



Høgskulen på Vestlandet

Bacheloroppgave Elektro

ING3055

Predefinert informasjon

Startdato:	30-04-2019 16:23	Termin:	2019 VÅR
Sluttdato:	08-05-2019 14:00	Vurderingsform:	Norsk 6-trinns skala (A-F)
Eksamensform:	Bacheloroppgave Elektro med muntlig presentasjon/eksaminasjon		
SIS-kode:	203 ING3055 1 BOPPG 2019 VÅR Haugesund		
Intern sensor:	(Anonymisert)		

Deltaker

Kandidatnr.: 106

Informasjon fra deltaker

Tittel *: Utvikling av automatisert reguleringsystem for dosering av råvarer til produksjon av fiskefôr.

Engelsk tittel *: Development of control system for raw material dosage for production of fish feed

Egenerklæring *: Ja **Inneholder besvarelsen** Nei
konfidensiell materiale?:

Jeg bekrefter at jeg har Ja
registrert oppgavetittelen
på norsk og engelsk i
StudentWeb og vet at
denne vil stå på
vitnemålet mitt *:

Gruppe

Gruppenavn: (Anonymisert)

Gruppenummer: 1

Andre medlemmer i 108, 104

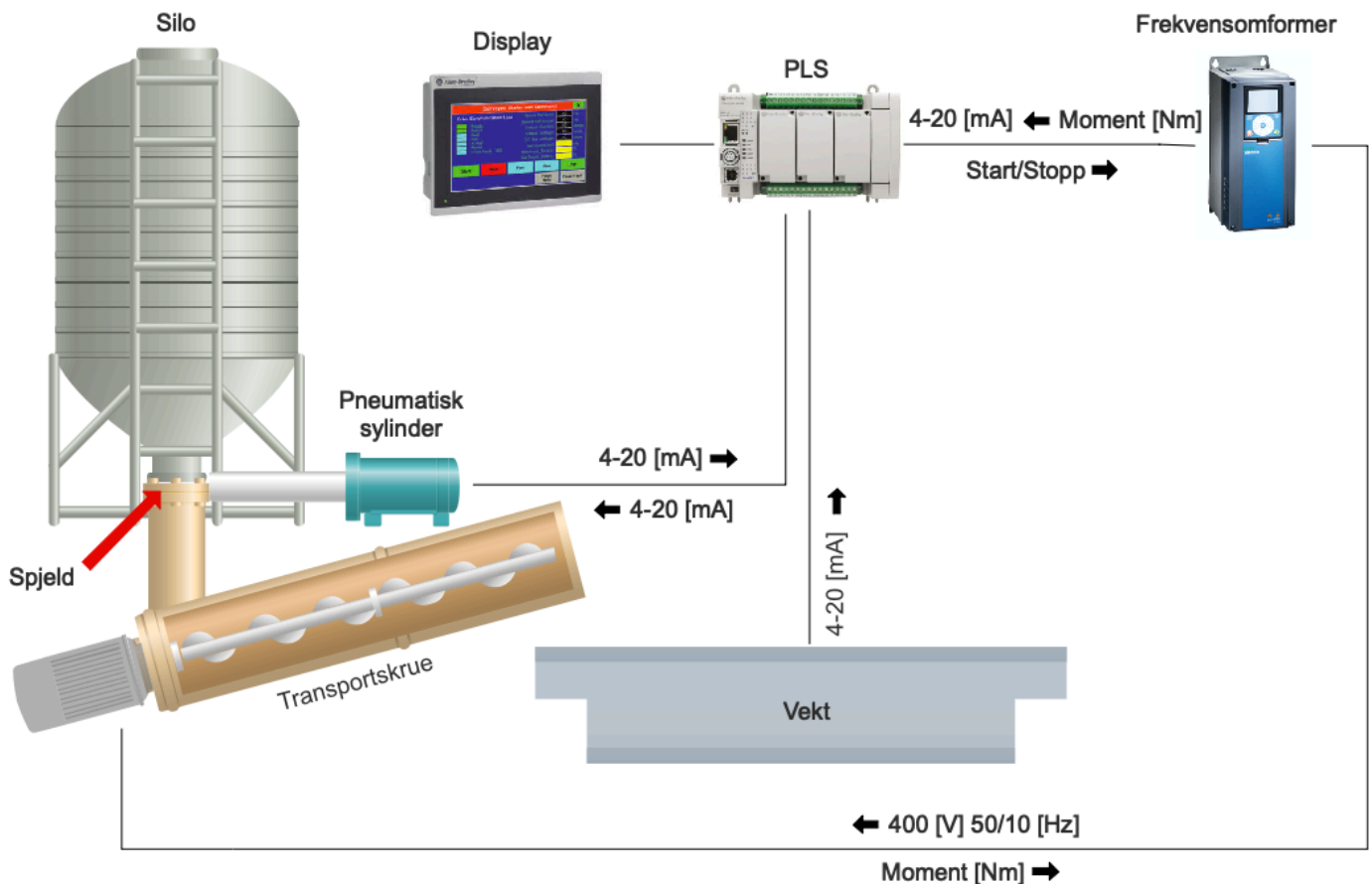
gruppen:

Jeg godkjenner avtalen om publisering av bacheloroppgaven min *

Ja

Bacheloroppgave

Utvikling av automatisert reguleringsystem for dosering av råvarer til produksjon av fiskefôr.



Emnekode: ING3055

Bachelor i ingeniørfag, elektroingeniør y-vei

Innleveringsfrist: 08.05.2019

Adrian Vegrim, kandidatnr: 104

Erik Brekkå Rosberg, kandidatnr: 108

Renate Paulsen Sandal, kandidatnr: 106

BACHELORPROSJEKT

Studentenes navn: Renate Paulsen Sandal
Erik Brekkå Rosberg
Adrian Vegrim

Linje & studieretning Bachelor i ingeniørfag, elektroingeniør y-vei

Oppgavens tittel: *Utvikling av automatisert system for regulering og dosering av råvarer til produksjon av fiskefor.*

Oppgavetekst:

BioMar får levert råvarer til å lage fiskefor som leveres til 45 forskjellige fiske- og rekearter i mer enn 80 land. Råvarene blir fraktet på transportbånd inn i siloer. Fiskeforets blandingsforhold bestemmes ut ifra kundens behov og krav. På BioMar er det 10 siloer som inneholder ulike råvarer til disposisjon. En reguleringsventil (spjeld) i bunnen av siloene skal reguleres etter hvilken råvare som er i siloene. Transportskruer frakter råvarene videre i fra siloene og disse kan kjøre seg fast dersom det blir for mye råvarer i dem. Det skal kjøres så mye råvare som mulig uten at skruene stopper for å få en så effektiv og lønnsom produksjon som mulig. Med dagens løsning regulerer operatører på BioMar spjeldet manuelt ut i fra erfaringer. Det er 39 råvarer til disposisjon og disse er blant annet solsikkefrø, bønner og fiskemel. For at oppgaven ikke skal bli for omfattende har gruppen har valgt å fokusere på 3 siloer, hvor innholdet i siloene varierer, men transportskruene og tilhørende motorer er identiske.

Oppgaven går ut på å finne den rette doseringen til hver råvare ut i fra tilgjengelige målinger eller nye målemetoder som gruppen setter opp. Det skal kjøres tester på det opprinnelige anlegget på BioMar for å samle data og informasjon. Gruppen skal prosjektere og lage en testtrigg for simulering. Ut i fra testing på BioMar sitt anlegg, samt simulering med testtrigg, skal gruppen undersøke hvordan man kan benytte motorens pådrag, til å gjøre dette om til et reguleringsignal hvor målet er å få en optimal regulering av spjeldet, og dermed få en automatisert og effektiv dosering av råvarene.

Endelig oppgave gitt:

Mandag 25. Februar 2019

Innleveringsfrist:

Onsdag 8. Mai 2019 kl. 12.00


Intern veileder:

Harald Språngberg – HVL

**Ekstern veileder:
emailadresse eksern
veileder:**

Kjell Mannes – Westcon Power & Automation AS

kjell.mannes@westcon.no

**Godkjent av
studieansvarlig:
Dato:**
25/4-19

Oppgavens tittel		Rapportnummer
Utvikling av automatisert reguleringsystem for dosering av råvarer til produksjon av fiskefôr.		<i>(Fylles ikke ut)</i>
Utført av		
Adrian Vegrim, Erik Brekkå Rosberg og Renate Paulsen Sandal.		
Linje		Studieretning
Elektroingeniør y-vei		Studie for ingeniørfag
Gradering	Innlevert dato	Bedrift hvor bacheloroppgaven er utført
Åpen	06/05-2019	Westcon Power & Automation AS
		Husøyvegen 31 4262 Avaldsnes
Intern veileder:		Ekstern veileder:
Harald Spångberg - HVL		Kjell Mannes – Westcon Power & Automation AS

Ekstrakt

I dette prosjektet har det blitt utviklet et automatisert reguleringsystem for en doseringsprosess av råvarer som lages til fiskefôr på BioMar. I samarbeid med Westcon Power & Automation AS og BioMar har gruppen planlagt, skissert, programmert og testet systemet. Det har vært behov for bestilling av utstyr og materiell, og det er blitt laget materialliste, koblingsskjemaer, programkode og en provisorisk testtrigg. Reguleringsystemet er blitt utviklet innenfor de gitte systemgrensene og ulike prinsipper er vurdert som grunnlag for den endelige løsningen.

Forord

Ved Høgskulen på Vestlandet avsluttes den treårige elektroingeniørutdanningen med en obligatorisk bacheloroppgave. Bacheloroppgaven består av en skriftlig rapport i tillegg til en muntlig presentasjon som tilsammen gir 20 studiepoeng. Hensikten med en bacheloroppgave er å fordype seg innenfor et spesielt fagområde. Mottaker av rapport og produkt vil være Høgskulen på Vestlandet. Det stilles ingen krav til forkunnskaper fra leser, men det kan være fordelaktig med kunnskap innen automasjon/elektro for best mulig forståelse.

I denne oppgaven har gruppen samarbeidet med to lokale firmaer på Karmøy; Westcon Power & Automation AS og BioMar. Fagene reguleringsteknikk og styringsteknikk har vært spesielt nyttige. For utarbeidelse av programkode og display har dataprogrammet Connected Component Workbench (CCW) blitt tatt i bruk. Prosjektet har vært lærerikt, med mange ulike faktorer og kartlegge. Utfordringene har vært mange og spennende, som har gidd gruppen mer kunnskap om PLS/HMI programmering og reguleringsteknikk i praksis.

Gruppen har fått god veiledning og oppfølging gjennom prosjektet, og ønsker derfor å takke følgende personer:

Harald Spångberg – Intern veileder.

Kjell Mannes – Ekstern veileder.

Anders Langåker og Jan Magne Dybvik for veiledende hjelp med programmering og feilsøking.

Til slutt vil vi takke Westcon Power & Automation AS og BioMar for samarbeidet.

Signaturer:



Renate Paulsen Sandal



Adrian Vegrim



Erik Brekkå Rosberg

Haugesund 7. Januar 2019

Definisjoner og forkortelser

Ordliste	Definisjon
Effektmål	Effektmål tar utgangspunkt i kundens verdier og er et mål som utarbeides tidlig i prosjektet.
WPA	Westcon Power & Automation AS
CPU	CPU, også kalt sentralenhet, er hjernen i PLS-en. Her utføres alle instruksjonene og beregninger og den styrer informasjonsflyten og hvordan programmene utføres.
LD	Ladder diagram
PV	Prosessverdi/Prosessvariabel
SV/CV	Setverdi
HMI	HMI står for Human Machine Interface og er grensesnittet mellom prosess og operatør – i hovedsak en programmerbar touch-skjerm for knapper og informasjonsvisning.
Transduser	En transduser er en innretning som omformer energi fra en form til en annen. Kan også omtales som en signalomformer.
Sensor	En sensor er en transduser som omformer en fysisk, biologisk eller kjemisk størrelse til et elektrisk signal. En sensor reagerer på endring i en fysisk størrelse og genererer et signal som kan måles eller tolkes.
Aktuator	En aktuator er en transduser som omformer et elektrisk signal til en fysisk betegnelse. For eksempel en motor, ventil, pumpe eller sylinder.
Hub	En hub er en enhet som brukes til å koble sammen flere datamaskiner i et nettverk for å få dem til å kommunisere med hverandre.
Ruter	En ruter er en maskin som videresender nettverkspakker til riktig mottakernetverk. Ruterer har en tabell over nettverk den er koblet til, kalt en rutingstabell.
Galvanisk skille	Et galvanisk skille mellom ledere eller nettverk hindrer at elektroner kan utveksles mellom dem. I prinsippet utgjør et galvanisk skille en isolator. Hovedgrunnen til at man ønsker et galvanisk skille er at en isolasjonssvikt (jordfeil) ikke skal spre seg til resten av anlegget.

Innholdsfortegnelse

1	Sammendrag	1
2	Innledning	2
2.1	Bakgrunn	2
2.2	Formål	3
2.3	Effekt mål	3
2.4	Systemgrenser	3
2.5	Oversiktstegning	4
2.6	BioMar	5
2.7	Disposisjon	5
2.8	Hjelpemidler	6
3	Teoretisk bakgrunn for oppgaven	7
3.1	Generelt om PLS	7
3.2	Generelt om frekvensomformer	7
3.3	Dobbeltvirkende sylindere	8
3.4	Asynkronmotor	8
3.5	Fordeler ved bruk av et automatisk system	8
3.6	Reguleringsteknikk	9
3.6.1	Regulering	9
3.6.2	Avviksbasert regulering - tilbakekobling	10
3.7	Regulator typer	11
3.7.1	P-regulator	11
3.7.2	PI-regulator	12
3.7.3	PID-regulator	13
3.8	Programmeringsspråk	14
3.8.1	Ladder Diagram	14
3.9	Analoge og digitale signal	15
3.9.1	Analogt signal	15
3.9.2	Digitalt signal	15
3.10	Standard signalformat	16
3.10.1	Standarden 4 – 20 mA	17
3.11	Lokalnett (LAN)	17
3.12	Ethernet og Ethernet/IP	18
3.13	Boolsk design	19
3.13.1	Logiske funksjonsuttrykk	19
3.13.2	Boolsk algebra	19
3.14	Dat typer	21
4	Teknisk del	22
4.1	Analyse av problemstilling	22

4.2	Prosjektering av testtrigg	23
4.3	Motormoment (Torque)	26
4.4	Vektregulering.....	27
4.5	Spjeldåpning	28
4.6	Råvarer til disposisjon	30
4.7	Programkode	31
4.8	HMI.....	35
4.9	Parametere brukt i frekvensomformer.....	38
4.10	Simulering	39
4.11	Testing på BioMar	40
4.12	Løsninger – avviksbasert regulering	41
4.12.1	PI-regulator uten tilbakemelding om spjeldposisjon.....	42
4.12.2	PI-regulator med tilbakemelding om spjeldposisjon.....	43
4.13	Valgt løsning	44
4.14	Testresultater	44
4.14.1	Test 1	45
4.14.2	Test 2	46
4.14.3	Test 3	47
4.14.4	Test 4	48
4.14.5	Test 5	49
4.14.6	Test 6	50
4.14.7	Test 7	51
4.14.8	Test 8 - Ziegler-Nichols' åpen sløyfe metode (2.lov).....	52
4.15	Konklusjon fra testing	53
4.16	Potensielle forbedringer/diskusjon	54
4.16.1	Teste reguleringen med flere råvarer.....	54
4.16.2	Vektregulering.....	54
4.16.3	Tilbakemelding fra spjeld.....	54
4.16.4	Optimalisering av programkode.....	55
5	Konklusjon	56
6	Kilder	57

Vedlegg.....	59
A Interne kvalitetskontrollaktiviteter	59
A1 Stillingsinstrukser	59
A2 Forventningsavklaring.....	61
A3 Organisasjonskart.....	62
A4 Interface matrise	63
A5 Sjekkliste.....	64
B HMS hensyn.....	66
B1 Verneutstyr og bekledning.....	66
B2 4-punktsjekk	66
B3 SJA – Sikker Jobb Analyse	66
C Risk Management og tiltak	67
C1 Kartlegging og risikovurdering	67
C2 Risikodiagram.....	68
C3 Handlingsplan	69
D Teknisk dokumentasjon.....	70
D1 Materialliste	70
D2 Tilstandsdiagram	71
D3 Hovedstrømskjema.....	72
D4 Styrestrømskjema.....	73

Figur- og tabelliste

Figur 1. Oversikt over prosess	2
Figur 2. Oversikt over anlegget ved BioMar	4
Figur 3. Reguleringsprosess	9
Figur 4. Avviksbasert reguleringsløyfe	10
Figur 5. P-regulator	11
Figur 6. PI-regulator	12
Figur 7. PID-regulator	13
Figur 8. OR/ELLER-krets 2010, av Hovland. (https://home.uia.no/geirh/node-evu/PDF/MAS113-1.pdf)	20
Figur 9. AND/OG-krets. 2010, av Hovland. (https://home.uia.no/geirh/node-evu/PDF/MAS113-1.pdf)	20
Figur 10. Testrigg	23
Figur 11. Testrigg innvendig	24
Figur 12. Testrigg tilkoblet anlegg på Biomar	25
Figur 13. Momentillustrasjon. 2011 av ABB. (https://library.e.abb.com/public/06961a5060b74233c125795b002b9029/NO_Technical_guide_No.4_REVC.pdf?fbclid=IwAR1nFEYS215Wvwj_UuQ0IjuHHjWRDqgXLnPJ4siCCO4ZAWpPHnF0s0hRkVk)	26
Figur 14. Momentillustrasjon. 2011 av ABB. (https://library.e.abb.com/public/06961a5060b74233c125795b002b9029/NO_Technical_guide_No.4_REVC.pdf?fbclid=IwAR1nFEYS215Wvwj_UuQ0IjuHHjWRDqgXLnPJ4siCCO4ZAWpPHnF0s0hRkVk)	27
Figur 15. Spjeldåpning	28
Figur 16. Arealåpning av spjeld	29
Figur 17. Skalering av analog input	32
Figur 18. Tilstander for kjø, full vekt og grovkjøring	33
Figur 19. Tilstand for finkjøring	33
Figur 20. PID-blokk med timer hvor eventuelle vektendringer legges til ved utgang	34
Figur 21. Skalert endringsrate for vekt	35
Figur 22. Hovedskjerm, HMI	36
Figur 23. Regulerings skjerm, HMI	37
Figur 24. Simulering	39
Figur 25. Codesysprogram for simulering av PID-regulator	40
Figur 26. PI-regulator uten tilbakemelding om spjeldåpning	42
Figur 27. PI-regulator med tilbakemelding om spjeldposisjon	43
Figur 28. Test 1	45
Figur 29. Test 2	46
Figur 30. Test 3	47
Figur 31. Test 4	48
Figur 32. Test 5	49
Figur 33. Test 6	50
Figur 34. Test 7	51
Figur 35. Test 8, Ziegler-Nichols metoden	52
Tabell 1. Hjelpemidler	6
Tabell 2. Datatyper	21
Tabell 3. Råvarer	30
Tabell 4. Valg av PID parametre	52

1 Sammendrag

I dette prosjektet har det blitt utviklet et automatisert reguleringsystem for en doseringsprosess av råvarer som produseres til fiskefor på BioMar. Formålet med bacheloroppgaven var å utvikle et system som ville redusere det manuelle arbeidet, og samtidig gi en effektiv dosering av råvarer. Systemet vil i første omgang bli brukt til bacheloroppgaven, men BioMar vil se på behovet for å implementere systemet på det eksisterende anlegget i senere tid, og kan ved interesse benytte seg av løsningen gruppen kom frem til.

Råvarer som skal doseres blir transportert inn i siloer på BioMar. I bunn av siloene er det et regulerbart spjeld som blir styrt av en dobbeltvirkende sylinder som går på trykkluft. Råvarene blir sluppet ned gjennom spjeldet før en motor som driver en transportskrue transporterer råvarene videre til en veicelle når det skal doseres. På hver side av siloene er det to motorer som vibrerer med bestemte intervaller. Dette for at råvarene lettere skal falle ned til spjeldåpningen.

I dag blir spjeldet regulert manuelt. De vibrerende motorene er en viktig faktor som er tatt til betraktning for regulering av spjeldet. Råvarene har ulik konsistens og tetthet, og det har vært problemer med at transportskruen kjører seg fast når spjeldet har for stor åpning, slik at for mye råvarer slippes gjennom samtidig.

I samarbeid med Westcon Power & Automation AS og BioMar har det blitt planlagt, skissert, programmert, testet, og prosjektert et automatisk reguleringsystem. Det har vært behov for bestilling av utstyr og materiell, og det er blitt laget materialliste, koblingsskjemaer, programkode og en provisorisk testtrigg.

Ulike prinsipp er vurdert som grunnlag for den endelige løsningen. Gruppen har fått innspill fra eksterne aktører med kompetanse innen fagfeltet. Resultatet har blitt en helautomatisert løsning, der det er blitt laget en provisorisk testtrigg som kan kobles på anlegget på BioMar for å simulere en eventuell stasjonær prosess. Testtriggen består i hovedsak av en frekvensomformer og en PLS med tilhørende programkode og HMI.

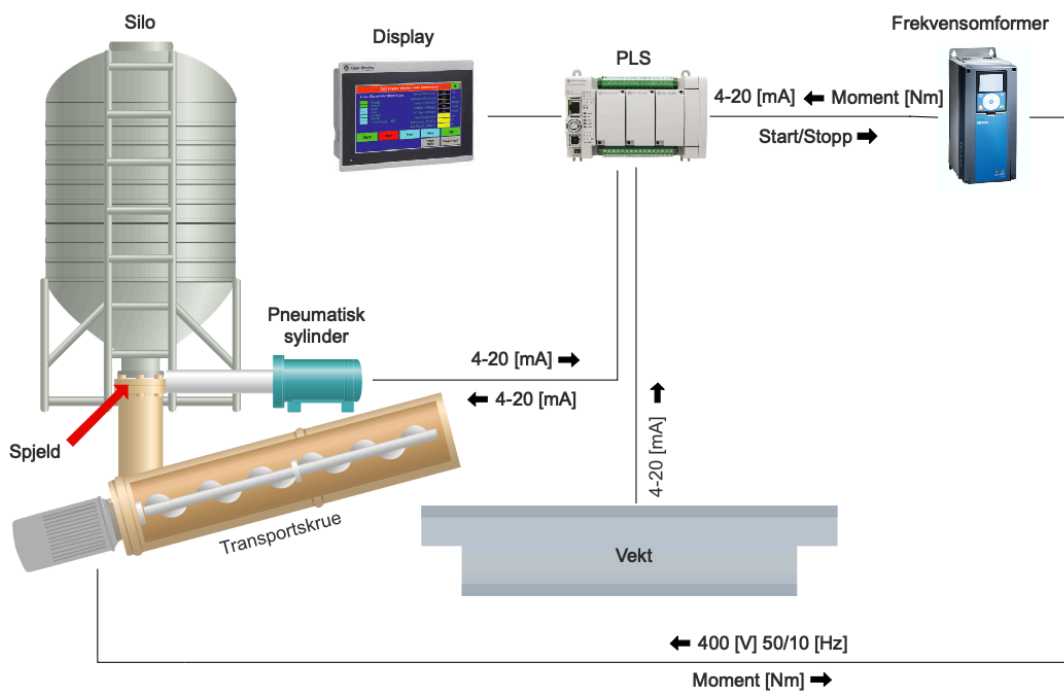
2 Innledning

Bakgrunn og formål vil bli presentert med tilhørende effektmål, disposisjon og avgrensinger.

2.1 Bakgrunn

Ekstern veileder og kontaktperson ved WPA hadde et møte med prosjektgruppen angående oppgave til bachelorprosjektet. Bakgrunn for oppgaven omhandlet dosering av råvarer på BioMar. Råvarer blir levert til anlegget på BioMar via båt og lastebil, og blir fraktet inn i siloer. Under siloene står det trakter med en vibrasjonsmotor på hver side. Når vibrasjonsmotorene vibrerer faller råvarene ned gjennom et regulerbart spjeld som i dag er styrt manuelt og ved hjelp av trykkluft i en pneumatisk sylinder. Under spjeldet står det en motor som driver en transportskrue som frakter råvarene videre til en vekt. Mengde og blandingsforhold i vekten kommer an på kundens ønsker. Det ferdige produktet kan inneholde en til ti ulike råvarer med ulikt blandingsforhold. Når råvarene har gått igjennom prosessen leveres de som pellet. Oppgaven gikk ut på å utvikle et automatisert reguleringsystem for spjeldet ved bruk av motorens pådrag, og dermed effektivisere doseringen av råvarer.

Figur 1 viser den beskrevne prosessen, samt hvilket utstyr som skulle benyttes for utvikling av reguleringsystemet, som PLS, frekvensomformer og HMI (display).



Figur 1. Oversikt over prosess

2.2 Formål

Formålet med prosjektoppgaven var å undersøke hvordan man kan benytte motorens pådrag, og gjøre dette om til et reguleringsignal. Videre var målet å få en optimal regulering av spjeldet og dermed få en automatisert og effektiv dosering av råvarene.

Dette skulle gjøres på en slik måte at spjeldet kunne åpnes/lukkes automatisk, ved hjelp av PLS-styring og frekvensomformer. Det skulle unngås at transportskruen settes fast på grunn av at for mye råvarer slippes gjennom spjeldet. Programkode for PLS-en samt HMI (display) skulle utarbeides og designes. Det skulle lages en testtrigg slik at prosessen kunne testes og simuleres ved å koble denne på det opprinnelige systemet på BioMar.

2.3 Effektmål

Prosjektet tar utgangspunkt i flere effektmål:

- Prosjektet et automatisk reguleringsystem for spjeld basert på motormoment.
- Mindre manuelt arbeid.
- Levetid så lenge det er ressurser.
- Minst mulig strømbruk ved å avgrense spjeldets posisjon og regulere ut ifra denne.
- Redusere vedlikeholdsutgifter ved bruk av utstyr som er egnet for omstendighetene.
- Null skade filosofi vha. gode rutiner og prosedyrer ved risikofylt arbeid.

2.4 Systemgrenser

Ulike avgrensinger ble besluttet for å fokusere i dybden på valgte tema.

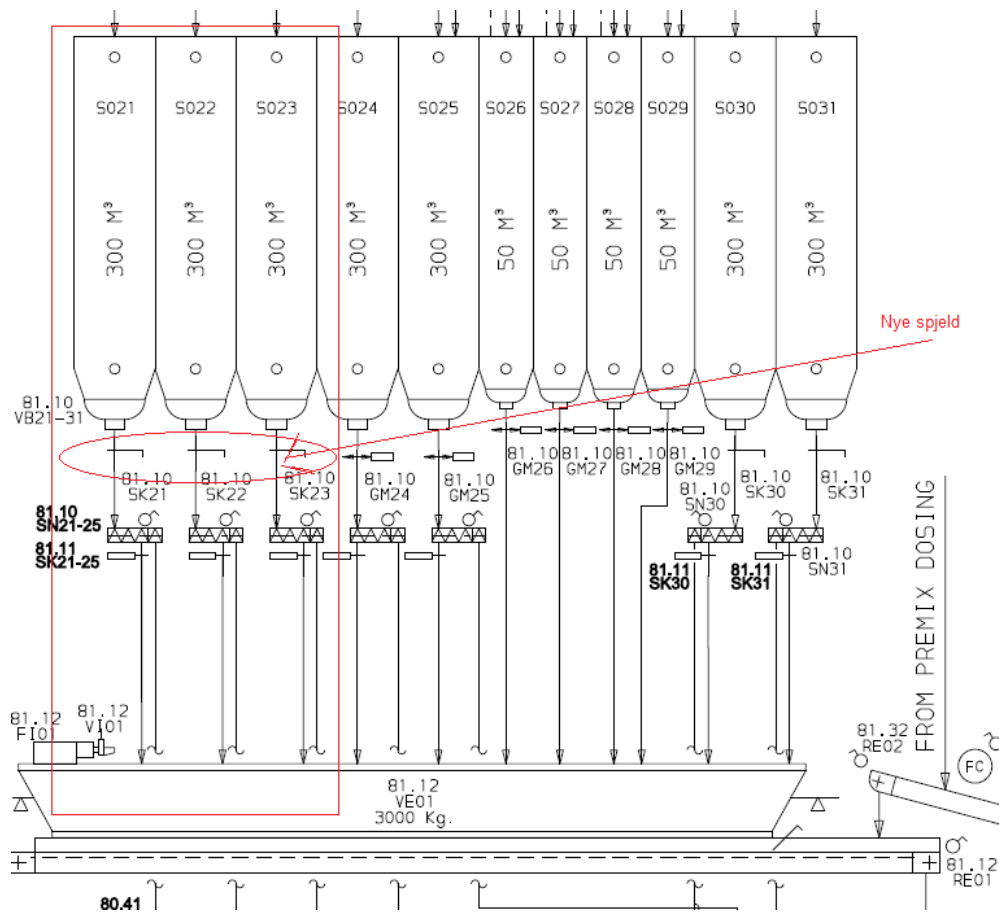
I utgangspunktet har anlegget 10 siloer som inneholder ulike råvarer. Tilhørende motorer og transportskruer til siloene er av ulikt design. På grunnlag av dette valgte gruppen, sammen med ekstern veileder, å fokusere på 3 siloer med tilhørende motorer og transportskruer som er identiske.

Dette gir færre faktorer å forholde seg til enn om vi hadde valgt å se på alle 10.

- 3 siloer med råvarer
- Innhold i siloene varierer
- Motorer og transportskruer er identiske

2.5 Oversiktstegning

Figur 2 viser hvilke siloer, spjeld og transportskruer gruppen skulle ha fokus på (merket med rødt).



Figur 2. Oversikt over anlegget ved BioMar

2.6 BioMar

BioMar ble grunnlagt i 1962 i Danmark av noen danske fiskeoppdrettere og leverer fiskefôr til 45 forskjellige fiske- og rekearter i mer enn 80 land. En av fem fiskeoppdrett i Europa og Chile er føret med fôr fra BioMar. De leverer ulikt fôr for fisk i fra de er små til de blir matfisk (Biomar, u.d.).

BioMar skal utvikle effektive, trygge og næringsrike fôrprodukter som setter minst mulig miljøavtrykk. Det overordnede målet deres er å sørge for god fiskehelse og god menneskehelse. Fisken skal alltid være sunn og trygg å spise (Biomar, u.d.).

I 2017 investerte BioMar 436 millioner kroner i en utvidelse av fabrikken på Karmøy. Det ble bygget nye produksjonslinjer, infrastruktur, hjelpesystemer, nye laboratorier og kontrollrom. BioMar kan nå produsere 340 000 tonn ferdig fiskefôr årlig på lokalenheten. (Biomar, 2017).

2.7 Disposisjon

Bachelorrapporten startet innledningsvis med bakgrunn, formål, effektmål, systemgrenser og en liten beskrivelse av bedriften hvor arbeidet skulle utføres.

Videre vil det bli presentert en teoretisk del. Den teoretiske delen vil gi lesere av rapporten grunnleggende informasjon om blant annet relevante styringsmetoder, komponenter og programmering nyttet i prosjektet.

Rapporten er deretter bygd opp med en teknisk del. I den tekniske delen vil det foreligge forklaring av hvordan testtrigg, programkode og HMI er utviklet og designet. I tillegg vil den inneholde informasjon om motormoment (torque), vektregulering og spjeldåpning. Videre vil ulike løsninger med tilhørende blokkskjemaer og testresultater bli presentert.

Til slutt presenteres en konklusjon. Dokumentasjon av interne kontrollaktiviteter, HMS-hensyn, risikoanalyse, tekniske dokumenter og koblingsskjemaer er vedlagt.

2.8 Hjelpemidler

Ved utarbeidelse av det automatiserte reguleringsystemet, var det nødvendig med hjelpemidler for programmering. For utvikling av programkode og simulering ble følgende programvarer benyttet:

Tabell 1. Hjelpemidler

Hjelpemiddel	Funksjon
Connected Components Workbench	Programvare for programmering av programkode for testtrigg.
CODESYS	Programvare som brukes for simulering av testtriggens virkemåte.

3 Teoretisk bakgrunn for oppgaven

I denne delen av rapporten vil grunnleggende teori som er relevant for oppgaven bli presentert. Starter innledningsvis med litt generell informasjon om de aktuelle komponentene som inngår i systemet. Deretter vil det komme en generell forklaring av prinsippet regulering, samt ulike regulatorer, programmeringsspråk, analoge- og digitale signal.

3.1 Generelt om PLS

PLS står for programmerbar logisk styring. En PLS er en liten datamaskin som består av maskinvare, prosessor, RAM-minne, operativsystem og applikasjonsprogram. Den har innganger og utganger for å motta og sende signaler. En PLS skal erstatte kontaktorer og reléer, og kan brukes til alle slags prosessstyringer. Med PLS kan en utvikle flere og mer kompliserte programmer og styringer enn med f.eks. kontaktorstyringer (Olsen, 2018).

CPU-en er hjernen i PLS-en. Det er her alle instruksjoner og beregninger blir utført. Den styrer informasjonsflyten og hvordan programmet blir utført. CPU-en er en del av en fysisk blokk som også inneholder minne, kommunikasjonsporter, statuslys og iblant strømforsyningen (Hanssen, Programmerbare logiske styringer, 2015, s.9).

3.2 Generelt om frekvensomformer

En frekvensomformer er en komponent som omformer elektrisk vekselstrøm med én frekvens til strøm med en annen frekvens (Høyte, 2019).

Med elektriske styresignaler fra enten en PLS eller et lokalt betjeningspanel kan man kontrollere start/stopp, dreieretning, moment og turtall for asynkronmotorer. Bruk av frekvensomformer er energieffektivt og reduserer slitasje på komponenter. Dersom frekvensomformer ikke brukes, kan den erstattes med kontaktorstyringer og bremser. Dette er mekaniske komponenter som blir slitte og som trekker mer strøm (Elektrofag, u.d.).

3.3 Dobbeltvirkende sylinder

En dobbeltvirkende pneumatisk sylinder er en sylinder hvor det er en port med trykkluft i hver ende av sylindren. Inne i sylindren er det et bevegelig stempel som beveger seg ut og inn ut ifra hvor høyt trykket er. Det blir et positivt trykk der luften kommer inn og et negativt trykk der luften går ut (Hill, 2017).

Bacheloroppgaven gikk ut på at et spjeld skal åpnes og lukkes. Det har derfor vært behov for en sylinder som kan både dra og skyve spjeldet.

3.4 Asynkronmotor

Asynkronmotor er en kortslutningsmotor som drives av et roterende magnetisk felt. Når rotoren blir belastet, får den en langsommere hastighet enn det roterende feltet. Derfor kalles den asynkron. Statoren får vanligvis tilført trefase spenning. Rotoren i den vanligste typen har ingen elektriske kontakter og er derfor driftssikker og billig å produsere. I stedet for rotorvikling, er det staver av kobber og aluminium som er kortsluttet i begge ender. Med en gang de kobles til får de fullt tilslag, som fører til en høy startstrøm. For å forhindre dette benyttes en frekvensomformer, som justerer starthastigheten (Rosvold, 2019).

3.5 Fordeler ved bruk av et automatisk system

Industriell produksjon er et viktig anvendelsesområde for automatisering. Det er flere fordeler med å anvende et automatisk system i forhold til et manuelt system. Samtidig som det vil føre til redusert behov for menneskelig arbeidskraft, vil et automatisk system være hurtigere og mer nøyaktig enn et manuelt system. Man vil derfor kunne oppnå bedre resultater (Andersen, 2018).

3.6 Reguleringsteknikk

Regulering vil si å kontinuerlig manipulere et sett med prosessvariabler slik at de holder seg på en ønsket setverdi. Prosessvariablene kan være nivå, temperatur, strømming, trykk, konsentrasjon, posisjon og hastighet. Eksempelvis er det reguleringsteknikk som gjør det mulig å holde nivået i en tank konstant, eller å holde et forsyningskip i ro tross forstyrrelser som vær og vind (Haugen, Praktisk reguleringsteknikk, 2009, s.9).

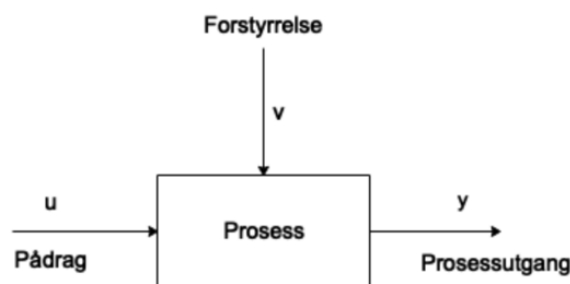
Hensikten med reguleringsteknikken er å få den målte prosessvariabelen til å bli så lik setverdien som mulig, eller å få så lite statistisk reguleringsavvik som mulig. For å oppnå dette er det ønskelig å finne et pådrag, u som fører til at den målte prosessvariabelen blir lik setverdien ($y_m=y_r$). (Haugen, Praktisk reguleringsteknikk, 2009, s.21).

3.6.1 Regulering

Vi kan se på en generell prosess som et system, hvor utgangen er prosessvariabelen, y . Dersom vi ønsker at prosessvariabelen skal få en spesiell verdi må vi sende et signal inn på systemet som gir det ønskede utsignalet (Haugen, Praktisk reguleringsteknikk, 2009, s.20).

For å kunne endre prosessvariabelen trenger man et pådragsorgan som kan styres. Dette kan eksempelvis være en motor, ventil eller pumpe (Haugen, Praktisk reguleringsteknikk, 2009, s.19). Ofte er det uforutsette (eller forutsette) forstyrrelser som påvirker prosessutgangen i tillegg til det signalet vi kan styre. Forstyrrelsen er ikke styrbar, men en kan i noen tilfeller vite noe om den slik at en kan kompensere. Tanken med regulering er å finne den inputen, u som gir den ønskede outputen y (Haugen, Praktisk reguleringsteknikk, 2009, s.20).

Figur 3 viser sammenhengen mellom pådrag, prosessutgang og forstyrrelse i en reguleringsprosess.

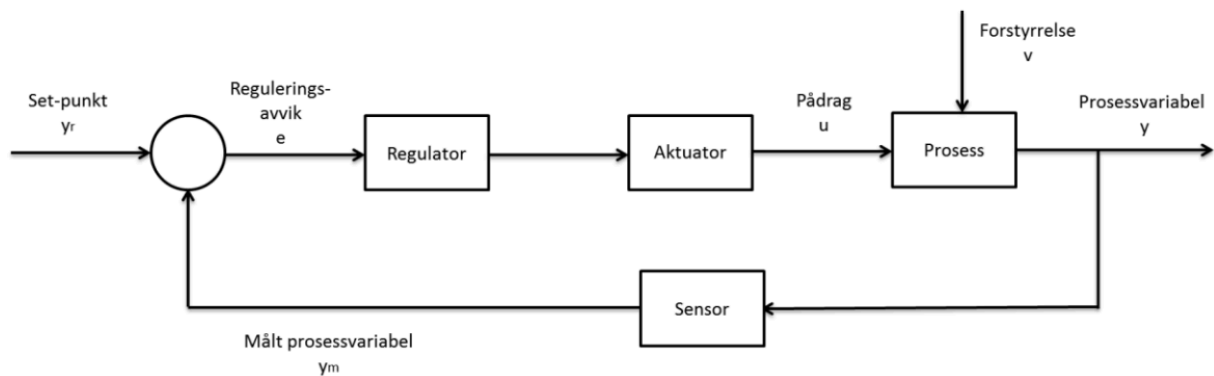


Figur 3. Reguleringsprosess

3.6.2 Avviksbasert regulering - tilbakekobling

Prinsippet med tilbakekoblingsbasert regulering bygger på en sirkulær prosess, hvor en sekvens med hendelser gjentas kontinuerlig for å opprettholde en ønsket setverdi. Det er mulig å regulere uten tilbakemelding, men da vil man ikke kunne hente ut informasjon om differansen mellom setpunktet og den målte prosessverdien. Reguleringsavviket, e baserer seg på nettopp differansen mellom setpunkt og prosessverdi og regulatoren bruker dette signalet for å kompensere for avvik. Differansen utgjør avviket, som benyttes til å påvirke pådraget igjen slik at avviket blir minst mulig (Haugen, Praktisk reguleringsteknikk, 2009, s.23).

Figur 4 viser et blokkdiagram av en reguleringsløyfe med tilbakekobling.



Figur 4. Avviksbasert reguleringsløyfe

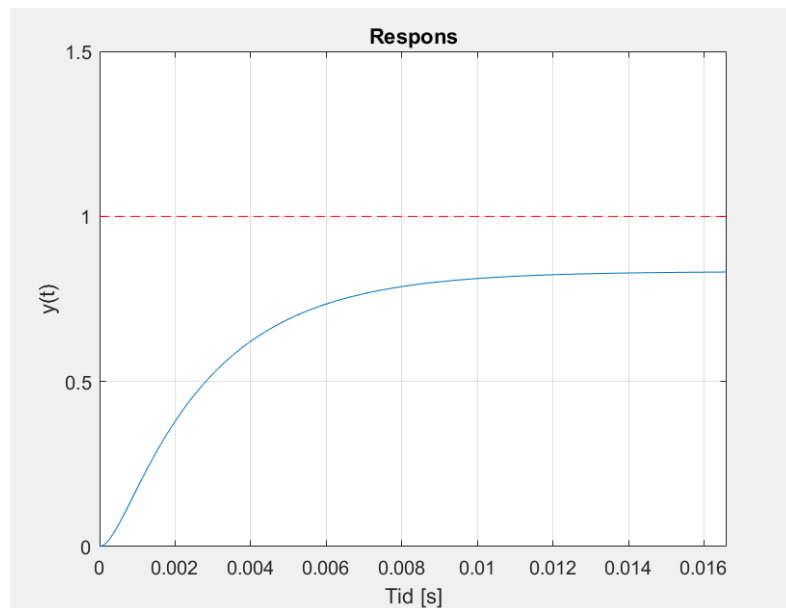
3.7 Regulator typer

Det finnes ulike regulator typer som brukes i et regulerings system, men den mest brukte er en PID-regulator, eller varianter av denne. PID-regulatoren kan eksempelvis benyttes som en P-regulator, en PI-regulator eller en PID-regulator.

3.7.1 P-regulator

Med en P-regulator beregnes pådraget, u , som en funksjon av reguleringsavviket, e , og et større avvik vil gi større pådrag for å kompensere. En P-regulator tar avviket og multipliserer det med en forsterkningskonstant, K_p . Bruker kan justere K_p i kontrolleren/programmet som utnyttes.

I de fleste tilfeller vil ikke P-leddet alene klare å nå setverdien slik at det oppstår et statisk avvik mellom prosessverdien og setverdien, som vist i Figur 5 (Haugen, Praktisk reguleringssteknikk, 2009, s.42).

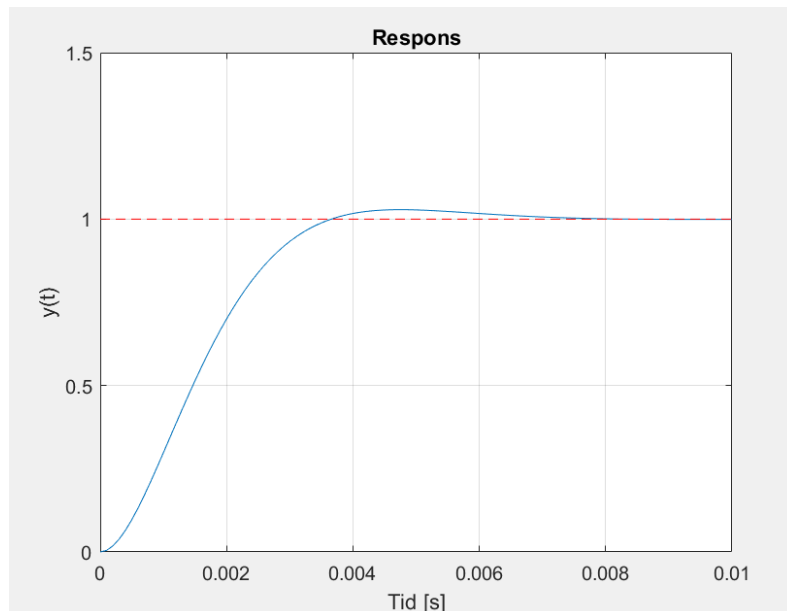


Figur 5. P-regulator

3.7.2 PI-regulator

Meningen med en PI-regulator er at dersom en har et avvik over lenger tid, så akkumuleres avviket, og regulatoren setter i gang tiltak til å kompensere basert på tidligere avvik. En PI-regulator løser problemet med statisk avvik på samme måte som en vanlig P-regulator. I-leddet står for integral og har som oppgave å fjerne det statiske avviket. I en PI-regulator har vi en ny parameter, T_i . Dette er integraltiden, som er tidsperioden hvor regulatoren samler opp avvik. Denne tidsperioden kan bruker bestemme, men dersom denne verdien settes for høy, har en i utgangspunktet koblet bort I-leddet (Haugen, Praktisk reguleringsteknikk, 2009, s.45).

Figur 6 viser hvordan responsen til en PI-regulator kan se ut ved valg av riktige parametere.



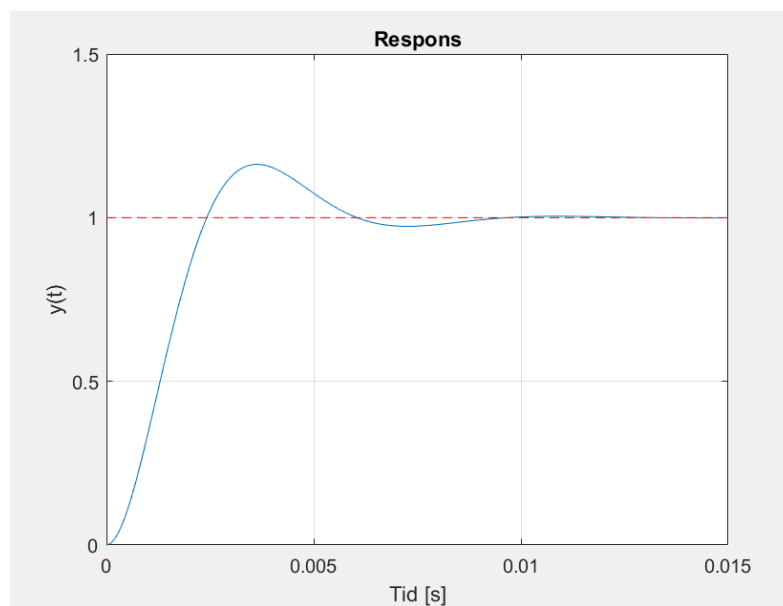
Figur 6. PI-regulator

3.7.3 PID-regulator

En PID-regulator har som hensikt å kompensere dersom det blir plutselige endringer i reguleringsavviket. Eksempelvis ved endringer i setpunkt, eller ved en stor endring i forstyrrelser som gjør at man får oversvingninger. Klarer man å finne en passende verdi for D-leddet, vil dette påvirke oversvingningene og kan med det redusere innsvingningstiden.

Figur 7 viser hvordan responsen til en PID-regulator kan se ut ved valg av riktige parametere. I forhold til en PI-regulator kan man se at man får en oversvingning, men innsvingningstiden blir redusert. I motsetning til I-leddet ser D-leddet frem i tid. T_d er en ny parameter og er derivattiden. Denne bestemmes av bruker.

Dersom en endrer setpunktet vil pådraget være feilinnstilt, men integral-delen vil kompensere for dette med tiden. Poenget med Derivat-leddet er å redusere tiden regulatoren bruker til å kompensere, slik at D-leddet av regulatoren tar utgangspunkt i endringer i reguleringsavviket (Haugen, Praktisk reguleringsteknikk, 2009, s.49).



Figur 7. PID-regulator

3.8 Programmeringsspråk

For å få en bedre forståelse av hva et program og et programmeringsspråk er, vil det her bli forklart generelt om hvordan programkoder implementeres og blir behandlet i en datautrustning (som en PLS er). Programmeringsspråk er et konstruert språk for å skrive programmer til datamaskiner. Et programmeringsspråk omfatter ulike typer grunnleggende kommandoer som en datamaskin kan utføre. Ord i et programmeringsspråk er alltid entydige, og de er gjerne hentet fra matematikk og logikk. Syntaksen i et programmeringsspråk må følges nøye. Det minste avvik i programkoden vil føre til at programmet går i stå eller at datamaskinen gjør feil (Rossen, 2017).

Uavhengig av hvilket programmeringsspråk som benyttes, vil en PLS behandle programkoden på samme prinsipielle måte. Før CPU-en i en PLS kan forstå og utføre instruksjonene i koden, må den omgjøres fra sin opprinnelige form til en binær form. Kode på opprinnelig form (slik brukeren ser den) kalles kildekode. Den binære formen, som er datamaskiners og annen digital utrustnings «morsmål», kalles maskinkode. Felles for alle programmeringsspråk er at kildekoden må kompileres for å generere en kjørbare maskinkode. Denne jobben gjøres som regel av utviklingssystemet (Hanssen, Programmerbare logiske styringer, 20015, s.163).

Noen kjente programmeringsspråk er Cobol, Fortran, LISP, Pascal, Basic, Java, C, C++, C# og Simula. Flere elementer går igjen i de fleste programmeringsspråk. Blant annet ulike typer variabler, som tekst, tegn, heltall, reelle tall, logiske variabler (med verdiene sann og usann), operasjoner som utføres på disse variablene og kommandoer relatert til inn- og utganger, slik at man slipper å måtte gjenta dem hver gang de skal utføres (Rossen, 2017).

3.8.1 Ladder Diagram

Ladder Diagram (LD) er et lettfattelig programmeringsspråk som baserer seg på elektriske koblingsskjemaer, og som benytter brytere og funksjonsblokker. LD består i utgangspunktet av instruksjoner som utfører grunnleggende kontrollfunksjoner som logikk, tidskontroll, telling og noen enkle matematiske operasjoner. En kan også implementere andre programmeringsspråk i LD som funksjonsblokkdiagram og strukturert tekst. For mindre styringer er LD perfekt, da det er lett å lage basisfunksjonene og det er oversiktlig å lese (Hanssen, Programmerbare logiske styringer, 2015, s.156).

3.9 Analoge og digitale signal

3.9.1 Analogt signal

Et analogt signal er et kontinuerlig signal som viser hvordan en fysisk størrelse, for eksempel strøm eller spenning, varierer med tiden. Et kontinuerlig signal vil si at grafen til signalet er sammenhengende og uten sprang. Andre fysiske størrelser kan være lydtrykk, lysstyrke, posisjon, temperatur, kjemisk konsentrasjon osv. (Hanssen, Programmerbare logiske styringer, 2015, s.62).

Et eksempel på et analogt signal kan være spenning og strømtrekk i en motor som representerer rotasjonshastigheten i motoren. Et annet eksempel kan være at vi har et lydtrykk inn på en mikrofon. Lydtrykket får en liten spole i mikrofonen til å bevege seg, og det induserer en spenning som svinger i takt med lydtrykket.

Forskjellen på et analogt signal og et digitalt signal er at analoge signal inneholder verdier ved alle tidspunkt, mens digitale signaler er i diskret tid og gjelder kun for ett tidspunkt.

3.9.2 Digitalt signal

Et digitalt signal er et signal som kun kan innta diskrete signalverdier. Dersom kun to signalverdier (for eksempel 0 og 1) er tillatt, kalles signalet et binærsignal. Et digitalt signal kan representeres med en sekvens av tall eller en tallfølge (Stette & Andersen, 2014).

Ser vi tilbake på BOOLSK algebra kan et digitalt signal se slik ut: 1001 0101. Det representerer en signalverdi til et digitalt signal med 8 binærsignaler (biter). Et digitalt signal med 8 binærsignaler kan ha 256 forskjellige signalverdier. Et digitalt signal med 2 binærsignaler kan ha 4 signalverdier. Det finnes en huskeregel for antall signalverdier:

$2^n = \text{antall kombinasjoner}$ hvor n representerer antall biter

(Hanssen, Programmerbare logiske styringer, 2015, s.25)

3.10 Standard signalformat

Det finnes en rekke ulike analoge signalformater som er standard innen tradisjonell instrumentering, både som signal fra sensorer og som signal til aktuatorer. De mest vanlige standard elektriske signalformatene er:

- 4 – 20 mA
- 0 – 20 mA
- 1 – 5 V
- 0 – 10 V
- 0 – 5 V

Hensikten med standardiseringen er at det skal være enklest mulig å koble målesignalene til for eksempel en PLS. De opplistede standardformatene kunne også vært samlet i færre punkter da 0 – 20 mA tilsvarer 0 – 5 V og 4 – 20 mA tilsvarer 1 – 5 V dersom man sender strømsignalene gjennom en resistans på 250 Ohm (Hanssen, Programmerbare logiske styringer, 2015, s.69).

3.10.1 Standarden 4 – 20 mA

Av de nevnte elektriske standardene, er 4 – 20 mA desidert mest vanlig. Årsaker til dette er:

- Spenningsignal er mer utsatt for elektromagnetisk støy enn strømsignal fordi elektromagnetisk støy kan resultere i potensialbidrag i målesignalet via induksjon. Slike feil kan også være et resultat av potensialforskjeller i jording.
- Strømsignal kan sendes over lenger distanser uten tap i forhold til et spenningsignal. Dette er den viktigste årsaken til at strømsignal er å foretrekke. Når spenningsignal blir overført vil alltid ledningstap gi et fall i spenningen som kan ha betydning for nøyaktigheten. Ledningstap er uunngåelig, men kan reduseres til akseptable grenser ved bruk av riktig kabel. Dette fordi spenningsfallet er et naturlig resultat av ledningsresistans. Når vi overfører strømsignal er ikke ledningstap et problem. Dette er et naturlig resultat av at strømmen som går ut av den ene terminalen på kilden, nødvendigvis må komme tilbake til den andre terminalen (polen). Det forutsetter selvfølgelig at strømkilden klarer å opprettholde strømmen når motstanden øker.
- En nedre grense på 4 mA er bedre enn 0 mA, da det er mulig å registrere om målesignalet blir borte. Eksempelvis kan man anta at man en nivåmåler som er kalibrert til å gi ut 0 mA ved null nivå og 20 mA ved et nivå på 5 meter. Når PLS-en registrerer 0 mA vil dette bli tolket som at nivået er 0 meter, men 0 mA kan også være et resultat av et brudd i signalkabelen eller en ødelagt nivåtransmitter. Dette er grunnen til at en nedre grense på 4 mA er å foretrekke.

(Hanssen, Programmerbare logiske styringer, 2015, s.70)

3.11 Lokalnett (LAN)

Lokalnett (LAN) er et datakommunikasjonssystem som knytter sammen flere datamaskiner eller datamaskin-systemer innenfor et begrenset område. Lokalnettet gjør at brukerne kan dele ressurser og tjenester som skrivere, lagringsenheter, programvare og internett-tilkobling (Liseter, 2018).

3.12 Ethernet og Ethernet/IP

For å kunne kommunisere mellom PLS, skjerm (display) og PLS-program, er det nødvendig med et kommunikasjonsnettverk. Ethernet er et kommunikasjonsnettverk og er mest kjent for bruk i ulike LAN-nettverk og internettapplikasjoner. Ethernet er standardisert ved 802.3 IEEE-standarden og brukes med mange protokoller. Standarden inneholder et felles fysisk grensesnitt som består av hubber, brytere, rutere, Ethernet-kabler (RJ-45) og Ethernet-nettverkskort (PCI). Standard Ethernet-kommunikasjon har en hastighet på 10, 100 eller 1000 Mbit/s. Ethernet på optisk fiberkabling er også tilgjengelig og gir større fart og avstand (Bouchard, 2014).

Bruk av Ethernet-LAN gjør at enhetene på nettverket kan eksistere side om side, men det er ingen garanti for at de kan kommunisere med hverandre. Det kreves en felles kommunikasjonsprotokoll. Ethernet/IP står for Ethernet Industrial Protocol og er en programlagringsprotokoll. Denne kommunikasjonsprotokollen er utviklet for bruk i industrielle miljøer for automatisering og prosesskontroll (Bouchard, 2014).

For å oppsummere er Ethernet protokollen for det fysiske nettverket, mens Ethernet/IP er en industriell kommunikasjonsprotokoll som organiserer hvordan dataene blir lagret. Industrielt Ethernet inkluderer blant mange Ethernet/IP, EtherCat og ModBus TCP protokoller. Kabling og nettverkskomponenter er ofte designet for å opprettholde vibrasjon, varme, støv, olje, elektromagnetisk støy og andre industrielle forhold (Bouchard, 2014).

3.13 Boolsk design

I PLS sammenheng benyttes ofte ordet diskret størrelse eller digital størrelse, men også betegnelsen boolsk variabel/signal er vanlig.

3.13.1 Logiske funksjonsuttrykk

Logiske funksjoner er uttrykk som beskriver oppførselen eller ønsket virkemåte til en kombinatorisk krets. Slike funksjonsuttrykk kan også være nyttig for å beskrive styringsalgoritmer for instruksjoner og aksjoner i et PLS-program.

Funksjonsuttrykkene beskriver for hvilke kombinasjoner av inngangsvariablene at den aktuelle utgangen skal være logisk høy (Hanssen, Programmerbare logiske styringer, 2015, s.104).

3.13.2 Boolsk algebra

Boolsk algebra brukes for å beskrive funksjoner i digitale kretser.

Tre grunnleggende funksjoner: AND, OR, og NOT.

Andre funksjoner som NAND, NOR, XOR, og XNOR avledes fra AND, OR og NOT.

En boolsk funksjon kan beskrives enten ved hjelp av:

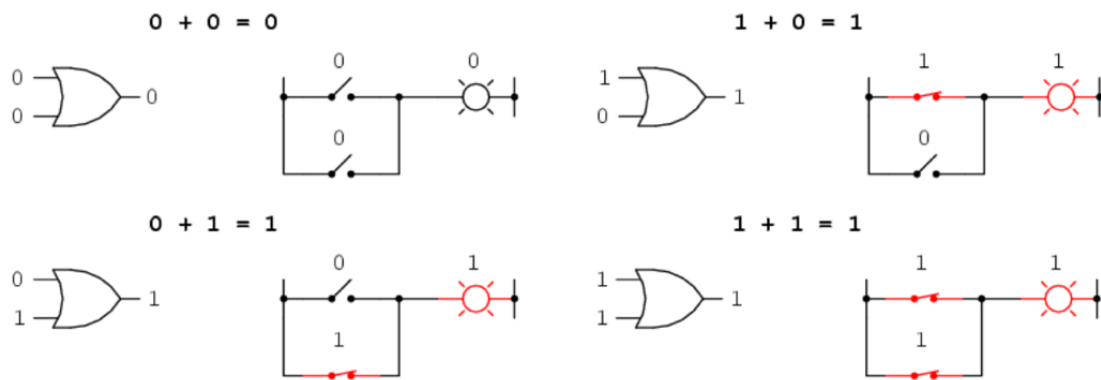
- Sannhetstabell
- Funksjonsuttrykk

To funksjoner er ekvivalente dersom de for alle input-kombinasjoner gir samme output. En boolsk operasjon kan kun ha to mulige utfall: 1(på) eller 0(av) (Hanssen, Programmerbare logiske styringer, 2015, s.106).

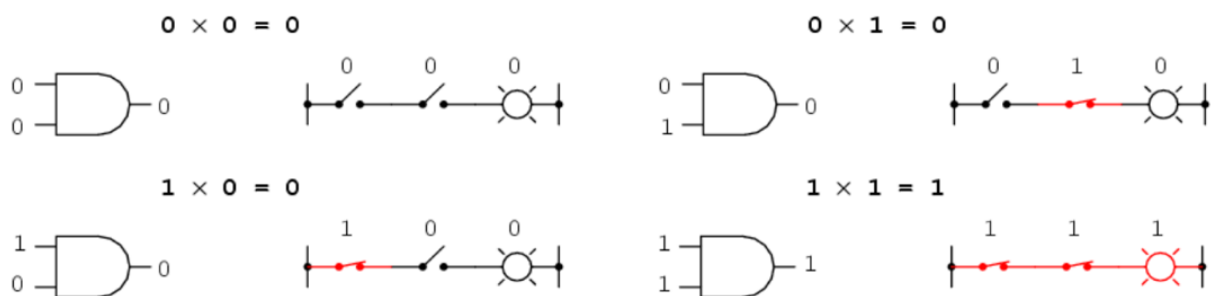
3.13.2.1 Boolske regneregler og eksempler

Boolske regneregler er basert på en eller to variabler, men reglene gjelder generelt, altså for et ubestemt antall variabler, og for tilfeller der leddene ikke er enkeltvariabler men produkt eller summe av variabler.

Figur 8 og Figur 9 viser eksempler på ulike inngangskombinasjoner for en «or/eller» og en «and/og krets. Legg merke til at $1+1=1$.



Figur 8. OR/ELLER-krets 2010, av Hovland. (<https://home.uia.no/geirh/node-evu/PDF/MAS113-1.pdf>)



Sannhetstabell for AND/OG		
A	B	F = A * B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Figur 9. AND/OG-krets. 2010, av Hovland. (<https://home.uia.no/geirh/node-evu/PDF/MAS113-1.pdf>)

3.14 Datatyper

Avhengig av hvilke oppgaver PLS-en skal utføre er det behov for mange ulike typer data.

Datatypen beskriver hvilken type verdier en variabel kan ha. Dette har også betydning for hvilke operasjoner som kan foretas med den aktuelle variabelen og hvordan verdiinnholdet blir lagret.

Når en variabel deklarerer, må datatypen deklarerer samtidig. Standarden IEC 61131-3 definerer et sett med elementære datatyper. Disse vil være forhåndsdefinert i PLS-er som følger standarden.

Eksempelvis kan det være boolske (BOOL) variabler som er knyttet opp mot digitale I/O, ulike heltallstyper (INT, UINT, DINT, etc.), flyttalsobjekt (REAL) eller typer for tidshandtering (TIME).

Tabell 2 viser for hver datatype, informasjon om tilhørende nøkkelord, antall bit med data hvert element opptar, og det resulterende mulige verdiområde.

Tabell 2. Datatyper

Format	Datatype	Antall bit	Verdiområde	Initial verdi
Heltall m/fortegn	SINT	8	-128 til +127	0
	INT	16	-32 768 til +32 767	0
	DINT	32	-2^{31} til $+2^{31}-1$	0
	LINT	64	-2^{63} til $+2^{63}-1$	0
Positive heltall	USINT	8	0 til 255	0
	UINT	16	0 til 65 535	0
	UDINT	32	0 til $2^{32}-1$	0
	ULINT	64	0 til $2^{64}-1$	0
Flyttall	REAL	32	$\pm 10^{\pm 38}$	0.0
	LREAL	64	$\pm 10^{\pm 308}$	0.0
Boolsk	BOOL	1/TRUE		0/FALSE

(Hanssen, Programmerbare logiske styringer, 2015, s.178)

4 Teknisk del

4.1 Analyse av problemstilling

Proessen som inngår i oppgaven inneholder siloer, vibrasjonsmotorer, spjeld, en vekt, samt transportskruer med tilhørende motorer.

I det nåværende systemet er spjeld blitt styrt manuelt, ved at de blir satt i valgte posisjoner, bestemt ut ifra erfaringer og trender. Dette gir ikke den mest effektive prosessen.

Dersom en kan finne en automatisert og optimal regulering av spjeldet, slik at transportskruene leverer mest mulig råvarer om gangen, vil en oppnå en mer effektiv prosess. BioMar har hatt problemer med at transportskruene ofte kjører seg fast. Et kriterie for reguleringen var derfor å unngå dette.

Reguleringen av spjeldet skulle løses ved å enten benytte en setverdi på momentet til motoren, og/eller ved å bruke masseendring i vekt.

Det ble bestemt internt i gruppen at motoren som driver transportskruen skulle kjøres på to hastigheter. Grovkjøring (50 Hz) og finkjøring (10 Hz), basert på hvor full vekten er. Dette for å oppnå en nøyaktig dosering. Det skulle tas hensyn til at en har ulike råvarer til disposisjon, og intervalltiden til vibrasjonsmotorene på hver side av siloene var et viktig punkt ved valg av regulering.

Analoge signal kunne hentes ut fra frekvensomformerer (moment) og vekt, og benyttes i reguleringen. Pådragsorgan er henholdsvis spjeld og frekvensomformer, som styrer og påvirker prosessverdien (momentet) i reguleringssystemet.

4.2 Prosjektering av testtrigg

Det ble bygget en testtrigg for å teste, simulere og eksperimentere med ulike reguleringer. Formålet med testtriggen var å demonstrere reguleringen av spjeldet, teste programmet, og å bli kjent med komponentene.

Testtriggen er også ment for simulering av reguleringsystemet ved presentasjon av oppgaven og vil bli presentert ved å vise en video.

WPA har stått for alt utstyr og bestilling av materiell. Koblingsskapet som ble utlevert var lite i forhold til alt utstyret som skulle være inni. Skapet skulle blant annet inneholde en PLS, switch, servicebryter, sikringer, strømforsyning, HMI og en frekvensomformer som ble festet på utsiden på grunn av begrenset plass.

Figur 10 vises et bilde av testtriggen.

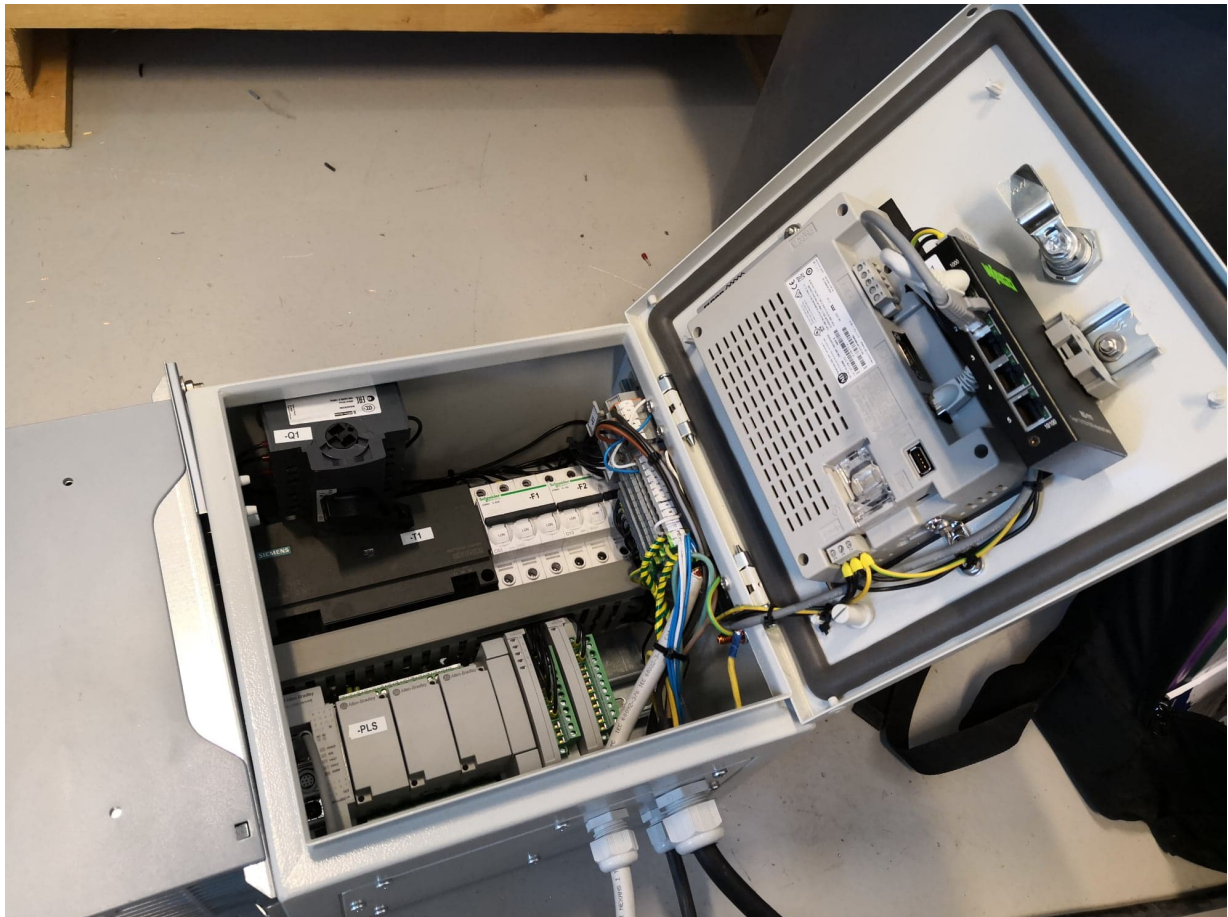


Figur 10. Testtrigg

Det ble brukt din-skinner til å feste utstyret på, og en kabelkanal i midten for å holde orden på de fleste ledningene. For ryddighetens skyld ble resterende ledninger stripset sammen rundt om i skapet og komponentene ble merket med dymo-tags (se Figur 11).

Skapet ble koblet opp etter koblingsskjema som ble laget på forhånd. Skulle dette vært et permanent skap, hadde det ikke vært ideelt med et så lite skap til alle disse komponentene da man risikerer for høye temperaturer og støy på signalene. Her ligger 400V ledninger og ethernetkabler side om side.

Det ble ikke oppdaget problemer med støy, men ved tilfeller hvor testtriggen var tilkoblet anlegget på BioMar over en lenger periode, kunne man oppleve temperaturøkning på utstyret. Ettersom testtriggen er provisorisk, ble dette sett bort ifra.



Figur 11. Testtrigg innvendig

Testtriggen skulle kobles på det opprinnelige anlegget på BioMar (se Figur 12), men før testing og datainnhenting kunne starte, var det viktig at programmet fungerte som det skulle.

Derfor ble det brukt en del tid på simulering med loop-kalibratorer før testtriggen ble tatt med til BioMar. Når programmet fungerte som ønsket, ble riggen koblet til anlegget på BioMar, og det ble samlet inn informasjon på PLS-en for å kunne finjustere reguleringen.



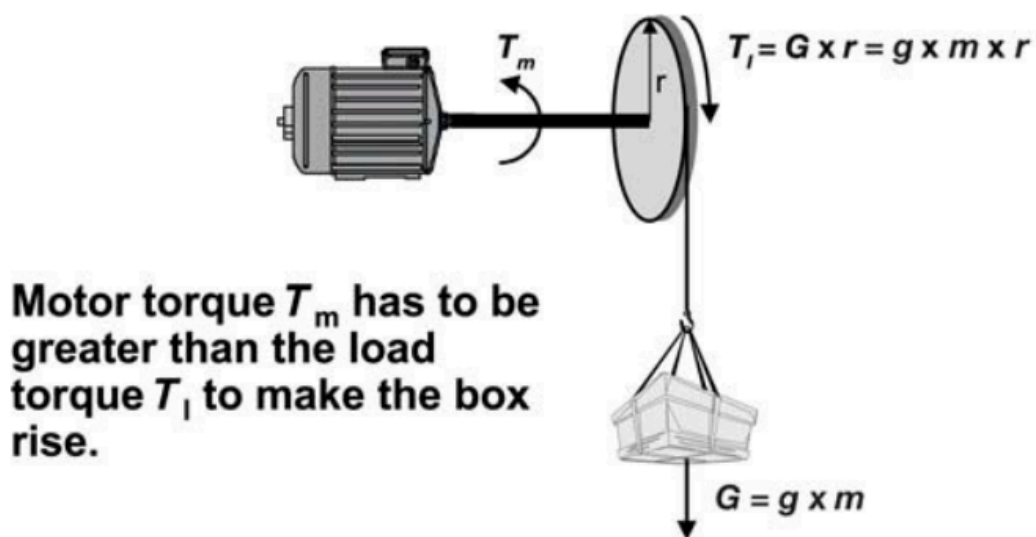
Figur 12. Testtrigg tilkoblet anlegg på Biomar

4.3 Motormoment (Torque)

Motoren må produsere nødvendig moment for å overvinne lastmomentet, som vist i Figur 13 og Figur 14. Lastmomentet består av friksjon, treghet til de bevegelige delene og selve lasten, råvarene, som skal doseres. Motormomentet må være større enn lastmomentet og i dette tilfellet var det ulike råvarer som krevde ulikt dreiemoment for å oppnå mest mulig effektiv dosering. Lastmomentet var avhengig av råvarenes tetthet, hardhet og utforming.

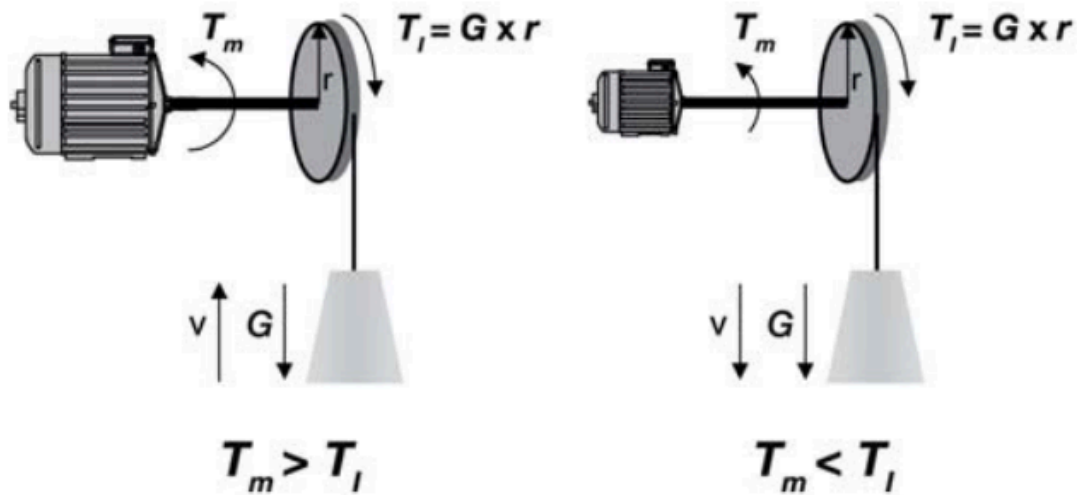
Det er en motor som driver en transportskrue og denne motoren blir styrt av en frekvensomformer. Frekvensomformerer bidrar til å regulere akselerasjon og rotasjonshastighet. Motoren skulle kjøres med konstant rotasjonshastighet, uavhengig av lastmomentet. I fra frekvensomformerer kan det hentes ut, på en analog utgang, momentet som motoren kjører med. Dette signalet går inn på PLS-en. I fra PLS-en kan man se at når motoren har lavt moment, kan spjeldåpningen øke. Da vil det falle mer råvarer ned i transportskruen. Når motoren har høyt moment, kan spjeldåpningen lukkes for å forhindre at råvarene setter seg fast i transportskruen.

Motoren skulle kjøres på høyest mulig moment, uten at den stopper/ kjører seg fast. Maksimalt moment ble testet ved å justere åpningen på spjeldet manuelt. Større åpning av spjeld fører til mer råvarer i transportskruen, og dermed et høyere moment. Når et kritisk nivå ble nådd, ble momentet lest av i frekvensomformerer. Regulatoren skulle regulere etter momentet. Setverdien i regulatoren ble satt til å regulere litt under kritisk nivå, for å opprettholde en sikkerhetsmargin.



Figur 13. Momentillustrasjon. 2011 av ABB.

(https://library.e.abb.com/public/06961a5060b74233c125795b002b9029/NO_Technical_guide_No.4_REVC.pdf?fbclid=IwAR1nFEYS215Wvwj_UuQ0IjuHHjWRDqgXLnPJ4siCCO4ZAWpPHnF0s0hRkVk)



Figur 14. Momentillustrasjon. 2011 av ABB.

(https://library.e.abb.com/public/06961a5060b74233c125795b002b9029/NO_Technical_guide_No.4_REVC.pdf?fbclid=IwAR1nFEYS215Wvwj_UuQ0IjuHHjWRDqgXLnPJ4siCCO4ZAWpPHnF0s0hRkVkk)

4.4 Vektregulering

Transportskruene frakter råvarene fra de forskjellige siloene til en vekt. Det blir lagt inn en bestilling på hvor mye av de forskjellige råvarene som skal brukes i den valgte blandingen. I vekten blir de forskjellige råvarene veiet opp og det blir gitt en tilbakemelding på hvor mye av hver råvare som er kommet opp i vekten til enhver tid.

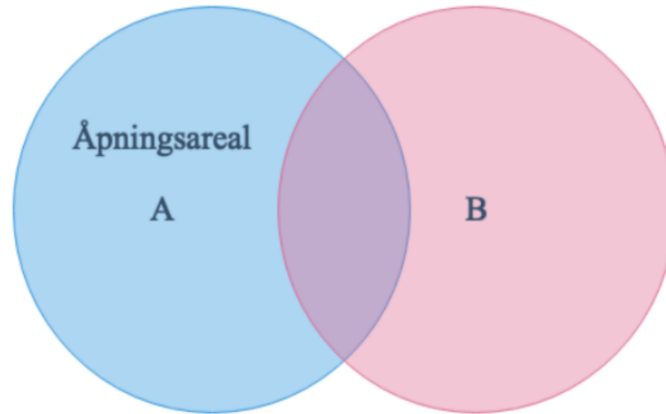
Ved avlesning av endringsrate i vekt, kan det gjøres nødvendige tester basert på tilbakemelding fra vekt for regulering av spjeldet. Dersom det kommer mye råvarer ned i vekten på kort tid, vil endringsraten være stor. Transportskruen kan kjøres fast dersom det kommer for mye råvarer ned i skruen, derfor må spjeldet lukkes når endringsraten blir stor.

Dersom det kommer lite råvarer på lang tid, vil endringsraten være liten. Da vil sannsynligvis transportskruen klare å transportere råvaren uten problem og spjeldet kan åpnes.

Signalene fra vekten kan hentes ut på et analogt 4-20mA signal. Hvor 4mA tilsvarer at vekten er tom, og 20 mA tilsvarer at vekten er full. 20mA-signalet vil variere i kg etter hvor stor mengde ferdigblanding av råvarer som er bestilt. Dette ble implementert i programmet, og simulert ved hjelp av en loop-kalibrator som gav ut 4-20 mA.

4.5 Spjeldåpning

Figur 15 representerer spjeldet, B, som reguleres inn og ut åpningsarealet, A.



Figur 15. Spjeldåpning

Spjeldåpningen baseres på et 4-20mA signal, som tilsvarer 0-100% åpning.

Ettersom en åpning på 50% [12mA] ikke tilsvarer et åpningsareal på 50%, ble det utledet en funksjon som beskriver sammenhengen mellom åpning i prosent og areal:

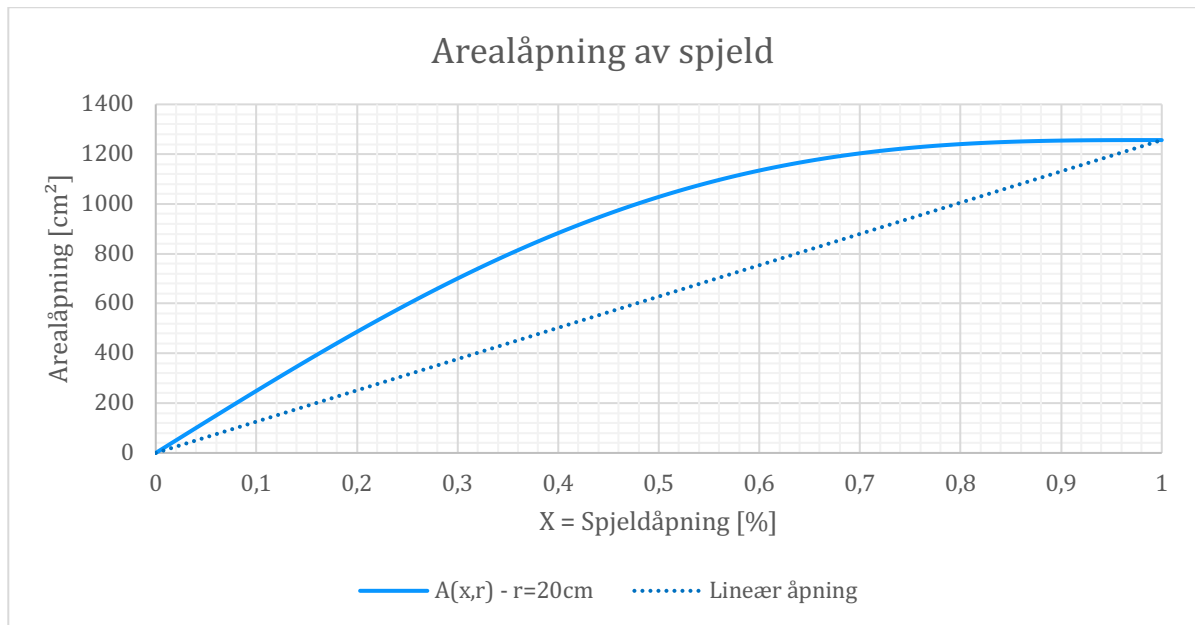
$$A_A = A_B = \pi r^2$$

$$A_{A-B} = (\pi r^2) - (r^2(\pi - \sin(\pi)))$$

$$A(x, r) = (\pi r^2) - (r^2(\pi - x\pi - \sin(x\pi)))$$

$$x \in [0,1] (\%)$$

$$r = \text{radius spjeld} = 20\text{cm}$$



Figur 16. Arealåpning av spjeld

Fra Figur 16, kan man se at det er en ulineær sammenheng mellom styresignalet til sylindren, og åpningsarealet til spjeldet. Dersom valget hadde falt på en regulering basert på massestrømmen gjennom spjeldet, hadde det vært nødvendig å benytte seg av denne funksjonen da massestrømmen er avhengig av arealet.

$$\dot{m} = \rho \cdot Q$$

$$\dot{m} = \rho \cdot V \cdot A$$

$$\dot{m} = \rho \cdot V \cdot A(x, r)$$

Ettersom gruppen bestemte seg for å se videre på endringsraten til vekt og moment, og ikke massestrømmen, blir ikke denne funksjonen nevnt videre i rapporten.

Data fra Figur 16 bidrog likevel til økt forståelse for reguleringen under testing på BioMar.

4.6 Råvarer til disposisjon

Det er henholdsvis 13 råvarer til disposisjon. I programkoden er det benyttet variabelnavn som R1, R2, R3 etc. for beskrivelse av råvarene, mens man finner igjen råvarenes opprinnelige navn på HMI-en. Tabell 3 viser oversikt over råvarene som er til disposisjon.

Tabell 3. Råvarer

11010201	FM NA NSM EQ-free
11010202	FM NA LT EQ-free
11050111	FM SA KRI 56 EQ-free
12010200	Soy SPC 62
12010220	SOY SPC 65
12025110	Sunflower Meal, Low fiber
15090400	Algaprime DHA
12050110	Wheat gluten 75
12055100	Maize gluten 60
12060110	Pea Protein 72
12090220	Guar Meal PF65
12090223	Guar Meal PF70
13510100	Wheat

4.7 Programkode

I denne delen av rapporten vil utdrag av programkoden for PLS-en og HMI-en bli presentert med tilhørende forklaring. Det ble bestemt at programkoden skulle lages i LADDER da dette er en lettfattelig og mye brukt programmeringsspråk som gruppen var interessert i å få mer kunnskap om.

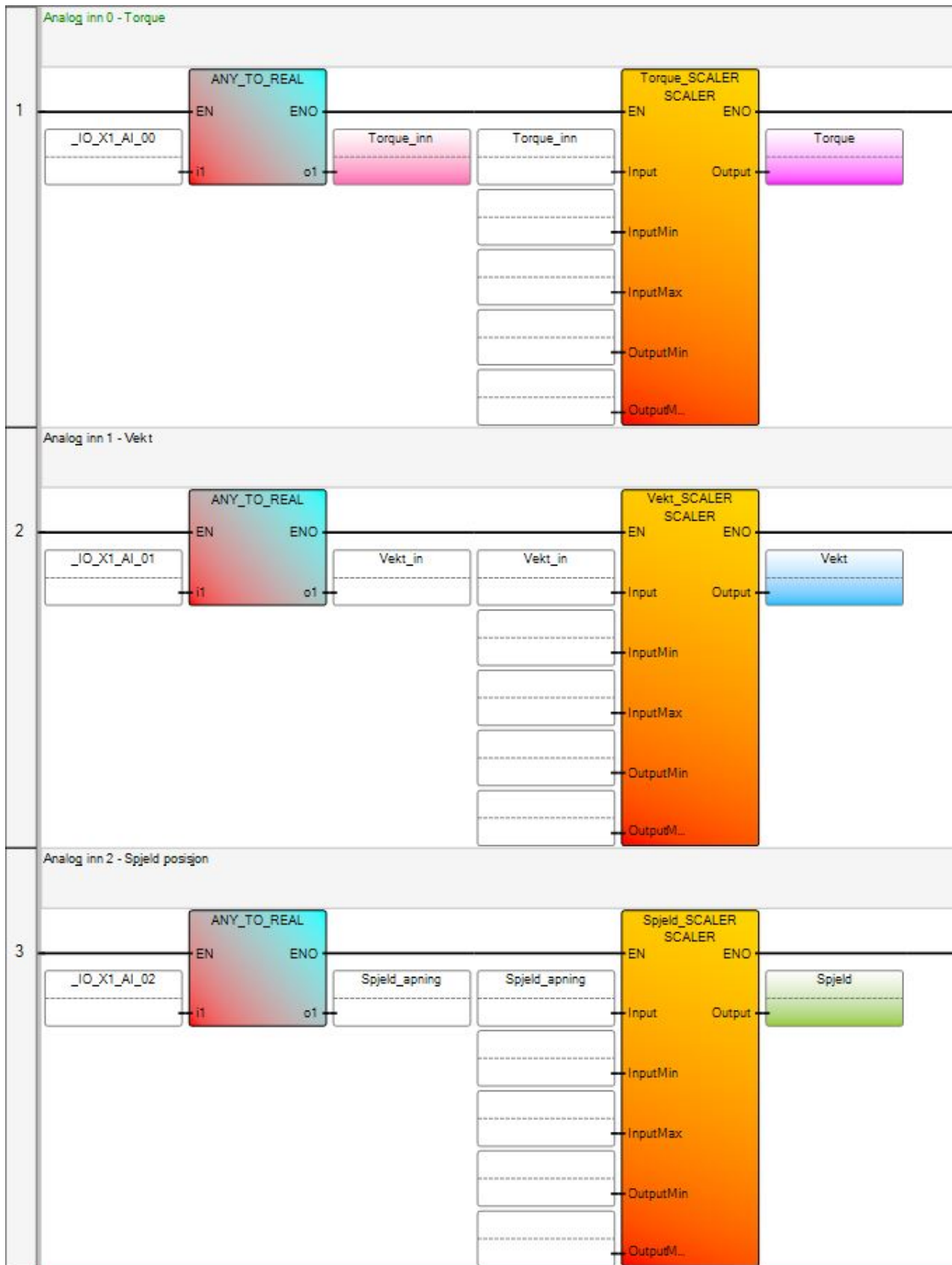
HMI-en og PLS-en er begge Allen-Bradley-produkter, så begge kunne programmeres i Connected Components Workbench. På HMI-en er det brytere og displayer som både mottar og sender informasjon til PLS-en. De kommuniserer sammen via ethernet-kobling. Her blir interne bit brukt som adresser for kommunikasjon mellom HMI og PLS.

PLS-en har fysiske innganger og utganger, både analoge og digitale. Disse har forhåndsinnstilte adresser som må brukes i programmet. `_IO_X1_A1_00` betyr eksempelvis analog inngang 0 på det første analoge inngangskortet. Adresser som brukes internt i PLS-en kan ha hvilken adresse som helst.

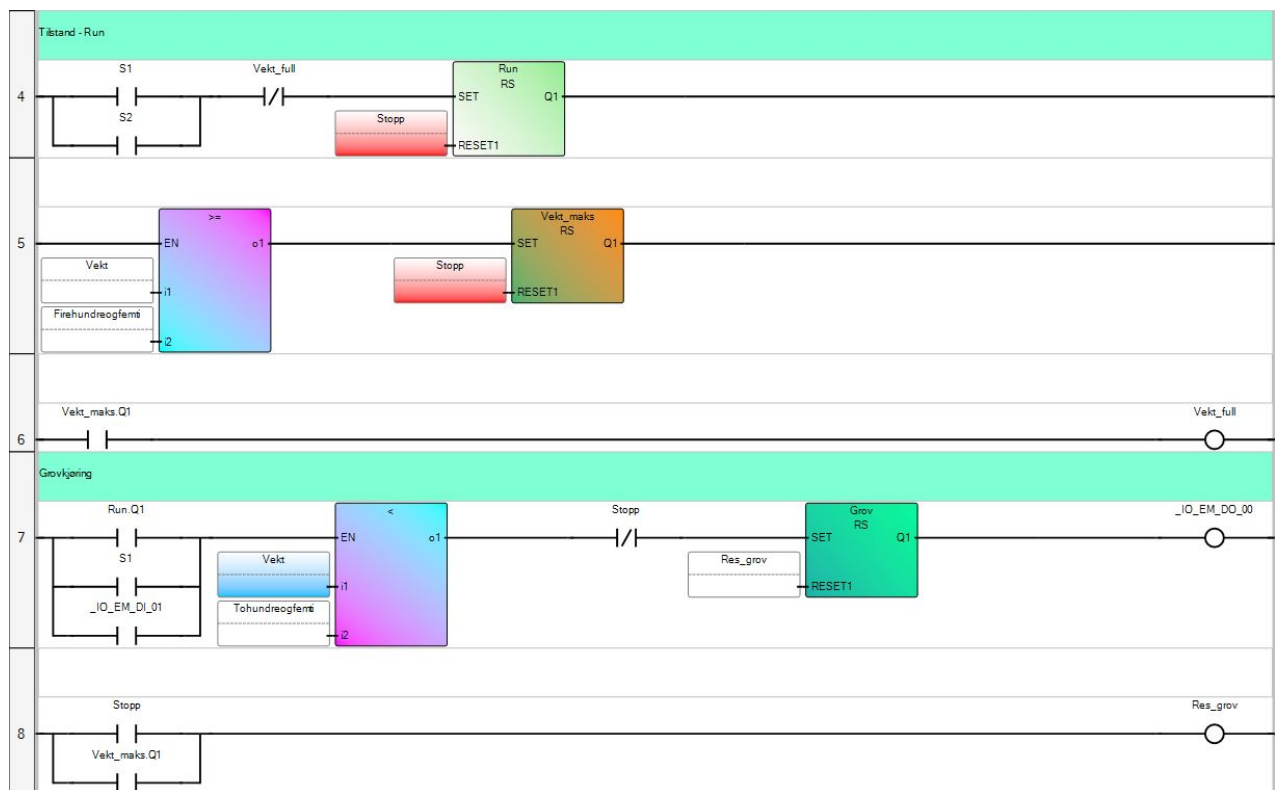
De analoge inngangene er integer-signaler. Disse må omgjøres til REAL-signaler slik at de kan brukes videre i programkoden. Deretter blir de skalert slik at 4-20 mA tilsvarer 0-100% ved avlesning. Dette skjer øverst i programkoden med moment tilbakemeldingen fra frekvensomformerer. Tilsvarende ble gjort med vekt tilbakemeldingen, men her er signalet skalert slik at 4-20mA tilsvarer 0-500kg. Tilbakemeldingen fra spjeldposisjonen blir skalert slik at 4-20mA tilsvarer 0-100% åpning. Figur 17 viser hvordan dette er implementert i programkoden.

Deretter kommer en starttilstand kalt Run. Den blir aktivert når bryter S1 eller S2 slås på, men det kreves også at vekten ikke er full. Når stopp-knappen trykkes inn resettes denne tilstanden.

Deretter kommer en «Greater than/equal to» (\geq) -blokk som bestemmer om vekten er fullastet. Her settes en verdi (eksempelvis 450kg) som er maksimal vekt. Dersom vekten overskrider denne verdien vil prosessen stoppe. Denne tilstanden resettes ved å trykke stopp. Se Figur 18.

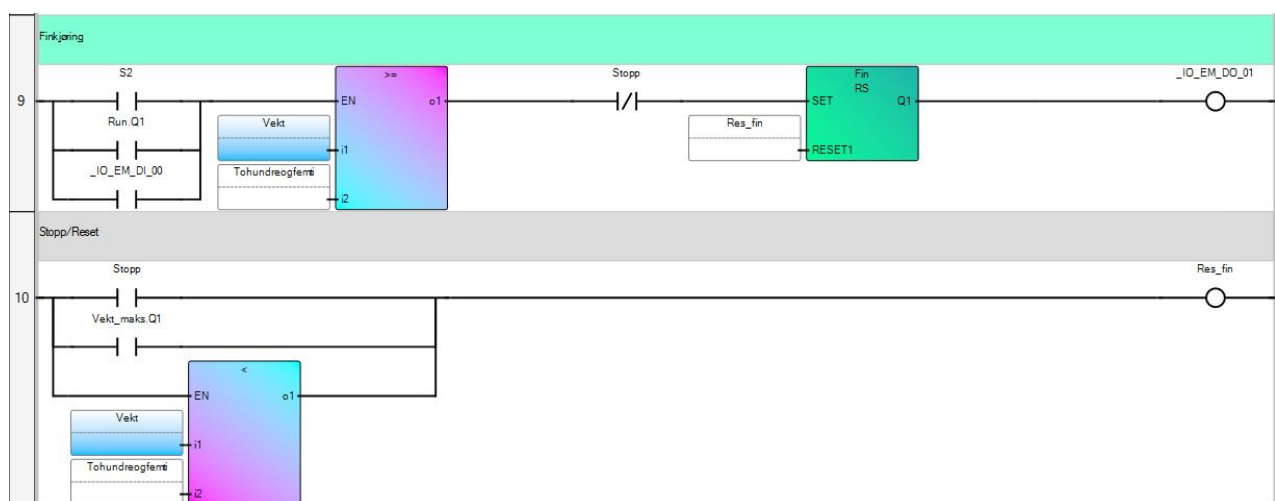


Figur 17. Skalering av analog input



Figur 18. Tilstander for kjø, full vekt og grovkjøring

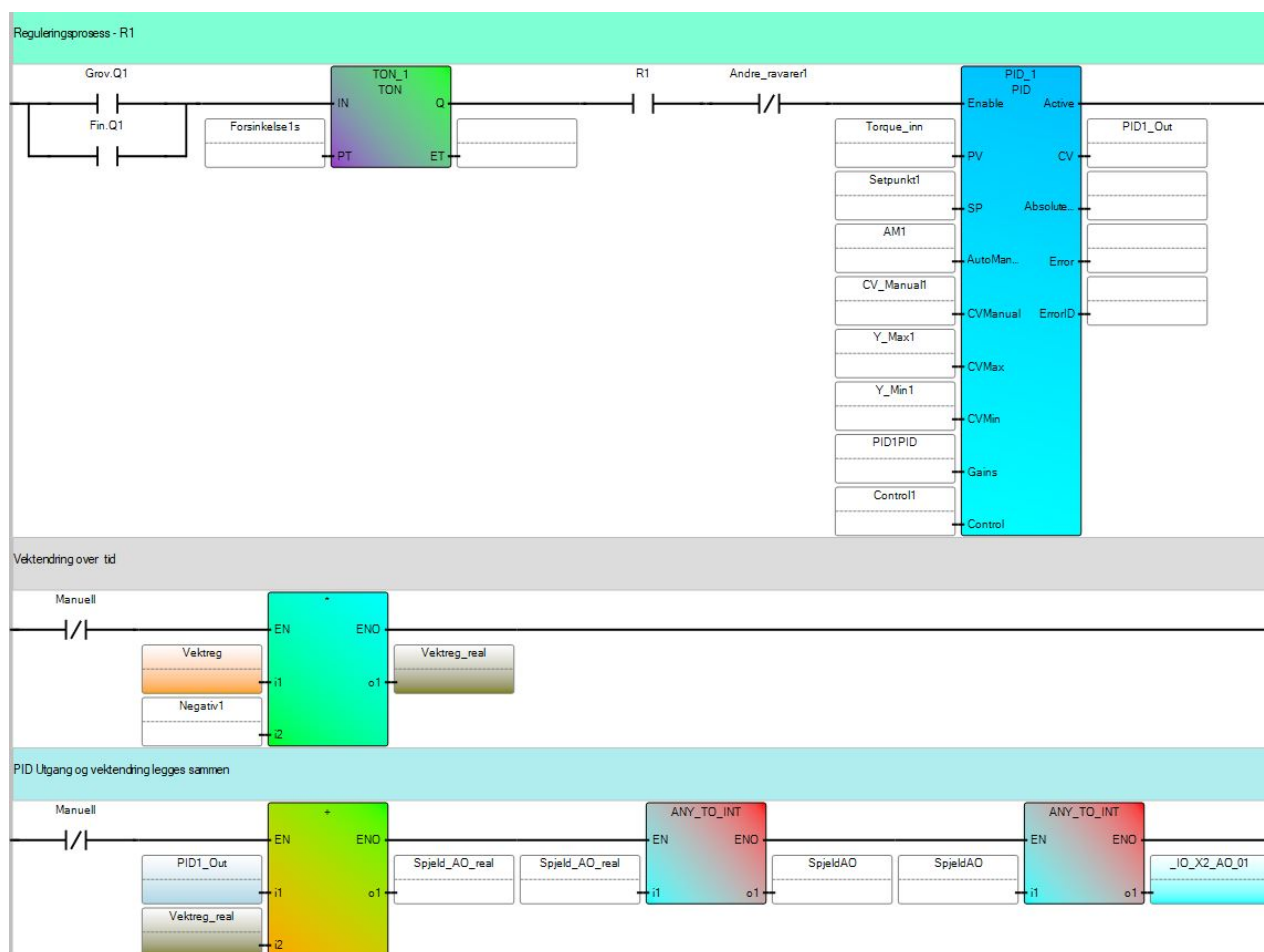
Det er to forhåndsinnstilte hastigheter som motoren skal kjøres på. Disse er satt opp i frekvensomformereren og er satt til 50 og 10 Hz. Disse blir kalt grov- og finkjøring. Dersom vekten er under en viss forhåndsvalgt verdi (her 250kg), vil motoren gå på grovkjøring, mens den vil gå over til finkjøring når vekten overskrider denne verdien. De digitale utgangene grov- og finkjøring, setter frekvensomformereren til å kjøre motoren på de forhåndsinnstilte hastighetene. Når vekten overskrider verdien for «vekt full», slår finkjøring seg av. Se Figur 19.



Figur 19. Tilstand for finkjøring

Når motoren går og en råvare er valgt, blir en PID-blokk aktivert, med en forsinkelse på 5 sekunder som tilsvarer motorens oppstartstid. Hver råvare krever egendefinerte PI(D)-parametere. PID-blokken bruker moment-verdien som prosessverdi og regulerer ut ifra hvor «tungt» det er å kjøre skruen med hensyn på et valgt setpunkt. Setpunktet vil variere avhengig av råvaren i siloen og ble valgt etter resultater og erfaringer fra testing. $SP_{K_{rill}} = 9\text{mA}$.

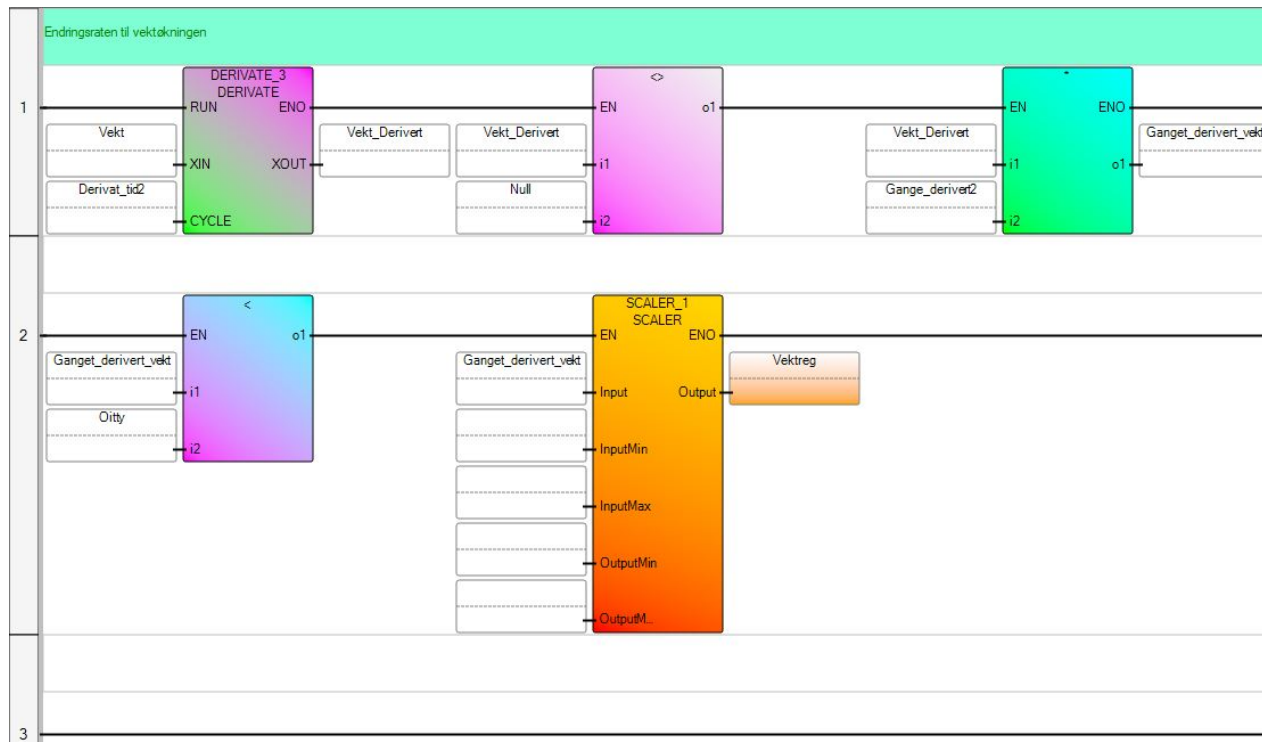
Spjeldet får en forhåndsvalgt maks (Y_Max) og min -verdi (Y_Min), slik at reguleringen av spjeldet holder seg innenfor fornuftige verdier. Grensene er satt fra 4,8 mA til 14 mA. Se Figur 20.



Figur 20. PID-blokk med timer hvor eventuelle vektendringer legges til ved utgang

Figur 21 viser vektreguleringen hvor nåværende vekt sammenlignes med vekten for et halvt sekund siden. Dette for å finne vektendringsraten.

Deretter blir endringsraten skalert til verdier som brukes videre i programmet. Den skalerte endringsraten til vekten legges så sammen med utgangsverdien fra PID -blokken til spjeldet.



Figur 21. Skalert endringsrate for vekt

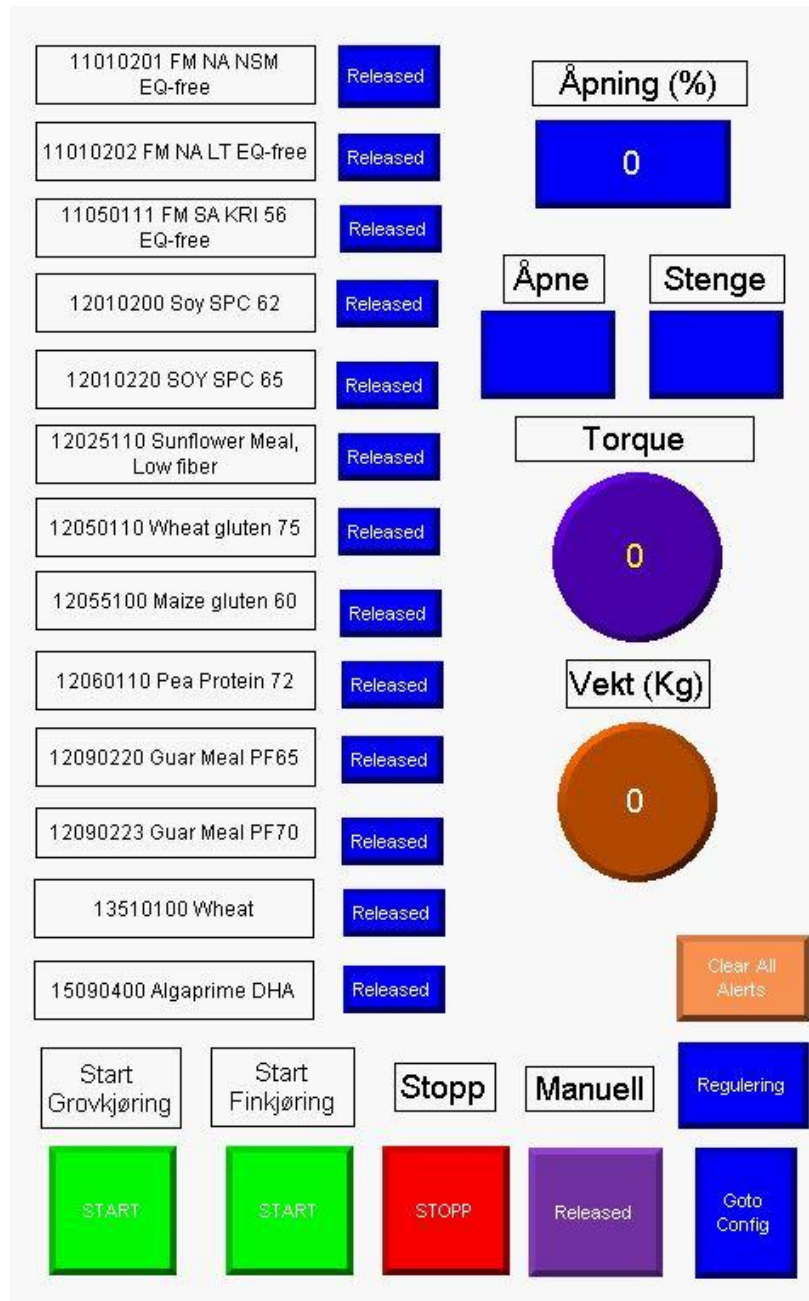
4.8 HMI

Her vil skjermbildene med tilhørende knapper på HMI-en bli presentert.

Under ser man hovedskjermbilde. Råvarene til disposisjon vises på venstre side. En av disse må velges når doseringen skal starte. Det er knapper/brytere for start grovkjøring, finkjøring, stopp og manuellstyring. Når programmet kjøres i manuell, kan åpne- og stenge knappene brukes for å regulere spjeldet. «Torque» og «Vekt» viser de faktiske målte verdiene.

4.8.1 Figur 22 - Hovedskjerm

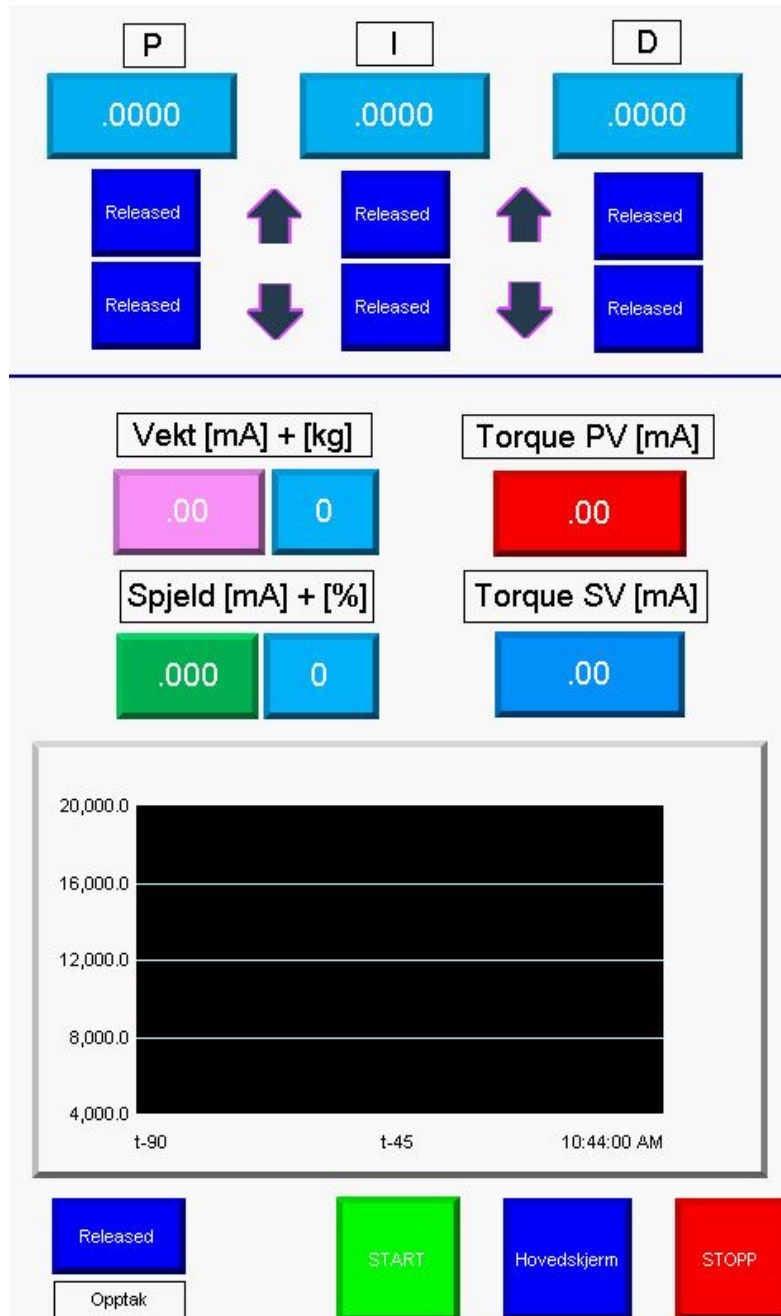
Her velges hvilke råvarer som skal doseres og reguleres. Start (fin/grov) og stopp, manuell styring av spjeldet og knapp for reguleringsmeny.



Figur 22. Hovedskjerm, HMI

4.8.2 Figur 23 - Regulerings skjerm

Her vises setverdi (SV) og prosessverdi (PV) for motormoment (torque) i mA, de målte verdiene for vekt i mA og kg, og spjeldåpning i mA og prosent. Det er også lagt inn en graf som viser trendene til disse verdiene.



Figur 23. Regulerings skjerm, HMI

4.9 Parametere brukt i frekvensomformer

Under presenteres en liste over parameterne som er satt opp i frekvensomformereren.

Data fra motoren som skulle kjøres:

- P3.1.1.1. Motor nominell spenning (V). Finnes på merkeskiltet på motoren.
Denne er stjernekoblet og går på 400V.
- P3.1.1.2. Motor nominell frekvens (Hz). Finnes på merkeskiltet på motoren.
= 50 Hz.
- P3.1.1.3. Motor nominell hastighet (rpm). Finnes på merkeskiltet på motoren.
= 1410 rpm.
- P3.1.1.4. Motor nominell strøm (A). Finnes på merkeskiltet på motoren.
= 8,7 A.
- P3.1.1.5. Motor cos phi (virkningsgrad). Finnes på merkeskiltet på motoren.
= 0,84.
- P3.1.1.6. Motor nominell effekt (kW). Finnes på merkeskiltet på motoren.
= 4 kW.
- P3.1.2.2. Motor type. Valgte induksjonsmotor.

Diverse andre parametere som er satt opp:

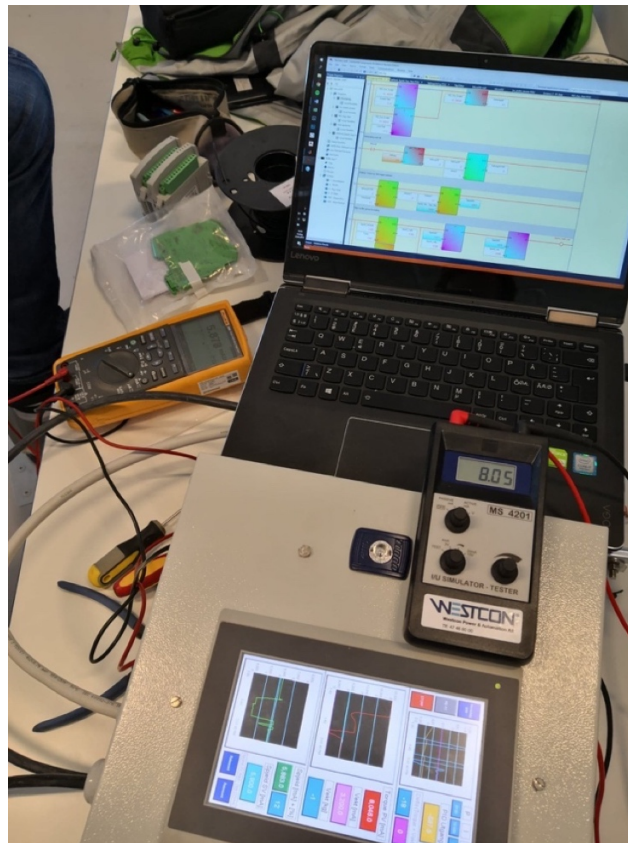
- P3.1.2.10. Overspenningskontroll aktivert.
- P3.1.3.2. Motor moment grense ble satt fra 0-100%.
- P3.1.4.9. Startboost ble aktivert.
- P3.2.2. Lokal/Kontroller ble satt i lokal for å kjøre frekvensomformereren fra I/O-en på PLS-en.
- P3.2.4. Start funksjon ble satt i gradvis økning av hastigheten.
- P3.2.5. Stopp funksjon ble satt i gradvis minking av hastigheten.
- P3.3.3.1. Forhåndsinnstilt frekvens modus ble satt til hvor mange forhåndsinnstilte hastigheter som skulle brukes. To frekvenser ble benyttet, til henholdsvis grovkjøring og finkjøring.
- P3.3.3.3. Forhåndsinnstilt hastighet 1 (10 Hz) ble satt til inngang 1 (finkjøring)
- P3.3.3.9. Forhåndsinnstilt hastighet 7 (50 Hz) ble satt til inngang 4 (grovkjøring)
- P3.4.1.2. Aksellerasjonstiden ble satt til 5 sek.
Tiden det tar fra motoren er av til valgt hastighet.

- P3.4.1.3. Retardasjonstiden ble satt til 5 sek.
Tiden det tar fra valgt hastighet og til full stopp.
- P3.5.4.1.1. A01 funksjon (analog utgang 1) ble satt til motor moment.
- P3.5.4.1.3. A01 minimum ble satt til 4mA.

4.10 Simulering

Under utvikling og testing av programkoden var det nødvendig å simulere de ulike input/output verdiene før det skulle testes med reelle verdier på BioMar.

Simuleringen ble gjort ved hjelp av loopkalibratører som gir ut 4-20 mA signal. Loopkalibratorene ble koblet til input/output på PLS-en. En av dem ble koblet til adressen IO_X1_AI_00 som er en analog inngang for motormomentet. Den andre ble koblet til adressen IO_X1_AI_01 som er analog inngang for vekt. Dette ble gjort for å kunne simulere moment og vektsignal. Selve utførelsen av simuleringen ble gjort ved å justere opp og ned på signalene for å se hvordan reguleringen oppførte seg. Figur 24 viser hvordan simuleringen med loop-kalibratører ble utført.

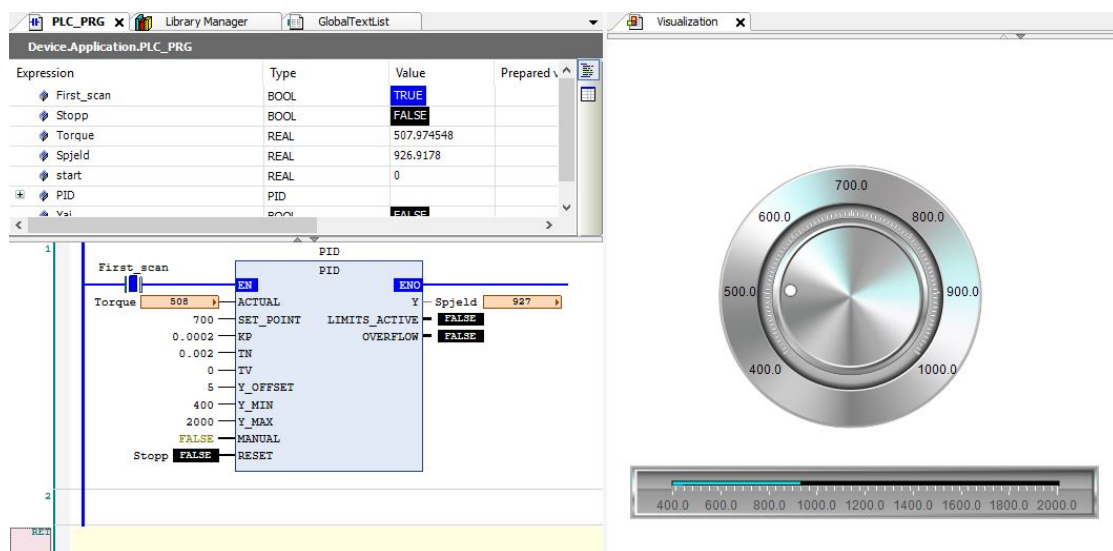


Figur 24. Simulering

Etterhvert som reguleringen begynte å oppføre seg på en tilfredsstillende måte, ble det testet med både det som anses som realistiske og urealistiske signaler. Med dette menes at simuleringen ikke vil oppføre seg på samme måte ved simulering som ved testing. Ved simulering er det flere ting som ikke tas hensyn til, som blant annet treghet i den pneumatiske sylindren som skyver spjeldet inn og ut.

Codesys ble brukt for å simulere ulike parametere for PID-regulatoren, se Figur 25.

Simuleringen gav en god indikasjon på hvordan reguleringen oppførte seg, men testing på BioMar var essensielt for å oppnå ønsket regulering. Ved testing på det reelle anlegget ville man få data for å kunne justere reguleringen.



Figur 25. Codesysprogram for simulering av PID-regulator

4.11 Testing på BioMar

Etter at testtrigg med tilhørende program var ferdig, tok gruppen med testtriggen til anlegget på BioMar for testing. Testresultatene er sammen med løsninger som er vurdert, bakgrunnen for den endelige løsningen.

4.12 Løsninger – avviksbasert regulering

For å oppnå den beste løsningen for reguleringen ble flere mulige løsninger vurdert, både før og under utviklingen av programmet. Det ble utført tester på BioMar for å innhente data og for å kunne finjustere reguleringen.

Motormomentet, T_M , er den variabelen reguleringen skulle baseres på. Det ble funnet passende setverdier ut ifra resultater etter testing. Pådraget til sylindere beregnes med skaleringer i PLS programmet. Når det målte motormomentet fikk lavere verdi enn setverdien skulle spjeldet åpne seg. Tilsvarende skulle spjeldet lukkes når motormomentet fikk høyere verdi enn den valgte setverdien. Målet var å regulere spjeldet slik at momentet stabiliserte seg rundt setverdien.

To ulike løsninger med PI-regulator ble vurdert. Regulering av spjeld med- og uten tilbakemelding. Begge løsningene baserer seg på en sammenligning mellom setverdi, T_M , og prosessverdi, y , som er utgangssignalet og representerer spjeldåpningen. For begge løsningene så tilsvarer et pådrag på 4 mA at spjeldet settes i åpen posisjon, mens et pådrag på 20 mA gjør at spjeldet lukkes.

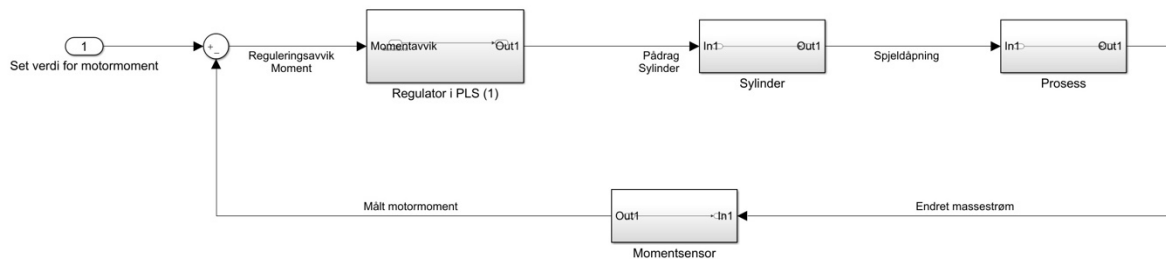
Uten tilbakemelding vil man ikke få informasjon om spjeldets reelle posisjon. Pådraget vil ikke kunne styre spjeldet basert på den målte posisjonen, men basert på et utgangssignal som skal tilsvare denne posisjonen. I tilfeller hvor utgangssignalet ikke tilsvarer den reelle posisjonen, vil dette kunne føre til en mer unøyaktig regulering enn dersom det hadde vært tilbakemelding på utgangssignalet.

4.12.1 PI-regulator uten tilbakemelding om spjeldposisjon

Figur 26 viser et blokkskjema over hvordan reguleringen av spjeldet vil foregå uten tilkoblet tilbakemelding fra sensor om faktisk spjeldåpning. Motormomentet (T_M) måles og brukes til å beregne hvilken posisjon (y) spjeldet skal settes i. Lavt moment betyr at spjeldet kan åpnes, og høyt moment betyr at spjeldet kan lukkes. Enkelt sett kan det settes opp en lineær sammenheng mellom disse variablene slik at utgangssignalet y skal være lik inngangssignalet T_M . Mer avanserte omregninger kan også gjøres dersom sammenhengen mellom motormoment og ønsket spjeld er ulineær. I denne foreslåtte løsningen er det målte signalet brukt som input til en PID-regulator, hvor målet er å få utgangssignalet y til å være lik setpunktet for T_M .

Reguleringsløyfen består av:

- En sensor som måler motormomentet, T_M .
- En PID-regulator som beregner et pådrag basert på målt motormoment. Pådraget sendes til aktuatoren som her er en dobbeltvirkende sylinder for å styre prosessvariabelen, som er spjeldets posisjon.



Figur 26. PI-regulator uten tilbakemelding om spjeldåpning

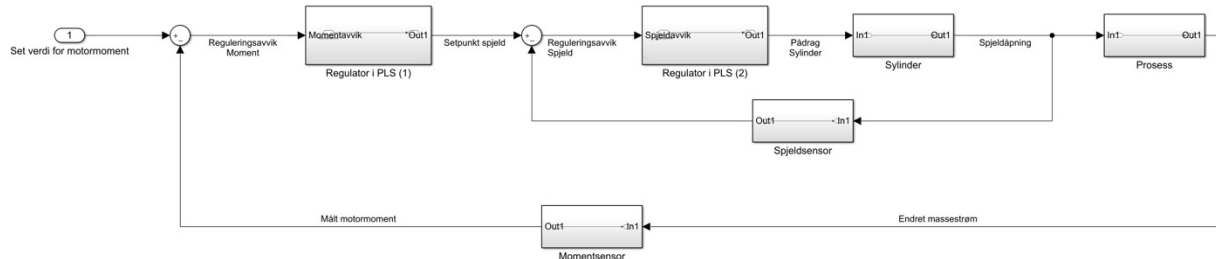
4.12.2 PI-regulator med tilbakemelding om spjeldposisjon

I denne løsningen utnyttes en sensor som detekterer spjeldåpningen og gir tilbakemelding til PLS-en om spjeldets reelle posisjon. Figur 27 viser et blokkskjema over hvordan reguleringen av spjeldet vil foregå med tilkoblet tilbakemelding fra sensor om faktisk spjeldåpning. Ellers er metoden basert på det samme som om det ikke hadde vært tilbakekobling i reguleringsløyfen. Fordelen med denne typen styring er at reguleringen blir raskere, da sensoren på spjeldet er raskere enn massetransporten av råvarer.

Reguleringsløyfen består av:

- En sensor som måler motormomentet, T_M .
- Setverdi som beregnes med en omregningsfunksjon.
- En sensor for spjeldåpningen som gir måleresultatet til PLS-en.
- En PID-regulator som sammenligner setverdi med den målte spjeldåpningen og leverer pådrag, u til aktuatoren, som er den dobbeltvirkende sylinter som styrer spjeldet.

Figur 27 viser et blokkskjema over reguleringsystemet. Det er strukturert som et reguleringsystem i kaskade, hvor primærløyfen er regulering av momentet og sekundærløyfen er regulering av spjeldets posisjon. Utgangssignalet fra primærløyfen brukes som setpunkt for sekundærløyfen.



Figur 27. PI-regulator med tilbakemelding om spjeldposisjon

4.13 Valgt løsning

Løsningen som ble valgt ble løsning 4.12.1 PI-regulator uten tilbakemelding.

Regulering av spjeld ved bruk av en PI-regulator uten tilbakekobling fra spjeldets posisjon, men fra motormomentet. PI-regulator ble brukt, da det etter testing viste seg å gi en tilnærmet stabil regulering.

Etter resultater fra testing ble det valgt en setverdi (moment) på motoren som var like under det den maksimalt kunne kjøres på. Dette for å ha så høyt moment som mulig, men samtidig opprettholde en viss sikkerhetsmargin når den regulerer seg inn mot setverdien. Momentet ble brukt som setverdi på en PI-regulator i PLS-en.

Reguleringen fungerte slik at når momentet på motoren økte, skulle spjeldet lukkes og motsatt. Det ble også lagt inn en manuell funksjon, der en kunne åpne og stenge spjeldet manuelt fra skjermen. Ved manuell styring deaktiveres den automatiske reguleringen.

Da BioMar ikke ønsket å implementere nye elementer på det opprinnelige anlegget, ble det ikke anledning til å få tilbakemelding på den reelle posisjonen til spjeldet. Til dette trengs en sensor i transportskruen for å registrere mengden råvarer i skruen.

På grunnlag av dette, ble ikke løsning 4.12.2 PI-regulator med tilbakemelding aktuell.

Hadde denne løsningen blitt valgt hadde det gitt nyttig informasjon om spjeldets reelle posisjon, og pådraget (momentet) kunne blitt justert ut ifra den målte spjeld-posisjonen. Dette ville sannsynligvis gitt en bedre regulering.

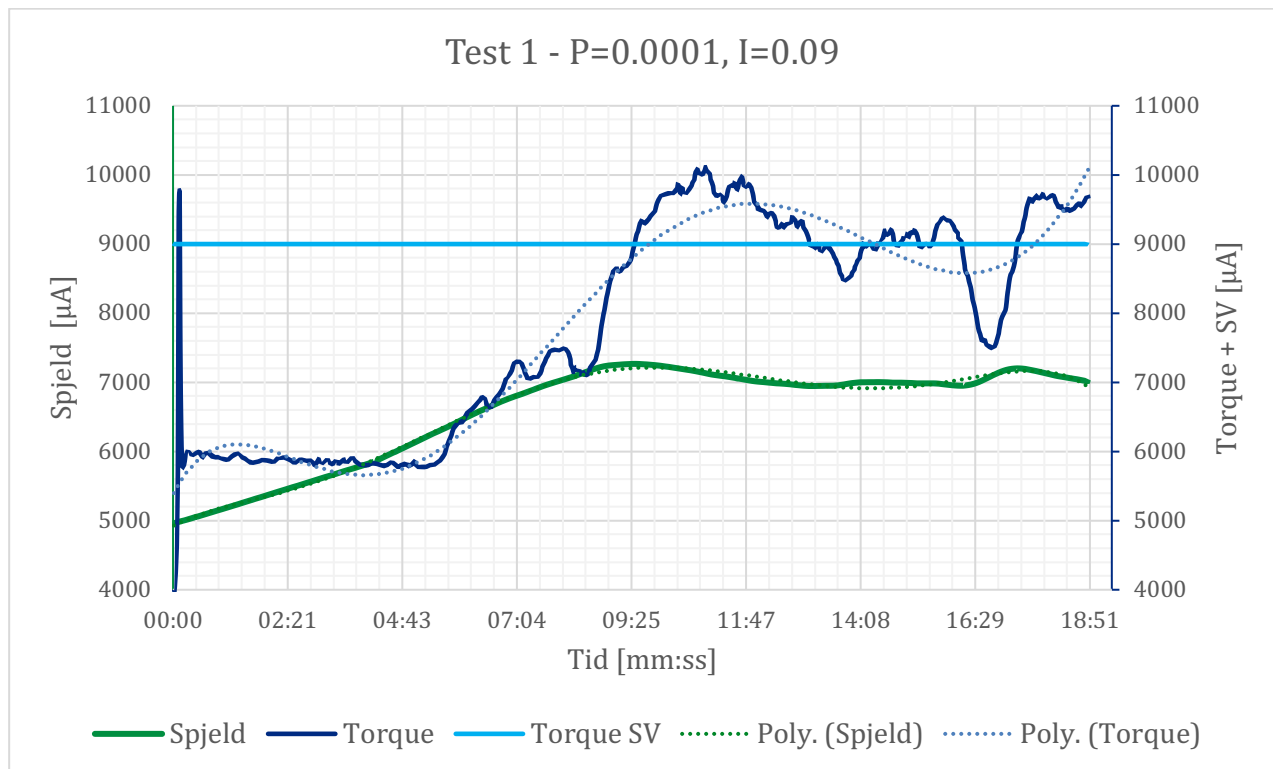
4.14 Testresultater

Det ble gjennomført en rekke tester over en periode på 4 dager. Dag 1 gikk i hovedsak på å koble opp, måle og sørge for at alt var riktig satt opp. Det ble også foretatt noen tester, men da viste det seg raskt at reguleringen var for ustabil og det måtte gjøres noen endringer i programmet.

Etter at endringene var gjort, ble det gjort nye forsøk de neste 3 dagene. Det ble kjørt tester med ulike PI-parametere og setverdier som vil bli presentert i de neste avsnittene.

På hver side av siloene er det to vibrasjonsmotorer som hjelper råvaren å falle ned til spjeldåpningen. Disse vibrerer ved bestemte intervaller, og det viste seg ved testing at det var mest gunstig at disse vibrerte konstant.

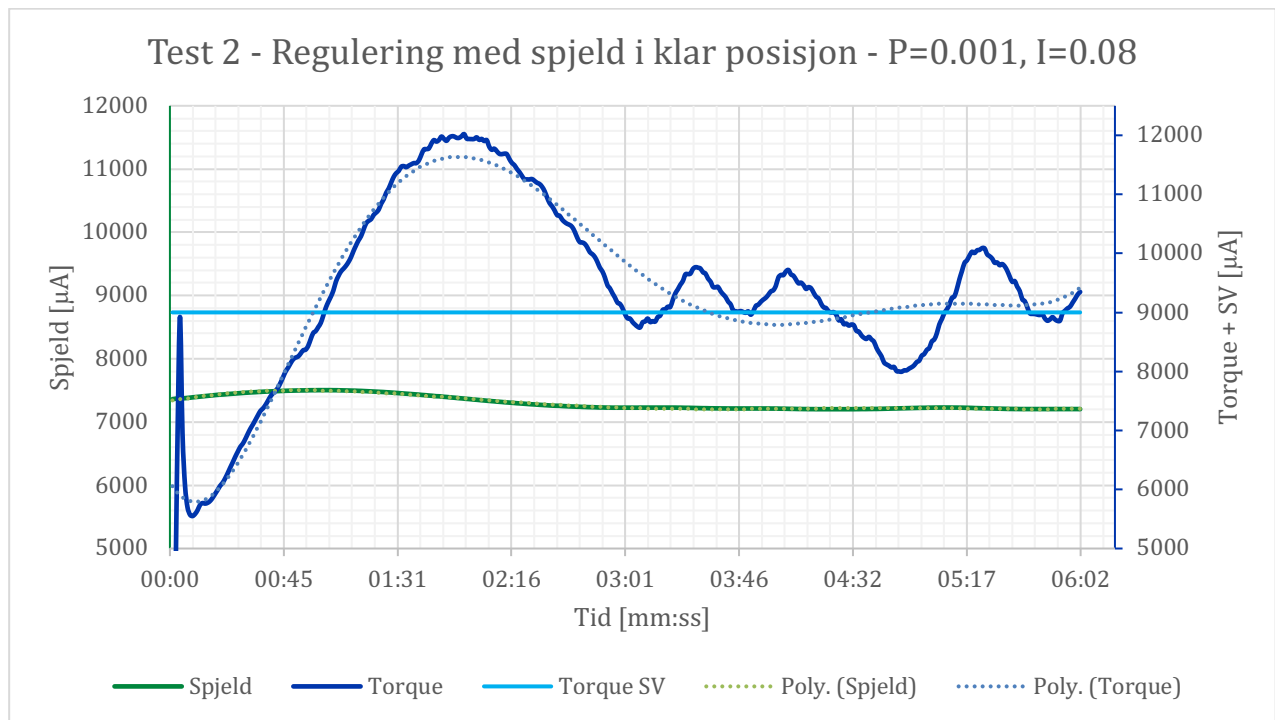
4.14.1 Test 1



Figur 28. Test 1

Første test ble startet med tom transportskrue og spjeld nærmest lukket. Startet med lave parameter-verdier basert på simulering i Codesys for å holde spjeldets respons stabil og observere reguleringen etter hvert som systemet stabiliserte seg. Med lavt proporsjonal og integral -ledd ble responsen treg, men relativt stabil. Man kan se fra grafen i Figur 28 at med en setverdi på 9 mA, brukte spjeldet lang tid på å stabilisere seg, men holdt seg til slutt på ca. 7 mA. Dette tilsvarer ca. 19% åpning.

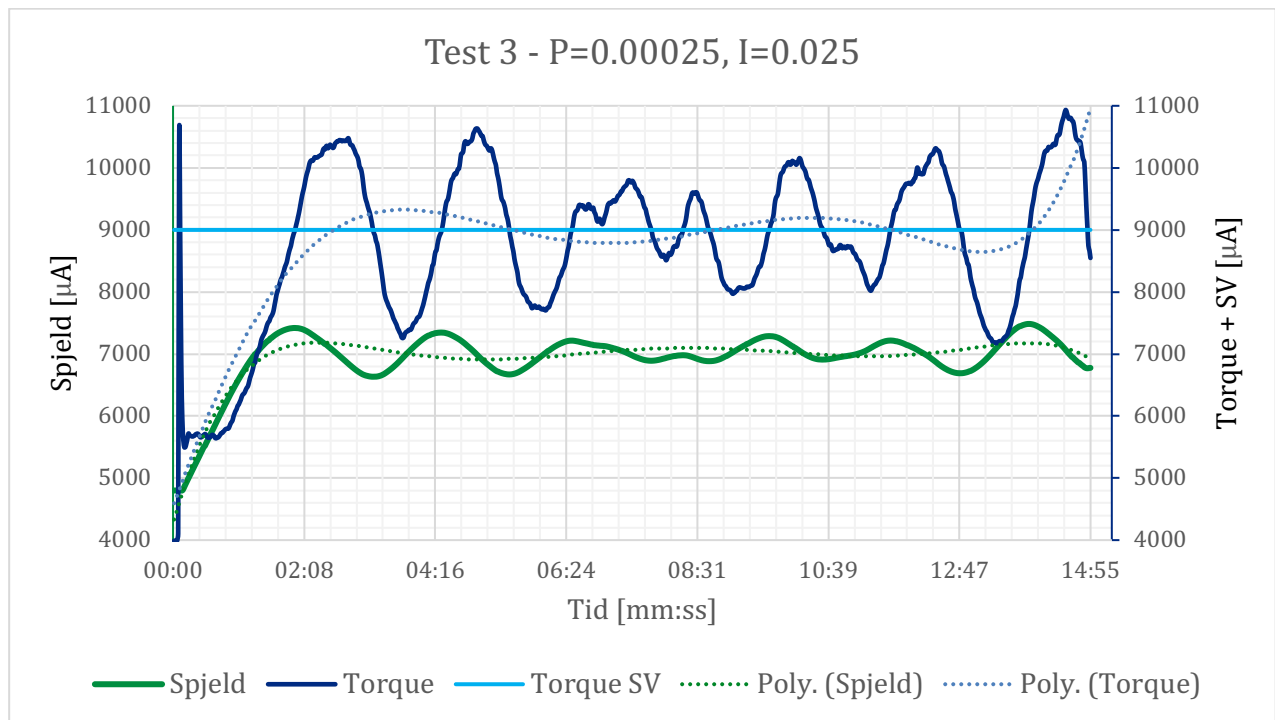
4.14.2 Test 2



Figur 29. Test 2

2. testen ble startet med halvfull transportskrue og spjeld i en tilnærmet klar posisjon. Hensikten var å observere hvordan reguleringen oppførte seg dersom prosessen aktiveres med spjeldet åpent. Figur 29 viser at spjeldet stabiliserte seg og holdt seg på rundt 7,2 mA, som tilsvarer 20% åpning.

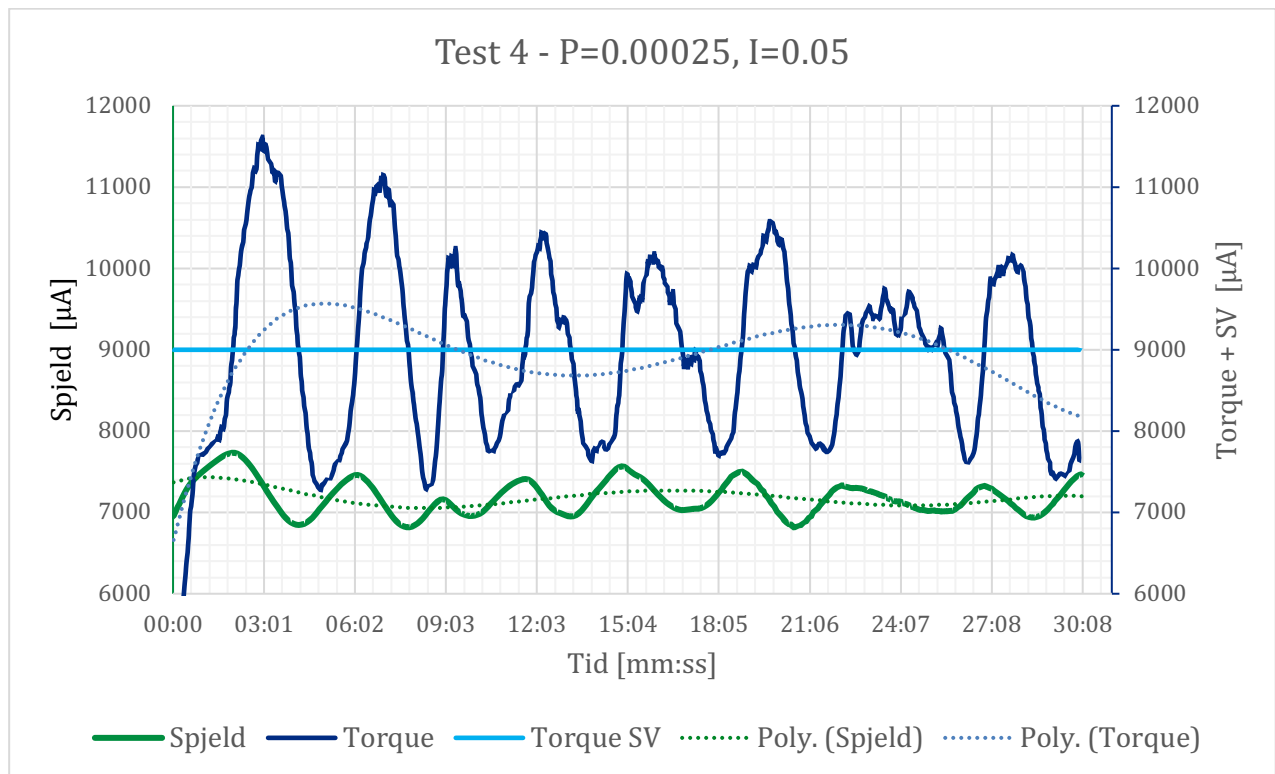
4.14.3 Test 3



Figur 30. Test 3

For å redusere tiden det tok å åpne spjeldet, ble proporsjonal-leddet økt og integral-leddet redusert. Som vist i Figur 30, åpnet spjeldet seg hurtigere, men resultatet ble en mer ustabil stasjonær regulering.

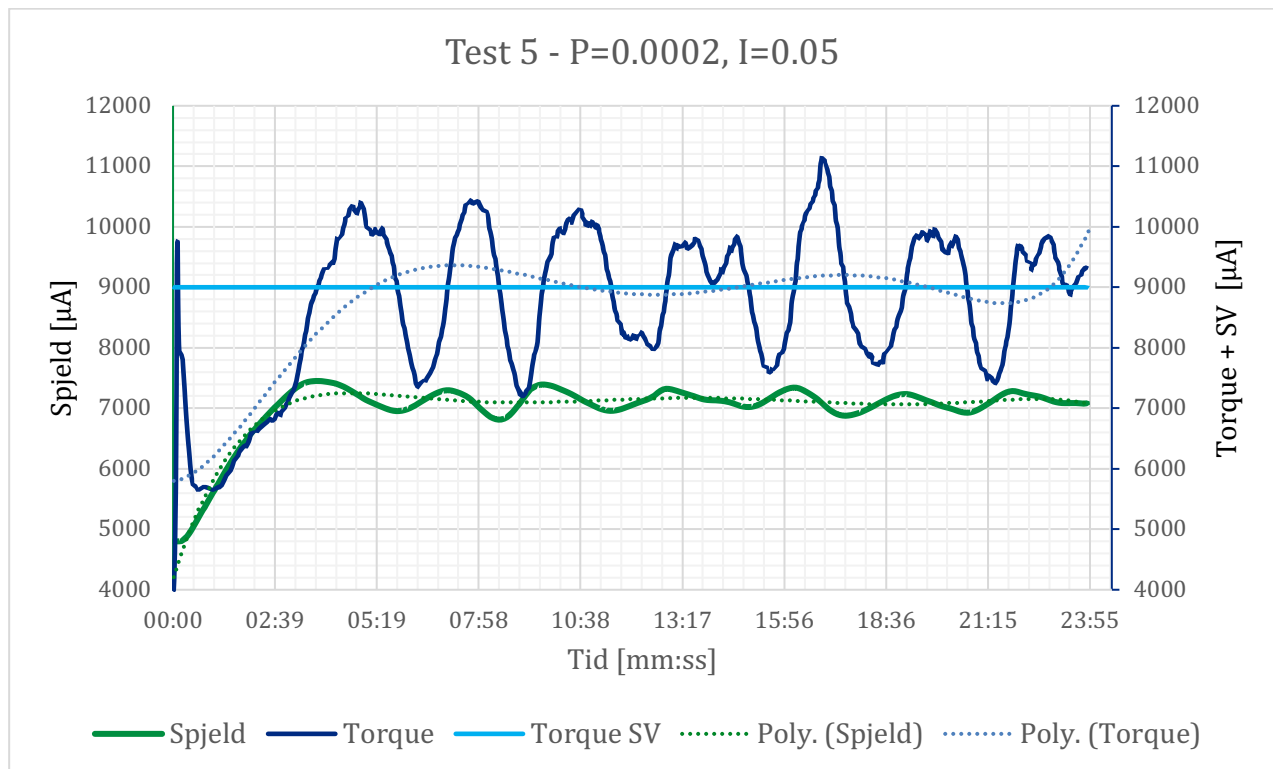
4.14.4 Test 4



Figur 31. Test 4

I denne testen ble det forsøkt å forbedre test 3. Integral-leddet ble justert opp mot verdier fra test 1 og 2. Figur 31 viser at man fikk en mindre økning i spjeldets åpningstid og den stasjonære stabiliteten forbedret seg ikke.

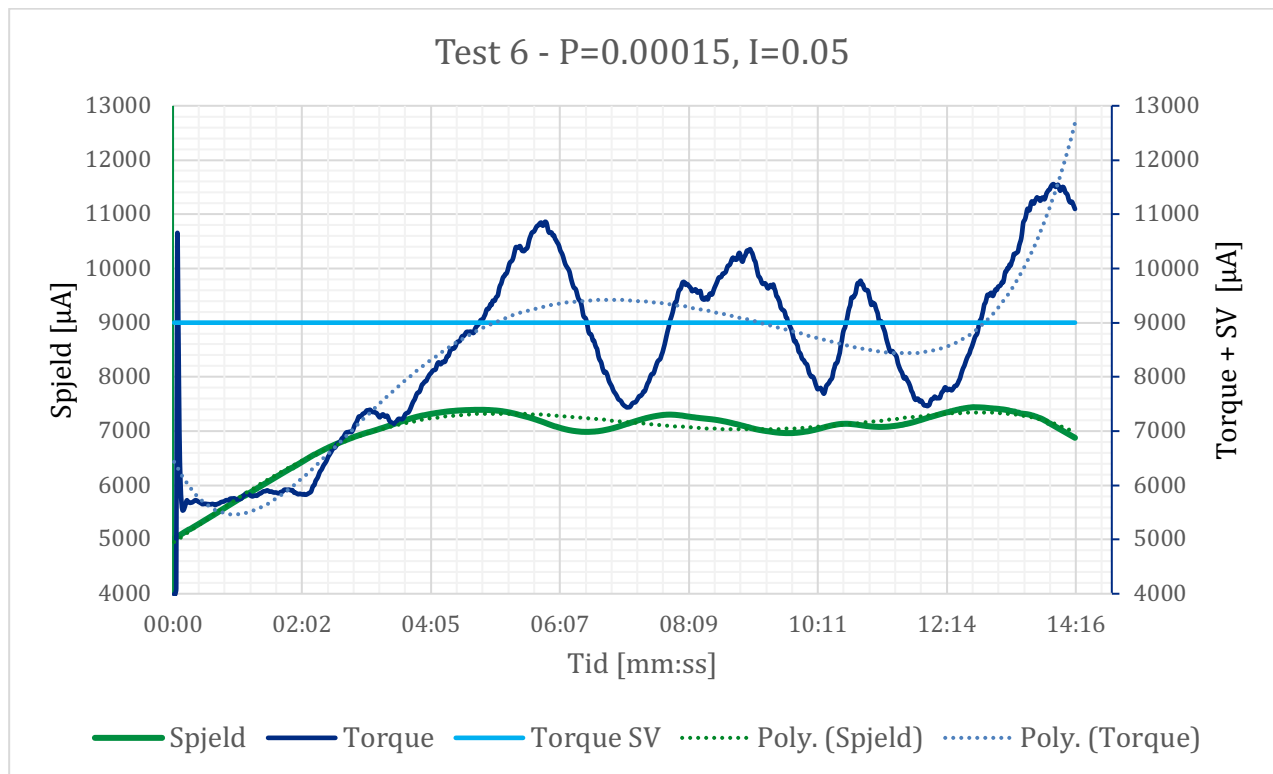
4.14.5 Test 5



Figur 32. Test 5

Her er det gjort et nytt forsøk med en reduksjon i proporsjonal-leddet. Figur 32 viser nok en økning i spjeldets åpningstid, men den stasjonære stabiliteten ble forbedret.

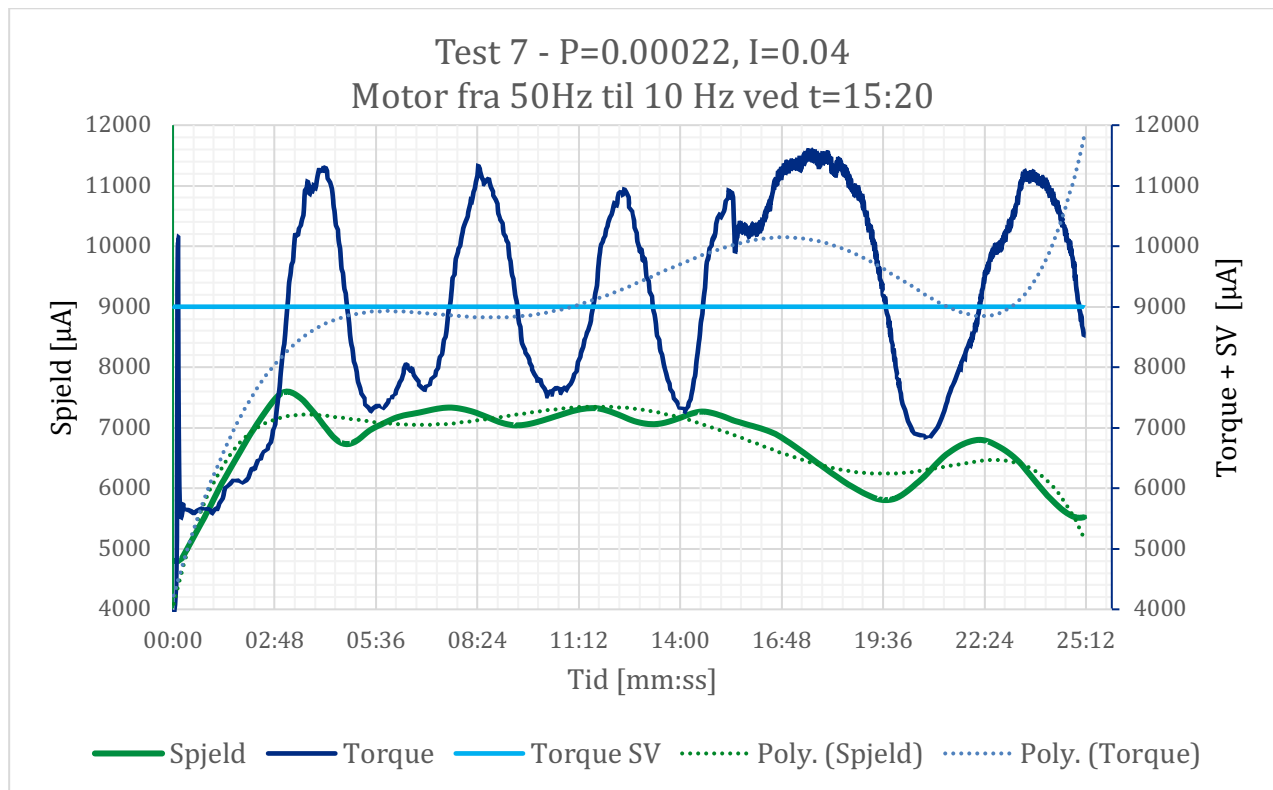
4.14.6 Test 6



Figur 33. Test 6

Her er det gjort en ny reduksjon i proporsjonal -leddet. Man kan se fra grafen i Figur 33 at spjeldets åpningstid øker fra forrige test, mens den stasjonære stabiliteten ble noe forbedret. Startmomentet ble ikke fanget opp ved logging i dette tilfellet.

4.14.7 Test 7



Figur 34. Test 7

Siste test ble gjennomført med proporsjonal og integral -ledd som virket fornuftige basert på tidligere tester. Ved tiden $t= [15:00]$ går prosessen fra grovkjøring til finkjøring. Se Figur 34.

4.14.8 Test 8 - Ziegler-Nichols' åpne sløyfe metode (2.lov)

Denne metoden går ut på å finne prosessens sprangrespons. For å gjøre dette settes et arbeidspunkt til prosessen og lar den stabilisere seg. Deretter blir det gjort et sprang i regulatorens utgangsverdi, og prosessens respons leses av ut ifra en graf (Vikene,2018).

For å regne ut parameterne måtte det leses av sprangets høyde (U), ekvivalent dødtid (L), og stigningstallet (R).

Tabell 4. Valg av PID parametre

	K _p	T _i	T _d
PID-regulator	$\frac{1,2}{LR/U}$	2L	0,5L

Ved testing ble følgende verdier lest av ut ifra graf: L = 0.5, R = 42, U = 45.

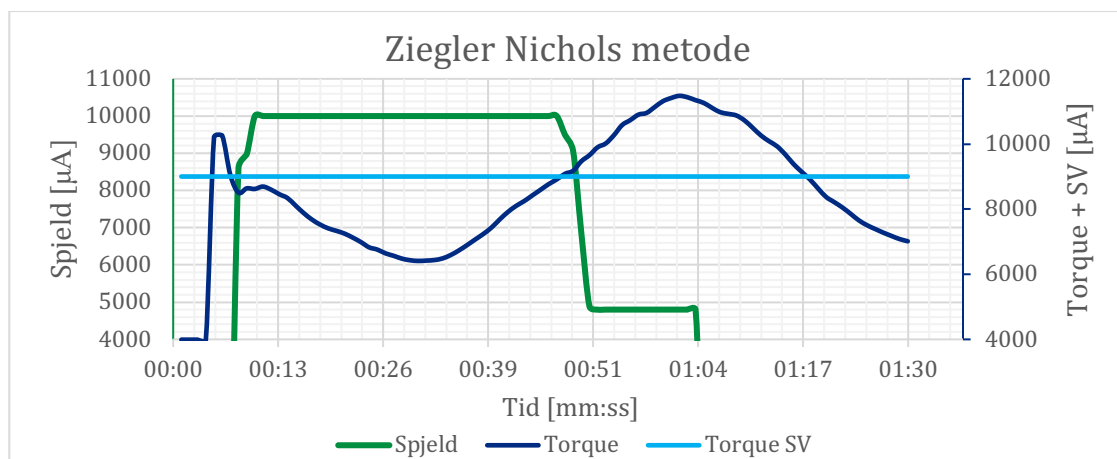
Utregnede parametre:

$$K_p = \frac{1,2}{\frac{LR}{U}} = \frac{1,2}{(0,5 * 42)/45} = 2,57$$

$$T_i = 2L = 2 * 0,5 = 1$$

$$T_d = 0,5L = 0,5 * 0,5 = 0,25$$

Disse parameterne ble testet på den reelle prosessen, men det viste seg raskt at dette fungerte dårlig. Det ble satt en grense på 10 000 (10 mA) for at ikke spjeldet skulle åpnes for mye. Her ble responsen alt for rask, se Figur 35. Spjeldet åpnes raskt, som kan føre til at det slippes for mye råvare i transportskruen, og vi får en brå regulering.



Figur 35. Test 8, Ziegler-Nichols metoden

4.15 Konklusjon fra testing

Basert på data fra testing, kom det tydelig frem at regulering basert på motormoment var mulig, men den foreløpige reguleringen burde optimaliseres.

Ut ifra testene kom det frem at endringer på spjeldet hadde en forsinket påvirkning på momentet og motsatt. Reguleringen prøver da å kompensere for dette. Dette kommer av treghet i spjeldet og ujevn massestrøm av råvarer, som førte til noe dødtid i reguleringsprosessen. Vibrasjonsmotorene på hver side av siloene er med på å redusere denne dødtiden. For mye dødtid resulterer i et ustabil system og et oscillerende forløp på momentet.

En lav verdi for P-leddet (0,0001) og en høy verdi for I-leddet (0,0008-0,0009) gav en stabil regulering, men regulatoren brukte lang tid på å nå et stasjonært nivå.

En økning i P-leddet (0,00025) og en reduksjon i I-leddet (0,025) førte spjeldet raskt opp til et stasjonært nivå, men responsen ble for hurtig og gav ustabil regulering.

På grunnlag av dette måtte det inngås et kompromiss mellom disse egenskapene hvor det ble lagt størst vekt på å få en stabil regulering.

Test 2 og 6 ble de mest aktuelle og er de beste resultatene som ble oppnådd.

Parameterne ved test 2 var $P = 0,0001$ og $I = 0,08$.

Parameterne ved test 6 var $P = 0,00015$ og $I = 0,05$.

Ved disse testene ble svingningene i motormomentet redusert, og spjeldet ble regulert rundt en tilfredsstillende posisjon. Det oppfordres likevel til videre testing for å oppnå en optimal regulering. Det ville vært interessant og inkludert et Derivat-ledd for å kunne teste om dette kunne ført til en mer optimal regulering.

4.16 Potensielle forbedringer/diskusjon

4.16.1 Teste reguleringen med flere råvarer

Reguleringen skulle i utgangspunktet brukes på mange råvarer, og tilpasse seg deretter. Derfor hadde det vært fordelaktig og testet med flere råvarer. Det ville gitt flere utfordringer og en bedre og kanskje en mer presis regulering.

Råvaren det ble utført tester med var krill. Krill var en lett råvare som motoren til transportskruen ikke hadde noe problem med å kjøre uansett hastighet og mengde. Det hadde vært en fordel om det hadde blitt testet med en tyngre råvare og som kanskje kunne «pakket» seg, slik at motoren hadde fått utfordret seg. Da kunne reguleringen blitt testet ytterligere og man kunne hentet ut nyttig informasjon for forbedringer.

4.16.2 Vektregulering

En løsning som ble vurdert og simulert baserte seg på vektendring. Dette viste seg å være vanskelig å regulere ut ifra. Store endringer i vekt førte til store utslag på spjeldet. Dette kunne blitt justert og optimalisert dersom det hadde vært mer tid til rådighet.

4.16.3 Tilbakemelding fra spjeld

En løsning som ble vurdert var regulering med tilbakemelding. For å oppnå dette trengs det en sensor på spjeldet som gir tilbakemelding til regulatoren om den faktiske posisjonen til spjeldet. Dette kunne gjort finjusteringen enklere og gitt en bedre regulering. En sammenligning mellom spjeldets utgangssignal og faktisk posisjon ville gitt verdifull informasjon om hvordan spjeldet faktisk oppførte seg.

4.16.4 Optimalisering av programkode

Momentet viste seg å stige raskt og avta sakte i reguleringen. Dette bød på noen problemer. Spjeldet burde blitt åpnet saktere og lukket hurtigere. Dette for å få en mer presis regulering og å unngå raske økninger i moment.

Valg og justeringer av PI-parameterne kunne blitt utført på en mer metodisk måte.

Parameterne ble satt etter simulering i Codesys og deretter ved den klassiske «prøv og feil» metoden ved testing på BioMar. Forsøk på utregning av parametere med Ziegler-Nichols 2. metode gav dårlige resultater. Til dette kunne det kanskje vært en god idé å integrere autotune-funksjon i programmet. Denne vil automatisk finne frem til de tilnærmet beste parameterverdiene. Det ville sannsynligvis gitt en mer stabil og korrekt regulering. Dette lot seg ikke gjøre med programmet (CCW), da det ble komplikasjoner med installasjon av utvidelsen.

En annen mulighet var å implementere egne PID -blokker for åpning og stenging av spjeldet. Dette for å unngå kompromisset som måtte inngås. Finkjøring burde også hatt egne PID-regulatorer da en redusert hastighet påvirket reguleringen.

5 Konklusjon

Hovedkriteriet til oppgaven var å finne ut hvorvidt det var mulig å benytte motorens pådrag til å regulere doseringen av råvarer. Det viste seg å være en utfordrende og lærerik oppgave, og ble løst på en god måte til slutt.

Testperioden ble ikke optimal, da gruppen kun hadde tilgang til én silo og én råvare. Siloen inneholdt ingen av råvarene gruppen i utgangspunktet skulle disponere. Det ble gjort tester ved silo nr. 31 som inneholdt råvaren, krill. Krill viste seg å være en lite utfordrende råvare ettersom det er var et lett stoff. Motoren hadde ingen problemer med å transportere det. Det hadde vært interessant å teste med en tyngre og mer kompakt råvare dersom det hadde vært mer tid til rådighet.

Ut ifra testing med krill ble det konkludert med at regulering basert på motormoment fungerer, men reguleringen ble ikke optimal. PID-parameterne burde blitt optimalisert ytterligere og regulatoren burde også brukt vekt målinger i algoritmen. I utgangspunktet var dette planen, og det ble implementert i programmet. Det ble ikke anledning til å teste ved å se på vektendring, da det ble fokusert mer på å få momentreguleringen tilstrekkelig stabil. Det oppfordres til videre utbedring av PID-parameterne og å vurdere om det er mulig å benytte vektendring for reguleringen.

Målene ble nådd og det ble utviklet et automatisert reguleringsystem for doseringsprosessen. Skulle løsningen tas i bruk, bør den optimaliseres ytterligere. Løsningen vil da føre til mindre arbeid for operatørene. Energimengden som benyttes i prosessen er ikke utregnet, men løsningen vil bidra til reduserte kostnader kontra manuell styring.

Å holde spjeldet stabilt ved små endringer i momentet viste seg å være vanskelig. Det ville vært energibesparende om dette ble gjort optimalt.

I testtriggen ble det benyttet komponenter som tåler mye og er tilpasset miljøet. Null skade filosofien ble opprettholdt da ingen mennesker kom til skade. Det ble derimot skade på noe av utstyret som ble benyttet. Ved første oppkobling av testtriggen på BioMar ble en kabel kortsluttet og ødelagt. Dette førte til ødelagte I/O kort, og det måtte bestilles nye.

6 Kilder

- ABB (2011). Moment illustrasjon. Hentet fra https://library.e.abb.com/public/06961a5060b74233c125795b002b9029/NO_Technical_guide_No.4_REVC.pdf?fbclid=IwAR1nFEYS215Wvwj_UuQ0IjuHHjWRDqgXLnPJ4siCCO4ZAWpPHnF0s0hRkVk
- Andersen, B. P. (2018, 26. august) Automatisering Hentet 16.01.2019 fra <https://snl.no/automatisering>
- BioMar. (u.å.). BioMar kvalitet og sikkerhet. Hentet 15.01.2019 fra <http://www.biomar.com/no/norway/kvalitet-og-sikkerhet/>
- BioMar. (u.å.). BioMar Om oss. Hentet 15.01.2019 fra <http://www.biomar.com/no/norway/om-biomar>
- BioMar (ukjent år). BioMar logo. Hentet fra <http://www.biomar.com/no/norway/>
- BioMar. (2017, 24.oktober) BioMar på Karmøy setter kapasitetsrekord. Hentet 15.01.2019 fra <http://www.biomar.com/no/norway/arkiv/nyheter/biomar-pa-karmoy-setter-kapasitetsrekord/>
- Bouchard, S. (2014, 17. August) What Are The Differences Between Ethernet and Ethernet/IP? Hentet 22.04.2019 fra <https://blog.robotiq.com/bid/40793/What-Are-The-Differences-Between-Ethernet-and-Ethernet-IP>
- Elektrofag (u.å.) Frekvensomformereren. Hentet 15.01.2019 fra <http://w3.elektrofag.info/elektroteknikk/frekvensomformereren>
- Hanssen, D.H. (2015). *Programmerbare logiske styringer* (4. utg.). Bergen: Fagbokforlaget Vigmostad & Bjørke AS
- Haugen, F. (2009) *Praktisk reguleringsteknikk* (utg.2). Trondheim: Tapir Akademisk Forlag
- Hill (2017, 26.september) Know Your Pneumatics: Single or Double Acting? Choosing the Right Cylinder. Hentet 16.01.2019 fra <https://community.parker.com/technologies/pneumatics/b/blog/posts/know-your-pneumatics-single-or-double-acting-choosing-the-right-cylinder>
- Hovland (2010). OR/ELLER-krets og OG/AND-krets. Hentet fra <https://home.uia.no/geirh/node-evu/PDF/MAS113-1.pdf>
- Høyte, F.(2019, 8. Mars) Frekvensomformer. Hentet 15.01.2019 fra <https://snl.no/frekvensomformer>

- Liseter, M. I. (2018, 8. Februar) Lokalnett Hentet 22.04.2019 fra <https://snl.no/lokalnett>
- Olsen, S (2018,11. April) PLS. Hentet 15.01.2019 fra <https://ndla.no/subjects/subject:16/topic:1:140012/topic:1:148176>
- Rossen, E. (2017, 13. desember) Programmeringsspråk Hentet 21.01.2019 fra <https://snl.no/programmeringsspr%C3%A5k>
- Rosvold (2019, 1.februar) Asynkronmotor. Hentet 16.01.2019 fra <https://snl.no/asynkronmotor>
- Stette, G og Andersen, B. P. (2014, 28. Februar) Digitalt signal Hentet 19.03.2019 fra https://snl.no/digitalt_signal
- Vikene, S. O. (2018, 28. Februar) Optimalisering av prosess. Hentet 28.04.2019 fra <https://ndla.no/subjects/subject:16/topic:1:194179/topic:1:186406/resource:1:3199>

Vedlegg

A Interne kvalitetskontrollaktiviteter

A1 Stillingsinstrukser

Prosjektleder – Renate Paulsen Sandal:

Hovedoppgaver:

- Ansvarlig for organisering av prosjektet.
- Innkaller til prosjektmøter og har kontakt med intern veileder.
- Påse utarbeidelse av mål og at rapporten påbegynnes og slutføres.
- Ansvar for oppgavetekst, sammendrag og konklusjon.
- Har ansvar for dokumentasjon av interne kvalitetskontrollaktiviteter.

Bidrag i bachelorprosjekt:

- Interne kvalitetskontrollaktiviteter
- Oppgavetekst og sammendrag
- Bidratt på montering av testrigg
- Teknisk del
- Teoretisk del
- Koblingskjemaer og blokkkjemaer
- Diskusjonsdel og konklusjon
- Risk management, tiltak og HMS-hensyn
- Ferdigstilling av rapport

Ass.prosjektleder og Teknisk tegner– Erik Brekkå Rosberg:

Hovedoppgaver:

- Kontakt med ekstern veileder.
- Hovedansvar for utarbeidelse av tekniske tegninger og koblingsskjemaer.
- Ansvar for innhenting av tilgjengelig teknisk informasjon og dokumenter.
- Skal bistå/assistere prosjektleder med organisering om nødvendig.

Bidrag i bachelorprosjekt:

- Innhenting av informasjon
- Utarbeidelse av koblingsskjemaer til testtrigg
- Montering av testtrigg
- Teoretisk del
- Bidratt på utarbeidelse av programkode
- Teknisk del
- Diskusjonsdel og konklusjon
- Bidratt på Risk Management og tiltak

Programmerer – Adrian Vegrim:

Hovedoppgaver:

- Hovedansvar for programmering og datainnhenting fra testing.
- Ansvar for å lage grafer ut ifra datainnhenting.
- Ansvar for at testresultater blir dokumentert.

Bidrag i bachelorprosjekt:

- Tilstandsdiagram
- Montering av testtrigg
- Utarbeidelse av programkode
- Utarbeidelse av simuleringsprogram i Codesys
- Testresultater
- Diskusjonsdel og konklusjon
- Utarbeidelse av ligninger

A2 Forventningsavklaring

Forventningsavklaring EL4

Bacheloroppgave – Regulere dosering av råvarer

Denne forventningsavklaringen vil diktere samarbeidet mellom medlemmer i Bachelorgruppe EL4.

Gruppen plikter å innfinne seg i de punkter som blir fastslått under møtet 7/1-19, og vil være gjeldende frem til innleveringsfrist.

1. Målsetting

- Produsere en oppgave av høy kvalitet - Få dypere innsikt i reguleringsteknikk og oppgaveskriving.

2. Organisatorisk

- Samlinger/arbeide ukentlig (mandag-onsdag) + fredager om nødvendig.
- Det skal skrives referat fra alle møter, slik at fraværende vil ha mulighet til å innrette seg etter hva som har blitt gjort.

3. Beslutninger

- Beslutninger for arbeidet tas i samlingene.
- Alle i gruppen skal være med på viktige avgjørelser.

4. Metodikk

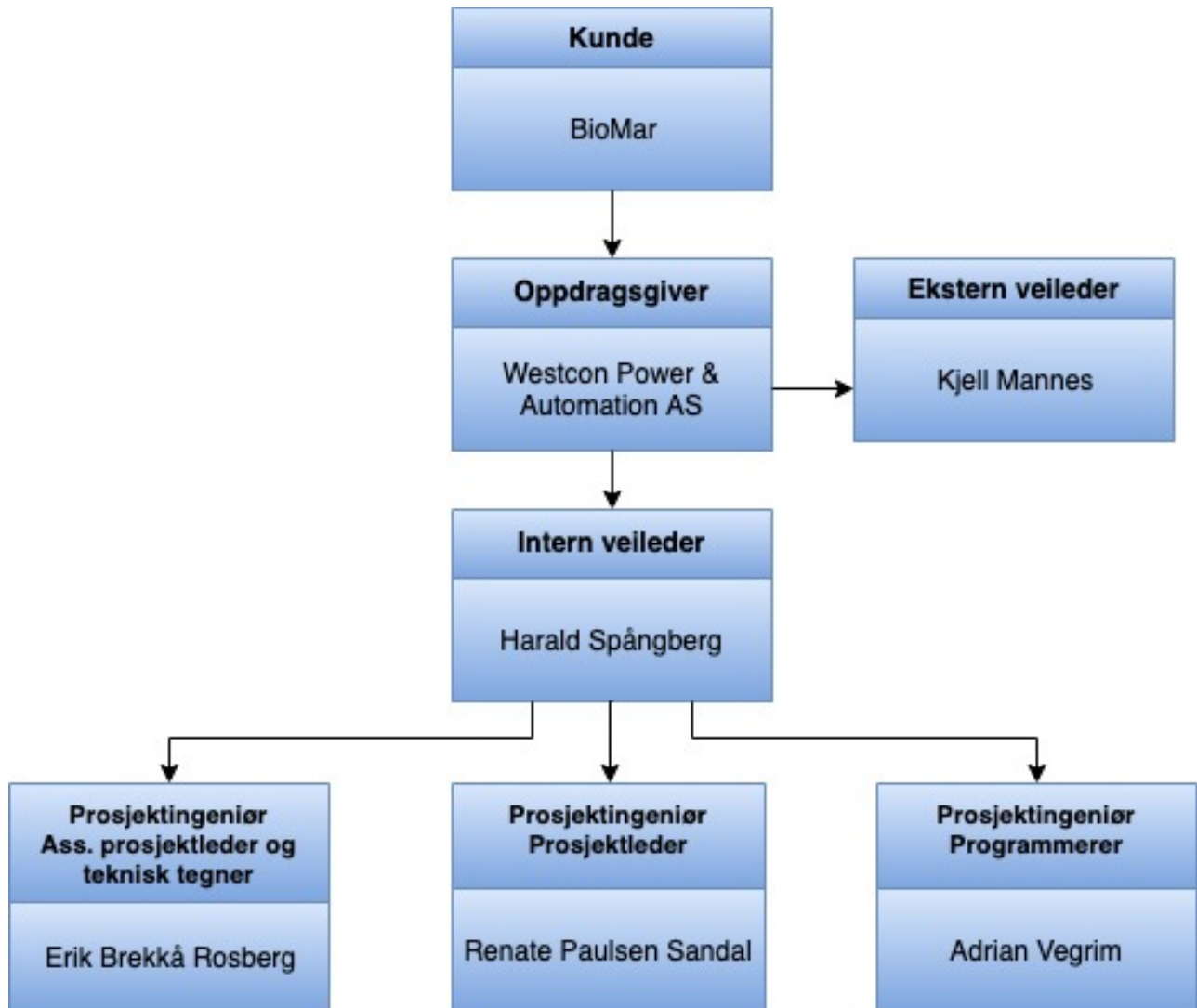
- Arbeider ukentlig med oppgaven.
- Jevnlig delegasjon av arbeidsoppgaver.
- Ved behov vil vi ha flere samlinger/møter.

5. Arbeidsmiljø

- Forventes at alle bidrar med innspill og stiller opp på samlinger/møter.
- Fravær og forsinkelser skal meldes fra om så snart en vet at man er forsinket eller ikke kan møte opp.

A3 Organisasjonskart

Her vises et organisasjonskart som gir en oversiktlig relasjon mellom kunde, oppdragsgiver, veiledere og prosjektutviklere.



A4 Interface matrise

A: Hovedansvar for utarbeidelsen av oppgaven

Oppgave	Renate	Erik	Adrian
Stillingsinstruks	A		
Identifisere problemstilling med tilhørende effektmål og avgrensinger	A	A	A
Utarbeidelse av koblingsskjemaer	A	A	
Nødvendige beregninger			A
Testtrigg		A	
Programkode			A
Testresultater		A	A
Sammendrag	A		
Konklusjon		A	
Layout av rapporten (ferdigstilling)	A		A
Interne kvalitetskontrollaktiviteter	A		

A5 Sjekkliste

Første internkontroll av arbeid

Dato: 06/03-2019

Utført av: Renate Paulsen Sandal, Erik Brekkå Rosberg og Adrian Vegrim.

Bachelorprosjektets innhold	Utført	Ikke utført	Kommentar
Analyser:			
Stillingsinstruks	X		
Problemstilling	X		
Effektmål	X		
Avgrensinger	X		
Teknisk:			
Koblingsskjemaer, blokkskjemaer, beregninger og grafer.		X	Påbegynt
Testtrigg		X	Påbegynt
Programkode og HMI		X	Påbegynt
Rapport:			
Framsida		X	
Oppgavetekst	X		
Forord	X		
Innholdsfortegnelse	X		
Tabell- og figurliste		X	
Teoretisk del		X	Påbegynt
Testresultater og valgt løsning		X	
Innledning	X		
Sammendrag		X	
Konklusjon		X	
Ordlister		X	Påbegynt
Kilder		X	Påbegynt
Vedlegg		X	Påbegynt
Risikostyring:			
Risikoanalyser		X	
Forslag til tiltak som kan redusere risikoene		X	
Interne kvalitetskontrollaktiviteter:			
Møtereferat		X	Påbegynt
Forventningsavklaring	X		
Interface matrise	X		
Sjekkliste	X		

Andre internkontroll av arbeid

Dato: 01/05-2019

Utført av: Renate Paulsen Sandal, Erik Brekkå Rosberg og Adrian Vegrim.

Bachelorprosjektets innhold	Utført	Ikke utført	Kommentar
Analyser:			
Stillingsinstruks	X		
Problemstilling	X		
Effektmål	X		
Avgrensinger	X		
Teknisk:			
Koblingsskjemaer, blokkskjemaer, beregninger og grafer.	X		
Testtrigg	X		
Programkode og HMI	X		
Rapport:			
Framsider	X		
Oppgavetekst	X		
Forord	X		
Innholdsfortegnelse	X		
Tabell- og figurliste	X		
Teoretisk del	X		
Testresultater og valgt løsning	X		
Innledning	X		
Sammendrag	X		
Konklusjon	X		
Ordliste	X		
Kilder	X		
Vedlegg	X		
Risikostyring:			
Risikoanalyser	X		
Forslag til tiltak som kan redusere risikoene	X		
Interne kvalitetskontrollaktiviteter:			
Møtoreferat	X		
Forventningsavklaring	X		
Interface matrise	X		
Sjekklister	X		

B HMS hensyn

Ved utarbeidelse av prosjektet har gruppen arbeidet fysisk med testing på BioMar. For å unngå skade på utstyr, omgivelser, mennesker og/eller dyr stilles det krav til personlig verneutstyr, samt at gruppen skal utføre en 4-punkt sjekk og en Sikker Jobb Analyse før og/eller under arbeidet på BioMar.

B1 Verneutstyr og bekledning

Ved arbeid på BioMar stilles det krav til personlig verneutstyr. Flammehemmende bekledning, vernebriller, hjelm og hansker skal brukes til enhver tid.

B2 4-punktsjekk

4-punktsjekk er et verktøy som er utviklet internt på WPA for å utføre arbeid sikkert.

4-punktsjekken består av 4 spørsmål som skal vurderes før og/eller under et arbeid. Det er enkelt å ha med seg 4-punktsjekken da det kun er et lite kort, noe som øker sannsynligheten for å benytte seg av den. De fire spørsmålene som står på kortet er:

1. Hvordan skal jeg utføre jobben, og hvem er ansvarlig? Lag en plan.
2. Hva kan gå galt? Avdekk farene. Hva hvis..
3. Hvilke tiltak må være på plass for å forhindre ulykker?
4. Hvem er involvert, hvem må jeg informere?

B3 SJA – Sikker Jobb Analyse

SJA (eller Risikoanalyse) er en systematisk gjennomgang og vurdering av farer (risikoelementer) i forkant av en aktivitet der det kan oppstå farlige situasjoner. Hensikten med å utføre en SJA er å vurdere om sikkerheten er godt nok ivaretatt gjennom gjeldende arbeidsprosedyrer og planer, eller om det er behov for å iverksette ytterligere tiltak som kan fjerne eller kontrollere farene. Alle forhold og handlinger som kan føre til uønskede hendelser, som igjen kan føre til skade på mennesker, miljø eller materiell er farer. Eksempler på slike farer er påkjørsel, fall fra høyde, brann, eksplosjon etc.

C Risk Management og tiltak

C1 Kartlegging og risikovurdering

Utarbeidet av: Renate Paulsen Sandal, Erik Brekkå Rosberg og Adrian Vegrim.

Dette skjemaet tar for seg farer og problemer som er kartlagt under prosjekteringen. Kartlegging og risikovurdering

Nr.	Hva kan gå galt?	Hvor ofte skjer det	Konsekvens	Årsak
1	Brann	Svært sjelden	Materielle skader Personskader Produksjonsstans Kan i verste fall føre til død	Varmgang, feil på elektrisk utstyr, menneskelig svikt.
2	Klemfare	Ofte	Materielle skader Personskader	Uforsiktighet og uoppmerksomhet.
3	Sklifare	Svært ofte	Personskader	Uforsiktighet og uoppmerksomhet.
4	Berøringsfare/elektrisk støt	Sjelden	Personskader	Glemt å måle på spenningssatt anlegg. Annet utstyr i drift, bevegelige deler.
5	Motorhavari	Sjelden	Materielle skader Produksjonsstans	Mangel på vedlikehold, slitasje.
6	Kortslutning	Sjelden	Materielle skader Personskader	Menneskelig svikt, mangel på kompetanse, uforsiktighet.

C2 Risikodiagram

Utarbeidet av: Renate Paulsen Sandal, Erik Brekkå Rosberg og Adrian Vegrim.

I dette skjemaet er farer og problemer plassert i skjemaet basert på vurdering av hvor ofte de inntreffer og hvor alvorlige de er. Samme nummerering som i skjema for kartlegging og risikovurdering er benyttet.

		RISIKODIAGRAM			
Sannsynlighet	Svært ofte		3		
	Ofte			2	
	Sjelden		5	4,6	
	Svært sjelden				1
		Ubetydelig	Mindre alvorlig	Alvorlig	Svært alvorlig
Konsekvens					

C3 Handlingsplan

Utarbeidet av: Renate Paulsen Sandal, Erik Brekkå Rosberg og Adrian Vegrim.

I dette skjemaet er tiltak for å redusere risikoene dokumentert. Samme nummerering som i skjema for kartlegging og risikovurdering og risikodiagrammet er benyttet. Prioriteringene er satt fra 1-5 hvor 1 er størst prioritert og 5 er minst prioritert.

Nr.	Kort beskrivelse av faren/problemet	Prioritering	Tiltak for å redusere risikoen
1	Brann. Dersom det tar fyr i elektriske anlegg, eller at det oppstår brann av andre årsaker kan konsekvensene være mange og risikofylte.	3	Personlig verneutstyr, flammehemmende bekledding.
2	Klemfare. Dersom en er uoppmerksom ved arbeid på maskiner og utstyr som er i drift kan det føre til klemfare.	1	Personlig verneutstyr, arbeide med forsiktighet og være oppmerksom på maskiner og utstyr med bevegelige deler.
3	Sklifare. Det forekommer en del søl på gulvet på anlegget på BioMar. Det er derfor en risiko for å skli på gulvet. Konsekvens av å skli kan føre til at personer blir skadet.	2	Koste bort søl som forekommer ved drift av anlegg og bruke sunt fornuft.
4	Berøringsfare/elektrisk støt. Ved arbeid på eller nær ved spenningsatte anlegg er det risiko for berøringsfare.	2	Utføre arbeid i henhold til FSE forskriften, som er «Forskrift om sikkerhet ved arbeid i og drift av elektriske anlegg». Være oppmerksom på utstyr og maskiner i bevegelse.
5	Motorhavari.	5	Jevnlig vedlikehold.
6	Kortslutning.	4	Utføre arbeid i henhold til FSE forskriften, som er «Forskrift om sikkerhet ved arbeid i og drift av elektriske anlegg».

D Teknisk dokumentasjon

D1 Materialliste

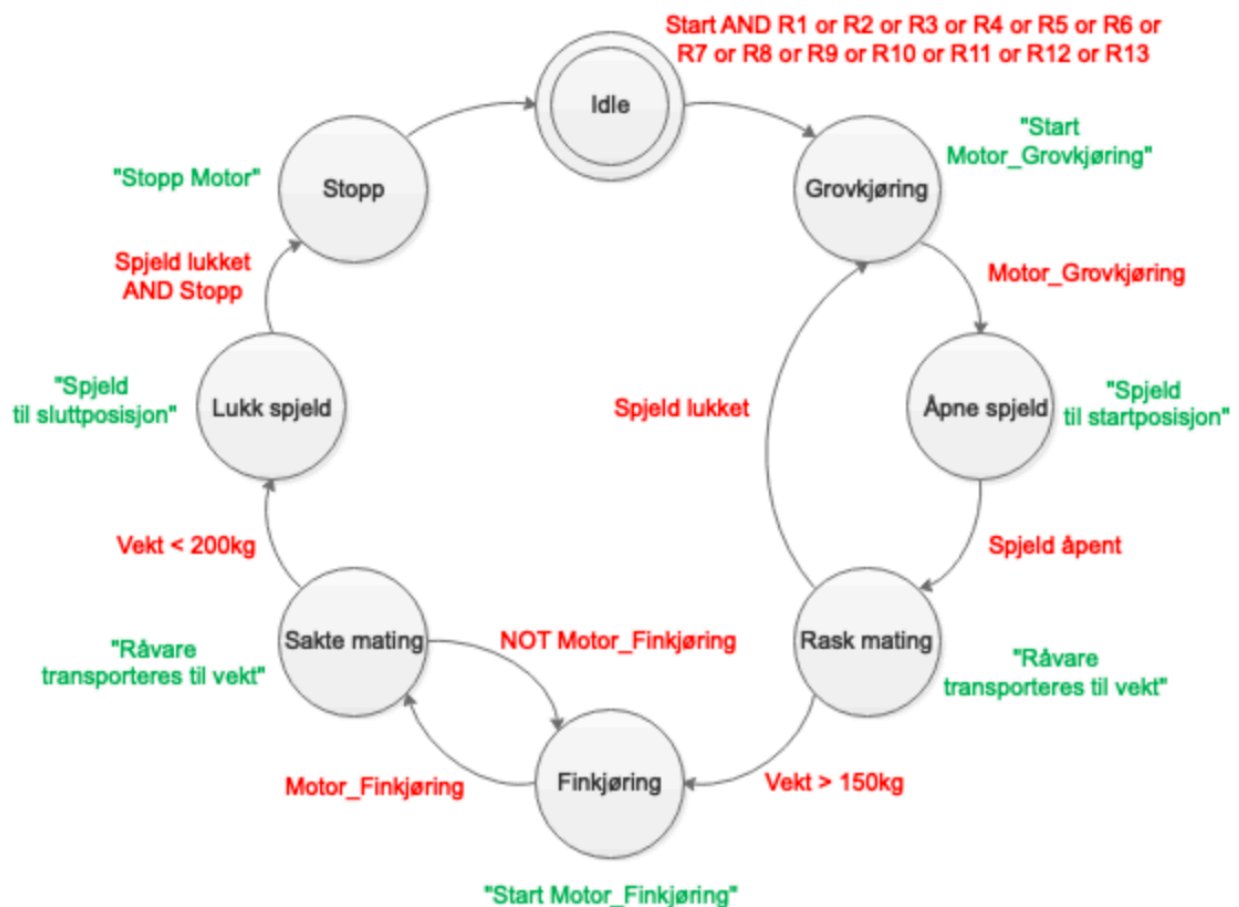
Beskrivelse	Antall
Rekkeklemmer	17 stk.
Rekkeklemmer PE	2 stk.
Sikring Schneider C2 A	1 stk.
Sikring Schneider C10 A	1 stk.
Sikring Schneider C63 A 3-fas	1 stk.
Siemens Power Supply Sitop Power 3,5	1 stk.
Allen Bradley PLS 2080-LC50-24AWB	1 stk.
Sikkerhetsbryter Schneider compact INS80	1 stk.
Panel view 800 HMI Teminal7	1 stk.
Frekvensomformer Vacon100	1 stk.
Enleder 1,0mm ²	1 stk.
Enleder 1,5mm ²	1 stk.
Endehylser	1 stk.
DIN-skinne	1 meter
Kabelkanaler	1 stk.
M16 Nippel	1 stk.
M20 Nippel	1 stk.
M25 Nippel	1 stk.
MPRX 4x1,5mm ²	1 meter
Kabel 8x0,75mm ²	1 meter
Gummikabel 4x1,5mm ²	1 meter
Niter 1,5mm ²	30 stk.
Niter 1,0mm ²	20 stk.
Koblingsskap	1 stk.
Wago Switch 5 port	1 stk.
Micro 800 4-channel Analog Voltage/Current Input Module 2085-IF4	1 stk.
Micro 800 4-channel Analog Voltage/Current Output Module 2085-OF4	1 stk.

D2 Tilstandsdiagram

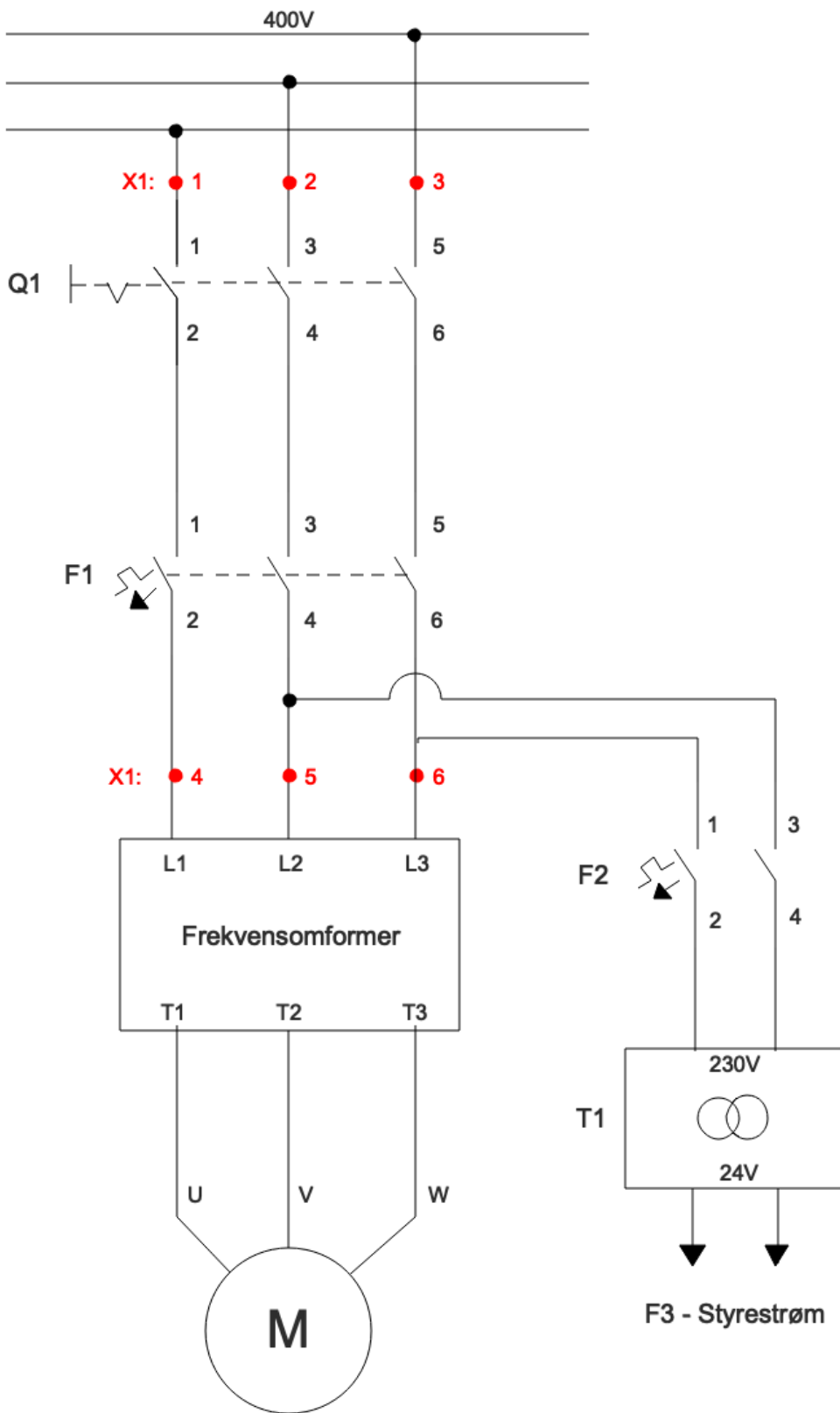
Tilstandsdiagrammet skulle gi en forenklet oversikt over regulatorprosessen og gruppen benyttet dette som utgangspunkt for å lage programkoden.

Eksempelvis så ligger det mer bak betingelsene «spjeld åpent» og «spjeld lukket», da dette ikke er en boolsk betingelse, men en funksjon som er avhengig av flere variabler. Variablene er henholdsvis motormomentet (torque) og vekt i veicelle. «Spjeld åpent» og «spjeld lukket» kan tolkes som at spjeldet er helt åpent og helt lukket ved disse betingelsene, men det er altså ikke tilfellet i den reelle prosessen.

Start tilstanden, som er merket med doble kantlinjer, er den tilstanden systemet starter i når strømmen slås på. Videre er betingelsene merket med rød tekst og aksjonene med grønn tekst.



D3 Hovedstrømskjema



D4 Styrestrømskjema

