

# Synkronisert bevegelseskontroll

Synkronisert bevegelseskontroll av hydrauliske sylindere for borerørhåndtering.

**Filip Lervåg og Majid Nadeem Kurd**

## **Veileder**

Geir Hovland

*Masteroppgaven er gjennomført som ledd i utdanningen ved Universitetet i Agder og er godkjent som del av denne utdanningen. Denne godkjenningen innebærer ikke at universitetet innestår for de metoder som er anvendt og de konklusjoner som er trukket.*

Universitetet i Agder, 2012

Fakultet for Teknologi og Realfag

Institutt for Ingeniørvitenskap

## **Forord**

Våre veiledere gjennom prosjektet har vært Geir Hovland ved UiA og Søren Øydna ved Aker MH Kristiansand. Vi har hatt jevnlig veiledningsmøter og fått tett oppfølging gjennom hele prosjektperioden. Vi vil takke for gode råd og tilbakemeldinger.

Vi vil også takke Bernt Olav Holen ved Aker MH Kristiansand, for den hjelpen og rådgivningen han gav oss i løpet av prosjektets startfase.

Foruten gode veiledere, har vi fått god hjelp fra faglærere ved UiA. Vi har også funnet opplysninger på internett og i fagbøker.

Dette er en konfidensiell rapport mellom kandidatene og Aker MH Kristiansand.

## Sammendrag

Rapporten starter med en kravspesifikasjon som er utarbeidet mellom kandidatene, veiledere og Aker MH Kristiansand. Kortfattet går oppgaven ut på å lage og implementere en algoritme for synkron utkjøring av sylindrene på en testjigg ved UiA, dette er en "fungerer som" modell av Aker MH sin Torquemaster™[5]. Det skal også lages og implementeres en algoritme for diameteravlesning og senteravvik for rørene som testes i jiggen. Sammen med oppgaveteksten er det kravspesifikasjonen som setter rammene for masteroppgaven.

Kandidatene har implementert konsept for diameteravlesning og senteravvik som fremkommer av bacheloroppgaven kandidatene skrev for Aker MH i 2010[1]. Der er utviklingsfasen og konseptvalg gjennomgått og begrunnet. For den synkron utkjøringen av sylindrene er det valgt å bygge de ulike metodene på en PI-regulator, og forskjellige reguleringsløyper denne regulatoren inngår i. De ulike løsningene ble simulert ved hjelp av Simulink og eksperimentelt på testjiggen. Etter utvelgelsesprosessen ser man at det er de løsningene som reguleres ved hjelp av frekvensresponsen til det totale systemet, inkludert regulatorsløyferne, som gir mest synkron utkjøring. Den beste løsningen er en frekvensrespons regulert PI-regulator med fremoverkobling der systemet har lik fasemargin og kryssfrekvens for alle sylindrene.

Til slutt ble den valgte løsningen testet på flere ulike rørdiameterer og med ulik eksentrisitet. Fra disse resultatene fremkommer det at løsningen fungerer best ved ukjente diameterer fordi man da unngår nedbremsingsfasen til sylindrene.

# Innhold

Forord .....	2
Sammendrag .....	3
1. Innledning.....	6
2. Kravspesifikasjon .....	7
3. Testjigg .....	9
3.1. Testjigg modifikasjoner .....	9
3.1.1. Mekaniske endringer.....	9
3.1.2. Elektriske endringer.....	10
4. Konseptgenerering for synkron utkjøring av sylindere .....	12
4.1.1. Løsning 1:.....	12
4.1.2. Løsning 2:.....	12
4.1.3. Løsning 3:.....	14
4.1.4. Løsning 4:.....	14
4.1.5. Løsning 5:.....	14
4.2. Konseptvalg: .....	14
4.2.1. Eksperimentell fremstilling av testjiggen .....	15
4.2.2. Løsning 1.....	20
4.2.3. Løsning 2.....	21
4.2.4. Løsning 3.....	23
4.2.5. Løsning 4.....	24
4.2.6. Løsning 5.....	28
4.3. Konseptvekting.....	31
4.3.1. Maksimalt avvik mellom sylindere og posisjonsreferansen, simulert .....	31
4.3.2. Maksimalt avvik mellom sylindere, simulert.....	34
4.3.3. Maksimalt avvik mellom sylindere og posisjonsreferansen, eksperimentelt .....	37
4.3.4. Maksimalt avvik mellom sylindere, eksperimentelt.....	40
4.3.5. Gjennomsnittlig avvik mellom sylindere og posisjonsreferansen, simulert .....	43
4.3.6. Gjennomsnittlig avvik mellom sylindere, simulert.....	43
4.3.7. Gjennomsnittlig avvik mellom sylindere og posisjonsreferansen, eksperimentelt ....	44
4.3.8. Gjennomsnittlig avvik mellom sylindere, eksperimentelt.....	46
4.3.9. Senteravvik, eksperimentelt.....	49
4.3.10. Diameteravlesning, eksperimentelt .....	49
4.3.11. Innsvingningstid, simulert .....	50

4.3.12.	Oversving, simulert.....	50
4.3.13.	Regulator uavhengig av referanse, simulert .....	51
4.3.14.	Regulator uavhengig av referanse, eksperimentelt .....	56
4.3.15.	Regulator uavhengig av temperaturforandringer, simulert.....	59
4.3.16.	Regulator uavhengig av temperaturforandringer, eksperimentelt.....	61
4.4.	Konseptscreening og valg av endelig konsept.....	65
5.	IAT, Intern Aksept Testing .....	67
5.1.	Avvik med sylindrer i inngrep med røret.....	67
5.1.1.	Maksimalt avvik mellom posisjonsreferansen og sylindrer med trykk .....	67
5.1.2.	Maksimalt avvik mellom sylindrer med trykk.....	68
5.1.3.	Gjennomsnittlig avvik mellom posisjonsreferansen og sylindrer med trykk .....	68
5.1.4.	Gjennomsnittlig avvik mellom sylindrer med trykk.....	69
5.2.	Tester for synkron utkjøring med ulike rørdiameter og eksentrisitet.....	70
5.2.1.	Tester på første rør.....	70
5.2.2.	Tester på andre rør.....	72
5.2.3.	Sammenligning av diameter og senteravvik .....	73
6.	WinCC .....	74
7.	Drøfting.....	76
7.1.	Endringer på testjiggen .....	76
7.2.	Fremstilling av transferfunksjonene.....	76
7.3.	Konseptgenerering .....	77
8.	Konklusjon .....	78
9.	Referanser .....	79
	Vedlegg.....	80

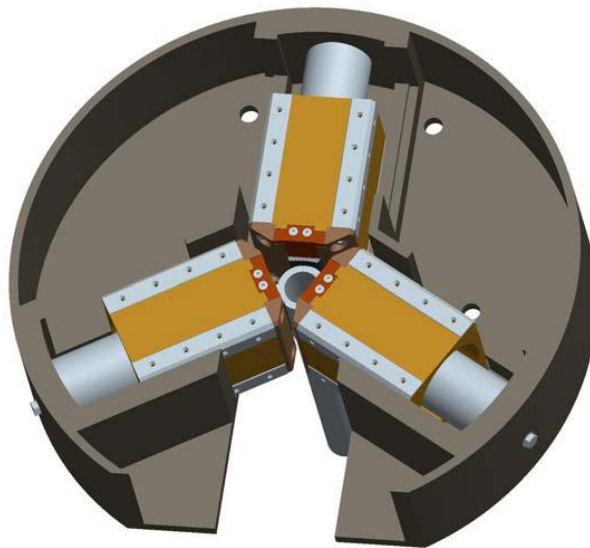
## 1. Innledning

Aker MH er en av verdens ledende leverandører av boreutstyr til offshoreindustrien. Som en del av bedriftens produktportefølje, leverer Aker MH maskiner til bruk ved sammenkobling av borestrengseksjoner. Denne typen maskiner har to tenger som griper på borerøret og roterer det. I prosessen med å skru sammen rør påfører tennene borerøret store momentkrefter, og er derfor avhengig av et godt grep om røret. På Aker MHs maskin Torquemaster™, holdes røret fast ved hjelp av tre hydrauliske sylindere som er i direkte inngrep med røret.

Hovedoppgaven gitt av Aker MH er å utvikle et kontrollkonsept som sørger for at alle 3 sylindere kommer i inngrep med røret ved synkron utkjøring uten at diameteren på røret er kjent på forhånd. Videre skal det la seg gjøre å hente ut diameteren på røret med en rimelig nøyaktighet.

Oppgaven består av følgende deler:

- Utvikle en kontrollalgoritme for synkron utkjøring av sylindrene når rørdiameteren er ukjent, og implementere løsningen i en Siemens PLS
- Røret kan ikke antas å bli presentert i geometrisk senter. Avvik vil alltid forekomme og algoritmen skal kunne kompensere/være uavhengig av dette.
- Automatisk beregne rørdiameteren og senteravviket til røret etter den synkron utkjøringen er utført.
- Sentrere røret hvis det er eksentrisk når sylindrene er i inngrep etter endt utkjøring.
- Lage et brukergrensesnitt i WinCC.



**Fig 1.1: De tre sylindrene i Torquemasteren.**

De tre hydrauliske sylindrene er arrangert som vist i fig 1.1. Sylindrene er individuelt styrt med hver sin ventil og instrumentert med hver sin sylindereposisjonsmåling og trykktransmitter. Det er ingen form for mekanisk synkronisering mellom sylindrene.

## 2. Kravspesifikasjon

Kravspesifikasjonene ble laget for å konkretisere oppgaveteksten gitt fra Aker MH. Ved å sette målbare kriterier som de ulike løsningene og konseptene kan vektas opp mot er det enklere å skille løsningene fra hverandre og velge det konseptet som gir best resultat.

Oppgaven består av tre deler; synkron utkjøring av sylindrene, avlesning av diameter og senteravvik og flytting av røret til senter av testjiggen ved eventuell eksentrisitet. Oppgaven skal utføres på en ferdigstilt testjigg ved UiA der algoritmene for synkron utkjøring av sylindrene, samt avlesning av diameter og senteravvik skal programmeres i styreenheten testjiggen er utstyrt med.

Kravspesifikasjonene testjiggen er bygd etter finnes i bacheloroppgaven skrevet for Aker MH i 2010[1], og de eneste spesifikasjonene som er tatt med videre fra denne kravspesifikasjonen er avlesningsområde til testjiggen.

For senteravvik- og diameteravlesning er utfordringen å avlese diameteren på et rør som står eksentrisk. Når røret står eksentrisk fører det til at angrepspunktene på stempelstengene ikke alltid treffer i senter, noe som vil gi avvik. Oppgaven er å lage en algoritme som kan avlese diameteren på ulike rørdiameterer, som også kan stå eksentrisk.

Ved å oppnå synkron utkjøring av sylindrene mener kandidatene at problemet med eksentrisitet opphører og det dermed ikke vil være behov for å flytte på røret når alle sylindrene er i inngrep med røret. Derfor er det ingen krav for innregulering/sentrering av røret etter sylindernes utkjøring. For den synkrone utkjøringen er den største utfordringen å styre tre hydrauliske systemer med ulike fysiske egenskaper.

Oppgaven er dermed å lage en algoritme som kan kjøre ut de tre sylindrene synkront med individuell styring, samt avlese diameteren og senteravviket til røret når alle sylindrene er i inngrep med røret.

Bør	Skal	Prosjekt:
		<b>Masteroppgave</b>
		<b>1. Testjigg</b>
	X	Benytte ferdigstilt testjigg ved UiA
		<b>2. Avlesningsområde</b>
	X	Diameter $\geq 60$ mm (2 3/8")
	X	Diameter $\leq 275$ mm (10 5/6")
		<b>3. Avlesning</b>
	X	Avlese diameter på rør som står $\pm 10$ mm eksentrisk
	X	Bruke slaglengden til å avlese diameter
		<b>4. Avvik fra reell diameter</b>
1		< 4mm
		<b>5. Senteravvik</b>
1		Sentrere røret med en nøyaktighet på < 2 mm fra testjiggens senterpunkt
		<b>6. Sentring</b>
9	X	< 15 sek på sentringen av røret
		Sentrere rør som står opptil $\pm 10$ mm eksentrisk
		<b>7. Avvik mellom sylindrene ved synkron utkjøring</b>
3		Maksimalt avvik mellom sylindrene < 4mm
1		Avvik mellom sylindrene < 2mm
		<b>8. Testing</b>
3		Algoritmen for synkronkjøring testes i et simuleringsprogram
		<b>9. Tidsfrist</b>
	X	For innlevering av masteroppgave: 31.05.2012

Tabell 2.1: Oversikt over krav for oppgaven, inkludert synkron utkjøring, diameteravlesning og senteravvik.<sup>1</sup>

I oppgaven følger konseptgenerering og konseptvalg for synkron utkjøring av sylindrene. Utviklingen av algoritme og valg av konsept for diameteravlesning og senteravvik ble gjort i bachelor oppgave for Aker MH[1].

<sup>1</sup> Kravene i denne tabellen er delt inn i skal og bør kategorier. Punktene markert med ”skal” har høyest prioritet, og forventes å oppfylles. Punktene merket med ”bør” er skalert med 1,3 og 9, hvor 1 har høyest prioritering.



### 3. Testjigg

For prosjektet er det tildelt en jigg for testing av algoritmene som utvikles for synkron utkjøring av sylindrene på Torquemaster™, som griper fast i boring- eller foringsrøret. Testjiggen er en “fungerer-som” prototype.

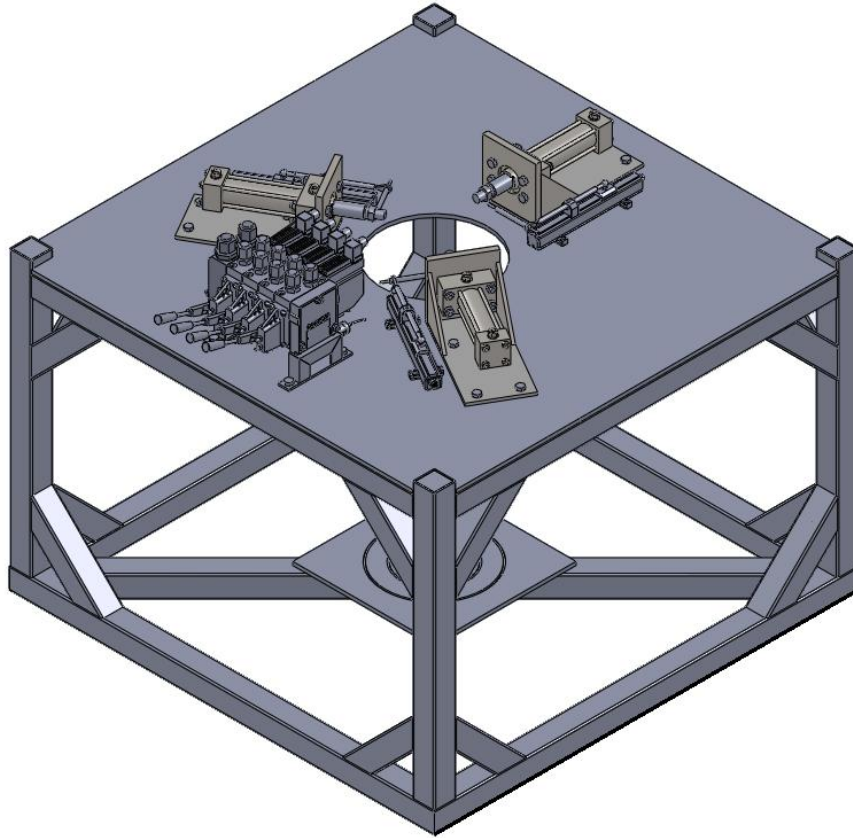


Fig 3.1 Solidworks modell av testjiggen før modifikasjonene ble implementert

Testjiggen består av 3 sylindere som står  $120^\circ$  i forhold til hverandre rundt et sirkulært hull i topplaten, slik som vist i fig 3.1, og avstanden fra hver av sylindernes stempel til midtpunktet i hullet er 150mm. Sylindrene blir styrt ved hjelp av en proporsjonalventil som har individuell styring av hvert ventilsegment, som hver enkelt sylinder er koblet til. Styringen av proporsjonalventilen er gjort ved hjelp av en PLS som spenningstyrer sleideåpningen på hvert segment. Testjiggen er utstyrt med LVDTer for å måle stemplenes slaglengde, og trykksensorer på utgangen av hvert ventilsegment til proporsjonalventilen for å måle trykkoppbygging når stempelet kommer i inngrep med røret i senter av jiggen.

#### 3.1. Testjigg modifikasjoner

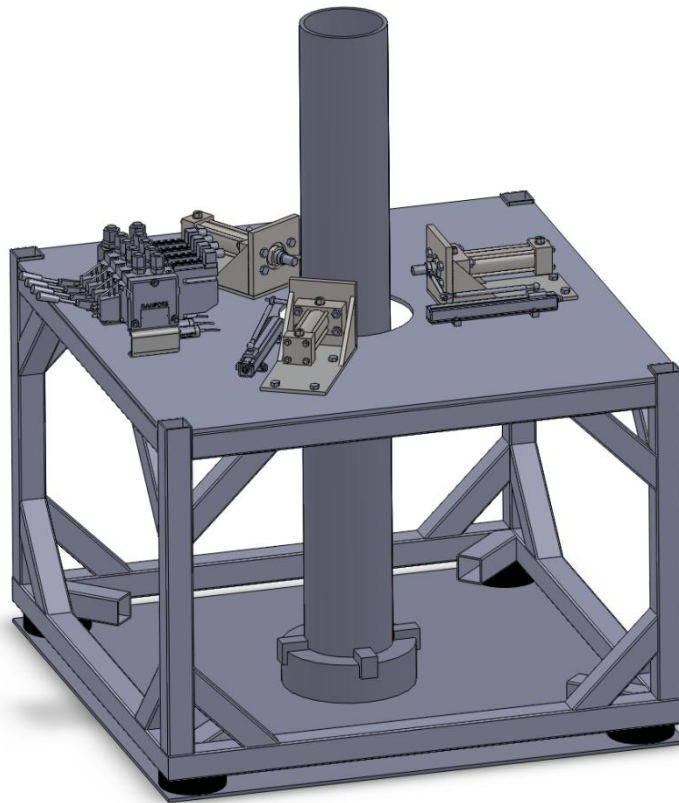
For at testjiggen skal ha en mer robust oppførsel og en funksjonalitet som er mer lik Torquemaster™, er det gjort noen endringer av jiggen mekaniske oppsett og det elektriske styresystemet.

##### 3.1.1. Mekaniske endringer

Ved kjøring av tester har jiggen tidligere hatt vanskeligheter med å simulere forholdene som oppstår når det er eksentrisitet mellom røret og senterpunktet til testjiggen. På Torquemaster™ er det gummiforinger som medfører at selve Torquemaster™ kan bevege seg når sylindrene kommer i

inngrip med rørene så vel som at den har evnen til å bevege på rørene som henger i "slipset" på boredekk. Testjiggen manglet funksjonalitet som gjør at den kan bevege seg, med konstruksjonen som vist i fig 3.1 er det bare mulighet for å flytte røret. Derfor ble det montert gummiforinger på hvert hjørne av jiggen slik at den flyttes i forhold til røret, slik at jiggens og rørets senterpunkt får samme plassering i forhold til sylindernes plassering på testjiggen. Det har ikke tatt hensyn til stivheten til putene Torquemaster™ har montert fordi kraftforholdet mellom Torquemaster™ og testjiggen er irrelevant for oppgavens gjennomføring. Dermed er det bare tatt hensyn til at jiggen skal kunne flytte seg  $\pm 10\text{mm}$  ut fra definert senterpunkt rundt det innsente røret.

Testjiggen hadde heller ikke noe funksjon som simulerte "slipset" i plattformen på en ordentlig måte. For at gummiforingene skal kunne utnyttes og testjiggen flyttes, må rørene som testes være innsent under testingen. Det er derfor montert en chochs i bunnplaten på jiggen, som vist i fig 3.2, denne har samme oppgave som "slipset" som holder borestrengen oppe og innsent på boredekk. Dette gjør at oppførselen mellom røret og testjiggens sylindere bedre simulerer Torquemaster™ sin funksjonalitet.



**Fig 3.2 Solidworks modell av testjiggen etter modifikasjonene ble implementert**

Gripebakkene fra bachelor oppgaven er også byttet ut med hylser som har en glatt overflate. Dette er gjort for å unngå at røret skal kile seg mellom to av sylindrene under utkjøring. Ved opp mot  $\pm 10\text{mm}$  eksentrisitet vil dette unngås med glatte kontaktflater mellom sylindrene og røret.

### **3.1.2. Elektriske endringer**

Det ble gjort elektriske endringer på testjiggen for å kvalitetssikre jiggens målinger og repeterbarheten for utkjøringen. Styrespenning av proporsjonalventilen ble endret fra 0-24V til  $\pm 12\text{V}$ . Tidligere ble proporsjonalventilen styrt ved hjelp av forsterking av styresignalet ut ifra PLS for å gi et riktig styresignal i forhold til proporsjonalventilens tilførselspenning. Ved en tilførselspenning på 24V,

som ble brukt for alle de andre komponentene i testjiggen, inkludert PLSen, må også styresignalet til ventilen være 0-24V. PLS kan ikke gi ut høyere spenning enn 10V og det ble derfor brukt en operasjonsforsterker krets for å doble spenningen som gjorde det mulig å styre ventilene. Men under drift overskred temperaturen i operasjonsforsterkerne sin egen sikkerhetstemperatur, dette førte til ukontrollert oppførsel og dermed en forandring i styrespenningen og tilførselsspenningen til ventilen. Ved å forandre tilførselsspenningen til proporsjonalventilen til  $\pm 12V$  blir også styresignalet til ventilen redusert til  $\pm 12V$ . Siden PLS kan levere  $\pm 10V$  ble dette brukt til det nye styresignalet. Ved utskiftning av spenningskilden blir også bruken av operasjonsforsterkere overflødig og systemets oppførsel blir forutsigbar.

## 4. Konseptgenerering for synkron utkjøring av sylindrerne

I dette kapittelet ser vi på ulike reguleringsløyper og ulike måter å tune sløyfen på for synkron utkjøring av de 3 sylindrerne som er montert på testjiggen. For synkronkjøring av sylindrerne er det bestemt at løsningene skal være enkle å implementere. For å få til dette har kandidatene valgt å fokusere på standard PI-regulering og ulike mulige reguleringsløyper som innebefatter PI-regulator for synkronkjøringen.

### 4.1.1. Løsning 1:

Det første løsningsforslaget er å bruke en PI-regulator med negativ tilbakekobling som regulerer hver enkelt sylinder etter en ønsket posisjonsreferanse.

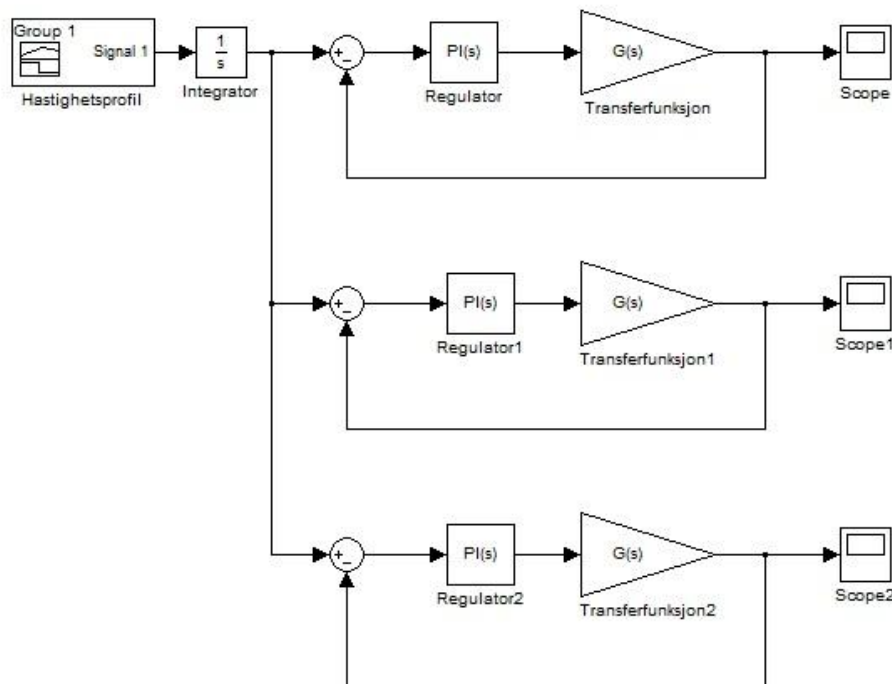


Fig 4.1 Regulatorsløyfe for løsning 1 med transferfunksjon som simulert representasjon av det hydrauliske systemet.

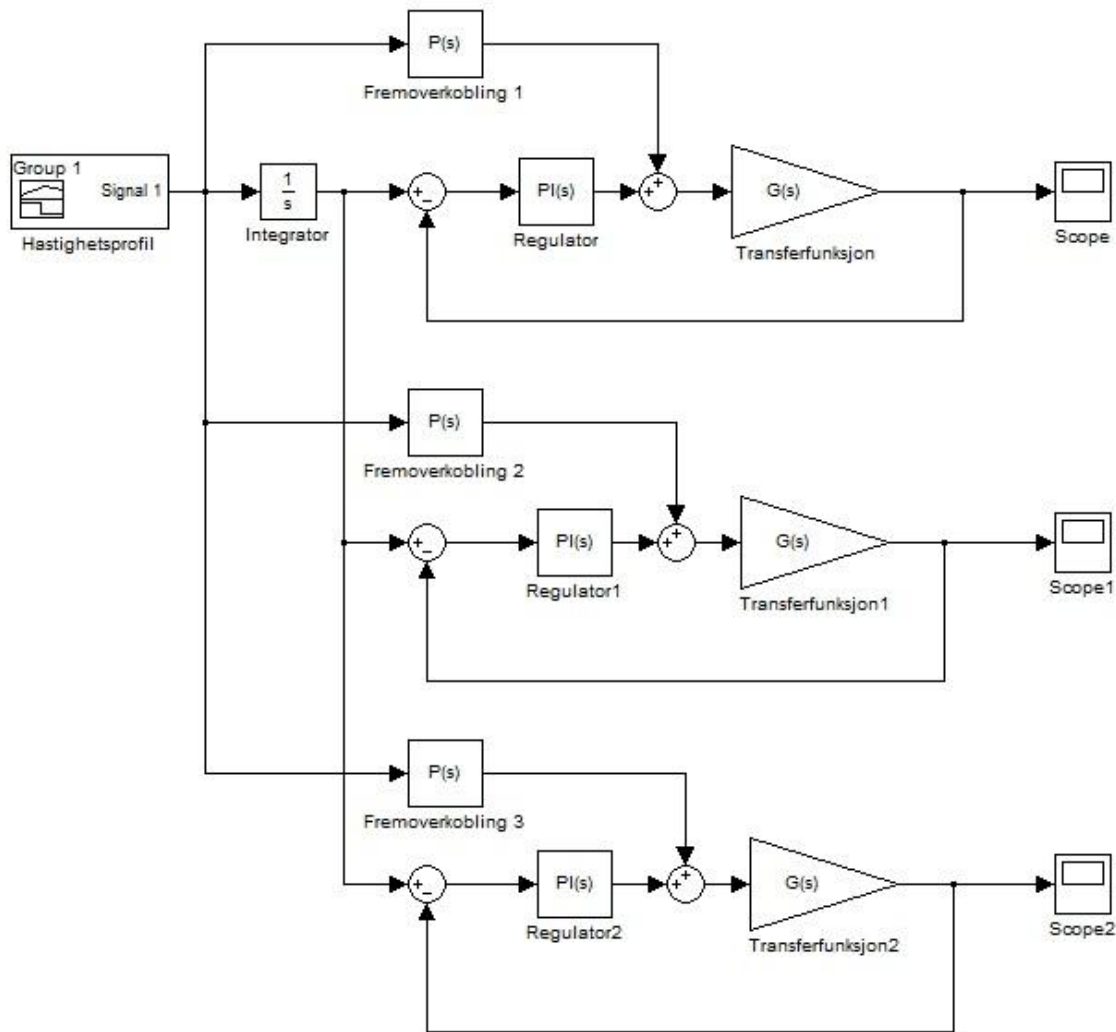
Tuningen av hver individuelle sylinder vil utføres ved hjelp av "Ziegler Nichols"-metoden.

For løsning 1 antar kandidatene at det vil være uønsket avvik mellom sylindrerne ved endring av posisjonsreferansen samt uønsket oversving og lang innsvingningstid.

### 4.1.2. Løsning 2:

Løsning 2 bygger på løsning 1 ved at det innføres en fremoverkobling i reguleringsløyfen, som kan ses i fig 4.2. I praksis blir dette en fremoverkobling med en ren forsterkning av en hastighetsreferanse. Denne forsterkningen virker rett på pådraget til ventilen. Ved å tune fremoverkoblingen slik at sylindrerne beveger seg parallelt med posisjonsreferansen oppstår det et stasjonært avvik mellom posisjonsreferansen og sylindrerens posisjon. Denne differansen er det PI-regulatoren som skal kompenseres for. Fremoverkoblingen blir brukt fordi den er uavhengig av

tilbakekobling for å regulere til en bestemt posisjon, og er dermed en mer stabil tilnærming hvis man finner den ønskede forsterkingen som gir riktig bidrag til ventilpådraget. Ved hjelp av denne vil PI-regulatoren primært bli brukt til å kompensere for de mest ulinære delene av systemet samt det stasjonære avviket mellom sylindrene og posisjonsreferansen. Det ulinære hydrauliske systemet har ventiloverlapp samt en friksjon i startfasen av sylindernes bevegelse som må overkommes. Ved å implementere en fremoverkobling i sløyfen vil PI-regulatoren ha størst bidrag til pådraget i nettopp startfasen til ventilen/sylindren.



**Fig 4.2 Reguleringsløyfe for løsning 2-5 med transferfunksjon som simulert representasjon av det hydrauliske systemet**

Også her vil tuningen av hver individuelle sylinder utføres etter "Ziegler Nichols"-metoden.

Ved hjelp av fremoverkoblingen vil bidraget til PI-regulatoren være størst i startfasen av utkjøringen. Dette skal medføre at avviket mellom posisjonsrampen og den reelle posisjonen til hver av sylindrene minkes. Det skal også føre til at oversvinget og innsvingingstiden reduseres betraktelig. Denne løsningen vil bli brukt som referanse og utgangspunkt for de andre løsningene.

#### **4.1.3. Løsning 3:**

Løsning 3 er en videre påbygging av løsning 2. For å redusere avviket mellom sylindernes posisjon og posisjonsreferansen forandres PI-parameterne i oppstarten av sylindernes utkjøring. PI-parameterne forandres igjen når sylindernes posisjon er lik posisjonsrampen.

Ved å forandre på parameterne for regulatoren i de mest ustabile/ulinære delene av utkjøringen vil utkjøringene følge posisjonsreferansen mer nøyaktig.

#### **4.1.4. Løsning 4:**

Den fjerde løsning har samme reguleringsløyfe som løsning 2. Den er likevel ikke lik, grunnet metodikken som er brukt for å tune regulatoren. Istedenfor å benytte seg av "Ziegler Nichols"-metoden, der man evaluerer sprangresponsen til hver enkel sylinder, er det her benyttet frekvensresponsen til hvert enkelt hydrauliske system i kombinasjon med reguleringsløyfen. De ulike systemene har deretter blitt tunet slik at alle har lik kryssfrekvens, i motsetning til "Ziegler Nichols"-metoden som medfører tilnærmet lik fasemargin.

Dette er den første løsningen som ser på forholdet mellom de 3 reguleringsløyfe. Denne løsningen fører til at sprangresponsen er lik for alle tre systemene uavhengig av forandringer i posisjonsreferansen og hastighetsprofilen, som brukes på fremoverkoblingen. Den skal dermed ha synkron utkjøring av de tre sylindere på testjiggen. Sprangresponsen for hele systemet vil likevel variere ved ulike referanser. Det kan medføre både større oversving og lenger innsvingningstid i noen tilfeller.

#### **4.1.5. Løsning 5:**

Løsning 5 er en kombinasjon av løsning 2 og løsning 4. Som i løsning 4 er det her brukt frekvensresponsen til hvert enkelt hydrauliske system i kombinasjon med reguleringsløyfen for å tune regulatoren. Tuningen er gjort slik at de ulike systemene skal ha både lik kryssfrekvens og fasemargin. Reguleringsløyfen for denne løsningen består av en PI-regulator med negativ tilbakekobling og en fremoverkoblet hastighetsforsterking som i løsning 2-4, men i tillegg vil det bli brukt lag- og/eller lead-kompensatorer i serie med PI-regulatorene for å manipulere fasemargin og kryssfrekvens. Fordi dette er et ulineært system kan det være nødvendig å øke eller senke fasemarginene på en eller flere av regulatorene for å få lik fasemargin og kryssfrekvens på systemet.

Denne løsningen ser også på forholdet mellom sylindere. Løsningen er den mest utfordrende å implementere, men den skal samtidig gi best resultater. Sprangresponsen skal være lik for alle de tre systemene som i løsning 4, samtidig som sprangresponsen skal følge posisjonsreferansen like bra som løsning 2. Også her vil oversving og innsvingningstiden til sprangresponsen variere ved ulike referanser, men kombinasjonen av løsning 2 og 4 skal medføre at løsning 5 følger referansen bedre enn både løsning 2 og 4 og har like synkron utkjøring som løsning 4 gir.

### **4.2. Konseptvalg:**

For hvert av de fem løsningsforslagene er det gjort en evaluering basert på eksperimentelle resultater. For å lette dette arbeidet ble det eksperimentelt laget 3 transferfunksjoner som representerer de tre forskjellige delene av det hydromekaniske systemet. Disse transferfunksjonene ble brukt både til tuning med sprangrespons og frekvensrespons for de ulike løsningene.

Sprangresponsen til løsningene ble så evaluert med en utkjøring av sylindrene til 120mm og 70mm, som tilsvarer en rørdiameter på 60mm og 160mm. Dette ble gjort for å se om løsningen var egnet for utkjøring både til minste mulige rørdiameter og til kjent rørdiameter. Dette ble gjort på alle løsningene. For hver løsning er også de resultatene som er gitt ved hjelp av transferfunksjonene verifisert og testet på testjiggen før valg av endelig konsept ble gjort.

#### 4.2.1. Eksperimentell fremstilling av testjiggen

For å kunne simulere og tune de ulike konseptene ble det fremstilt tre forskjellige transferfunksjoner som representerer de mekaniske og hydrauliske egenskapene til testjiggen. Transferfunksjonene ble fremstilt ved hjelp av Matlab. Tuningen ble gjort ved hjelp av Simulink for "Ziegler Nichols"-metoden og med Matlab for tuningen på frekvensrespons.

For å lage transferfunksjonene til testjiggen ble det sett på amplituden og perioden til et sinussignal og det tilhørende posisjonsutslaget dette gav på hver sylinder. Målingen ble gjort med en oljetemperatur på 25 °C, målt på trykksiden til proporsjonalventilen til testjiggens hydraulikksystem, vist i fig 4.3. Det tilsvarer maksimal vannkjøling inn på hydraulikkpumpen.

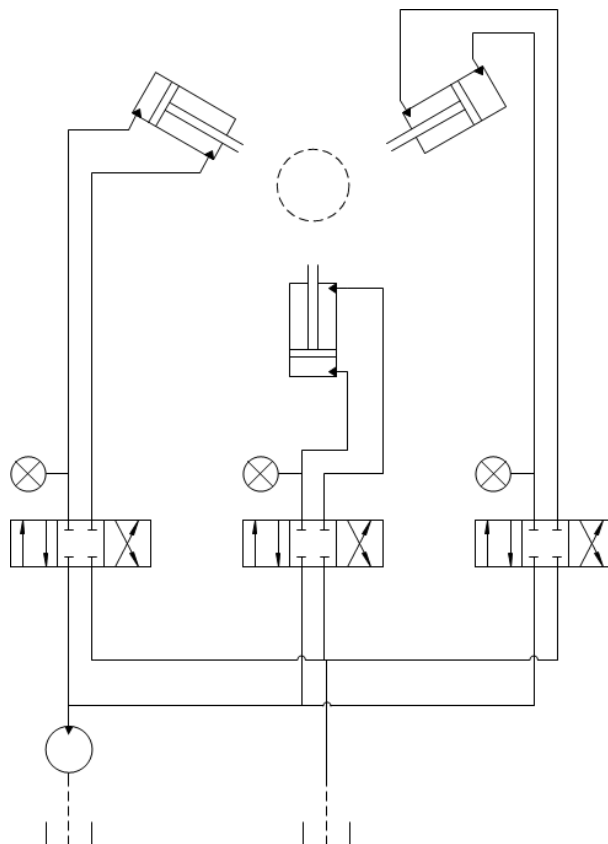


Fig 4.3 Hydraulisk flytskjema over testjiggens hydrauliske system

$$\omega = f * 2\pi \quad (4.1)$$

$\omega$ : Frekvens i  $\frac{rad}{s}$

$f$ : Frekvens i Hz

$$dB = 20 \log\left(\frac{A_2}{A_1}\right) \quad (4.2)$$

$dB$ : Amplitude i desibel

$A_1$ : Amplitude ventilsignal

$A_2$ : Amplitude til prosessens utgangsignal

$$\Phi = \Delta t * \omega * \frac{360}{2\pi} \quad (4.3)$$

$\Phi$ : Fasen i grader

$\Delta t$ : Differanse i tid mellom amplituden

$\omega$ : Frekvens i  $\frac{rad}{s}$

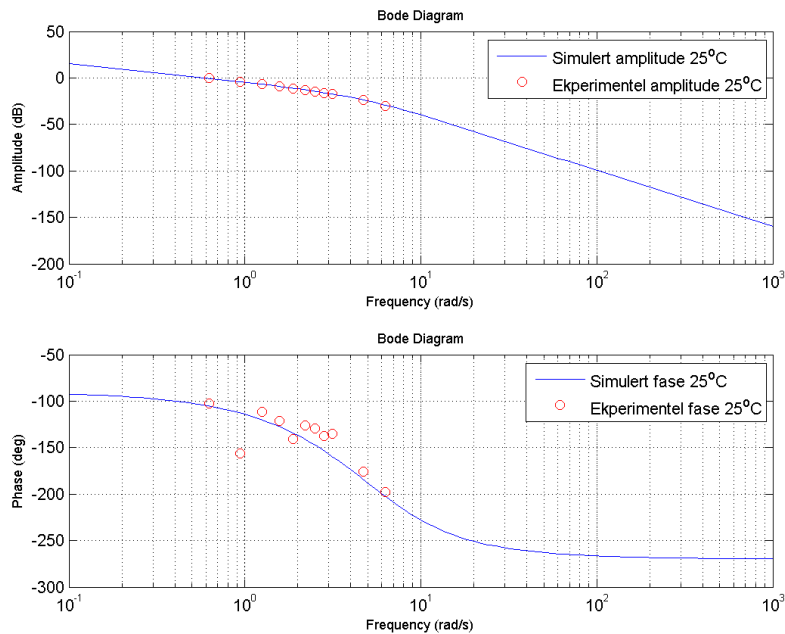
Ved hjelp av formlene over ble tabellene under laget, som igjen ble brukt til å fremstille systemets transferfunksjoner.

Sylinder 1 (25 °C)						
$A_1$	$A_2$	$f[Hz]$	$\omega[rad/s]$	$dB$	$\Delta t[s]$	$\Phi[^\circ]$
1,98	1,84	0,1	0,62832	-0,63695	-2,85	-102,6
1,98	1,20	0,15	0,94248	-4,34968	-2,9	-156,6
1,98	0,88	0,2	1,25664	-7,04365	-1,55	-111,6
1,98	0,70	0,25	1,5708	-9,03134	-1,35	-121,5
1,98	0,57	0,3	1,88496	-10,8158	-1,3	-140,4
1,98	0,47	0,35	2,19911	-12,4913	-1	-126
1,98	0,39	0,4	2,51327	-14,112	-0,9	-129,6
1,98	0,33	0,45	2,82743	-15,563	-0,85	-137,7
1,98	0,29	0,5	3,14159	-16,6853	-0,75	-135
1,98	0,16	0,75	4,71239	-21,8509	-0,65	-175,5
1,98	0,10	1	6,28319	-25,9333	-0,55	-198
1,98	0,05	1,25	7,85398	-31,9539	-0,4	-180
1,98	0,04	1,5	9,42478	-33,8921	-0,25	-135

Tabell 4.1 Forholdet mellom fase, amplitude og frekvens for sylinder 1 ved 25 °C



Fra tabell 4.1 fremkommer amplituden, fasen og frekvensen transferfunksjonen skal sammenfalle med. For å beregne amplituden ble målingene gjort i LabView som har en sampling på 200Hz, mens fasen er målt ved hjelp av WinCC som har en sampling på 4 Hz. Nyquist sitt tasteteorem sier man må sample på minst dobbel så høy frekvens som målingene blir gjort på for at de skal være nøyaktige for å hindre nedfolding av det diskrete signalet, derfor har amplitudemålingene blitt vektlagt når amplitude og fase ikke samsvarer.



**Fig 4.4 Bodeplottet til sylinder 1 med tilhørende amplitudemålinger fra tabell 4.1**

Transferfunksjonene er funnet ved en grafisk tilnærming av bodeplottet. Det førte til at bodeplottet i fig 4.4 har tilhørende transferfunksjon.

$$G_1(s) = \frac{10.5s + 120.2}{s^4 + 17.58s^3 + 102.7s^2 + 199.4s}$$

Når så transferfunksjonene er fremstilt eksperimentelt blir de brukt videre for å kunne simulere og teste de ulike løsningsforslagene simulert før de implementeres og testes på testjiggen.

Sylinder 2 (25 °C)						
$A_1$	$A_2$	$f[\text{Hz}]$	$\omega[\text{rad/s}]$	$\text{dB}$	$\Delta t[\text{s}]$	$\Phi[^\circ]$
1,98	2,33	0,1	0,628319	1,413815	-3	-108
1,98	1,53	0,15	0,942478	-2,23948	-2	-108
1,98	1,13	0,2	1,256637	-4,87173	-1,65	-118,8
1,98	0,90	0,25	1,570796	-6,84845	-1,6	-144
1,98	0,74	0,3	1,884956	-8,54867	-1,25	-135
1,98	0,63	0,35	2,199115	-9,94649	-0,85	-107,1
1,98	0,53	0,4	2,513274	-11,4478	-0,75	-108
1,98	0,46	0,45	2,827433	-12,6781	-0,8	-129,6
1,98	0,40	0,5	3,141593	-13,8921	-0,75	-135
1,98	0,24	0,75	4,712389	-18,3291	-0,5	-135
1,98	0,15	1	6,283185	-22,4115	-0,5	-180
1,98	0,10	1,25	7,853982	-25,9333	-0,5	-225
1,98	0,07	1,5	9,424778	-29,0313	-0,25	-135

Tabell 4.2 Forholdet mellom fase, amplitude og frekvens for sylinder 2 ved 25 °C

Fra de målte dataene ble følgende transferfunksjon fremstilt for å sammenfalle med faset og amplituden fra tabell 4.2.

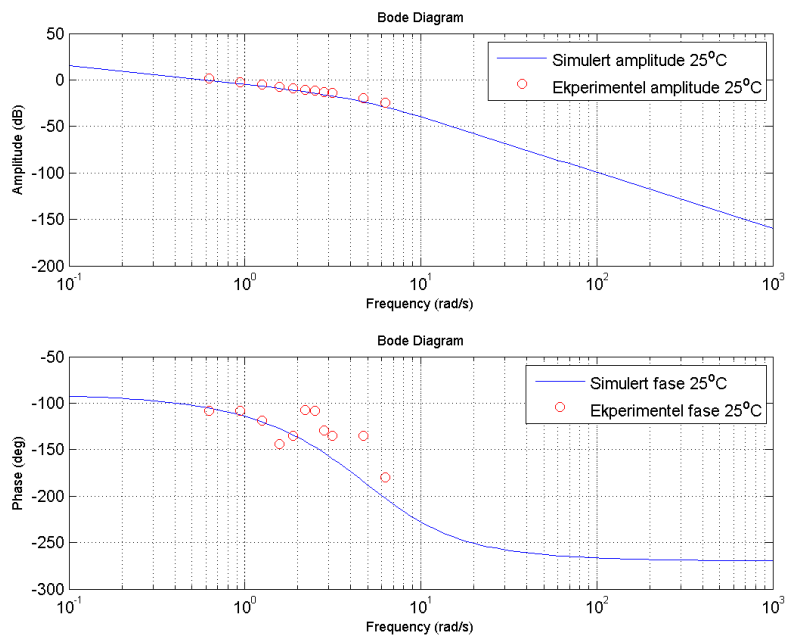


Fig 4.5 Bodeplottet til sylinder 2 med tilhørende amplitudemålinger fra tabell 4.2

Transferfunksjonene er funnet ved en grafisk tilnærming av bodeplottet. Det førte til at bodeplottet fra fig 4.5 har tilhørende transferfunksjon.

$$G_2(s) = \frac{20.5s + 316.7}{s^4 + 22.94s^3 + 173.2s^2 + 430.2s}$$

For det siste segmentet ble den samme prosedyren fulgt.

Sylinder 3 (25 °C)						
$A_1$	$A_2$	$f[\text{Hz}]$	$\omega[\text{rad/s}]$	$\text{dB}$	$\Delta t[\text{s}]$	$\Phi[^\circ]$
1,98	1,37	0,1	0,628319	-3,19889	-2,7	-97,2
1,98	0,89	0,15	0,942478	-6,9455	-1,9	-102,6
1,98	0,65	0,2	1,256637	-9,67504	-1,6	-115,2
1,98	0,51	0,25	1,570796	-11,7819	-1,2	-108
1,98	0,41	0,3	1,884956	-13,6776	-1,1	-118,8
1,98	0,34	0,35	2,199115	-15,3037	-0,9	-113,4
1,98	0,29	0,4	2,513274	-16,6853	-0,75	-108
1,98	0,25	0,45	2,827433	-17,9745	-0,9	-145,8
1,98	0,22	0,5	3,141593	-19,0849	-0,65	-117
1,98	0,13	0,75	4,712389	-23,6544	-0,5	-135
1,98	0,08	1	6,283185	-27,8715	-0,5	-180
1,98	0,05	1,25	7,853982	-31,9539	0,4	180
1,98	0,03	1,5	9,424778	-36,3909	0,3	162

Tabell 4.3 Forholdet mellom fase, amplitude og frekvens for sylinder 3 ved 25 °C

For dette segmentet ble også de målte dataene brukt til å fremstille følgende transferfunksjon som sammenfaller med fasen og amplituden gjengitt i tabell 4.3.

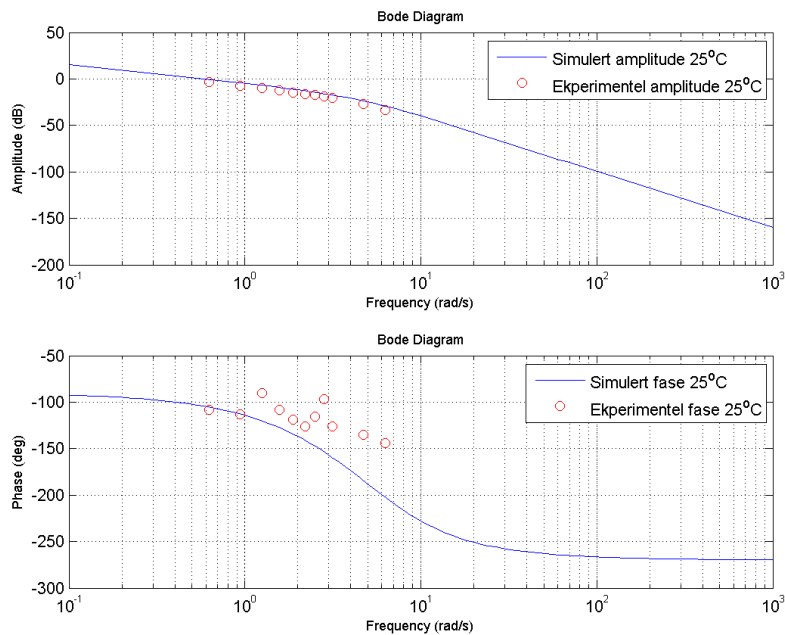


Fig 4.6 Bodeplottet til sylinder 3 med tilhørende amplitudemålinger fra tabell 4.3

Også her er transferfunksjonene funnet ved en grafisk tilnærming av bodeplottet. Det førte til at bodeplottet over har tilhørende transferfunksjon.

$$G_3(s) = \frac{2.7s + 47.12}{s^4 + 14.8s^3 + 68.89s^2 + 96.64s}$$

Ved hjelp av disse transferfunksjonene blir de ulike løsningsforslagene evaluert.

#### 4.2.2. Løsning 1

Den første løsningen er, som nevnt over, tunet ved hjelp av "Ziegler Nichols"-metoden. Tuningen ble gjort ved en utkjøring på hver sylinder til 120mm, dette tilsvarer en rørdiameter på 60mm, som er det minste testjiggen er dimensjonert for. Når det så ble funnet en forsterkning,  $K_{kritisk}$ , som ga systemet stående svingninger ble følgende ligninger brukt til å finne PI-parameterne for hver enkel regulator i samsvar med de beregnede transferfunksjonene.

$$Kp = K_{Kritisisk} * 0.45 \quad (4.4)$$

$Kp$ : Forsterkningen til P-leddet i PI-regulatoren

$K_{Kritisisk}$ : Forsterkningen som medfører stående svingninger på systemets sprangrespons

$$Ti = T_{Kritisisk} * 0,8 \quad (4.5)$$

$Ti$ : Forsterkningen til I-leddet i PI-regulatoren

$T_{Kritisisk}$ : Differansen i tid mellom amplitudeverdien til de stående svingningene gitt av  $K_{Kritisisk}$

Regulatoren ble så implementert og sprangresponsen for hver del av systemet ble evaluert.

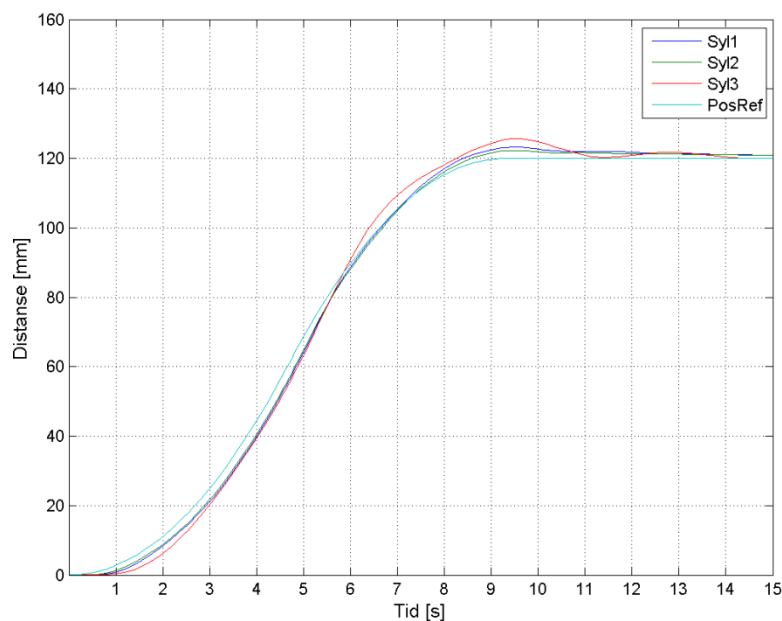
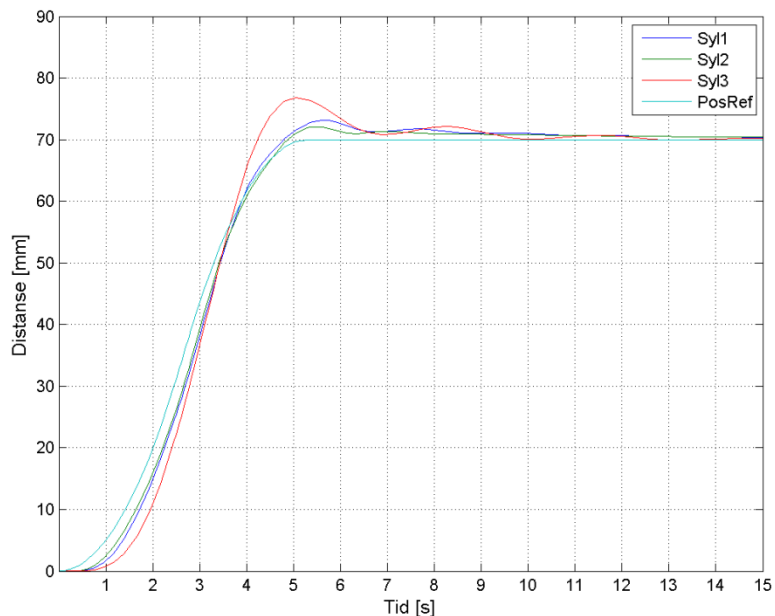


Fig 4.7 Sprangrespons til det hydrauliske systemet for løsning 1 ved utkjøring av stempene til 120mm

For å kunne evaluere de forskjellige metodene på en god måte ble det sett på sprangresponsen ved en utkjøring av sylindrene til 120mm, noe som tilsvarer rør med en diameter på 60mm. Sprangresponsen ble også evaluert med en utkjøring av sylindrene til 70mm, som tilsvarer en rørdiameter på 160mm.

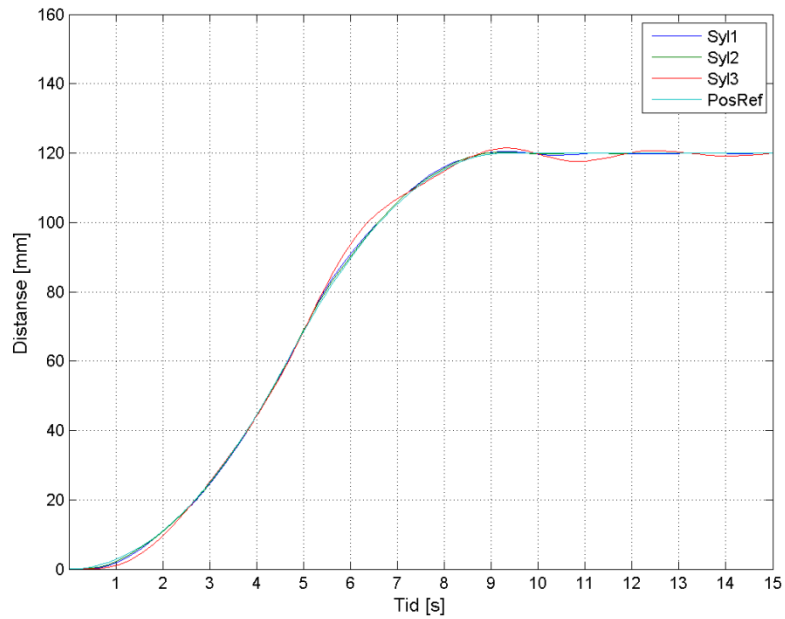


**Fig 4.8 Sprangrespons til det hydrauliske systemet for løsning 1 ved utkjøring av stemplene til 70mm**

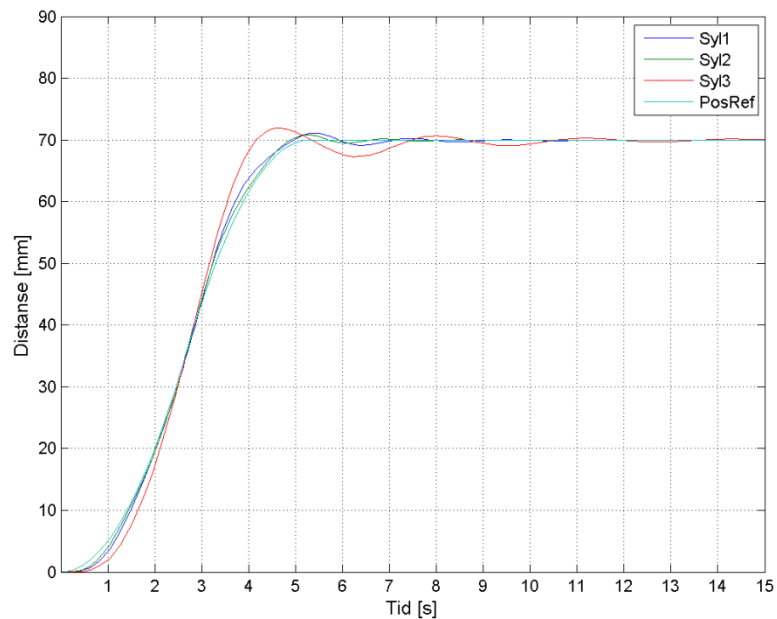
Sprangresponsen viser at resultatet blir dårligere ved utkjøring til en posisjon som er mindre enn avstanden "Ziegler Nichols"-reguleringen ble gjort for. Dette viser at den første løsningen blir mindre nøyaktig ved utkjøring til kjent diameter.

#### 4.2.3. Løsning 2

Den andre løsningen er tunet under like premisser som den første løsningen. Også her er 120mm slaglengde på hver sylinder brukt for å tune reguleringsystemet. Fremoverkoblingen ble tunet først ved å finne en forsterkning som sørget for at posisjonen til sylindrene var parallell med posisjonsreferansen under hele utkjøringen. Denne reguleringen førte til at det var en konstant differanse mellom hver sylinder og rampen som PI-regulatoren ble tunet for å skulle motvirke. Selve tuningen ble gjort eksperimentelt for å finne de forsterkingene som ga et minste mulige stasjonært avvik mellom sylindrene og posisjonsreferansen. PI-regulatoren ble så tunet ved hjelp av "Ziegler Nichols"-metoden som i den første løsningen, men her virket også fremoverkoblingen på systemet mens tuningen foregikk. Reguleringsystemet med fremoverkobling og PI-regulator ble så testet for å evaluere sprangresponsen til det regulerete systemet.



**Fig 4.9 Sprangrespons til det hydrauliske systemet for løsning 2 ved utkjøring av stemplene til 120mm**



**Fig 4.10 Sprangrespons til det hydrauliske systemet for løsning 2 ved utkjøring av stemplene til 70mm**

Som det fremkommer av sprangresponsene i fig.4.9 og 4.10 så gir løsning 2 en enda bedre følgende av posisjonsreferansen enn det løsning 1 gjør. Det meste av forbedringen er det fremoverkoblingen som står for. Fremoverkoblingen følger rampen mens PI-regulatoren står for innreguleringen i startfasen og ved innsvingingen. Fordi det er PI-regulatoren som opererer i dette området så er også avvikene mellom sylindrene og rampen størst nettopp her når posisjonsreferansen forandres. Grunnen til det er, som i løsning 1, at tunningen som er gjort ved hjelp av "Ziegler Nichols"-metoden bruker en

bestemt referanse til tuning og er dermed avhengig av en uforandret posisjonsreferanse for å gi best resultat.

#### 4.2.4. Løsning 3

Løsning 3 er basert på løsning 2 og er fremstilt under antagelsen at det fremdeles er usynkron utkjøring mellom sylindrene, samt avvik mellom posisjonsreferansen og sylindernes posisjon. For å motvirke dette er det lagt inn to regulatorer som utkjøringen veksler mellom avhengig av posisjonsrampens verdi. Siden det er i oppstarten det er antatt størst avvik mellom posisjonsreferansen og sylindernes posisjon er det fra 0-10mm i posisjonsreferanse et sett med parametere, mens det er et annet fra 10mm til ønsket posisjon. Fra 10mm og til ønsket posisjon brukes de parametere som ble funnet ved hjelp av "Ziegler Nichols"-metoden i løsning 2. Fra 0-10mm er det brukt en ren forsterkning for å følge posisjonsreferansen best i oppstarten. Her er  $K_{Kritisk}$  brukt som forsterkning for å få et likt avvik mellom posisjonsreferansen og sylindernes posisjon. Ved å bruke  $K_{Kritisk}$  svinger sylindernes posisjon rundt posisjonsreferansen frem til 10mm med et jevnt maksimalt avvik.

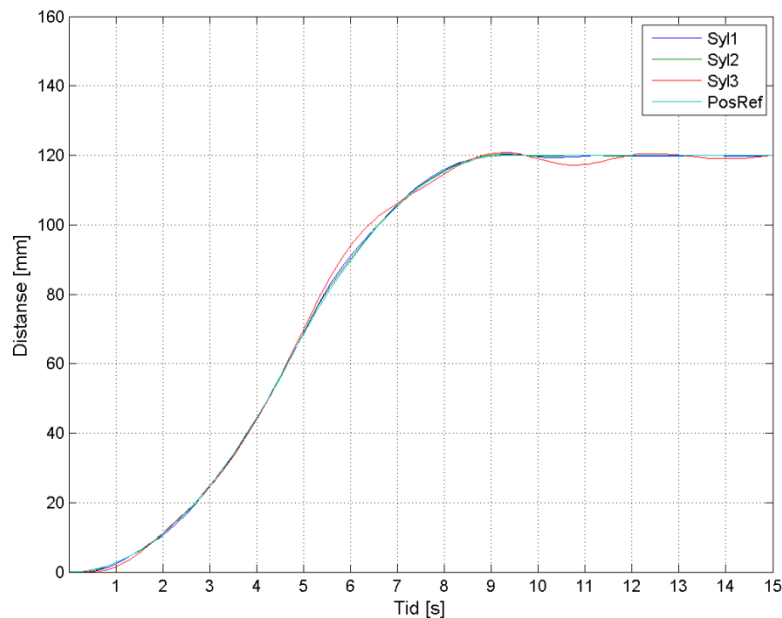
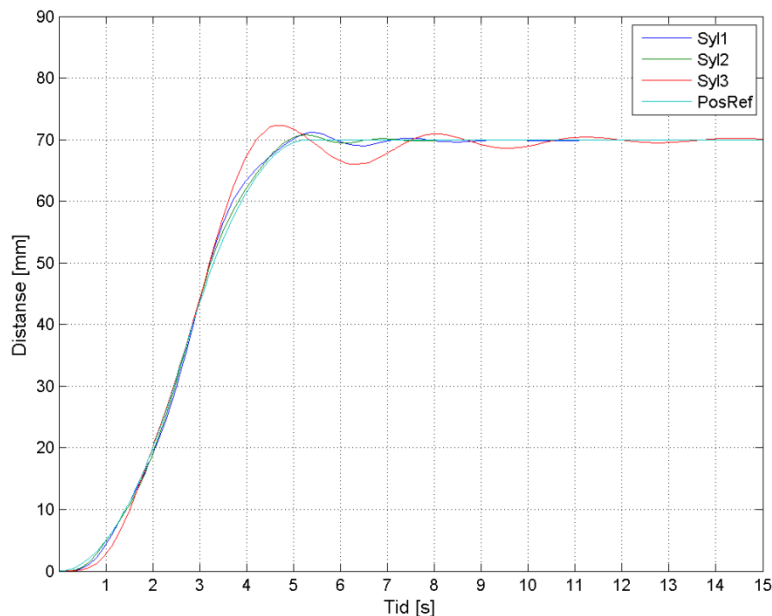


Fig 4.11 Sprangrespons til det hydrauliske systemet for løsning 3 ved utkjøring av stemplene til 120mm

Ved å sette kriterier for regulering med  $K_{Kritisk}$  frem til posisjonsreferansen er 10mm, begrenses også rørdiametrene testjiggen kan sentrere. Det vil i praksis si at ingen rør med diameter over 270mm kan testes for denne løsningen.



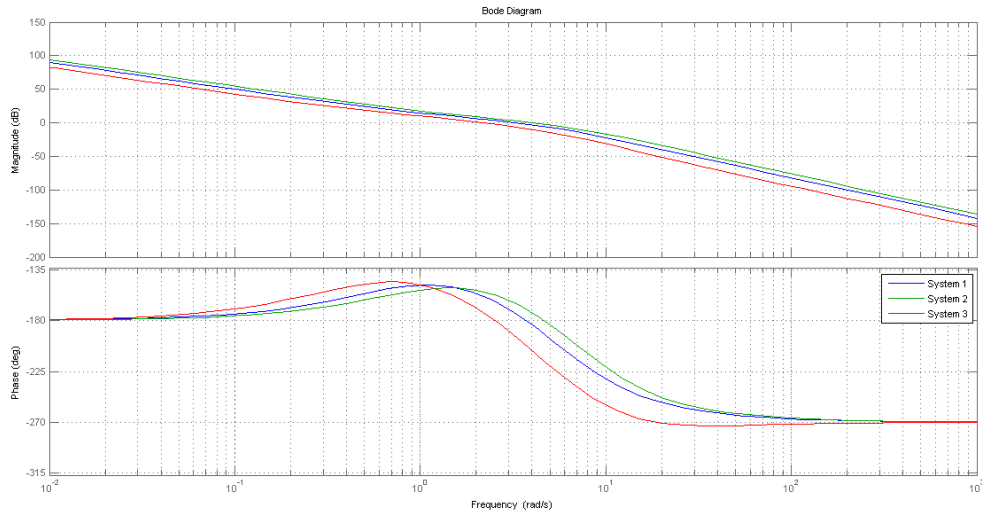
**Fig 4.12 Sprangrespons til det hydrauliske systemet for løsning 3 ved utkjøring av stemplene til 70mm**

Av sprangresponsen i fig 4.11 fremkommer det at denne løsningen har et mindre avvik mellom posisjonsreferanse og sylindernes posisjon enn de to foregående løsningene. Samtidig er det liten forskjell for sylindernes innsvingning til ønsket posisjon ved redusert posisjonsreferanse. Fordi  $K_{kritisk}$  blir bruk i startfasen blir avviket der redusert mens parameterne er like ved innsvinging til ønsket posisjon og er dermed like løsning 2 for den delen av utkjøringen. Dermed er også denne løsningen avhengig av uendret posisjonsreferanse for å opptre optimalt.

#### 4.2.5. Løsning 4

I den fjerde løsningen er det valgt en annen tilnærming enn de tre foregående. Også her er løsningen basert på en fremoverkobling med en forsterkning og en PI-regulator med negativ tilbakekobling som jobber parallelt med hverandre. Men istedenfor å tune regulatoren ved hjelp av "Ziegler Nichols"-metoden og en kjent posisjonsreferanse er tuningen gjort ved hjelp av systemets frekvensrespons. Ved å bruke "Ziegler Nichols"-metoden så får de tre forskjellige systemene, inkludert regulatorsløyvene, tilnærmet lik fasemargin, men ulik kryssfrekvens.





**Fig 4.13** Frekvensrespons til løsning 2 med  $\varphi_{m1} = 6.26^\circ$ ,  $\varphi_{m2} = 6.53^\circ$  og  $\varphi_{m3} = 5.06^\circ$ , og  $\omega_{Kryss1} = 3,27 \frac{rad}{s}$ ,  $\omega_{Kryss2} = 4,03 \frac{rad}{s}$  og  $\omega_{Kryss3} = 2,29 \frac{rad}{s}$

Dette medfører, som vist over, at regulatorløyvens evne til å følge en referanse varierer mellom de hydrauliske systemene. Som man ser av fig 4.13 er det spesielt stor forskjell mellom frekvensresponsen til system 3 og de to andre systemene.

Ved å bruke frekvensresponsen til hele det hydrauliske systemet sammen med fremoverkoblingen og PI-regulatoren skal sprangresponsen være uavhengig av referansene man i ettertid bruker på systemet. Ved å sammenligne de tre regulatorløyvene i samsvar med det hydrauliske systemet slik at hele systemet, inkludert reguleringssløyfen, har lik kryssfrekvens så skal sylindene kjøre ut synkront til enhver tid, uavhengig av referanse. For å regulere systemet ble autotuning-funksjonen i Simulink brukt på PI-regulatoren som en basis å jobbe utfra. Tuningen ble videre gjort ved hjelp av Matlab der følgende formler ble brukt for systemet og regulatorløyfen:

$$PI = Kp * \left( \frac{Ti * s + 1}{Ti * s} \right) \quad (4.6)$$

$PI$  : PI-regulatorens transferfunksjon

$Kp$  : P-leddets forsterkning

$Ti$  : I-leddets forsterkning

$$H(s) = (Kv + PI) * G(s) \quad (4.7)$$

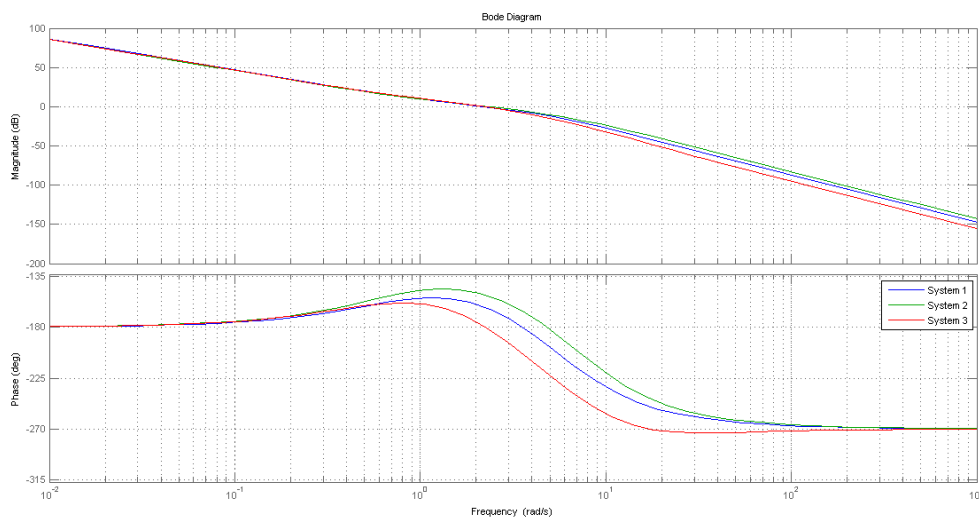
$H(s)$  : Transferfunksjonen til det hydrauliske systemet sammen med PI-regulatoren og fremoverkoblingen

$Kv$  : Fremoverkoblingens forsterkning

$PI$  : PI-regulatorens transferfunksjon

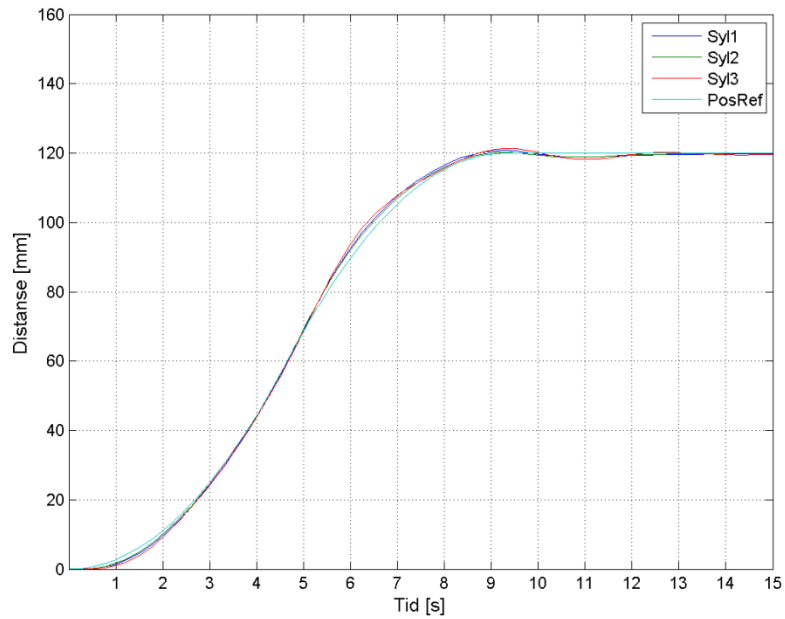
$G(s)$  : Det hydrauliske systemet transferfunksjonen

For reguleringen av systemene var det også et krav om positiv fasemargin for hvert enkelt segment for at systemet skal være stabilt. Etter å ha tunet ved hjelp av disse formlene var dette den beste tilnærmingen som ble gjort.



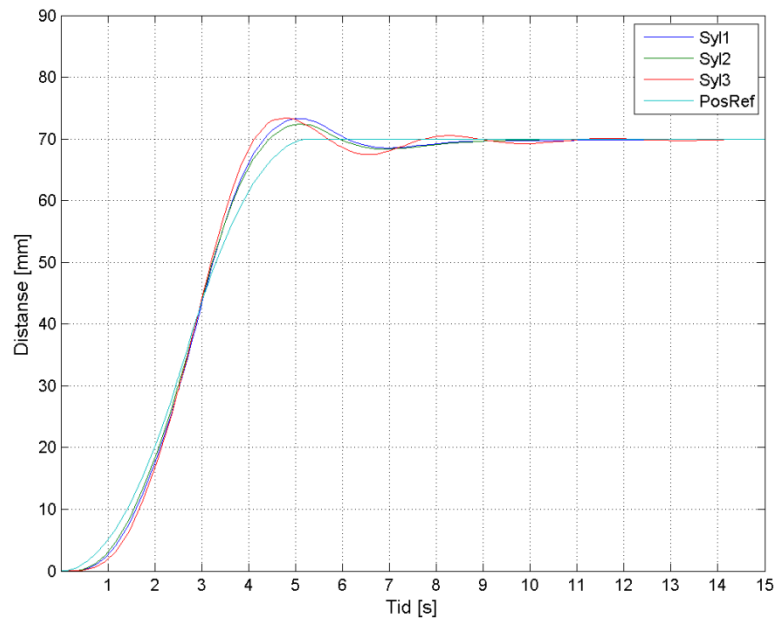
**Fig 4.14** Frekvensrespons til løsning 4 med  $\varphi_{m1} = 17,7^\circ$ ,  $\varphi_{m2} = 31,7^\circ$  og  $\varphi_{m3} = 0,422^\circ$ , og  $\omega_{Kryss1} = 2,22 \frac{rad}{s}$ ,  $\omega_{Kryss2} = 2,22 \frac{rad}{s}$  og  $\omega_{Kryss3} = 2,22 \frac{rad}{s}$

Som man ser av fig 4.14 så er kryssfrekvensen til reguleringsløyfe 1, 2 og 3 i samsvar med transferfunksjonene deres lik og fasemarginen er positiv. Dette medførte et stabilt system som ble jobbet videre med for å evaluere sprangresponsen til reguleringsløyfe.



**Fig 4.15 Sprangrespons til det hydrauliske systemet for løsning 4 ved utkjøring av stemplene til 120mm**

Også her blir sprangresponsen evaluert ved en posisjonsreferanse for slaglengde til både 120mm og 70 mm.



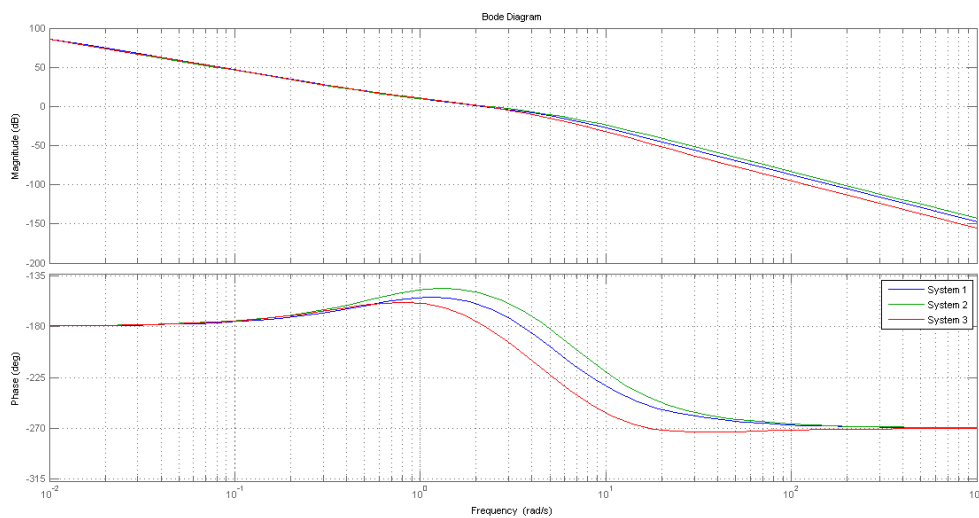
**Fig 4.16 Sprangrespons til det hydrauliske systemet for løsning 4 ved utkjøring av stemplene til 70mm**

Som det fremkommer av sprangresponsen i fig 4.15 og fig 4.16 så ser man at avstanden til rampen forandrer seg for denne løsningen ved ulike posisjonsreferanse. Avstanden mellom sylindrene for

utkjøring til ulike slaglengder varierer lite. Samtidig ser man at for denne løsningen, som i de tre foregående, er det utkjøring av sylinder 3 som gir den dårligste rampefølgingen og den minst synkron utkjøringen.

#### 4.2.6. Løsning 5

I den siste løsningen er det valgt lik tilnærming som i løsning 4. Også her er løsningen basert på en fremoverkobling med en forsterkning og en PI-regulator med negativ tilbakekobling som jobber parallelt med hverandre, men det er også satt inn en lead kompensator i reguleringsløyfe 3. Ved å tune lead kompensatoren i samsvar med PI-regulatoren i reguleringsløyfen gir det muligheten til å heve systemets fasemargin og dermed implementere løsning 5. I løsning 4 er frekvensresponsen brukt til å tune systemet og den gir en lik kryssfrekvens, men ulik fasemargin.



**Fig 4.17** Frekvensrespons til løsning 4 med  $\varphi_{m1} = 17,7^\circ$ ,  $\varphi_{m2} = 31,7^\circ$  og  $\varphi_{m3} = 0,422^\circ$ , og  $\omega_{Kryss1} = 2,22 \frac{rad}{s}$ ,  $\omega_{Kryss2} = 2,22 \frac{rad}{s}$  og  $\omega_{Kryss3} = 2,22 \frac{rad}{s}$

Som man ser av fig 4.17 så er det stor forskjell i fasemarginen mellom de tre systemene, og system 3 har en spesielt lav fasemargin. Ved å innføre en lead kompensator i serie med PI-regulatoren i reguleringsløyfe kan fasemarginen til system 3 økes og dermed kan systemet reguleres slik at det har lik fasemargin og kryssfrekvens.

Ved å bruke frekvensresponsen til hele det hydrauliske systemet sammen med fremoverkoblingen og PI-regulatoren skal sprangresponsen være uavhengig av referansene man i ettertid bruker på systemet. Ved å sammenligne de tre reguleringsløyfer i samsvar med det hydrauliske systemet slik at hele systemet, inkludert reguleringsløyfen, har lik fasemargin og kryssfrekvens så skal sylindrene kjøre ut synkront til enhver tid, uavhengig av referanse, og sylindrene skal følge posisjonsreferansen. Tuningen ble gjort ved hjelp av Matlab og likningene som er vist i løsning 4 for PI-regulatoren til system 1 og 2. System 3 ble tunet ved hjelp av følgende ligning for reguleringsløyfen, som inkluderer leadkompensatoren.

$$PI_{Lead} = Kp * \left( \frac{Ti * s + 1}{Ti * s} \right) * \left( \frac{T_1 * s + 1}{T_2 * s + 1} \right) \quad (4.8)$$

$PI_{Lead}$  : PI-regulatoren og leadkompensatorens transferfunksjon

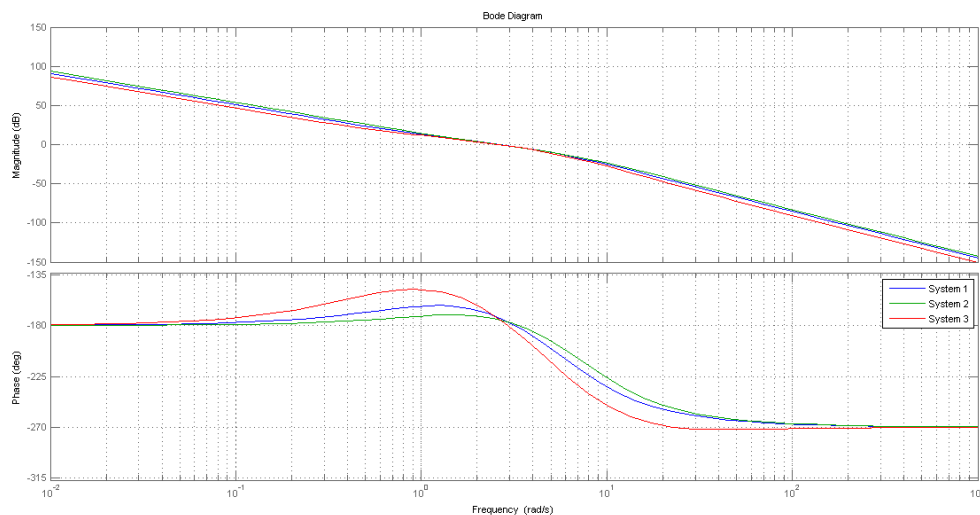
$Kp$  : P-leddets forsterkning

$Ti$  : I-leddets forsterkning

$T_1$  : Leadkompensatorens nullpunkt

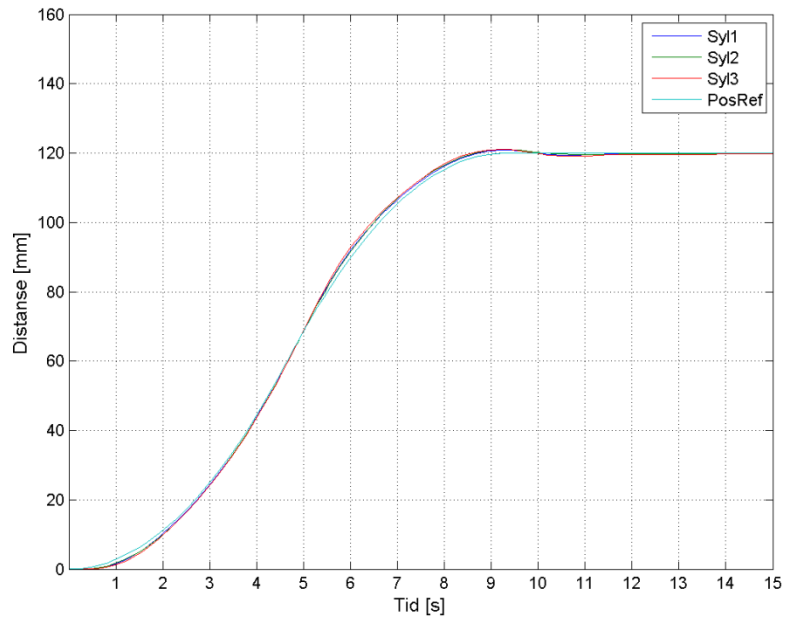
$T_2$  : Leadkompensatorens pol

For reguleringen av systemene var det også et krav om positiv fasemargin for hvert enkelt segment slik at systemet skal være stabilt. Etter å ha tunet ved hjelp av disse formlene var dette den beste tilnærmingen som ble gjort.

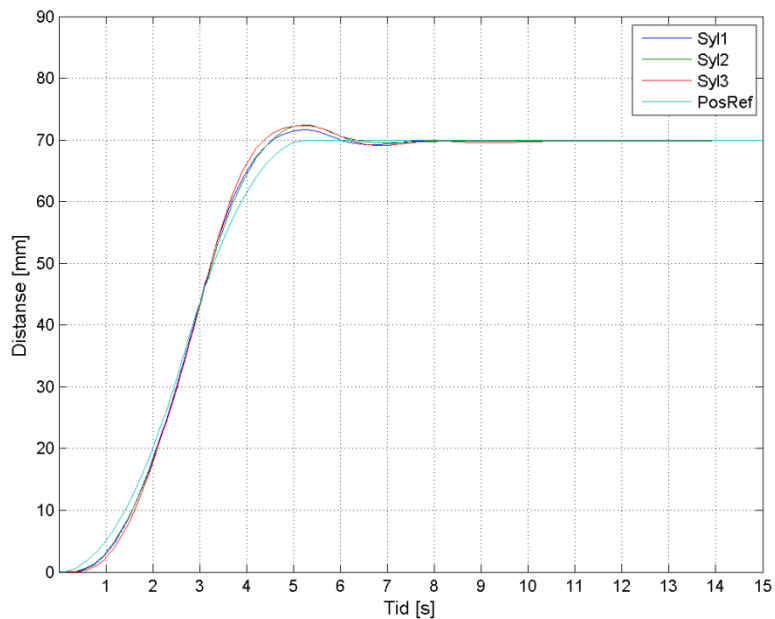


**Fig 4.18** Frekvensrespons til løsning 5 med  $\varphi_{m1} = 6,45^\circ$ ,  $\varphi_{m2} = 5,34^\circ$  og  $\varphi_{m3} = 5,37^\circ$ , og  $\omega_{Kryss1} = 2,66 \frac{rad}{s}$ ,  $\omega_{Kryss2} = 2,66 \frac{rad}{s}$  og  $\omega_{Kryss3} = 2,66 \frac{rad}{s}$

Som man ser av fig 4.18 så er kryssfrekvensen og fasemarginen til reguleringssløyfe 1, 2 og 3, i samsvar med transferfunksjonene deres lik og fasemarginen er positiv som medfører et stabilt system som kan analyseres.



**Fig 4.19 Sprangrespons til det hydrauliske systemet for løsning 5 ved utkjøring av stemplene til 120mm**



**Fig 4.20 Sprangrespons til det hydrauliske systemet for løsning 5 ved utkjøring av stemplene til 70mm**

Av sprangresponsen i fig 4.19 og fig 4.20 så ser man at avstanden til rampen forandrer seg for denne løsningen ved ulik posisjonsreferanse, men at den følger posisjonsreferansen på en god måte. Avstanden mellom sylindrene for utkjøring til ulike slaglengder varierer samtidig meget lite. Dette viser at denne løsningen er den som er minst avhengig av posisjonsreferanseendringer.

For implementeringen i testjiggen ble leadkompensatoren bare koblet inne de første 10mm av utkjøringen. Det er her avviket mellom sylindrerne er størst fordi det er ulik friksjon i de ulike systemene og ved større signal ut fra PI-regulatoren endres systemets egenskaper og leadkompensatoren skaper oscillasjon under utkjøringen. Derfor er leadkompensatoren begrenset til oppstarten av utkjøringen der ulinæriteten er størst. Etter oppstarten reguleres så systemet uten leadkompensatoren for resten av utkjøringen for å få en jevnest mulig utkjøring.

### **4.3. Konseptvekting**

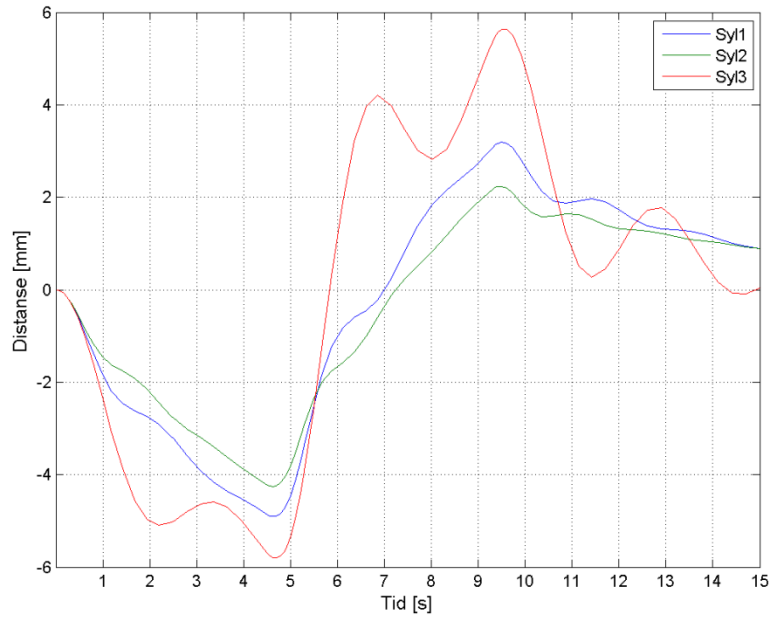
For å velge den endelige løsningen som det skal kjøres flere tester av på testjiggen så vektet de ulike løsningene opp mot hverandre. I denne vektingen er det tatt hensyn til både simulerte parametere og parametere som er hentet eksperimentelt fra testjiggen. Følgende parametere vektlegges for å velge hvilken løsning som er den beste:

- Maksimalt avvik mellom sylindrerne og posisjonsreferansen, simulert.
- Maksimalt avvik mellom sylindrerne, simulert.
- Maksimalt avvik mellom sylindrerne og posisjonsreferansen, eksperimentelt.
- Maksimalt avvik mellom sylindrerne, eksperimentelt.
- Gjennomsnittlig avvik mellom sylindrerne og posisjonsreferansen, simulert.
- Gjennomsnittlig avvik mellom sylindrerne, simulert.
- Gjennomsnittlig avvik mellom sylindrerne og posisjonsreferansen, eksperimentelt.
- Gjennomsnittlig avvik mellom sylindrerne, eksperimentelt.
- Senteravvik, eksperimentelt.
- Diameteravlesning, eksperimentelt.
- Innsvingningstid, simulert.
- Oversving, simulert.
- Regulator uavhengig av referanse, simulert.
- Regulator uavhengig av referanse, eksperimentelt.
- Regulator uavhengig av temperaturforandringer.

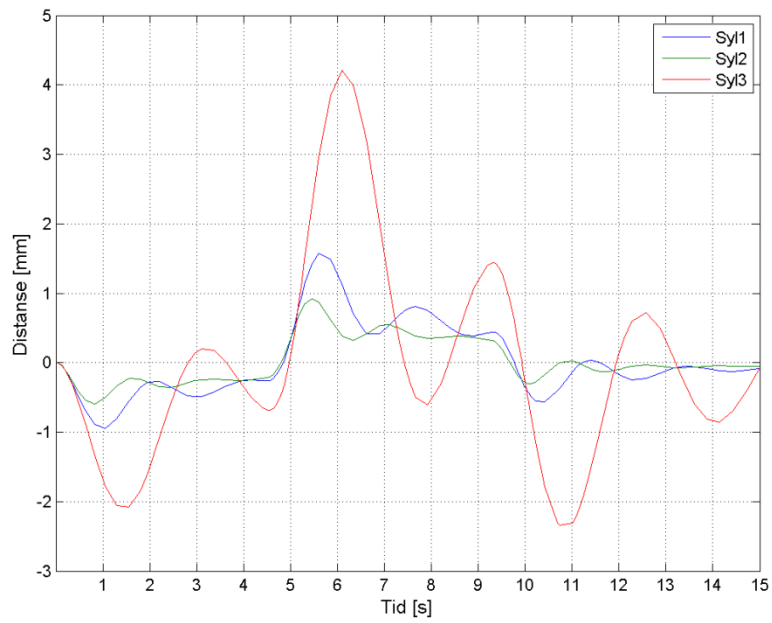
For alle kriteriene, med unntak av om regulatoren er uavhengig av referansen, brukes utkjøring til 120mm. For både den simulerte og eksperimentelle analysen av referanseuavhengighet evalueres løsningene ved utkjøring til både 70mm og 120mm. Ved analyseringen av de eksperimentelle resultatene er det kjørt 15 tester for hvert kriterium. Testen godkjennes hvis 12 av 15 tester er innenfor  $\pm 1$ mm differanse. De resterende 0-3 testene som har en større forandring enn dette forkastes. Med unntak av de testverdiene som ikke samsvarer med det overnevnte blir den største maksimale verdien avlest.

#### **4.3.1. Maksimalt avvik mellom sylindrerne og posisjonsreferansen, simulert**

Det maksimale avviket for utkjøringen mellom sylindrerne og posisjonsreferansen gir et klart og tydelig bilde av hvilken av de fire løsningene som følger posisjonsreferansen best simulert.

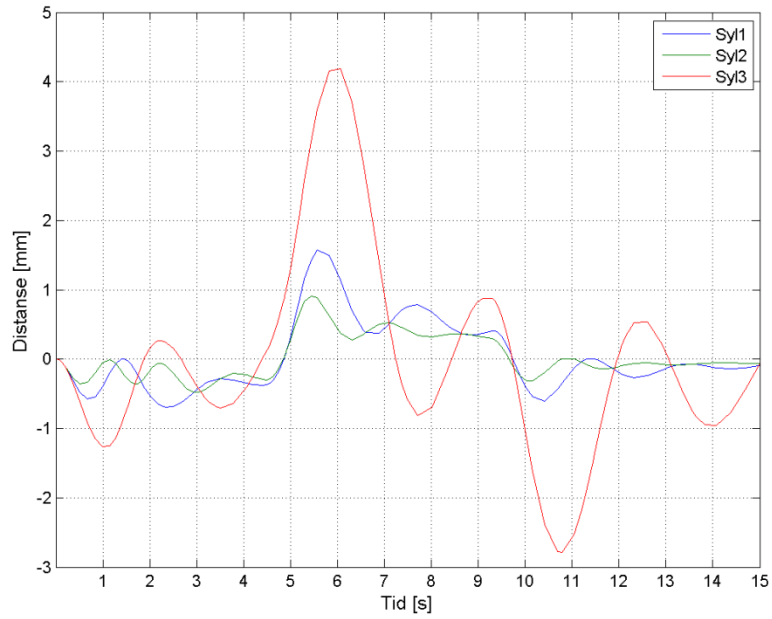


**Fig 4.21 Avvik mellom sylindrene og posisjonsreferansen ved utkjøring til 120mm for løsning 1 simulert**

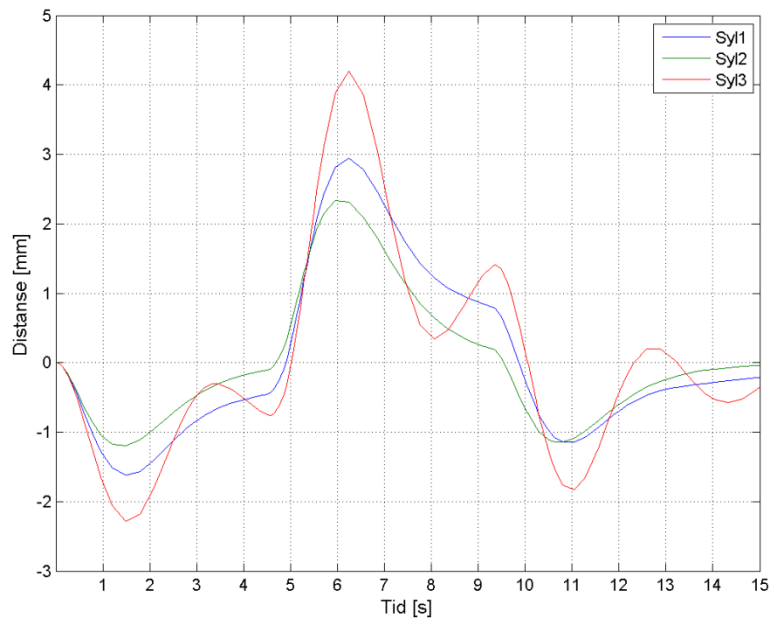


**Fig 4.22 Avvik mellom sylindrene og posisjonsreferansen ved utkjøring til 120mm for løsning 2 simulert**

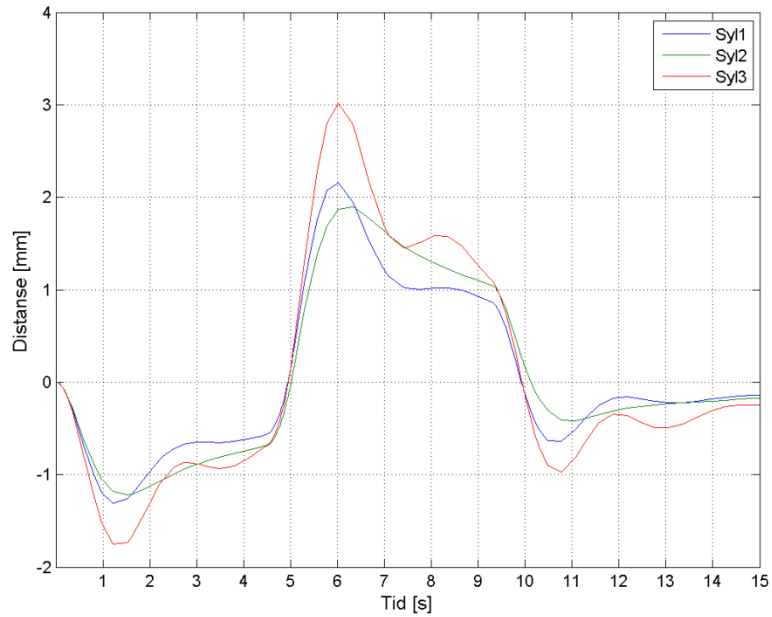




**Fig 4.23 Avvik mellom sylindrene og posisjonsreferansen ved utkjøring til 120mm for løsning 3 simulert**



**Fig 4.24 Avvik mellom sylindrene og posisjonsreferansen ved utkjøring til 120mm for løsning 4 simulert**

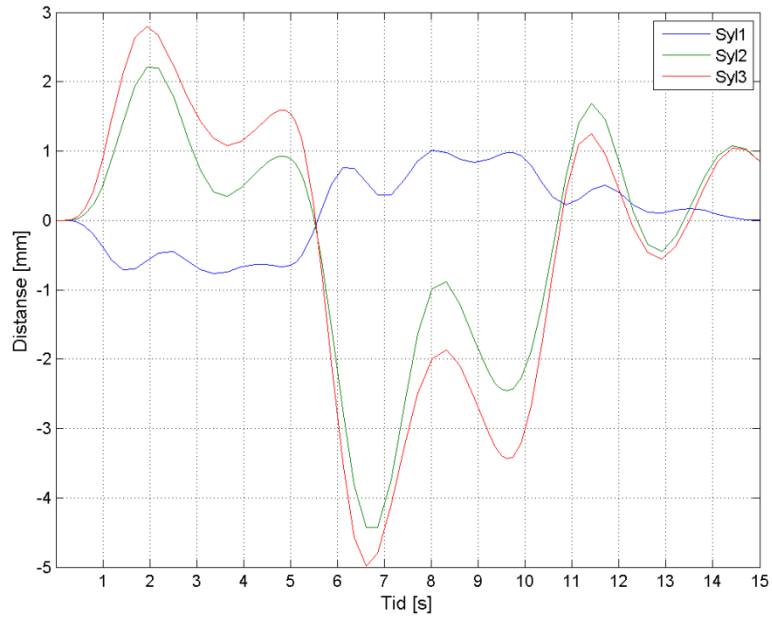


**Fig 4.25 Avvik mellom sylindrerne og posisjonsreferansen ved utkjøring til 120mm for løsnning 5 simulert**

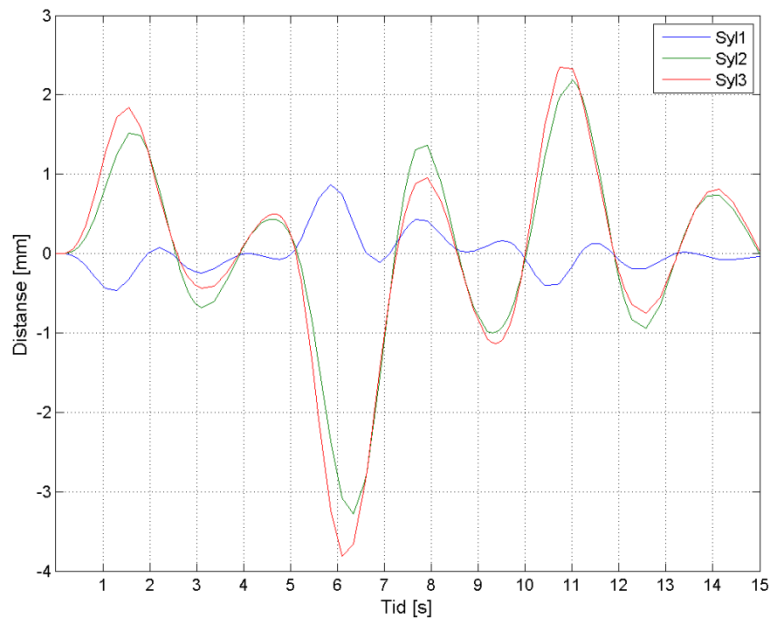
Av fig 4.21 til fig 4.25 ser man at det er løsnning 5 som gir det minste maksimale avvik mellom posisjonsreferansen og sylindernes posisjon med et avvik på 3,01mm. I den andre enden av skalaen er løsnning 1 med et avvik på 5,81mm, mens løsnning 2 og løsnning 3 har et maksimalt avvik på 4,19mm og løsnning 4 har avvik på 4,13mm.

#### **4.3.2. Maksimale avvik mellom sylindrerne, simulert**

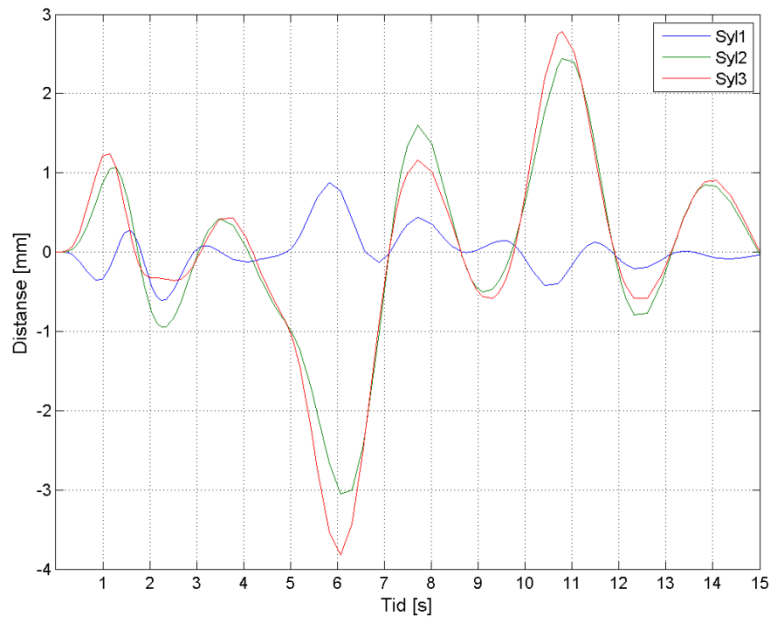
Det viktigste simulerte kriteriet i konseptvektingen er avvik innbyrdes mellom sylindrerne. For å bedømme hvor synkron utkjøringen for hver løsnning er, er det avstanden mellom sylindrerne som må analyseres.



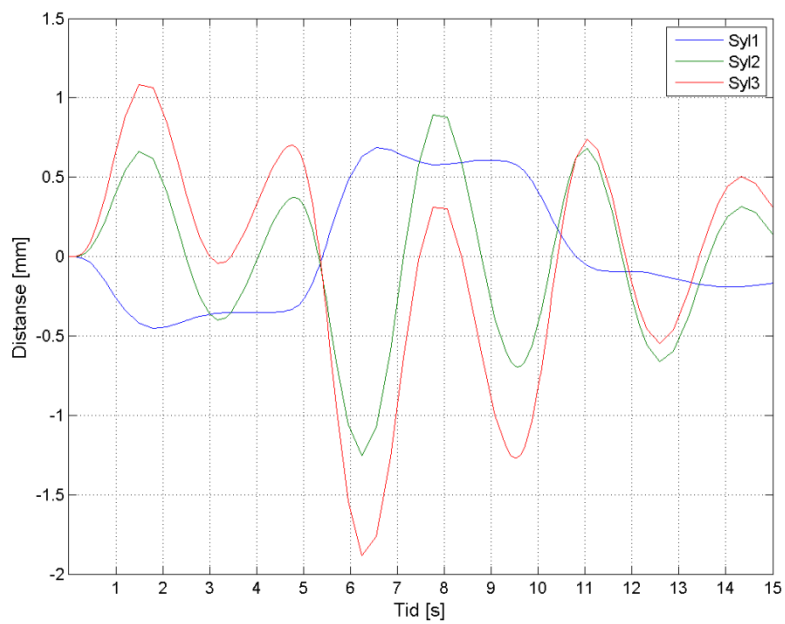
**Fig 4.26 Avvik mellom sylindrerne ved utkjøring til 120mm for løsning 1 simulert**



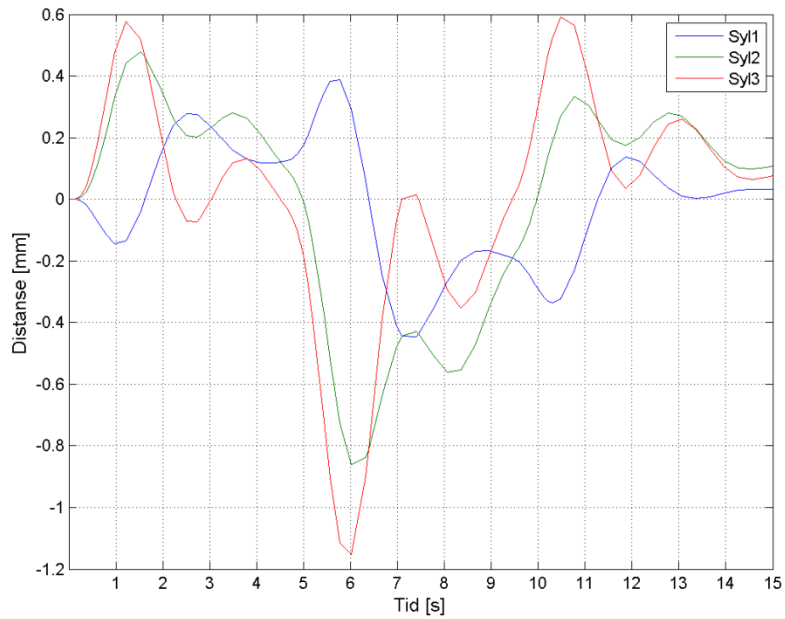
**Fig 4.27 Avvik mellom sylindrerne ved utkjøring til 120mm for løsning 2 simulert**



**Fig 4.28 Avvik mellom sylindrene ved utkjøring til 120mm for løsning 3 simulert**



**Fig 4.29 Avvik mellom sylindrene ved utkjøring til 120mm for løsning 4 simulert**

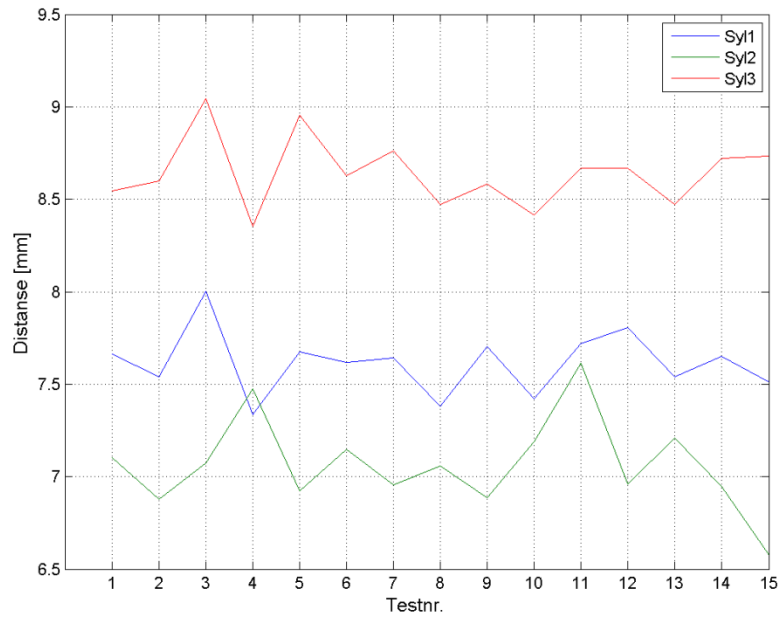


**Fig 4.30 Avvik mellom sylindrerne ved utkjøring til 120mm for løsnning 5 simulert**

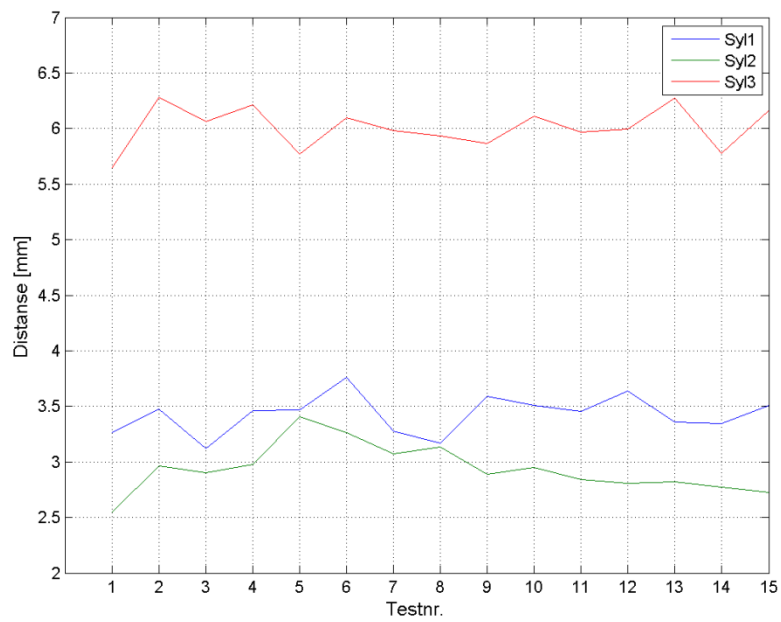
For differansen mellom sylindrerne viser fig 4.26 til fig 4.30 at løsnning 5 gir mest synkron utkjøring med maksimalt avvik på 1,15mm, mens løsnning 2, løsnning 3 og løsnning 4 har avvik på henholdsvis 3,78mm og 3,82mm og 1,89mm. Differansen mellom sylindrerne viser også at løsnning 1 er den minst synkron med et maksimalt avvik på 4,98mm.

#### **4.3.3. Maksimalt avvik mellom sylindrerne og posisjonsreferansen, eksperimentelt**

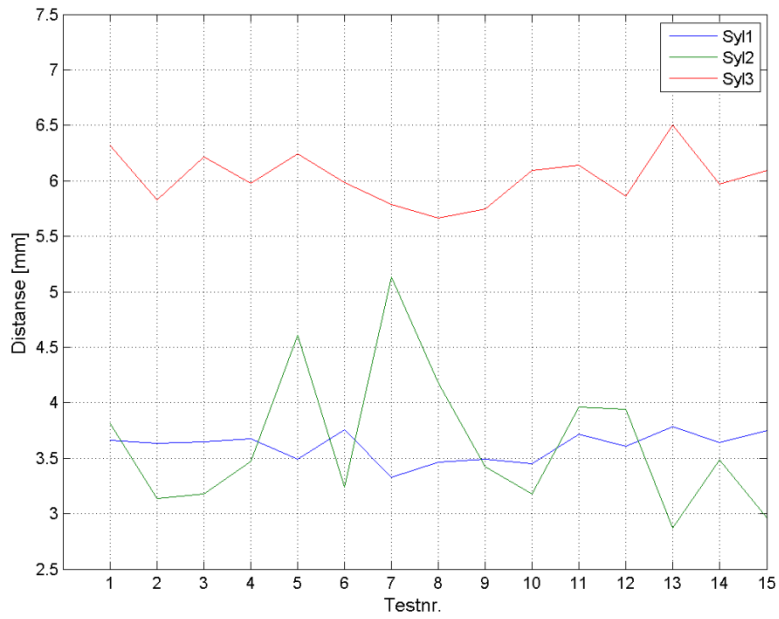
Ved å analysere det maksimale avviket mellom sylindrerne og posisjonsreferansen eksperimentelt bedres grunnlaget for valg av løsnning å gå videre med. Denne testen bidrar også til å verifisere den simulerte modellen hvis det er samsvar mellom resultatene.



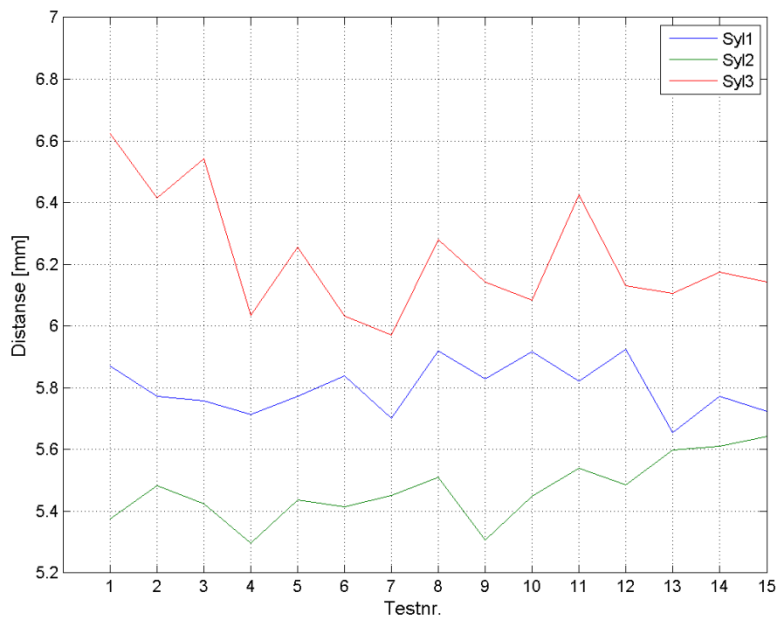
**Fig 4.31** Maksimalt avvik mellom sylindrene og posisjonsreferansen ved utkjøring til 120mm for løsning 1 eksperimentelt



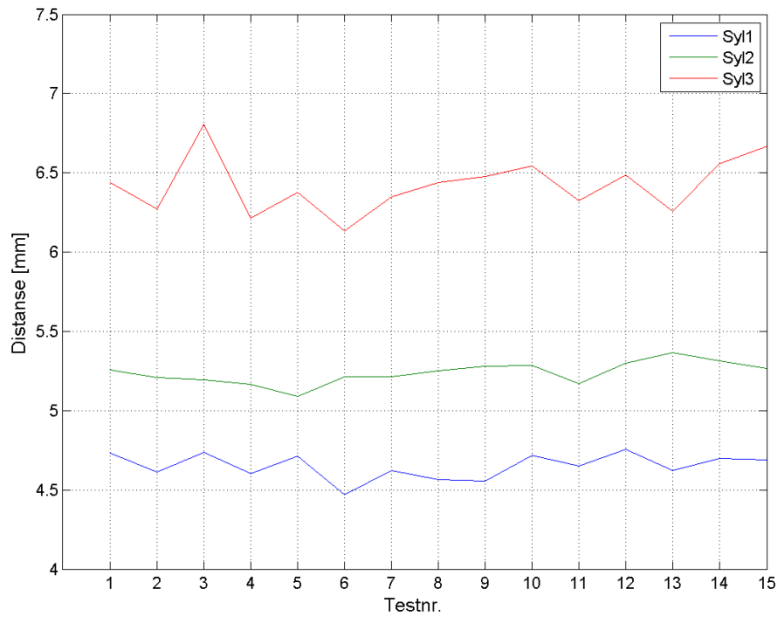
**Fig 4.32** Maksimalt avvik mellom sylindrene og posisjonsreferansen ved utkjøring til 120mm for løsning 2 eksperimentelt



**Fig 4.33** Maksimalt avvik mellom sylindrene og posisjonsreferansen ved utkjøring til 120mm for løsning 3 eksperimentelt



**Fig 4.34** Maksimalt avvik mellom sylindrene og posisjonsreferansen ved utkjøring til 120mm for løsning 4 eksperimentelt



**Fig 4.35 Maksimalt avvik mellom sylindrerne og posisjonsreferansen ved utkjøring til 120mm for løsning 5 eksperimentelt**

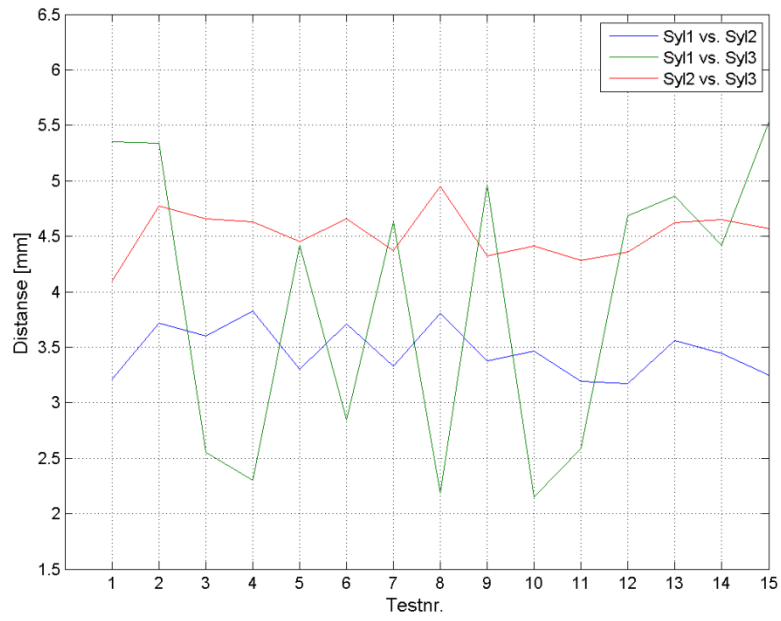
De eksperimentelle resultatene for avvik mellom sylindrerne og posisjonsreferansen ved utkjøring viser at avviket er 2-4mm større enn ved den simulerte tilnærmingen. Videre fremkommer det at det for de eksperimentelle dataene er løsning 2 som har det minste maksimale avviket mellom sylindrerne og rampen med avvik på 6,28mm. Løsning 4 har nest minst avvik med 6,62mm mens løsning 1 sitt avvik er på 9,05mm og løsning 5 sitt avvik er på 6,67mm.

Ved å ta hensyn til kravet om repeterbare målinger ser man at det er sylinder 3 som har størst avvik til posisjonsreferansen for alle løsningene. Det medfører at det maksimale avviket mellom sylindrerne og posisjonsreferansen er 6,53mm mellom sylinder 3 og posisjonsreferansen og ikke 7,30mm mellom sylinder 2 og posisjonsreferansen for løsning 3.

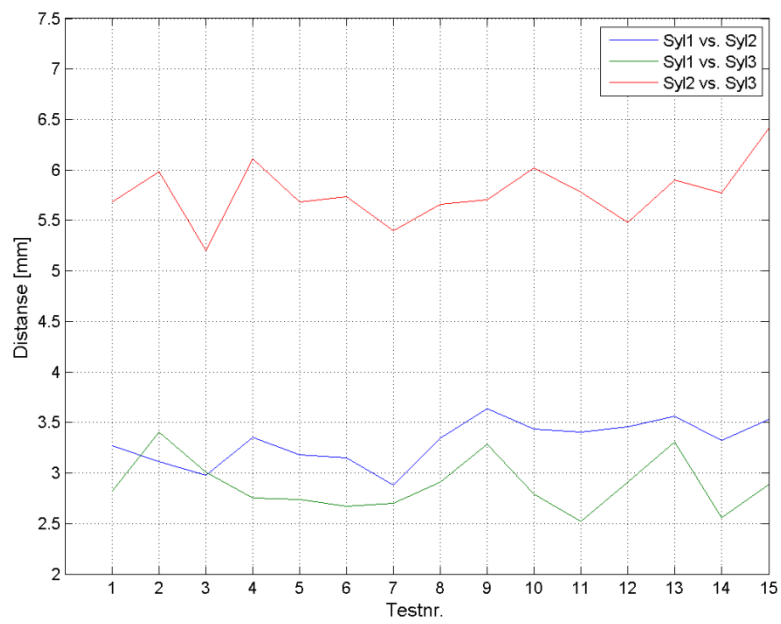
#### **4.3.4. Maksimalt avvik mellom sylindrerne, eksperimentelt**

Det maksimale avviket mellom sylindrerne eksperimentelt er det viktigste kriteriet i vektningen av løsningene. Dette kriteriet viser hvor usynkront sylindrerne reelt kan komme i inngrep med borings- eller foringsrøret ved utkjøring av sylindrerne. Det viser også hvor god den simulerte tilnærmingen er til testjiggens reelle oppførsel.

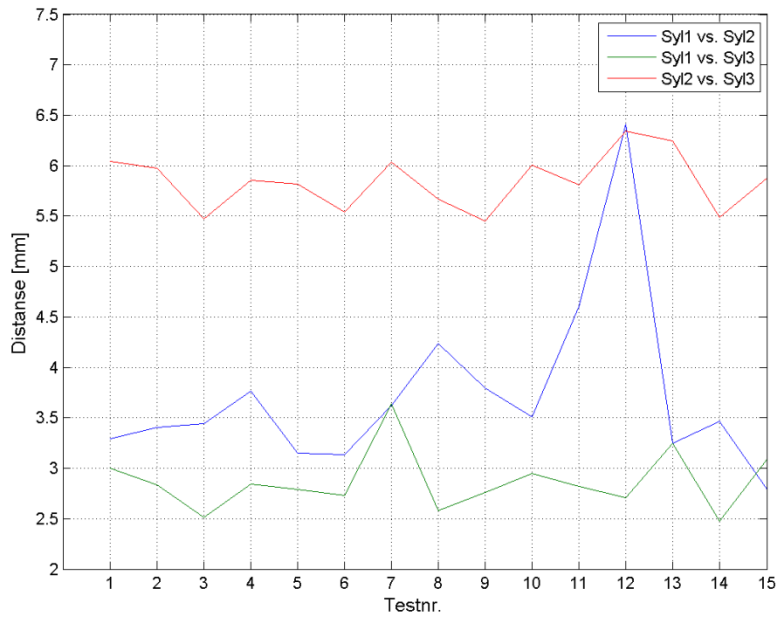




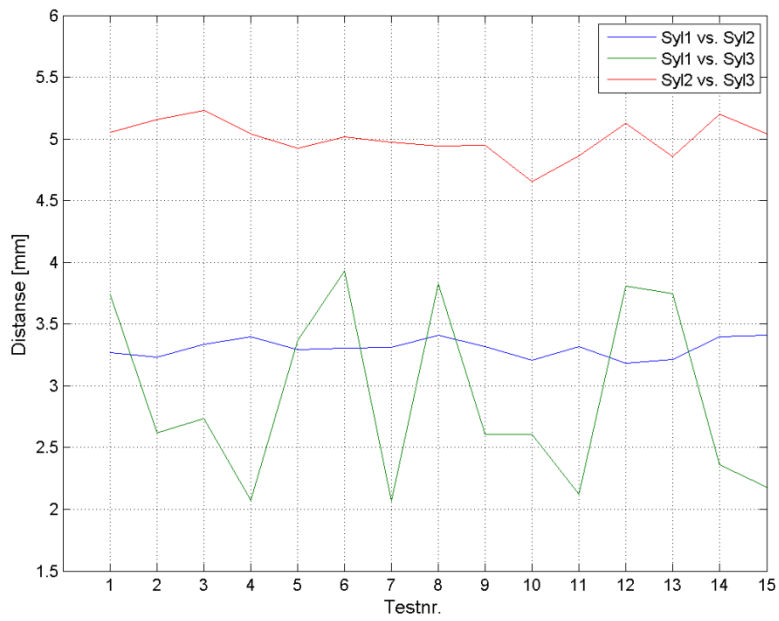
**Fig 4.36** Maksimalt avvik mellom sylindrerne ved utkjøring til 120mm for løsning 1 eksperimentelt



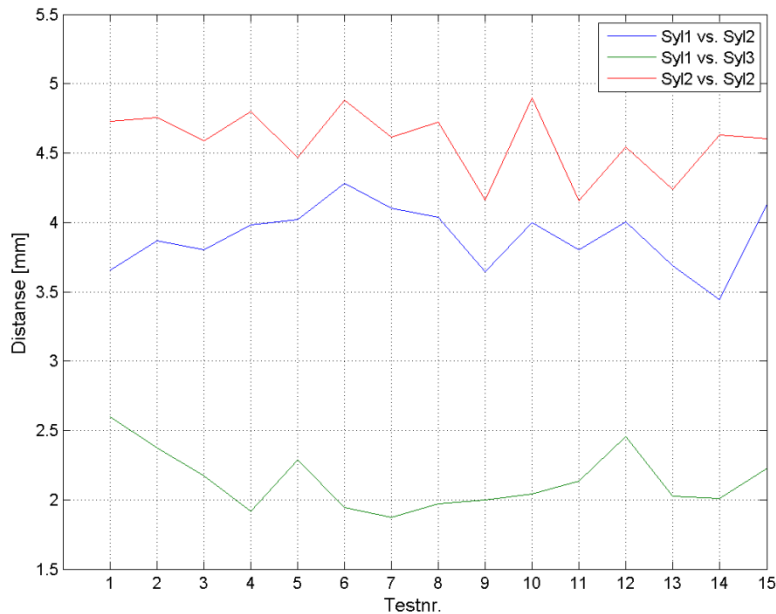
**Fig 4.37** Maksimalt avvik mellom sylindrerne ved utkjøring til 120mm for løsning 2 eksperimentelt



**Fig.4.38** Maksimalt avvik mellom sylindrene ved utkjøring til 120mm for løsning 3 eksperimentelt



**Fig 4.39** Maksimalt avvik mellom sylindrene ved utkjøring til 120mm for løsning 4 eksperimentelt



**Fig 4.40 Maksimalt avvik mellom sylindrene ved utkjøring til 120mm for løsning 5 eksperimentelt**

De eksperimentelle testene for det maksimale avviket mellom sylindrene viser at løsning 5 har det minste maksimale avviket. Avviket mellom sylinder 2 og sylinder 3 er størst for løsning 2-5 mens for løsning 1 er avviket størst mellom sylinder 1 og sylinder 3. Det maksimale avviket ligger på henholdsvis 5,53mm, 6,42mm, 6,34mm, 5,20mm og 4,90mm for løsning 1-5.

#### 4.3.5. Gjennomsnittlig avvik mellom sylindrene og posisjonsreferansen, simulert

Det gjennomsnittlige avviket mellom sylindrene og posisjonsreferansen viser hvor godt regulatorsløyfen klarer å følge rampen ved utkjøring av sylindren. Dette gir en god referanse for den generelle nøyaktigheten av posisjonsreferanse følgingen.

Ved å se vekk ifra maksimalverdiene gir fig 4.21 til fig 4.25 en god tilnærming på hva det gjennomsnittlig er. Løsning 1 er også her den som gir dårligst referansefølging, mens løsning 3 og løsning 5 følger rampen mest nøyaktig. Fig 4.22 viser at løsning 2 har mindre gjennomsnittlig avvik enn løsning 4, som kan ses i fig 4.24.

#### 4.3.6. Gjennomsnittlig avvik mellom sylindrene, simulert

Det gjennomsnittlige avviket mellom sylindrene ved utkjøring er et viktig kriterium. Dette kriteriet brukes til å avgjøre hvilket av løsningene som har den mest synkron utkjøringen av sylindrene.

Ved å også her se vekk fra maksimalverdiene på dette kriteriet og analysere fig 4.26 til fig 4.30 ser man at løsning 5 gir den mest synkron utkjøringen av sylindrene, mens løsning 1 er minst synkron i utkjøringen. Løsning 4 er nest mest synkron i utkjøringen og man ser også at løsning 3 er marginalt bedre enn løsning 2 fordi sylindrene kjører mer synkront i startfasen der,  $K_{kritisk}$  er brukt, men de to løsningene har likt avvik etter 10mm.

#### 4.3.7. Gjennomsnittlig avvik mellom sylindrene og posisjonsreferansen, eksperimentelt

Det gjennomsnittlige avviket mellom sylindrene og posisjonsreferansen viser hvor godt de ulike løsningene følger referansen ved normal utkjøring.

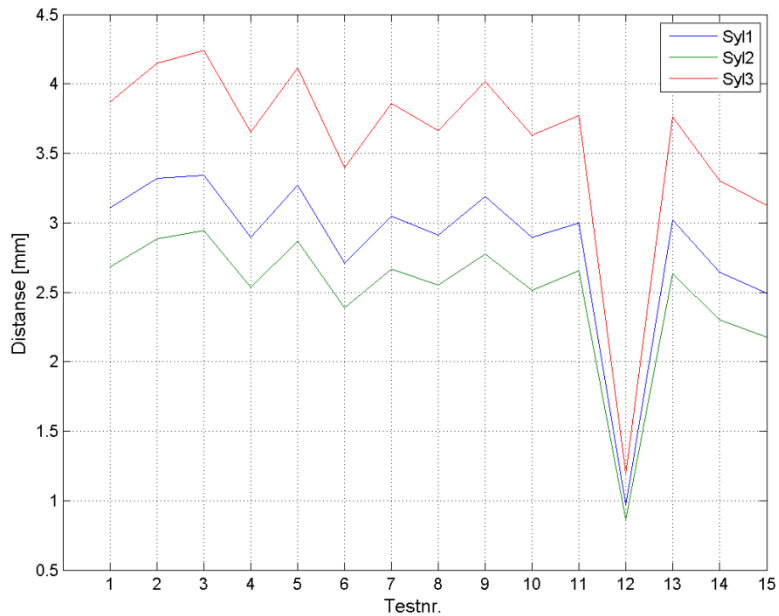


Fig 4.41 Gjennomsnittlig avvik mellom sylindrene og posisjonsreferansen ved utkjøring til 120mm for løsning 1 eksperimentelt

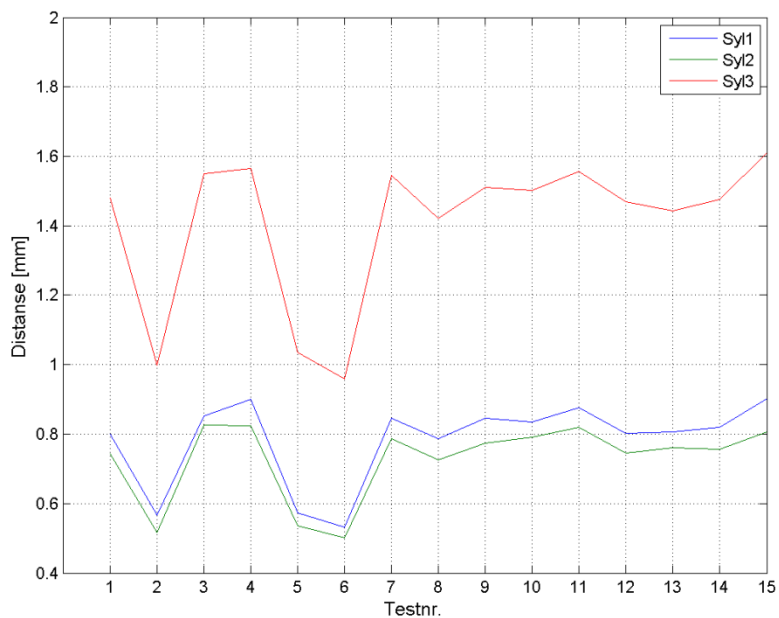
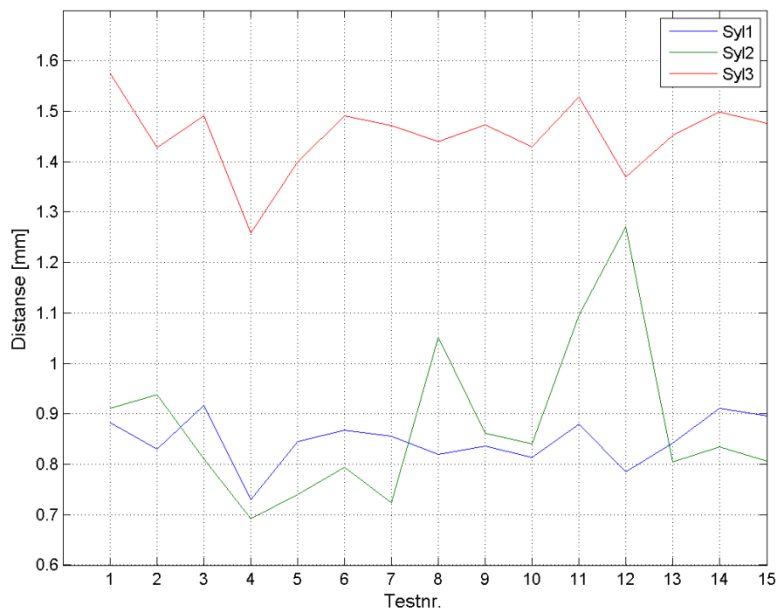
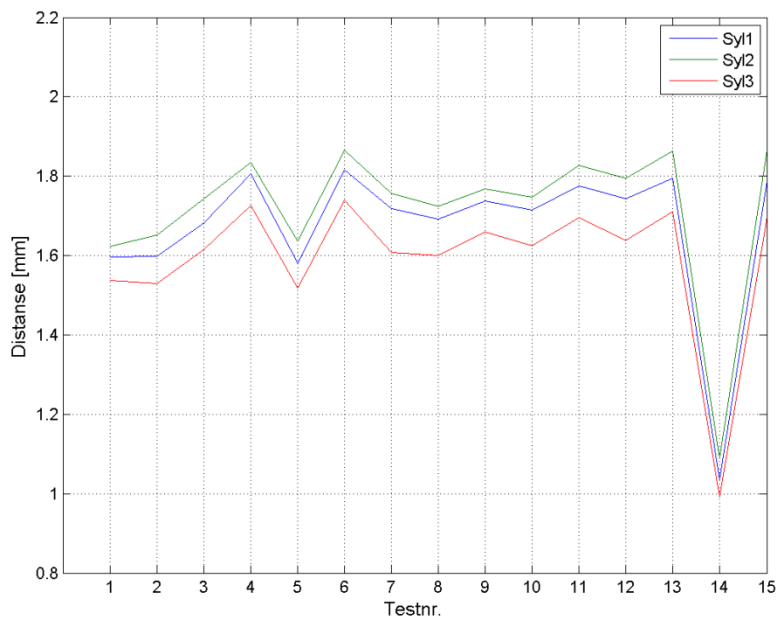


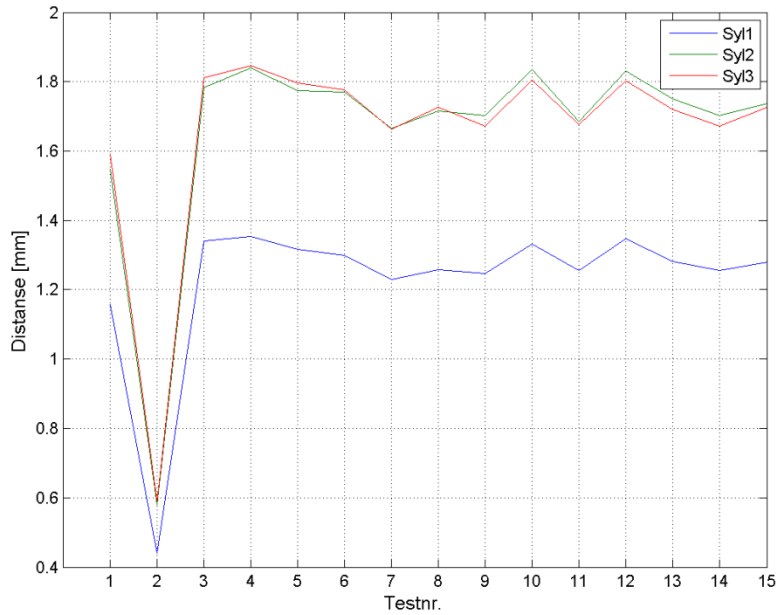
Fig 4.42 Gjennomsnittlig avvik mellom sylindrene og posisjonsreferansen ved utkjøring til 120mm for løsning 2 eksperimentelt



**Fig 4.43 Gjennomsnittlig avvik mellom sylindrene og posisjonsreferansen ved utkjøring til 120mm for løsning 3 eksperimentelt**



**Fig 4.44 Gjennomsnittlig avvik mellom sylindrene og posisjonsreferansen ved utkjøring til 120mm for løsning 4 eksperimentelt**

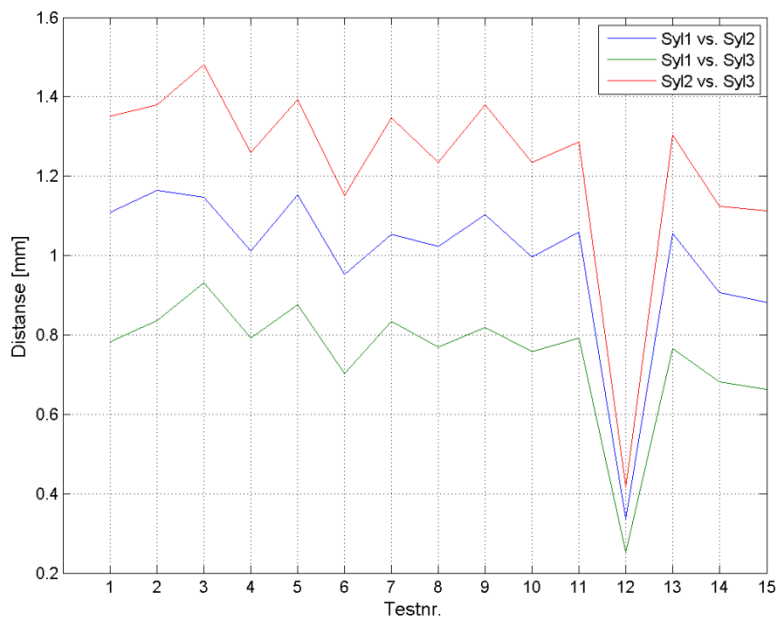


**Fig 4.45 Gjennomsnittlig avvik mellom sylindrerne og posisjonsreferansen ved utkjøring til 120mm for løsning 5 eksperimentelt**

Av fig 4.41 til fig 4.45 fremkommer det at løsning 3 følger referansen marginalt bedre enn løsning 2, mens løsning 1 har dårligst posisjonsreferanse følgende.

#### 4.3.8. Gjennomsnittlig avvik mellom sylindrerne, eksperimentelt

Det gjennomsnittlige avviket mellom sylindrerne er et av de viktigste måleparameterne for vektningen av de ulike løsningene.



**Fig 4.46 Gjennomsnittlig avvik mellom sylindrerne ved utkjøring til 120mm for løsning 1 eksperimentelt**

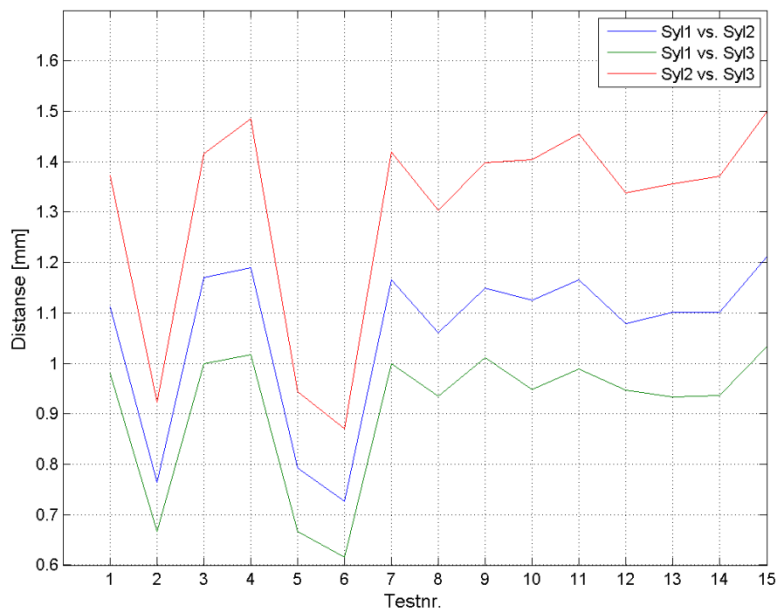


Fig 4.47 Gjennomsnittlig avvik mellom sylindrene ved utkjøring til 120mm for løsning 2 eksperimentelt

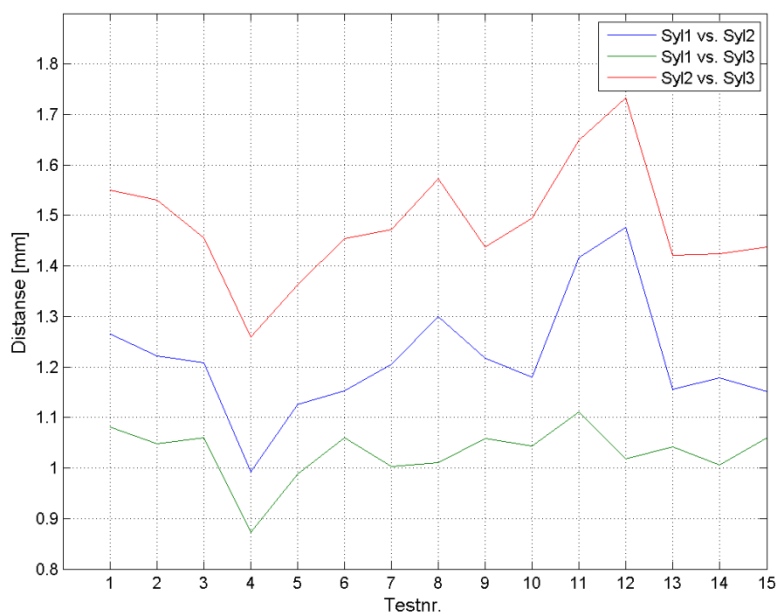
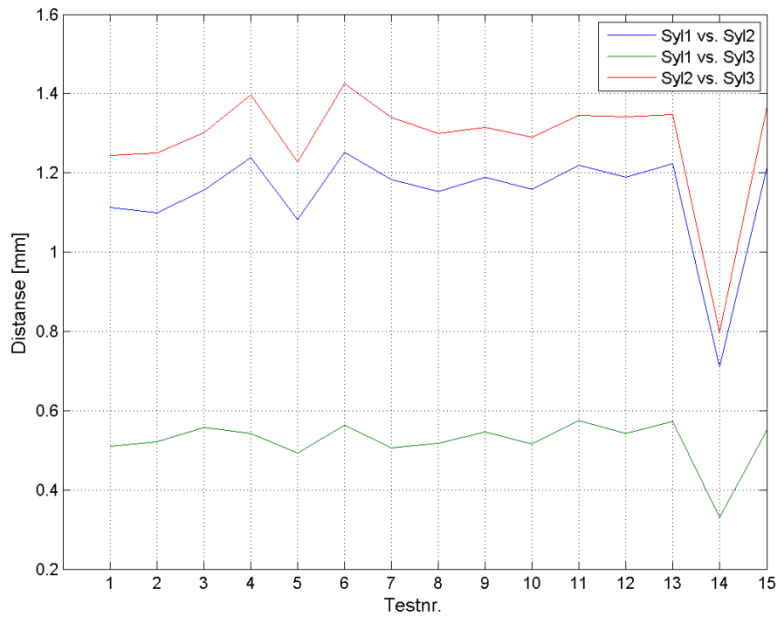
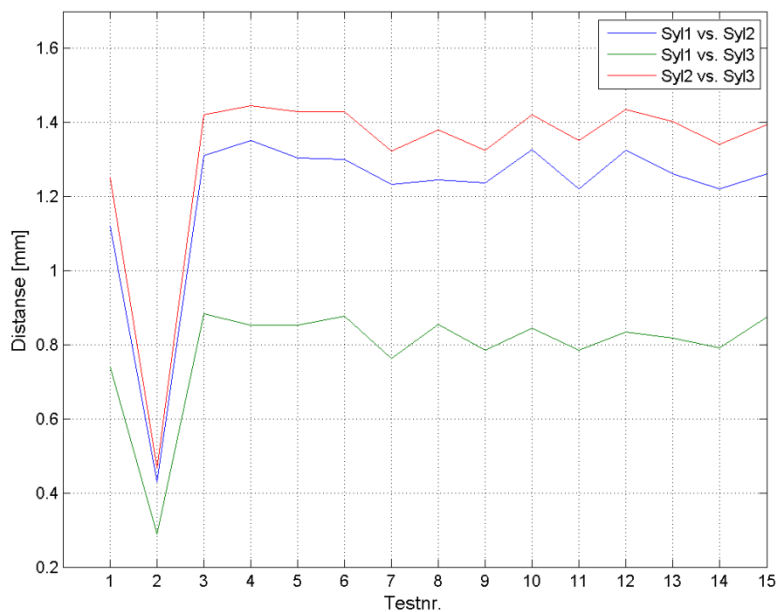


Fig 4.48 Gjennomsnittlig avvik mellom sylindrene ved utkjøring til 120mm for løsning 3 eksperimentelt



**Fig 4.49 Gjennomsnittlig avvik mellom sylindrene ved utkjøring til 120mm for løsning 4 eksperimentelt**



**Fig 4.50 Gjennomsnittlig avvik mellom sylindrene ved utkjøring til 120mm for løsning 5 eksperimentelt**

Fig 4.46 til fig 4.50 viser at løsning 4 har en marginalt mer synkron utkjøring mellom sylindrene enn løsning 5 med maksimalt avvik på 1,43mm, mens løsning 5 sitt maksimale avvik er på 1,44mm. Løsning 1, løsning 2 og løsning 3 sitt maksimale avvik er på henholdsvis 1,48mm 1,50mm og 1,73mm. Alle løsningene har mest synkron utkjøring mellom sylinder 1 og sylinder 3. Mellom disse to sylindrene har løsning 4 også mest synkron utkjøring, mens avviket mellom sylinder 1 og 2, og sylinder 2 og 3 er forholdsvis lik for alle løsningene.



### 4.3.9. Senteravvik, eksperimentelt

Alle de eksperimentelle testene er utført på en et rør med rørdiameter på 89,2mm med et senteravvik på 27,3mm. 89,2mm er det minste røret kandidatene har til disposisjon for testing og vil dermed gi de største utfordringene for løsningene. Dette røret er satt nærmest mulig senter av testjiggen i dens nåværende oppsett, dette medfører et senteravvik på 27,3mm.

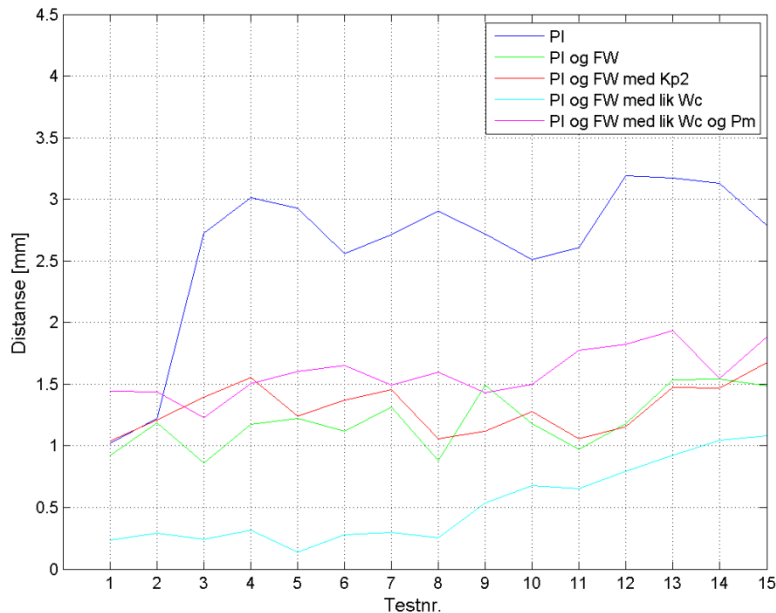
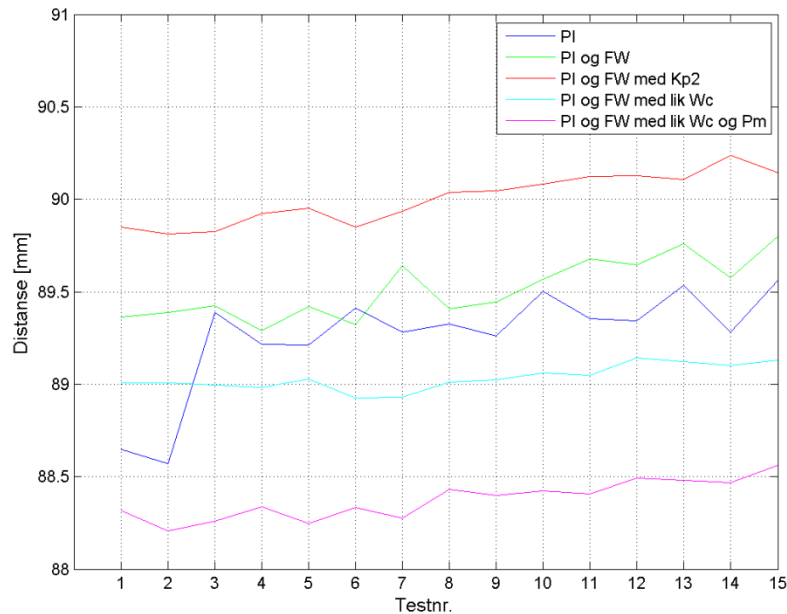


Fig 4.51 Senteravvik til røret etter synkron utkjøring av sylindrerne for alle løsningene

Senteravviket viser avviket mellom sylindrerne når sylindrerne er i inngrep med røret. Ved å studere fig 4.51 ser man at senteravviket for alle løsningene er ganske like, men at løsning 4 har minst senteravvik på 1,08mm. Det maksimale senteravviket for løsning 1, løsning 2, løsning 3 og løsning 5 er 3,19mm, 1,54mm, 1,67mm og 1,89mm. Man ser også at senteravviket til løsning 2-5 oppfyller kravet satt i kravspesifikasjonen.

### 4.3.10. Diameteravlesning, eksperimentelt

I kravspesifikasjonen er det definert at den valgte løsningen burde ha et maksimalt avvik fra den reelle diameteren under  $\pm 4$ mm.



**Fig 4.52 Diameteravlesning på røret etter synkron utkjøring av sylindrerne for alle løsningene**

Fig 4.52 viser diameteravlesningen på røret med en diameter på 89,2mm for alle løsningene. Som man ser så er alle diameteravlesningene for alle løsningene innenfor  $\pm 4$ mm, men det er løsning 4(88,93-89,14mm) som gjengir diameteren best og løsning 1(88,57-89,57mm) som gjengir diameteren dårligst mens løsning 5(88,21-88,56) er bedre enn løsning 2(89,29-89,80mm) og løsning3(89,82-90,24mm).

#### 4.3.11. Innsvingningstid, simulert

For å ha en så rask reguleringsløyfe som mulig er det viktig å analysere innsvingningstiden til de ulike løsningene. Fordi man bruker WinCC som grafisk grensesnitt for testjiggen blir innsvingningstiden analysert ved hjelp av Simulink. WinCC har en høy samplingstid, denne anses å gi for unøyaktig måling for dette kriteriet. Ved dermed å se på fig 4.21 til fig 4.25 som viser differansen mellom sylindernes posisjon og posisjonsreferansen finner man hvilke løsning som har kortest innsvingningstid.

Ved å se på hvilke løsning som har minst avstand til posisjonsreferansen etter 15 sekunder fremkommer det hvilke løsning som har kortest innsvingningstid. Løsning 4 er den løsningen med kortest innsvingningstid, med 29 sekunder. Løsning 1 har en innsvingningstid på 57 sekunder, mens løsning 2, løsning 3 og løsning 5 har en innsvingningstid på henholdsvis 33, 36 og 33 sekunder.

#### 4.3.12. Oversving, simulert

For analysen av oversvingningen til hver løsning analyseres også den simulerte sprangresponsen. Også her, som for analysen av innsvingningstiden, brukes den simulerte sprangresponsen fordi målingene i WinCC er for unøyaktig. Posisjonsreferansen når sin ønskede posisjon etter 9,3 sekunder, derfor brukes fig 4.21 til fig 4.25, som viser avviket mellom sylindernes posisjon og posisjonsreferansen, for å evaluere oversvinget til hver løsning.

Avviket mellom sylindrene og posisjonsreferansen viser at oversvinget til reguleringsløyfen i løsning 3 er minst med 0,88mm mens løsning 2 og løsning 4 har tilnærmet likt oversving på henholdsvis 1,44mm og 1,40mm. Løsning 1 har oversving på 5,62mm og løsning 5 sin oversving er på 1,09mm.

#### 4.3.13. Regulator uavhengig av referanse, simulert

For å teste hvilken regulatorsløyfe som er minst avhengig av forandringer i referansesignalet er det valgt å analysere forandringen i differansen mellom sylindrene ved utkjøring med to ulike hastighetsprofiler, og tilhørende posisjonsreferanse. Posisjonsreferansen er på henholdsvis 120mm og 70mm, den regulatoren som har minst forandring i det maksimale avviket mellom sylindrene ved utkjøring blir definert som mest uavhengig av referanse signal.

For løsning 1 er forandringen i det maksimale avviket som vist under i fig 4.53 og fig 4.54.

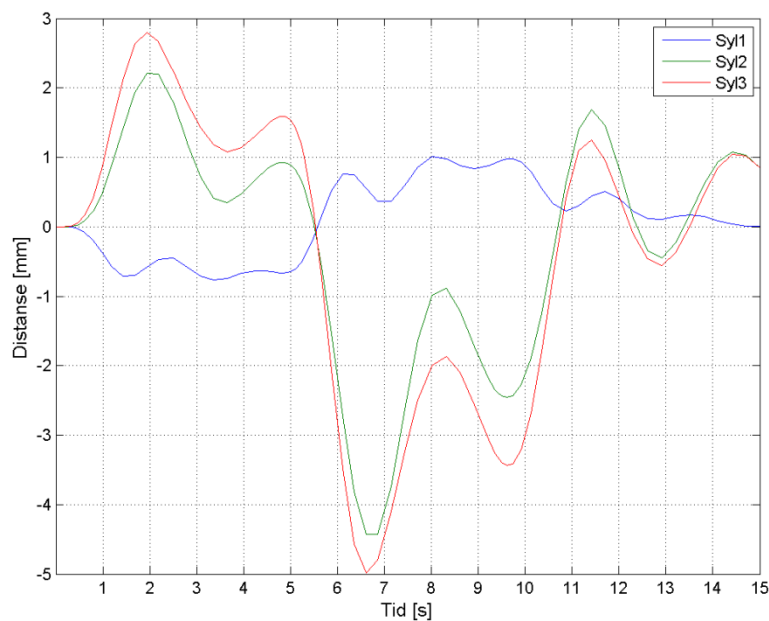
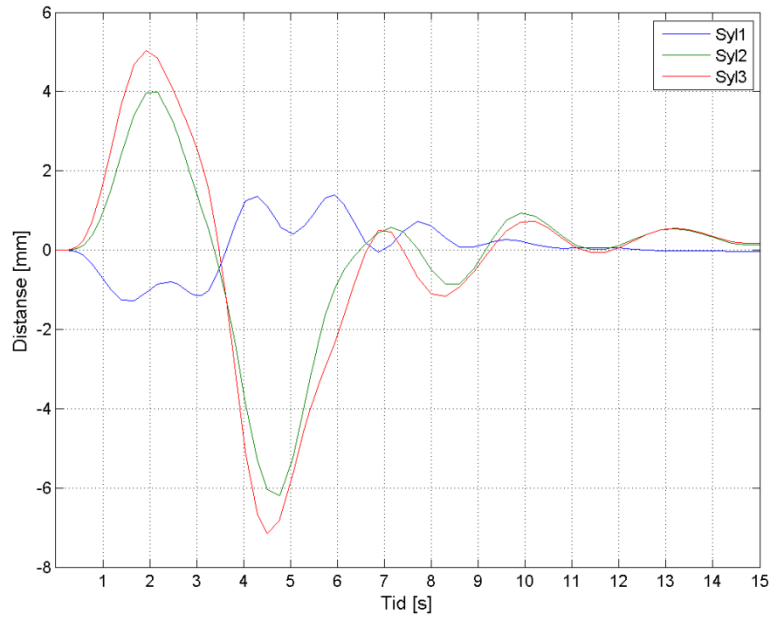


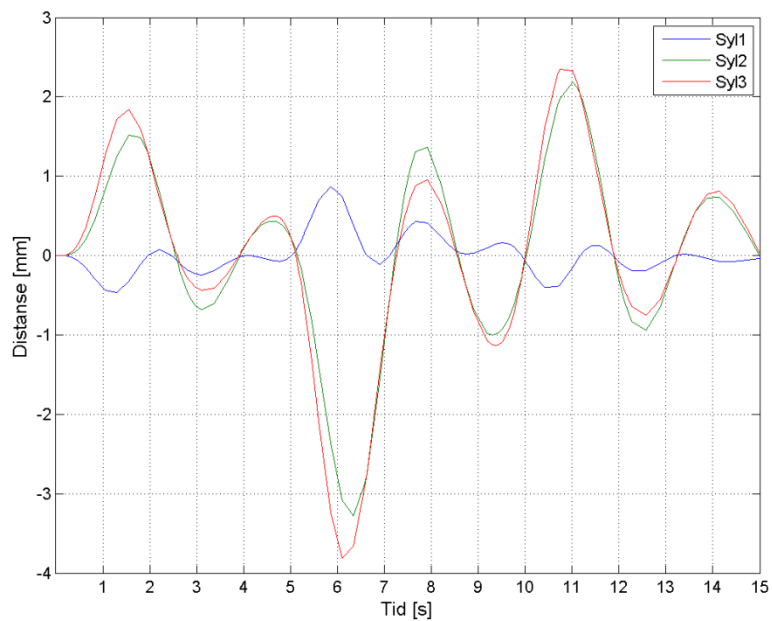
Fig 4.53 Avvik mellom sylindrene ved utkjøring til 120mm for løsning 1 simulert



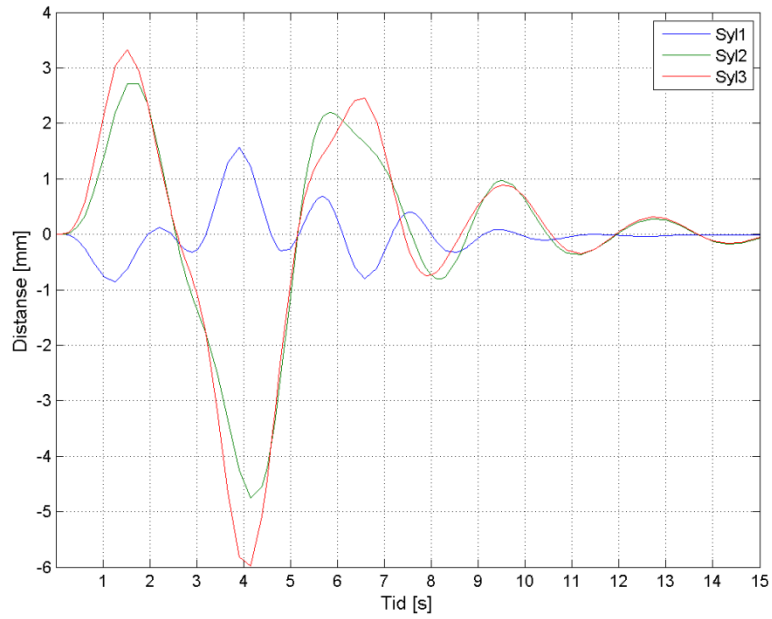
**Fig 4.54 Avvik mellom sylindrerne ved utkjøring til 70mm for løsning 1 simulert**

Av fig 4.53 og fig 4.54 fremkommer det at forandringen mellom sylindrerne ved utkjøring til 120mm og 70mm er på 2,18mm. Det bringer det maksimale avviket også opp til 7,16mm fra 4,98mm.

Forandringen i differansen mellom sylindrerne i løsning 2 vises i fig 4.55 og fig 4.56.



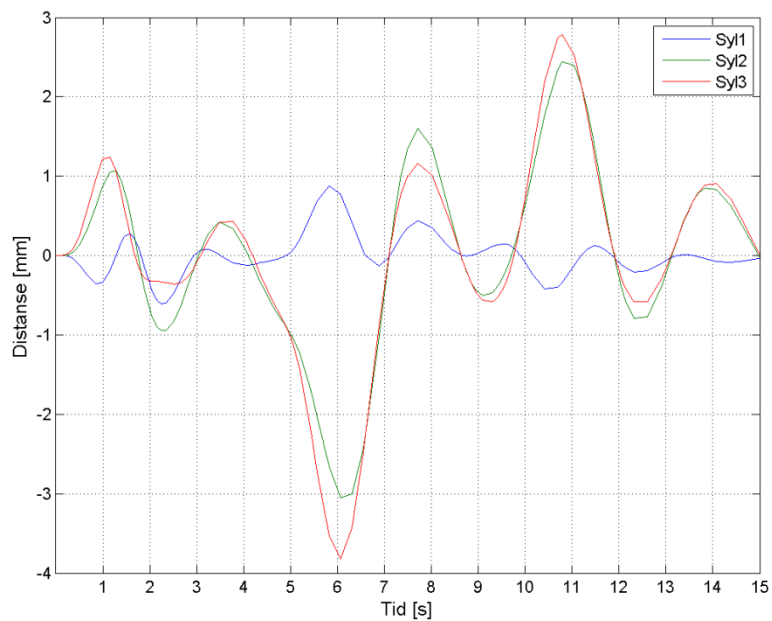
**Fig 4.55 Avvik mellom sylindrerne ved utkjøring til 120mm for løsning 2 simulert**



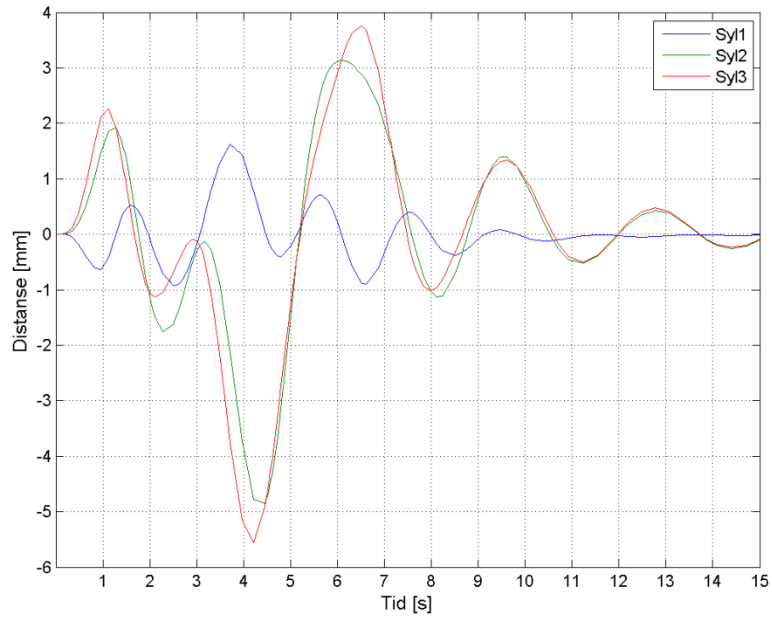
**Fig 4.56 Avvik mellom sylindrene ved utkjøring til 70mm for løøsning 2 simulert**

For løøsning 2 forandres det maksimale avviket mellom sylindrene fra 3,78mm til 5,98mm. Dette gir en økning på 2,20mm som medfører at løøsning 2 er like referanseavhengig som løøsning 1.

Løøsning 3 sin sylinder differanse vises i fig 4.57 og fig 4.58.



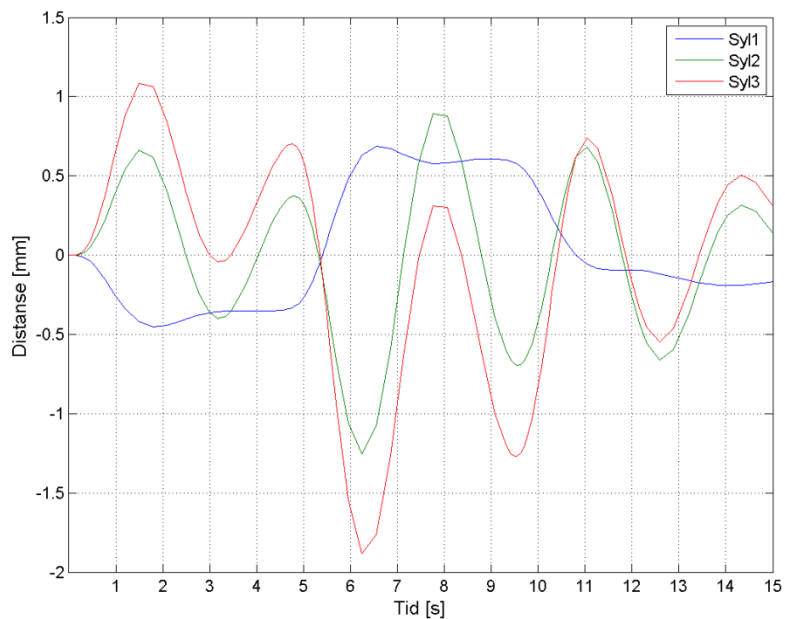
**Fig 4.57 Avvik mellom sylindrene ved utkjøring til 120mm for løøsning 3 simulert**



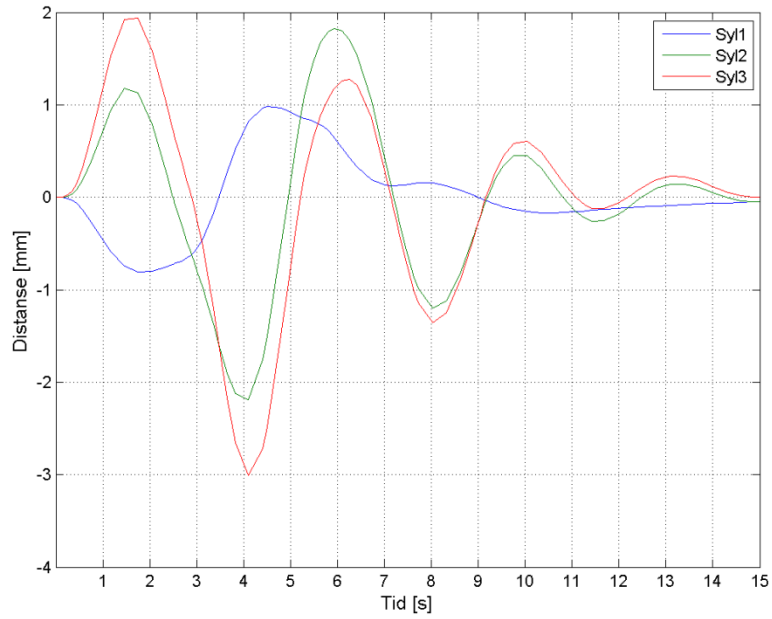
**Fig 4.58 Avvik mellom sylindrene ved utkjøring til 70mm for løsning 3 simulert**

Det maksimale avviket økes med 1,74mm ved å forandre sylindernes posisjonsreferanse fra 120mm til 70mm som gir en avviksforandring mellom sylindrene fra 3,82mm til 5,56mm. Forandringen er mindre enn i løsning 1 og løsning 2, fordi den kritiske forsterkningen til tuning ved "Ziegler Nichols"-metoden er brukt for å gi en raskere responstid i startfasen til systemet. Dermed blir avviket her mindre, noe som igjen gir en mindre differanse som følge av forandret referanseposisjon.

Forandringen i differansen mellom sylindrene i løsning 4 vises i fig 4.59 og fig 4.60.

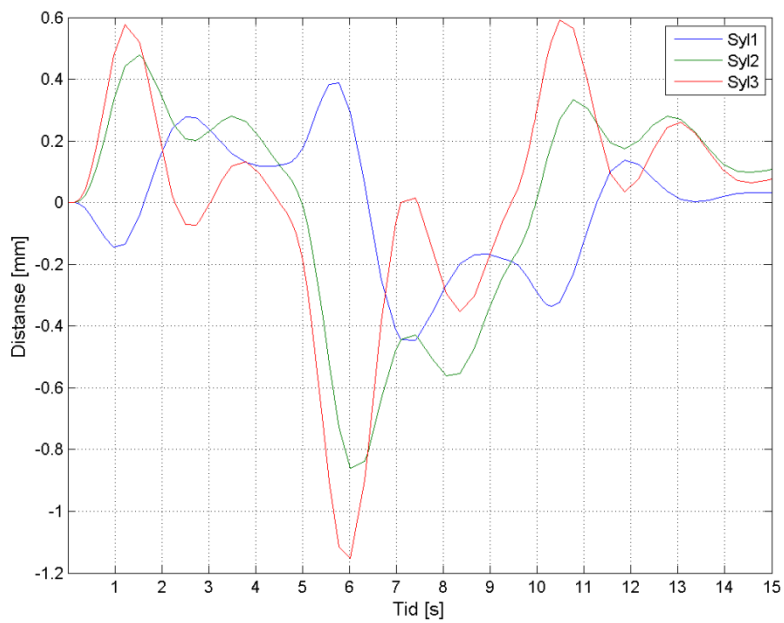


**Fig 4.59 Avvik mellom sylindrene ved utkjøring til 120mm for løsning 4 simulert**

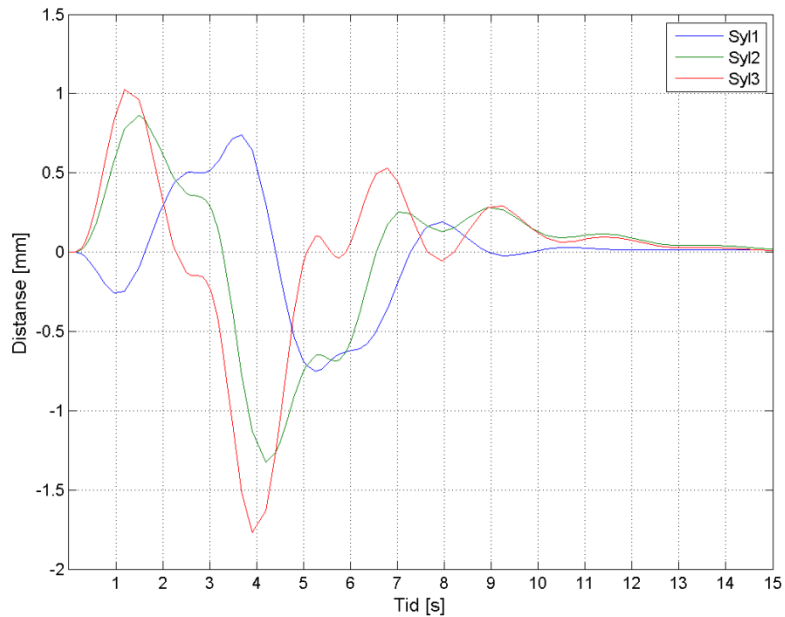


**Fig 4.60 Avvik mellom sylindrerne ved utkjøring til 70mm for løøsning 4 simulert**

Løsning 4 har en forandring i avvik fra 1,89mm til 3,01mm. Dermed har også løøsning 4 en forandring i det maksimale avviket mellom sylindrerne på 1,12mm.



**Fig 4.61 Avvik mellom sylindrerne ved utkjøring til 120mm for løøsning 5 simulert**



**Fig 4.62 Avvik mellom sylindrene ved utkjøring til 70mm for løsning 5 simulert**

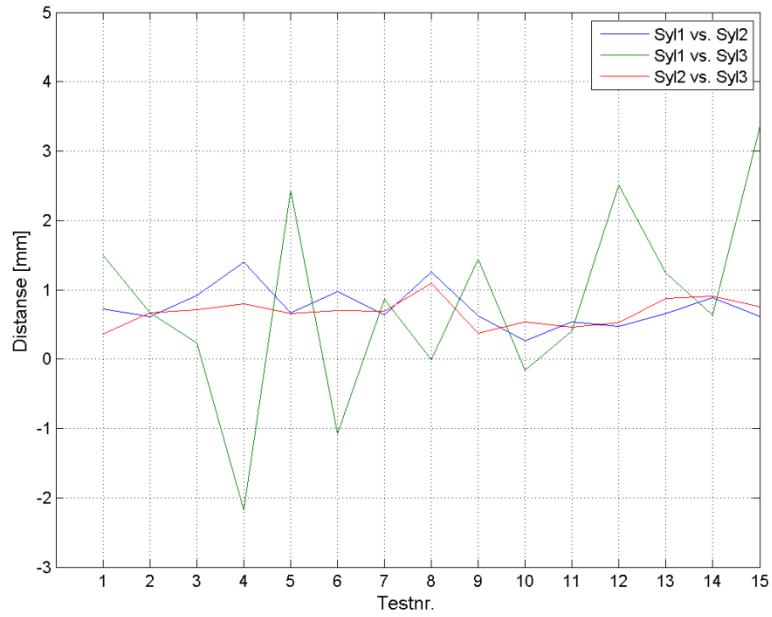
For den siste løsningen er den økning ifra 1,15mm til 1.77mm ved å forandre posisjonsreferansen fra 120mm til 70mm. Dette er en økning på 0,62mm.

Etter å ha analysert alle løsningene er det løsning 5 sin utkjøring som er minst forandret som følge av forandring av referanse signalene, mens løsning 1 får størst forandring i det maksimale avviket mellom sylindrene. Det er også verd å merke seg at det maksimale avviket mellom sylindrene for løsning 5 ved 70mm posisjonsreferanse er mindre enn det maksimale avviket på samtlige andre løsninger ved utkjøring til 120mm posisjonsreferanse.

#### **4.3.14. Regulator uavhengig av referanse, eksperimentelt**

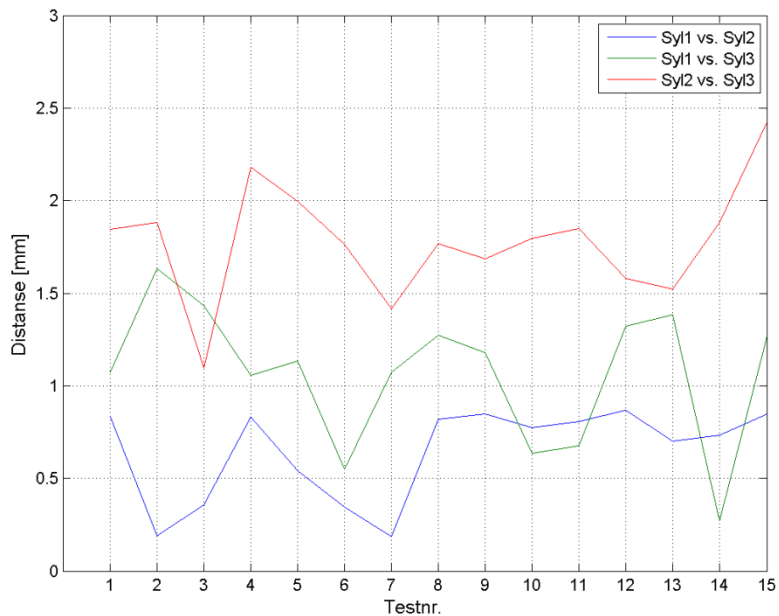
For å se om løsningene er referanseuavhengige ble hastighetsreferansen endret til å gi en posisjonsreferanse på 70mm. Ved å se på forholdet mellom det maksimale avviket mellom sylindrene for utkjøring til både 120mm og 70mm fremkommer det hvilke løsning som er minst avhengig av endringer i posisjonsreferansen.





**Fig 4.63** Differansen i det maksimale avviket mellom sylindrene ved utkjøring til 120mm og 70mm for løsnning 1

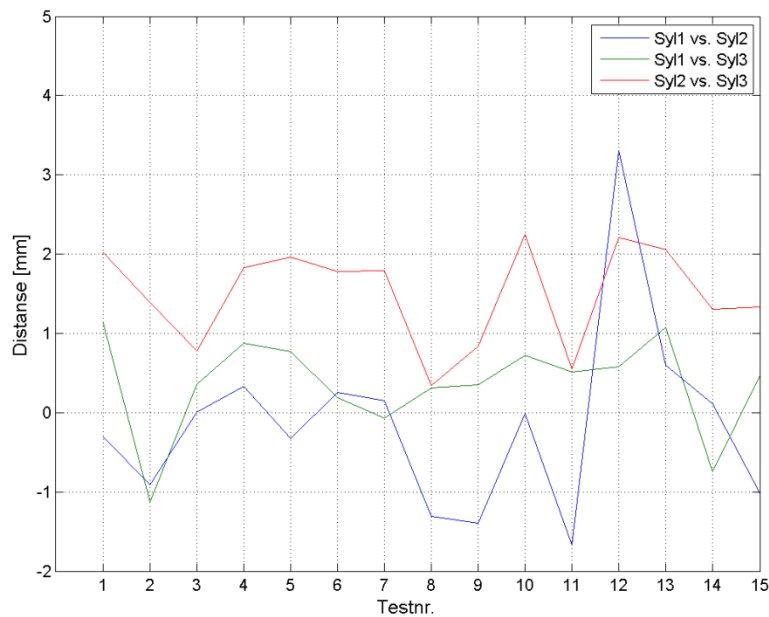
For løsnning 1 så er differansen ved utkjøring størst mellom sylinter 1 og 3 der differansen er over 3,31mm. Mellom sylinter1 og 2 og sylinter 2 og 3 er differansen betydelig mindre.



**Fig 4.64** Differansen i det maksimale avviket mellom sylindrene ved utkjøring til 120mm og 70mm for løsnning 2

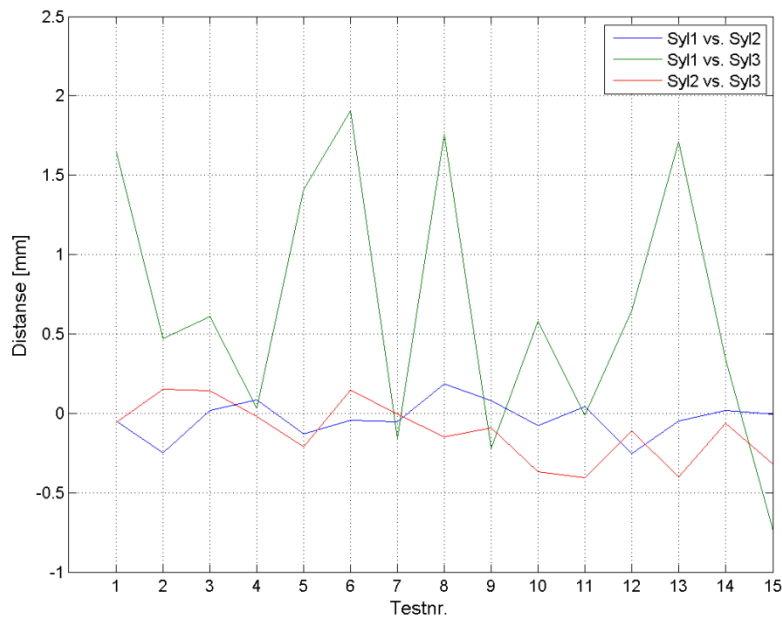
Løsnning 2 sin differanse i det maksimale avviket ved utkjøring til 120mm og 70mm er mindre enn i løsnning 1. I fig 3.64 ser man at det største avviket er på 2,41mm mellom sylinter 2 og sylinter 3. Dette stemmer godt overens med den simulerte modellen som også gjengir det største avviket på

løsning 2 til å være mellom sylinter 2 og sylinter 3 ved forandringen i posisjonsreferansen. Avviket eksperimentelt er likevel høyere enn det simulerte avviket på 2,20mm.



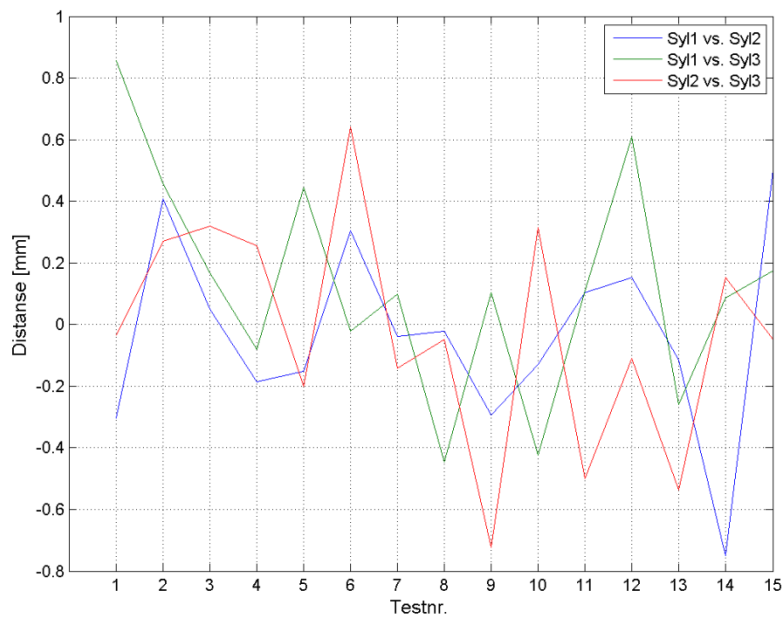
**Fig 4.65** Differansen i det maksimale avviket mellom sylindrene ved utkjøring til 120mm og 70mm for løsning 3

For løsning 3 neglisjeres det største avviket mellom sylinter 1 og sylinter 2 i fig 4.65. Det medfører at også her er det avviket mellom sylinter 2 og sylinter 3 som har størst forandring.



**Fig 4.66** Differansen i det maksimale avviket mellom sylindrene ved utkjøring til 120mm og 70mm for løsning 4

Som i løøsning 1 så har også løøsning 4 størst differanse i det maksimale avviket mellom sylindrer 1 og sylindrer 3. Her er differansen 1,91mm mens den bare er 1,12mm for den simulerte tilnærmingen.



**Fig 4.66 Differansen i det maksimale avviket mellom sylindrerne ved utkjøring til 120mm og 70mm for løøsning 5**

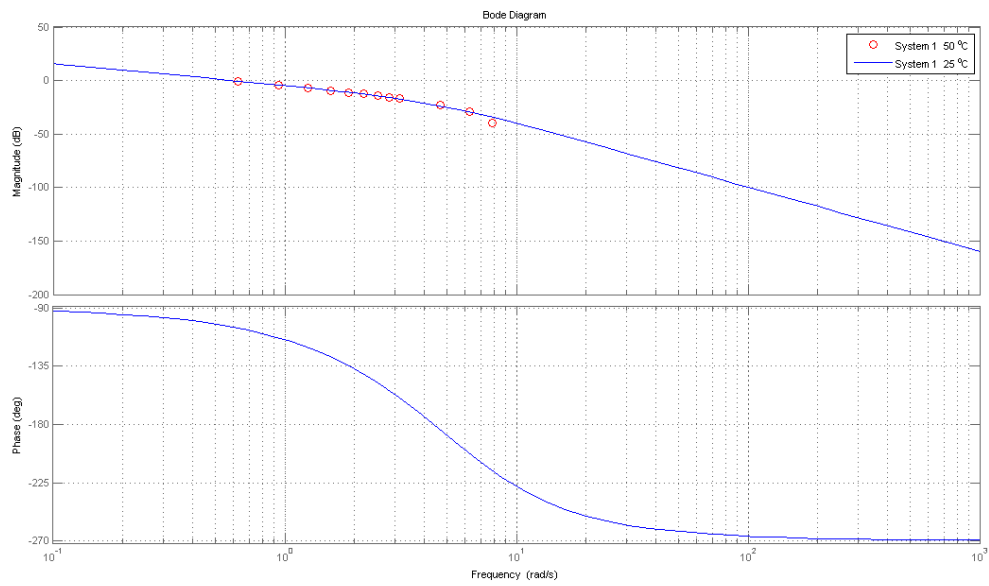
For løøsning 5 er differansen ganske jevn mellom de ulike sylindrerne. Det er likevel differansen i det maksimale avviket sylindrer 1 og sylindrer 3 som er størst her også med 0,86mm.

Av å evaluere differansen i det maksimale avviket mellom sylindrerne ved utkjøring fremkommer det at løøsning 5 er den løøsningen som er minst avhengig av forandringer i posisjonsreferansen, mens differansen er størst i løøsning 1 og løøsning 2. Man ser også at forandringene i posisjonsreferansen har større innvirkning eksperimentelt enn simulert og dermed også at transferfunksjonene til de tre systemene ikke er en helt korrekt gjengivelse av det hydrauliske systemet.

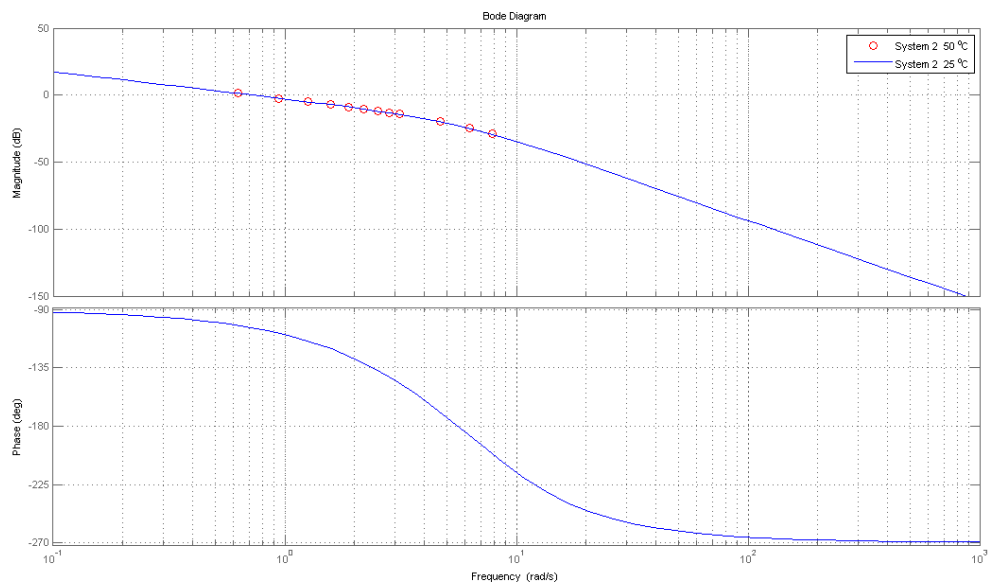
#### 4.3.15. Regulator uavhengig av temperaturforandringer, simulert.

For å analysere om regulatorne er temperaturavhengig ble det først sett hvilke endringer det hydrauliske systemet fikk ved å endre oljetemperaturen. Oljetemperaturen ble økt fra 25 °C til 50 °C og systemet ble analysert.

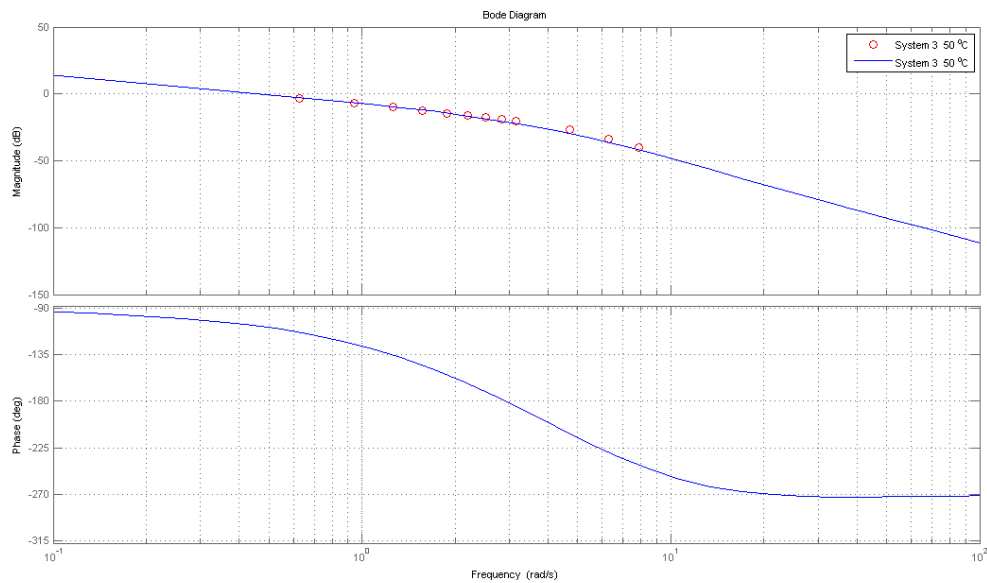
Ved 50 °C ble det funnet nye verdier for amplituden og fasen som kan brukes til å lage nye transferfunksjoner som tilsvarer hydraulikksystemets oppførsel. Før de nye transferfunksjonene ble utviklet ble det testet om de nye verdiene, som kan finnes i vedlegg 1.2, sammenfaller med  $G_1(s)$ ,  $G_2(s)$  og  $G_3(s)$ .



**Fig 4.68** Bodeplottet til sylinder 1 ved 25°C med amplitudemålinger gjort ved 50°C



**Fig 4.69** Bodeplottet til sylinder 2 ved 25°C med amplitudemålinger gjort ved 50°C

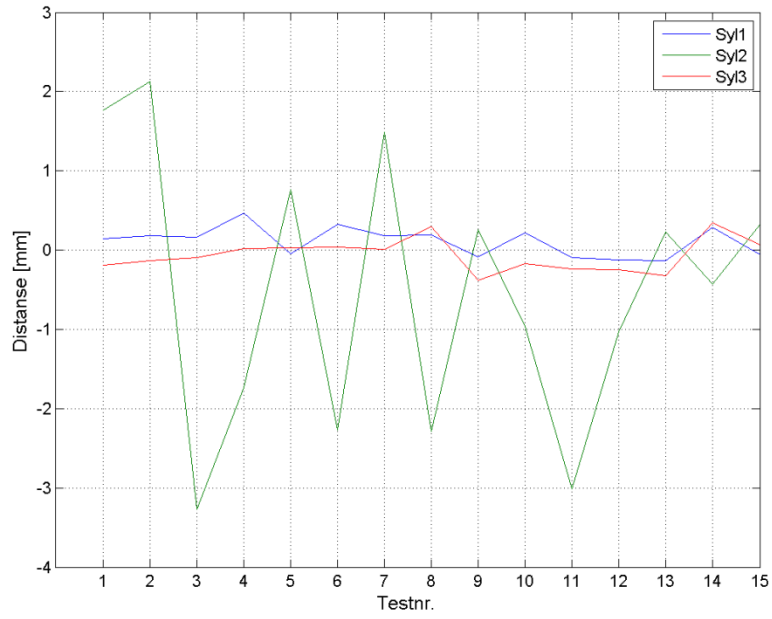


**Fig 4.70 Bodeplottet til sylinder 3 ved 25°C med amplitudemålinger gjort ved 50°C**

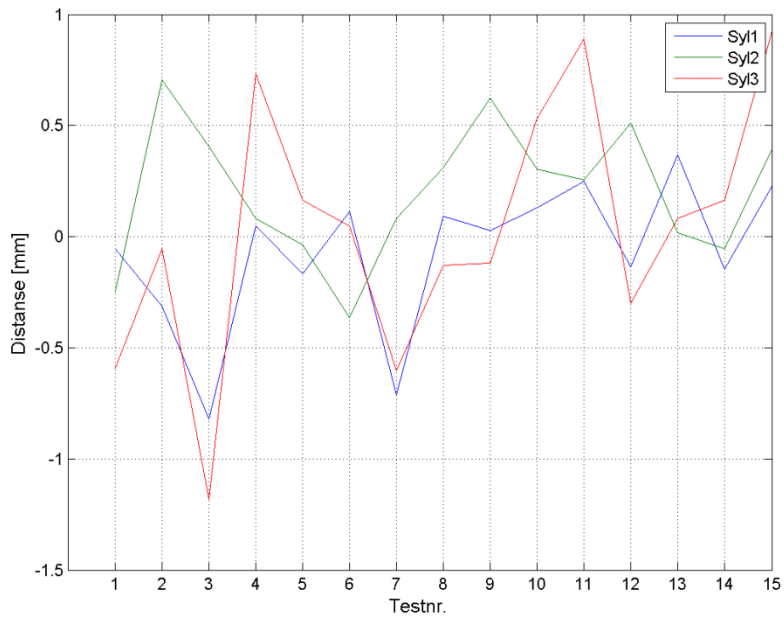
Fra fig 4.68 til fig 4.70 ser man at egenskapene til det hydrauliske systemet endres innenfor akseptable verdier ved temperaturforandringer. Dermed ser det ut som systemet, og dermed også regulerene, er uavhengig av temperatur ved normal drift. For å bekrefte dette ble det også kjørt tester for om reguleren er temperaturuavhengig eksperimentelt.

#### **4.3.16. Regulator uavhengig av temperaturforandringer, eksperimentelt.**

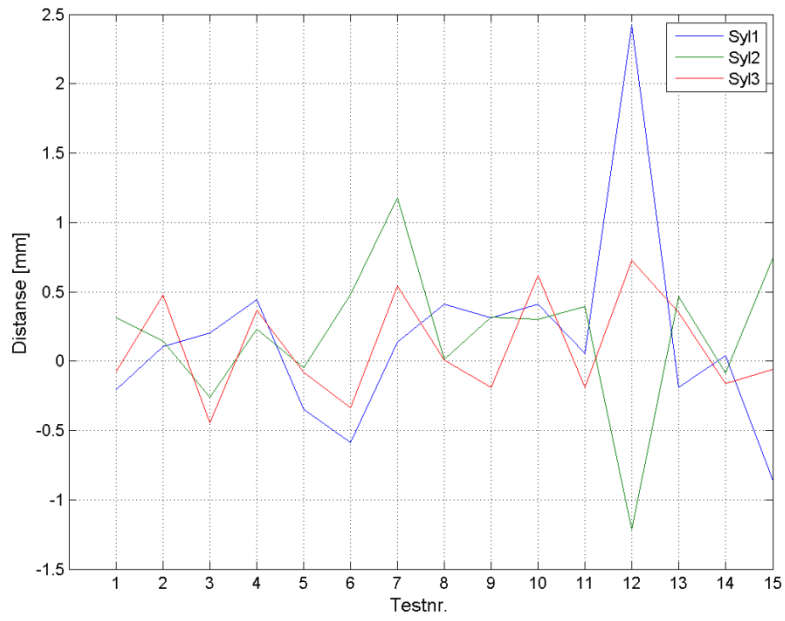
For å kontrollere om systemet er temperaturuavhengig ble det kjørt tester for alle løsningene med en utkjøring av sylindrene til 120mm ved 25 °C og 50 °C. Differansen mellom det maksimale avviket mellom sylindrene ble så evaluert for å se om systemet var temperaturuavhengig. Dersom de var temperaturavhengig, ble det videre vurdert hvilke løsning som gav likest resultater ved ulike temperaturer.



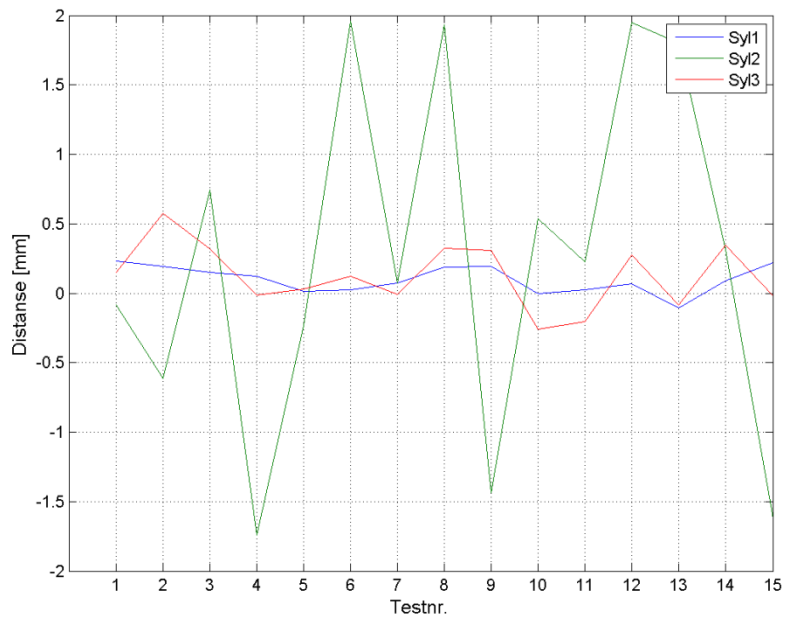
**Fig 4.71** Differanse i det maksimale avviket mellom sylindrerne ved utkjøring til 120mm for 25°C og 50°C for løsning 1



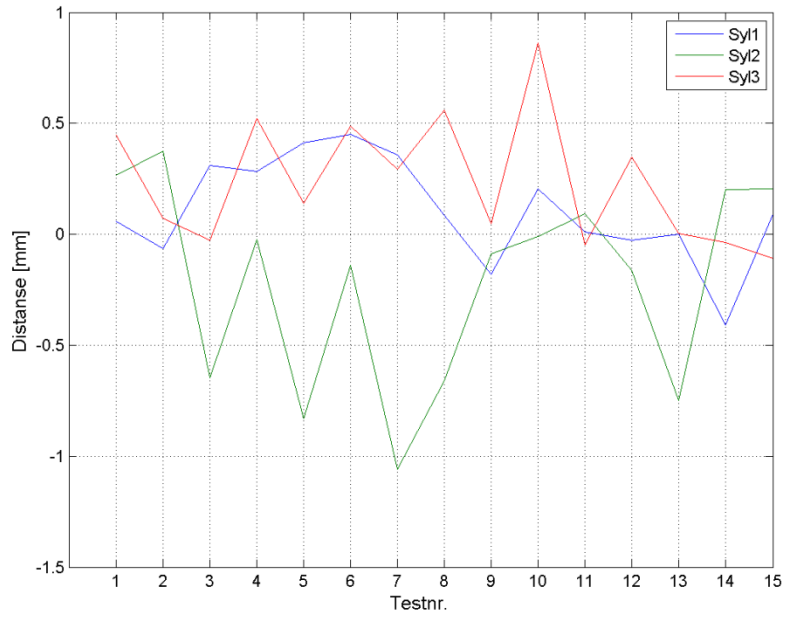
**Fig 4.72** Differanse i det maksimale avviket mellom sylindrerne ved utkjøring til 120mm for 25°C og 50°C for løsning 2



**Fig 4.73** Differanse i det maksimale avviket mellom sylindrerne ved utkjøring til 120mm for 25°C og 50°C for løsning 3



**Fig 4.74** Differanse i det maksimale avviket mellom sylindrerne ved utkjøring til 120mm for 25°C og 50°C for løsning 4



**Fig 4.75 Differanse i det maksimale avviket mellom sylindene ved utkjøring til 120mm for 25°C og 50°C for løsning 5**

Fra fig 4.71 til fig 4.75 fremkommer det at løsning 1 er minst temperatur avhengig, mens løsning 4 er mest avhengig av lik temperatur. Dette skyldes at løsning 4 baserer seg på tuningen av regulatoren på frekvensresponsen til systemets transferfunksjon. Ved endringer i temperaturen skjer det små endringer i systemenes transferfunksjon, noe som gir størst utslag i de løsningene som bruker denne metoden for tuning. Løsning 1-3 baserer seg på sprangresponstuning og da har små endringer i transferfunksjon mindre betydning.



#### 4.4. Konseptscreening og valg av endelig konsept

Etter å ha evaluerte alle konseptene ble det satt opp en endelig konseptscreening der løsningen som skal brukes ble valgt.

Konseptscreening						
	Løsning 1	Løsning 2	Løsning 3	Løsning 4	Løsning 5	Vekting
Maksimalt avvik mellom sylindrerne og posisjonsreferansen, simulert	-	0	0	+	+	3
Maksimalt avvik mellom sylindrerne, simulert	-	0	0	+	+	1
Maksimalt avvik mellom sylindrerne og posisjonsreferansen, eksperimentelt	-	0	-	-	-	1
Maksimalt avvik mellom sylindrerne, eksperimentelt	+	0	+	+	+	1
Gjennomsnittlig avvik mellom sylindrerne og posisjonsreferansen, simulert	-	0	+	-	+	3
Gjennomsnittlig avvik mellom sylindrerne, simulert	-	0	+	+	+	1
Gjennomsnittlig avvik mellom sylindrerne og posisjonsreferansen, eksperimentelt	-	0	+	-	-	1
Gjennomsnittlig avvik mellom sylindrerne, eksperimentelt	+	0	-	+	+	1
Senteravvik, eksperimentelt	-	0	-	+	-	3
Diameteravlesing, eksperimentelt	-	0	0	+	0	3
Innsvingningstid, simulert	-	0	-	+	0	9
Oversving, simulert	-	0	+	0	+	9
Regulator uavhengig av referanse, simulert	0	0	+	+	+	9
Regulator uavhengig av referanse, eksperimentelt	-	0	+	+	+	9
Regulator temperaturavhengig, simulert	0	0	0	0	0	3
Regulator temperaturavhengig, eksperimentelt	-	0	-	-	+	9
						3
<b>Totalt</b>	<b>-10</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	
<b>Plassering</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	

**Tabell 4.4 Oversikt over krav for synkron utkjøring, diameteravlesning og senteravvik for de ulike løsningene med løsning 2 som referanse<sup>2</sup>.**

Av tabell 4.4 ser man at løsning 5 er den beste totale løsningen, mens løsning 1 er dårligst. Løsning 3 har fått en høyere poengsum enn løsning 2 og har bedre simulerte resultat, men de eksperimentelle resultatene vektet høyere og dermed anses løsning 2 som bedre enn løsning 3.

Løsning 5 er den av løsningene som gir mest synkron utkjøring og er den løsningen det blir gjort videre tester på. De høyeste verdiene for alle testene vises i tabell 4.5.

<sup>2</sup> Kravene i denne tabellen er delt inn etter viktighet av kravet. Punktene er skalert med 1,3 og 9, hvor 1 har høyest prioritering.

Resultater					
	Løsning 1	Løsning 2	Løsning 3	Løsning 4	Løsning 5
Maksimalt avvik mellom sylindrer og posisjonsreferansen, simulert [mm]	5,81	4,19	4,19	4,13	<b>3,01</b>
Maksimalt avvik mellom sylindrer, simulert [mm]	4,98	3,78	3,82	1,89	<b>1,15</b>
Maksimalt avvik mellom sylindrer og posisjonsreferansen, eksperimentelt [mm]	9,05	<b>6,28</b>	6,53	6,62	6,67
Maksimalt avvik mellom sylindrer, eksperimentelt [mm]	5,53	6,42	6,34	5,2	<b>4,9</b>
Gjennomsnittlig avvik mellom sylindrer og posisjonsreferansen, eksperimentelt [mm]	4,24	1,61	<b>1,57</b>	1,87	1,85
Gjennomsnittlig avvik på mellom sylindrer, eksperimentelt [mm]	1,48	1,5	1,73	<b>1,43</b>	1,44
Senteravvik, eksperimentelt [mm]	3,19	1,54	1,67	<b>1,08</b>	1,89
Diameteravlesing, eksperimentelt [mm]	88,57-89,57	89,29-89,80	89,82-90,24	<b>88,93-89,14</b>	88,21-88,56
Innsvingningstid, simulert [s]	57	33	36	<b>29</b>	33
Oversving, simulert [mm]	5,62	1,44	<b>0,88</b>	1,4	1,09
Regulator uavhengig av referanse, simulert [mm]	2,18	2,2	1,74	1,12	<b>0,62</b>
Regulator uavhengig av referanse, eksperimentelt [mm]	3,31	2,41	2,25	1,91	<b>0,86</b>
Regulator temperaturavhengig, eksperimentelt [mm]	3,28	1,28	2,42	1,97	<b>1,08</b>

Tabell 4.5 Oversikt over alle kvantifiserte krav med verdier for synkron utkjøring, diameteravlesning og senteravvik for de ulike løsningene. Alle mål er i mm med mindre annet er oppgitt i tabellen

## 5. IAT, Intern Aksept Testing

IAT blir utført for løsning 5, som ble valgt for videre analyse. Testene som blir utført er for maksimalt og gjennomsnittlig avvik mellom rampen og sylindrene og mellom sylindrene når en eller flere av sylindrene er i inngrep med røret. Det ble også utført tester på ulike rørdiameter og eksentrisiteter for å se hvor robust løsningen er.

Av testene til 120mm og 70mm fremkom det at det største avviket var i starten og i slutten av posisjonsreferansen. Derfor er alle testene i IAT utført med en posisjonsreferanse på 120mm og utkjøring til ukjent diameter med en konstant temperatur på 25 °C.

### 5.1. Avvik med sylindrene i inngrep med røret

For å evaluere den synkrone bevegelsen til løsningen gjennom hele utkjøringen er det valgt å se på avvikene når sylindrene er i inngrep med røret og det er trykkoppbygging i sylindrene. Dette, sammen med senteravviket og diameteravlesningens analyse i kapitel 4, vil vise om løsningen innfrir kravene satt i kravspesifikasjonen når også sylindrene er i inngrep med røret.

#### 5.1.1. Maksimalt avvik mellom posisjonsreferansen og sylindrene med trykk

Ved å se på avviket mellom posisjonsreferansen og sylindrene når det er trykkoppbygging i en eller flere av sylindren får man svar på om regulatoren klarer å reagere raskt nok til å kompensere for nye ytre påvirkninger under utkjøringen.

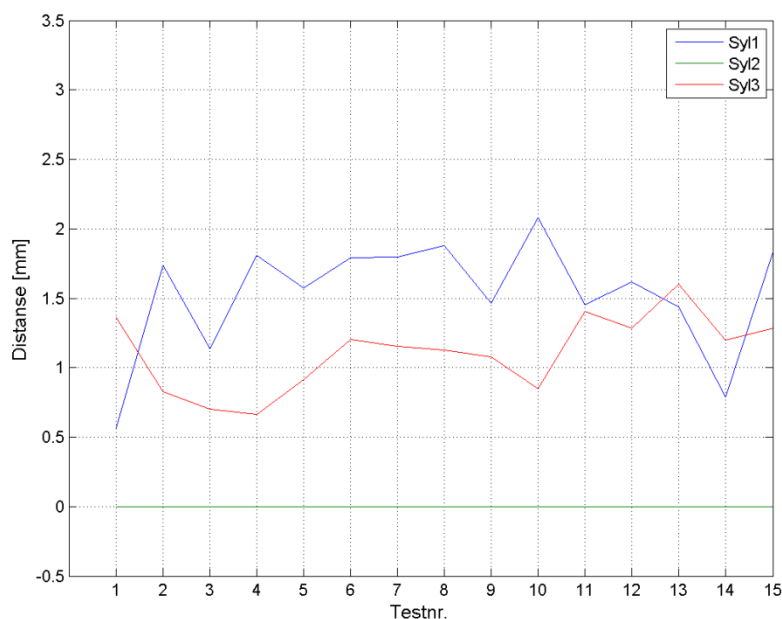


Fig 5.1 Maksimalt avvik mellom sylindrene og posisjonsreferansen ved utkjøring til 120mm og trykk i sylindrene

Som man ser av fig 5.1 er det maksimale avviket mellom posisjonsreferansen og sylindrene mindre når en eller flere sylindere er i inngrep med røret enn det maksimale avviket som oppstår under utkjøringen. Grunnen til dette er at avviket er størst i startfasen av utkjøringen der friksjonen til det hydrauliske systemet skal overvinnes. Man ser også at avviket mellom posisjonsreferansen og sylindrene økes når sylindrene kommer i inngrep med røret ved å sammenligne fig 5.1 og fig 4.45.

### 5.1.2. Maksimalt avvik mellom sylindene med trykk

Det maksimale avviket mellom sylindene viser om det oppstår usynkron bevegelse mellom sylindene når de ytre kreftene som påvirker stemplene forandres. Denne testen er vesentlig for å vurdere om regulatoren klarer å levere synkron utkjøring for systemet.

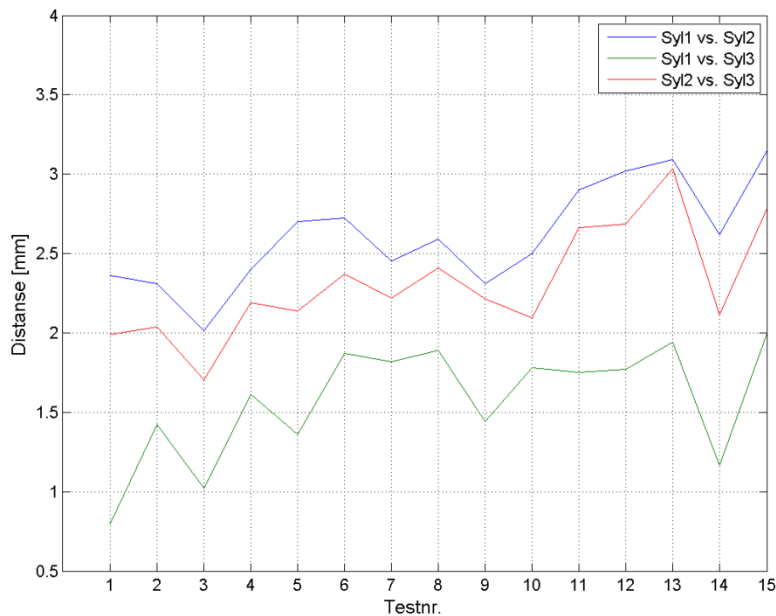


Fig 5.2 Maksimalt avvik mellom sylindene ved utkjøring til 120mm og trykk i sylindene

I fig 5.2 ser man også at det maksimale avviket mellom sylindene er mindre enn det er ved utkjøringen. Dette kan forklares ved at det er startfasen av utkjøring som krever mest av regulatoren for å overkomme det hydrauliske systemets friksjon. Siden disse friksjonene er ulike for alle de forskjellige ventilsegmentene og sylindene, medfører det et større maksimalt avvik på utkjøringen enn det oppstår når en eller flere sylindere er i inngrep med røret. Ved å sammenligne fig 5.2 og fig 4.50 fremkommer det også at det er en økning i avviket mellom sylindene når en eller flere av sylindene er i inngrep med røret.

### 5.1.3. Gjennomsnittlig avvik mellom posisjonsreferansen og sylindene med trykk

Det gjennomsnittlige avviket er beregnet fra det er 40 bar trykk i sylindere til det er 40 bar trykk i alle sylindere, og dermed anses alle sylindere å være i inngrep med røret.

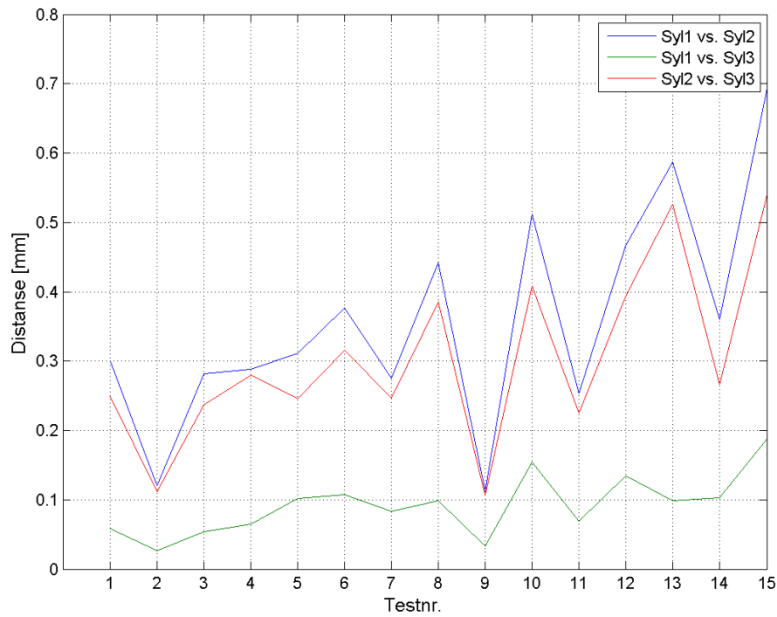


**Fig 5.3 Gjennomsnittlig avvik mellom sylindrene og posisjonsreferansen ved utkjøring til 120mm og trykk i sylindrene**

Det gjennomsnittlige avviket mellom posisjonsreferansen og sylindrene er vesentlig mindre enn ved utkjøring. Det er på grunn av at det største avviket kommer i startfasen av sylindernes bevegelse. Fra fig 5.3 ser man også at posisjonsreferansefølgningen er ekstremt god når sylindrene har overkommet friksjonen i systemene og regulert seg inn til posisjonsreferansen.

#### **5.1.4. Gjennomsnittlig avvik mellom sylindrene med trykk**

For det gjennomsnittlige avviket mellom sylindrene med trykk er det også testingen gjort når fra en sylinder er i inngrep med røret til alle sylindrene er i inngrep med røret.



**Fig 5.4 Gjennomsnittlig avvik mellom sylindrene ved utkjøring til 120mm og trykk i sylindrene**

Av fig 5.4 ser man at avviket mellom sylindrene når sylindrene er i inngrep med røret er mindre enn ved utkjøring. Dette har samme grunn som avviket mellom posisjonsreferansen og sylindrene og det bekrefter at regulatoren medfører en god synkron utkjøring mellom sylindrene.

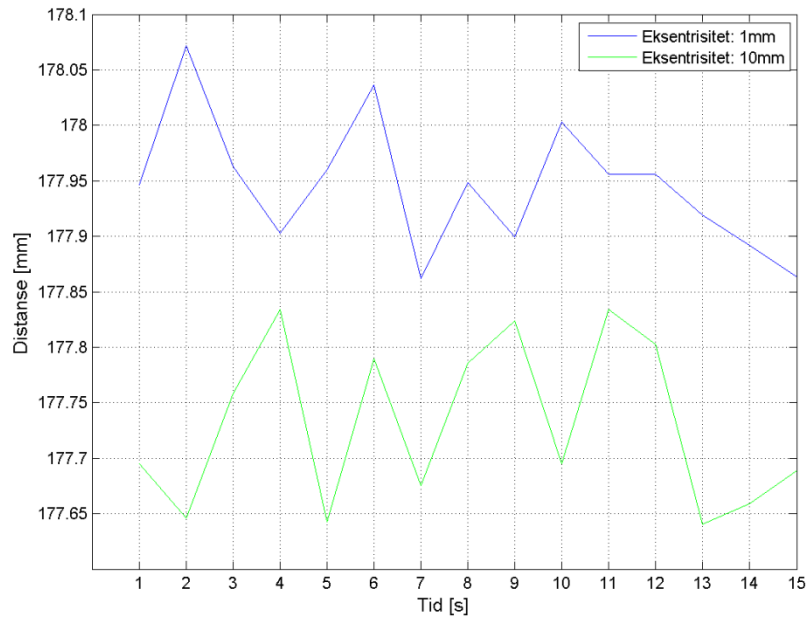
## **5.2. Tester for synkron utkjøring med ulike rørdiametre og eksentrisitet**

For å kvalitets sikre løsningen er det valgt å utføre flere tester på ulike rørdiametre med ulik eksentrisitet. Dette gjøres for å bekrefte at regulatorsløyfen som er implementert i testjiggen oppfyller kravspesifikasjonen for alle rørdiametre og eksentrisiteter.

Fordi alle testene blir utført med utkjøring til 120mm er det bare senteravviket og diameteravlesningen som blir testet ved ulike rørdiametre og eksentrisitet. Den synkrone utkjøringen anses som uforandret ved utkjøring til 120mm.

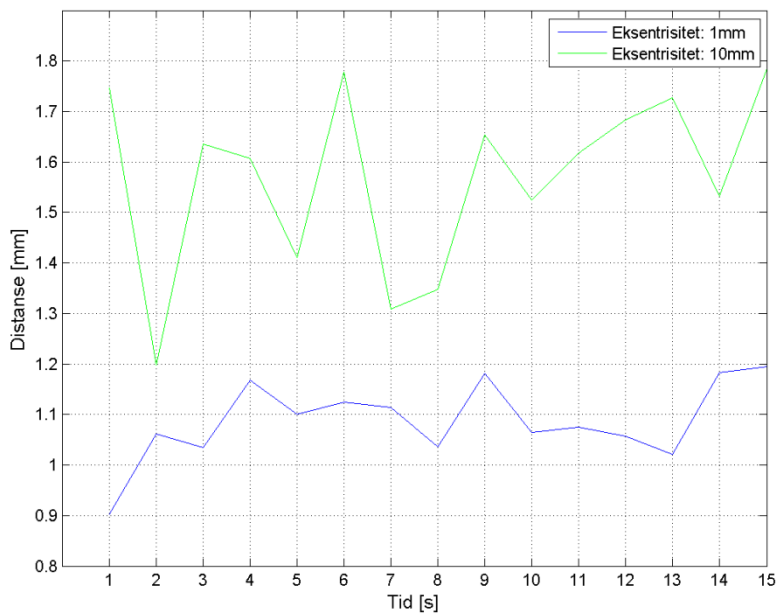
### **5.2.1. Tester på første rør**

Testene på det første testrøret ble gjennomført ved å plassere røret med 1mm eksentrisitet og ved 10mm eksentrisitet. Rørdiameteren som ble bruk var på 179,0mm og testene som ble utført er for diameteravlesning og senteravvik.



**Fig 5.5 Diameteravlesning ved utkjøring til 120mm på et 179mm rør med 1mm og 10mm eksentrisitet**

Ved å utføre tester ved ulik eksentrisitet ser man av fig 5.5 at man er innenfor kravspesifikasjonen for diameteravlesning. Det vises også at rørene med minst eksentrisitet har den mest nøyaktige diameteravlesningen.



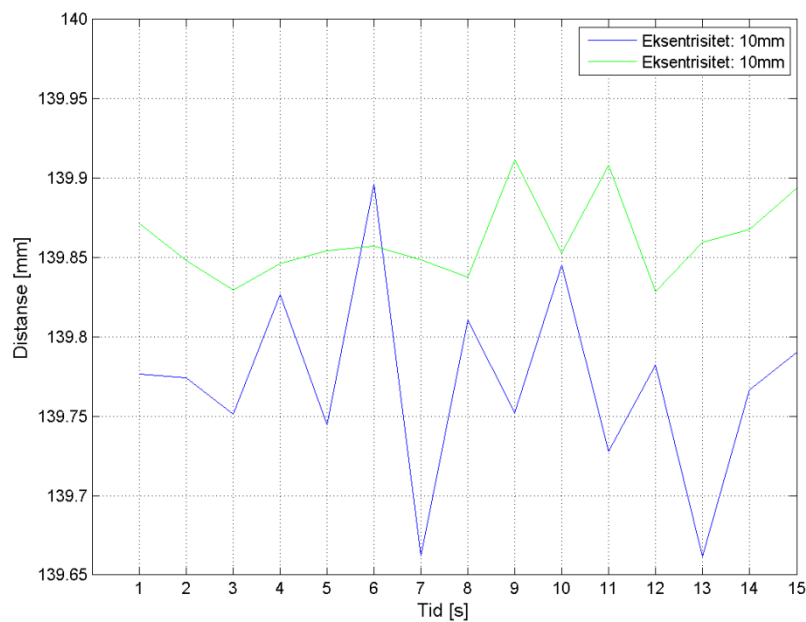
**Fig 5.6 Senteravvik ved utkjøring til 120mm på et 179mm rør med 1mm og 10mm eksentrisitet**

Av testene for senteravvik som fremkommer i fig 5.6 senteravvik kan de ses at avviket er innenfor kravspesifikasjonen. Man ser også at ikke røret sentreres til mer enn 1mm ute av senter selv ved en

liten eksentrisitet mellom røret og testjiggen. Dette skyldes at det er i overkant av 1mm usynkron utkjøring mellom sylindrene under utkjøring og når en eller flere sylindere er i inngrep med røret<sup>3</sup>.

### 5.2.2. Tester på andre rør

Testene på det andre testrøret ble gjennomført ved 10mm eksentrisitet med en rørdiameter på 141,1mm. Det ble utført to tester på røret ved lik eksentrisitet, men ulik plassering i forhold til testjiggens senter. For disse testene ble diameteravlesningen og senteravviket testet og sammenlignet. Dette viser hvor repeterbar og robust løsningen er for ulik plassering av røret, med maksimal eksentrisitet oppgaven er definert for.

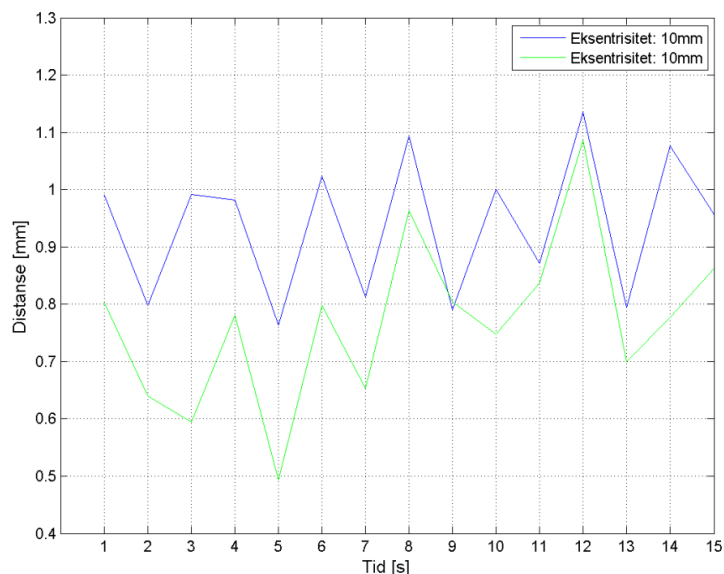


**Fig 5.7 Diameteravlesning ved utkjøring til 120mm på et 141,1mm rør med 10mm eksentrisitet og ulik plassering i jiggen**

Av fig 5.7 ser man at diameteravlesningen er innenfor kravspesifikasjonen. Ved å sammenligne resultatene i fig 5.7 og fig 5.5 ser man også at diameteravlesningen får en større forandring ved ulik eksentrisitet enn den får ved lik eksentrisitet og ulik plassering. Diameteravlesningen blir også mer nøyaktig med mindre eksentrisitet.

<sup>3</sup> Se vedlegg.6.4





**Fig 5.8 Senteravvik ved utkjøring til 120mm på et 141,1mm rør med 10mm eksentrisitet og ulik plassering i jiggen**

Fig 5.8 viser at røret blir sentrert tilnærmet lik ved lik eksentrisitet og ulik plassering i forhold til testjiggens senterpunkt. Senteravviket er også innenfor kravene definert i kravspesifikasjonen.

### 5.2.3. Sammenligning av diameter og senteravvik

For å sammenligne senteravviket og diameteravlesningen for ulike rør er det også blitt gjort tester på røret med en diameter på 89,2mm. Testene her er blitt gjort ved 10mm eksentrisitet for å kunne sammenligne med testene på rørene med 141,1mm og 179,0mm. Det er det maksimale senteravviket, og maksimal og minimal avlest diameter som blir sammenlignet for de tre rørdimensjonene.

Resultat			
	Ø179,0mm	Ø141,1mm	Ø89,2mm
Senteravvik	1,78	1,09	0,91
Diameteravlesning	177,64-177,83	139,66-139,89	88,23-88,62

**Tabell 5.1 Oversikt over senteravvik og diameteravlesning på rør med ulike diametere**

Av sammenligningen i tabell 5.1 ser man at resultatene for både diameteravlesning og senteravvik er best ved en minste rørdiameteren. Diameteravlesningen for de to største rørene gir et maksimalt avvik på henholdsvis 1,36mm og 1,44mm mens for det minste røret er det maksimale avviket 0,97mm. Det viser at diameteravlesningen er innenfor de kravene som er satt for oppgaven for alle testrørene kandidatene har til rådighet.

Ved å sammenligne senteravviket ser man at resultatene varierer mer mellom de ulike rørdiameterne. Det maksimale senteravviket reduseres ved redusert diameter. Dette tyder på at utkjøringen for hver sylinder kan ha lik utkjøringsprofil som vist i fig 4.30 som fremkommer av simuleringsmodellen. Det kan også skyldes at sylindrene bruker tid på å overvinne friksjonene i starten av utkjøringen og dermed er utgangspunktet mer usynkront ved store rørdiameterer slik at senteravviket blir større.

## 6. WinCC

WinCC ble brukt som grafisk grensesnitt for oppgaven. Som man ser av kontrollpanelet i fig 6.1 ble alle testparameterne vist ved utkjøring av sylindrene. WinCC ble også brukt til å forandre parameter på regulatorne til hver enkelt sylinder slik at de ulike løsningene enkelt kunne implementeres.

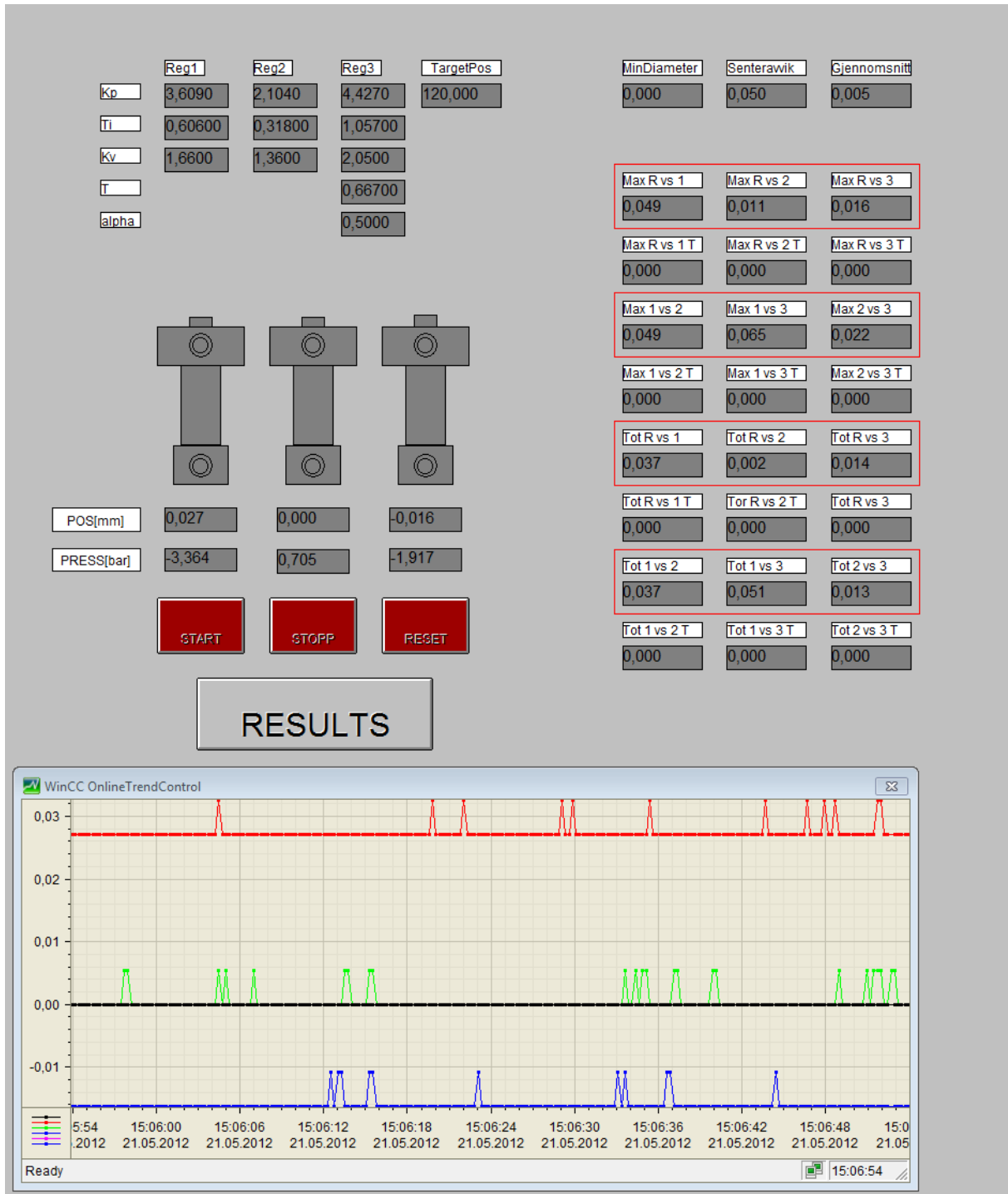


Fig 6.1 Grafisk design av kontrollpanel i WinCC

Her ble Kp og Ti brukt henholdsvis som PI-regulatorens forsterkning og integrasjonsledd mens Kv er fremoverkoblingens forsterkning. For løsning 5 ble også T og "alpha" brukt som parametere for lead kompensatoren. T tilsvarer  $T_1$  i formel 6.1 mens "alpha" er en konstant som multipliseres med T for å definere leadkompensatorens pol, gitt av  $T_2$  i formel 6.1.

$$PI_{Lead} = Kp * \left( \frac{Ti * s + 1}{Ti * s} \right) * \left( \frac{T_1 * s + 1}{T_2 * s + 1} \right) \quad (6.1)$$

$PI_{Lead}$  : PI-regulatoren og leadkompensatoren sin transferfunksjon

$Kp$  : P-leddets forsterkning

$Ti$  : I-leddets forsterkning

$T_1$  : Leadkompensatorens nullpunkt

$T_2$  : Leadkompensatorens pol

I kontrollpanelet er det også mulig å definere ønsket posisjon for posisjonsreferansen slik at man får utkjøring til egendefinert slaglengde for alle sylindrene. Kontrollpanelet er også utstyrt med et grafisk vindu som viser sylindernes posisjon i forhold til hverandre og posisjonsreferansen som ble brukt.

For logging av resultatene ble også WinCC brukt. Etter endt utkjøring ble resultatene logget og eksportert ut av WinCC for videre analyse. Det ble gjort 15 tester for alle løsningene som igjen ble sammenlignet og dannet grunnlaget for konseptscreeningen. Logg funksjonen er som vist i fig 6.2.

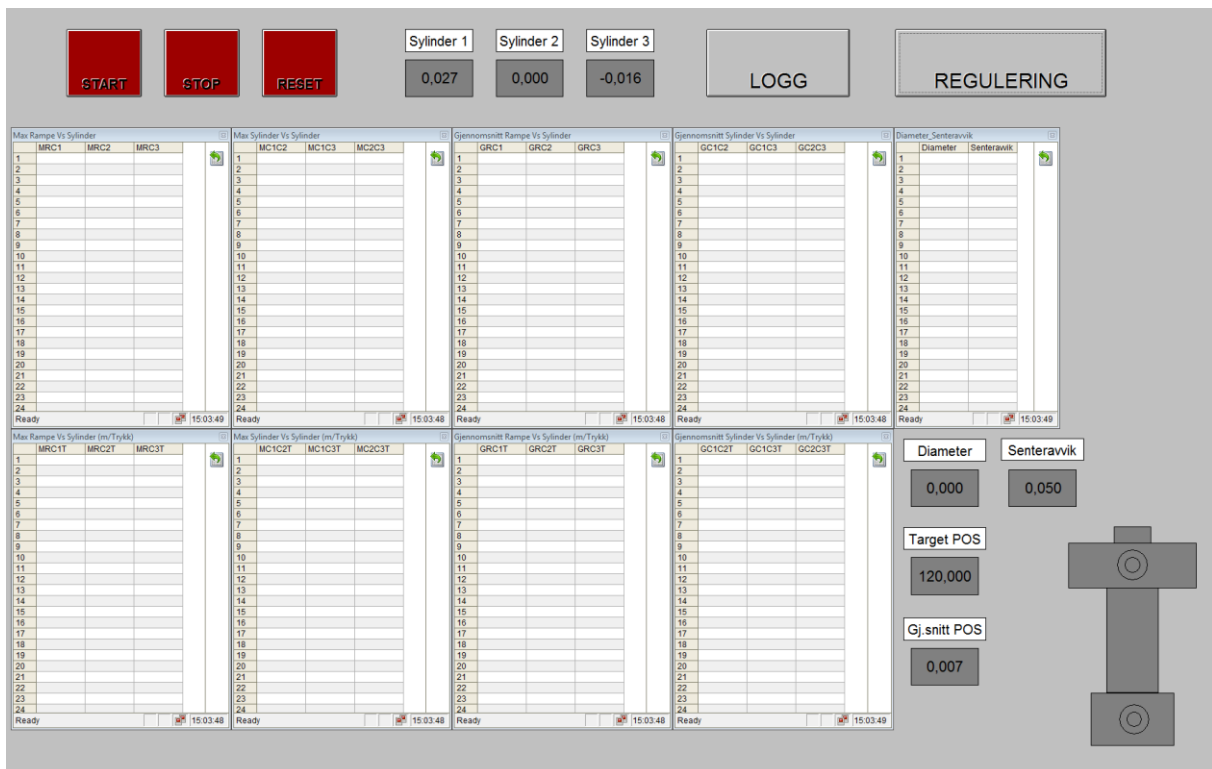


Fig 6.2 Logg vindu i WinCC

## 7. Drøfting

Etter å ha gjennomført konseptscreening og utført ytterlige tester på det valgte konseptet har kandidatene gjort seg noen bemerkninger om resultatene og prosessen som har blitt utført gjennom masteroppgaven. Det er også blitt gjort noen betraktninger om videreutvikling av konsepter og metodikk for å løse lignende oppgaver.

### 7.1. Endringer på testjiggen

Ved utkjøringen av sylindrene fremkom det under testkjøringen at det forekommer en vridning av stemplet til hver sylinder når alle stemplene kommer i inngrep med røret. Denne vridningen har vært større en først antatt og ført til store utfordringer under testingen av løsningene. Spesielt mot slutten av prosjektet har dette vært et vedvarende problem som har satt begrensninger på utkjøringen av sylindrene. Det har medført at man ikke har fått testet løsning 5 ved høyere hastigheter enn det som det allerede kjøres på og har også vært en potensiell feilkilde for testing av senteravvik og diameteravlesning, spesielt for løsning 5.

Årsaken til problemet kan være at sylindrene har blitt innkjørt og dermed har fått mindre rotasjonsfriksjon. For å motvirke dette og samtidig gjør testjiggen mer robust foreslår kandidatene at det monteres et rullelager på sylindernes stempel, som opptar torsjonskraften, som så monteres til LVDTen slik at man får korrekte posisjonsmålinger. Dette rullelageret vil oppta torsjonskraften som foreløpig ødelegger føringene som er brukt på LVDTene, og dermed hindrer gruppen i å utføre ønskede målinger.

### 7.2. Fremstilling av transferfunksjonene

For fremstilling av transferfunksjonene ble det diskrete signalet, gitt fra LVDTene på testjiggen, brukt for å finne amplituden til hver individuelle sylinder og derav lage en transferfunksjon. Sinussignalet som ble brukt hadde en amplitude på 20, som det fremkommer i kapittel 4.2.1, det ble også utviklet en transferfunksjon med et sinussignal med amplitude 40<sup>4</sup>. Av disse to transferfunksjonene fremkommer det at testjiggens fysiske system endrer egenskaper ved ulikt signal inn på proporsjonalventilen. Transferfunksjonene, som er en lineærtilnærming av systemene, klarer dermed ikke å gjengi systemets fysiske oppførsel til enhver tid fordi systemet i seg selv er ulinært. Dermed vil heller ikke de eksperimentelle resultatene samsvare med de simulerte.

Transferfunksjonene er også fremstilt med en grafisk tilnærming av amplitude og fase gitt av det diskrete signalet. Ved heller å benytte seg av en matematisk metode for fremstilling av transferfunksjonene vil det gis en bedre representasjon av det fysiske systemet.

Som videre arbeid foreslås det å bruke Siemens Step7 til å finne de fysiske systemenes frekvensrespons og utvikle transferfunksjoner. Systemet burde testes ved ulike amplituder på sinussignalet og ved ulike frekvenser for å skape en bedre tilnærming med transferfunksjonen. Dette vil være meget nyttig for implementering og bruk av løsning 5 i fremtiden.

---

<sup>4</sup> Se vedlegg 1.1

### 7.3. Konseptgenerering

For alle konseptene er det valgt å enten ha en uodynamisk løsning eller en løsning som forandrer egenskaper og parametere etter oppstartsfasen av utkjøringen, som i løsning 3 og løsning 5. Dette er gjort fordi det er i oppstarten av utkjøringen avviket mellom sylindrene og mellom sylindrene og posisjonsreferansen er høyest. Ved å ha en dynamisk løsning blir avviket mindre i nettopp oppstartsfasen av sylindrutkjøringen. Det fremkommer også av de eksperimentelle testene at utkjøringen til 120mm har et mindre gjennomsnittlig og maksimalt avvik mellom sylindrene en utkjøring til 70mm. Dette skyldes at ved utkjøring til 120mm trenger ikke regulatoren å svinge inn til satt posisjonen, mens ved utkjøring til 70mm eller kjent posisjon må den det. Dette fører til et mindre signal ut fra regulatorsløyfene som kan føre til økningen i det gjennomsnittlige avviket som fremkommer i tabell 4.5. Ved også å bruke en dynamisk løsning i sluttfasen av utkjøringen til satt posisjonen, som i oppstarten, kan sannsynligvis avviket reduseres og regulatorsløyfen forbedres ved utkjøring til kjent posisjon.

Alle konseptene har også vist seg å ha en lang innsvingningstid. Ved å innføre et dynamisk integrasjonsledd i PI-regulatorene til samtlige løsninger, der integrasjonsleddet økes når sylindrene nærmer seg ønsket posisjon, kan innsvingningstiden reduseres betraktelig for utkjøring til kjent posisjon.

Som videre arbeid foreslås det å implementere leadkompensatoren i sluttfasen av utkjøring til kjent posisjon for å få en mer synkron utkjøring mellom sylindrene under innsvingningen til satt posisjon. Ved også å implementere et dynamisk integrasjonsledd i alle løsningenes PI-regulator skal innsvingningstiden kunne reduseres.

## 8. Konklusjon

Etter å ha testet alle løsningene og gjennomført videre testing av det valgte konseptet har kandidatene funnet at det er løsningene som baserer seg på tuning ved hjelp av frekvensrespons som gir mest synkron utkjøring. Det viser seg at løsningene som baserer seg på sprangrespons er meget avhengig av referansene som blir brukt for å opptre synkront. Løsningene som er tunet ved hjelp av frekvensrespons er mer robust ved forandringer i referansene men er samtidig mer avhengig av å finne en korrekt transferfunksjon for å linearisere systemets oppførsel. Ved endringer i temperatur kommer dette godt frem fordi det medfører en liten forandring i systemenes transferfunksjon.

Det fremkommer også av resultatene at løsningene som er basert på sprangrespons-tuning har en bedre følgning av posisjonsreferansen enn løsningene som er basert på frekvensrespons eksperimentelt, mens tuningen med frekvensrespons har mer synkron utkjøring mellom sylindrene både eksperimentelt og simulert. Dette viser at hvis kandidatene hadde fått til en bedre transferfunksjon av systemet så hadde de eksperimentelle resultatene vært enda bedre.

Ved testingen av alle løsningene er det også verd å merke at det er utkjøring til ukjent diameter som er mest synkron. Dette skyldes at friksjonskreftene i sylindrene samt ventiloverlappen får innvirkning på systemet igjen ved lavere hastigheter på utkjøringen av sylindrene. Det medfører også et større senteravvik og en lang innsvingningstid som ikke oppfyller tidskravet for sentrering av røret. Det er derfor valgt å kjøre til ukjent diameter for IAT.

Av konseptvalget ble det bestemt at løsning 5 skulle testes videre. Det ble da sett om løsningen var egnet til å brukes for flere forskjellige rør samt om det var store endringer i avvik når sylindrene kom i inngrep med røret. Av disse testene fremkom det at løsningen var repeterbar og ga tilfredsstillende resultater uavhengig av plassering, eksentrisitet og rørdiameter. Det fremkom også at løsningen hadde en forandring i avviket mellom både posisjonsreferansen og sylindrene, og mellom sylindrene når sylindrene kom i inngrep med røret. Disse avvikene var dog innenfor kravene satt i kravspesifikasjonen.

Ved å sammenligne resultatene fra løsning 5 med kravspesifikasjonen fremkommer det at alle resultatene, med unntak av maksimalt avvik mellom sylindrene, oppfylles. Kravet om maksimalt avvik mellom sylindrene er 0,9mm over det som er satt som akseptabelt i kravspesifikasjonene. Kandidatene mener likevel at alle resultatene oppfyller kravene fordi det er i selve oppstarten av utkjøringen avviket mellom sylindrene er størst. Dette skyldes at det er forskjellig friksjon og ventiloverlapp på hver sylinder som medfører at det er i oppstarten avviket blir størst. Ved å se på det maksimale avviket mellom sylindrene når sylindrene er i inngrep finner man at avviket for testene på alle rørene innenfor verdien satt i kravspesifikasjonen. Dermed anser kandidatene kravspesifikasjonen som oppfylt.

## 9. Referanser

1. Bacheloroppgave "Sylinder kjøring", Berli, Kurd, Lervåg, Uleberg, Universitetet i Agder 2010
2. "Anvendt Reguleringssteknikk", Finn Hauge (1992)
3. "Reglerteori, Moderna analys- och syntesemetoder", Lennart Ljung (1981)
4. "Control Systems Engineering" - fourth edition, Norman S. Nise (2004)
5. "Drillfloor Equipment" Aker Solutions, Torquemaster™:  
<http://www.akersolutions.com/Documents/Drilling%20Technologies/MH/2011/Drillfloor%20equipment.pdf>

## **Vedlegg**



## Vedlegg 1.1

Det ble fremstilt transferfunksjoner med et sinussignal men en amplitude på 40 også for å se om testjiggenes komponenter forandret mekaniske egenskaper som følge av et høyere utgangssignal til proporsjonalventilen.

Sylinder 1 (25 °C)				
$A_1$	$A_2$	$f$ [Hz]	$\omega$ [rad/s]	$dB$
4	6,54	0,1	0,62832	4,270355
4	4,35	0,15	0,94248	0,728585
4	3,22	0,2	1,25664	-1,88408
4	2,53	0,25	1,5708	-3,97879
4	2,08	0,3	1,88496	-5,67993
4	1,76	0,35	2,19911	-7,13095
4	1,51	0,4	2,51327	-8,46166
4	1,32	0,45	2,82743	-9,62972
4	1,17	0,5	3,14159	-10,6775
4	0,75	0,75	4,71239	-14,5400
4	0,55	1	6,28319	-17,2339
4	0,43	1,25	7,85398	-19,3718
4	0,32	1,5	9,42478	-21,9382

Tabell 1 Forholdet mellom fase, amplitude og frekvens for sylinder 1 ved 25 °C

Fra tabell 1 fremkommer amplituden og frekvensen transferfunksjonen skal sammenfalle med.

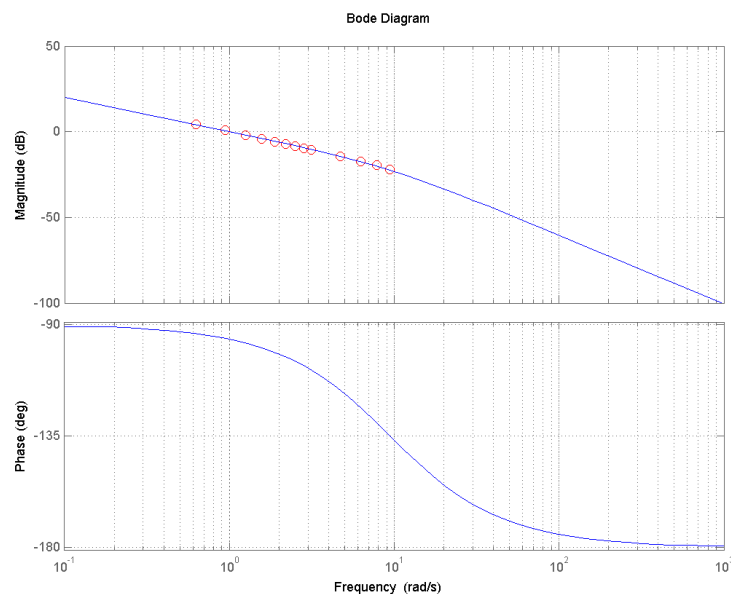


Fig 1 Bodeplottet til sylinder 1 med tilhørende amplitudemålinger fra tabell 1

Transferfunksjonene er funnet ved en grafisk tilnærming av bodeplottet. Det førte til at bodeplottet i fig 1 har tilhørende transferfunksjon.

$$G_1(s) = \frac{9.52}{s^2 + 9.425s}$$

Dette ble gjort på alle tre sylindrene.

Sylinder 2 (25 °C)				
$A_1$	$A_2$	$f$ [Hz]	$\omega$ [rad/s]	$dB$
4	7,52	0,1	0,628319	5,483157
4	4,95	0,15	0,942478	1,850904
4	3,69	0,2	1,256637	-0,70067
4	2,91	0,25	1,570796	-2,76334
4	2,40	0,3	1,884956	-4,43697
4	2,04	0,35	2,199115	-5,8486
4	1,77	0,4	2,513274	-7,08173
4	1,57	0,45	2,827433	-8,12321
4	1,40	0,5	3,141593	-9,11864
4	0,90	0,75	4,712389	-12,9563
4	0,67	1	6,283185	-15,5197
4	0,52	1,25	7,853982	-17,7211
4	0,41	1,5	9,424778	-19,7855

Tabell 2 Forholdet mellom fase, amplitude og frekvens for sylinder 2 ved 25 °C

Fra de målte dataene ble følgende transferfunksjon fremstilt for å sammenfalle med faseten og amplituden fra tabell 2.

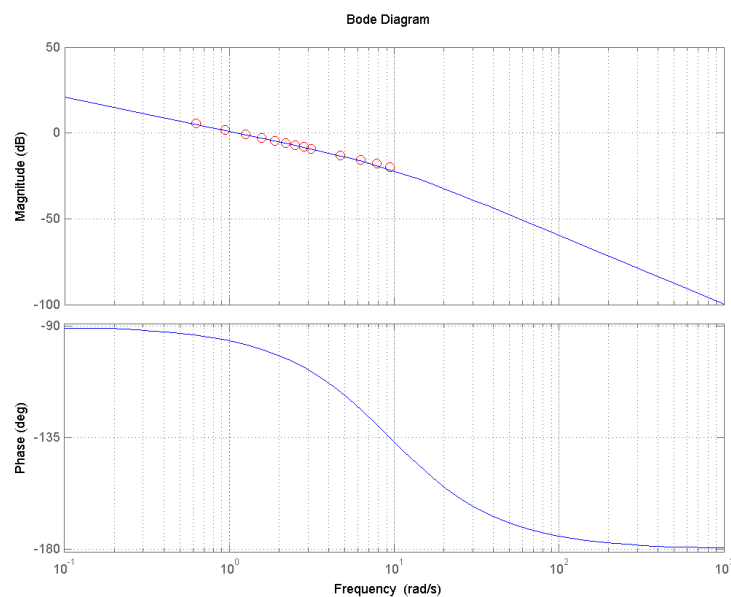


Fig 2 Bodeplottet til sylinder 2 med tilhørende amplitudemålinger fra tabell 2

Transferfunksjonene er funnet ved en grafisk tilnærming av bodeplottet. Det førte til at bodeplottet fra fig 2 har tilhørende transferfunksjon.

$$G_2(s) = \frac{10.59}{s^2 + 9.425s}$$

For det siste segmentet ble samme prosedyren fulgt.

Sylinder 3 (25 °C)				
$A_1$	$A_2$	$f$ [Hz]	$\omega$ [rad/s]	dB
4	5,91	0,1	0,628319	3,39055
4	3,92	0,15	0,942478	-0,17548
4	2,91	0,2	1,256637	-2,76334
4	2,32	0,25	1,570796	-4,73144
4	1,93	0,3	1,884956	-6,33005
4	1,66	0,35	2,199115	-7,63904
4	1,44	0,4	2,513274	-8,87395
4	1,29	0,45	2,827433	-9,82941
4	1,15	0,5	3,141593	-10,8272
4	0,73	0,75	4,712389	-14,7747
4	0,53	1	6,283185	-17,5557
4	0,40	1,25	7,853982	-20
4	0,31	1,5	9,424778	-22,214
4	0,01	3,2	20,10619	-52,0412

Tabell 3 Forholdet mellom fase, amplitude og frekvens for sylinder 3 ved 25 °C

For dette segmentet ble også de målte dataene brukt til å fremstille følgende transferfunksjon som sammenfaller med fasen og amplituden gjengitt i tabell 3.

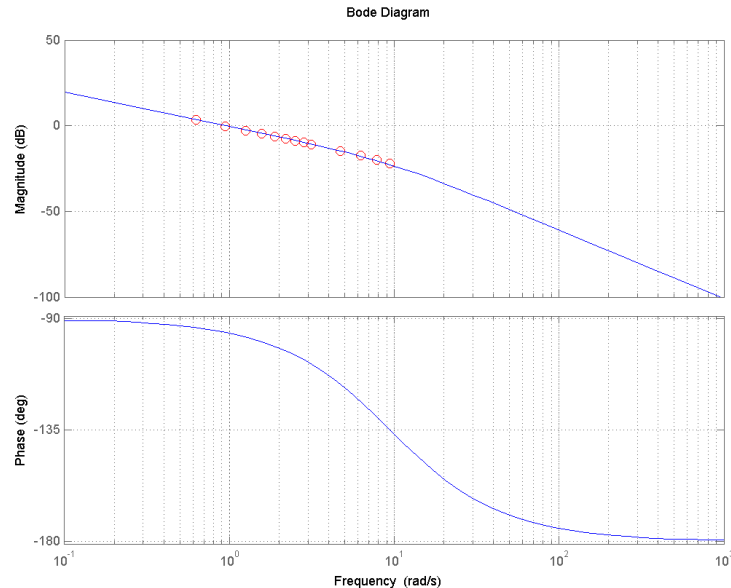


Fig 3 Bodeplottet til sylinder 3 med tilhørende amplitudemålinger fra tabell 3

Også her er transferfunksjonene er funnet ved en grafisk tilnærming av bodeplottet. Det førte til at bodeplottet over har tilhørende transferfunksjon.

$$G_3(s) = \frac{9.14}{s^2 + 9.425s}$$

Sylinder 1 - Amp 20 - Temp 50 °C				
$A_1$	$A_2$	$f$ [Hz]	$\omega$ [rad/s]	dB
1,95	1,88	0,1	0,628319	-0,31754
1,95	1,22	0,15	0,942478	-4,0735
1,95	0,88	0,2	1,256637	-6,91104
1,95	0,68	0,25	1,570796	-9,15051
1,95	0,54	0,3	1,884956	-11,1528
1,95	0,44	0,35	2,199115	-12,9316
1,95	0,37	0,4	2,513274	-14,4367
1,95	0,30	0,45	2,827433	-16,2583
1,95	0,27	0,5	3,141593	-17,1734
1,95	0,13	0,75	4,712389	-23,5218
1,95	0,06	1	6,283185	-30,2377
1,95	0,02	1,25	7,853982	-39,7801
1,95	N/A	1,5	9,424778	N/A

I testene for temperaturendring er fasen neglisjert fordi målingene på fasen har lavere frekvens og er dermed mer unøyaktig enn amplitude målingene. Det antas derfor at fasen vil samsvare ved temperaturendringer hvis det er sammenfallende amplitude.

Sylinder 2 - Amp 20 - Temp 50 - rev1				
$A_1$	$A_2$	$f$ [Hz]	$\omega$ [rad/s]	dB
1,95	2,33	0,1	0,628319	1,546426
1,95	1,49	0,15	0,942478	-2,33697
1,95	1,11	0,2	1,256637	-4,89423
1,95	0,86	0,25	1,570796	-7,11072
1,95	0,70	0,3	1,884956	-8,89873
1,95	0,59	0,35	2,199115	-10,3837
1,95	0,50	0,4	2,513274	-11,8213
1,95	0,43	0,45	2,827433	-13,1313
1,95	0,38	0,5	3,141593	-14,205
1,95	0,21	0,75	4,712389	-19,3563
1,95	0,12	1	6,283185	-24,2171
1,95	0,07	1,25	7,853982	-28,8987
1,95	N/A	1,5	9,424778	N/A

Sylinder 3 - Amp 20 - Temp 50 - rev1				
$A_1$	$A_2$	$f$ [Hz]	$\omega$ [rad/s]	dB
1,95	1,34	0,1	0,628319	-3,2586
1,95	0,86	0,15	0,942478	-7,11072
1,95	0,62	0,2	1,256637	-9,95286
1,95	0,46	0,25	1,570796	-12,5455
1,95	0,37	0,3	1,884956	-14,4367
1,95	0,31	0,35	2,199115	-15,9735
1,95	0,26	0,4	2,513274	-17,5012
1,95	0,22	0,45	2,827433	-18,9522
1,95	0,19	0,5	3,141593	-20,2256
1,95	0,09	0,75	4,712389	-26,7158
1,95	0,04	1	6,283185	-33,7595
1,95	0,02	1,25	7,853982	-39,7801
1,95	N/A	1,5	9,424778	N/A

## Vedlegg 2.1

## Diameter og Senteravvik 70mm - 25°C

Alle resultat er oppgitt i mm

PI-reg uten Fw	
Diameter	Senteravvik
155,3774	0,8633
154,6313	1,311
155,703	0,8447
155,5264	0,5501
154,8829	1,585
155,3829	0,6968
155,334	1,143
154,8152	1,2468
155,7467	0,4963
154,3627	1,4541
155,0061	0,9698
155,5155	0,5439
154,7053	1,1844
155,2129	0,6916
154,325	1,1584

PI-reg med Fw	
Diameter	Senteravvik
155,0762	0,7682
154,9846	0,6485
156,0202	0,1387
155,2209	0,7814
154,6574	0,8485
156,8683	0,5477
155,5017	0,6301
155,5404	0,4645
155,026	0,3199
155,6239	0,5257
155,1105	0,9277
154,9191	0,5938
154,6915	1,6185
154,821	1,1768
156,1435	0,2858

PI-reg med Fw og Kp2	
Diameter	Senteravvik
155,5463	0,1202
154,6276	0,7674
155,0373	0,8576
155,8804	0,4699
155,6863	0,642
154,7386	0,6317
153,5534	1,2977
154,7383	0,602
155,7676	0,3646
154,7433	0,747
156,0562	0,0688
154,7311	0,5996
155,8888	0,5873
154,2514	0,765
154,8718	0,9323

PI-reg med Fw og lik Wc	
Diameter	Senteravvik
159,9128	1,7463
159,7036	1,7736
159,6165	1,9139
159,9008	1,6938
159,9086	1,7175
159,7398	1,7714
159,8351	1,8281
159,9302	1,714
159,7402	1,7902
159,6284	1,8039
159,8086	1,7779
159,7151	1,8017
159,8013	1,7746
159,5429	1,8597
159,588	1,7764

PI-reg med Fw og lik Wc, Pm	
Diameter	Senteravvik
159,4683	1,2166
160,4091	1,4279
158,3237	1,5031
163,9915	0,7482
159,501	1,185
158,6396	1,3692
159,7588	1,2497
158,0576	1,5773
158,4566	1,4491
158,3492	1,5166
157,7427	1,7378
158,7966	1,4545
157,7632	1,6739
158,3082	1,4449
159,0455	1,2377

## Vedlegg 2.2

## PI-regulator uten Fw 70mm - 25°C

Alle resultat er oppgitt i mm

Maks avvik mellom sylinder		
MC1C2	MC1C3	MC2C3
2,4902	3,8574	3,7381
3,1087	4,6712	4,1016
2,6855	2,322	3,9442
2,4251	4,4759	3,8357
2,6367	1,9857	3,7977
2,7344	3,9171	3,9551
2,691	3,7598	3,6784
2,5499	2,1973	3,8574
2,7561	3,521	3,9551
3,201	2,3058	3,8737
2,6584	2,181	3,8194
2,7018	2,181	3,8303
2,8971	3,6187	3,7435
2,5553	3,776	3,7435
2,6313	2,1701	3,814

Maks avvik til rampe		
MRC1	MRC2	MRC3
6,0787	5,3586	6,8637
5,8854	5,6887	7,433
6,1569	5,6467	7,307
6,0549	5,3698	7,041
6,291	5,5006	7,3761
6,1282	5,3898	7,3489
6,2664	5,531	7,3514
5,8337	5,4257	7,0218
6,1579	5,6937	7,3569
5,756	5,2813	6,9061
6,1736	5,188	7,3509
6,1641	5,3996	7,4011
6,0104	5,8116	7,1551
5,781	5,3917	6,8324
5,8695	5,1964	7,1282

Gjen. avvik mellom sylinder		
GC1C2	GC1C3	GC2C3
0,7034	0,5581	0,95
0,7867	0,8016	1,1129
0,8175	0,6937	1,1056
0,5367	0,589	0,8188
0,9344	0,5749	1,2173
0,8258	0,7755	0,9638
0,7772	0,5533	1,0072
0,7093	0,5394	0,9656
0,7254	0,6625	0,9262
0,639	0,4227	0,7946
0,7951	0,7067	1,1578
0,853	0,698	1,1685
0,8172	0,6722	1,1287
0,7484	0,6996	1,037
0,5634	0,5156	0,7644

Gjen.avvik til rampe		
GRC1	GRC2	GRC3
2,0411	1,7625	2,5812
2,3537	2,1466	3,1335
2,3951	2,1089	3,0571
1,8522	1,665	2,4199
2,2405	1,7733	2,806
2,0989	2,0413	2,9389
2,1826	1,8346	2,718
1,8003	1,3769	2,3135
2,1554	2,0117	2,8703
1,4659	1,1768	1,8741
2,2684	2,002	2,9876
2,3967	2,2141	3,1267
2,2803	1,9281	2,929
2,2173	2,0053	2,9166
1,6266	1,4146	2,1155

## Vedlegg 2.3

## PI-regulator med Fw 70mm - 25°C

Alle resultat er oppgitt i mm

Maks avvik mellom sylinder		
MC1C2	MC1C3	MC2C3
2,436	1,747	3,8357
2,9243	1,7687	4,1016
2,6204	1,5734	4,107
2,5228	1,6981	3,928
2,6367	1,6059	3,6838
2,7995	2,1213	3,9714
2,6964	1,6276	3,9822
2,5282	1,633	3,8954
2,7941	2,1105	4,0148
2,6584	2,1593	4,2263
2,5987	1,8392	3,9334
2,5879	1,5842	3,9008
2,8646	1,9206	4,3783
2,5879	2,2895	3,89
2,6855	1,6168	3,9931

Maks avvik til rampe		
MRC1	MRC2	MRC3
2,8561	3,0219	3,7687
2,7259	2,9025	4,1213
2,7693	2,7995	3,8121
2,6466	3,0818	3,8578
2,352	2,7969	3,7355
2,6466	3,0888	4,0395
2,7204	2,7669	3,7687
2,6608	2,9677	3,8338
2,6336	2,8212	3,671
2,362	2,7397	3,8999
2,5247	2,6411	3,9779
2,7643	2,9838	3,7729
2,5327	2,7397	4,1099
2,6466	3,0927	3,9446
2,7506	2,8284	4,0232

Gjen. avvik mellom sylinder		
GC1C2	GC1C3	GC2C3
0,7952	0,6939	1,0438
0,84	0,711	1,036
0,8138	0,6271	0,9869
0,8844	0,6655	0,8881
0,8398	0,7708	0,9947
0,7474	0,5488	0,915
0,8173	0,6183	0,9817
0,8142	0,5384	0,9139
0,8226	0,6566	0,925
0,6377	0,5398	0,8175
0,8713	0,6753	1,1453
0,7957	0,6417	0,7726
1,0638	0,5665	1,1503
0,936	0,594	1,0728
0,4813	0,3389	0,5828

Gjen.avvik til rampe		
GRC1	GRC2	GRC3
0,8116	0,7486	1,1358
0,7448	0,7324	1,0974
0,8362	0,7814	1,0463
0,7271	0,9022	1,0945
0,696	0,7958	1,1363
0,5969	0,6097	0,8306
0,7382	0,6636	0,9705
0,8863	0,6645	1,0618
0,7182	0,7941	0,9884
0,722	0,6132	0,9608
0,8078	0,7069	1,1488
0,6651	0,7922	1,0182
0,8694	0,681	1,0659
0,8058	0,6715	1,0204
0,5277	0,4349	0,6823

Vedlegg 2.4

PI-regulator med Fw og Kp2 70mm - 25°C

Alle resultat er oppgitt i mm

Maks avvik mellom sylinder		
MC1C2	MC1C3	MC2C3
3,597	1,8717	4,0202
4,3186	3,9551	4,5844
3,4288	2,1484	4,6984
3,4288	1,9694	4,0256
3,4722	2,0237	3,8574
2,8809	2,5445	3,7543
3,4722	3,7055	4,2426
5,5501	2,2624	5,3277
5,1921	2,4143	4,6061
3,521	2,219	3,7543
6,2771	2,3112	5,2572
3,1087	2,1322	4,1341
2,6421	2,1756	4,1829
3,3583	3,2227	4,1884
3,8194	2,6096	4,5464

Maks avvik til rampe		
MRC1	MRC2	MRC3
2,992	4,1333	3,7448
3,0432	4,7593	3,7789
2,9256	4,0835	3,7855
2,9866	3,5962	3,7986
2,9499	3,6867	3,8524
3,0868	3,3067	3,8723
2,7859	4,0682	4,0052
2,9726	6,5884	3,7989
3,027	5,9103	3,7952
3,1053	3,2227	3,8217
2,908	6,2521	3,9091
3,1321	2,94	3,9749
2,9039	3,6376	4,0761
2,9473	4,3375	3,8072
3,0667	3,6376	4,1122

Gjen. avvik mellom sylinder		
GC1C2	GC1C3	GC2C3
0,6495	0,5176	0,7901
0,8834	0,6641	0,9376
0,9904	0,7117	1,0947
0,845	0,6266	1,0338
0,9026	0,6319	0,9633
0,9518	0,8461	1,0892
0,91	0,7584	1,2275
1,1294	0,7306	1,3103
1,0221	0,7417	1,0541
0,9623	0,6675	1,0661
1,0706	0,7391	1,3252
0,9092	0,7142	1,0979
0,8979	0,7315	1,1938
0,8902	0,8394	1,0606
0,9961	0,8142	1,109

Gjen.avvik til rampe		
GRC1	GRC2	GRC3
0,7082	0,705	0,8242
0,5761	0,7196	0,825
0,7156	0,784	0,9717
0,8438	0,7124	0,9918
0,8149	0,8324	0,9997
0,7065	0,6877	1,0034
0,683	0,7908	1,0539
0,6313	1,1153	0,8784
0,7334	1,0456	0,9694
0,9371	0,7321	1,0159
0,9476	1,2471	1,0172
0,7602	0,6993	0,9722
0,8029	0,8027	1,0024
0,623	0,8704	1,004
0,6987	0,7991	1,0221



## Vedlegg 2.5

## PI-regulator med Fw og lik Wc 70mm - 25°C

Alle resultat er oppgitt i mm

Maks avvik mellom sylinder		
MC1C2	MC1C3	MC2C3
3,3203	2,0942	5,1107
3,4831	2,1484	5,0022
3,3203	2,1267	5,089
3,3095	2,0399	5,0618
3,4234	1,9586	5,1378
3,3474	2,0237	4,872
3,3637	2,2244	4,9805
3,2281	2,0671	5,089
3,2389	2,832	5,0401
3,2823	2,0237	5,0239
3,2715	2,1322	5,268
3,4397	3,163	5,2355
3,2606	2,0399	5,2572
3,38	2,0182	5,2626
3,4125	2,9134	5,3602

Maks avvik til rampe		
MRC1	MRC2	MRC3
4,1518	5,3586	4,1652
4,2466	5,2241	4,1027
3,9669	5,1955	4,2244
4,0694	5,4957	4,1045
4,1491	5,2322	3,9343
4,2603	5,3803	4,1176
4,2574	5,2131	4,0972
3,9338	5,3384	4,3596
3,9418	5,4776	4,0938
3,9006	5,3908	4,2124
4,0052	5,4016	4,2302
4,2195	5,2376	4,1895
3,9464	5,3256	4,2286
3,921	5,3908	4,2937
3,9293	5,6133	4,3643

Gjen. avvik mellom sylinder		
GC1C2	GC1C3	GC2C3
0,9917	0,6886	1,4723
1,0887	0,6833	1,5857
1,0332	0,7243	1,5711
0,6535	0,4731	1,002
1,0067	0,7108	1,5235
1,0507	0,6772	1,5426
0,9808	0,686	1,492
1,0371	0,6976	1,5395
1,0089	0,647	1,4781
0,9919	0,6315	1,4201
0,9946	0,72	1,5215
1,0971	0,7283	1,5807
1,0389	0,7074	1,5405
0,9013	0,569	1,2285
1,084	0,7102	1,5513

Gjen.avvik til rampe		
GRC1	GRC2	GRC3
1,6667	1,9393	1,1542
1,7122	2,2164	1,1665
1,7615	2,2067	1,1486
1,196	1,3147	0,7964
1,6696	1,9635	1,1894
1,6805	2,1319	1,1482
1,5849	1,985	1,1014
1,5629	1,9746	1,1758
1,4884	1,8516	1,0998
1,6481	2,1286	1,0439
1,7168	2,1558	1,1314
1,9301	2,4914	1,173
1,8935	2,2241	1,1613
1,6636	2,1474	0,8985
1,8388	2,3773	1,1358

## Vedlegg 2.6

## PI-regulator med Fw og lik Wc og Pm 70mm - 25°C

Alle resultat er oppgitt i mm

Maks avvik mellom sylinder		
MC1C2	MC1C3	MC2C3
3,4451	1,8229	4,2263
3,4831	2,6747	4,5573
3,3963	2,2732	4,1341
3,5753	2,0562	4,3132
3,4559	3,0436	4,4054
3,6513	1,8826	4,541
3,3474	1,9965	4,3566
3,7543	2,3329	4,0256
3,5645	2,0562	4,4651
3,6621	2,3275	4,1558
3,635	1,9206	3,9551
3,5862	1,747	3,9388
3,5482	3,0382	4,2914
3,7109	2,0779	4,3783
3,7489	1,926	4,3945

Maks avvik til rampe		
MRC1	MRC2	MRC3
3,4046	4,4111	4,0937
3,3484	4,5509	4,3792
3,229	4,5347	4,497
3,2509	4,5685	4,247
3,3809	4,6184	4,5505
3,3051	4,6825	4,247
3,338	4,5998	4,3343
3,4376	4,3332	4,8609
3,316	4,6282	4,3447
3,3704	4,4747	4,3134
3,4359	4,3983	4,1575
3,346	4,3184	4,4221
3,3459	4,4963	5,1323
3,3867	4,5507	3,9879
3,4152	4,3934	4,0634

Gjen. avvik mellom sylinder		
GC1C2	GC1C3	GC2C3
0,9444	0,6593	1,3554
1,1732	0,7352	1,6671
0,9733	0,7567	1,4465
0,9232	0,6916	1,3609
1,1045	0,8286	1,6301
1,0034	0,7711	1,5225
1,0784	0,9859	1,8374
1,0975	0,8055	1,637
1,0838	0,8251	1,6241
1,0656	0,8694	1,6481
1,0478	0,8495	1,6342
1,1744	0,7961	1,7086
1,0341	0,9024	1,6209
1,0912	0,9803	1,8213
0,9826	0,8083	1,4937

Gjen.avvik til rampe		
GRC1	GRC2	GRC3
1,0635	1,5625	1,0595
1,0853	1,8389	0,9842
1,0618	1,5895	1,0292
0,9814	1,4741	0,9667
1,1451	1,7861	1,1373
1,1455	1,7147	1,0469
1,3974	2,0976	0,9753
1,1352	1,7942	1,0781
1,1368	1,8022	1,0552
1,1206	1,7364	1,0373
1,196	1,8074	1,0218
1,2351	1,992	1,0835
1,1839	1,7841	1,1211
1,331	2,0008	1,0024
1,1261	1,6687	1,0889

## Vedlegg 3.1

## Diameter og Senteravvik 120mm - 25°C

Alle resultat er oppgitt i mm

PI-reg uten Fw	
Diameter	Senteravvik
88,6485	1,022
88,5708	1,2208
89,386	2,7274
89,2141	3,012
89,2105	2,9282
89,4122	2,5576
89,2796	2,714
89,3269	2,9009
89,2608	2,7191
89,5031	2,5108
89,3568	2,6073
89,3423	3,1894
89,5347	3,1709
89,282	3,1305
89,565	2,7852

PI-reg med Fw	
Diameter	Senteravvik
89,3648	0,9235
89,389	1,1853
89,426	0,8633
89,2893	1,1738
89,4187	1,2243
89,3238	1,1182
89,6395	1,3135
89,4095	0,8824
89,4445	1,4933
89,5682	1,1813
89,6781	0,9701
89,6466	1,1807
89,7596	1,5364
89,5765	1,5415
89,8002	1,4857

PI-reg med Fw og Kp2	
Diameter	Senteravvik
89,8501	1,0398
89,813	1,2102
89,8246	1,3917
89,9212	1,5536
89,9521	1,2433
89,8498	1,3684
89,9367	1,454
90,0386	1,0565
90,0471	1,1189
90,0817	1,2808
90,1216	1,056
90,1278	1,1574
90,1088	1,4722
90,2378	1,47
90,142	1,6763

PI-reg med Fw og lik Wc	
Diameter	Senteravvik
89,0069	0,239
89,0072	0,2888
88,9937	0,2399
88,982	0,3144
89,0281	0,1393
88,9277	0,2781
88,928	0,3004
89,0106	0,2515
89,0234	0,537
89,0609	0,6747
89,0467	0,6523
89,1432	0,7922
89,1227	0,925
89,1031	1,0452
89,1294	1,08

PI-reg med Fw og lik Wc, Pm	
Diameter	Senteravvik
88,3187	1,4446
88,2065	1,4386
88,2615	1,229
88,3357	1,5025
88,2472	1,6003
88,3342	1,6499
88,2761	1,4933
88,4311	1,5968
88,4002	1,4342
88,4239	1,4964
88,4054	1,776
88,4943	1,8268
88,4809	1,937
88,4692	1,5485
88,5619	1,8876

Vedlegg 3.2

PI-regulator uten Fw 120mm - 25°C

Alle resultat er oppgitt i mm

Maks avvik mellom sylinder		
MC1C2	MC1C3	MC2C3
3,2118	5,3494	4,0961
3,7164	5,3385	4,7743
3,6024	2,5553	4,6549
3,8249	2,3003	4,6332
3,304	4,4162	4,4542
3,7109	2,8429	4,6549
3,3257	4,6278	4,3728
3,8032	2,1864	4,9479
3,38	4,9642	4,324
3,4668	2,1484	4,4108
3,1901	2,5879	4,2806
3,1738	4,6875	4,3566
3,559	4,8611	4,6224
3,4451	4,4162	4,6495
3,2498	5,5339	4,5681

Maks avvik til rampe		
MRC1	MRC2	MRC3
7,6648	7,1025	8,5443
7,542	6,8778	8,5999
8,0032	7,0743	9,0448
7,3344	7,4746	8,3533
7,6753	6,9232	8,9557
7,6165	7,146	8,6256
7,6439	6,9549	8,7615
7,3823	7,0571	8,4728
7,7036	6,8858	8,5808
7,4226	7,1881	8,4155
7,7186	7,6154	8,6682
7,8053	6,9604	8,6679
7,5406	7,2088	8,4735
7,6499	6,9494	8,7218
7,5116	6,5769	8,7344

Gjen. avvik mellom sylinder		
GC1C2	GC1C3	GC2C3
1,1081	0,7832	1,3518
1,1641	0,836	1,3794
1,1463	0,9318	1,4805
1,0121	0,7915	1,2601
1,1524	0,8753	1,3929
0,9528	0,7024	1,1503
1,0541	0,8345	1,3475
1,0223	0,7689	1,2354
1,1027	0,8182	1,3798
0,9958	0,7584	1,235
1,0585	0,7917	1,2868
0,3373	0,252	0,4165
1,056	0,7662	1,3037
0,9074	0,6825	1,1249
0,8815	0,6625	1,1118

Gjen.avvik til rampe		
GRC1	GRC2	GRC3
3,105	2,6829	3,8698
3,3208	2,8834	4,1499
3,3435	2,9438	4,2428
2,8933	2,5335	3,6546
3,2702	2,8701	4,1145
2,7118	2,3874	3,3958
3,0499	2,6668	3,8581
2,9123	2,554	3,6632
3,1909	2,7771	4,0165
2,8931	2,5149	3,6315
2,9978	2,6576	3,775
0,9647	0,865	1,1922
3,0215	2,6315	3,7628
2,6437	2,3028	3,3059
2,4892	2,1783	3,1256

Maks avvik mellom sylinder - trykk		
MC1C2T	MC1C3T	MC2C3T
1,1447	1,2261	1,7524
1,8175	1,0525	1,8663
3,2661	2,5553	4,3294
4,1558	2,3003	4,8177
3,9171	2,5174	4,7689
3,2064	2,6584	4,2969
3,6621	2,36	4,4596
3,8032	2,7398	4,9588
3,5536	2,5228	4,5519
3,3095	2,181	4,1124
3,8086	2,2732	4,2372
4,031	2,8537	5,3494
4,2643	2,6313	5,0293
4,0582	2,5336	5,2626
3,5482	2,6801	4,5573

Maks avvik til rampe - trykk		
MRC1T	MRC2T	MRC3T
4,3589	0	5,585
4,2231	0	5,2756
6,0231	0	8,4916
4,782	0	7,0824
4,641	0	7,1583
4,8167	0	7,4751
4,4201	0	6,7801
4,4358	0	7,033
4,783	0	7,0872
4,7927	0	6,7676
4,2738	0	6,547
4,6568	0	7,3971
4,6681	0	7,2994
5,4916	0	8,0252
5,8045	0	8,3273

Gjen. avvik mellom sylinder- trykk		
GC1C2T	GC1C3T	GC2C3T
0,0956	0,078	0,161
0,181	0,0372	0,2043
0,0237	0,0863	0,0314
0,3909	0,1007	0,4693
0,7771	0,2019	0,9548
0,159	0,1196	0,2161
0,3057	0,1179	0,4042
0,2455	0,161	0,3352
0,4448	0,1739	0,593
0,2129	0,1089	0,3021
0,4515	0,0674	0,4966
0,1111	0,0683	0,1558
0,5561	0,1779	0,6738
0,1216	0,1178	0,1799
0,3793	0,1726	0,4975

Gjen.avvik til rampe- trykk		
GRC1T	GRC2T	GRC3T
0,0444	0	0,0584
0,0462	0	0,0593
0,154	0	0,2331
0,0464	0	0,0711
0,0504	0	0,0809
0,1099	0	0,1758
0,0369	0	0,0584
0,1074	0	0,1845
0,1268	0	0,0782
0,0465	0	0,0678
0,0424	0	0,068
0,0357	0	0,06
0,112	0	0,1818
0,1101	0	0,1719
0,1086	0	0,1698

Vedlegg 3.3

PI-regulator med Fw 120mm - 25°C

Alle resultat er oppgitt i mm

Maks avvik mellom sylinder		
MC1C2	MC1C3	MC2C3
3,2715	2,8212	5,6803
3,1142	3,4017	5,9842
2,9785	3,0056	5,2029
3,3529	2,7561	6,1089
3,1793	2,7398	5,6803
3,1467	2,6693	5,7346
2,8809	2,7018	5,3982
3,3474	2,908	5,6641
3,6404	3,2878	5,702
3,4342	2,7941	6,0221
3,4071	2,5174	5,7834
3,4559	2,908	5,4796
3,5645	3,304	5,9028
3,3203	2,5608	5,7726
3,5319	2,8863	6,4182

Maks avvik til rampe		
MRC1	MRC2	MRC3
3,2653	2,55	5,647
3,4778	2,9621	6,2826
3,1188	2,9003	6,0648
3,4578	2,9749	6,2139
3,4658	3,4038	5,7678
3,7623	3,2608	6,1006
3,2776	3,0754	5,9794
3,17	3,1311	5,9315
3,588	2,8886	5,8689
3,5073	2,9481	6,1105
3,451	2,8389	5,9684
3,64	2,809	5,9948
3,3572	2,821	6,2778
3,342	2,7701	5,7753
3,5121	2,7253	6,1673

Gjen. avvik mellom sylinder		
GC1C2	GC1C3	GC2C3
1,1113	0,9802	1,3732
0,7639	0,6663	0,9235
1,1709	0,9995	1,4165
1,1901	1,0174	1,4846
0,7925	0,6661	0,9432
0,7263	0,6153	0,8712
1,1664	0,9993	1,4197
1,0611	0,9349	1,3029
1,1497	1,0111	1,3976
1,125	0,949	1,4044
1,165	0,9884	1,4554
1,079	0,9472	1,3374
1,1008	0,9328	1,3567
1,1014	0,9365	1,3708
1,2129	1,034	1,5005

Gjen.avvik til rampe		
GRC1	GRC2	GRC3
0,8005	0,743	1,4799
0,5674	0,5174	0,9982
0,8521	0,8254	1,5507
0,8992	0,8243	1,5652
0,574	0,5371	1,0361
0,5316	0,5012	0,9588
0,8463	0,7871	1,5464
0,7862	0,7248	1,4209
0,845	0,7732	1,5113
0,8355	0,792	1,5024
0,8764	0,8187	1,5562
0,8025	0,7448	1,4689
0,8075	0,7606	1,4435
0,8194	0,7563	1,4759
0,9014	0,8068	1,6103

Maks avvik mellom sylinder - trykk		
MC1C2T	MC1C3T	MC2C3T
1,5571	1,2695	0,5588
2,0616	1,3889	0,7053
1,3455	1,3346	0,6185
1,9965	1,5299	0,9006
2,1593	1,1719	1,0796
1,9748	1,0905	0,8898
2,3112	1,1176	1,2858
1,8555	1,1556	0,7596
2,6204	1,5354	1,2098
2,0128	1,5245	1,0959
1,6981	1,1881	0,6076
2,0888	1,1502	0,9983
2,6855	1,1773	1,5082
2,7072	1,5245	1,3021
2,6042	1,5571	1,2261

Maks avvik til rampe - trykk		
MRC1T	MRC2T	MRC3T
0,9532	0	0,8013
0,7082	0	0,578
0,8935	0	0,6223
0,5796	0	0,7966
0,7666	0	0,9836
0,8131	0	0,6286
0,734	0	1,2983
0,6829	0	0,9813
0,702	0	0,6749
0,7159	0	1,036
0,7666	0	0,9131
0,7443	0	0,8052
0,9306	0	1,1368
0,6444	0	0,5359
0,8926	0	1,191

Gjen. avvik mellom sylinder- trykk		
GC1C2T	GC1C3T	GC2C3T
0,2348	0,1994	0,0458
0,0556	0,0418	0,0169
0,075	0,0846	0,0078
0,2967	0,2392	0,079
0,1359	0,076	0,0641
0,2712	0,1499	0,1256
0,1694	0,089	0,0869
0,0477	0,0273	0,0248
0,2878	0,1694	0,1226
0,2262	0,1701	0,0641
0,0863	0,0673	0,0302
0,2232	0,1253	0,1064
0,0489	0,0294	0,0213
0,2296	0,1246	0,1103
0,2719	0,1662	0,1114

Gjen.avvik til rampe- trykk		
GRC1T	GRC2T	GRC3T
0,0055	0	0,0044
0,0023	0	0,0019
0,0049	0	0,0031
0,0043	0	0,0048
0,0031	0	0,0041
0,003	0	0,0028
0,0046	0	0,0094
0,0042	0	0,0055
0,0034	0	0,0033
0,0045	0	0,0061
0,0047	0	0,0055
0,0045	0	0,0046
0,0049	0	0,0068
0,0031	0	0,0027
0,0055	0	0,0083

## Vedlegg 3.4

## PI-regulator med Fw og Kp2 120mm - 25°C

Alle resultat er oppgitt i mm

Maks avvik mellom sylinder		
MC1C2	MC1C3	MC2C3
3,2932	3,0002	6,0438
3,4071	2,832	5,9733
3,4397	2,5119	5,4742
3,7652	2,8429	5,854
3,1467	2,7941	5,816
3,1359	2,729	5,5393
3,6187	3,6404	6,033
4,2372	2,577	5,6695
3,7977	2,7615	5,447
3,5102	2,946	6,0059
4,6061	2,8212	5,8105
6,4128	2,7072	6,3422
3,2444	3,2498	6,2446
3,4668	2,4794	5,4905
2,7941	3,087	5,8811

Maks avvik til rampe		
MRC1	MRC2	MRC3
3,1929	3,9489	6,0019
3,3056	4,2232	5,9206
3,3957	3,2623	5,5602
3,2825	3,2384	5,6371
3,7382	2,8447	6,5323
3,2122	2,8651	5,9412
3,1562	3,0183	5,9937
3,3665	6,2275	5,7754
3,4859	3,7753	6,1226
3,339	3,839	6,2849
3,3111	6,3028	6,0725
3,5104	7,301	5,8943
3,2127	3,8231	6,4134
3,319	3,3693	5,7853
3,2611	3,2387	6,3481

Gjen. avvik mellom sylinder		
GC1C2	GC1C3	GC2C3
1,2651	1,0815	1,5507
1,2214	1,0483	1,5308
1,2078	1,0599	1,456
0,9931	0,8721	1,2594
1,1254	0,9883	1,3629
1,1526	1,0605	1,4548
1,2058	1,0033	1,4714
1,3004	1,0105	1,5724
1,2181	1,0587	1,4381
1,1799	1,0438	1,4944
1,4162	1,1108	1,6484
1,4761	1,0186	1,7322
1,1552	1,0423	1,4212
1,179	1,0064	1,4242
1,1507	1,0606	1,4371

Gjen.avvik til rampe		
GRC1	GRC2	GRC3
0,8827	0,9114	1,5743
0,8293	0,9383	1,4281
0,9168	0,8106	1,4914
0,7291	0,6923	1,2586
0,8457	0,7408	1,3996
0,8674	0,794	1,4902
0,855	0,7238	1,4718
0,8201	1,0519	1,4393
0,8365	0,861	1,4731
0,8142	0,8411	1,4296
0,8793	1,0947	1,528
0,7845	1,271	1,3697
0,8425	0,8039	1,452
0,9107	0,8339	1,4981
0,8967	0,8067	1,4754

Maks avvik mellom sylinder - trykk		
MC1C2T	MC1C3T	MC2C3T
1,8446	1,02	0,9332
2,1159	0,868	1,4269
2,436	1,5082	1,1936
2,7073	1,1285	1,7307
2,1701	1,4106	1,0037
2,3817	0,944	1,6656
2,5228	0,9711	1,7415
1,8609	0,8301	1,0797
1,9477	0,7596	1,2858
2,2569	1,2316	1,1122
1,8663	0,9115	1,0145
2,0291	0,8192	1,3509
2,5825	1,2044	1,5625
2,577	1,1827	1,53
2,9405	1,4594	1,6764

Maks avvik til rampe - trykk		
MRC1T	MRC2T	MRC3T
1,198	0	1,5229
0,435	0	0,5109
0,6898	0	0,8302
1,2223	0	1,6075
1,6491	0	1,3344
0,4613	0	0,9495
0,664	0	1,25
1,4254	0	1,9625
0,5013	0	0,596
0,549	0	0,6304
0,7835	0	0,7497
0,6682	0	1,0046
1,5484	0	1,1849
1,4266	0	1,5437
0,9326	0	1,1225

Gjen. avvik mellom sylinder- trykk		
GC1C2T	GC1C3T	GC2C3T
0,2129	0,1311	0,0936
0,2593	0,1134	0,1602
0,0984	0,0607	0,0472
0,0795	0,0347	0,0486
0,1653	0,1142	0,0649
0,1759	0,0729	0,1174
0,379	0,1434	0,2402
0,2639	0,1278	0,1466
0,3043	0,1247	0,1938
0,3048	0,1643	0,1451
0,268	0,1364	0,1427
0,2131	0,0946	0,1333
0,2469	0,1204	0,1366
0,2187	0,1087	0,1205
0,2047	0,0984	0,1085

Gjen.avvik til rampe- trykk		
GRC1T	GRC2T	GRC3T
0,0171	0	0,0193
0,0027	0	0,0027
0,0045	0	0,0049
0,007	0	0,0196
0,0211	0	0,0184
0,0028	0	0,0053
0,0032	0	0,0174
0,0187	0	0,0238
0,0028	0	0,0029
0,0027	0	0,003
0,0048	0	0,0047
0,0041	0	0,0055
0,02	0	0,0202
0,02	0	0,0207
0,0055	0	0,0069

Vedlegg 3.5

PI-regulator med Fw og lik Wc 120mm - 25°C

Alle resultat er oppgitt i mm

Maks avvik mellom sylinder		
MC1C2	MC1C3	MC2C3
3,2715	3,7435	5,051
3,2335	2,6204	5,1541
3,3366	2,7344	5,23
3,3963	2,0725	5,0401
3,2932	3,3691	4,9262
3,304	3,928	5,0184
3,3095	2,0671	4,975
3,4125	3,8249	4,9425
3,3203	2,6096	4,9479
3,2064	2,6042	4,6549
3,3149	2,1213	4,8611
3,1847	3,8086	5,127
3,2118	3,7489	4,8557
3,3963	2,36	5,1975
3,4071	2,1756	5,0401

Maks avvik til rampe		
MRC1	MRC2	MRC3
5,8711	5,3761	6,6245
5,7715	5,483	6,4146
5,7568	5,4255	6,5422
5,7129	5,2959	6,0357
5,773	5,4358	6,2559
5,8382	5,4139	6,0322
5,7016	5,4519	5,9707
5,9191	5,5111	6,2798
5,8285	5,3066	6,1439
5,9162	5,4494	6,0834
5,8216	5,5402	6,426
5,9254	5,4852	6,1308
5,656	5,5979	6,1061
5,7736	5,6118	6,1745
5,7239	5,6433	6,1432

Gjen. avvik mellom sylinder		
GC1C2	GC1C3	GC2C3
1,1133	0,5104	1,2452
1,0994	0,5214	1,2499
1,156	0,5577	1,3011
1,2384	0,5426	1,3962
1,0816	0,4935	1,2268
1,252	0,5637	1,4259
1,1827	0,506	1,3394
1,1531	0,5185	1,299
1,1882	0,5457	1,3154
1,1577	0,5152	1,2906
1,2191	0,5756	1,3448
1,1892	0,542	1,3411
1,223	0,5732	1,3467
0,7108	0,3308	0,7974
1,2164	0,5517	1,3686

Gjen.avvik til rampe		
GRC1	GRC2	GRC3
1,5971	1,6222	1,5376
1,5977	1,651	1,5291
1,6816	1,7428	1,6159
1,8064	1,8347	1,7255
1,582	1,6361	1,5181
1,8156	1,8653	1,7401
1,7189	1,7564	1,6078
1,6926	1,7246	1,6005
1,7371	1,7674	1,6596
1,7138	1,7475	1,6247
1,776	1,8275	1,6959
1,7428	1,795	1,6391
1,7939	1,8642	1,7099
1,0363	1,0895	0,9909
1,7897	1,8679	1,6965

Maks avvik mellom sylinder - trykk		
MC1C2T	MC1C3T	MC2C3T
0,5642	0,5208	0,1736
1,2478	0,6402	0,1194
0,6185	0,6076	0,1356
0,4883	0,6944	0,472
0,3906	0,4612	0,1682
0,9657	0,6999	0,472
1,0145	0,7595	0,5154
0,6022	0,7107	0,3689
0,5968	0,9928	0,9223
0,7813	0,982	1,1502
0,7161	1,1556	1,1339
0,9494	0,982	1,3401
1,1556	1,2153	1,5462
1,1393	1,2424	1,8012
1,2912	1,3509	1,8283

Maks avvik til rampe - trykk		
MRC1T	MRC2T	MRC3T
1,7893	0	1,2685
1,6809	1,5731	0
0	1,1022	0
1,9919	0	1,2975
1,7351	0	1,2739
2,817	0	2,1171
2,7736	0	2,014
2,3213	0	1,6106
2,5008	0	1,508
2,2074	0	1,2254
2,4846	0	1,329
1,491	0	0,5091
2,4303	0	1,215
2,5468	0	1,3966
2,6281	0	1,2772

Gjen. avvik mellom sylinder- trykk		
GC1C2T	GC1C3T	GC2C3T
0,2118	0,2894	0,0771
0,0397	0,0467	0,0105
0,0228	0,0296	0,0076
0,0088	0,0782	0,0695
0,0091	0,0356	0,0244
0,0245	0,0441	0,046
0,0252	0,0381	0,0379
0,0065	0,021	0,0101
0,0434	0,0403	0,063
0,114	0,0709	0,1714
0,0473	0,0566	0,0767
0,0506	0,0354	0,077
0,0514	0,0436	0,0757
0,0252	0,0374	0,0456
0,1132	0,0794	0,1684

Gjen.avvik til rampe- trykk		
GRC1T	GRC2T	GRC3T
0,014	0	0,0081
0,0038	0,0114	0
0	0,0065	0
0,0181	0	0,0093
0,0131	0	0,008
0,029	0	0,0199
0,0268	0	0,0175
0,0208	0	0,0124
0,0203	0	0,0106
0,0171	0	0,0077
0,0206	0	0,009
0,0104	0	0,0027
0,0235	0	0,0081
0,0145	0	0,006
0,0258	0	0,0088

Vedlegg 3.6

PI-regulator med Fw og lik Wc og Pm 120mm - 25°C

Alle resultat er oppgitt i mm

Maks avvik mellom sylinder		
MC1C2	MC1C3	MC2C3
3,6567	2,5987	4,7309
3,8683	2,3763	4,758
3,8032	2,1756	4,5898
3,9822	1,9151	4,8014
4,0202	2,2895	4,4651
4,2806	1,9423	4,8828
4,1016	1,8717	4,617
4,0365	1,9694	4,7255
3,6458	1,9965	4,1612
3,9985	2,0399	4,8991
3,8032	2,1376	4,1558
4,0039	2,4577	4,541
3,6892	2,0237	4,2372
3,4451	2,0074	4,6332
4,1341	2,2298	4,6061

Maks avvik til rampe		
MRC1	MRC2	MRC3
4,7337	5,2581	6,4397
4,6132	5,209	6,2741
4,7365	5,1946	6,804
4,6031	5,1656	6,2144
4,7119	5,0897	6,3775
4,4699	5,2147	6,1355
4,6239	5,2127	6,3492
4,5636	5,2513	6,44
4,5563	5,2817	6,4781
4,7163	5,2845	6,5446
4,6497	5,1683	6,3261
4,7542	5,2995	6,4848
4,6243	5,3685	6,2573
4,6988	5,3114	6,5597
4,6884	5,2654	6,6679

Gjen. avvik mellom sylinder		
GC1C2	GC1C3	GC2C3
1,1198	0,7414	1,252
0,4299	0,2896	0,4657
1,3104	0,8846	1,4208
1,3513	0,8535	1,4453
1,3038	0,8525	1,4293
1,301	0,8778	1,4283
1,2325	0,7638	1,3231
1,2462	0,8546	1,381
1,2371	0,7847	1,3247
1,3261	0,8445	1,4204
1,2216	0,7857	1,3522
1,3246	0,8351	1,4346
1,261	0,8178	1,403
1,2214	0,7916	1,3421
1,261	0,8751	1,3951

Gjen.avvik til rampe		
GRC1	GRC2	GRC3
1,1584	1,5485	1,5918
0,4397	0,5806	0,5883
1,3401	1,7826	1,812
1,3535	1,8405	1,8473
1,3166	1,775	1,7969
1,3001	1,769	1,7759
1,2299	1,6655	1,6634
1,2571	1,7158	1,7269
1,2465	1,7031	1,6717
1,3327	1,8358	1,8043
1,2553	1,6845	1,6753
1,3475	1,8314	1,802
1,2824	1,751	1,7197
1,2555	1,7027	1,6716
1,2799	1,7376	1,7264

Maks avvik mellom sylinder - trykk		
MC1C2T	MC1C3T	MC2C3T
2,36	0,7975	1,9911
2,3112	1,4214	2,0399
2,0128	1,02	1,7036
2,398	1,6113	2,1918
2,7018	1,3618	2,1376
2,7235	1,8717	2,3709
2,4523	1,8175	2,219
2,5933	1,888	2,4089
2,3112	1,4431	2,2135
2,5011	1,7795	2,0942
2,9026	1,7524	2,6638
3,0219	1,7687	2,6855
3,0924	1,9423	3,0328
2,6204	1,1665	2,1159
3,1467	2,002	2,7886

Maks avvik til rampe - trykk		
MRC1T	MRC2T	MRC3T
0,5627	0	1,3603
1,7359	0	0,8256
1,1392	0	0,7028
1,8064	0	0,6629
1,5742	0	0,9116
1,7912	0	1,2045
1,7951	0	1,1544
1,8761	0	1,1279
1,466	0	1,0771
2,0801	0	0,8474
1,4531	0	1,4073
1,616	0	1,2846
1,4389	0	1,6034
0,7873	0	1,1952
1,8327	0	1,2852

Gjen. avvik mellom sylinder- trykk		
GC1C2T	GC1C3T	GC2C3T
0,2998	0,0585	0,249
0,1206	0,0272	0,1112
0,2813	0,0537	0,2366
0,2884	0,0647	0,2792
0,3111	0,1024	0,246
0,3762	0,1079	0,3156
0,2748	0,0836	0,2464
0,4423	0,0988	0,3848
0,1132	0,0331	0,1068
0,512	0,1541	0,4087
0,2536	0,0697	0,2255
0,4674	0,1342	0,3939
0,5873	0,0988	0,5263
0,3598	0,1034	0,2662
0,6942	0,1879	0,5413

Gjen.avvik til rampe- trykk		
GRC1T	GRC2T	GRC3T
0,0037	0	0,0179
0,0049	0	0,0017
0,0076	0	0,0037
0,0148	0	0,0036
0,013	0	0,0056
0,0157	0	0,0082
0,015	0	0,0072
0,0163	0	0,0071
0,0112	0	0,0066
0,0199	0	0,0053
0,0109	0	0,0104
0,0139	0	0,0095
0,0111	0	0,0132
0,0038	0	0,0077
0,0159	0	0,0087



## Vedlegg 4.1

## Diameter og Senteravvik 70mm - 50°C

Alle resultat er oppgitt i mm

PI-reg uten Fw	
Diameter	Senteravvik
155,7856	0,3382
155,6349	0,5523
155,2809	0,6114
154,4916	0,8953
155,6743	0,4916
155,2467	0,8077
155,9952	0,302
155,8732	0,4929
155,4685	0,5472
154,4935	1,039
155,0538	0,696
154,5018	1,1185
155,0156	0,8569
155,8193	0,5187
154,7992	0,9108

PI-reg med Fw	
Diameter	Senteravvik
154,8673	0,4143
154,3155	0,6375
154,3994	0,7178
154,5567	0,4986
153,9535	0,9542
155,5101	0,1229
154,6493	1,0611
154,9654	0,4917
154,7487	0,913
155,6621	0,1605
155,4491	0,305
154,3735	0,6549
154,5936	0,5913
155,2103	0,3003
154,2901	0,641

PI-reg med Fw og Kp2	
Diameter	Senteravvik
154,7811	0,5231
154,99	0,3494
154,4599	0,609
155,0098	0,6262
154,409	0,5749
154,4302	0,5088
154,7397	1,0718
154,8425	0,884
155,5608	0,1685
154,9873	0,5377
154,753	0,9752
155,0132	0,5897
155,2977	0,4321
154,0582	0,946
155,5467	0,2757

PI-reg med Fw og lik Wc	
Diameter	Senteravvik
159,2386	1,8391
159,3333	1,7093
159,2289	1,7303
159,4299	1,6566
159,3782	1,7774
159,3169	1,7812
159,2002	1,7388
159,5777	1,6358
159,2237	1,8148
159,5214	1,7007
159,4167	1,7453
159,2664	1,7878
159,1574	1,7663
159,2873	1,7507
159,1726	1,7982

PI-reg med Fw og lik Wc, Pm	
Diameter	Senteravvik
159,0453	1,4069
158,407	1,5035
158,2229	1,5254
158,1919	1,6012
157,803	1,687
158,2909	1,485
158,493	1,4627
158,2519	1,526
158,01	1,5413
158,245	1,5465
158,3155	1,4459
157,9223	1,6829
158,6225	1,4982
158,2176	1,4473
158,5809	1,2596

## Vedlegg 4.2

## PI-regulator uten Fw 70mm - 50°C

Alle resultat er oppgitt i mm

Maks avvik mellom sylinder		
MC1C2	MC1C3	MC2C3
2,7127	2,7127	3,7923
2,5553	2,143	3,6024
2,6042	2,8754	3,6892
2,4577	1,9368	3,6241
2,9948	1,8338	4,0039
2,5825	2,4306	3,8032
2,4848	2,3872	3,5807
2,5662	4,145	3,6458
2,4034	1,964	3,5482
2,7235	1,8717	3,7815
2,4957	2,0508	3,6838
2,3492	2,7181	3,6133
2,5282	3,852	3,5265
3,0111	4,5247	3,9876
2,7452	4,4596	3,9117

Maks avvik til rampe		
MRC1	MRC2	MRC3
5,7277	5,3158	6,9174
6,0245	5,1687	7,0716
6,1317	5,3181	7,3741
6,0197	5,0716	7,2187
5,962	5,5294	6,9712
5,7965	5,4675	6,7848
5,8875	5,3238	6,8749
6,1391	5,4033	6,96
5,7936	5,2148	7,036
5,8596	5,2074	6,9419
5,8019	5,5056	6,8554
5,9418	5,1916	6,9216
5,987	5,4132	7,0938
5,8622	5,3985	7,011
5,8688	5,4731	7,2868

Gjen. avvik mellom sylinder		
GC1C2	GC1C3	GC2C3
0,6765	0,6842	1,0039
0,7814	0,7237	1,0026
0,7319	0,6947	0,9739
0,8625	0,7994	1,201
0,7132	0,7294	1,0793
0,7303	0,7035	1,0937
0,7149	0,6514	1,0257
0,7418	0,72	1,0838
0,803	0,7517	0,9913
0,8809	0,7733	1,2255
0,7308	0,7354	1,0526
0,8013	0,7176	1,109
0,7832	0,8233	1,0629
0,845	0,7466	1,1666
0,7342	0,8023	1,0761

Gjen.avvik til rampe		
GRC1	GRC2	GRC3
2,3761	2,0824	3,0341
2,3485	2,0796	3,0466
2,2187	1,9818	2,9003
2,312	2,078	3,0962
2,3846	2,0782	3,1041
2,1247	1,7509	2,7924
2,3742	2,0679	3,017
2,4322	2,1218	3,1347
2,2957	2,104	3,0332
2,4787	2,043	3,2278
2,2601	1,9682	2,9728
2,3288	2,0721	3,0373
2,2977	2,1186	3,108
2,6361	2,2706	3,3749
2,2712	2,0225	3,0483

## Vedlegg 4.3

## PI-regulator med Fw 70mm - 50°C

Alle resultat er oppgitt i mm

Maks avvik mellom sylinder		
MC1C2	MC1C3	MC2C3
2,474	1,6385	3,6079
2,5499	1,5679	3,7815
2,4468	1,9694	3,4776
2,3763	1,6385	3,8466
2,7072	2,0562	4,2806
2,5391	1,6656	4,0744
2,7995	1,85	3,7055
2,7018	1,5951	3,9171
3,1901	2,1484	3,9822
2,3383	1,709	3,9008
2,6638	2,5174	3,5428
2,577	1,8772	4,1938
2,4577	2,3655	3,928
2,8483	1,8229	4,3186
2,4685	1,7036	3,6241

Maks avvik til rampe		
MRC1	MRC2	MRC3
2,6697	2,7237	4,0369
2,5476	2,7524	3,9364
2,4632	2,6374	3,9169
2,4839	2,6149	4,0355
2,5185	2,6995	4,0918
2,3795	2,8677	3,9888
2,5015	2,7346	4,0423
2,5359	2,5118	4,0333
2,6582	2,9032	4,1357
2,4049	2,4283	4,0562
2,4359	2,8428	3,9419
2,6127	2,8446	4,3433
2,5413	2,7668	4,1093
2,7138	2,8406	4,1841
2,5088	2,6691	4,0496

Gjen. avvik mellom sylinder		
GC1C2	GC1C3	GC2C3
0,8253	0,6432	1,0112
0,7749	0,6253	0,9791
0,8324	0,6733	1,0211
0,8397	0,6677	0,9289
0,8524	0,5575	1,0135
0,7447	0,5386	0,8649
1,0138	0,572	1,1713
0,8504	0,6353	0,9904
0,9562	0,5131	1,1048
0,6707	0,5086	0,7627
0,8	0,5627	0,9611
0,7121	0,6273	0,9024
0,8814	0,6802	0,9112
0,728	0,6178	0,8578
0,7778	0,7177	0,8505

Gjen.avvik til rampe		
GRC1	GRC2	GRC3
0,7313	0,7083	1,0796
0,7098	0,6384	1,0411
0,7063	0,6797	1,0618
0,7085	0,8003	1,1091
0,7002	0,5971	0,971
0,8077	0,8206	1,0919
0,8235	0,6243	1,1274
0,711	0,6993	1,0408
0,8556	0,6182	1,1127
0,7265	0,7276	0,9812
0,7924	0,7106	1,0819
0,6548	0,6412	1,0135
0,6779	0,8019	1,1006
0,7342	0,8056	1,0812
0,6468	0,8166	1,1152

## Vedlegg 4.4

## PI-regulator med Fw og Kp2 70mm - 50°C

Alle resultat er oppgitt i mm

Maks avvik mellom sylinder		
MC1C2	MC1C3	MC2C3
2,4848	2,7832	3,8954
6,1252	3,4939	6,1361
4,1992	2,0291	4,8394
3,0382	1,9857	3,7109
2,6964	1,7687	3,7706
2,7778	2,0508	3,9876
4,7689	1,9423	5,013
6,2012	1,8338	5,8377
2,4685	1,7415	3,7001
3,8791	1,8283	4,0039
4,872	1,7144	4,8069
2,4523	1,5625	3,7923
2,3872	1,9151	4,0202
3,3963	2,0671	4,3511
3,8086	3,5319	4,0527

Maks avvik til rampe		
MRC1	MRC2	MRC3
2,6112	2,7287	4,0869
2,4477	5,0152	4,1734
2,6595	4,6707	3,9887
2,8835	2,832	3,8288
2,6416	2,7632	3,9454
2,7013	2,9476	3,9291
2,633	5,5969	4,2222
2,6991	4,706	3,9668
2,5185	2,7302	4,043
2,9697	3,367	4,1485
2,497	4,4697	4,2114
2,6966	3,0636	3,8604
2,8171	2,8441	4,3094
2,775	3,1301	4,1961
2,4865	4,0832	4,0888

Gjen. avvik mellom sylinder		
GC1C2	GC1C3	GC2C3
0,8597	0,7501	1,0301
1,0485	0,647	1,2113
1,1288	0,7457	1,2617
0,9172	0,7012	1,0601
0,9187	0,7141	1,035
0,814	0,725	1,05
1,1312	0,7998	1,2006
1,1417	0,594	1,3301
0,7584	0,6208	0,9383
0,9142	0,6945	0,9073
1,0642	0,8063	0,9355
0,8372	0,5687	1,0159
0,8341	0,6942	0,935
0,9534	0,7286	1,1897
0,8136	0,6275	1,006

Gjen.avvik til rampe		
GRC1	GRC2	GRC3
0,7276	0,69	1,0536
0,742	0,9839	1,0432
0,6898	0,9699	1,0479
0,7877	0,7648	1,0632
0,7082	0,6679	1,0289
0,7096	0,6944	1,0501
0,6849	1,0234	0,9967
0,9008	0,8111	1,1286
0,8884	0,9016	1,1611
0,786	0,8854	1,0549
0,6563	1,0542	1,1248
0,8817	0,7052	1,0961
0,7465	0,7322	1,032
0,7944	0,6181	1,1224
0,6672	0,7214	0,9044

## Vedlegg 4.5

## PI-regulator med Fw og lik Wc 70mm - 50°C

Alle resultat er oppgitt i mm

Maks avvik mellom sylinder		
MC1C2	MC1C3	MC2C3
3,2444	3,0924	4,834
3,1141	3,125	4,6604
3,1141	2,1539	5,051
3,1304	1,9043	4,6387
3,1847	1,8717	4,6875
3,1467	1,8826	4,8503
3,0382	2,7941	4,8394
3,0816	3,2769	4,7743
3,0219	2,2407	4,7255
3,2823	1,8446	4,5953
3,0545	1,8717	4,8394
3,2389	2,1267	4,7146
3,2823	1,8555	4,7472
3,418	1,9097	5,0781
2,9514	2,2081	4,7635

Maks avvik til rampe		
MRC1	MRC2	MRC3
4,1489	5,0273	4,2178
4,1719	4,8687	4,2059
3,9229	5,1756	4,2485
4,0772	5,0661	4,2497
4,1076	5,0932	4,2059
4,1032	5,1633	4,2315
4,1164	5,116	4,1707
3,9836	4,9842	4,2575
4,151	5,0987	4,1135
4,1184	5,0035	4,2091
4,1477	5,1579	4,2966
4,1637	4,9212	4,4553
3,9712	4,9155	3,9886
4,0566	5,0761	4,3915
4,1141	5,1307	4,1556

Gjen. avvik mellom sylinder		
GC1C2	GC1C3	GC2C3
1,0169	0,642	1,4409
1,0112	0,62	1,4787
0,9722	0,6177	1,4716
1,0175	0,5876	1,446
1,0113	0,6067	1,4663
1,053	0,5916	1,5066
0,9698	0,6547	1,4979
1,0488	0,5895	1,4477
0,7404	0,4934	1,1003
1,0125	0,6152	1,4498
1,0079	0,5867	1,4439
1,0137	0,6604	1,5063
1,0481	0,6819	1,5978
1,0629	0,6908	1,5841
1,0293	0,6909	1,5675

Gjen.avvik til rampe		
GRC1	GRC2	GRC3
1,4441	1,728	1,1018
1,473	1,7909	1,1185
1,5144	1,8797	1,1221
1,4624	1,783	1,1371
1,4776	1,8022	1,1256
1,4636	1,7731	1,1353
1,5387	1,9289	1,105
1,4238	1,7198	1,1451
1,1752	1,4154	0,8186
1,4791	1,814	1,1255
1,428	1,7343	1,1042
1,5613	1,9119	1,1453
1,61	2,0073	1,1599
1,6124	2,0143	1,1832
1,6425	2,0234	1,1573

## Vedlegg 4.6

## PI-regulator med Fw og lik Wc og Pm 70mm - 50°C

Alle resultat er oppgitt i mm

Maks avvik mellom sylinder		
MC1C2	MC1C3	MC2C3
3,8574	1,8663	4,6441
3,7869	1,7849	4,6441
3,7272	1,8555	4,4542
3,9442	1,6927	4,3077
3,5916	1,8555	4,286
3,6458	1,7036	4,3728
3,673	2,2786	4,3837
4,0582	1,6981	4,6984
3,7218	1,7632	4,4813
3,7652	1,633	4,3945
3,89	1,7415	4,4759
3,6784	1,8392	4,1395
3,7598	1,7958	3,9171
4,0202	1,6439	4,3945
3,9497	2,5825	4,1775

Maks avvik til rampe		
MRC1	MRC2	MRC3
3,3759	4,8029	4,4501
3,4136	4,6455	4,4586
3,2971	4,4184	4,4458
3,3264	4,678	4,3307
3,3938	4,4111	4,4356
3,2739	4,7161	4,1025
3,16	4,6672	4,1567
3,3752	4,7051	4,4446
3,3542	4,6998	4,4175
3,3178	4,7376	4,2998
3,5115	4,8057	4,6074
3,2863	4,4781	4,2864
3,3597	4,5773	4,3443
3,365	4,7731	4,4935
3,2104	4,5586	4,3578

Gjen. avvik mellom sylinder		
GC1C2	GC1C3	GC2C3
1,0525	0,5697	1,304
1,0936	0,5972	1,3801
1,1362	0,5825	1,4132
1,1433	0,5674	1,4469
1,2096	0,6015	1,5038
1,1151	0,5932	1,4131
1,0752	0,585	1,3314
1,1505	0,6195	1,4642
1,1322	0,5874	1,4209
1,1014	0,5487	1,3226
1,1197	0,6268	1,4332
1,2247	0,5572	1,4891
1,0564	0,5524	1,2811
1,0513	0,5624	1,3474
1,0581	0,5604	1,298

Gjen.avvik til rampe		
GRC1	GRC2	GRC3
0,9604	1,4321	1,0738
1,0954	1,6527	1,1517
1,0815	1,7001	1,1471
1,1533	1,8077	1,1644
1,1134	1,8242	1,174
1,1391	1,7587	1,1601
1,0079	1,5443	1,1193
1,1515	1,8181	1,1755
1,0655	1,6785	1,15
0,9901	1,5548	1,1039
1,1495	1,7745	1,1802
1,0984	1,8059	1,176
0,9494	1,459	1,0637
1,0947	1,6904	1,1114
0,983	1,488	1,0947

## Vedlegg 5.1

## Diameter og Senteravvik 120mm - 50°C

Alle resultat er oppgitt i mm

PI-reg uten Fw	
Diameter	Senteravvik
89,0726	2,9681
89,1637	3,5217
89,1829	3,3963
89,1535	3,3419
89,1569	3,1463
89,2368	3,5075
89,2154	3,7172
89,2098	3,4664
89,1764	3,6457
89,2704	3,8509
89,221	3,699
89,2455	3,978
89,1948	3,7323
89,1745	4,1312
89,1627	3,6882

PI-reg med Fw	
Diameter	Senteravvik
88,5207	2,0591
88,6895	1,6968
88,6171	2,4081
88,5645	2,0334
88,6689	1,941
88,7085	2,8434
88,605	2,1387
88,4925	1,2734
88,8094	2,2721
89,1414	2,313
89,3998	1,7689
88,3192	1,1351
87,993	1,4401
88,0486	1,0121

PI-reg med Fw og Kp2	
Diameter	Senteravvik
89,2456	0,4819
88,0157	0,9906
89,3127	0,9431
89,5499	0,6612
88,3569	1,5502
88,3369	1,8708
88,4426	1,6975
88,1799	2,0513
88,5799	0,6068
88,289	1,537
88,4013	2,0297
88,3358	1,7347
88,4555	1,3887
88,5117	1,7176
88,3672	1,5664

PI-reg med Fw og lik Wc	
Diameter	Senteravvik
88,0666	1,8045
88,1533	1,7537
87,9731	2,1405
88,5956	1,9278
88,5947	1,8406
88,579	2,0121
88,5175	2,0124
88,4974	1,9939
88,491	1,8953
88,5974	1,8882
88,4318	2,0573
89,5392	1,1778
88,5954	2,1231
88,5925	2,0362
88,4822	1,9856

PI-reg med Fw og lik Wc, Pm	
Diameter	Senteravvik
88,6712	2,3567
88,5335	1,7221
88,5193	1,9077
88,5795	2,1936
88,5509	1,9681
88,5607	2,2482
88,5755	2,1086
88,578	2,0887
88,5411	2,5519
88,6739	2,4543
88,6088	2,6612
88,5481	2,6704
88,6105	2,5663
88,5131	2,1623
88,592	2,5623

Vedlegg 5.2

PI-regulator uten Fw 120mm - 50°C

Alle resultat er oppgitt i mm

Maks avvik mellom sylinder		
MC1C2	MC1C3	MC2C3
3,0653	3,5807	4,286
3,5319	3,2064	4,9099
3,4397	5,8268	4,7472
3,3529	4,0365	4,6115
3,3474	3,6567	4,4217
3,3854	5,1161	4,6115
3,1413	3,1413	4,362
3,6133	4,4759	4,6495
3,4614	4,7092	4,7092
3,2498	3,1087	4,5844
3,2878	5,6044	4,5193
3,2986	5,7129	4,6007
3,6947	4,6278	4,9425
3,163	4,8448	4,3077
3,3095	5,2083	4,4976

Maks avvik til rampe		
MRC1	MRC2	MRC3
7,2533	6,4939	8,5065
7,2301	7,1862	8,6081
7,1948	6,9147	8,7615
7,6337	6,5429	8,7567
7,2541	6,986	8,5888
7,6771	6,6025	8,9629
7,5028	6,7119	8,7235
7,544	6,7171	8,7322
7,1636	6,7203	8,4115
7,3184	7,0177	8,5933
7,0752	6,7011	8,7993
7,2749	6,5946	8,8658
7,5462	7,0232	8,7941
7,5409	6,516	8,691
7,6939	6,5534	8,7139

Gjen. avvik mellom sylinder		
GC1C2	GC1C3	GC2C3
0,9963	0,7918	1,2073
1,1777	0,9214	1,4169
1,0788	0,7962	1,2717
1,1538	0,9108	1,4376
1,1213	0,8762	1,3606
1,0986	0,8741	1,3783
1,1711	0,8784	1,3728
1,1068	0,887	1,3685
1,1369	0,8855	1,3907
1,175	0,8895	1,4148
1,1597	0,8791	1,3942
1,1534	0,9087	1,4088
1,0887	0,804	1,3144
1,114	0,8749	1,3484
1,0913	0,8086	1,3305

Gjen.avvik til rampe		
GRC1	GRC2	GRC3
2,6461	2,3319	3,4165
3,1286	2,7697	4,0181
2,8348	2,4848	3,6179
3,0762	2,7143	3,9824
2,9987	2,6302	3,8687
2,9665	2,6283	3,8316
3,1088	2,7176	3,9755
3,0215	2,6751	3,8944
3,0969	2,715	3,9631
3,1264	2,7563	4,0008
3,1352	2,7637	4,0057
3,1658	2,7811	4,0456
2,8832	2,5255	3,6865
3,0323	2,6705	3,8798
2,9541	2,5815	3,7538

Maks avvik mellom sylinder - trykk		
MC1C2T	MC1C3T	MC2C3T
4,145	3,5807	5,089
4,7526	3,9008	5,9516
4,6766	3,8466	5,6478
4,6983	3,6024	5,3223
4,069	3,6567	5,4145
4,6061	3,5102	5,6912
4,9479	3,9225	6,0113
4,8394	3,4885	5,5284
4,4651	4,1884	6,3314
5,3223	3,9171	6,2554
4,7363	3,8357	6,3314
5,5935	3,4614	6,4399
4,872	3,342	6,0655
5,523	3,7272	6,7437
4,9913	4,2101	5,7997

Maks avvik til rampe - trykk		
MRC1T	MRC2T	MRC3T
4,1521	0	7,7329
4,173	0	8,04
3,969	0	7,8155
4,2335	0	7,8359
4,1109	0	7,7676
5,7084	0	9,0993
4,1751	0	8,0976
4,9491	0	8,4376
4,6178	0	8,474
4,1697	0	8,0868
4,3325	0	8,1682
4,9578	0	8,4192
4,5603	0	7,9023
4,9632	0	8,6904
6,0661	0	9,0826

Gjen. avvik mellom sylinder- trykk		
GC1C2T	GC1C3T	GC2C3T
1,1718	0,2013	1,3466
0,7114	0,2784	0,8842
0,7215	0,2003	0,8859
0,4094	0,1315	0,5013
0,6454	0,2691	0,8786
0,3668	0,2016	0,4672
0,8896	0,3561	1,1449
0,5939	0,1873	0,688
0,5762	0,3726	0,8401
0,9121	0,2704	1,0866
0,5288	0,3278	0,7493
0,9101	0,2231	1,0392
0,3548	0,2348	0,5048
0,56	0,2575	0,7154
0,7871	0,2973	0,9416

Gjen.avvik til rampe- trykk		
GRC1T	GRC2T	GRC3T
0,0384	0	0,0759
0,1155	0	0,2415
0,0392	0	0,2127
0,0458	0	0,0898
0,0431	0	0,0866
0,145	0	0,2555
0,1148	0	0,2405
0,1349	0	0,242
0,1227	0	0,2494
0,1074	0	0,2251
0,1208	0	0,2437
0,1359	0	0,2496
0,1199	0	0,2128
0,1313	0	0,2463
0,2197	0	0,3905



Vedlegg 5.3

PI-regulator med Fw 120mm - 50°C

Alle resultat er oppgitt i mm

Maks avvik mellom sylinder		
MC1C2	MC1C3	MC2C3
3,3257	3,0707	6,2717
3,4288	2,6964	6,0384
3,7977	2,5987	6,3856
3,304	2,6747	5,3765
3,3474	2,7778	5,5176
3,0328	3,0328	5,6858
3,5916	2,6204	6,0004
3,2552	2,5987	5,7943
3,6133	2,6638	5,8214
3,304	2,4902	5,4904
3,1576	2,2624	4,8937
3,5916	2,398	5,778
3,1955	3,2878	5,8214
3,4668	2,615	5,6098

Maks avvik til rampe		
MRC1	MRC2	MRC3
3,5334	2,9798	6,4777
3,5563	3,0389	6,0539
3,51	2,9314	6,1088
3,3461	3,1708	5,865
3,3752	3,1574	6,153
3,7216	3,0388	6,0165
3,8864	3,1057	6,2953
3,5158	3,1573	6,1146
3,4153	3,3521	5,6362
3,7494	2,7077	6,016
3,8133	2,9249	5,8206
3,7693	3,2902	5,9557
3,5704	2,9289	6,397
3,745	2,8807	5,7567

Gjen. avvik mellom sylinder		
GC1C2	GC1C3	GC2C3
1,1304	0,9401	1,3391
1,2205	0,9992	1,4668
1,196	0,997	1,4416
1,1923	1,0055	1,3971
1,1238	0,9309	1,3209
1,1851	1,0069	1,4131
1,2141	1,0069	1,5088
1,2063	1,0002	1,4589
1,1901	0,987	1,4147
1,1664	0,9438	1,4305
1,2194	0,9636	1,4609
1,2229	0,9892	1,4898
1,1753	1,0628	1,4412
1,1856	0,9741	1,4501

Gjen.avvik til rampe		
GRC1	GRC2	GRC3
0,8472	0,7559	1,5017
0,8888	0,832	1,6171
0,8921	0,808	1,5982
0,87	0,7815	1,5649
0,8185	0,7595	1,4577
0,878	0,8015	1,5772
0,9139	0,8591	1,6391
0,8828	0,8381	1,6058
0,876	0,8046	1,5746
0,8972	0,786	1,5984
0,9231	0,8111	1,6504
0,9107	0,8554	1,6519
0,8629	0,8111	1,6134
0,9055	0,8018	1,6128

Maks avvik mellom sylinder - trykk		
MC1C2T	MC1C3T	MC2C3T
3,5807	1,5462	2,0833
2,9731	1,4269	1,5462
4,1938	1,9314	2,2624
3,5536	1,6927	1,8609
3,342	1,237	2,1105
4,9479	2,3275	2,6204
3,7381	1,8175	1,9206
2,2244	1,4648	0,765
3,9714	2,3709	1,6113
4,0419	2,0074	2,0833
3,1033	1,6493	1,5571
1,9585	0,8464	1,2967
2,4685	0,7541	1,7361
1,7849	0,7541	1,0308

Maks avvik til rampe - trykk		
MRC1T	MRC2T	MRC3T
1,6049	0	1,3872
1,6092	0	1,9455
1,2522	0	1,2191
0,4222	1,9455	1,4399
1,9499	0	1,155
1,2462	0	1,3059
1,5677	0	1,2636
0,9398	0	0,9561
2,0866	0	1,8479
1,1491	0	1,512
1,3119	0	1,3384
1,1008	0	0,5796
0,6093	0	0,7503
1,661	0	1,7804

Gjen. avvik mellom sylinder- trykk		
GC1C2T	GC1C3T	GC2C3T
0,4001	0,1903	0,2289
0,3583	0,1827	0,1847
0,5642	0,2634	0,3093
0,4151	0,1968	0,2236
0,3353	0,1421	0,2227
0,6371	0,2985	0,3418
0,2656	0,1428	0,1424
0,381	0,2593	0,1336
0,5753	0,3589	0,2283
0,5307	0,2751	0,2702
0,093	0,0748	0,0411
0,1953	0,0738	0,1292
0,1008	0,0296	0,0725
0,5366	0,238	0,3056

Gjen.avvik til rampe- trykk		
GRC1T	GRC2T	GRC3T
0,0195	0	0,0205
0,0212	0	0,0254
0,017	0	0,0175
0,0028	0,0883	0,0188
0,0228	0	0,0187
0,017	0	0,0174
0,0216	0	0,0233
0,0057	0	0,0058
0,0441	0	0,044
0,0185	0	0,0213
0,0204	0	0,0236
0,0071	0	0,003
0,0031	0	0,0038
0,0213	0	0,0243

Vedlegg 5.4

PI-regulator med Fw og Kp2 120mm - 50°C

Alle resultat er oppgitt i mm

Maks avvik mellom sylinder		
MC1C2	MC1C3	MC2C3
3,4993	2,6855	6,1198
3,304	2,691	5,4959
3,2389	2,7723	5,9191
3,3203	2,615	5,485
3,4939	2,8429	5,8974
3,7218	2,2461	5,8756
3,4831	2,4631	5,4905
3,8249	2,5662	5,6641
3,4831	2,4414	5,6369
3,0979	2,6422	5,3874
4,5519	2,4251	6,0004
3,9931	3,9225	5,6152
3,4342	2,7832	5,8919
3,4288	2,5662	5,6532
3,6567	2,3383	5,9408

Maks avvik til rampe		
MRC1	MRC2	MRC3
3,6614	3,8119	6,3198
3,6351	3,1363	5,827
3,6457	3,1745	6,2173
3,6722	3,4701	5,978
3,4901	4,6084	6,2461
3,7584	3,2386	5,9828
3,325	5,1357	5,7881
3,4619	4,1767	5,6613
3,4912	3,4241	5,7427
3,4492	3,1756	6,0913
3,7156	3,9584	6,1407
3,6077	3,938	5,8592
3,7861	2,8717	6,4988
3,6408	3,4828	5,9683
3,753	2,9566	6,0913

Gjen. avvik mellom sylinder		
GC1C2	GC1C3	GC2C3
1,2834	1,1554	1,5362
1,2783	1,0714	1,4893
1,216	1,0797	1,5047
1,2017	1,0165	1,4793
1,351	1,159	1,5804
1,2878	1,0363	1,4978
1,3681	1,0787	1,6114
1,3678	1,1026	1,6626
1,1982	1,0327	1,4731
1,2857	1,0408	1,5427
1,306	1,0549	1,6224
1,3205	1,1313	1,5612
1,2464	1,0369	1,4302
1,279	1,091	1,5024
1,3563	1,0932	1,6098

Gjen.avvik til rampe		
GRC1	GRC2	GRC3
0,9019	0,8221	1,5921
0,8982	0,8214	1,6099
0,6385	0,6085	1,1583
0,8937	0,8196	1,6098
0,8738	0,7947	1,5619
0,8234	0,7399	1,4783
0,7776	0,766	1,403
0,872	0,8125	1,5926
0,868	0,8239	1,5717
0,8626	0,8116	1,5397
0,9176	0,8454	1,6322
0,8796	0,7965	1,5781
0,9005	0,8195	1,6462
0,8719	0,8097	1,5919
0,8977	0,8175	1,5891

Maks avvik mellom sylinder - trykk		
MC1C2T	MC1C3T	MC2C3T
2,0671	0,4557	1,6113
1,7524	0,7758	1,0308
1,5082	0,6185	0,9983
0,2387	0,727	0,5859
2,7669	1,5028	1,3346
3,2769	1,3997	1,8772
2,9785	1,2587	1,7632
3,5916	1,7361	1,9043
2,7669	1,3509	1,416
2,691	1,2207	1,5951
3,521	1,3618	2,181
3,0436	1,8826	1,2587
2,4468	1,3943	1,0525
3,0219	1,3997	1,6547
2,7398	1,1827	1,5571

Maks avvik til rampe - trykk		
MRC1T	MRC2T	MRC3T
0,7557	0	0,6852
0,688	0	0,5362
1,2197	0	1,3493
1,7695	0	1,4415
1,0971	0	1,2879
0,8221	0	0,9523
0,6082	0	1,2299
1,2305	0	1,1702
1,6526	0	1,7448
1,8335	0	1,329
1,6122	0	1,4361
0,747	0	1,3661
0,679	0	0,8255
0,6349	0	0,4384
1,7749	0	2,1493

Gjen. avvik mellom sylinder- trykk		
GC1C2T	GC1C3T	GC2C3T
0,0429	0,0149	0,0286
0,1147	0,0514	0,0698
0,0322	0,0227	0,0236
0,0187	0,0286	0,0254
0,0982	0,0647	0,0418
0,2768	0,1124	0,1659
0,2063	0,0946	0,1204
0,321	0,1614	0,1728
0,0389	0,0274	0,0159
0,21	0,1063	0,1223
0,2057	0,0898	0,1406
0,2469	0,1566	0,0969
0,3494	0,1996	0,1547
0,1283	0,0583	0,0738
0,2042	0,0993	0,1146

Gjen.avvik til rampe- trykk		
GRC1T	GRC2T	GRC3T
0,0039	0	0,0035
0,0045	0	0,0028
0,017	0	0,0183
0,0224	0	0,0207
0,0162	0	0,0172
0,0049	0	0,0059
0,0042	0	0,0198
0,0196	0	0,0216
0,0212	0	0,0222
0,0237	0	0,0235
0,0217	0	0,0244
0,0039	0	0,0242
0,0045	0	0,0049
0,0033	0	0,0029
0,0231	0	0,0311

## Vedlegg 5.5

## PI-regulator med Fw og lik Wc 120mm - 50°C

Alle resultat er oppgitt i mm

Maks avvik mellom sylinder		
MC1C2	MC1C3	MC2C3
3,0382	3,8303	4,8991
3,0382	3,2335	4,579
3,1847	1,9911	4,9099
3,2715	3,814	5,051
3,2823	3,6024	4,8937
3,2769	1,9694	4,8937
3,2335	1,9911	4,9805
3,2227	1,8934	4,617
3,125	4,0473	4,6387
3,2064	2,0671	4,9154
3,2878	1,8934	5,0673
3,1141	1,8609	4,8503
3,3203	1,9477	4,9425
3,304	2,0454	4,8503
3,1847	3,7977	5,0618

Maks avvik til rampe		
MRC1	MRC2	MRC3
6,0379	5,6808	6,4349
5,8809	5,7301	6,3258
6,0443	5,604	6,2342
5,8658	5,6714	6,1691
6,0132	5,618	6,3116
6,0169	5,5913	6,3266
6,0156	5,6603	6,8671
6,0292	5,5942	6,643
5,9153	5,6973	6,5826
6,0603	5,6371	6,3749
5,9195	5,7179	6,3101
5,9055	5,6922	6,3992
5,956	5,5792	6,6684
5,9255	5,6769	6,5218
5,7389	5,6263	6,2378

Gjen. avvik mellom sylinder		
GC1C2	GC1C3	GC2C3
1,2509	0,5957	1,3768
1,264	0,6131	1,4085
1,2568	0,5435	1,4009
1,2331	0,5822	1,3766
1,2609	0,5796	1,4157
1,2279	0,5522	1,3651
1,2573	0,5926	1,4015
1,2928	0,5898	1,4443
1,2844	0,5926	1,4317
1,2685	0,5621	1,431
1,2712	0,5571	1,4093
1,2168	0,53	1,353
1,2597	0,579	1,411
1,2567	0,5956	1,4213
1,2589	0,6051	1,387

Gjen.avvik til rampe		
GRC1	GRC2	GRC3
1,8318	1,9128	1,7183
1,8869	1,9046	1,7563
1,8885	1,9385	1,778
1,8531	1,9058	1,743
1,862	1,9249	1,7471
1,8038	1,8466	1,6933
1,8953	1,938	1,7918
1,9166	1,957	1,8088
1,8749	1,9447	1,7925
1,8736	1,9232	1,7625
1,8756	1,9574	1,7829
1,8224	1,8804	1,7133
1,8934	1,9414	1,7714
1,8963	1,9428	1,7704
1,8568	1,9022	1,7465

Maks avvik mellom sylinder - trykk		
MC1C2T	MC1C3T	MC2C3T
2,5282	2,105	2,8537
2,5282	1,8555	2,8049
3,1141	2,143	3,2823
2,9785	1,6819	2,8754
2,7615	2,105	2,9839
3,0002	1,9151	3,0599
3,0599	1,9531	2,9514
2,8754	1,888	3,087
2,6042	2,3058	3,0382
2,8212	2,0508	2,832
3,0056	2,2244	3,1684
0	2,1864	0
3,1738	1,8012	3,1955
3,087	1,7687	3,0707
3,049	1,9206	2,8754

Maks avvik til rampe - trykk		
MRC1T	MRC2T	MRC3T
3,8098	0	1,7048
2,5358	0	1,816
3,4256	0	1,4063
2,6064	0	1,499
2,9073	0	1,4298
2,7879	0	1,6292
3,0542	0	1,3829
2,5442	0	2,1262
3,9929	0	2,3567
3,1627	0	1,2202
3,4093	0	1,2706
3,4735	0	1,287
2,601	0	1,6618
2,677	0	1,5858
3,0814	0	1,2853

Gjen. avvik mellom sylinder- trykk		
GC1C2T	GC1C3T	GC2C3T
0,1264	0,0973	0,168
0,143	0,0814	0,165
0,3881	0,1068	0,4442
0,1601	0,0641	0,161
0,0856	0,0833	0,1038
0,2173	0,0723	0,2318
0,4521	0,0829	0,4521
0,2576	0,0793	0,2856
0,235	0,1497	0,2795
0,3336	0,0779	0,3517
0,204	0,1036	0,2437
0	0,0844	0
0,1681	0,0711	0,179
0,1545	0,0715	0,1611
0,3368	0,0842	0,3358

Gjen.avvik til rampe- trykk		
GRC1T	GRC2T	GRC3T
0,0826	0	0,0275
0,0499	0	0,0237
0,0752	0	0,0227
0,0542	0	0,0236
0,0666	0	0,0218
0,0585	0	0,0233
0,074	0	0,0246
0,0388	0	0,0563
0,1113	0	0,0545
0,0761	0	0,0224
0,0793	0	0,0233
0,0806	0	0,038
0,0537	0	0,022
0,0561	0	0,0221
0,0709	0	0,0229

## Vedlegg 5.6

## PI-regulator med Fw og lik Wc og Pm 120mm - 50°C

Alle resultat er oppgitt i mm

Maks avvik mellom sylinder		
MC1C2	MC1C3	MC2C3
3,597	2,3329	4,286
3,9334	2,002	4,6875
3,4939	2,8212	4,617
3,7001	1,9369	4,2806
3,6079	3,1196	4,324
3,8303	2,0833	4,3945
3,7435	2,9297	4,324
3,9497	2,6313	4,1667
3,8249	2,0833	4,1124
3,7923	2,0508	4,0365
3,7923	2,0454	4,2046
4,031	2,6204	4,1938
3,6892	2,7724	4,2318
3,852	1,8066	4,6712
4,0419	2,0237	4,7146

Maks avvik til rampe		
MRC1	MRC2	MRC3
5,0746	5,3301	6,7185
4,983	5,4243	6,9731
4,8562	5,3634	6,4229
4,9444	5,4498	6,7532
4,738	5,4894	6,1656
4,8832	5,2257	6,4134
4,6285	5,4683	6,3695
4,862	5,4575	6,2881
4,8613	5,3473	6,2378
4,8127	5,5063	6,446
4,8667	5,3659	6,3044
4,9592	5,3544	6,6248
5,0023	5,3767	6,6176
4,6443	5,5131	6,2245
4,8421	5,4209	6,4589

Gjen. avvik mellom sylinder		
GC1C2	GC1C3	GC2C3
1,0965	0,67	1,221
1,2056	0,7299	1,2736
1,285	0,806	1,3952
1,1141	0,6738	1,2091
1,279	0,7813	1,3995
1,2877	0,7997	1,4043
1,301	0,8542	1,4183
1,269	0,7747	1,3536
1,2902	0,7769	1,4034
1,2806	0,8113	1,439
1,2932	0,788	1,3979
1,2497	0,8032	1,3891
1,2707	0,7931	1,3904
1,2732	0,7742	1,3769
1,2388	0,7916	1,3674

Gjen.avvik til rampe		
GRC1	GRC2	GRC3
1,173	1,5627	1,5065
1,2551	1,6945	1,6475
1,3431	1,8014	1,7711
1,1695	1,565	1,5095
1,3306	1,78	1,754
1,3613	1,7998	1,7733
1,3651	1,8165	1,7921
1,3244	1,7817	1,7264
1,3647	1,7975	1,7649
1,3455	1,817	1,772
1,368	1,8114	1,8131
1,3235	1,7467	1,7181
1,3553	1,7926	1,7898
1,3282	1,7881	1,7391
1,3154	1,7387	1,751

Maks avvik mellom sylinder - trykk		
MC1C2T	MC1C3T	MC2C3T
3,7598	1,8229	3,5645
2,8483	1,7849	2,5119
3,2064	1,0525	2,6042
3,6133	1,5679	3,1793
3,2715	1,5788	2,6964
3,6892	2,0833	3,3474
3,4125	2,3872	3,3312
3,4288	2,0888	3,0979
4,1612	2,0833	3,6784
3,8846	1,9857	3,5645
4,3728	1,9368	3,7164
4,4271	1,8012	3,4722
4,1829	2,1159	3,6838
3,5807	1,7198	2,9297
4,248	1,9857	3,3203

Maks avvik til rampe - trykk		
MRC1T	MRC2T	MRC3T
1,0917	0	1,5592
1,9692	0	0,9558
0,568	0	1,6205
1,0591	0	1,3368
1,3724	0	2,1994
1,5669	0	1,3564
1,6484	0	1,5728
1,7513	0	1,4534
1,4259	0	1,4914
1,4964	0	1,6053
1,2957	0	1,4751
1,3173	0	1,3239
1,4748	0	1,4751
1,6895	0	2,109
1,9021	0	2,9167

Gjen. avvik mellom sylinder- trykk		
GC1C2T	GC1C3T	GC2C3T
0,3826	0,071	0,3525
0,6443	0,1658	0,5314
0,4441	0,1219	0,3336
0,2084	0,0516	0,1795
0,285	0,1	0,2257
0,7621	0,1845	0,6291
0,4256	0,1039	0,3824
0,422	0,1161	0,3596
0,8722	0,1909	0,7325
0,1323	0,0599	0,1421
0,5127	0,1323	0,438
1,0034	0,2626	0,7862
0,4953	0,1198	0,431
0,7566	0,2093	0,5893
0,5445	0,1652	0,4195

Gjen.avvik til rampe- trykk		
GRC1T	GRC2T	GRC3T
0,0059	0	0,0101
0,0167	0	0,0055
0,0042	0	0,0241
0,0057	0	0,0081
0,0237	0	0,0351
0,0118	0	0,0096
0,0127	0	0,0119
0,0149	0	0,0112
0,0103	0	0,0109
0,012	0	0,0134
0,009	0	0,019
0,0089	0	0,009
0,0107	0	0,019
0,0293	0	0,0311
0,0326	0	0,0603

## Vedlegg 6.1

## Diameter og Senteravvik

Alle resultat er oppgitt i mm

Ø139mm 10mm eksentrisk	
Diameter	Senteravvik
139,7764	0,9902
139,774	0,7985
139,7511	0,9914
139,8269	0,9815
139,7446	0,7636
139,8962	1,0234
139,662	0,8126
139,8105	1,094
139,7522	0,7904
139,8453	1,0004
139,7278	0,8719
139,7822	1,1352
139,6618	0,7942
139,7668	1,0764
139,7904	0,9555

Ø139mm 10mm eksentrisk	
Diameter	Senteravvik
139,8716	0,8025
139,8482	0,6396
139,8297	0,5942
139,846	0,7808
139,8542	0,4943
139,857	0,7982
139,8484	0,6536
139,8375	0,9633
139,9114	0,8038
139,8529	0,7474
139,9081	0,8373
139,8284	1,086
139,8596	0,6992
139,8677	0,7771
139,894	0,8632

Ø179mm 1mm eksentrisk	
Diameter	Senteravvik
177,9466	0,9032
178,0714	1,0616
177,9626	1,0339
177,9027	1,1681
177,9597	1,1011
178,036	1,1248
177,8622	1,1138
177,9481	1,0356
177,8993	1,1816
178,0027	1,0645
177,9559	1,0755
177,9556	1,057
177,919	1,0217
177,8921	1,1832
177,8633	1,1944

Ø179mm 10mm eksentrisk	
Diameter	Senteravvik
177,6953	1,747
177,6463	1,1981
177,7583	1,636
177,8337	1,6076
177,6423	1,411
177,7899	1,7776
177,6753	1,3095
177,7859	1,3481
177,8237	1,6533
177,6948	1,5243
177,8339	1,6175
177,8025	1,6828
177,6406	1,727
177,6587	1,5318
177,6888	1,7854

## Vedlegg 6.2

## Rørdiameter på 139mm med 10mm eksentrisitet

Alle resultat er oppgitt i mm

Maks avvik mellom sylinder		
MC1C2	MC1C3	MC2C3
3,5211	3,163	4,6115
3,8032	1,9423	4,7201
3,5862	1,9423	4,5953
3,7326	2,946	4,8557
3,6784	2,1973	4,9967
3,8954	2,0562	4,3728
3,9008	2,0562	4,7852
3,9063	2,5336	4,8231
3,8683	2,0671	4,503
3,9497	2,0888	4,1938
3,7435	2,1159	4,975
3,852	2,9622	4,9208
3,8954	2,0182	4,5953
3,8845	1,9911	5,051
3,7164	2,1267	4,9533

Maks avvik til rampe		
MRC1	MRC2	MRC3
4,3455	5,1434	6,6893
4,5163	5,0041	6,0245
4,1473	5,1234	5,7424
4,1302	5,1505	6,3872
4,5163	5,3333	6,3989
4,4001	4,9749	6,151
4,3612	5,0677	6,0594
4,3567	4,9641	5,9991
4,3625	4,9778	6,233
4,4127	4,9459	6,0425
4,2225	5,0903	6,1105
4,0543	4,9591	6,1322
4,2487	4,883	6,1964
4,012	5,036	5,7807
4,0923	4,9374	6,0074

Gjen. avvik mellom sylinder		
GC1C2	GC1C3	GC2C3
0,7609	0,5044	0,8853
1,2063	0,7823	1,3873
0,9765	0,6365	1,1058
1,1966	0,8276	1,3266
1,2046	0,8197	1,3697
0,8721	0,6101	1,0136
1,2011	0,7868	1,3945
1,1257	0,7866	1,3015
1,1677	0,764	1,2966
1,2143	0,8252	1,3878
1,2071	0,8162	1,3762
1,1534	0,8194	1,3027
1,2043	0,8169	1,3591
1,2178	0,8435	1,3972
1,213	0,8294	1,4001

Gjen.avvik til rampe		
GRC1	GRC2	GRC3
0,6834	0,9368	0,9003
1,0754	1,4532	1,4389
0,8759	1,1848	1,1633
1,0574	1,4544	1,4346
1,0766	1,4461	1,4515
0,7845	1,0362	1,0833
1,0697	1,4549	1,425
0,9962	1,3376	1,3723
1,0297	1,4015	1,3904
1,0706	1,4343	1,4774
1,0559	1,4707	1,4258
1,0081	1,3793	1,3799
1,0409	1,4125	1,4366
1,0618	1,4549	1,451
1,0846	1,4557	1,4587

Maks avvik mellom sylinder - trykk		
MC1C2T	MC1C3T	MC2C3T
1,3238	1,7849	0,5697
1,161	1,3184	0,3689
1,1285	1,7632	0,8192
0,9874	1,7415	0,8735
0,9494	1,3401	0,5805
1,2533	1,7849	0,5751
1,1448	1,3997	0,6999
1,1502	1,9314	0,8138
0,6565	1,4106	1,2533
1,161	1,747	0,5968
0,8843	1,5462	0,8572
0,7596	1,9803	1,3455
0,8247	1,4106	0,6022
0,8192	1,8934	1,1936
1,0525	1,6819	0,765

Maks avvik til rampe - trykk		
MRC1T	MRC2T	MRC3T
2,1059	0	3,8909
2,0606	0	3,3572
2,0226	0	3,7858
2,1419	0	3,8455
2,1148	0	3,4549
0	3,0662	0
2,1099	0	3,5097
0	2,7496	0
2,1425	0	3,5259
0	2,8364	0
2,2667	0	3,7316
2,1908	0	4,0896
0	2,1711	0
1,9141	0	3,7099
1,7622	0	3,3193

Gjen. avvik mellom sylinder- trykk		
GC1C2T	GC1C3T	GC2C3T
0,1892	0,2583	0,0537
0,1796	0,2215	0,0281
0,0909	0,1649	0,0531
0,146	0,2829	0,114
0,232	0,3425	0,0977
0,1932	0,2822	0,089
0,1923	0,252	0,0413
0,2843	0,4771	0,1928
0,1276	0,3018	0,1607
0,1636	0,2457	0,0821
0,1463	0,2796	0,114
0,1062	0,3065	0,1757
0,158	0,2705	0,1125
0,1181	0,3012	0,1588
0,1349	0,2366	0,0844

Gjen.avvik til rampe- trykk		
GRC1T	GRC2T	GRC3T
0,0125	0	0,0305
0,0179	0	0,0344
0,015	0	0,0377
0,0201	0	0,0469
0,0186	0	0,0356
0	0,0253	0
0,0197	0	0,042
0	0,0247	0
0,0183	0	0,0353
0	0,0312	0
0,0222	0	0,0454
0,02	0	0,0487
0	0,0189	0
0,0167	0	0,0452
0,0143	0	0,0342

## Vedlegg 6.3

## Rørdiameter på 139mm med 10mm eksentrisitet

Alle resultat er oppgitt i mm

Maks avvik mellom sylinder		
MC1C2	MC1C3	MC2C3
3,8194	2,1105	4,8503
3,9117	2,832	4,7526
3,7598	1,9803	4,6549
3,7489	2,36	5,1215
3,673	2,6476	4,8448
3,9768	2,2569	4,4705
3,9551	2,0562	4,9208
3,852	2,7235	4,7201
3,8683	2,1701	4,4759
4,0093	1,9585	4,8286
3,7109	2,2244	4,6658
4,0744	2,2244	4,9425
3,673	2,0833	4,9479
4,2697	2,2027	4,5193
3,8683	3,0056	5,0944

Maks avvik til rampe		
MRC1	MRC2	MRC3
4,4082	4,83	6,2419
4,6174	5,1416	6,2344
4,5274	5,0715	6,1244
4,6022	5,1066	6,653
4,6194	4,9646	6,1005
4,59	4,8916	6,4731
4,4341	5,0957	6,1593
4,4623	5,1692	5,9508
4,5575	4,9188	6,5219
4,7108	5,036	6,6476
4,4841	4,8246	6,5591
4,4598	5,257	6,5323
4,4124	5,0794	6,1322
4,4869	5,0129	6,2773
4,1333	5,0661	6,5693

Gjen. avvik mellom sylinder		
GC1C2	GC1C3	GC2C3
1,2278	0,8165	1,4335
1,1906	0,8455	1,3698
1,2303	0,8693	1,3873
1,2359	0,884	1,4104
1,2467	0,9192	1,448
1,2331	0,9029	1,3671
0,7618	0,5552	0,878
1,2638	0,9036	1,4202
1,1762	0,883	1,3847
1,207	0,8439	1,3589
1,2136	0,8924	1,4328
1,1106	0,8539	1,3013
1,1438	0,8186	1,3441
1,0888	0,7975	1,237
1,1865	0,9296	1,3483

Gjen.avvik til rampe		
GRC1	GRC2	GRC3
1,0973	1,4442	1,4871
1,1017	1,4394	1,5185
1,1188	1,4572	1,5385
1,1035	1,4862	1,507
1,1171	1,479	1,5281
1,1168	1,4454	1,5437
0,6776	0,9127	0,938
1,1376	1,5011	1,563
1,0684	1,4019	1,498
1,0812	1,4353	1,4846
1,0699	1,442	1,4776
1,001	1,325	1,4112
1,0398	1,3729	1,4205
0,9821	1,3101	1,3568
1,0591	1,421	1,494

Maks avvik mellom sylinder - trykk		
MC1C2T	MC1C3T	MC2C3T
0,1194	1,8338	1,4648
0,5154	1,5571	1,0688
0,7813	1,6059	0,9386
0,2062	1,8283	1,275
0,0651	1,3401	0,8681
0,5642	1,2044	1,4323
1,0959	1,7415	0,8898
0,9983	2,2841	1,3672
0,4015	1,3997	1,4811
0,1302	1,9585	1,0959
0,3635	1,8392	1,5734
0,6402	1,8826	1,8609
0,1139	1,7036	1,1285
0,4069	1,6819	1,275
0,5914	2,0128	1,4323

Maks avvik til rampe - trykk		
MRC1T	MRC2T	MRC3T
2,1982	0	4,0319
0	2,6416	0
0	2,6476	0
2,3156	0	4,1439
2,2125	0	3,5525
0	1,9521	0
1,7459	0	3,4875
0	2,392	0
0	2,028	0
1,7568	0	3,7153
2,2741	0	4,1133
0	2,209	0
1,8382	0	3,5417
0	2,1528	0
0	2,2889	0

Gjen. avvik mellom sylinder- trykk		
GC1C2T	GC1C3T	GC2C3T
0,0227	0,2619	0,2654
0,0431	0,1473	0,1795
0,0133	0,1202	0,1157
0,0263	0,1716	0,1725
0,0069	0,1105	0,1018
0,1176	0,1799	0,2976
0,0213	0,1089	0,0748
0,0301	0,1536	0,1235
0,0481	0,1291	0,1771
0,0184	0,2424	0,1988
0,0788	0,26	0,3207
0,1215	0,2508	0,3719
0,021	0,2157	0,2202
0,0454	0,2254	0,2615
0,0828	0,318	0,39

Gjen.avvik til rampe- trykk		
GRC1T	GRC2T	GRC3T
0,0198	0	0,0433
0	0,0281	0
0	0,0289	0
0,0233	0	0,0527
0,0203	0	0,0377
0	0,0174	0
0,0088	0	0,0227
0	0,0233	0
0	0,018	0
0,0141	0	0,0449
0,0206	0	0,044
0	0,0195	0
0,0144	0	0,035
0	0,0173	0
0	0,0223	0

## Vedlegg 6.4

## Rørdiameter på 179mm med 1mm eksentrisitet

Alle resultat er oppgitt i mm

Maks avvik mellom sylinder		
MC1C2	MC1C3	MC2C3
3,5536	2,4794	4,7255
4,0039	2,2841	4,8882
3,9442	2,5336	4,8394
3,8032	2,2895	4,6984
3,7869	2,436	4,6875
3,6296	2,398	4,8123
3,9822	2,5608	4,8448
3,89	2,3329	4,6061
3,5645	2,5662	4,9099
3,89	2,3112	5,0022
3,7164	2,3058	4,9588
3,8791	2,3709	4,4759
3,9225	2,3926	4,6821
3,8357	2,2569	4,6712
3,6784	2,4468	4,872

Maks avvik til rampe		
MRC1	MRC2	MRC3
3,4599	4,8137	5,0015
3,6491	5,3113	4,89
3,6554	4,8653	4,8847
3,6546	5,1485	4,7556
3,6848	5,0457	5,0253
3,4726	4,97	4,8125
3,6546	5,1687	4,9279
3,7386	5,2388	4,7393
3,4219	4,97	4,6107
3,4166	5,2017	4,9416
3,4166	5,0306	5,0718
3,6836	5,1142	4,8241
3,777	5,0056	5,0036
3,3641	4,9646	4,9373
3,306	5,1066	4,8928

Gjen. avvik mellom sylinder		
GC1C2	GC1C3	GC2C3
0,9993	0,762	1,2278
1,0054	0,7834	1,2427
0,9958	0,752	1,238
1,0052	0,8015	1,2511
1,0538	0,7937	1,3031
1,0578	0,7912	1,2712
1,0538	0,8197	1,2448
0,9988	0,76	1,2776
1,0603	0,8062	1,3165
1,0439	0,7691	1,249
1,093	0,8132	1,2934
1,0507	0,7964	1,3473
1,0591	0,8109	1,3177
1,0208	0,7711	1,2309
1,0479	0,8289	1,2843

Gjen.avvik til rampe		
GRC1	GRC2	GRC3
0,9069	1,2299	1,1007
0,9174	1,2531	1,1334
0,9017	1,2253	1,0998
0,912	1,2714	1,1439
0,9755	1,307	1,1556
0,9489	1,3364	1,1455
0,95	1,3291	1,1738
0,9321	1,2931	1,1147
0,9601	1,3453	1,1553
0,9339	1,2909	1,1384
0,9728	1,3759	1,2065
0,9629	1,3371	1,1796
0,9744	1,3104	1,1649
0,9015	1,2869	1,0904
0,9338	1,3248	1,1558

Maks avvik mellom sylinder - trykk		
MC1C2T	MC1C3T	MC2C3T
0,1682	1,6656	1,4431
0,1085	1,6602	1,5517
0,0163	1,6819	1,4757
0,0814	1,888	1,926
0,0271	1,6113	1,5679
0,3418	1,9857	1,8826
0,2116	1,6981	1,7632
0,0326	1,8066	1,8229
0,6565	2,0345	1,6819
0,5642	1,964	1,4811
0,2496	1,9911	1,8934
0,0814	1,671	1,6113
0,0543	1,6819	1,6276
0,4178	2,2569	2,0508
0,2604	2,2569	2,0996

Maks avvik til rampe - trykk		
MRC1T	MRC2T	MRC3T
0,8491	0	2,2385
0	1,4335	0
0,8096	0	2,4915
0	0,9093	0
1,104	0	2,7153
0	1,6597	0
0	1,325	0
1,1009	0	2,7881
0	2,0566	0
0	2,004	0
0	1,5646	0
1,1523	0	2,8016
1,066	0	2,6936
0	1,5837	0
0	1,5592	0

Gjen. avvik mellom sylinder- trykk		
GC1C2T	GC1C3T	GC2C3T
0,0399	0,3385	0,3611
0,0019	0,0333	0,0315
0,0002	0,038	0,015
0,0178	0,4546	0,4722
0,0014	0,2609	0,2407
0,0292	0,1839	0,2042
0,0488	0,3808	0,4296
0,0017	0,3643	0,3403
0,0124	0,2693	0,2569
0,0162	0,0902	0,0739
0,0355	0,2473	0,2777
0,0062	0,2002	0,1669
0,0021	0,1357	0,1113
0,0396	0,2828	0,3098
0,0212	0,2426	0,2572

Gjen.avvik til rampe- trykk		
GRC1T	GRC2T	GRC3T
0,0066	0	0,0212
0	0,0116	0
0,0065	0	0,0244
0	0,0066	0
0,0081	0	0,0294
0	0,015	0
0	0,0117	0
0,0107	0	0,0333
0	0,021	0
0	0,0192	0
0	0,0143	0
0,0111	0	0,0343
0,0079	0	0,0293
0	0,0126	0
0	0,0136	0



Vedlegg 6.5

Rørdiameter på 179mm med 10mm eksentrisitet

Alle resultat er oppgitt i mm

Maks avvik mellom sylinder		
MC1C2	MC1C3	MC2C3
4,1612	2,2027	4,7472
4,0907	2,2786	4,4813
3,7815	2,2841	4,3132
3,8032	2,5553	4,9262
4,0907	2,3275	4,5519
3,8845	2,5119	4,3728
3,9497	2,474	4,8828
4,0093	2,5553	5,1215
3,8249	2,7778	5,013
4,4271	2,3112	4,9696
3,7543	2,7669	5,1649
4,0582	2,8483	5,1541
4,1504	2,8646	4,8231
4,1395	2,5716	4,9859
4,0473	2,9026	4,3294

Maks avvik til rampe		
MRC1	MRC2	MRC3
3,7549	5,3039	5,4199
3,6088	5,1379	4,69
3,4406	4,9698	5,2455
3,4943	4,97	4,8939
3,7866	5,201	4,6777
3,4895	4,9698	5,3757
3,5413	4,8599	4,8615
3,44	4,9935	4,8451
3,4166	5,1011	4,7843
3,8204	5,2823	5,0959
3,4166	5,0849	4,8114
3,5346	5,3694	4,9222
3,6546	5,3384	4,9968
3,6898	5,1268	5,0022
3,6456	5,1142	5,2261

Gjen. avvik mellom sylinder		
GC1C2	GC1C3	GC2C3
1,0592	0,7477	1,3062
1,0171	0,6983	1,2576
0,983	0,6568	1,1685
1,0458	0,7517	1,2372
1,0104	0,7274	1,2523
1,0161	0,7016	1,2421
0,955	0,7123	1,1538
1,0548	0,7731	1,2753
1,0089	0,7188	1,1797
1,0781	0,7574	1,3403
0,2635	0,189	0,3135
1,0549	0,781	1,2923
1,0538	0,7651	1,2709
1,0968	0,8399	1,319
1,0255	0,7294	1,2554

Gjen.avvik til rampe		
GRC1	GRC2	GRC3
0,9556	1,3211	1,1657
0,9173	1,267	1,0828
0,8716	1,1969	1,0243
0,9368	1,3001	1,1347
0,9177	1,2556	1,0725
0,9048	1,2702	1,0843
0,8592	1,1739	1,0274
0,9364	1,2934	1,1256
0,8802	1,2347	1,0655
0,9528	1,3314	1,151
0,2221	0,3199	0,2692
0,9227	1,303	1,1588
0,9043	1,3038	1,1348
0,969	1,3347	1,1981
0,9221	1,2794	1,0939

Maks avvik mellom sylinder - trykk		
MC1C2T	MC1C3T	MC2C3T
0,5968	2,8917	2,3275
0,3364	1,9803	1,633
0,3418	2,6259	2,2895
1,0471	2,6747	2,0779
0,4829	2,3438	1,8609
0,4883	2,8971	2,4197
1,1285	2,3058	1,1773
1,0362	2,3112	1,6764
1,0688	2,7778	2,0996
0,4503	2,4902	2,0508
0,9928	2,7669	2,0562
0,8355	2,8483	2,1593
0,6348	2,8646	2,2515
0,689	2,5716	1,9368
0,8138	3,0111	2,2081

Maks avvik til rampe - trykk		
MRC1T	MRC2T	MRC3T
1,3124	0,8116	0
0,7509	0	2,6394
1,1094	0	3,3935
0	1,4427	0
0,9408	0	2,6822
1,0118	0	3,5237
1,1963	0	2,5315
0	1,8821	0
0	1,4181	0
0,849	0	2,7859
0	1,6188	0
0	1,8527	0
0	1,3542	0
0	1,4627	0
0,9949	0	3,3821

Gjen. avvik mellom sylinder- trykk		
GC1C2T	GC1C3T	GC2C3T
0,0558	0,2525	0,2044
0,0247	0,1716	0,1212
0,0151	0,1543	0,1026
0,0776	0,3207	0,2431
0,0598	0,3181	0,2316
0,0682	0,4539	0,348
0,0052	0,0454	0,0102
0,1061	0,3752	0,2692
0,0833	0,3257	0,2424
0,0599	0,3609	0,2767
0,0151	0,0567	0,0416
0,1023	0,4334	0,331
0,0953	0,4481	0,3528
0,0937	0,3774	0,2838
0,0534	0,2384	0,1456

Gjen.avvik til rampe- trykk		
GRC1T	GRC2T	GRC3T
0,0201	0,0068	0
0,0066	0	0,0271
0,0101	0	0,0412
0	0,0123	0
0,0098	0	0,0304
0,0102	0	0,0453
0,0078	0	0,0239
0	0,017	0
0	0,0114	0
0,0068	0	0,0303
0	0,0033	0
0	0,0166	0
0	0,0096	0
0	0,0127	0
0,0102	0	0,0434

## Vedlegg 7



Address	Name	Type	Initial value	Comment
+142.0	Max_Cyl1_Cyl3t	REAL	0.000000e+000	
+146.0	Max_Cyl2_Cyl3t	REAL	0.000000e+000	
+150.0	Tot_Ramp_Cyl1	REAL	0.000000e+000	
+154.0	Tot_Ramp_Cyl2	REAL	0.000000e+000	
+158.0	Tot_Ramp_Cyl3	REAL	0.000000e+000	
+162.0	Tot_Ramp_Cyl1t	REAL	0.000000e+000	
+166.0	Tot_Ramp_Cyl2t	REAL	0.000000e+000	
+170.0	Tot_Ramp_Cyl3t	REAL	0.000000e+000	
+174.0	Tot_Cyl1_Cyl2	REAL	0.000000e+000	
+178.0	Tot_Cyl1_Cyl3	REAL	0.000000e+000	
+182.0	Tot_Cyl2_Cyl3	REAL	0.000000e+000	
+186.0	Tot_Cyl1_Cyl2t	REAL	0.000000e+000	
+190.0	Tot_Cyl1_Cyl3t	REAL	0.000000e+000	
+194.0	Tot_Cyl2_Cyl3t	REAL	0.000000e+000	
+198.0	La	REAL	0.000000e+000	
+202.0	Lb	REAL	0.000000e+000	
+206.0	Lc	REAL	0.000000e+000	
+210.0	Gjennomsnitt	REAL	0.000000e+000	
+214.0	Bidrag_PI_1	REAL	0.000000e+000	
+218.0	Bidrag_FW_1	REAL	0.000000e+000	
+222.0	Bidrag_PI_2	REAL	0.000000e+000	
+226.0	Bidrag_FW_2	REAL	0.000000e+000	
+230.0	Bidrag_PI_3	REAL	0.000000e+000	
+234.0	Bidrag_FW_3	REAL	0.000000e+000	
+238.0	Kp1_ut	REAL	0.000000e+000	
+242.0	Kp1_start	REAL	0.000000e+000	
+246.0	Kp2_ut	REAL	0.000000e+000	
+250.0	Kp2_start	REAL	0.000000e+000	
+254.0	Kp3_ut	REAL	0.000000e+000	
+258.0	Kp3_start	REAL	0.000000e+000	
+262.0	T	REAL	0.000000e+000	
+266.0	alpha	REAL	0.000000e+000	
+270.0	Y_lead	REAL	0.000000e+000	
+274.0	bLogg	BOOL	FALSE	
+276.0	Reg_Out_3_lead	REAL	0.000000e+000	
=280.0		END_STRUCT		

**OB1 - <offline>**

"Cycle Execution"

**Name:**  
**Author:**  
**Family:**  
**Version:** 0.1  
**Block version:** 2  
**Time stamp Code:** 05/21/2012 01:57:59 PM  
**Interface:** 02/15/1996 04:51:12 PM  
**Lengths (block/logic/data):** 01098 00952 00026

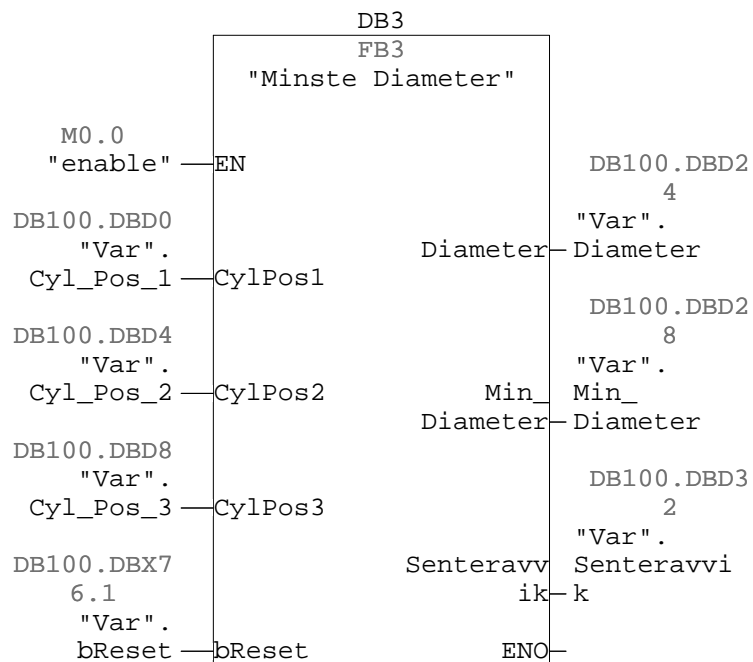
Name	Data Type	Address	Comment
TEMP		0.0	
OB1_EV_CLASS	Byte	0.0	Bits 0-3 = 1 (Coming event), Bits 4-7 = 1 (Event class 1)
OB1_SCAN_1	Byte	1.0	1 (Cold restart scan 1 of OB 1), 3 (Scan 2-n of OB 1)
OB1_PRIORITY	Byte	2.0	Priority of OB Execution
OB1_OB_NUMBR	Byte	3.0	1 (Organization block 1, OB1)
OB1_RESERVED_1	Byte	4.0	Reserved for system
OB1_RESERVED_2	Byte	5.0	Reserved for system
OB1_PREV_CYCLE	Int	6.0	Cycle time of previous OB1 scan (milliseconds)
OB1_MIN_CYCLE	Int	8.0	Minimum cycle time of OB1 (milliseconds)
OB1_MAX_CYCLE	Int	10.0	Maximum cycle time of OB1 (milliseconds)
OB1_DATE_TIME	Date_And_Time	12.0	Date and time OB1 started

<b>Block: OB1 "Main Program Sweep (Cycle)"</b>
--



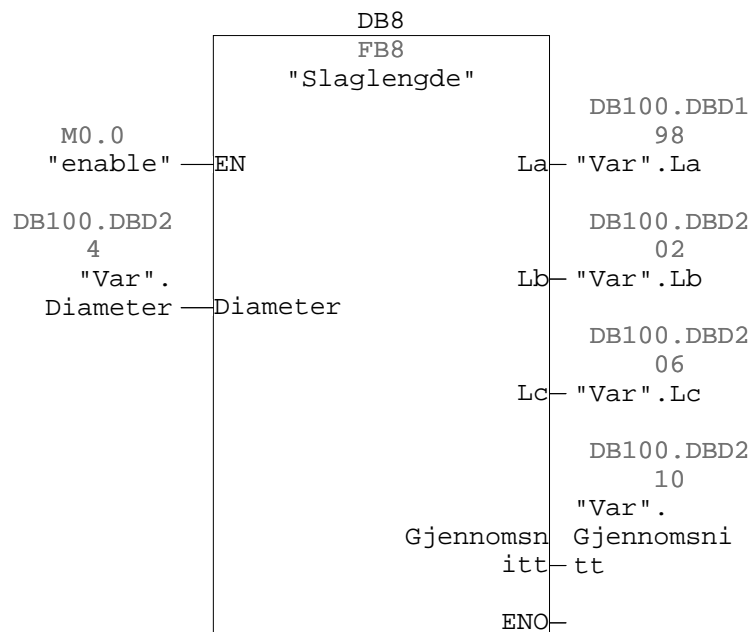
Network: 2

Avlesning av Diameter og senteravvik



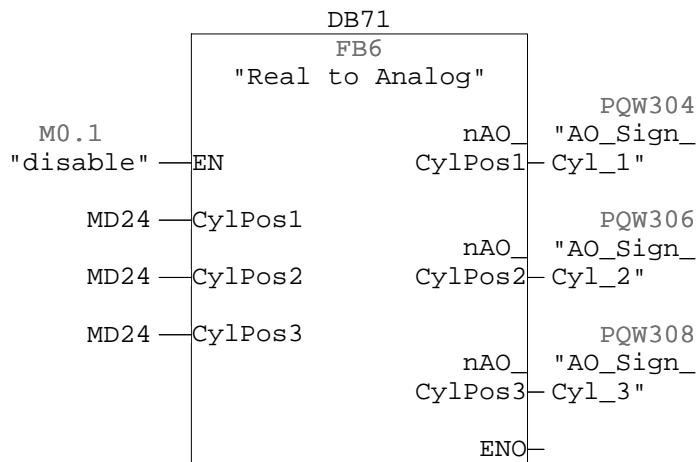
Network: 3

Beregner lengden sylindrerenskal gå, ved en gitt diameter



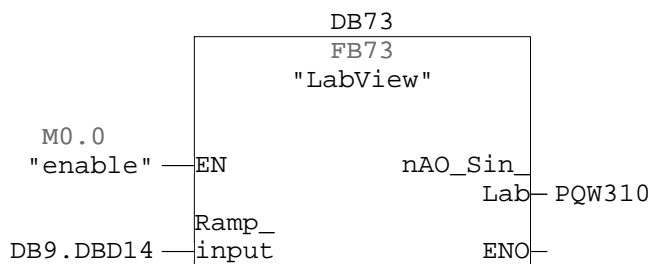
Network: 4

For TF-generering  
Konverterer utgangssignalet (Real til Analog)



Network: 5

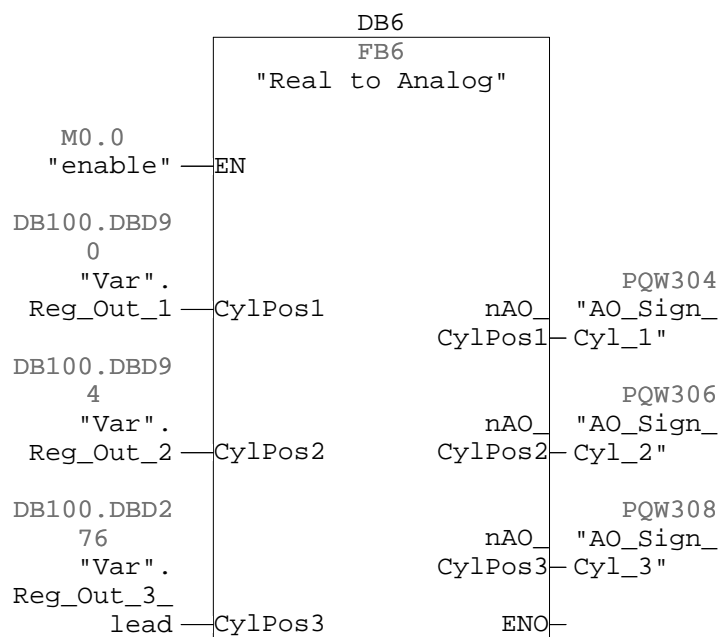
Rampe signal til LabView





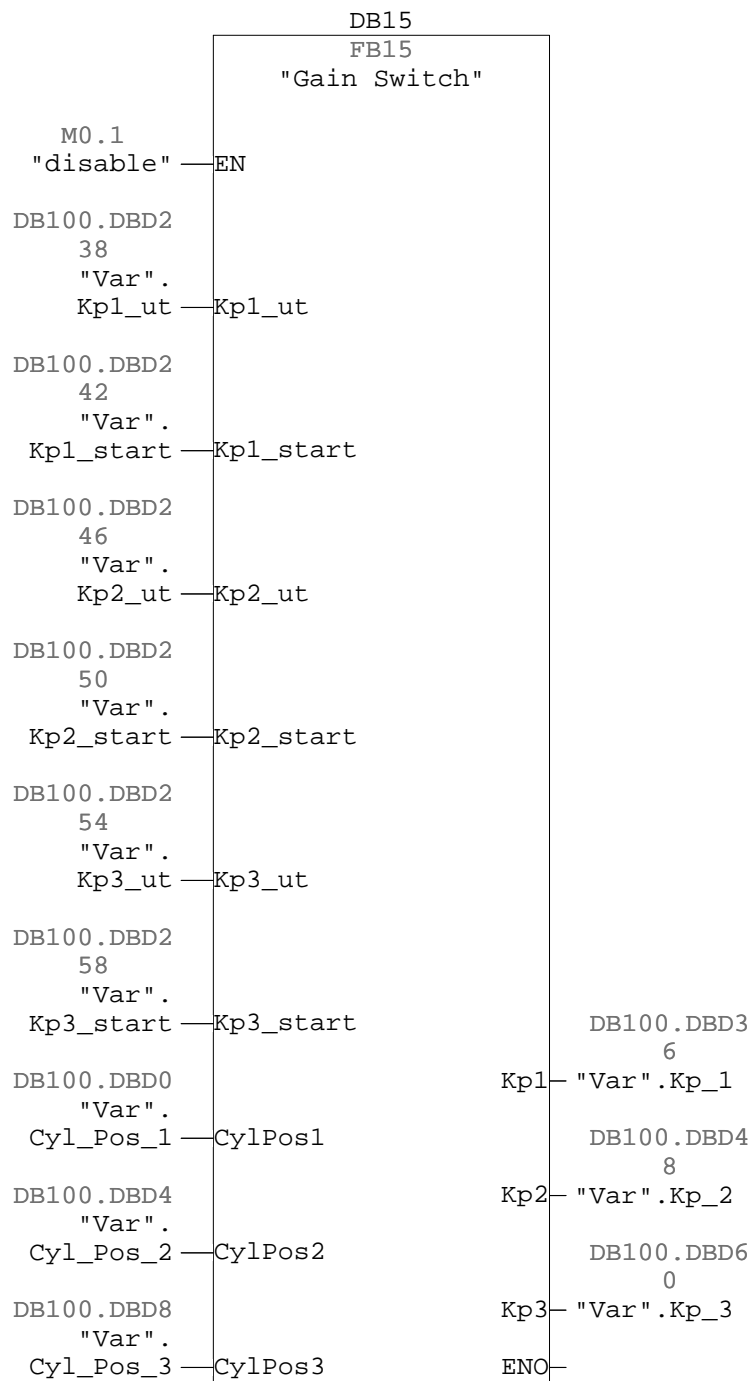
Network: 6

Konverterer utgangssignalet (Real til Analog)



Network: 7

Gain-switch for løsnings3



**OB35 - <offline>**

"CYC\_INT5"      Cyclic Interrupt 5

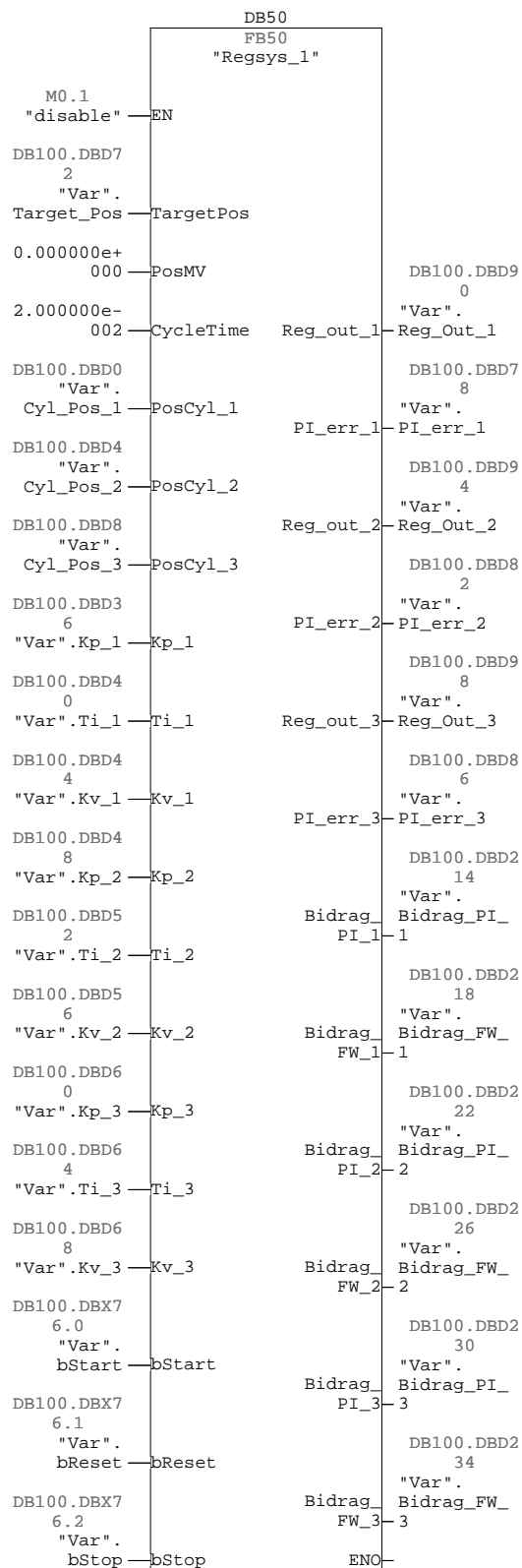
**Name:**                      **Family:****Author:**                      **Version:** 0.1**Block version:** 2**Time stamp Code:**      05/21/2012 01:03:08 PM**Interface:**      02/15/1996 04:51:11 PM**Lengths (block/logic/data):** 02188 02016 00026

Name	Data Type	Address	Comment
TEMP		0.0	
OB35_EV_CLASS	Byte	0.0	Bits 0-3 = 1 (Coming event), Bits 4-7 = 1 (Event class 1)
OB35_STRT_INF	Byte	1.0	16#36 (OB 35 has started)
OB35_PRIORITY	Byte	2.0	Priority of OB Execution
OB35_OB_NUMBR	Byte	3.0	35 (Organization block 35, OB35)
OB35_RESERVED_1	Byte	4.0	Reserved for system
OB35_RESERVED_2	Byte	5.0	Reserved for system
OB35_PHASE_OFFSET	Word	6.0	Phase offset (msec)
OB35_RESERVED_3	Int	8.0	Reserved for system
OB35_EXC_FREQ	Int	10.0	Frequency of execution (msec)
OB35_DATE_TIME	Date_And_Time	12.0	Date and time OB35 started

<b>Block: OB35      "Cyclic Interrupt"</b>
--

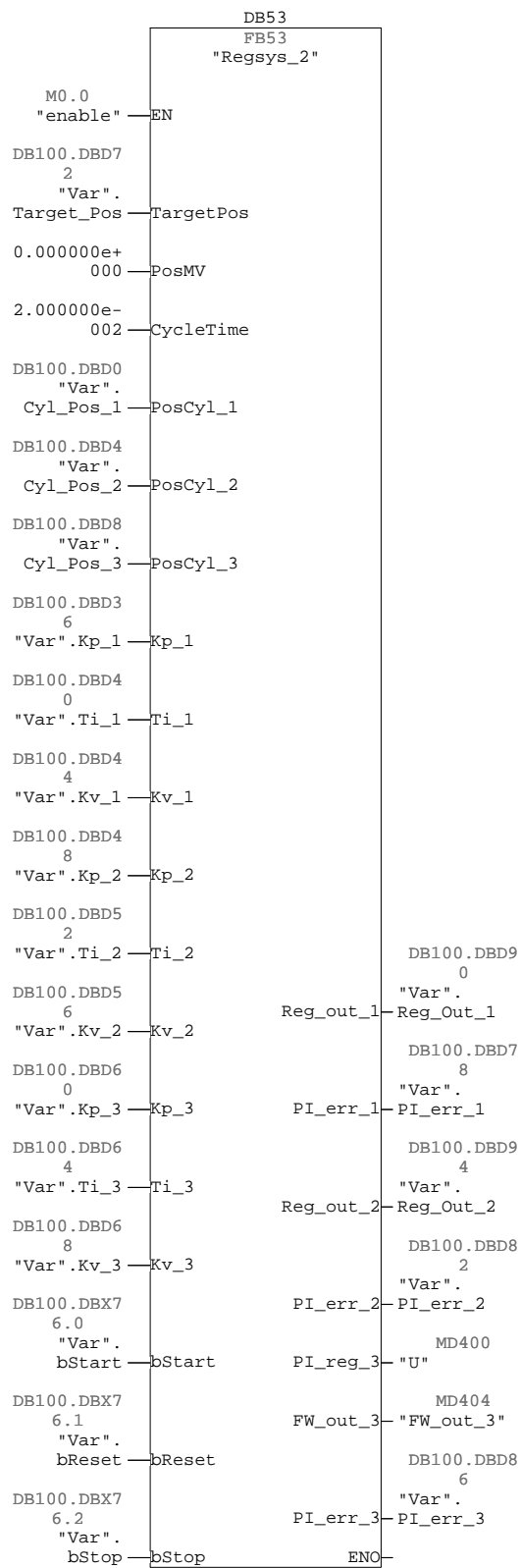
Network: 1

Reguleringssystem for løsning 1-4



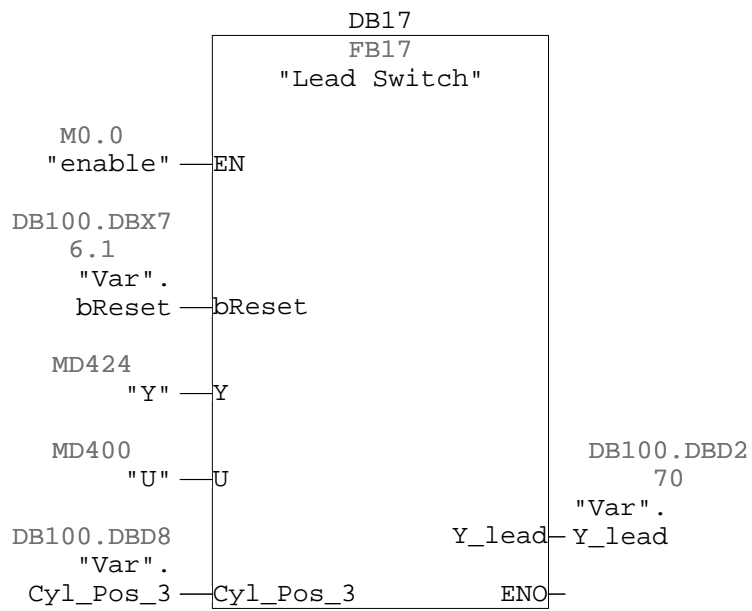
Network: 2

Reguleringssystem for løsning5, men lead-kompensator



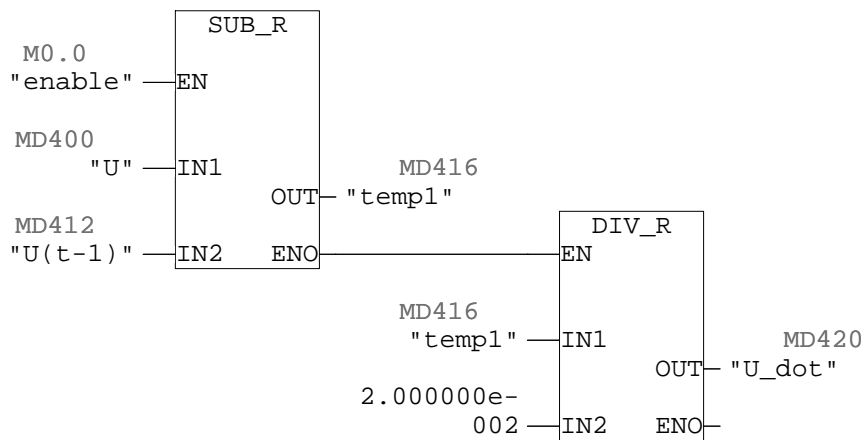
Network: 3

Lead-switch - Deaktiverer lead kompensatoren ved tilbakekjøring



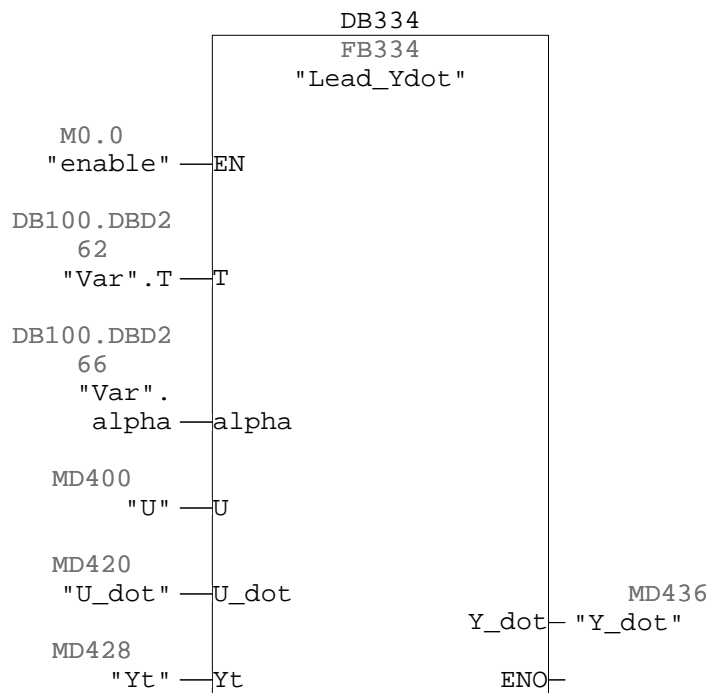
Network: 4

U\_dot



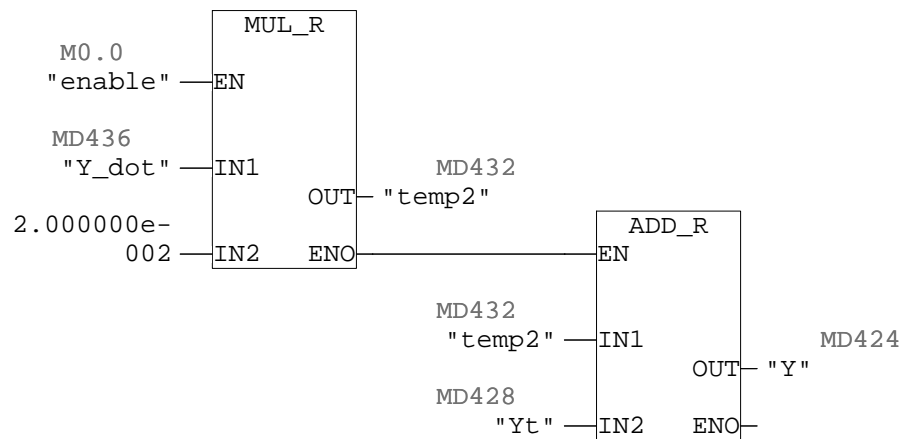
Network: 5

Y\_dot



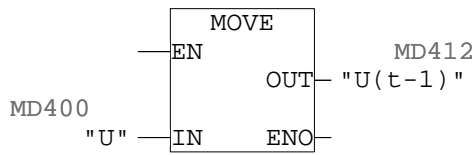
Network: 6

Y



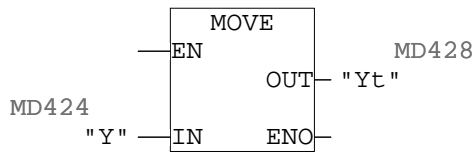
Network: 7

U(t-1)



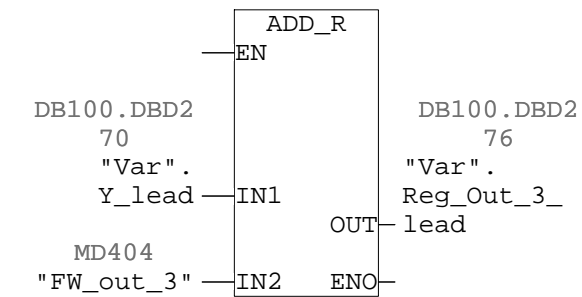
Network: 8

Yt



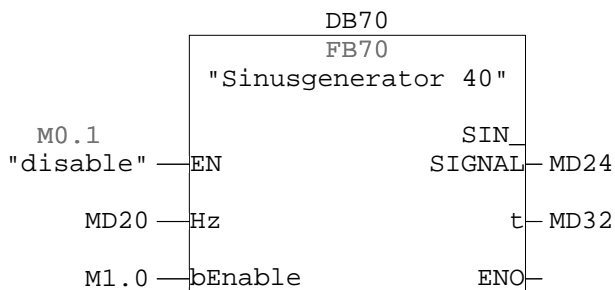
Network: 9

Utgangsignal fra lead-kompensator



Network: 10

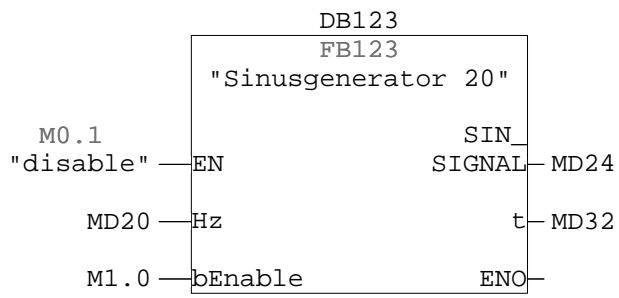
Sin signal generator med amplitude 40





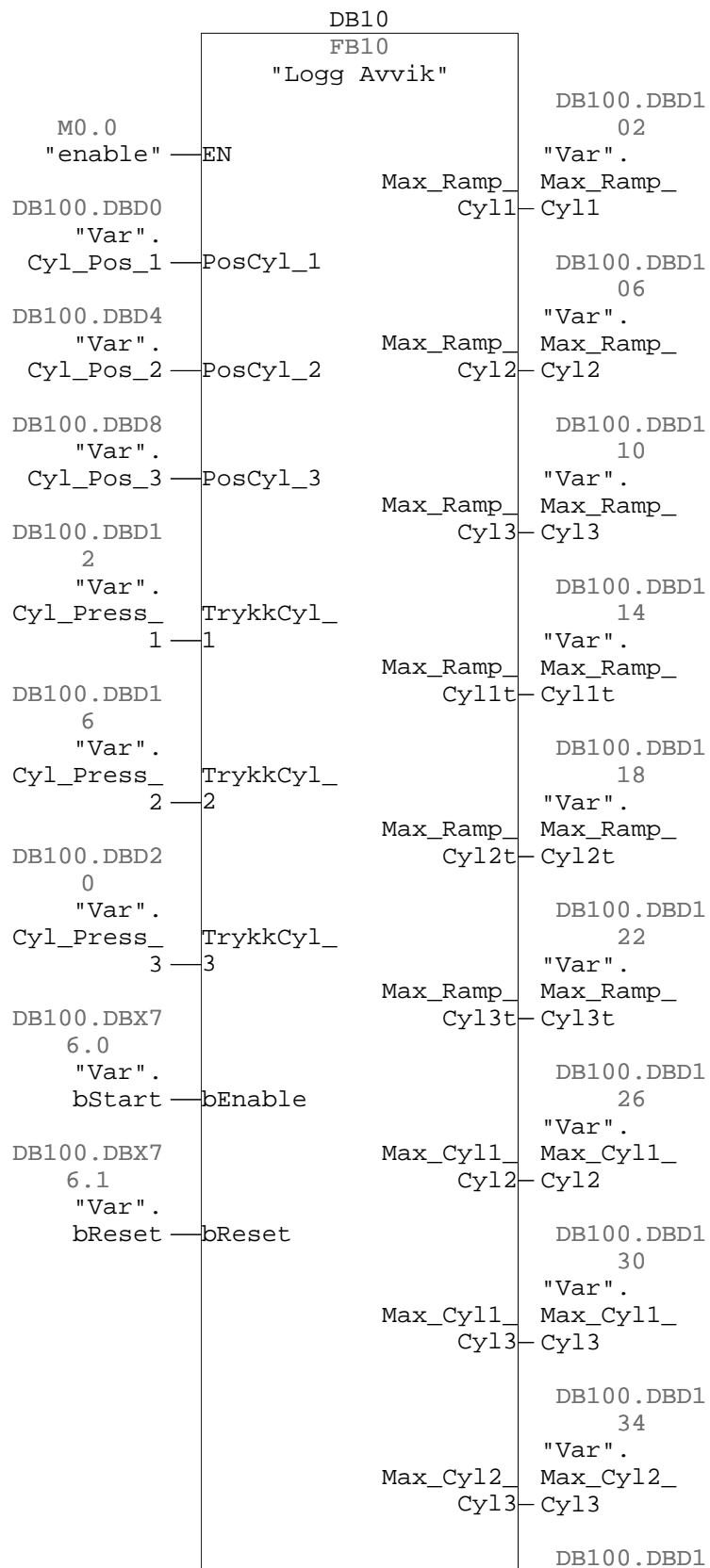
Network: 11

Sin signal generator med amplitude 20



Network: 12

Resultatblokk



	38	
Max_Cyl1_	"Var".	
Cyl2t	Max_Cyl1_	
	Cyl2t	
	DB100.DBD1	
	42	
Max_Cyl1_	"Var".	
Cyl3t	Max_Cyl1_	
	Cyl3t	
	DB100.DBD1	
	46	
Max_Cyl2_	"Var".	
Cyl3t	Max_Cyl2_	
	Cyl3t	
	DB100.DBD1	
	50	
Tot_Ramp_	"Var".	
Cyl1	Tot_Ramp_	
	Cyl1	
	DB100.DBD1	
	54	
Tot_Ramp_	"Var".	
Cyl2	Tot_Ramp_	
	Cyl2	
	DB100.DBD1	
	58	
Tot_Ramp_	"Var".	
Cyl3	Tot_Ramp_	
	Cyl3	
	DB100.DBD1	
	62	
Tot_Ramp_	"Var".	
Cyl1t	Tot_Ramp_	
	Cyl1t	
	DB100.DBD1	
	66	
Tot_Ramp_	"Var".	
Cyl2t	Tot_Ramp_	
	Cyl2t	
	DB100.DBD1	
	70	
Tot_Ramp_	"Var".	
Cyl3t	Tot_Ramp_	
	Cyl3t	
	DB100.DBD1	
	74	
Tot_Cyl1_	"Var".	
Cyl2	Tot_Cyl1_	
	Cyl2	
	DB100.DBD1	
	78	
Tot_Cyl1_	"Var".	
Cyl3	Tot_Cyl1_	
	Cyl3	

```
DB100.DBD1
  82
  "Var".
Tot_Cyl2_ Tot_Cyl2_
Cyl3_ Cyl3_

DB100.DBD1
  86
  "Var".
Tot_Cyl1_ Tot_Cyl1_
Cyl2t_ Cyl2t_

DB100.DBD1
  90
  "Var".
Tot_Cyl1_ Tot_Cyl1_
Cyl3t_ Cyl3t_

DB100.DBD1
  94
  "Var".
Tot_Cyl2_ Tot_Cyl2_
Cyl3t_ Cyl3t_

ENO_
```

```
1 FUNCTION_BLOCK FB1 //Analog To Real
2
3
4 VAR_INPUT
5     nAICyl1      : INT;
6     nAICyl2      : INT;
7     nAICyl3      : INT;
8     nAIPres1     : INT;
9     nAIPres2     : INT;
10    nAIPres3     : INT;
11 END_VAR
12
13 VAR_OUTPUT
14     CylPos1      : REAL;
15     CylPos2      : REAL;
16     CylPos3      : REAL;
17     Pressure1    : REAL;
18     Pressure2    : REAL;
19     Pressure3    : REAL;
20 END_VAR
21
22
23 BEGIN
24
25 //Konverterer Analoge inngangssignaler til Real-format
26
27
28     CylPos1 := (INT_TO_REAL(nAICyl1)/27648*150) +0; //pos syl 1
29
30     CylPos2 := (INT_TO_REAL(nAICyl2)/27648*150) +0; //pos syl 2
31
32     CylPos3 := (INT_TO_REAL(nAICyl3)/27648*150) +0; //pos syl 3
33
34
35
36     Pressure1 := INT_TO_REAL(nAIPres1)/27648*625-62.5; //trykksensor ventil 1
37
38     Pressure2 := INT_TO_REAL(nAIPres2)/27648*625-62.5; //trykksensor ventil 2
39
40     Pressure3 := INT_TO_REAL(nAIPres3)/27648*625-62.5; //trykksensor ventil 3
41
42
43
44 END_FUNCTION_BLOCK
45
```

```
1 FUNCTION_BLOCK FB3//Avlesning av Diameter og senteravvik
2
3 VAR_INPUT
4     CylPos1           :REAL;
5     CylPos2           :REAL;
6     CylPos3           :REAL;
7     bReset            :BOOL;
8 END_VAR
9
10 VAR_TEMP
11     x1                :REAL;
12     x2                :REAL;
13     x3                :REAL;
14     y1                :REAL;
15     y2                :REAL;
16     y3                :REAL;
17     XKryss            :REAL;
18     YKryss            :REAL;
19 END_VAR
20
21 VAR_OUTPUT
22     Diameter           :REAL;
23     Min_Diameter      :REAL;
24     Senteravvik       :REAL;
25 END_VAR
26
27
28 BEGIN
29
30 //*****
31 //Kaller opp funksjonsblokk for beregning av sylinder koordinater
32 FB2.DB2(CylPos1 := CylPos1 // IN: REAL
33         ,CylPos2 := CylPos2 // IN: REAL
34         ,CylPos3 := CylPos3 // IN: REAL
35         );
36     x1:= DB2.X1; // OUT: REAL
37     y1:= DB2.Y1; // OUT: REAL
38     x2:= DB2.X2; // OUT: REAL
39     y2:= DB2.Y2; // OUT: REAL
40     x3:= DB2.X3; // OUT: REAL
41     y3:= DB2.Y3; // OUT: REAL
42
43 //*****
44
45
46
47 //*****
48 //Kaller opp funksjonsblokk for diameteravlesning
49 FB4.DB4(X1 :=x1 // IN: REAL
50         ,Y1 :=y1 // IN: REAL
51         ,X2 :=x2 // IN: REAL
52         ,Y2 :=y2 // IN: REAL
53         ,X3 :=x3 // IN: REAL
54         ,Y3 :=y3 // IN: REAL
55         );
56     Diameter:= DB4.Diameter; // OUT: REAL
57     XKryss:= DB4.XKryss; // OUT: REAL
58     YKryss:= DB4.YKryss; // OUT: REAL
59 //*****
60
61 //*****
62 // Kaller opp funksjonsblokk for senteravvik
63 FB5.DB5(XKryss := XKryss // IN: REAL
64         ,YKryss :=YKryss // IN: REAL
65         );
66     Senteravvik:= DB5.Senteravvik; // OUT: REAL
67 //*****
68
69
70 IF bReset =true
71 THEN Min_Diameter := Diameter;
72 END_IF;
73
```

```
74 IF Diameter < Min_Diameter
75 THEN Min_diameter := Diameter;
76 END_IF
77
78
79 ;
80 END_FUNCTION_BLOCK
81
```

```
1 FUNCTION_BLOCK FB11 //Avvik
2
3 VAR_INPUT
4   Pos_Ramp      : REAL; //Posisjons rampe
5   Pos_Cyl1     : REAL; //Posisjon sylinder 1
6   Pos_Cyl2     : REAL; //Posisjon sylinder 2
7   pos_Cyl3     : REAL; //Posisjon sylinder 3
8   Trykk_Cyl1  : REAL; //Trykkoppbygging i sylinder 1
9   Trykk_Cyl2  : REAL; //Trykkoppbygging i sylinder 2
10  Trykk_Cyl3  : REAL; //Trykkoppbygging i sylinder 3
11 END_VAR
12
13 VAR_TEMP
14   Trykkgrense : REAL;
15 END_VAR
16
17 VAR_OUTPUT
18   Ramp_Cyl1t  : REAL; //Differanse mellom referanse rampe og sylinder 1 (absoluttverdi) m/try
kk i sylinder 1
19   Ramp_Cyl1  : REAL; //Differanse mellom referanse rampe og sylinder 1 (absoluttverdi)
20   Ramp_Cyl2t  : REAL; //Differanse mellom referanse rampe og sylinder 1 (absoluttverdi) m/try
kk i sylinder 2
21   Ramp_Cyl2  : REAL; //Differanse mellom referanse rampe og sylinder 1 (absoluttverdi)
22   Ramp_Cyl3t  : REAL; //Differanse mellom referanse rampe og sylinder 1 (absoluttverdi) m/try
kk i sylinder 3
23   Ramp_Cyl3  : REAL; //Differanse mellom referanse rampe og sylinder 3 (absoluttverdi)
24   Cyl1_Cyl2  : REAL; //Differanse mellom Sylinder 1 og sylinder 2 (absoluttverdi)
25   Cyl1_Cyl3  : REAL; //Differanse mellom Sylinder 1 og sylinder 3 (absoluttverdi)
26   Cyl2_Cyl3  : REAL; //Differanse mellom Sylinder 2 og sylinder 3 ((absoluttverdi)
27   Cyl1_Cyl2t : REAL; //Differanse mellom Sylinder 1 og sylinder 2 (absoluttverdi) m/trykk i
sylinder
28   Cyl1_Cyl3t : REAL; //Differanse mellom Sylinder 1 og sylinder 3 (absoluttverdi) m/trykk i
sylinder
29   Cyl2_Cyl3t : REAL; //Differanse mellom Sylinder 2 og sylinder 3 ((absoluttverdi)m/trykk i
sylinder
30 END_VAR
31
32 BEGIN
33
34 Trykkgrense := 40; //constant for trykkoppbygging i sylindene ved inngrep med rør
35
36 //Betingelser for error funksjonavlesning mellom sylinder 1 og pos ref
37 IF Trykk_Cyl1 > Trykkgrense AND NOT (Trykk_Cyl2 > Trykkgrense AND Trykk_Cyl3 > Trykkgrense)
38 THEN Ramp_Cyl1t := ABS(Pos_Ramp - Pos_Cyl1); //error funk ved sylinder 1 i inngrep med rør
39 ELSE Ramp_Cyl1t := 0;
40 END_IF;
41
42 IF Trykk_Cyl1 < Trykkgrense
43 THEN Ramp_Cyl1 := ABS(Pos_Ramp - Pos_Cyl1); //error funk ved utkjøring
44 ELSE Ramp_Cyl1 := 0;
45 END_IF;
46
47 //Betingelser for error funksjonavlesning mellom sylinder 2 og pos ref
48 IF Trykk_Cyl2 > Trykkgrense AND NOT (Trykk_Cyl1 > Trykkgrense AND Trykk_Cyl3 > Trykkgrense)
49 THEN Ramp_Cyl2t := ABS(Pos_Ramp - Pos_Cyl2); //error funk ved sylinder 2 i inngrep med rør
50 ELSE Ramp_Cyl2t := 0;
51 END_IF;
52
53 IF Trykk_Cyl2 < Trykkgrense
54 THEN Ramp_Cyl2 := ABS(Pos_Ramp - Pos_Cyl2); //error funk ved utkjøring
55 ELSE Ramp_Cyl2 := 0;
56 END_IF;
57
58
59 //Betingelser for error funksjonavlesning mellom sylinder 3 og pos ref
60 IF Trykk_Cyl3 > Trykkgrense AND NOT (Trykk_Cyl1 > Trykkgrense AND Trykk_Cyl2 > Trykkgrense)
61 THEN Ramp_Cyl3t := ABS(Pos_Ramp - Pos_Cyl3); //error funk ved sylinder 3 i inngrep med rør
62 ELSE Ramp_Cyl3t := 0;
63 END_IF;
64
65 IF Trykk_Cyl3 < Trykkgrense
66 THEN Ramp_Cyl3 := ABS(Pos_Ramp - Pos_Cyl3); //error funk ved utkjøring
67 ELSE Ramp_Cyl3 := 0;
```



```
68 END_IF;
69
70 //Betingelser for avlesning av avvik mellom sylinder 1 og 2
71 IF Trykk_Cyl1 > Trykkgrense AND Trykk_Cyl2 > Trykkgrense
72 THEN Cyl1_Cyl2t := ABS(Pos_Cyl1 - Pos_Cyl2); //Avikk mellom sylinder 1 og 2 ved inngrep
73 ELSE Cyl1_Cyl2t := 0;
74 END_IF;
75
76 IF Trykk_Cyl1 < Trykkgrense AND Trykk_Cyl2 < Trykkgrense
77 THEN Cyl1_Cyl2 := ABS(Pos_Cyl1 - Pos_Cyl2); //Avikk mellom sylinder 1 og 2 ved utkjøring
78 ELSE Cyl1_Cyl2 := 0;
79 END_IF;
80
81 //Betingelser for avlesning av avvik mellom sylinder 1 og 3
82 IF Trykk_Cyl1 > Trykkgrense AND Trykk_Cyl3 > Trykkgrense
83 THEN Cyl1_Cyl3t := ABS(Pos_Cyl1 - Pos_Cyl3); //Avikk mellom sylinder 1 og 3 ved inngrep
84 ELSE Cyl1_Cyl3t := 0;
85 END_IF;
86
87 IF Trykk_Cyl1 < Trykkgrense AND Trykk_Cyl3 < Trykkgrense
88 THEN Cyl1_Cyl3 := ABS(Pos_Cyl1 - Pos_Cyl3); //Avikk mellom sylinder 1 og 3 ved utkjøring
89 ELSE Cyl1_Cyl3 := 0;
90 END_IF;
91
92 //Betingelser for avlesning av avvik mellom sylinder 2 og 3
93 IF Trykk_Cyl2 > Trykkgrense AND Trykk_Cyl3 > Trykkgrense
94 THEN Cyl2_Cyl3t := ABS(Pos_Cyl2 - Pos_Cyl3); //Avikk mellom sylinder 2 og 3 ved inngrep
95 ELSE Cyl2_Cyl3t := 0;
96 END_IF;
97
98 IF Trykk_Cyl2 < Trykkgrense AND Trykk_Cyl3 < Trykkgrense
99 THEN Cyl2_Cyl3 := ABS(Pos_Cyl2 - Pos_Cyl3); //Avikk mellom sylinder 2 og 3 ved utkjøring
100 ELSE Cyl2_Cyl3 := 0;
101 END_IF
102
103 ;
104 END_FUNCTION_BLOCK
105
106
```

```
1 FUNCTION_BLOCK FB4 //Begning av diameter
2
3
4 VAR_INPUT //Koordinatene til sylindernes posisjon
5     X1      :REAL;
6     Y1      :REAL;
7     X2      :REAL;
8     Y2      :REAL;
9     X3      :REAL;
10    Y3      :REAL;
11 END_VAR
12
13 VAR_OUTPUT
14     Diameter:REAL; //Diameter
15     XKryss  :REAL; //X-koordinat til kryss
16     YKryss  :REAL; //Y-koordinat til kryss
17 END_VAR
18
19 VAR_TEMP
20     X4      :REAL;
21     Y4      :REAL;
22     X5      :REAL;
23     Y5      :REAL;
24     X6      :REAL;
25     Y6      :REAL;
26     X7      :REAL;
27     Y7      :REAL;
28     X8      :REAL;
29     Y8      :REAL;
30     X9      :REAL;
31     Y9      :REAL;
32     X10     :REAL;
33     Y10     :REAL;
34     a1      :REAL;
35     a       :REAL;
36     b1      :REAL;
37     b       :REAL;
38     r1      :REAL;
39     r2      :REAL;
40     r3      :REAL;
41 END_VAR
42
43 BEGIN
44
45 //Koordinater til punktet D
46 X4 := (X1+X2)/2;
47 Y4 := (Y1+Y2)/2;
48
49 //Koordinater til punktet E
50 X5 := (X1+X3)/2;
51 Y5 := (Y1+Y3)/2;
52
53 //Stigningstallet til vektoren mellom punkt A og B
54 a1 := (Y2-Y1)/(X2-X1);
55
56 //Stigningstallet til linjen normalt ut fra punktet D
57 a := -(1/a1);
58
59 //Stigningstallet til vektoren mellom punkt A og C
60 b1 := (Y3-Y1)/(X3-X1);
61
62 //Stigningstallet til linjen normalt ut fra punktet E
63 b := -(1/b1);
64
65 //Setter y6=y7 FOR å finne kryssningspunktet F (senterpunktet til røret)
66 X6 := ((a*X4)-(b*X5)-Y4+Y5)/(a-b) ;
67 Y6 := a*(X6-X4)+Y4;
68
69 //Vi finner vektoren FA, FB og FC
70 X8 := X1-X6;
71 Y8 := Y1-Y6;
72
73 X9 := X2-X6;
```

```
74 Y9 := Y2-Y6;
75
76 X10 := X3-X6;
77 Y10 := Y3-Y6;
78
79 //Vi finner vektorlengdene til radiusene
80 r1 := SQRT(SQR(X8)+SQR(Y8));
81
82 r2 := SQRT(SQR(X9)+SQR(Y9));
83
84 r3 := SQRT(SQR(X10)+SQR(Y10));
85
86 //Vi finner diameteren
87 Diameter := ((r1+r2+r3)/3)*2;
88
89 //Utgangssignal
90 XKryss := X6;
91 YKryss := Y6;
92
93
94 END_FUNCTION_BLOCK
95
```

```
1 FUNCTION_BLOCK FB15 //gain-switch for PI-regulator i løsnings3
2
3 VAR_INPUT
4     Kp1_ut      :REAL; // 10-120mm
5     Kp1_start  :REAL; //0-10mm
6     Kp2_ut      :REAL;
7     Kp2_start  :REAL;
8     Kp3_ut      :REAL;
9     Kp3_start  :REAL;
10    CylPos1     :REAL;
11    CylPos2     :REAL;
12    CylPos3     :REAL;
13 END_VAR
14
15 VAR_OUTPUT
16     Kp1         :REAL;
17     Kp2         :REAL;
18     Kp3         :REAL;
19 END_VAR
20
21 BEGIN
22
23 IF CylPos1 < 10
24 THEN Kp1 := Kp1_start;
25 ELSE Kp1 := Kp1_ut;
26 END_IF;
27
28 IF CylPos2 < 10
29 THEN Kp2 :=Kp2_start;
30 ELSE Kp2 :=Kp2_ut;
31 END_IF;
32
33 IF CylPos3 < 10
34 THEN Kp3 :=Kp3_start;
35 ELSE Kp3 :=Kp3_ut;
36 END_IF
37
38 ;
39 END_FUNCTION_BLOCK
40
```

```
1 FUNCTION_BLOCK FB13 // Gjennomsnittavvik
2
3
4 VAR_INPUT
5   Ramp_Cyl1t : REAL; //Differanse mellom referanse rampe og sylinter 1 (absoluttverdi) m/try
   kk i sylinter 1
6   Ramp_Cyl1  : REAL; //Differanse mellom referanse rampe og sylinter 1 (absoluttverdi)
7   Ramp_Cyl2t : REAL; //Differanse mellom referanse rampe og sylinter 2 (absoluttverdi) m/try
   kk i sylinter 2
8   Ramp_Cyl2  : REAL; //Differanse mellom referanse rampe og sylinter 2 (absoluttverdi)
9   Ramp_Cyl3t : REAL; //Differanse mellom referanse rampe og sylinter 3 (absoluttverdi) m/try
   kk i sylinter 3
10  Ramp_Cyl3  : REAL; //Differanse mellom referanse rampe og sylinter 3 (absoluttverdi)
11  Cyl1_Cyl2  : REAL; //Differanse mellom Sylinter 1 og sylinter 2 (absoluttverdi)
12  Cyl1_Cyl3  : REAL; //Differanse mellom Sylinter 1 og sylinter 3 (absoluttverdi)
13  Cyl2_Cyl3  : REAL; //Differanse mellom Sylinter 2 og sylinter 3 ((absoluttverdi)
14  Cyl1_Cyl2t : REAL; //Differanse mellom Sylinter 1 og sylinter 2 (absoluttverdi) m/trykk i
   sylinter
15  Cyl1_Cyl3t : REAL; //Differanse mellom Sylinter 1 og sylinter 3 (absoluttverdi) m/trykk i
   sylinter
16  Cyl2_Cyl3t : REAL; //Differanse mellom Sylinter 2 og sylinter 3 ((absoluttverdi)m/trykk i
   sylinter
17  bReset    : BOOL;
18 END_VAR
19 VAR_TEMP
20   N          : REAL;
21   Tot_Ramp_Cyl1t : REAL; //Maksimal differanse mellom referanse rampe og sylinter 1 (absolu
   ttverdi)
22   Tot_Ramp_Cyl2t : REAL; //Maksimal differanse mellom referanse rampe og sylinter 2 (absolu
   ttverdi)
23   Tot_Ramp_Cyl3t : REAL; //Maksimal differanse mellom referanse rampe og sylinter 3 (absolu
   ttverdi)
24   Tot_Ramp_Cyl1t : REAL; //Maksimal differanse mellom referanse rampe og sylinter 1 (absolu
   ttverdi) m/trykk i sylinter 1
25   Tot_Ramp_Cyl2t : REAL; //Maksimal differanse mellom referanse rampe og sylinter 2 (absolu
   ttverdi) m/trykk i sylinter 2
26   Tot_Ramp_Cyl3t : REAL; //Maksimal differanse mellom referanse rampe og sylinter 3 (absolu
   ttverdi) m/trykk i sylinter 3
27   Tot_Cyl1_Cyl2t : REAL; //Maksimal differanse mellom Sylinter 1 og sylinter 2 (absoluttver
   di)
28   Tot_Cyl1_Cyl3t : REAL; //Maksimal differanse mellom Sylinter 1 og sylinter 3 (absoluttver
   di)
29   Tot_Cyl2_Cyl3t : REAL; //Maksimal differanse mellom Sylinter 2 og sylinter 3 ((absoluttve
   rdi)
30   Tot_Cyl1_Cyl2t : REAL; //Maksimal differanse mellom Sylinter 1 og sylinter 2 (absoluttver
   di) m/trykk i sylinter
31   Tot_Cyl1_Cyl3t : REAL; //Maksimal differanse mellom Sylinter 1 og sylinter 3 (absoluttver
   di) m/trykk i sylinter
32   Tot_Cyl2_Cyl3t : REAL; //Maksimal differanse mellom Sylinter 2 og sylinter 3 ((absoluttve
   rdi)m/trykk i sylinter
33
34
35 END_VAR
36 VAR_OUTPUT
37   Tot_Ramp_Cyl1  : REAL; //Maksimal differanse mellom referanse rampe og sylinter 1 (absolut
   tverdi)
38   Tot_Ramp_Cyl2  : REAL; //Maksimal differanse mellom referanse rampe og sylinter 2 (absolut
   tverdi)
39   Tot_Ramp_Cyl3  : REAL; //Maksimal differanse mellom referanse rampe og sylinter 3 (absolut
   tverdi)
40   Tot_Ramp_Cyl1t : REAL; //Maksimal differanse mellom referanse rampe og sylinter 1 (absolut
   tverdi) m/trykk i sylinter 1
41   Tot_Ramp_Cyl2t : REAL; //Maksimal differanse mellom referanse rampe og sylinter 2 (absolut
   tverdi) m/trykk i sylinter 2
42   Tot_Ramp_Cyl3t : REAL; //Maksimal differanse mellom referanse rampe og sylinter 3 (absolut
   tverdi) m/trykk i sylinter 3
43   Tot_Cyl1_Cyl2  : REAL; //Maksimal differanse mellom Sylinter 1 og sylinter 2 (absoluttverd
   i)
44   Tot_Cyl1_Cyl3  : REAL; //Maksimal differanse mellom Sylinter 1 og sylinter 3 (absoluttverd
   i)
45   Tot_Cyl2_Cyl3  : REAL; //Maksimal differanse mellom Sylinter 2 og sylinter 3 ((absoluttver
   di)
46   Tot_Cyl1_Cyl2t : REAL; //Maksimal differanse mellom Sylinter 1 og sylinter 2 (absoluttverd
```

```
i) m/trykk i sylinder
47   Tot_Cyl1_Cyl3t : REAL; //Maksimal differanse mellom Sylinder 1 og sylinder 3 (absoluttverd
i) m/trykk i sylinder
48   Tot_Cyl2_Cyl3t : REAL; //Maksimal differanse mellom Sylinder 2 og sylinder 3 ((absoluttver
di)m/trykk i sylinder
49 END_VAR
50
51 BEGIN
52 IF bReset = true
53 THEN   Tot_Ramp_Cyl1  := 0;
54        Tot_Ramp_Cyl2  := 0;
55        Tot_Ramp_Cyl3  := 0;
56        Tot_Ramp_Cyl1t := 0;
57        Tot_Ramp_Cyl2t := 0;
58        Tot_Ramp_Cyl3t := 0;
59        Tot_Cyl1_Cyl2  := 0;
60        Tot_Cyl1_Cyl3  := 0;
61        Tot_Cyl2_Cyl3  := 0;
62        Tot_Cyl1_Cyl2t := 0;
63        Tot_Cyl1_Cyl3t := 0;
64        Tot_Cyl2_Cyl3t := 0;
65        N := 0;
66 END_IF;
67
68
69 //Gjennomsnitt differanse mellom referanse rampe og sylinder 1
70 Tot_Ramp_Cyl11 := Tot_Ramp_Cyl1;
71
72 IF Ramp_Cyl1 > 0
73 THEN Tot_Ramp_Cyl1 := ((Tot_Ramp_Cyl11*N)+ Ramp_Cyl1)/(N+1);
74 ELSE Tot_Ramp_Cyl1 := Tot_Ramp_Cyl11;
75 END_IF;
76
77
78 //Gjennomsnitt differanse mellom referanse rampe og sylinder 2
79 Tot_Ramp_Cyl21 := Tot_Ramp_Cyl2;
80
81 IF Ramp_Cyl2 > 0
82 THEN Tot_Ramp_Cyl2 := ((Tot_Ramp_Cyl21*N)+ Ramp_Cyl2)/(N+1);
83 ELSE Tot_Ramp_Cyl2 := Tot_Ramp_Cyl21;
84 END_IF;
85
86 //Gjennomsnitt differanse mellom referanse rampe og sylinder 3
87 Tot_Ramp_Cyl31 := Tot_Ramp_Cyl3;
88
89 IF Ramp_Cyl3 > 0
90 THEN Tot_Ramp_Cyl3 := ((Tot_Ramp_Cyl31*N)+ Ramp_Cyl3)/(N+1);
91 ELSE Tot_Ramp_Cyl3 := Tot_Ramp_Cyl31;
92 END_IF;
93
94 //Gjennomsnitt differanse mellom referanse rampe og sylinder 1 m/trykk
95 Tot_Ramp_Cyl11t := Tot_Ramp_Cyl1t;
96
97 IF Ramp_Cyl1t > 0
98 THEN Tot_Ramp_Cyl1t := ((Tot_Ramp_Cyl11t*N)+ Ramp_Cyl1t)/(N+1);
99 ELSE Tot_Ramp_Cyl1t := Tot_Ramp_Cyl11t;
100 END_IF;
101
102 //Gjennomsnitt differanse mellom referanse rampe og sylinder 2 m/trykk
103 Tot_Ramp_Cyl21t := Tot_Ramp_Cyl2t;
104
105 IF Ramp_Cyl2t > 0
106 THEN Tot_Ramp_Cyl2t := ((Tot_Ramp_Cyl21t*N)+ Ramp_Cyl2t)/(N+1);
107 ELSE Tot_Ramp_Cyl2t := Tot_Ramp_Cyl21t;
108 END_IF;
109
110 //Gjennomsnitt differanse mellom referanse rampe og sylinder 3 m/trykk
111 Tot_Ramp_Cyl31t := Tot_Ramp_Cyl3t;
112
113 IF Ramp_Cyl3t > 0
114 THEN Tot_Ramp_Cyl3t := ((Tot_Ramp_Cyl31t*N)+ Ramp_Cyl3t)/(N+1);
115 ELSE Tot_Ramp_Cyl3t := Tot_Ramp_Cyl31t;
116 END_IF;
```

```
1 FUNCTION_BLOCK FB7 //Maksavvik
2 VAR_INPUT
3   Ramp_Cyll1t : REAL; //Differanse mellom referanse rampe og sylinder 1 (absoluttverdi) m/try
  kk i sylinder 1
4   Ramp_Cyll1  : REAL; //Differanse mellom referanse rampe og sylinder 1 (absoluttverdi)
5   Ramp_Cyl2t  : REAL; //Differanse mellom referanse rampe og sylinder 1 (absoluttverdi) m/try
  kk i sylinder 2
6   Ramp_Cyl2  : REAL; //Differanse mellom referanse rampe og sylinder 1 (absoluttverdi)
7   Ramp_Cyl3t  : REAL; //Differanse mellom referanse rampe og sylinder 1 (absoluttverdi) m/try
  kk i sylinder 3
8   Ramp_Cyl3  : REAL; //Differanse mellom referanse rampe og sylinder 3 (absoluttverdi)
9   Cyl1_Cyl2  : REAL; //Differanse mellom Sylinder 1 og sylinder 2 (absoluttverdi)
10  Cyl1_Cyl3  : REAL; //Differanse mellom Sylinder 1 og sylinder 3 (absoluttverdi)
11  Cyl2_Cyl3  : REAL; //Differanse mellom Sylinder 2 og sylinder 3 ((absoluttverdi)
12  Cyl1_Cyl2t  : REAL; //Differanse mellom Sylinder 1 og sylinder 2 (absoluttverdi) m/trykk i
  sylinder
13  Cyl1_Cyl3t  : REAL; //Differanse mellom Sylinder 1 og sylinder 3 (absoluttverdi) m/trykk i
  sylinder
14  Cyl2_Cyl3t  : REAL; //Differanse mellom Sylinder 2 og sylinder 3 ((absoluttverdi)m/trykk i
  sylinder
15  bResetMinne : BOOL; //Resetter minne med max-verdi
16 END_VAR
17
18 VAR_OUTPUT
19  Max_Ramp_Cyll1t : REAL; //Maksimal differanse mellom referanse rampe og sylinder 1 (absolut
  tverdi) m/trykk i sylinder 1
20  Max_Ramp_Cyll1  : REAL; //Maksimal differanse mellom referanse rampe og sylinder 1 (absolut
  tverdi)
21  Max_Ramp_Cyl2t  : REAL; //Maksimal differanse mellom referanse rampe og sylinder 1 (absolut
  tverdi) m/trykk i sylinder 2
22  Max_Ramp_Cyl2  : REAL; //Maksimal differanse mellom referanse rampe og sylinder 1 (absolut
  tverdi)
23  Max_Ramp_Cyl3t  : REAL; //Maksimal differanse mellom referanse rampe og sylinder 1 (absolut
  tverdi) m/trykk i sylinder 3
24  Max_Ramp_Cyl3  : REAL; //Maksimal differanse mellom referanse rampe og sylinder 3 (absolut
  tverdi)
25  Max_Cyll1_Cyl2  : REAL; //Maksimal differanse mellom Sylinder 1 og sylinder 2 (absoluttverd
  i)
26  Max_Cyll1_Cyl3  : REAL; //Maksimal differanse mellom Sylinder 1 og sylinder 3 (absoluttverd
  i)
27  Max_Cyl2_Cyl3  : REAL; //Maksimal differanse mellom Sylinder 2 og sylinder 3 ((absoluttverd
  i)
28  Max_Cyll1_Cyl2t  : REAL; //Maksimal differanse mellom Sylinder 1 og sylinder 2 (absoluttverd
  i) m/trykk i sylinder
29  Max_Cyll1_Cyl3t  : REAL; //Maksimal differanse mellom Sylinder 1 og sylinder 3 (absoluttverd
  i) m/trykk i sylinder
30  Max_Cyl2_Cyl3t  : REAL; //Maksimal differanse mellom Sylinder 2 og sylinder 3 ((absoluttverd
  i)m/trykk i sylinder
31 END_VAR
32 BEGIN
33
34 //Resett av minne med max-verdi
35 IF bResetMinne =true
36 THEN
37   Max_Ramp_Cyll1t := 0;
38   Max_Ramp_Cyll1  := 0;
39   Max_Ramp_Cyl2t  := 0;
40   Max_Ramp_Cyl2  := 0;
41   Max_Ramp_Cyl3t  := 0;
42   Max_Ramp_Cyl3  := 0;
43   Max_Cyll1_Cyl2  := 0;
44   Max_Cyll1_Cyl3  := 0;
45   Max_Cyl2_Cyl3  := 0;
46   Max_Cyll1_Cyl2t := 0;
47   Max_Cyll1_Cyl3t := 0;
48   Max_Cyl2_Cyl3t := 0;
49 END_IF;
50
51
52 //Logging av maks differanse mellom referanse-rampe og sylinder 1 m/trykk
53 IF Ramp_Cyll1t > Max_Ramp_Cyll1t
54 THEN Max_Ramp_Cyll1t := Ramp_Cyll1t;
55 ELSE Max_Ramp_Cyll1t := Max_Ramp_Cyll1t;
```

```
56 END_IF;
57
58 //Logging av maks differanse mellom referanse-rampe og sylinder 1
59 IF Ramp_Cyl1 > Max_Ramp_Cyl1
60 THEN Max_Ramp_Cyl1 := Ramp_Cyl1;
61 ELSE Max_Ramp_Cyl1 := Max_Ramp_Cyl1;
62 END_IF;
63
64 //Logging av maks differanse mellom referanse-rampe og sylinder 2 m/trykk
65 IF Ramp_Cyl2t > Max_Ramp_Cyl2t
66 THEN Max_Ramp_Cyl2t := Ramp_Cyl2t;
67 ELSE Max_Ramp_Cyl2t := Max_Ramp_Cyl2t;
68 END_IF;
69
70 //Logging av maks differanse mellom referanse-rampe og sylinder 2
71 IF Ramp_Cyl2 > Max_Ramp_Cyl2
72 THEN Max_Ramp_Cyl2 := Ramp_Cyl2;
73 ELSE Max_Ramp_Cyl2 := Max_Ramp_Cyl2;
74 END_IF;
75
76 //Logging av maks differanse mellom referanse-rampe og sylinder 3 m/trykk
77 IF Ramp_Cyl3t > Max_Ramp_Cyl3t
78 THEN Max_Ramp_Cyl3t := Ramp_Cyl3t;
79 ELSE Max_Ramp_Cyl3t := Max_Ramp_Cyl3t;
80 END_IF;
81
82 //Logging av maks differanse mellom referanse-rampe og sylinder 3
83 IF Ramp_Cyl3 > Max_Ramp_Cyl3
84 THEN Max_Ramp_Cyl3 := Ramp_Cyl3;
85 ELSE Max_Ramp_Cyl3 := Max_Ramp_Cyl3;
86 END_IF;
87
88 //Logging av maks differanse mellom sylinder 1 og sylinder 2
89 IF Cyl1_Cyl2 > Max_Cyl1_Cyl2
90 THEN Max_Cyl1_Cyl2 := Cyl1_Cyl2;
91 ELSE Max_Cyl1_Cyl2 := Max_Cyl1_Cyl2;
92 END_IF;
93
94 //Logging av maks differanse mellom sylinder 1 og sylinder 2 m/trykk
95 IF Cyl1_Cyl2t > Max_Cyl1_Cyl2t
96 THEN Max_Cyl1_Cyl2t := Cyl1_Cyl2t;
97 ELSE Max_Cyl1_Cyl2t := Max_Cyl1_Cyl2t;
98 END_IF;
99
100 //Logging av maks differanse mellom sylinder 1 og sylinder 3
101 IF Cyl1_Cyl3 > Max_Cyl1_Cyl3
102 THEN Max_Cyl1_Cyl3 := Cyl1_Cyl3;
103 ELSE Max_Cyl1_Cyl3 := Max_Cyl1_Cyl3;
104 END_IF;
105
106 //Logging av maks differanse mellom sylinder 1 og sylinder 3 m/trykk
107 IF Cyl1_Cyl3t > Max_Cyl1_Cyl3t
108 THEN Max_Cyl1_Cyl3t := Cyl1_Cyl3t;
109 ELSE Max_Cyl1_Cyl3t := Max_Cyl1_Cyl3t;
110 END_IF;
111
112 //Logging av maks differanse mellom sylinder 2 og sylinder 3
113 IF Cyl2_Cyl3 > Max_Cyl2_Cyl3
114 THEN Max_Cyl2_Cyl3 :=Cyl2_Cyl3;
115 ELSE Max_Cyl2_Cyl3 := Max_Cyl2_Cyl3;
116 END_IF;
117
118 //Logging av maks differanse mellom sylinder 2 og sylinder 3 m/trykk
119 IF Cyl2_Cyl3t > Max_Cyl2_Cyl3t
120 THEN Max_Cyl2_Cyl3t := Cyl2_Cyl3t;
121 ELSE Max_Cyl2_Cyl3t := Max_Cyl2_Cyl3t;
122 END_IF;
123
124
125 ;
126 END_FUNCTION_BLOCK
127
128
```



```
117
118
119 //Gjennomsnitt differanse mellom Sylinder 1 og sylinder 2
120 Tot_Cyl1_Cyl21 := Tot_Cyl1_Cyl2;
121
122 IF Cyl1_Cyl2 > 0
123 THEN Tot_Cyl1_Cyl2 := ((Tot_Cyl1_Cyl21*N)+ Cyl1_Cyl2)/(N+1);
124 ELSE Tot_Cyl1_Cyl2 := Tot_Cyl1_Cyl21;
125 END_IF;
126
127 //Gjennomsnitt differanse mellom Sylinder 1 og sylinder 3
128 Tot_Cyl1_Cyl31 := Tot_Cyl1_Cyl3;
129
130 IF Cyl1_Cyl3 > 0
131 THEN Tot_Cyl1_Cyl3 := ((Tot_Cyl1_Cyl31*N)+ Cyl1_Cyl3)/(N+1);
132 ELSE Tot_Cyl1_Cyl3 := Tot_Cyl1_Cyl31;
133 END_IF;
134
135 //Gjennomsnitt differanse mellom Sylinder 2 og sylinder 3
136 Tot_Cyl2_Cyl31 := Tot_Cyl2_Cyl3;
137
138 IF Cyl2_Cyl3 > 0
139 THEN Tot_Cyl2_Cyl3 := ((Tot_Cyl2_Cyl31*N)+ Cyl2_Cyl3)/(N+1);
140 ELSE Tot_Cyl2_Cyl3 := Tot_Cyl2_Cyl31;
141 END_IF;
142
143
144 //Gjennomsnitt differanse mellom Sylinder 1 og sylinder 2 m/trykk
145 Tot_Cyl1_Cyl21t := Tot_Cyl1_Cyl2t;
146
147 IF Cyl1_Cyl2t > 0
148 THEN Tot_Cyl1_Cyl2t := ((Tot_Cyl1_Cyl21t*N)+ Cyl1_Cyl2t)/(N+1);
149 ELSE Tot_Cyl1_Cyl2t := Tot_Cyl1_Cyl21t;
150 END_IF;
151
152 //Gjennomsnitt differanse mellom Sylinder 1 og sylinder 3 m/trykk
153 Tot_Cyl1_Cyl31t := Tot_Cyl1_Cyl3t;
154
155 IF Cyl1_Cyl3t > 0
156 THEN Tot_Cyl1_Cyl3t := ((Tot_Cyl1_Cyl31t*N)+ Cyl1_Cyl3t)/(N+1);
157 ELSE Tot_Cyl1_Cyl3t := Tot_Cyl1_Cyl31t;
158 END_IF;
159
160 //Gjennomsnitt differanse mellom Sylinder 2 og sylinder 3 m/trykk
161 Tot_Cyl2_Cyl31t := Tot_Cyl2_Cyl3t;
162
163 IF Cyl2_Cyl3t > 0
164 THEN Tot_Cyl2_Cyl3t := ((Tot_Cyl2_Cyl31t*N)+ Cyl2_Cyl3t)/(N+1);
165 ELSE Tot_Cyl2_Cyl3t := Tot_Cyl2_Cyl31t;
166 END_IF;
167
168 N := N+1;
169 ;
170 END_FUNCTION_BLOCK
```

```
1 FUNCTION_BLOCK FB334      //lead
2
3 VAR_INPUT
4     T           :REAL;
5     alpha       :REAL;
6     U           :REAL;
7     U_dot       :REAL;
8     Yt          :REAL;
9
10 END_VAR
11
12 VAR_OUTPUT
13     Y_dot       :REAL;
14 END_VAR
15
16 BEGIN
17
18
19 Y_dot := (T*U_dot+U-Yt)/(alpha*T);
20
21
22
23
24     ;
25 END_FUNCTION_BLOCK
26
```

```
1 FUNCTION_BLOCK FB17    //lead-switch - deaktiverer Lead kompensatoren ved tilbakekjøring
2
3 VAR_INPUT
4     bReset           :BOOL;
5     Y                :REAL;
6     U                :REAL;
7     Cyl_Pos_3       :REAL;
8
9 END_VAR
10
11 VAR_OUTPUT
12     Y_lead          :REAL;
13 END_VAR
14
15 BEGIN
16
17     IF bReset = true THEN
18         Y_lead:= U;
19     ELSIF Cyl_Pos_3 >= 10.0 THEN
20         Y_lead:= U;
21     ELSE
22         Y_lead := Y;
23     END_IF;
24
25     ;
26 END_FUNCTION_BLOCK
27
```

```
1 FUNCTION_BLOCK FB90
2
3 VAR_INPUT
4 TRYKK_SYL_1      : REAL;
5 TRYKK_SYL_2      : REAL;
6 TRYKK_SYL_3      : REAL;
7 bStart           : BOOL;
8 bStop            : BOOL;
9 END_VAR
10 VAR_OUTPUT
11 bStart_Mod       : BOOL;
12 bStop_Mod        : BOOL;
13
14 END_VAR
15
16 BEGIN
17
18 IF TRYKK_SYL_1 > 40 AND TRYKK_SYL_2 > 40 AND TRYKK_SYL_3 > 40
19     THEN
20
21         bStart_Mod := 0;
22         bStop_Mod  := 1;
23
24     ELSE
25
26         bStart_Mod := bStart;
27         bStop_Mod  := bStop;
28
29     END_IF;
30
31
32
33 END_FUNCTION_BLOCK
34
```

```
1 FUNCTION_BLOCK FB2 //Koordinatene til sylindene
2
3 VAR_INPUT
4     CylPos1      : REAL;
5     CylPos2      : REAL;
6     CylPos3      : REAL;
7
8 END_VAR
9
10 VAR_OUTPUT
11     X1           : REAL;
12     Y1           : REAL;
13     X2           : REAL;
14     Y2           : REAL;
15     X3           : REAL;
16     Y3           : REAL;
17 END_VAR
18
19 VAR
20     PI           : REAL;
21 BEGIN
22
23 // Finner X og Y koordinatene til sylindrens posisjon
24 PI:=3.141593; //konstant
25
26 X1:=0;
27 Y1:=-146.15+CylPos1;
28
29 X2:=126.6-(SIN(PI/3)*CylPos2);
30 Y2:=73.1-(COS(PI/3)*CylPos2);
31
32 X3:= -126.6+(SIN(PI/3)*CylPos3);
33 Y3:=73.1-(COS(PI/3)*CylPos3);
34
35
36 END_FUNCTION_BLOCK
37
```

```
1 FUNCTION_BLOCK FB6 //Real to Analog
2
3
4 VAR_INPUT      //Ønsket sylindervisjon
5     CylPos1      :REAL;
6     CylPos2      :REAL;
7     CylPos3      :REAL;
8 END_VAR
9
10 VAR_TEMP
11     Reg_Sign1     :REAL;
12     Reg_Sign2     :REAL;
13     Reg_Sign3     :REAL;
14 END_VAR
15
16 VAR_OUTPUT
17     nAO_CylPos1   :INT;
18     nAO_CylPos2   :INT;
19     nAO_CylPos3   :INT;
20
21 END_VAR
22
23 BEGIN
24
25 //ventiloverlapp segment 1
26 IF CylPos1 < 10.45 AND CylPos1 > 0.01
27 THEN Reg_Sign1 := 10.45;
28 ELSIF CylPos1 > -11.95 AND CylPos1 < -0.01
29 THEN Reg_Sign1 := -11.95;
30     //dødband syl 1
31 ELSIF CylPos1 < 0.01 AND CylPos1 > -0.01
32 THEN Reg_Sign1 := 0;
33 ELSE Reg_Sign1 := CylPos1;
34 END_IF;
35
36 //ventiloverlapp segment 2
37 IF CylPos2 < 9.7 AND CylPos2 > 0.01
38 THEN Reg_Sign2 := 9.7;
39 ELSIF CylPos2 > -11.89 AND CylPos2 < -0.01
40 THEN Reg_Sign2 := -11.89;
41     //dødband syl 2
42 ELSIF CylPos2 < 0.01 AND CylPos2 > -0.01
43 THEN Reg_Sign2 := 0;
44 ELSE Reg_Sign2 := CylPos2;
45 END_IF;
46
47 //ventiloverlapp segment 3
48 IF CylPos3 < 9.96 AND CylPos3 > 0.01
49 THEN Reg_Sign3 := 9.96;
50 ELSIF CylPos3 > -10.65 AND CylPos3 < -0.01
51 THEN Reg_Sign3 := -10.65;
52     //dødband syl 3
53 ELSIF CylPos3 < 0.01 AND CylPos3 > -0.01
54 THEN Reg_Sign3 := 0;
55 ELSE Reg_Sign3 := CylPos3;
56 END_IF;
57
58
59
60 //konvertering, signal(AO) til PVG32,
61     nAO_CylPos1 := REAL_TO_INT((Reg_Sign1*-1)/100*27648);
62
63     nAO_CylPos2 := REAL_TO_INT((Reg_Sign2*-1)/100*27648);
64
65     nAO_CylPos3 := REAL_TO_INT((Reg_Sign3*-1)/100*27648);
66
67
68
69 END_FUNCTION_BLOCK
70
```

```
1 FUNCTION_BLOCK FB50
2
3 VAR_INPUT
4     TargetPos      : REAL;
5     PosMV          : REAL;
6     CycleTime     : REAL;
7     PosCyl_1      : REAL;
8     PosCyl_2      : REAL;
9     PosCyl_3      : REAL;
10    Kp_1           : REAL;
11    Ti_1           : TIME;
12    Kv_1           : REAL;
13    Kp_2           : REAL;
14    Ti_2           : TIME;
15    Kv_2           : REAL;
16    Kp_3           : REAL;
17    Ti_3           : TIME;
18    Kv_3           : REAL;
19    bStart         : BOOL;
20    bReset         : BOOL;
21    bStop          : BOOL;
22 END_VAR
23
24 VAR
25     tid           : TIME := T#20ms;
26     Limit_high   : REAL := 100;
27     Limit_low    : REAL := -100;
28     enable        : BOOL := 1;
29 END_VAR
30
31 VAR_TEMP
32     PI_reg_1     : REAL;
33     PI_reg_2     : REAL;
34     PI_reg_3     : REAL;
35     PosSpOut     : REAL;
36     VelSpOut     : REAL;
37 END_VAR
38
39
40 VAR_OUTPUT
41     Reg_out_1    : REAL;
42     PI_err_1     : REAL;
43     Reg_out_2    : REAL;
44     PI_err_2     : REAL;
45     Reg_out_3    : REAL;
46     PI_err_3     : REAL;
47     Bidrag_PI_1  : REAL;
48     Bidrag_FW_1  : REAL;
49     Bidrag_PI_2  : REAL;
50     Bidrag_FW_2  : REAL;
51     Bidrag_PI_3  : REAL;
52     Bidrag_FW_3  : REAL;
53
54
55 BEGIN
56
57
58 FB9.DB9(fTargetPos := TargetPos // IN: REAL
59     ,fPosMv := PosMV // IN: REAL
60     ,fCycleTime := CycleTime // IN: REAL
61     ,bStart := bStart // IN: BOOL
62     ,bReset := bReset // IN: BOOL
63     );
64     PosSpOut := DB9.fPosSpOut; // OUT: REAL
65     VelSpOut := DB9.fVelSpOut; // OUT: REAL
66
67 CONT_C.DB41(COM_RST := bStop // IN: BOOL
68     ,MAN_ON := bStop // IN: BOOL
69     ,P_SEL := enable // IN: BOOL
70     ,I_SEL := enable // IN: BOOL
71     ,CYCLE := tid // IN: TIME
72     ,SP_INT := PosSpOut // IN: REAL
73     ,PV_IN := PosCyl_1 // IN: REAL
```

```
74         ,GAIN := Kp_1 // IN: REAL
75         ,TI := Ti_1 // IN: TIME
76         ,LMN_HLM := Limit_high // IN: REAL
77         ,LMN_LLM := Limit_low // IN: REAL
78     );
79 PI_reg_1 := DB41.LMN; // OUT: REAL
80 PI_err_1 := DB41.ER; // OUT: REAL
81
82 Reg_out_1 := PI_reg_1 + (Kv_1*VelSpOut);
83 Bidrag_PI_1 := (PI_reg_1/Reg_out_1) * 100;
84 Bidrag_FW_1 := ((Kv_1*VelSpOut)/Reg_out_1) * 100;
85 //
86 CONT_C.DB42(COM_RST := bStop // IN: BOOL
87     ,MAN_ON := bStop // IN: BOOL
88     ,P_SEL := enable // IN: BOOL
89     ,I_SEL := enable // IN: BOOL
90     ,CYCLE := tid // IN: TIME
91     ,SP_INT := PosSpOut // IN: REAL
92     ,PV_IN := PosCyl_2 // IN: REAL
93     ,GAIN := Kp_2 // IN: REAL
94     ,TI := Ti_2 // IN: TIME
95     ,LMN_HLM := Limit_high // IN: REAL
96     ,LMN_LLM := Limit_low // IN: REAL
97 );
98 PI_reg_2 := DB42.LMN; // OUT: REAL
99 PI_err_2 := DB42.ER; // OUT: REAL
100
101 Reg_out_2 := PI_reg_2 + (Kv_2*VelSpOut);
102 Bidrag_PI_2 := (PI_reg_2/Reg_out_2) * 100;
103 Bidrag_FW_2 := ((Kv_2*VelSpOut)/Reg_out_2) * 100;
104
105 //
106 CONT_C.DB43(COM_RST := bStop // IN: BOOL
107     ,MAN_ON := bStop // IN: BOOL
108     ,P_SEL := enable // IN: BOOL
109     ,I_SEL := enable // IN: BOOL
110     ,CYCLE := tid // IN: TIME
111     ,SP_INT := PosSpOut // IN: REAL
112     ,PV_IN := PosCyl_3 // IN: REAL
113     ,GAIN := Kp_3 // IN: REAL
114     ,TI := Ti_3 // IN: TIME
115     ,LMN_HLM := Limit_high // IN: REAL
116     ,LMN_LLM := Limit_low // IN: REAL
117 );
118 PI_reg_3 := DB43.LMN; // OUT: REAL
119 PI_err_3 := DB43.ER; // OUT: REAL
120
121 Reg_out_3 := PI_reg_3 + (Kv_3*VelSpOut);
122 Bidrag_PI_3 := (PI_reg_3/Reg_out_3) * 100;
123 Bidrag_FW_3 := ((Kv_3*VelSpOut)/Reg_out_3) * 100;
124
125     ;
126 END_FUNCTION_BLOCK
```



```
1 FUNCTION_BLOCK FB53
2
3 VAR_INPUT
4     TargetPos      : REAL;
5     PosMV          : REAL;
6     CycleTime     : REAL;
7     PosCyl_1      : REAL;
8     PosCyl_2      : REAL;
9     PosCyl_3      : REAL;
10    Kp_1           : REAL;
11    Ti_1           : TIME;
12    Kv_1           : REAL;
13    Kp_2           : REAL;
14    Ti_2           : TIME;
15    Kv_2           : REAL;
16    Kp_3           : REAL;
17    Ti_3           : TIME;
18    Kv_3           : REAL;
19    bStart         : BOOL;
20    bReset         : BOOL;
21    bStop          : BOOL;
22 END_VAR
23
24 VAR
25     tid            : TIME := T#20ms;
26     Limit_high    : REAL := 100;
27     Limit_low     : REAL := -100;
28     enable        : BOOL := 1;
29 END_VAR
30
31 VAR_TEMP
32     PI_reg_1      : REAL;
33     PI_reg_2      : REAL;
34     PosSpOut      : REAL;
35     VelSpOut      : REAL;
36 END_VAR
37
38
39 VAR_OUTPUT
40     Reg_out_1     : REAL;
41     PI_err_1      : REAL;
42     Reg_out_2     : REAL;
43     PI_err_2      : REAL;
44     PI_reg_3      : REAL;
45     FW_out_3      : REAL;
46     PI_err_3      : REAL;
47
48
49
50 BEGIN
51
52
53 FB9.DB9(fTargetPos := TargetPos // IN: REAL
54     ,fPosMv := PosMV // IN: REAL
55     ,fCycleTime := CycleTime // IN: REAL
56     ,bStart := bStart // IN: BOOL
57     ,bReset := bReset // IN: BOOL
58     );
59     PosSpOut := DB9.fPosSpOut; // OUT: REAL
60     VelSpOut := DB9.fVelSpOut; // OUT: REAL
61
62 CONT_C.DB41(COM_RST := bStop // IN: BOOL
63     ,MAN_ON := bStop // IN: BOOL
64     ,P_SEL := enable // IN: BOOL
65     ,I_SEL := enable // IN: BOOL
66     ,CYCLE := tid // IN: TIME
67     ,SP_INT := PosSpOut // IN: REAL
68     ,PV_IN := PosCyl_1 // IN: REAL
69     ,GAIN := Kp_1 // IN: REAL
70     ,TI := Ti_1 // IN: TIME
71     ,LMN_HLM := Limit_high // IN: REAL
72     ,LMN_LLM := Limit_low // IN: REAL
73     );
```

```
74 PI_reg_1      := DB41.LMN; // OUT: REAL
75 PI_err_1     := DB41.ER; // OUT: REAL
76
77 Reg_out_1 := PI_reg_1 + (Kv_1*VelSpOut);
78 //Bidrag_PI_1 := (PI_reg_1/Reg_out_1) * 100;
79 //Bidrag_FW_1 := ((Kv_1*VelSpOut)/Reg_out_1) * 100;
80 //
81 CONT_C.DB42(COM_RST := bStop // IN: BOOL
82             ,MAN_ON := bStop // IN: BOOL
83             ,P_SEL := enable // IN: BOOL
84             ,I_SEL := enable // IN: BOOL
85             ,CYCLE := tid // IN: TIME
86             ,SP_INT := PosSpOut // IN: REAL
87             ,PV_IN := PosCyl_2 // IN: REAL
88             ,GAIN := Kp_2 // IN: REAL
89             ,TI := Ti_2 // IN: TIME
90             ,LMN_HLM := Limit_high // IN: REAL
91             ,LMN_LLM := Limit_low // IN: REAL
92             );
93 PI_reg_2      := DB42.LMN; // OUT: REAL
94 PI_err_2     := DB42.ER; // OUT: REAL
95
96 Reg_out_2 := PI_reg_2 + (Kv_2*VelSpOut);
97 //Bidrag_PI_2 := (PI_reg_2/Reg_out_2) * 100;
98 //Bidrag_FW_2 := ((Kv_2*VelSpOut)/Reg_out_2) * 100;
99
100 //
101 CONT_C.DB43(COM_RST := bStop // IN: BOOL
102             ,MAN_ON := bStop // IN: BOOL
103             ,P_SEL := enable // IN: BOOL
104             ,I_SEL := enable // IN: BOOL
105             ,CYCLE := tid // IN: TIME
106             ,SP_INT := PosSpOut // IN: REAL
107             ,PV_IN := PosCyl_3 // IN: REAL
108             ,GAIN := Kp_3 // IN: REAL
109             ,TI := Ti_3 // IN: TIME
110             ,LMN_HLM := Limit_high // IN: REAL
111             ,LMN_LLM := Limit_low // IN: REAL
112             );
113 PI_reg_3      := DB43.LMN; // OUT: REAL
114 PI_err_3     := DB43.ER; // OUT: REAL
115
116
117
118
119 FW_out_3 := (Kv_3*VelSpOut);
120
121
122
123 ;
124 END_FUNCTION_BLOCK
125
126
```

```
1 FUNCTION_BLOCK FB5 //Senteravvik
2
3 VAR_INPUT
4   XKryss      : REAL; //Koordinat i x-retning for kryssningspunkt av rør
5   YKryss      : REAL; //Koordinat i y-retning for kryssningspunkt av rør
6 END_VAR
7
8 VAR
9   XSenter     : REAL; //Koordinat i x-retning for senterpunkt av rigg
10  YSenter     : REAL; //Koordinat i y-retning for senterpunkt av rigg
11
12 END_VAR
13 VAR_TEMP
14   X           : REAL;
15   Y           : REAL;
16 END_VAR
17
18 VAR_OUTPUT
19   Senteravvik : REAL; //Senteravvik i mm
20 END_VAR
21 BEGIN
22   XSenter := 0.0; //Koordinat i x-retning for senterpunkt av rigg
23   YSenter := 0.0; //Koordinat i y-retning for senterpunkt av rigg
24
25 X := XKryss - XSenter; //Avstand mellom reelt senterpunkt og senter på rør i x-retning
26 Y := YKryss - YSenter; //Avstand mellom reelt senterpunkt og senter på rør i y-retning
27
28 Senteravvik := SQRT(SQR(X)+SQR(Y)); //Senteravvik i mm
29
30 ;
31 END_FUNCTION_BLOCK
32
33
```

```
1 FUNCTION_BLOCK FB73 //Real to Analog
2           //Konverterer signal som sendes til labview
3
4
5 VAR_INPUT      //Ønsket sylindereposisjon
6   Ramp_input      :REAL;
7 END_VAR
8
9
10 VAR_OUTPUT
11   nAO_Sin_Lab      :INT;
12
13 END_VAR
14
15 BEGIN
16
17
18
19 //konvertering, signal(AO) til PVG32,
20   nAO_Sin_Lab := REAL_TO_INT((Ramp_input)/150*27648);
21
22
23
24 END_FUNCTION_BLOCK
```

```
1 FUNCTION_BLOCK FB123 //Sinussignal
2 VAR_INPUT
3     Hz           :REAL;
4     bEnable     :BOOL;
5 END_VAR
6
7 VAR_OUTPUT
8     SIN_SIGNAL  :REAL;
9     t           : REAL;
10 END_VAR
11
12
13 VAR_TEMP
14     w           : REAL;
15 END_VAR
16
17
18 VAR
19     PI           :REAL := 3.14159;
20     INCREMENT   : REAL := 0.02; //INCREMENT VALUE
21     TARGET      : REAL := 30.0; //TARGET RAMP VALUE
22 END_VAR
23
24
25
26 BEGIN
27
28 IF bEnable AND TARGET > t
29 THEN t := t + INCREMENT;
30 ELSE t := 0;
31 END_IF;
32
33 w := 2*PI*Hz;
34 SIN_SIGNAL := 20*SIN(w*t);
35
36 ;
37 END_FUNCTION_BLOCK
```

```
1 FUNCTION_BLOCK FB70    //Sinussignal
2 VAR_INPUT
3     Hz                :REAL;
4     bEnable          :BOOL;
5 END_VAR
6
7 VAR_OUTPUT
8     SIN_SIGNAL        :REAL;
9     t                 : REAL;
10 END_VAR
11
12
13 VAR_TEMP
14     w                 : REAL;
15 END_VAR
16
17
18 VAR
19     PI                :REAL := 3.14159;
20     INCREMENT         : REAL := 0.02; //INCREMENT VALUE
21     TARGET            : REAL := 30.0; //TARGET RAMP VALUE
22 END_VAR
23
24
25
26 BEGIN
27
28 IF bEnable AND TARGET > t
29 THEN t := t + INCREMENT;
30 ELSE t := 0;
31 END_IF;
32
33 w := 2*PI*Hz;
34 SIN_SIGNAL := 40*SIN(w*t);
35
36 ;
37 END_FUNCTION_BLOCK
38
39
```

```
1 FUNCTION_BLOCK FB8 //Beregner lengden sylindren skal gå, ved en gitt diameter
2 VAR_INPUT
3     Diameter      :REAL;
4
5 END_VAR
6
7 VAR_TEMP
8
9     Xbr           :REAL;
10    Ybr           :REAL;
11
12    Xcr           :REAL;
13    Ycr           :REAL;
14    d             :REAL;
15
16 END_VAR
17 VAR
18     PI           :REAL := 3.1415;
19 END_VAR
20 VAR_OUTPUT
21     La           :REAL; //Lengden sylindrer A skal kjøre
22     Lb           :REAL; //Lengden sylindrer B skal kjøre
23     Lc           :REAL; //Lengden sylindrer C skal kjøre
24     Gjennomsnitt :REAL; //Gjennomsnittlig slaglengde
25 END_VAR
26
27 BEGIN
28     d := Diameter;
29
30     La := 146.15-(d/2);
31
32     Xbr :=COS(PI/6)*(d/2);
33     Ybr :=SIN(PI/6)*(d/2);
34     Lb :=SQRT(SQR(126.6-Xbr)+SQR(73.1-Ybr));
35
36     Xcr :=-COS(PI/6)*(d/2);
37     Ycr :=SIN(PI/6)*(d/2);
38     Lc :=SQRT(SQR(-126.6-Xcr)+SQR(73.1-Ycr));
39
40     Gjennomsnitt := (La+Lb+Lc)/3;
41
42
43
44
45     ;
46 END_FUNCTION_BLOCK
47
48
```

```
1 FUNCTION_BLOCK FB10
2
3 VAR_INPUT
4 PosCyl_1      : REAL;
5 PosCyl_2      : REAL;
6 PosCyl_3      : REAL;
7 TrykkCyl_1    : REAL;
8 TrykkCyl_2    : REAL;
9 TrykkCyl_3    : REAL;
10 bEnable      : BOOL;
11 bReset       : BOOL;
12 END_VAR
13 VAR_temp
14   Ramp_Cyl1t  : REAL; //Differanse mellom referanse rampe og sylinter 1 (absoluttverdi) m/try
kk i sylinter 1
15   Ramp_Cyl1   : REAL; //Differanse mellom referanse rampe og sylinter 1 (absoluttverdi)
16   Ramp_Cyl2t  : REAL; //Differanse mellom referanse rampe og sylinter 1 (absoluttverdi) m/try
kk i sylinter 2
17   Ramp_Cyl2   : REAL; //Differanse mellom referanse rampe og sylinter 1 (absoluttverdi)
18   Ramp_Cyl3t  : REAL; //Differanse mellom referanse rampe og sylinter 1 (absoluttverdi) m/try
kk i sylinter 3
19   Ramp_Cyl3   : REAL; //Differanse mellom referanse rampe og sylinter 3 (absoluttverdi)
20   Cyl1_Cyl2   : REAL; //Differanse mellom Sylinter 1 og sylinter 2 (absoluttverdi)
21   Cyl1_Cyl3   : REAL; //Differanse mellom Sylinter 1 og sylinter 3 (absoluttverdi)
22   Cyl2_Cyl3   : REAL; //Differanse mellom Sylinter 2 og sylinter 3 ((absoluttverdi)
23   Cyl1_Cyl2t  : REAL; //Differanse mellom Sylinter 1 og sylinter 2 (absoluttverdi) m/trykk i
sylinter
24   Cyl1_Cyl3t  : REAL; //Differanse mellom Sylinter 1 og sylinter 3 (absoluttverdi) m/trykk i
sylinter
25   Cyl2_Cyl3t  : REAL; //Differanse mellom Sylinter 2 og sylinter 3 ((absoluttverdi)m/trykk i
sylinter
26
27 END_VAR
28
29 VAR_OUTPUT
30   Max_Ramp_Cyl1  : REAL; //Maksimal differanse mellom referanse rampe og sylinter 1 (absolut
tverdi)
31   Max_Ramp_Cyl2  : REAL; //Maksimal differanse mellom referanse rampe og sylinter 1 (absolut
tverdi)
32   Max_Ramp_Cyl3  : REAL; //Maksimal differanse mellom referanse rampe og sylinter 3 (absolut
tverdi)
33   Max_Ramp_Cyl1t : REAL; //Maksimal differanse mellom referanse rampe og sylinter 1 (absolut
tverdi) m/trykk i sylinter 1
34   Max_Ramp_Cyl2t : REAL; //Maksimal differanse mellom referanse rampe og sylinter 1 (absolut
tverdi) m/trykk i sylinter 2
35   Max_Ramp_Cyl3t : REAL; //Maksimal differanse mellom referanse rampe og sylinter 1 (absolut
tverdi) m/trykk i sylinter 3
36   Max_Cyl1_Cyl2  : REAL; //Maksimal differanse mellom Sylinter 1 og sylinter 2 (absoluttverd
i)
37   Max_Cyl1_Cyl3  : REAL; //Maksimal differanse mellom Sylinter 1 og sylinter 3 (absoluttverd
i)
38   Max_Cyl2_Cyl3  : REAL; //Maksimal differanse mellom Sylinter 2 og sylinter 3 ((absoluttverd
i)
39   Max_Cyl1_Cyl2t : REAL; //Maksimal differanse mellom Sylinter 1 og sylinter 2 (absoluttverd
i) m/trykk i sylinter
40   Max_Cyl1_Cyl3t : REAL; //Maksimal differanse mellom Sylinter 1 og sylinter 3 (absoluttverd
i) m/trykk i sylinter
41   Max_Cyl2_Cyl3t : REAL; //Maksimal differanse mellom Sylinter 2 og sylinter 3 ((absoluttverd
i)m/trykk i sylinter
42   Tot_Ramp_Cyl1  : REAL; //Maksimal differanse mellom referanse rampe og sylinter 1 (absolut
tverdi)
43   Tot_Ramp_Cyl2  : REAL; //Maksimal differanse mellom referanse rampe og sylinter 1 (absolut
tverdi)
44   Tot_Ramp_Cyl3  : REAL; //Maksimal differanse mellom referanse rampe og sylinter 3 (absolut
tverdi)
45   Tot_Ramp_Cyl1t : REAL; //Maksimal differanse mellom referanse rampe og sylinter 1 (absolut
tverdi) m/trykk i sylinter 1
46   Tot_Ramp_Cyl2t : REAL; //Maksimal differanse mellom referanse rampe og sylinter 1 (absolut
tverdi) m/trykk i sylinter 2
47   Tot_Ramp_Cyl3t : REAL; //Maksimal differanse mellom referanse rampe og sylinter 1 (absolut
tverdi) m/trykk i sylinter 3
48   Tot_Cyl1_Cyl2  : REAL; //Maksimal differanse mellom Sylinter 1 og sylinter 2 (absoluttverd
i)
```



```
49   Tot_Cyl1_Cyl3   : REAL; //Maksimal differanse mellom Sylinder 1 og sylinder 3 (absoluttverd
50   i)
51   Tot_Cyl2_Cyl3   : REAL; //Maksimal differanse mellom Sylinder 2 og sylinder 3 ((absoluttver
52   di)
53   Tot_Cyl1_Cyl2t  : REAL; //Maksimal differanse mellom Sylinder 1 og sylinder 2 (absoluttverd
54   i) m/trykk i sylinder
55   Tot_Cyl1_Cyl3t  : REAL; //Maksimal differanse mellom Sylinder 1 og sylinder 3 (absoluttverd
56   i) m/trykk i sylinder
57   Tot_Cyl2_Cyl3t  : REAL; //Maksimal differanse mellom Sylinder 2 og sylinder 3 ((absoluttver
58   di)m/trykk i sylinder
59   END_VAR
60   BEGIN
61   //
62   FB11.DB11(Pos_Ramp := DB9.fPosSpOut // IN: REAL
63   ,Pos_Cyl1 := PosCyl_1 // IN: REAL
64   ,Pos_Cyl2 := PosCyl_2 // IN: REAL
65   ,pos_Cyl3 := PosCyl_3 // IN: REAL
66   ,Trykk_Cyl1 := TrykkCyl_1 // IN: REAL
67   ,Trykk_Cyl2 := TrykkCyl_2 // IN: REAL
68   ,Trykk_Cyl3 := TrykkCyl_3 // IN: REAL
69   );
70   Ramp_Cyl1t := DB11.Ramp_Cyl1t; // OUT: REAL
71   Ramp_Cyl1 := DB11.Ramp_Cyl1; // OUT: REAL
72   Ramp_Cyl2t := DB11.Ramp_Cyl2t; // OUT: REAL
73   Ramp_Cyl2 := DB11.Ramp_Cyl2; // OUT: REAL
74   Ramp_Cyl3t := DB11.Ramp_Cyl3t; // OUT: REAL
75   Ramp_Cyl3 := DB11.Ramp_Cyl3; // OUT: REAL
76   Cyl1_Cyl2 := DB11.Cyl1_Cyl2; // OUT: REAL
77   Cyl1_Cyl3 := DB11.Cyl1_Cyl3; // OUT: REAL
78   Cyl2_Cyl3 := DB11.Cyl2_Cyl3; // OUT: REAL
79   Cyl1_Cyl2t := DB11.Cyl1_Cyl2t; // OUT: REAL
80   Cyl1_Cyl3t := DB11.Cyl1_Cyl3t; // OUT: REAL
81   Cyl2_Cyl3t := DB11.Cyl2_Cyl3t; // OUT: REAL
82   //
83   FB7.DB7(Ramp_Cyl1t := Ramp_Cyl1t // IN: REAL
84   ,Ramp_Cyl1 := Ramp_Cyl1 // IN: REAL
85   ,Ramp_Cyl2t := Ramp_Cyl2t // IN: REAL
86   ,Ramp_Cyl2 := Ramp_Cyl2 // IN: REAL
87   ,Ramp_Cyl3t := Ramp_Cyl3t // IN: REAL
88   ,Ramp_Cyl3 := Ramp_Cyl3 // IN: REAL
89   ,Cyl1_Cyl2 := Cyl1_Cyl2 // IN: REAL
90   ,Cyl1_Cyl3 := Cyl1_Cyl3 // IN: REAL
91   ,Cyl2_Cyl3 := Cyl2_Cyl3 // IN: REAL
92   ,Cyl1_Cyl2t := Cyl1_Cyl2t // IN: REAL
93   ,Cyl1_Cyl3t := Cyl1_Cyl3t // IN: REAL
94   ,Cyl2_Cyl3t := Cyl2_Cyl3t // IN: REAL
95   ,bResetMinne := bReset // IN: BOOL
96   );
97   Max_Ramp_Cyl1 := DB7.Max_Ramp_Cyl1; // OUT: REAL
98   Max_Ramp_Cyl2 := DB7.Max_Ramp_Cyl2; // OUT: REAL
99   Max_Ramp_Cyl3 := DB7.Max_Ramp_Cyl3; // OUT: REAL
100  Max_Ramp_Cyl1t := DB7.Max_Ramp_Cyl1t; // OUT: REAL
101  Max_Ramp_Cyl2t := DB7.Max_Ramp_Cyl2t; // OUT: REAL
102  Max_Ramp_Cyl3t := DB7.Max_Ramp_Cyl3t; // OUT: REAL
103  Max_Cyl1_Cyl2 := DB7.Max_Cyl1_Cyl2; // OUT: REAL
104  Max_Cyl1_Cyl3 := DB7.Max_Cyl1_Cyl3; // OUT: REAL
105  Max_Cyl2_Cyl3 := DB7.Max_Cyl2_Cyl3; // OUT: REAL
106  //
107  //
108  FB13.DB13(Ramp_Cyl1t := Ramp_Cyl1t // IN: REAL
109  ,Ramp_Cyl1 := Ramp_Cyl1 // IN: REAL
110  ,Ramp_Cyl2t := Ramp_Cyl2t // IN: REAL
111  ,Ramp_Cyl2 := Ramp_Cyl2 // IN: REAL
112  ,Ramp_Cyl3t := Ramp_Cyl3t // IN: REAL
113  ,Ramp_Cyl3 := Ramp_Cyl3 // IN: REAL
114  ,Cyl1_Cyl2 := Cyl1_Cyl2 // IN: REAL
115  ,Cyl1_Cyl3 := Cyl1_Cyl3 // IN: REAL
116  ,Cyl2_Cyl3 := Cyl2_Cyl3 // IN: REAL
```

```
117     ,Cyl1_Cyl2t := Cyl1_Cyl2t // IN: REAL
118     ,Cyl1_Cyl3t := Cyl1_Cyl3t // IN: REAL
119     ,Cyl2_Cyl3t := Cyl2_Cyl3t // IN: REAL
120     ,bReset := bReset // IN: BOOL
121     );
122 Tot_Ramp_Cyl1 := DB13.Tot_Ramp_Cyl1; // OUT: REAL
123 Tot_Ramp_Cyl2 := DB13.Tot_Ramp_Cyl2; // OUT: REAL
124 Tot_Ramp_Cyl3 := DB13.Tot_Ramp_Cyl3; // OUT: REAL
125 Tot_Ramp_Cyl1t := DB13.Tot_Ramp_Cyl1t; // OUT: REAL
126 Tot_Ramp_Cyl2t := DB13.Tot_Ramp_Cyl2t; // OUT: REAL
127 Tot_Ramp_Cyl3t := DB13.Tot_Ramp_Cyl3t; // OUT: REAL
128 Tot_Cyl1_Cyl2 := DB13.Tot_Cyl1_Cyl2; // OUT: REAL
129 Tot_Cyl1_Cyl3 := DB13.Tot_Cyl1_Cyl3; // OUT: REAL
130 Tot_Cyl2_Cyl3 := DB13.Tot_Cyl2_Cyl3; // OUT: REAL
131 Tot_Cyl1_Cyl2t := DB13.Tot_Cyl1_Cyl2t; // OUT: REAL
132 Tot_Cyl1_Cyl3t := DB13.Tot_Cyl1_Cyl3t; // OUT: REAL
133 Tot_Cyl2_Cyl3t := DB13.Tot_Cyl2_Cyl3t; // OUT: REAL
134
135
136     ;
137 END_FUNCTION_BLOCK
138
```

```
1 FUNCTION_BLOCK FB9 //Hastighets Referanse
2
3
4 CONST
5     STATE_ACCELERATION := 1;
6     STATE_CONST_VEL    := 2;
7     STATE_DECELERATION := 3;
8     STATE_CONST_POS    := 4;
9     STATE_NOT_ACTIVE   := 5;
10 END_CONST
11
12 VAR_INPUT
13     fTargetPos : REAL; //Target pos in mm
14     fPosMv     : REAL; //Pos MV in mm
15     fCycleTime : REAL; //In s
16     bStart     : BOOL; //Positive edge, start movement
17     bReset     : BOOL;
18 END_VAR
19
20 VAR
21     fTargetPosFreeze : REAL;
22     fAcc              : REAL := 5.0; //mm/s^2
23     fDec              : REAL := 5.0; //mm/s^2
24     fConstVel        : REAL := 25.0; //mm/s
25     fPosSp           : REAL;
26     fVelSp           : REAL;
27     fPosDeadBand     : REAL := 1.0; //mm
28     nState           : INT; //state machine
29     bNegDirection    : BOOL; // target < posMv -> negative velocity
30 END_VAR
31
32 VAR_OUTPUT
33     fPosSpOut        : REAL;
34     fVelSpOut        : REAL;
35 END_VAR
36
37 VAR_TEMP
38     tfStopDist      : REAL;
39 END_VAR
40
41 BEGIN
42
43 //Start movement at bStart input, and when in inactive state
44 IF bStart AND (nState = STATE_NOT_ACTIVE) THEN
45     fPosSp := fPosMv;
46     fVelSp := 0.0;
47     nState := STATE_ACCELERATION;
48     fTargetPosFreeze := fTargetPos;
49     bNegDirection := (fTargetPosFreeze - fPosMv) < 0;
50 END_IF;
51
52 //Hold constant position
53 IF bStart AND (nState = STATE_CONST_POS) THEN
54     fPosSp := fTargetPos;
55     fVelSp := 0.0;
56 END_IF;
57
58
59 //If reset, stop movement
60 IF bReset THEN
61     nState := STATE_NOT_ACTIVE;
62 END_IF;
63
64
65 //State machine
66 CASE nState OF
67     STATE_ACCELERATION:
68         IF bNegDirection THEN
69             fVelSp := fVelSp - fAcc * fCycleTime;
70         ELSE
71             fVelSp := fVelSp + fAcc * fCycleTime;
72         END_IF;
73     fPosSp := fPosSp + fVelSp * fCycleTime;
```

```
74 STATE_CONST_VEL:
75   IF bNegDirection THEN
76     fVelSp := -fConstVel;
77   ELSE
78     fVelSp := fConstVel;
79   END_IF;
80   fPosSp := fPosSp + fVelSp * fCycleTime;
81 STATE_DECELERATION:
82   IF bNegDirection THEN
83     fVelSp := fVelSp + fDec * fCycleTime;
84   ELSE
85     fVelSp := fVelSp - fDec * fCycleTime;
86   END_IF;
87   fPosSp := fPosSp + fVelSp * fCycleTime;
88 STATE_NOT_ACTIVE:
89   fVelSp := 0.0;
90   fPosSp := fPosMv;
91 END_CASE;
92
93 //stop accelrating when at travel velocity
94 IF ABS(fVelSp) >= fConstVel AND
95   nState = STATE_ACCELERATION THEN
96
97   nState := STATE_CONST_VEL;
98 END_IF;
99
100 //Distance need to stop from current velocity
101 tfStopDist := (fVelSp*fVelSp) / (2*fDec);
102 //Start decelerating when stop distance matches target pos
103 IF tfStopDist >= ABS(fTargetPosFreeze - fPosSp) AND
104   (nState = STATE_ACCELERATION OR
105     nState = STATE_CONST_VEL) THEN
106
107   nState := STATE_DECELERATION;
108 END_IF;
109
110 //stop movement when decelration has reached zero speed
111 IF ((fVelSp <= 0.0 AND NOT bNegDirection) OR
112     (fVelSp >= 0.0 AND bNegDirection)) AND
113   nState = STATE_DECELERATION THEN
114
115   nState := STATE_CONST_POS;
116 END_IF;
117
118 //Map Speed and Vel SP to output pins
119 fPosSpOut := fPosSP;
120 fVelSpOut := fVelSP;
121
122 END_FUNCTION_BLOCK
123
124
125
126
127
128
```