



LUND UNIVERSITY

Tryckreglering genom variabel återcirkulation

Sternby, Jan

1976

Document Version:
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):
Sternby, J. (1976). *Tryckreglering genom variabel återcirkulation*. (Technical Reports TFRT-7095). Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology (LTH).

Total number of authors:
1

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

TFRT-7025

TRYCKREGLERING GENOM VARIABEL ÅTER-
CIRKULATION

J. STERNBY

Rapport 7614(C) Mars 1976
Inst. för Reglerteknik
Lunds Tekniska Högskola

TILLHÖR REFERENSBIBLIOTEKET

UTLANAS EJ

TRYCKREGLERING GENOM VARIABEL ATERCIRKULATION

Jan Sternby

SAMMANFATTNING

Ett system för tryckreglering genom variation av återcirkulationen runt en sugpump har studerats. Nuvarande reglering fungerar tillfredsställande vad gäller stabilitet vid alla referensvärden på trycket, medan snabbheten vid en referensvärdesändring kan förbättras på ett par olika sätt.

1. BESKRIVNING AV SYSTEMET

Det tryck/flödessystem som undersöktes, ingår som en del i AB Gambros apparat för blodrening. Den viktigaste delen i denna apparat är ett filter över vilket reningen sker, där blodet passerar på ena sidan och en dialysvätska på den andra. Man får då två helt skilda kretsar, en för blod och en för (dialys)vätska, varav vi har studerat den sistnämnda.

Vissa krav måste ställas på vätskan. Temperaturen måste vara lagom, så att patienten inte tycker att hans blod blivit för varmt eller för kallt. En viss koncentration av speciella salter måste finnas för att dialysen skall fungera. Man måste också kunna hålla vätskans tryck och flöde på föreskrivna värden. För att klara dessa krav finns en dialysvätskekrets enligt figur 1.

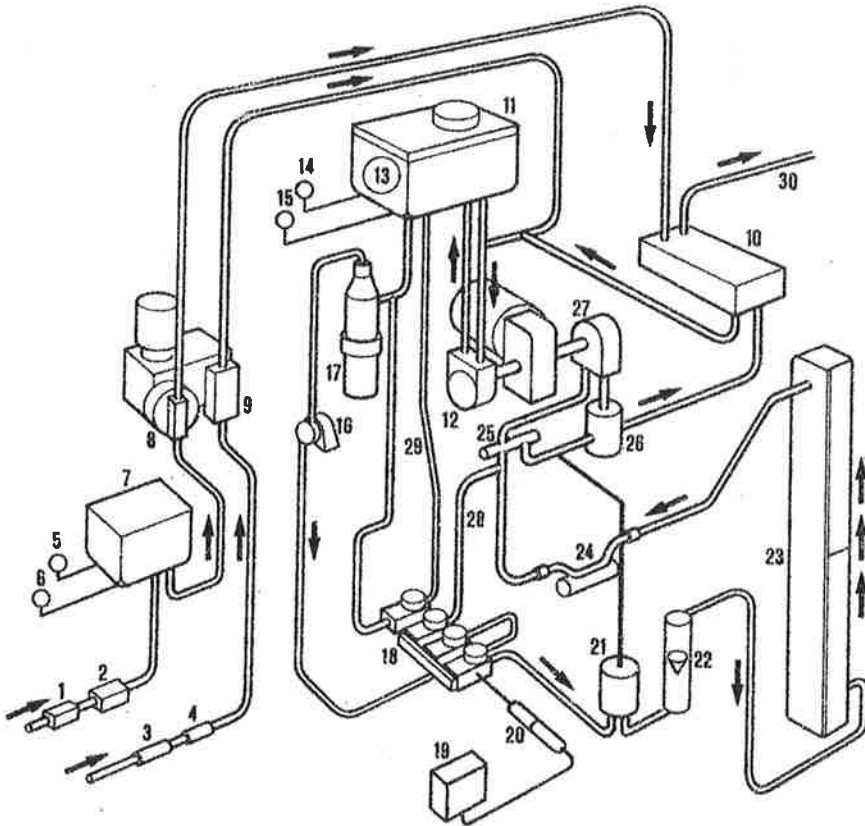


Fig. 1: Dialysvätskekretsen

Vatten och saltkoncentrat kommer in vid 1 resp. 3, och drivs fram av pumparna 8 och 9. Vattnet passerar sedan värmeväxlaren 10 innan det blandas med saltkoncentratet. Pumpen 12 hjälper till med blandningen och åstadkommer dessutom en omrörning i termostatkärlet 11, vari vätskan värms upp till önskad temperatur. Därefter passerar vätskan i tur och ordning konduktivitetmätaren 17, tryckhöjningspumpen 16, ventilblocket 18, avluftaren 21, flödesmätaren 22, filtret 23 och bloddetektorn 24, där eventuell förekomst av blod i dialysvätskan föranleder automatiskt nödstopp via magnetventiler. Slutligen drivs vätskan av pumpen 27 via återcirkulationssystemet med trevägsventilen 25 och tanken 26 ut i avloppet genom värmeväxlaren 10. Övriga förbindelser i fig. 1 är tömningskanaler och säkerhetssystem.

De fyra intressanta variablerna styrs på följande sätt:

Saltkoncentrationen hålls konstant genom att pumparna 8 och 9 drivs av samma motor. Konduktivitetmätaren ger larm om koncentrationen går utanför tillåtet område.

Temperaturen i termostatkärlet mäts med termoelement och styr värmeförseln genom återkoppling.

Flödet blir konstant under stationära förhållanden eftersom vattenpumpen 8 är en kolvpump som går med konstant hastighet och slaglängd. Det stationära flödet kan bara ändras genom att man byter ut delar i pumpen. Under tryckregleringen kommer flödet däremot att variera, men ställer in sig på sin gamla nivå efterhand som trycket ställer in sig.

Trycket i filtret påverkas genom inställningen av trevägsventilen 25. Ventilen kan köras fram eller tillbaka med en motor, men endast via reläer, så att man har tre möjligheter: Full fart fram, full fart back eller stillastående. Ventilen kan styras från en tryckmätning, som emellertid för närvarande sker med en mekanisk tryckgivare med två inställbara brytare. Man ställer alltså in ett "tillåtet" tryckområde med de båda brytarna, och låter ventilen stå still i detta område, men köras åt ena eller andra hållet därutån. Denna regulator får då två parametrar, ventilens hastighet och det tillåtna tryckområdets storlek. Av dessa ställer leverantören in ventilhastigheten en gång för alla.

Uppgiften var att studera tryckregleringen: se efter hur bra nuvarande reglering fungerar och eventuellt föreslå förbättringar.

2. EN MATEMATISK MODELL

I fig. 2 visas en förenklad skiss av dialysvätskekretsen med början i termostattanken 11. Eftersom tanken är öppen är det lämpligt att låta en modell av trycksystemet börja där. Tanken är som visas i fig. nivåreglerad med en flottör som styr utloppet. För närvarande styrs alltså reläerna från tryckmätningen.

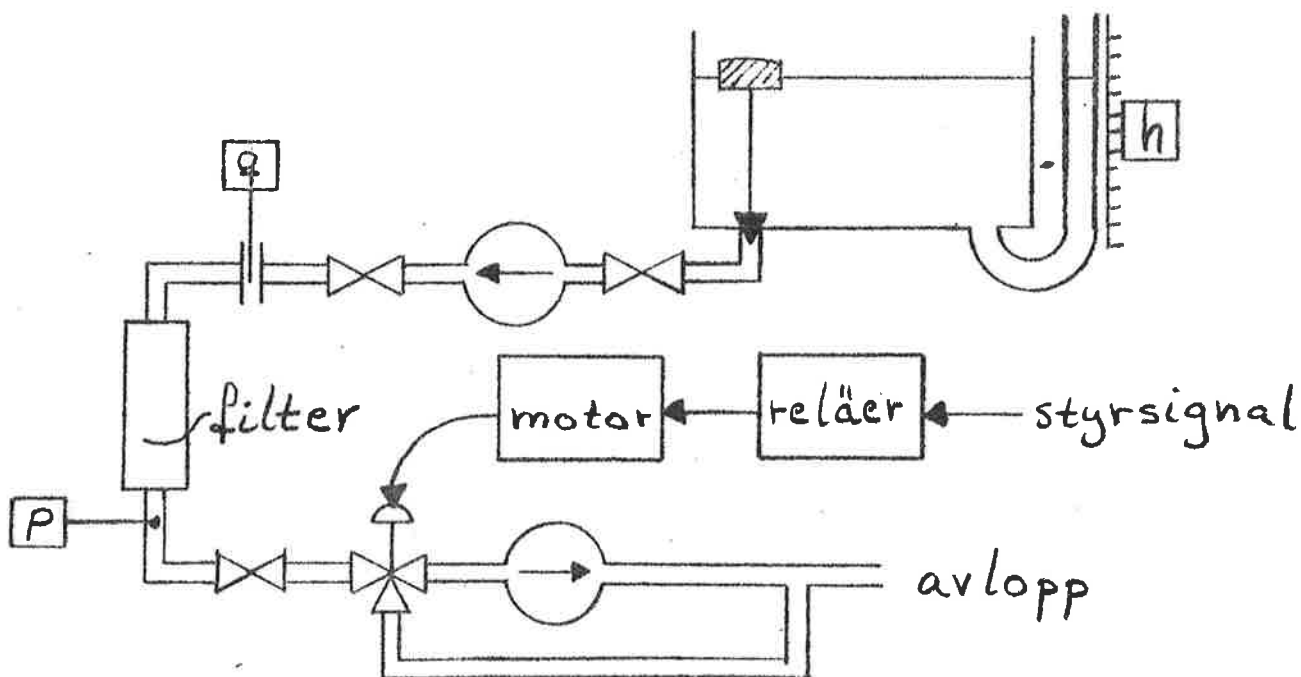


Fig. 2: Förenklad skiss av en del i dialysvätskekretsen.

I ovanstående system finns fyra väsentliga variabler. De är trycket p i filtret, flödet q genom filtret, tanknivån h och ventilinställningen v (hos trevägsventilen). Bortsett från de små (± 1 cm) variationerna i tanknivå och variationer i atmosfärtrycket är trycket på botten av tanken konstant. Det innebär att för varje värde på tanknivån h (och därmed flottörläge, d v s strypning i utloppet) får vi ett visst samband mellan tryck och flöde omedelbart efter tankutloppet. Mellan detta och tryckmätningpunkten finns bara strypningar och pumpar, så att tanknivån h bestämmer tydligen entydigt sambandet mellan tryck och flöde i tryckmätningpunkten i varje ögonblick. Vi har då också förutsatt att alla slangar är styva.

Å andra sidan bestämmer trevägsventilens inställning v på samma sätt entydigt ett samband mellan tryck och flöde i tryckmätningss-punkten. För ett visst värde på tanknivån h och ventilinställ-ningen v fås alltså två samband som båda skall vara uppfyllda.

Man kan då hoppas att det finns en, men endast en skärningspunkt mellan dessa samband, så att h och v entydigt bestämmer både p och q , eller allmännare att två av de fyra intressanta variabler-na vilka som helst entydigt bestämmer de andra två. Antag att så är fallet. Man kan då skriva en godtycklig variabel som en funktion av två av de andra tre, och dessa funktionssamband kommer att gälla i varje tidpunkt. Välj då t ex att skriva

$$q = q(h,v) \quad \text{och} \quad p = p(q,v) \quad (1)$$

En enkel massbalans för tanken ger

$$A(h) \cdot \frac{dh}{dt} = q_{in} - q(h,v) \quad (2)$$

där $A(h)$ är tankens tvärsnittsarea, vilken varierar med h p g a termostatelement m m som finns i tanken, och q_{in} är inflödet i tan-ken. Detta inflöde är konstant och bestäms av kolvpumpen 8. Ekva-tionen (2) är en olinjär, tidsinvariant differentialekvation av första ordningen med en styrsignal, v . Om vi känner styrsignalen v och funk-tionerna $A(\cdot)$ och $q(\cdot, \cdot)$ kan alltså h beräknas som funktion av tiden och via funktionerna (1) kan då också utsignalen, trycket p , beräknas som funktion av tiden.

Med hjälp av en dator kan (2) lösas för olika val av styrsignalen v . Man kan då dels studera hur det ej återkopplade systemet uppför sig och dels enkelt undersöka vad olika styrlagar innebär.

3. MÄTNINGAR OCH MÄTRESULTAT

För att kunna integrera (2) måste man känna funktionerna $A(\cdot)$ och $q(\cdot, \cdot)$. Dessutom vill vi veta trycket och måste då känna funktionen $p(\cdot, \cdot)$. Det finns principie!lt två sätt att bestämma dessa funktioner.

Det ena är att utgå från fysikaliska grundekvationer för varje komponent i kretsen. I detta fall verkar det emllertid vara enkläre och noggrannare att göra mätningar. Ett första krav är då att ha mätgivare för alla variabler.

Flödet mättes direkt med den rotameter, som sitter på fronten i apparaten.

Trycket mättes med en elektronisk givare av fabrikat NS typ LX 1600 A inkopplad där filtret normalt sitter.

Ventilinställningen mättes med en visare klistrad på ventilmotoraxeln. Visarens läge avlästes på en skala som klistrats fast bakom. Alla numeriska värden på v som ges i denna rapport hänför sig till denna speciella installation.

Tanknivån mättes med den anordning som syns i fig. 2, d v s en med tanken kommunicerande slang fästes vid en linjal på apparaten. Tyvärr måste linjalen sitta upp och ner, varför ökande h -värden svarar mot minskad nivå i tanken. Även h -värdena är alltså speciella för denna installation (beror på linjalens plats på apparaten).

Tankens tvärsnittsarea $A(h)$ bestämdes genom att tanken först fylldes, varefter den succesivt tömdes i ett mätrör och sammanhängande värden på nivå och uthälld volym plottades i ett diagram. För varje värde på h blir då $A(h)$ lutningen på kurvan. Resultatet visas i tabell 1.

Tabell 1.

Ytan är (dm ²);	för h mellan	och (mm)
1.67	-	54.0
1.42	54.0	71.6
2.04	71.6	98.9
1.59	98.9	120.0
1.89	120.0	135.7
2.42	135.7	147.4
1.81	147.4	157.5
2.62	157.5	-

För att kunna mäta upp de båda funktionerna (1) måste man kunna variera två variabler oberoende. Ventilinställningen blir ju den ena, och den andra måste bli flödet. Därför förbikopplades kolv-pumpen 8, så att vatten från vattenledningssystemet släpptes direkt in i värmeväxlaren. För sex olika ventilinställningar uppmättes därefter omkring tiotalet sammanhängande värden på tryck, flöde och tanknivå.

För att undvika tvådimensionell tabelluppslagning och interpolation gjordes därefter en kurvanpassning för var och en av de sex flödeskurvorna och för de sex tryckkurvorna. Flödena ansågs väl kunna beskrivas av en funktion med tre parametrar q_0 , h_0 och k

$$q(h,v) = \begin{cases} q_0 & h < h_0 \\ q_0 - k(h - h_0)^2 & h_0 \leq h < h^* \\ q_0 - k(h^* - h_0)^2 = 0 & h^* \leq h \end{cases}$$

I fig. 3 visas denna funktion för de sex ventilinställningarna tillsammans med mätvärdena. Denna anpassning gjordes med minsta-kvadratmetoden på en dator.

De sex tryckkurvorna kunde beskrivas som linjära i q för stora och små q och som kvadratiska i q däremellan. Anpassningen gjordes här för hand. Resultatet visas tillsammans med mätvärdena i fig. 4.

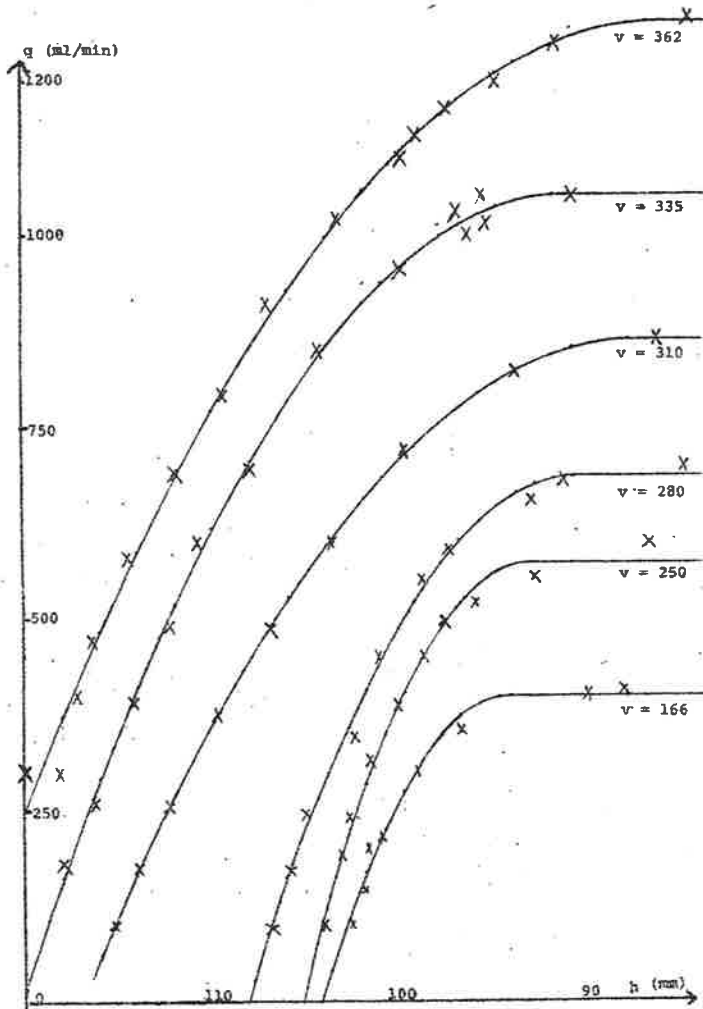


Fig. 3: Flödet q som funktion av nivå h för några olika ventilinställningar v .

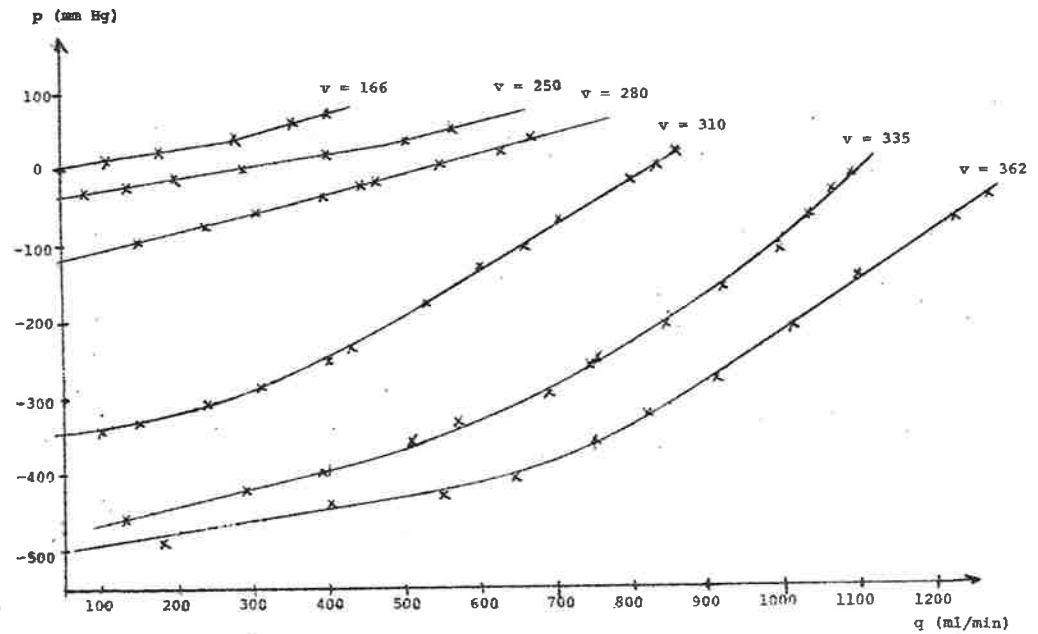


Fig. 4: Trycket p som funktion av flödet q för några olika ventilinställningar v .

4. SIMULERING AV DET ÖPPNA SYSTEMET

För att lösa ekvation (2) och presentera resultaten användes programpaketet SIMNON. Man har där möjlighet att stoppa in egna FORTRAN-rutiner som beskriver systemet. Dessa skall se ut på ett speciellt sätt, och den rutin (TANK) som behövs i detta fall är listad i appendix 1. Största delen av rutinen upptas av tilldelning av värden till alla de parametrar, som behövs för att beskriva funktionerna (1). TANK anropar de två FORTRAN-rutinerna Q och P, som beräknar q resp. p för v-värden emellan de uppmätta kurvorna (för ett givet h resp. q) genom linjär interpolation mellan kurvorna. Q och P anropar i sin tur QHEL resp. PHEL, vilka beräknar q resp. p längs någon av de uppmätta kurvorna. Dessa hjälprutiner finns också listade i appendix 1. Man behöver dessutom en sammanknyttande rutin, skriven i SIMNONs eget språk. Den heter GAMB och finns listad först i appendix 2.

Sedan dessa rutiner väl är skrivna går det fort att lösa (2) i de fall man vill. Det krävs endast ca fem kommandon (tilldelning av initialvärden, uppritning av axlar, val av plottvariabel och simulering).

För att kontrollera modellens giltighet simulerades ett antal fall, där ventilen först låg still, sedan kördes en viss tid åt något håll för att slutligen åter ligga still. Samma experiment utfördes också på den verkliga apparaten. Eftersom det verkliga inflödet var ca 480 ml/min har detta värde använts vid simuleringarna.

Resultaten från två av dessa experiment visas i fig. 5 - 12. Den brusiga tryckkurvan är resultatet från apparaten. Bruset beror på att stötarna från kolvpumpen trycker till plattorna i värmväxlaren och ger bakvägen tryckvariationer i filtret. Överensstämmelsen är i dessa fall god. Den kan bli något sämre vid en ännu större tryckvariation, men kan då förbättras om man gör mätningar för fler ventilinställningar.

Lägg märke till att i den uppåtgående tryckkurvan, fig. 11, ligger trycket still en stund, både det verkliga och det simulerade. Flödeskurvan, fig. 12, avslöjar att det beror på att flödet ligger konstant (på 0) samtidigt som ventilen har körts färdigt.

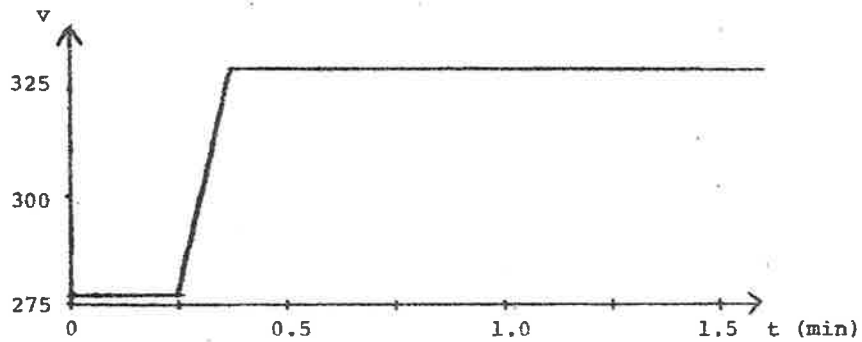


Fig. 5: Ventilinställningen

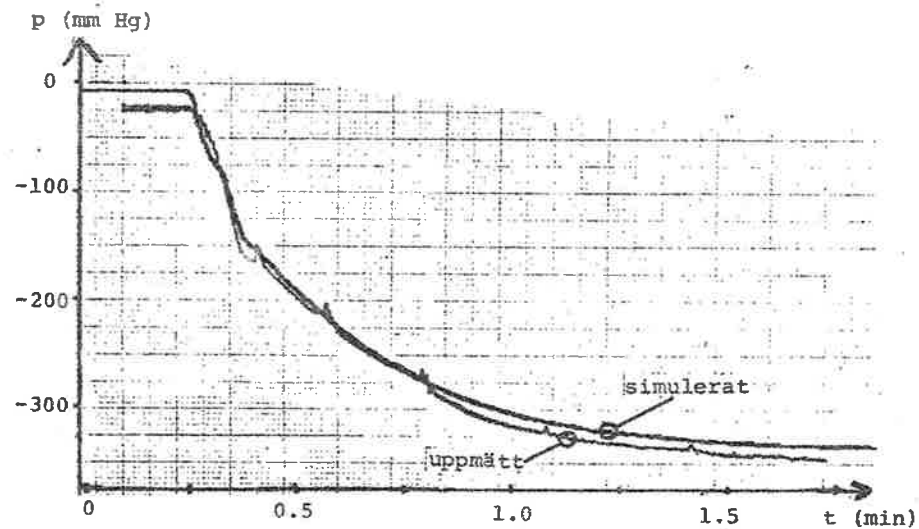


Fig. 7: Trycket

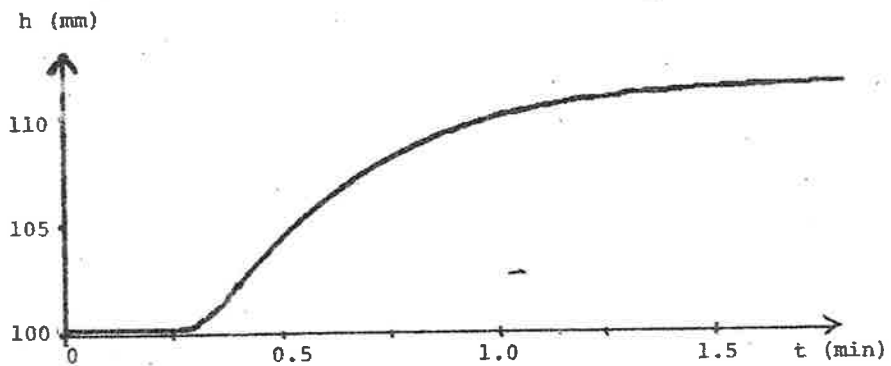


Fig. 6: Tanknivån

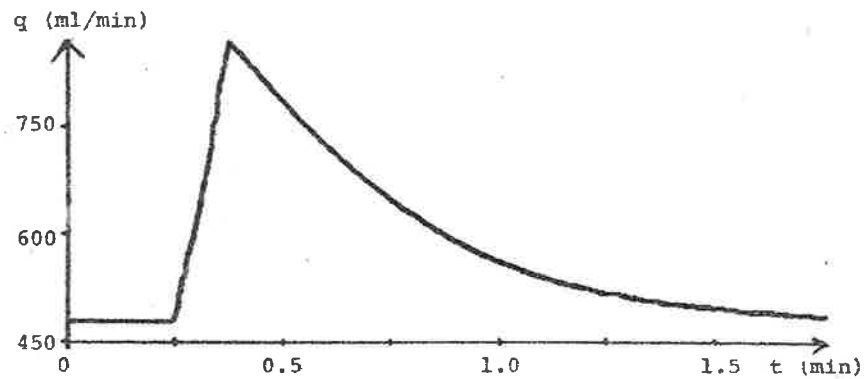


Fig. 8: Flödet

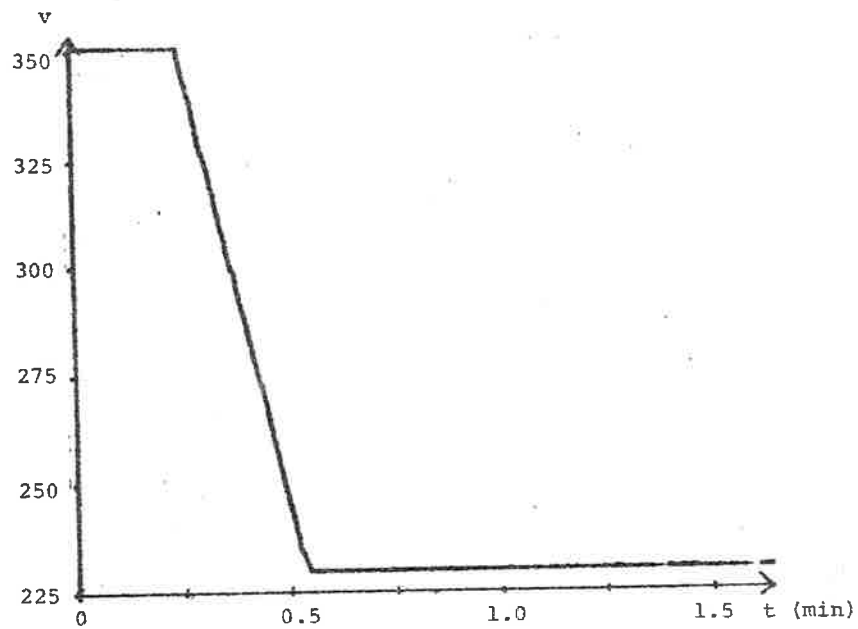


Fig. 9: Ventilinställningen

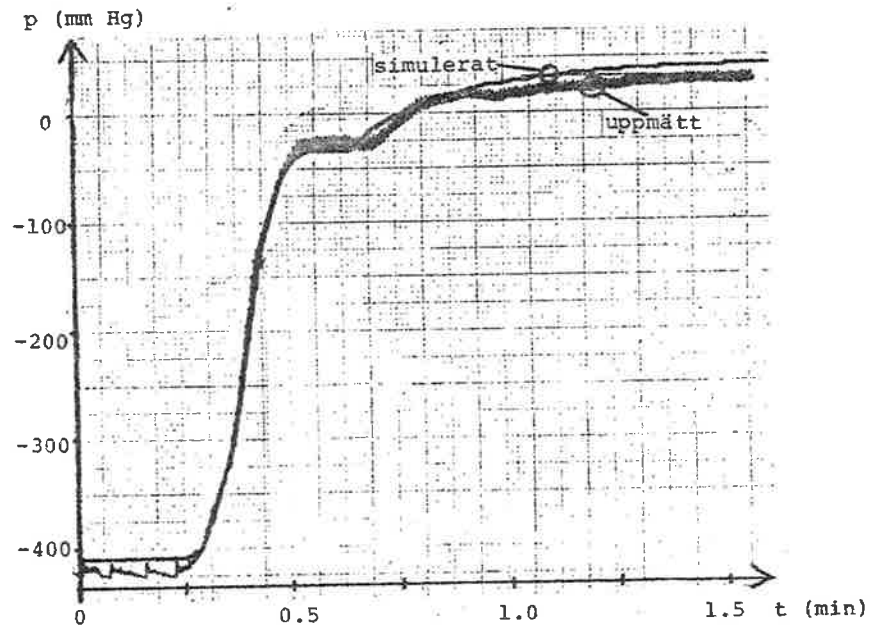


Fig. 11: Trycket

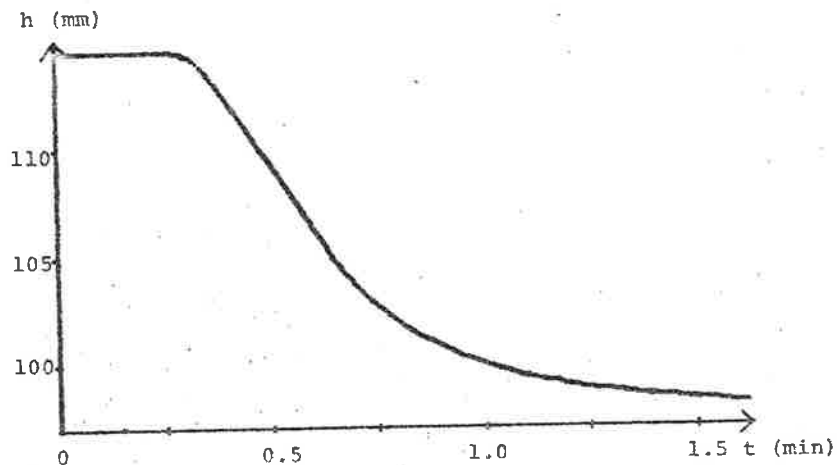


Fig. 10: Tanknivån

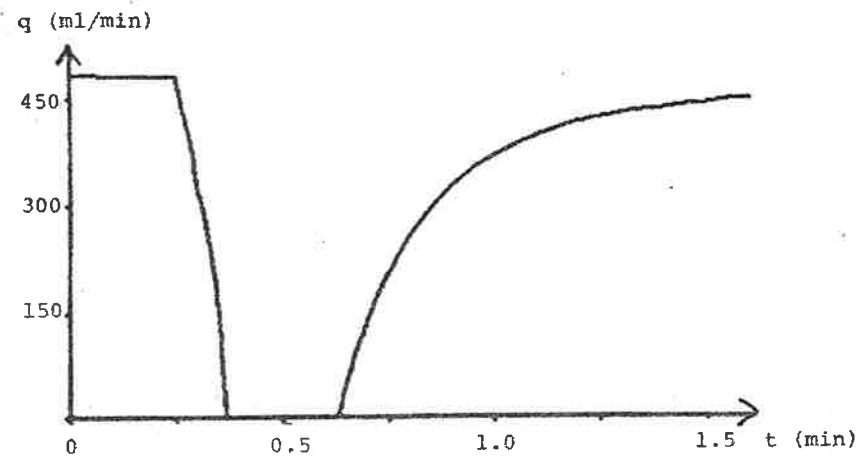
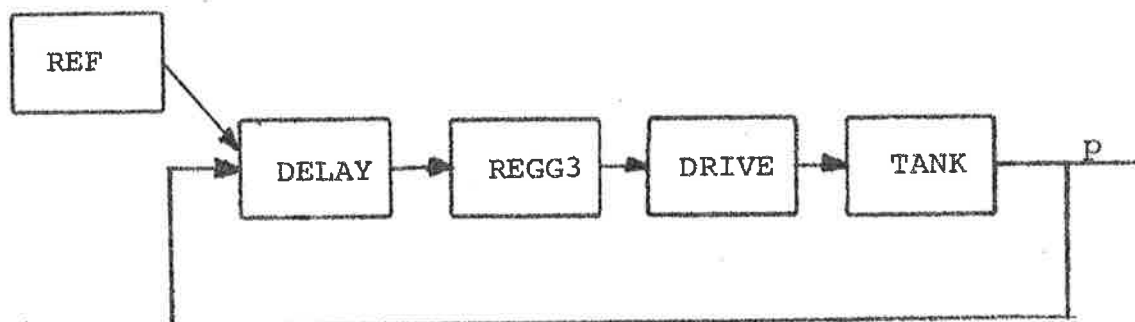


Fig. 12: Flödet

5. SIMULERING AV DET SLUTNA SYSTEMET

Den första styrlagen som prövades var den som verkliga systemet för närvarande använder. Det visade sig då att det måste finnas tidsfördröjning i systemet. Den beror på mekaniskt glapp i kontakter och kuggväxel, väntetid i mikrodatorn och motorns tröghet. Denna tidsfördröjning, som skattades till 0.6 sek, inkluderades sedan i styrlagen. Det återkopplade systemet kan då beskrivas med blockschemat



REF ger ett referensvärde för tryck, som jämföres med verkliga trycket. Skillnaden fördröjs i DELAY 0.6 sek innan den går in i regulatorn REGG3 vars utsignal kör ventilläget med DRIVE, som alltså är en ren integrator. DELAY är ett standardsystem i SIMNON, medan REF, DRIVE, REGG3 och det sammankopplande programmet GAMR2 är skrivna i SIMNONs eget språk och finns listade i appendix 2.

I alla simuleringarna användes, om inget annat sägs, inflödet 480 ml/min, tidsfördröjningen 0.6 sek och tillåtet tryckområde ± 20 mm Hg.

5.1 Stabilitetsundersökning

Till att börja med undersöktes stabiliteten hos systemet med den nuvarande styrlagen. Detta gjordes genom simuleringar av systemet vid olika tryckreferensvärden och med olika stora tillåtna tryckområden. På bildskärmen plottades trycket som funktion av ventilinställningen för att man så enkelt som möjligt skulle se eventuella självsvängningar.

Det visade sig att systemet var mest känsligt vid låga tryck. Därför undersöktes hur litet det tillåtna tryckområdet kunde göras vid trycket -400 mm Hg. Med ett tillåtet område på ± 8 mm Hg kan systemet precis självsvänga men inte med större tryckområden. Vid ett högre referenstryck blir det minsta tillåtna tryckområdet ännu mindre.

Detta innebär alltså att motorns hastighet är väl anpassad med tanke på kraven på dels stabilitet och dels snabbhet.

Det bör vara möjligt att använda ett fastlagt tillåtet tryckområde på förslagsvis ± 10 mm Hg vid alla referenstryck.

5.2 Snabbhetsundersökning

Med nuvarande reglering svarar systemet ganska långsamt, kring minuten, på större referenstrycksändringar. Det har därför undersökts hur man skulle kunna snabba upp systemet. För varje regulator har två olika steg i referenstryck prövats.

- a) Steg upp från -409 mm Hg till 0 mm Hg
- b) Steg ner från +47 mm Hg till -350 mm Hg

I båda fallen har initialvärden på tanknivå och ventilinställning valts så att systemet befunnit sig i stationärt tillstånd från början.

5.2.1 Nuvarande reglering

I fig. 13-15 visas resultatet från simuleringen med steg neråt i referenstryck, och i fig. 16-18 med steg uppåt i referenstryck. De brusiga kurvorna är även här resultaten från mätningar på den verkliga apparaten.

Avvikelserna mellan verkliga och simulerade kurvor är av två slag. Dels går den simulerade tryckkurvan ner fortare än den verkliga i fig. 14. Detta bör kunna undvikas genom att mäta upp funktionerna (1) för flera v-värden. Dessutom stämmer inte uppförandet under regleringen riktigt. Den simulerade kurvan gör flera mindre hack än den verkliga. Detta beror förmodligen på att det inte är riktigt realistiskt att ansätta en ren tidsfördröjning för alla glapp, tidskonstanter m m, som finns i kretsen.

Om man studerar kurvorna för ventilinställningen, fig. 13 och 16, finner man att ventilens körtid är en ganska stor del av den totala inställningstiden. Genom att köra ventilen fortare skulle detta kunna undvikas, men då blir systemet lättare instabilt, vilket ju inte är önskvärt. Därför införs

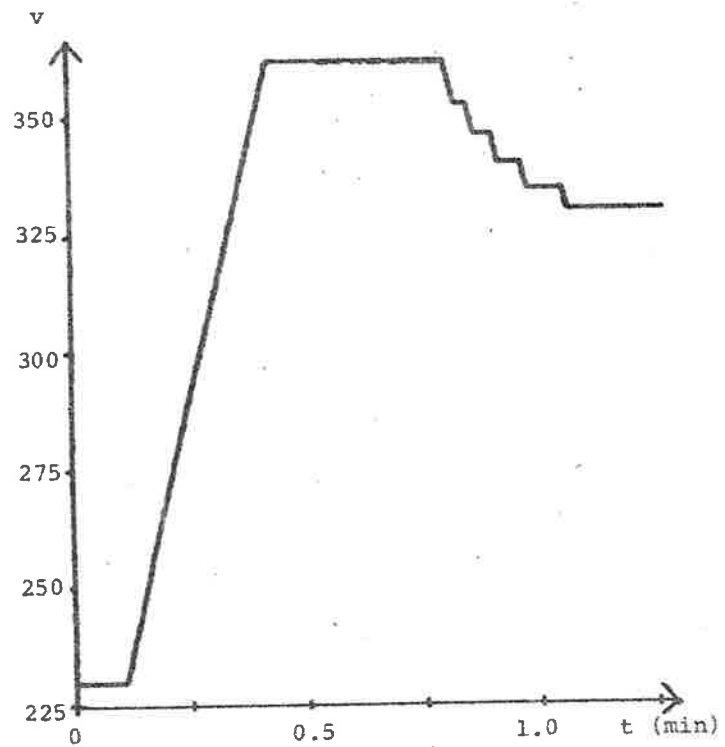


Fig. 13: Ventilinställningen

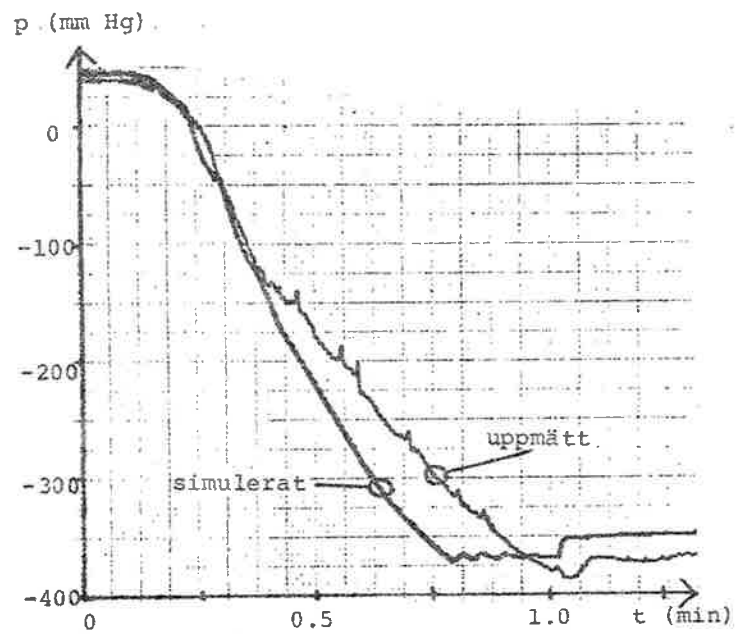


Fig. 14: Trycket

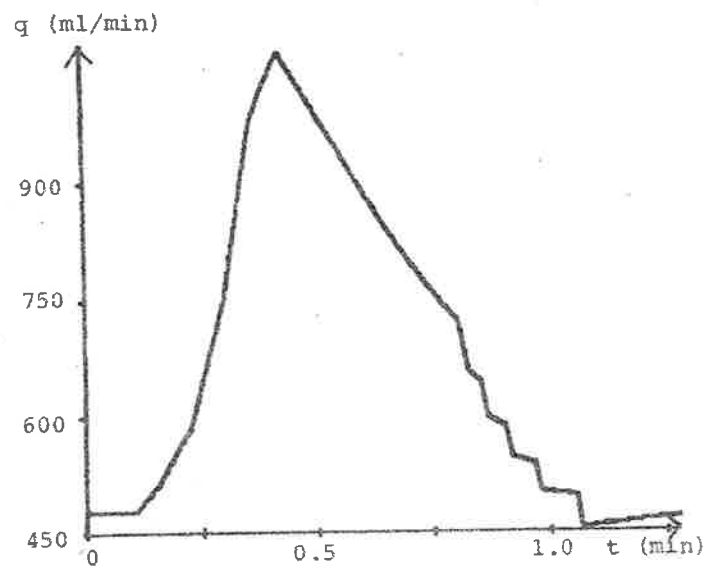


Fig. 15: Flödet

Slutna systemet, nuvarande styrning: Steg neråt i referenstryck

Slutna systemet, nuvarande styrning: Steg uppåt i referenstryck

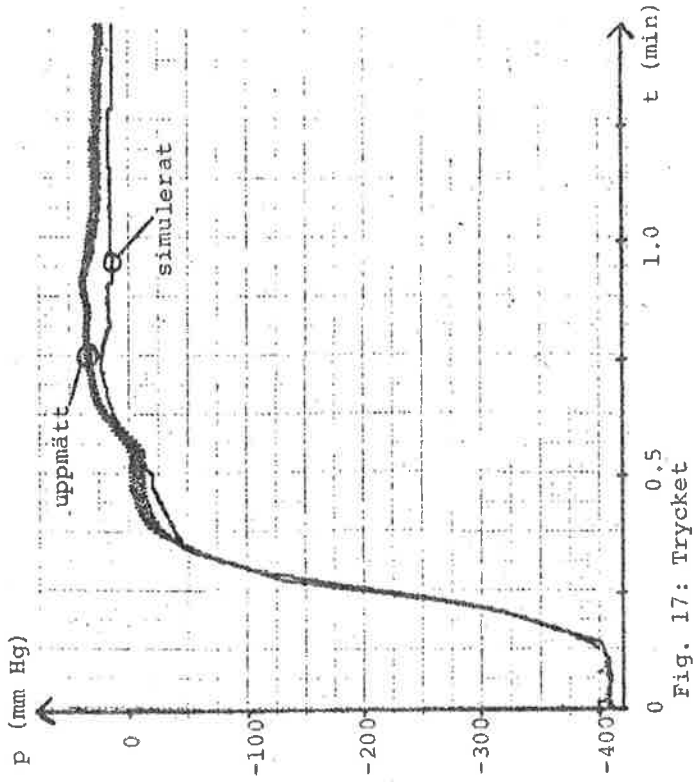


Fig. 17: Trycket

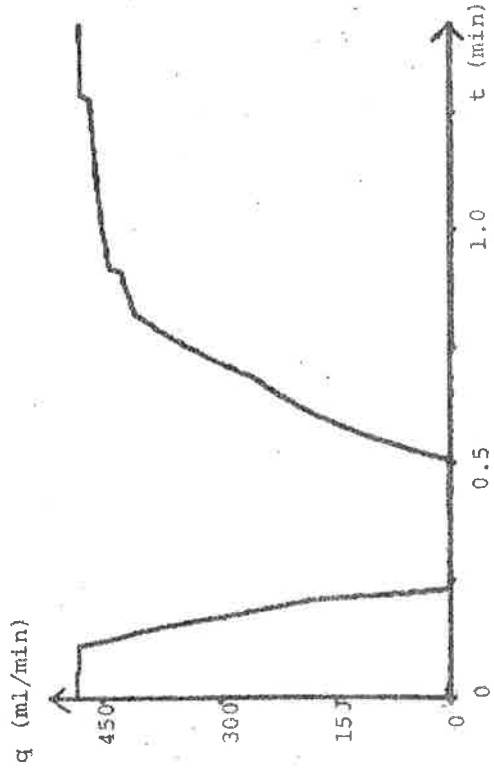


Fig. 18: Flödet

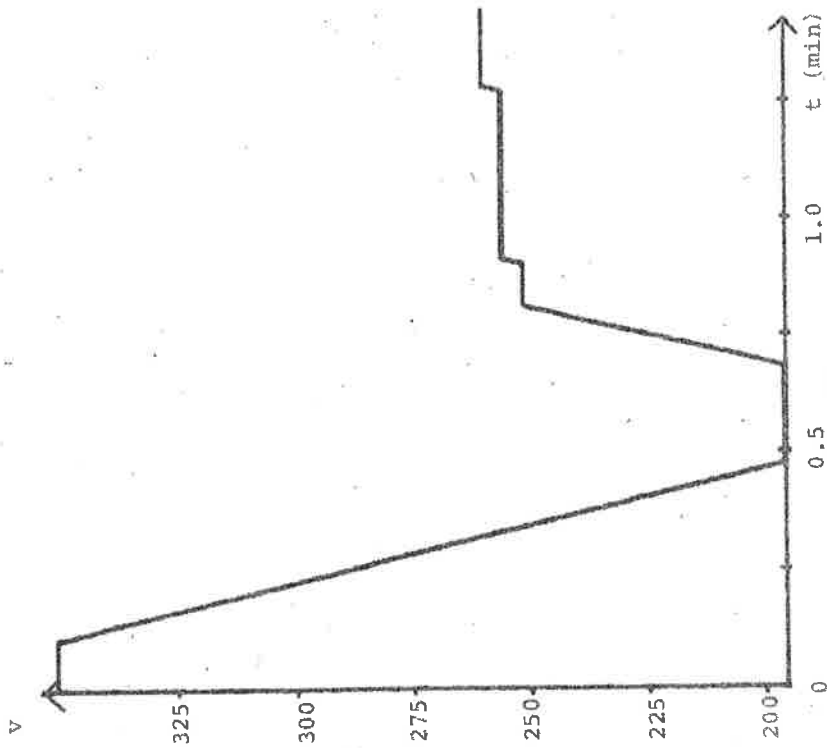


Fig. 16: Ventilinställningen

5.2.2 Tidsstyrd reglering

Idén är att man skall mäta tryckfelet och sedan köra ventilen under en tid, som är proportionell mot detta. Man mäter då tryckfelet endast i vissa tidpunkter, samplingstidpunkterna, och kör ventilen dessemellan. För att inte belasta reläerna i onödan behålls även här det tillåtna tryckområdet i vilket inget styringrepp görs.

Man kan nu öka ventilens hastighet utan att få stabilitetsproblem, om man bara ser till att avpassa körtiden så, att man när trycket ligger i kanten på det tillåtna området (men utanför) får en körtid, som för in trycket ungefär till mitten av området.

Fördelen med detta är att man i princip kan köra ventilen hur fort som helst, samtidigt som det tillåtna området kan göras hur litet som helst. Den begränsande faktorn blir hur snabbt man kan få reläerna att slå till respektive från. Den minsta möjliga tid reläerna kan vara tillslagna blir ju precis den kortast möjliga körtiden för ventilen.

Denna reglering har simulerats utan tidsfördröjningar p g a svårigheter i integrationsrutinen, men det bör inte påverka resultatet nämnvärt. Ventilhastigheten har satts till tio gånger större än nuvarande, och samplingsintervallet var 0.6 sek (spelar inte så stor roll; kan sättas till några sekunder).

Resultatet visas i fig. 19-21 för steg neråt och i fig. 22-24 för ett steg uppåt. Trots att ventilhastigheten ökade tio gånger blev alltså det styrda systemet inte ens dubbelt så snabbt. Detta beror på att den största delen av tiden går åt att fylla termostattanken, och det tar fortfarande ungefär lika lång tid. Bäst ser man reglerförloppet genom att studera kurvorna för ventilinställning, fig. 19 och 22. I detta fall används de i appendix 2 listade programmen REGG4 och GAMRU i stället för REGG3 respektive GAMR2.

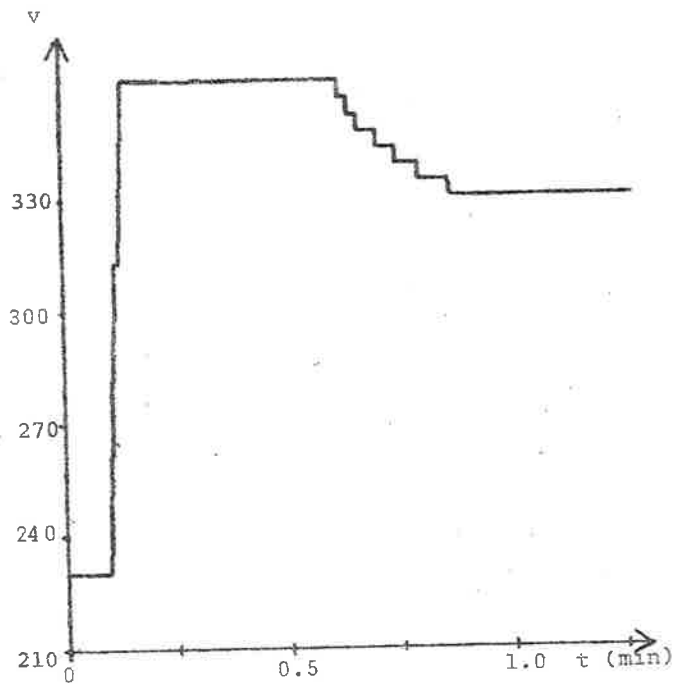


Fig. 19: Ventilinställningen

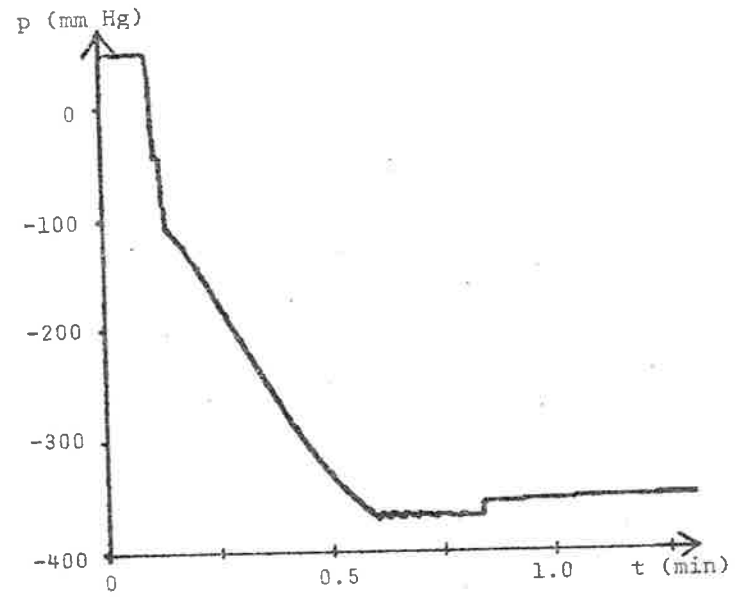


Fig. 20: Trycket

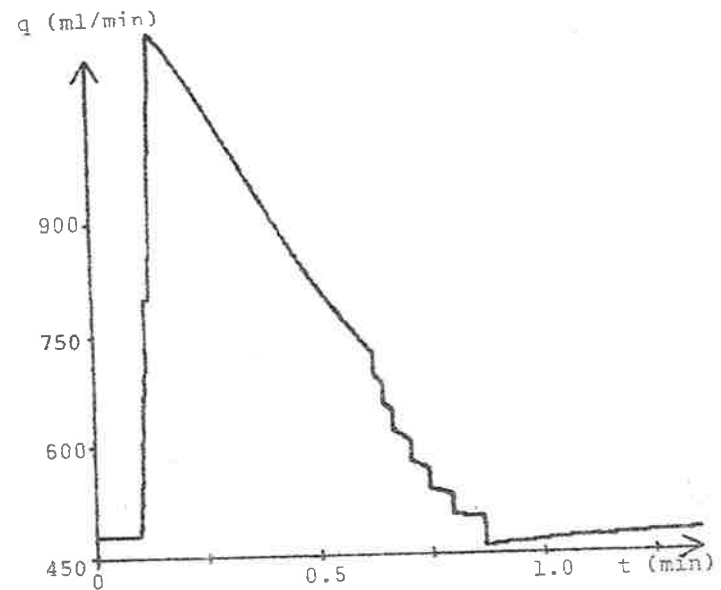


Fig. 21: Flödet

Slutna systemet, tidsstyrd reglering: Steg neråt i referensstryck

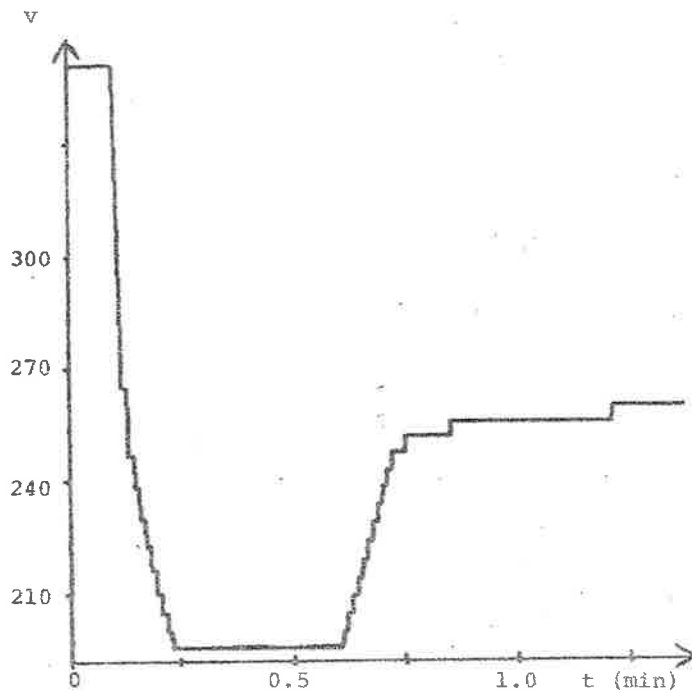


Fig. 22: Ventilinställningen

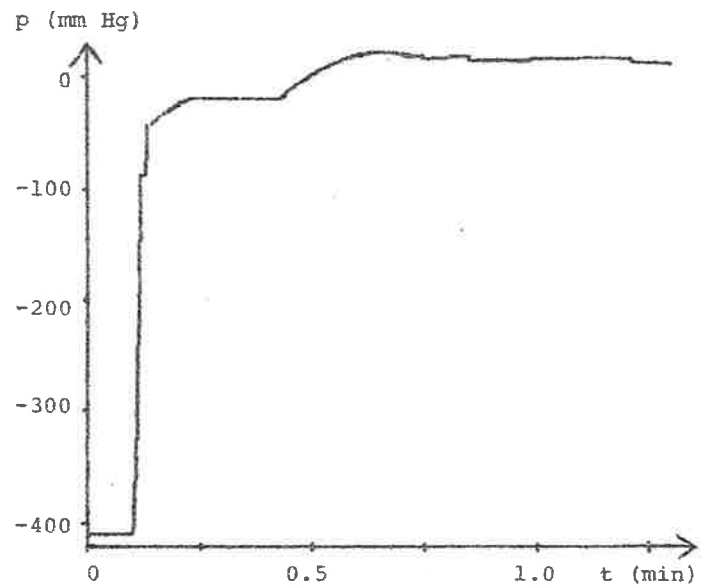


Fig. 23: Trycket

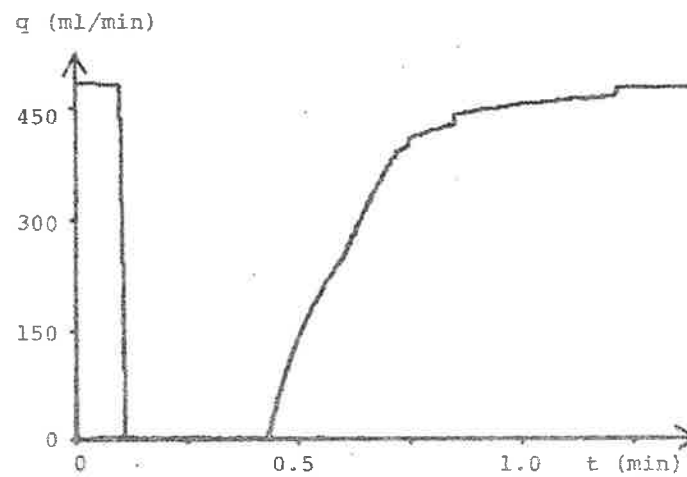


Fig. 24: Flödet

Slutna systemet, tidsstyrd reglering: Steg uppåt i referenstryck

5.2.3 Minskad termostattank

Ur kurvan för ventilinställningen ser man att man inte kan hoppas på att göra systemet snabbare utan att ändra uppbyggnaden på något sätt. Ventilinställningen går ju snabbt i botten, ligger kvar där en stund för att sedan ganska snabbt gå till sitt nya stationära värde. Tiden går åt för att fylla eller tömma termostattanken. Ett sätt att minska denna tid är att göra tvärsnittsarean mindre. Eftersom endast ca två cm av tankens höjd utnyttjas behöver man bara minska arean just där, och kan då ha kvar den ganska stora volym, som är önskvärd för temperaturreglering och blandning.

Det visar sig att man utan problem kan behålla den nuvarande regleringen, t o m med samma parametrar, när arean minskas. I fig. 25-27 och fig. 28-30 visas resultatet från simuleringar där ytan minskats fyra gånger och den nuvarande regleringen använts. Från ventilinställningskurvorna ser man att den största tiden nu åtgår till att köra ventilen. Man kan därför med fördel kombinera med tidsstyrd reglering enligt föregående avsnitt.

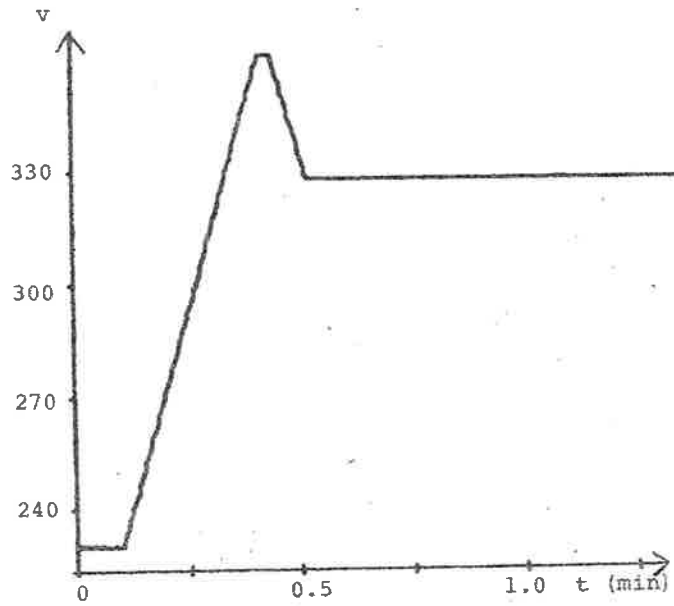


Fig. 25: Ventilinställningen

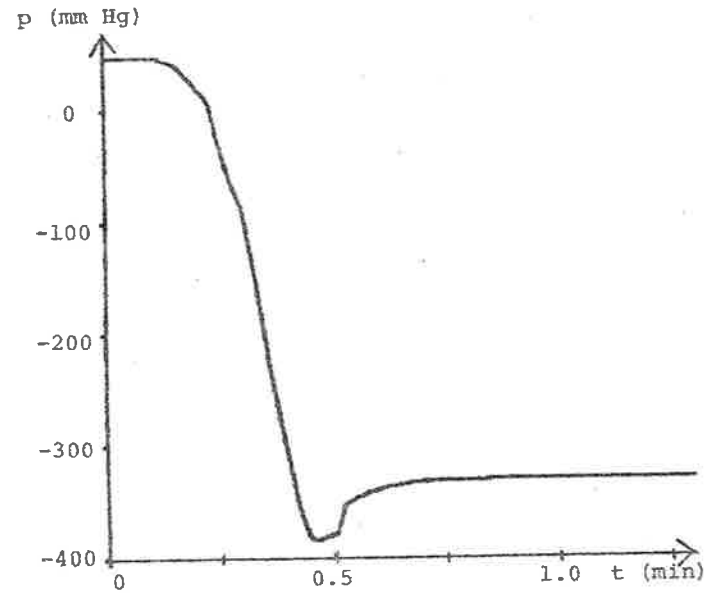


Fig. 26: Trycket

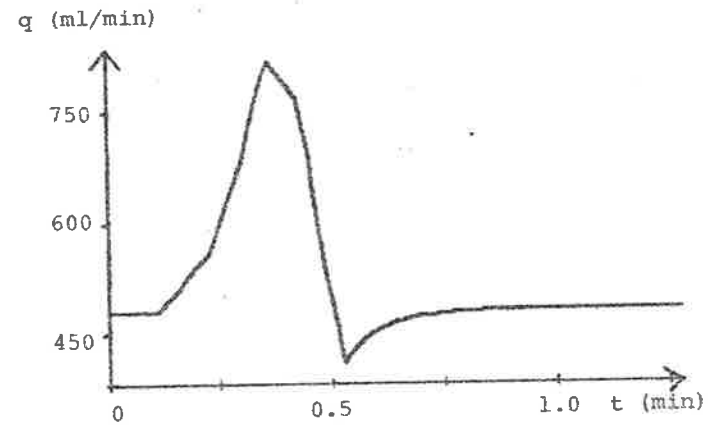
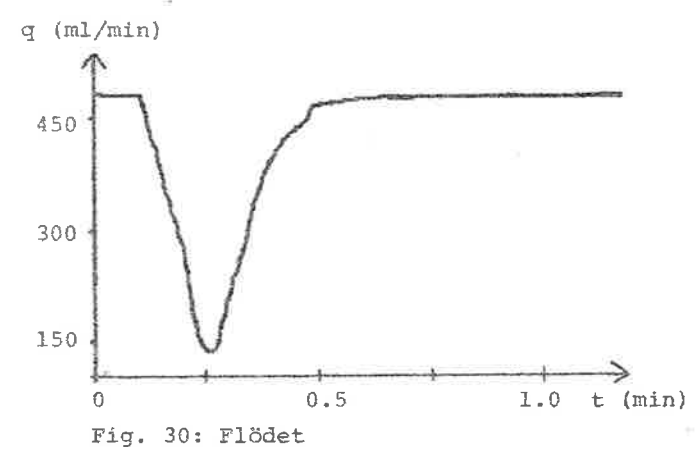
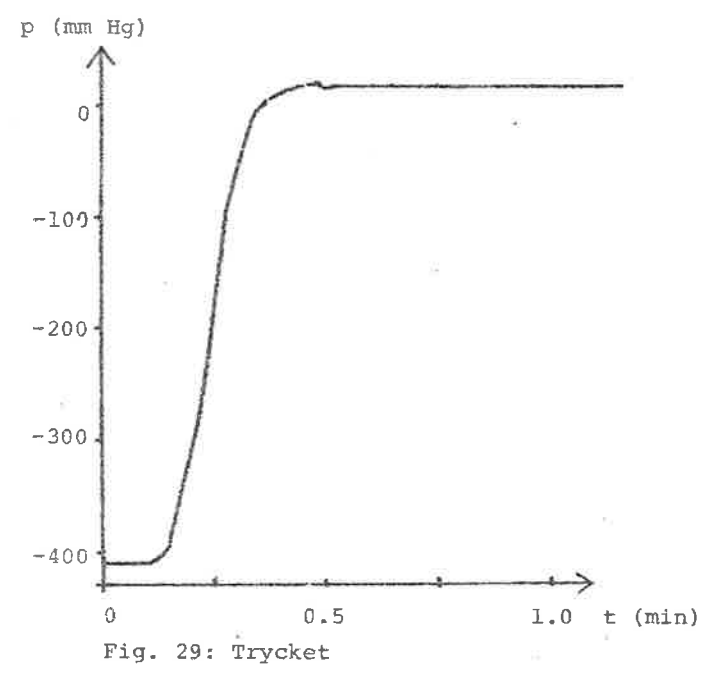
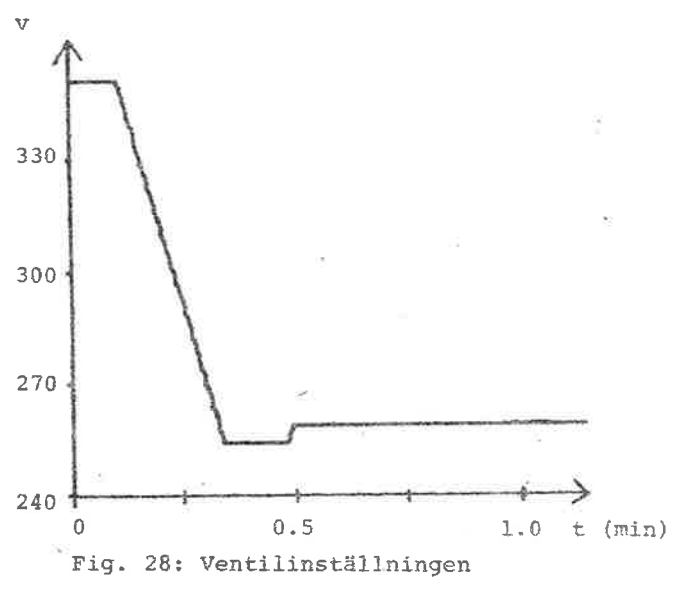


Fig. 27: Flödet

Slutna systemet, nuvarande reglering med förmlinskad tank:
Steg neråt i referenstryck.

Slutna systemet, nuvarande reglering med förminskad tank:
Steg uppåt i referenstryck.



6. SLUTSATSER

Det undersökta systemet regleras väl av nuvarande regulator. Ventilhastigheten är ungefär så hög den kan tillåtas vara med tanke på eventuella självsvängningar.

En nackdel med systemet är att användaren själv måste välja tillåtet tryckområde. Det är fullt möjligt att bestämma detta en gång för alla, och då låta förhållandena vid låga tryck avgöra storleken. Modellen i denna rapport visar att ett tillåtet tryckområde på ± 10 mm Hg skulle fungera vid alla referenstryck.

Om systemet skall göras snabbare, måste detta ske genom ändringar i uppbyggnaden och inte genom bättre reglering. Man kan t ex göra termostattankens tvärsnittsarea mindre och kan då åstadkomma betydande vinst i snabbhet. Andra möjligheter är naturligtvis att skaffa starkare pumpar, använda shuntledningar etc.

Om systemet på detta sätt byggs om kan det därefter löna sig att införa tidsstyrning som beskrivits i avsnitt 5.2.2.

Under arbetets gång har en rad saker successivt förbättrats. Trevägsventilen har genomgått ett par stadier av utveckling, och det samma gäller tryckgivarna.

Avslutningsvis vill författaren tacka AB Gambro för ett gott samarbete. Speciellt gäller detta Sven Jönsson och Lars-Ake Larsson, som gärna ställt upp och diskuterat olika problem, och också sett till att allt material funnits tillgängligt.

APPENDIX 1

SUBROUTINE TANK

COMMON /SLASK/ Q0(10),H0(10),QK(10),PL0(10),PL1(10),TL(10),BL(10)
1,PLT(10),P2M(10),AREA(8),AGR(7),VEGR(10),NP,NQ

COMMON /DESTIN/ IDUM,IPART
COMMON /TIME/ T

GOTO (1,2,3,4,5,6,7,8), IPART

CALL IDENT('CONT','TANK')
RETURN

CALL INPUT(V,'V')
CALL INPUT(QIN,'QIN')
CALL OUTPUT(PR,'P')
CALL STATE(H,'H')
CALL DER(DH,'DH')
CALL INIT(HINT,'HI')
CALL VAR(OUT,'Q')
CALL PARV(Q0,10,'Q0')
CALL PARV(H0,10,'H0')
CALL PARV(QK,10,'QK')
CALL PARV(PL0,10,'PL0')
CALL PARV(PL1,10,'PL1')
CALL PARV(TL,10,'TL')
CALL PARV(BL,10,'BL')
CALL PARV(PLT,10,'PLT')
CALL PARV(P2M,10,'P2M')
CALL PARV(VEGR,10,'VEG')
CALL PARV(AREA,8,'ARE')
CALL PARV(AGR,7,'AGR')
RETURN

Q0(1)=398.51
Q0(2)=571.98
Q0(3)=685.98
Q0(4)=864.83
Q0(5)=1052.02
Q0(6)=1278.87
H0(1)=94.439
H0(2)=93.31
H0(3)=90.85
H0(4)=87.425
H0(5)=91.421
H0(6)=86.33
QK(1)=4.026
QK(2)=3.209
QK(3)=2.242
QK(4)=0.9808
QK(5)=1.259
QK(6)=0.9043
PL0(1)=-4.
PL0(2)=-44.
PL0(3)=-130.
PL0(4)=-348.7741
PL0(5)=-489.
PL0(6)=-507.
PL1(1)=0.15
PL1(2)=0.1575
PL1(3)=0.23625
PL1(4)=0.
PL1(5)=0.232

PL1(6)=0.154
TL(1)=270.
TL(2)=480.
TL(3)=350.
TL(4)=500.
TL(5)=1260.
TL(6)=910.
RL(1)=270.
RL(2)=480.
RL(3)=350.
RL(4)=-22.
RL(5)=400.
RL(6)=550.
PLT(1)=0.134
PLT(2)=0.0875
PLT(3)=0.03
PLT(4)=0.595
PLT(5)=1.0425
PLT(6)=0.6675
P2M(1)=0.
P2M(2)=0.
P2M(3)=0.
P2M(4)=0.57E-03
P2M(5)=0.47122E-03
P2M(6)=0.77803E-03
VEGR(1)=166.
VEGR(2)=250.
VEGR(3)=280.
VEGR(4)=310.
VEGR(5)=335.
VEGR(6)=362.
AREA(1)=1.6667
AREA(2)=1.4235
AREA(3)=2.0374
AREA(4)=1.5938
AREA(5)=1.8868
AREA(6)=2.4242
AREA(7)=1.8116
AREA(8)=2.6178
AGR(1)=54.
AGR(2)=71.6
AGR(3)=98.9
AGR(4)=120.
AGR(5)=135.7
AGR(6)=147.4
AGR(7)=157.5
HINT=100.
NP=6
NQ=6
RETURN

C
4
C
5
C
6
C
7
C
8
C

RETURN
OUT=Q(V,H)
PR=P(V,QUT)
RETURN
DH=(QUT-QIN)*0.1/A(H)
RETURN
RETURN
RETURN
END

FUNCTION Q(V,H)

COMMON /SLASK/ Q0(10),H0(10),QK(10),PL0(10),PL1(10),TL(10),BL(10)
1,PLT(10),P2M(10),AREA(8),AGR(7),VEGR(10),NP,NQ

J0=NQ
NST=NQ-2
DO 10 I=1,NST
IF(V.GT.VEGR(NQ-I)) GO TO 20
J0=J0-1
X1=VEGR(J0-1)-V
X2=VEGR(J0)-V
Y1=QHEL(J0-1,H)
Y2=QHEL(J0,H)
SL1=Y1*X2-Y2*X1
SL1=SL1/(X2-X1)
IF(SL1.LT.0.) SL1=0.
Q=SL1
RETURN
END

FUNCTION P(V,Q)

COMMON /SLASK/ Q0(10),H0(10),QK(10),PL0(10),PL1(10),TL(10),BL(10)
1,PLT(10),P2M(10),AREA(8),AGR(7),VEGR(10),NP,NQ

J0=NP
NST=NP-2
DO 10 I=1,NST
IF(V.GT.VEGR(NP-I)) GO TO 20
J0=J0-1
X1=VEGR(J0-1)-V
X2=VEGR(J0)-V
Y1=PHEL(J0-1,Q)
Y2=PHEL(J0,Q)
SL1=Y1*X2-Y2*X1
SL1=SL1/(X2-X1)
P=SL1
RETURN
END

FUNCTION QHEL(I,H)

COMMON /SLASK/ Q0(10),HQ(10),QK(10),PL0(10),PL1(10),TL(10),BL(10)
1,PLT(10),P2M(10),AREA(8),AGR(7),VEGR(10),NP,NQ

SL=Q0(I)
IF(H,LE.HQ(I)) GO TO 10
SL=SL-QK(I)*(H-HQ(I))**2
QH=SL

RETURN
END

FUNCTION PHEL(I,Q)

COMMON /SLASK/ Q0(10),HQ(10),QK(10),PL0(10),PL1(10),TL(10),BL(10)
1,PLT(10),P2M(10),AREA(8),AGR(7),VEGR(10),NP,NQ

SL=PL0(I)+PL1(I)*Q
IF(Q-TL(I)) 10,20,20
IF(Q-BL(I)) 40,40,30
SL=SL+PLT(I)*(Q-0.5*(BL(I)+TL(I)))
GO TO 40
SL=SL+P2M(I)*(Q-BL(I))**2
PHEL=SL

RETURN
END

FUNCTION A(H)

COMMON /SLASK/ Q0(10),HQ(10),QK(10),PL0(10),PL1(10),TL(10),BL(10)
1,PLT(10),P2M(10),AREA(8),AGR(7),VEGR(10),NP,NQ

J=1
DO 10 I=1,7
IF(H.LT.AGR(I)) GO TO 20
J=J+1
A=AREA(J)

RETURN
END

APPENDIX 2

CONNECTING SYSTEM GAMB

TIME T

VSL=V0+CONS*(T1-T0)
V[TANK]=IF T<T0 THEN V0 ELSE IF T<T1 THEN V0+CONS*(T-T0) ELSE VSL
QIN[TANK]=QINP

T0:1
T1:1.1
V0:250
CONS:420
QINP:480

END

CONTINUOUS SYSTEM REF

TIME T
OUTPUT PRE

PRE=IF T<T0 THEN PFOR ELSE PAFT

T0:0.1
PFOR:0
PAFT:0
END

CONTINUOUS SYSTEM REGG3

INPUT PDEL
OUTPUT RELA

P1=PFNST
P2=-PFNST
RELA=IF PDEL>P1 THEN 1 ELSE IF PDEL<P2 THEN -1 ELSE 0
PFNST:20
END

CONTINUOUS SYSTEM DRIVE

INPUT REL
OUTPUT VD
TIME T
STATE X
DER DX

OUTPUT

VD=X

DYNAMICS

IN=REL*CONS
DX=IF X>PTOP THEN MIN(0,IN) ELSE IF X<PBOT THEN MAX(0,IN) ELSE REL*CONS

CONS:420
PTOP:362
PBOT:166
X:250
END

CONNECTING SYSTEM GAMR2

TIME T

TD1[DELAY]=T-TIDF
QIN[TANK]=QINP
V[TANK]=VD[DRIVE]
U1[DELAY]=P[TANK]-PRE[REF]
PDEL[REGG3]=Y1[DELAY]
REL[DRIVE]=REL1[REGG3]

TIDF:0.01
QINP:480

END

DISCRETE SYSTEM REGG4

INPUT REGIN
OUTPUT RELA
STATE IND VAL
NEW NIND NVAL
TSAMP TS
TIME T

OUTPUT

P1=PFNST
P2=-PFNST
HALP=IF REGIN>P1 THEN 1 ELSE IF REGIN<P2 THEN -1 ELSE 0
RELA=IF IND<0.5 THEN HALP ELSE 0
TWAIT=DT*INT(K2*VAL/DT) + DT
TDRI=K1*ABS(REGIN)
TS=T+(IF ABS(RELA)>0.5 THEN TDRI ELSE IF IND>0.5 THEN TWAIT ELSE DT)

DYNAMICS

NIND=IF ABS(RELA)>0.5 THEN 1 ELSE 0
NVAL=IF ABS(RELA)>0.5 THEN ABS(REGIN) ELSE 0

DT:0.01
PFNST:20
K1:0.0005
K2:0.0005

END

CONNECTING SYSTEM GAMRU

TIME T

QIN[TANK]=QINP
V[TANK]=VD[DRIVE]
REGIN[REGG4]=P[TANK]-PRE[REF]
REL[DRIVE]=RELA[REGG4]

QINP:480

END