatet finns inritat i FIG.4.6. Kurvan visar att hysteresen är 0.05 kp/cm^2 , vilket utgör en åttondel av

hela arbetsområdet på 0.4 kp/cm^2 . Detta är en förhållandevis stor hysteres. För att kunna avgöra om hysteresen härrörde från själva manometern så belastades ställdonet med först 1 kg och därefter ökas lasten till 1.5 kg. Avlastning skedde från 1.5 kg till 0.5 kg och därefter till 0 kg. Samtidigt registrerades läget. Hysteresen eller friktionskraften kunde beräknas till 0.8 kp. Med en kolvarea på 20 cm^2 så blir hysterestrycket 0.04 kp/cm^2 . Detta medför att hysteresen hos manometern högst kan vara 0.01 kp/cm^2 och att ställdonets hysteres på 0.04 kp/cm^2 utgör 10% av hela arbetsområdet.

TAB.4.1

Försörjningstryck kp/cm^2	Förstärkning				Dödtid	
	total av	total på	lokal min på	lokal max på	av	på
2.0	1.00	1.15	0.82	1.52	0.16	0.10
2.5	1.00	1.91	1.75	2.45	0.31	0.06
3.0	1.00	3.00	2.92	3.85	0.44	0.05

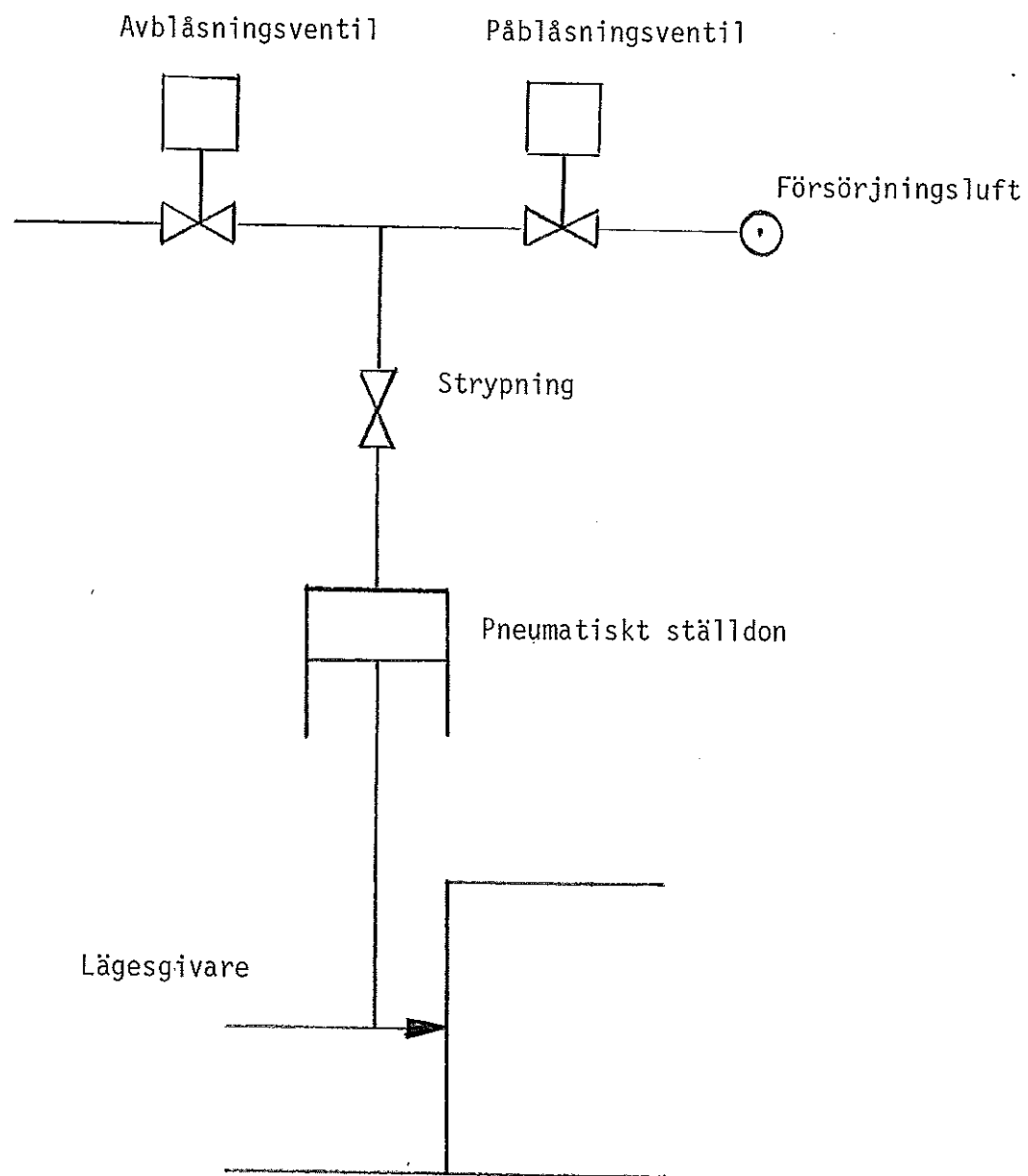


FIG.4.1 Schematisk försökupställning

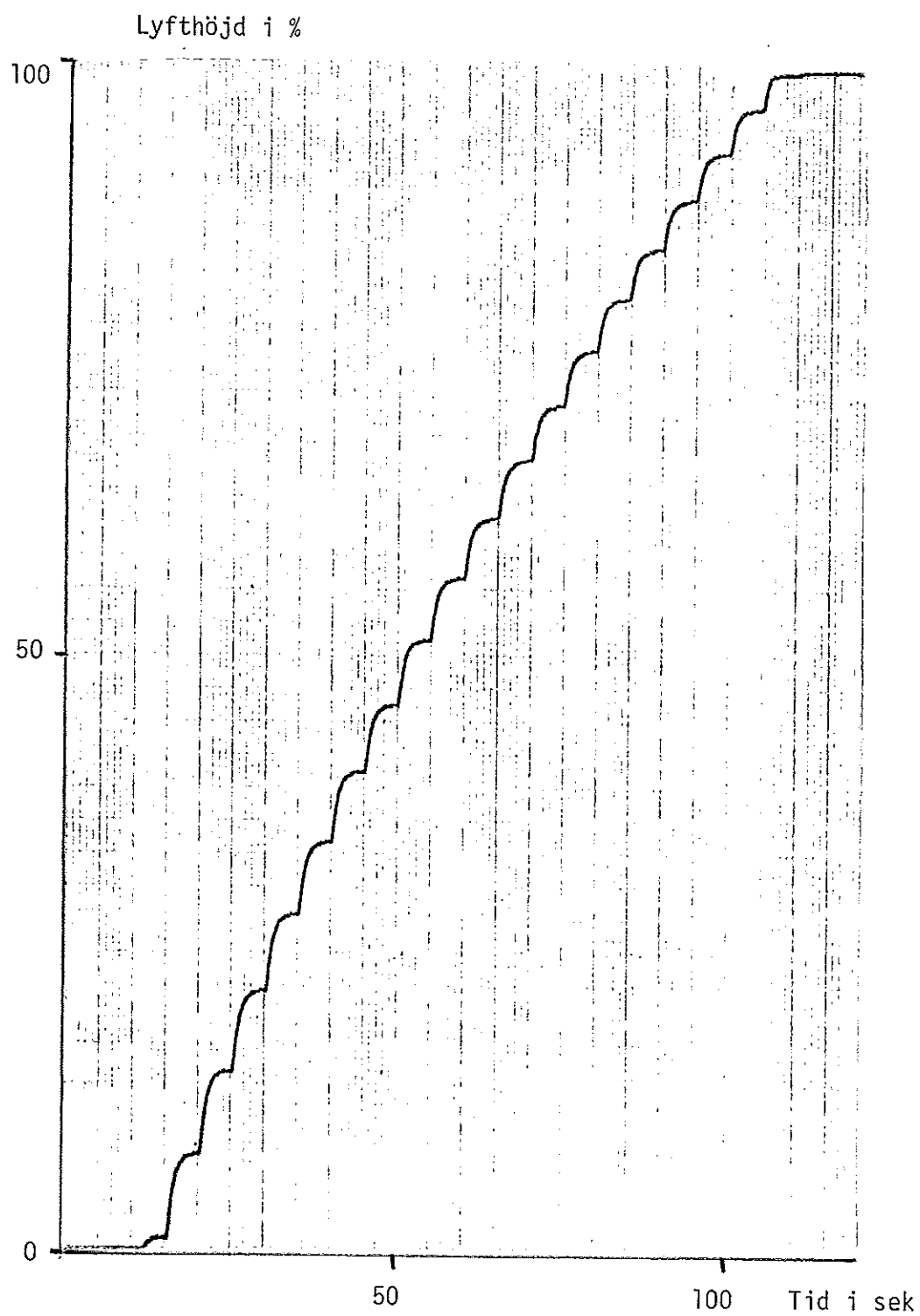


FIG.4.2 Påblåsningförlopp med försörjningstryck på 2.0 kp/cm^2 .

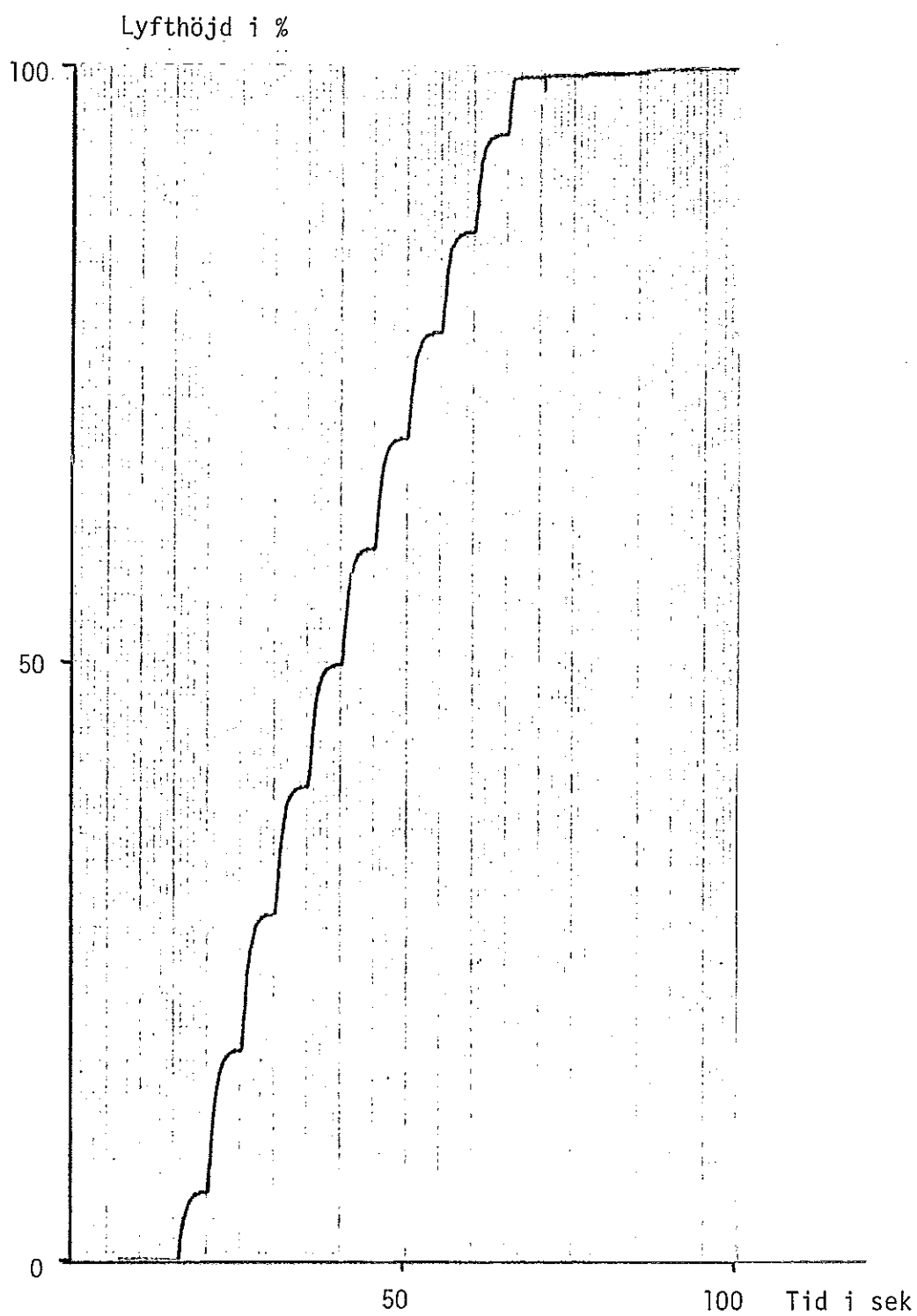


FIG.4.3 Påblåsningförlopp med försörjningstryck på 2.5 kp/cm^2 .

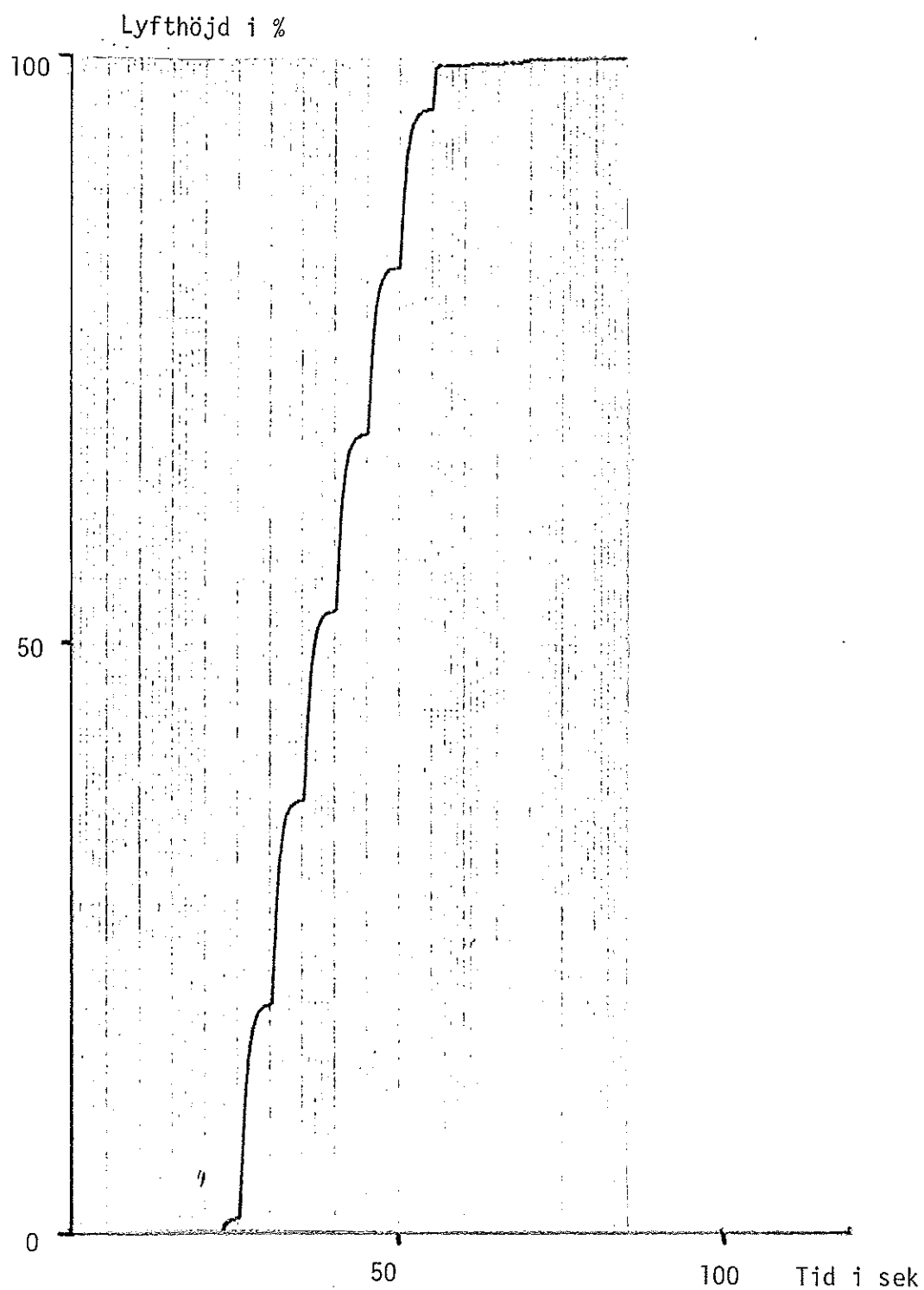


FIG.4.4 Påblåsningförlopp med försörjningstryck på 3.0 kp/cm^2 .

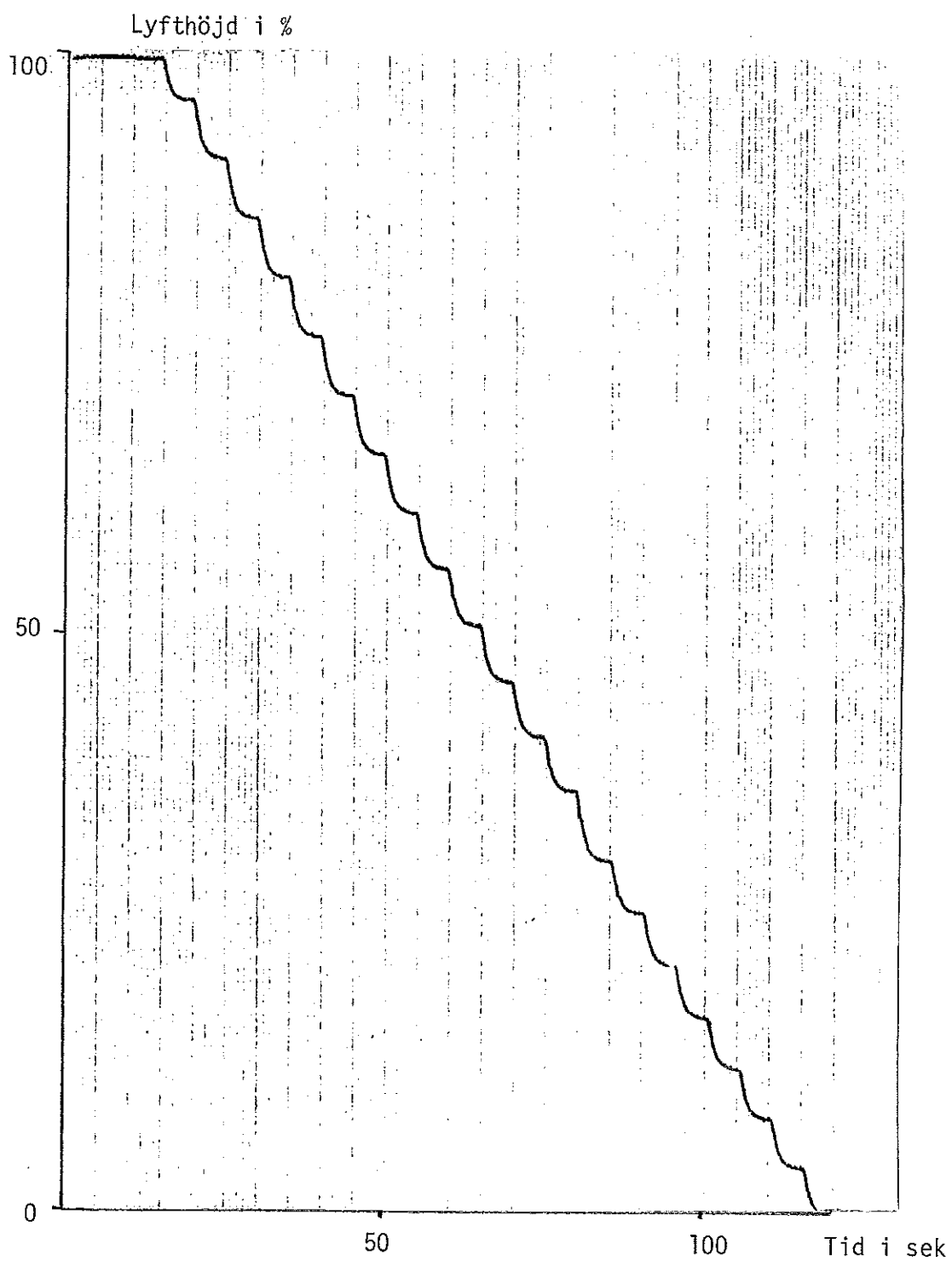


FIG.4.5 Avblåsningsförlopp

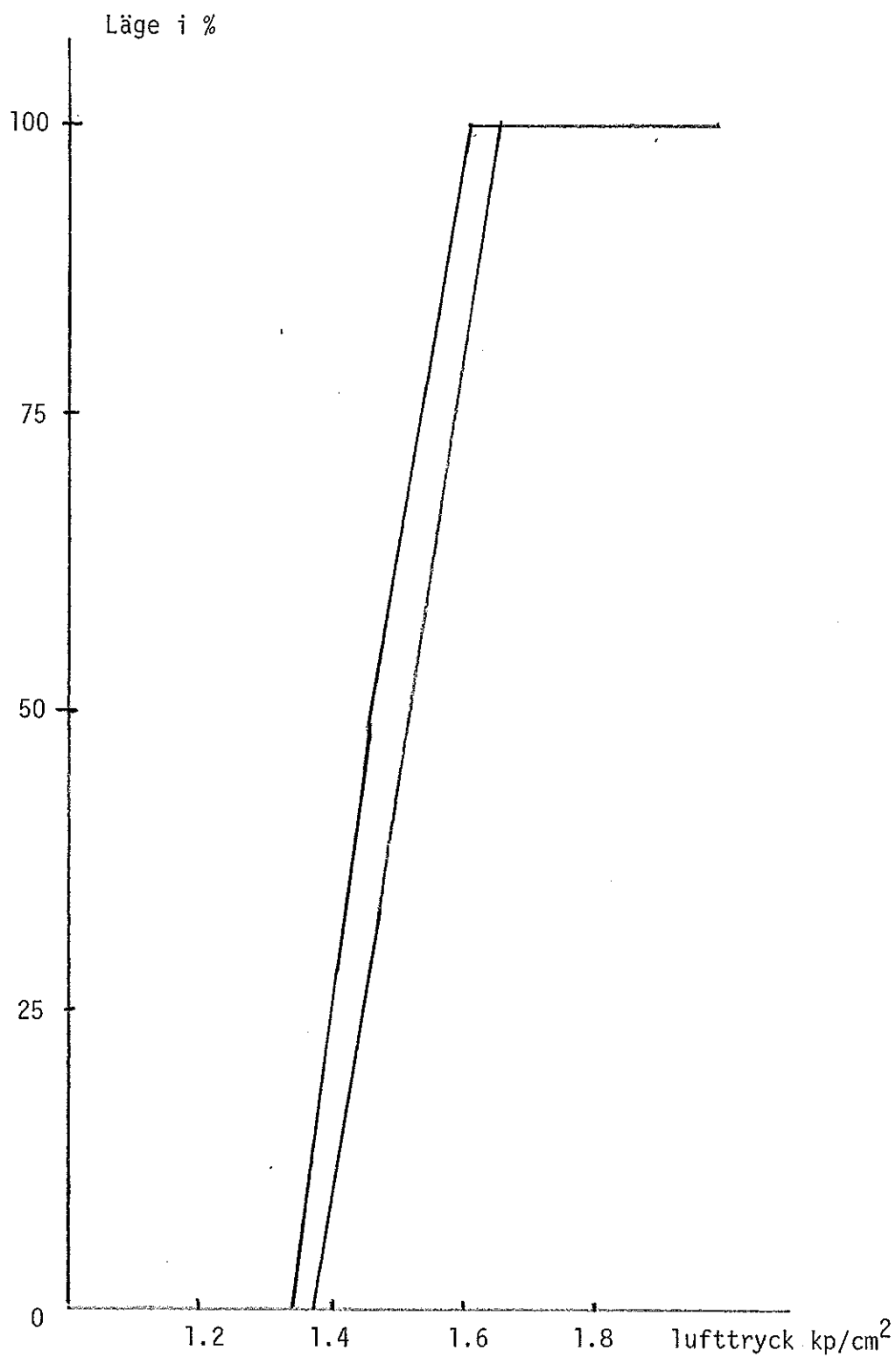


FIG.4.6 Hysteres

5 Jämförelser och slutsatser

Både den verkliga och simulerade avblåsningen är ovanligt linjära. Den verkliga och simulerade påblåsningen uppvisar nästan samma förstärkningsvariationer. För båda fallen gäller också att dödtiden är större vid avblåsning än vid påblåsning. Observera att hysteresen påverkar den experimentella dödtiden. Simuleringar har skett utan någon hysteres.

Några slutsatser är följande:

- Modellen beskriver verkligheten bra.
- Att använda direktstyrda pneumatiska ställdon är olämpligt på grund av den stora hysteresen. Hysteresen förstoras av lasten.
- Att använda servostyrda ställdon torde gå bra. Dödtiden torde utgöra omkring 50% av hela gångtiden. Förstärkningen varierar med en faktor 1.5, vilket är försumbart.

BILAGA 1

CONTINUOUS SYSTEM MOD

DER DP
STATE P

R:287.
T:293.

AV:0.00000004
A:1.0
XMIN:0.04
XMAX:0.08

P1:2.0
P2:1.0
PMIN:1.3
PMAX:1.7

IN:0.0

$K = A * (PMAX - PMIN) / (XMAX - XMIN)$

$B = R * T * K * AV / A / A$

$P3 = K * XMIN / A$

$P4 = P3 + PMAX - PMIN$

$P5 = P3 - PMIN$

DYNAMICS

$MF = \text{IF } IN \text{ THEN } \sqrt{\text{MAX}(0, B * (P1 - P))} \text{ ELSE } -\sqrt{\text{MAX}(0, B * (P - P2))}$

$FP = \text{IF } P < PMIN \text{ THEN } P3 \text{ ELSE IF } P > PMAX \text{ THEN } P4 \text{ ELSE } P5 + 2 * P$

$DP = MF / FP$

$H = A * (\text{MIN}(PMAX, \text{MAX}(PMIN, P)) - PMIN) / K$

END