

# Sensur av hovedoppgaver

Høgskolen i Buskerud og Vestfold

Fakultet for teknologi og maritime fag



Prosjektnummer: **2014-22**

For studieåret: **2013/2014**

Emnekode: **SFHO3200**

## Prosjektnavn

Inverted Pendulum

(Invertert Pendel)

**Utført i samarbeid med:** Kongsberg Maritime AS

**Eksterne veiledere:** Sigurd Kleppan og Petter Arne Mikalsen

## Sammendrag:

Prosjektoppgaven som er gitt er å lage en demonstrasjonrigg og skal vise noe av hva Kongsberg sin sanntidskontroller, RCU 510 kan gjøre. Rigger skal presentere et reguleringssystem som ved hjelp av kybernetikk skal stabilisere et ustabilt system. Oppgaven er løst ved å ha gjennomført et utviklingsprosjekt. For å realisere systemet er det benyttet Kongsberg sitt programmeringsverktøy AIM2000.

Oppgaven har gitt prosjektgruppa god innsikt i prosjektgjennomføring, samt følge utviklingen fra teori til praksis i faget Kybernetikk. Resultatet ble en rigg som demonstrerer et klassisk eksempel innenfor kybernetikk, prinsippet invertert pendel.

## Stikkord:

- Invertert Pendel
- Reguleringsteknikk
- Programmering

Tilgjengelig: DELVIS

## Prosjektdeltagere og karakter:

Navn	Karakter
Stian Andreas Nilsen	
Terje Valaker	
Stig Hølen	
Jonas S-T. Pettersen	

Dato: 12. Juni 2014

\_\_\_\_\_  
Sigmund Gudvangen

\_\_\_\_\_  
Karoline Moholth

\_\_\_\_\_  
Thor Hukkelås



KONGSBERG



# IP Inverted Pendulum

---

## PROSJEKTRAPPORT

<b>PROSJEKT</b>	Inverted Pendulum		
<b>OPPDRAGSGIVER</b>	Kongsberg Maritime		
<b>UTFØRT VED</b>	Høgskolen i Buskerud og Vestfold, avd. Kongsberg		
<b>GRUPPE</b>	Stian A Nilsen, Stig Hølen, Jonas Pettersen og Terje Valaker		
<b>REVISJON</b>	1.0		
<b>ANTALL SIDER</b>	5		
<b>DOKUMENTHISTORIKK</b>	<b>REVISJON</b>	<b>UTGITT</b>	<b>BESKRIVELSE</b>
	1.0	05.10.2013	Første utgave

## INNHOLDSFORTEGNELSE

- FORORD
  - SAMMENDRAG
  - DOKUMENTOVERSIKT
  - VISJONSDOKUMENT
  - PROSJEKTPLAN
  - KRAVSPESIFIKASJON
  - TESTSPESIFIKASJON
  - DESIGNDOKUMENT
  - TESTRAPPORT
  - ØKONOMI
  - HMS
  - ETTERANALYSE
-

## FORORD

Som en avsluttende del av bachelorstudiet innen kybernetikk og mekatronikk ved Høgskolen i Buskerud og Vestfold har prosjektgruppa gjennomført et omfattende hovedprosjekt for Kongsberg Maritime AS.

Prosjektet har bestått av fire studenter som har gjennomført oppgaven i perioden oktober 2013 til juni 2014. Arbeidet har fordelt seg ved at det i første semester ble utført en forstudie av prosjektet. Tiden etter jul har bestått av å utrede teoretiske løsninger, designe, programmere og bygge en fysisk rigg som skal demonstrere det klassiske kybernetikk eksempelet, invertert pendel.

Resultatet av denne oppgaven skal gi Kongsberg Maritime en pent utført demonstrasjonrigg som skal vise noe av det sanntidskontrolleren RCU 510 er i stand til utføre.

Prosjektgruppa vil gjerne benytte anledningen til å takke alle de involverte fra Kongsberg Maritime og Høgskolen i Buskerud og Vestfold for den hjelpen de har bidratt med.

Gruppa ønsker å rette en spesiell takk til veilederne våre: Sigmund Gudvangen, Sigurd Kleppan og Petter Arne Mikalsen som har bidratt under hele prosjektperioden.

---

## SAMMENDRAG:

Oppdragsgiver er Kongsberg Maritime AS.

Prosjektoppgaven som er gitt er å lage en demonstrasjonrigg og skal vise noe av hva Kongsberg sin sanntidskontroller, RCU 510 kan gjøre. Rigger skal presentere et reguleringsystem som ved hjelp av kybernetikk skal stabilisere et ustabilt system. Oppgaven er løst ved å ha gjennomført et utviklingsprosjekt. For å realisere systemet er det benyttet Kongsberg sitt programmeringsverktøy AIM2000.

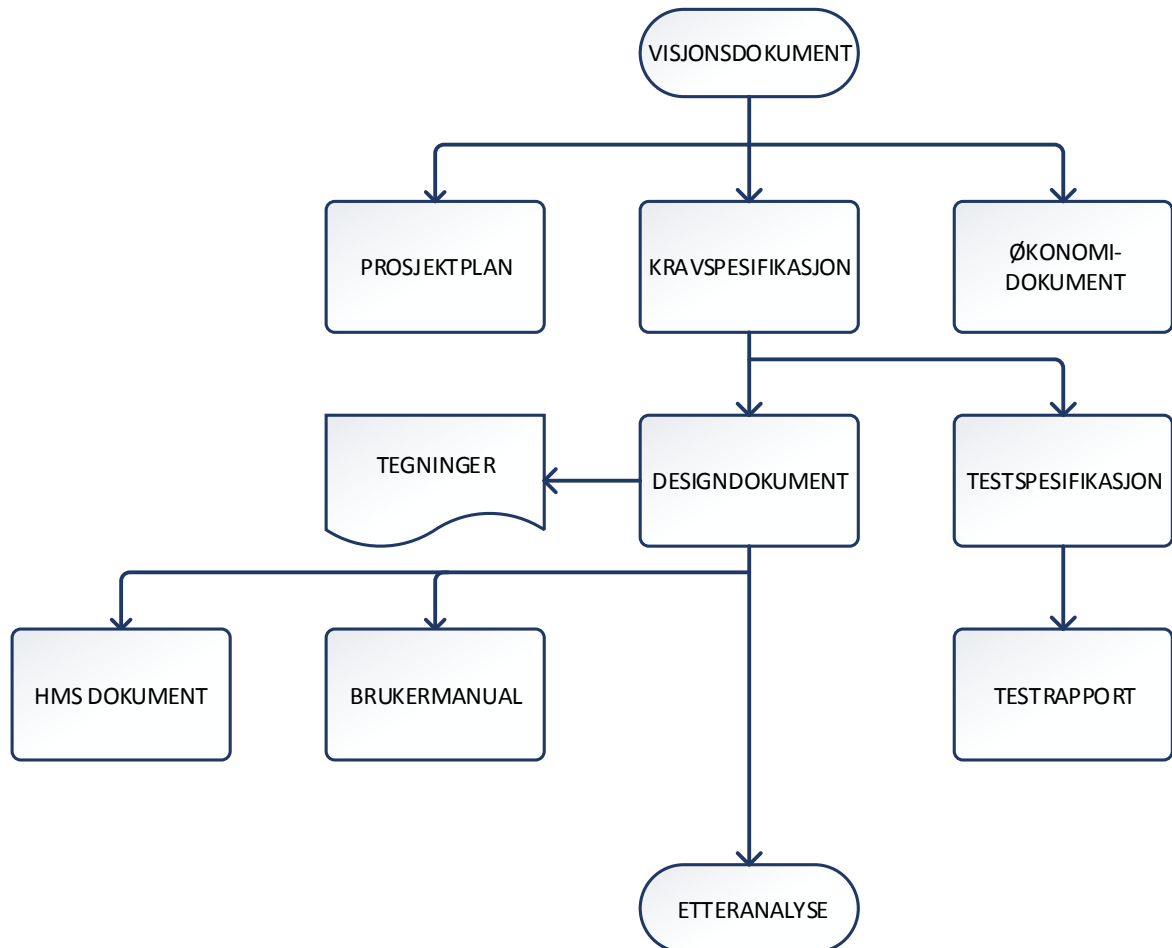
Oppgaven har gitt prosjektgruppa god innsikt i prosjektgjennomføring, samt følge utviklingen fra teori til praksis i faget Kybernetikk. Resultatet ble en rigg som demonstrerer et klassisk eksempel innenfor kybernetikk, prinsippet invertert pendel.

Grunnen til at denne prosjektoppgaven er *delvis* tilgjengelig er at kildekoden til programmeringen i AIM2000 krever spesiell program- og maskinvare og er dermed ikke vedlagt på CD.

---

## DOKUMENTOVERSIKT

Figur1 viser hvordan prosjektrapporten er bygd opp, og hvilke dokumenter som er utarbeidet gjennom prosjektperioden.



Figur 1: Dokumentoversikt



KONGSBERG



# IP Inverted Pendulum

## VISJONSDOKUMENT

<b>PROSJEKT</b>	Inverted Pendulum		
<b>OPPDRAGSGIVER</b>	Kongsberg Maritime		
<b>UTFØRT VED</b>	Høgskolen i Buskerud og Vestfold avd. Kongsberg		
<b>GRUPPE</b>	Stian A Nilsen, Stig Hølen, Jonas Pettersen og Terje Valaker		
<b>REVISJON</b>	4.0		
<b>ANTALL SIDER</b>	15		
<b>DOKUMENTHISTORIKK</b>	<b>REVISJON</b>	<b>UTGITT</b>	<b>BESKRIVELSE</b>
	1.0	05.10.2013	Første utgave
	2.0	21.10.2013	Andre utgave
	3.0	18.03.2014	Tredje utgave
	4.0	25.05.2014	Fjerde utgave

## INNHALDSFORTEGNELSE

INNHALDSFORTEGNELSE .....	2
TABELLER .....	2
FIGURER .....	3
<b>1 DOKUMENTHISTORIKK .....</b>	<b>4</b>
<b>2 INNLEDNING .....</b>	<b>4</b>
<b>3 ORGANISERING.....</b>	<b>5</b>
3.1 PROSJEKTGRUPPENS DELTAGERE.....	5
3.2 OPPDRAGSGIVER.....	6
3.2.1 <i>Bakgrunnshistorie for Kongsberg Maritime</i> .....	6
3.2.2 <i>Dagens Kongsberg Maritime</i> .....	6
3.3 ANDRE INTERESSENER.....	7
3.3.1 <i>Veiledere og sensorer</i> .....	7
3.3.2 <i>Andre ressurspersoner</i> .....	7
<b>4 OPPGAVEN .....</b>	<b>8</b>
4.1 OPPGAVEBESKRIVELSE .....	8
4.2 DETALJERT OPPGAVEBESKRIVELSE .....	9
4.3 SYSTEMARKITEKTUR.....	10
<b>5 OPPGAVENS MÅL OG FORVENTNING .....</b>	<b>11</b>
5.1 PROSJEKTGRUPPENS MÅL:.....	11
5.2 OPPDRAGSGIVERS MÅL:.....	11
<b>6 PROSJEKTMODELL .....</b>	<b>12</b>
6.1 PROSJEKTMODELL .....	12
6.2 OPPBYGNINGEN AV PROSJEKTMODELLEN: .....	13
<b>7 TIDSESTIMERING .....</b>	<b>14</b>
7.1 FORDELING AV TIMER.....	14
7.1.1 <i>Høstsemesteret</i> .....	14
7.1.2 <i>Vårsemesteret</i> .....	14
<b>8 REFERANSER .....</b>	<b>15</b>

## TABELLER

Tabell 1: Dokumenthistorikk .....	4
Tabell 2: Introduksjon prosjektgruppa .....	5
Tabell 3: Veiledere og sensorer .....	7
Tabell 4: Andre ressurspersoner .....	7

## FIGURER

Figur 1: Skissering av en inverted pendulum .....	8
Figur 2: Eksempel på en inverted pendulum .....	9
Figur 3: Systemoppbygging .....	10
Figur 4: DOD-2167A .....	13

## 1 DOKUMENTHISTORIKK

Tabell 1: Dokumenthistorikk

VERSJON NR:	DATO ENDRET	BESKRIVELSE
1.0	30.09.2013	<ul style="list-style-type: none"><li>• Idédokument</li></ul>
1.1	15.10.2013	<ul style="list-style-type: none"><li>• Endret navn på dokumentet til visjonsdokument og oppdatert innholdet</li></ul>
2.0	21.10.2013	<ul style="list-style-type: none"><li>• Visjonsdokument gjennomgått og godkjent av prosjektgruppen. Dokument gitt ut som 2. revisjon.</li></ul>
2.1	16.12.2013	<ul style="list-style-type: none"><li>• Endret struktur på prosjektmodell</li></ul>
2.2	04.03.2014	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lagt til ressurspersoner</li><li>• Oppdatert tidsestimat</li></ul>
3.0	18.03.2014	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dokumentet har blitt revidert og gitt ut</li></ul>
3.1	23.05.2014	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lagt til ressurspersoner</li><li>• Endret fra HiBU til HBV</li></ul>
4.0	25.05.2014	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dokumentet har blitt revidert og gitt ut</li></ul>

## 2 INNLEDNING

Visjonsdokumentet presenterer et forstudiearbeid, gjort i forbindelse med oppstarten av det avsluttende hovedprosjektet for vårt bachelorstudier innenfor kybernetikk ved Høgskolen i Buskerud og Vestfold. Målet med dokumentet er å gi prosjektgruppen en innledning i valg av prosjektmodell, en klar og entydig forståelse av oppgaven, og en grov tidsestimering gruppen må forholde seg til.

Oppgaven er i sin helhet gitt av Kongsberg Maritime, og utføres i sin helhet av prosjektgruppa alene. Utførelsen av oppgaven skjer delvis hos Kongsberg Maritime sine lokaler, og delvis hos HBV sine lokaler.





Visjonsdokumentet er ikke en endelig plan som prosjektgruppa vil følge, men heller et grunnlag for hvordan prosjektgruppa tenker å gjennomføre oppgaven. Dokumentet presenterer derimot en endelig gitt oppgavetekst som skal følges, samt dens mål og forventninger.

### 3 ORGANISERING

Dette kapittelet er en introduksjon av medlemmene i prosjektgruppen og bedriften som er vår oppdragsgiver. Alle i prosjektgruppa har bakgrunn med fagbrev innenfor elektro, og går industribachelor automasjon på HBV avd. Kongsberg.

#### 3.1 Prosjektgruppens deltagere

Tabell 2: Introduksjon prosjektgruppa

PERSONALIA	TITTEL	BILDE
<p><b>Stian A Nilsen</b></p> <p>Fagbrev: Elektromotor og transformatorreparatør</p> <p>Ansatt hos: Svelvik Maskin</p> <p>Kontakt: <a href="mailto:stian.a.nilsen@gmail.com">stian.a.nilsen@gmail.com</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prosjektleder</li> <li>• Økonomi</li> </ul>	
<p><b>Stig Hølen</b></p> <p>Fagbrev: Automasjonsmekaniker</p> <p>Ansatt hos: ELKO</p> <p>Kontakt: <a href="mailto:stigholen@outlook.com">stigholen@outlook.com</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Testansvarlig</li> <li>• Design &amp; konstruksjon</li> </ul>	
<p><b>Jonas Pettersen</b></p> <p>Fagbrev: Automatiker</p> <p>Ansatt hos: VEAS</p> <p>Kontakt: <a href="mailto:jonas.st.pettersen@gmail.com">jonas.st.pettersen@gmail.com</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informasjon</li> <li>• Presentasjon</li> <li>• Web</li> <li>• Utviklingsansvarlig</li> </ul>	
<p><b>Terje Valaker</b></p> <p>Fagbrev: Automatiker</p> <p>Ansatt hos: VEAS</p> <p>Kontakt: <a href="mailto:tv@veas.nu">tv@veas.nu</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kravansvarlig</li> <li>• Dokumentansvarlig</li> </ul>	

Hver av prosjektdeltagerne har fått delegert hvert sitt ansvarsområde. Dette er for å holde best mulig kontroll over de ulike temaene vi har med å gjøre i dette prosjektet. Det er derimot ikke meningen at de områdene skal dekkes ene og alene av den ansvarlige, men at den ansvarlige er vedkommende som står med oversikten innenfor det aktuelle området. Dette ser vi for oss vil være en ryddig og strukturert måte å føre prosjektet på. Det vil også være et mål for gruppen at alle deltagerne bidrar, så langt det lar seg gjøre innenfor alle områdene.

## 3.2 Oppdragsgiver

Oppdragsgiveren er Kongsberg Maritime. De er en veletablert bedrift som er en del av Kongsberggruppen. KM<sup>1</sup> leverer hovedsakelig utstyr og teknologi til offshore og maritim industrien. De leverer også avanserte systemer for subsea oppmåling, overvåkning, treningsimulatorer og fiskefartøy.

### 3.2.1 Bakgrunnshistorie for Kongsberg Maritime

KM startet først i 1957 som et firma kalt Autronica. Autronicas første produkt var en båndopptager for lokal radio. Videre ble firmaet omgjort til Norcontrol i 1965. Deres første produkt under dette navnet var et fjernstyrt kontrollsystem for hovedmotoren på dieseldrevne skip. Frem mot 1975 fortsetter arbeidet med å utvikle fjernstyrt kontrollsystem for skip.

I 1975 etablerte Kongsberg Våpenfabrikk Kongsberg Albatross som hadde som hovedoppgave å utvikle og levere DPS<sup>2</sup>. Allerede samme år leverer KA<sup>3</sup> sitt første system. Dette er det system som i mange år har vært KM sitt mest kjente produkt.

I 1982 blir KA en del av den maritime divisjonen av KV<sup>4</sup>, og i 1985 blir Kongsberg Albatross AS etablert som et separat selskap, fullt eid av Kongsberg Våpenfabrikk. Mens i 1987 blir all sivil virksomhet innenfor KV solgt (dette inkluderte også den maritime virksomheten). KA ble da kjøpt opp av Simrad og omdøpt til Simrad Albatross.

I perioden 1992 – 2005 var det en stor maritim satsing som var en forutsetning og resulterte i børsnotering og delprivatisering som fant sted i 1993. Det førte til etableringen av Kongsberg Maritime i 1995. Selskapet endret samme år navn til Kongsberg Gruppen, og kjøpte i 1996 opp Simrad konsernet. Flere oppkjøp er gjort etter denne perioden, og dette har resulterte i at KM er en av verdens største leverandører av offshore- og maritime systemer. De solgte blant annet i 2005 fritidsbåtvirksomheten for å kunne konsentrere seg mer mot det industrielle markedet. [1]

### 3.2.2 Dagens Kongsberg Maritime

KM har 55 kontorer i 18 land, hvorav hovedkontoret ligger i Kongsberg. Totalt har KM 4159 ansatte (pr 31.12.2012).

KM hadde i 2011 driftsinntekter på ca. 6,7mrd NOK (6693 MNOK) og et resultat på ca. 1,1mrd NOK (1078 MNOK). Driftsinntektene står for ca. 44,3% av de totale inntektene til Kongsberg Gruppen.

---

<sup>1</sup> KM er forkortelse for Kongsberg Maritim

<sup>2</sup> DPS = Dynamic Position System: System som skip bruker for å automatisk holde en eksakt posisjon på sjøen, selv om skipet blir påvirket av vær og vind.

<sup>3</sup> KA er forkortelse for Kongsberg Albatross

<sup>4</sup> KV er forkortelse for Kongsberg Våpenfabrikk

### 3.3 Andre interessenter

Under hele oppgaven har vi flere personer, både veiledere og ressurspersoner, som vi aktivt bruker for å tilegne oss nødvendig og relevant informasjon. Disse personene blir listet opp under dette kapittelet.

#### 3.3.1 Veiledere og sensorer

Prosjektgruppen har to sensorer, én intern og én ekstern. Samt to veiledere, én intern og én ekstern. Disse kommer til å følge oss under hele prosjektet, og være til stede på presentasjoner.

Tabell 3: Veiledere og sensorer

PERSONALIA	FUNKSJON	KONTAKTINFORMASJON
<b>Sigmund Gudvangen</b>	Intern veileder Høgskolen i Buskerud	sigmund.gudvangen@hbv.no
<b>Karoline Moholt</b>	Intern sensor Høgskolen i Buskerud	karoline.moholth@hbv.no
<b>Sigurd Kleppan</b>	Ekstern veileder Kongsberg Maritime	sigurd.kleppan@km.kongsberg.com
<b>Petter Arne Mikalsen</b>	Ekstern veileder Kongsberg Maritime	petter.arne.mikalsen@km.kongsberg.com
<b>Thor Hukkelås</b>	Ekstern sensor Kongsberg Maritime	thor.hukkelås@km.kongsberg.com

#### 3.3.2 Andre ressurspersoner

Det er også laget en oversikt over andre ressurspersoner som er med på å hjelpe gruppa gjennom hovedoppgaven.

Tabell 4: Andre ressurspersoner

PERSONALIA	RESSURSOMRÅDE	KONTAKTINFORMASJON
<b>Paul Witt</b> <i>ELKO A/S</i>	Bistand til opprettelse av timeestimering i MS excel	paul.witt@elko.no
<b>Lars Morten Johansen</b> <i>Høgskolen i Buskerud</i>	Bistand til matematisk modell	larsmj@hbv.no
<b>Nils Albert Jenssen</b>	Teknisk bistand i forbindelse med blokkdiagram	nils.albert.jenssen@km.kongsberg.com
<b>Nina Ødegaard</b>	Bistand til matematisk modell	nina.odegaard@gmail.com

## 4 OPPGAVEN

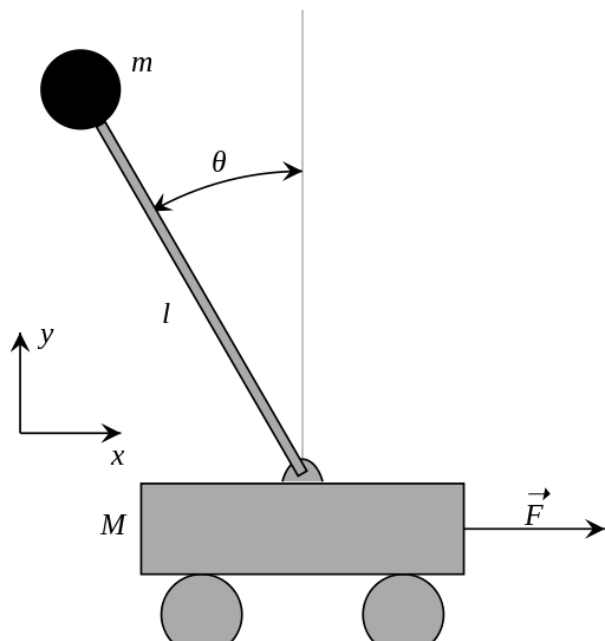
Dette er den avsluttende oppgaven på bachelorstudiet ved HBV avd Kongsberg. Grappa hadde flere interesserter, og var på flere intervju til avsluttende hovedoppgave. Oppgaven vi valgte er gitt av Kongsberg Maritim.

### 4.1 Oppgavebeskrivelse

Følgende oppgavetekst er blitt presentert fra KM:

Kongsberg Maritime avdeling PU (Production Units) ønsker en demonstrasjonsrigg bestående av et reguleringssystem. Reguleringssystemet skal være pent utført, og skal bevise noe av hva kontrollsystemet til Kongsberg kan utføre. KM mangler pr. i dag en fysisk rigg som kan vise noe av det KM sin sanntidskontroller er i stand til å utføre. Rigger skal kunne vises til kunder, besøkende og ansatte. Det er et ønske om at riggen skal kjøre kontinuerlig uten stans.

Oppgaven går ut på å lage en rigg der en leddet vertikal stav skal balanseres på et bevegende element. Sanntidskontrolleren skal regulere elementet slik at staven står mest mulig stille og korrigerer hvis forstyrrelser inntreffer. Forstyrrelser kan være luftbevegelse, vibrasjoner eller at noen berører staven.



Figur 1: Skissering av en inverted pendulum

Rigger skal være pent utført slik at den skal kunne stå plassert på et offentlig område i KM sine lokaler på Kongsberg. Den ferdige riggen vil være Kongsberg Maritime AS sin eiendom og alle deler betales av bedriften.

Det er ønskelig at riggen skal klare å sette staven i balanse automatisk ved å trykke på skjermen, eller ut fra klokkeslett og sekvenser. Det kan også være interessant å benytte forskjellige lengder på staven.

Staven skal være leddet slik at den kan henge loddrett for så å bli satt i stående stilling slik at staven peker oppover og balanseres.

## 4.2 Detaljert oppgavebeskrivelse

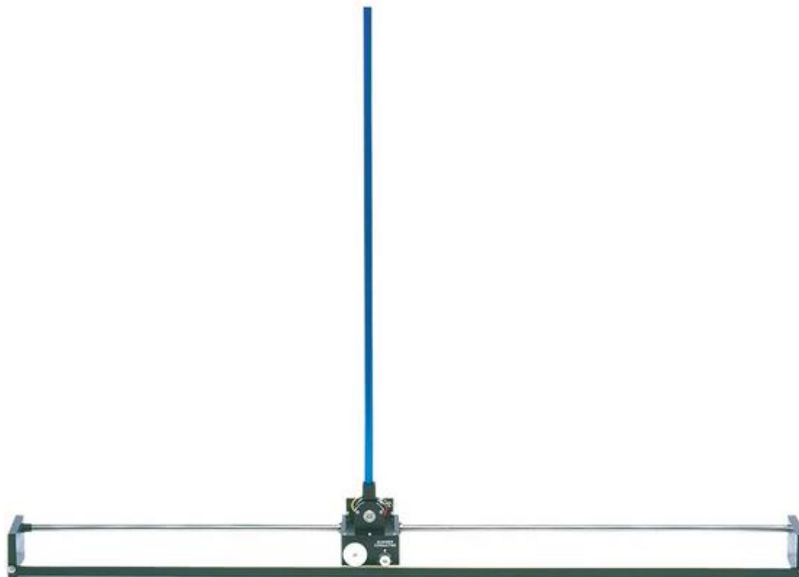
Oppgaven skal bestå av en rapport og en fysisk utførelse.

Følgende punkter ønskes gjennomført:

- Skrive teoretisk løsning med matematisk modell
- Vurdere bruk av filter (Kalman, Complimentary filter)
- Vurdere om oppgaven er mulig med KM utstyr.
- Sjekke mulige IO grensenitt mot utstyr. OPC, Profibus, modbus, TCP/IP, hardwire, puls osv.
- Sjekke flere utstyrsleverandører og diskutere alternativer.
- Innkjøp av hardware
- Oppkobling og HW montasje på Carpus lab, eventuelt på HBV.
- Programming, konfigurering, implementasjon av regulator og matematisk modell.
- Tuning av regulator
- Testing
- Demonstrasjon

I oppgaven skal det benyttes KM kontrollsystem AIM2000 for styring. Operatørstasjon med tilhørende sanntidskontroller RCU510 skal installeres. Det bør legges vekt på at operatørstasjonen ikke tar for mye plass. Her bør prosjektgruppa vurdere touchscreen eller en mini-PC. Eventuelt skjerm med PC innebygget. Prosjektgruppa må finne forskjellige alternativer.

På riggen skal det bevegende elementet bestå av en lineærmotor som stabiliserer en stav som er vinklet. Vinkelen måles med vinkelsensor (angle encoder). Vinkelmålingen brukes som måling til kontrolleren og bestemmer pådraget på lineærmotoren. Alle deler må vurderes, bestilles og monteres av prosjektgruppa. Figur 2 viser et eksempel på hvordan en invertert pendel kan løses. På figur 2 er den bygd opp med en lineærmotor og en stang hengslet til en vinkelkontroller.

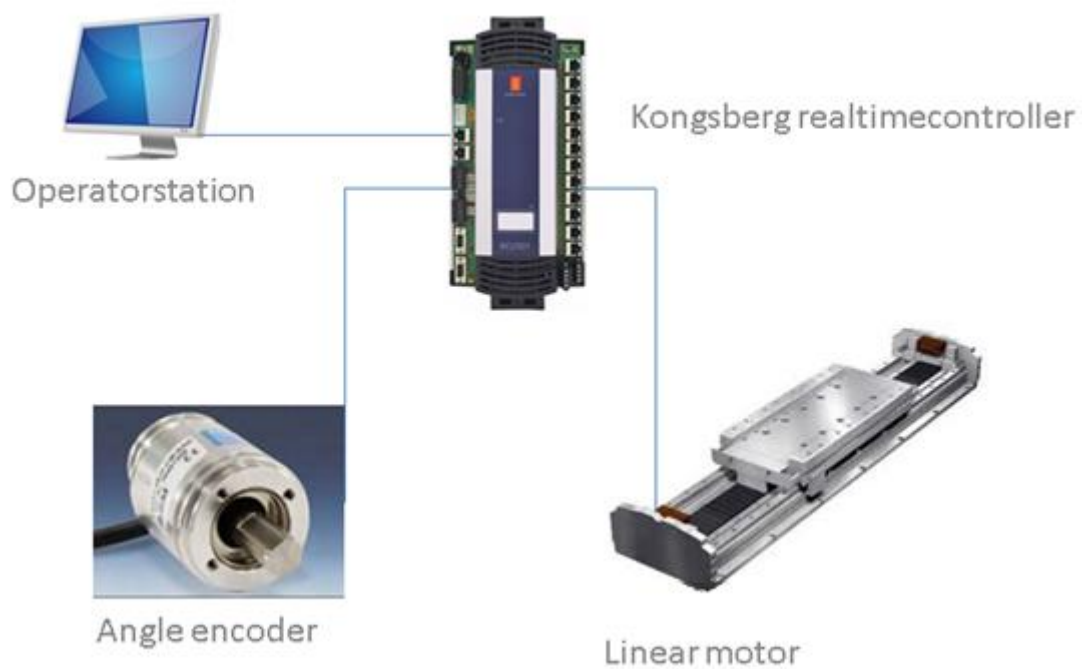


Figur 2: Eksempel på en invertert pendel

### 4.3 Systemarkitektur

Etter første møtet med KM ble det fremlagt et forslag om hvordan de ønsker å bygge opp arkitekturen rundt den fysiske utførelsen av oppgaven. Figur 3 illustrerer det som er oppgitt i oppgavetekst i kap 3.1, og er første utgangspunkt i denne oppgaven. Viktig å merke seg; ikke den endelige løsningen.

På figur 3 er det illustrert Kongsberg sin sanntidskontroller som har sanntidskommunikasjon med en lineærmotor og en vinkelkontroller. Det er ingen mellomstasjon for signalene mellom sanntidskontrolleren og de to objektene. Dette mener vi vil være med på å begrense mulige feilkilder, samt at tiden det tar for signalene å gå fram og tilbake optimaliseres.



Figur 3: Systemoppbygging

Videre er det som nevnt i oppgavetekst ønskelig å operere systemet fra en berøringsskjerm / mini-PC, om mulig gjøre det trådløst. Her vil det kunne være mulig å legge inn informasjon som feilmeldinger, systemstatuser etc. Men også kunne legge inn funksjoner som kjører forskjellig typer demoer for fremvisning ved hjelp av tastetrykk. Her vil det være vesentlig viktig for oss å sjekke at OS og grensesnittet vi velger vil være kompatibelt med sanntidskontrolleren.

## 5 OPPGAVENS MÅL OG FORVENTNING

Gjennom arbeidet med denne prosjektoppgaven har både prosjektgruppa- og oppdragsgiver flere mål og forventninger. Det er valgt få, men konkrete mål, som vil gjøre det lettere å holde fokuset på hva det jobbes mot.

### 5.1 Prosjektgruppens mål:

- Levere et sluttprodukt som tilfredsstillter kundens krav og spesifikasjoner
- Oppnå en tilfredsstillende slutt karakter som alle i gruppa er fornøyd med.
- Økt kompetanse innenfor prosjektarbeid
- Utfordre de kunnskapene vi har tilegnet oss gjennom våre studier, og teste de ut i praksis

### 5.2 Oppdragsgivers mål:

- Teste om KM sitt eget kontrollsystem faktisk klarer å takle en slik oppgave som Inverted Pendulum.
- Få en demostasjon med KM sitt eget produkt som er pent utført slik at det kan fremstilles for kunder, besøkende og egne ansatte.
- Markedsføre Kongsberg sine produkter på en best mulig måte.

## 6 PROSJEKTMODELL

I et prosjekt av et slikt omfang som dette er det viktig å ha en riktig og godt utarbeidet prosjektmodell å følge. Frem til 30. september var det forelesninger som bl.a. inkluderte gjennomgang av forskjellige prosjektmodeller. Som en del av forstudie måtte prosjektgruppen sette seg ned og avgjøre hvilken type prosjektmodell som skal følges i det videre arbeidet.

### Hvorfor er prosjektmodellen viktig?

Det er denne som legger føringer for hvordan resten av prosjektet skal utvikle seg frem mot slutfasen. Det er prosjektmodellen som danner strukturen for hvordan prosjektgruppa skal arbeide, måten arbeidet skal organiseres på, og hvordan gruppa skal forholde seg til de forskjellige prosjektfasene.

Det vil bli snakket om to vesentlig uttrykk utover i dette prosjektet:

### Prosjektmodell:

Det som omtales som prosjektgruppens valg av en felles arbeidsmåte gjennom prosjektet. Dette er for å sikre gjenbruk av erfaringer innad i prosjektgruppen.

### Prosjektplan:

Det vil i hovedsak være prosjektleders virkemiddel for å sikre at prosjektgruppen leverer under de mål og betingelser som settes av prosjektmodellen

### 6.1 Prosjektmodell

*På bakgrunn av tilbakemeldinger etter første presentasjon 25. November 2013, ble det bestemt at prosjektgruppa valgte å bytte prosjektmodell og gikk bort ifra fra vannfallsmodell uten tilbakekobling.*

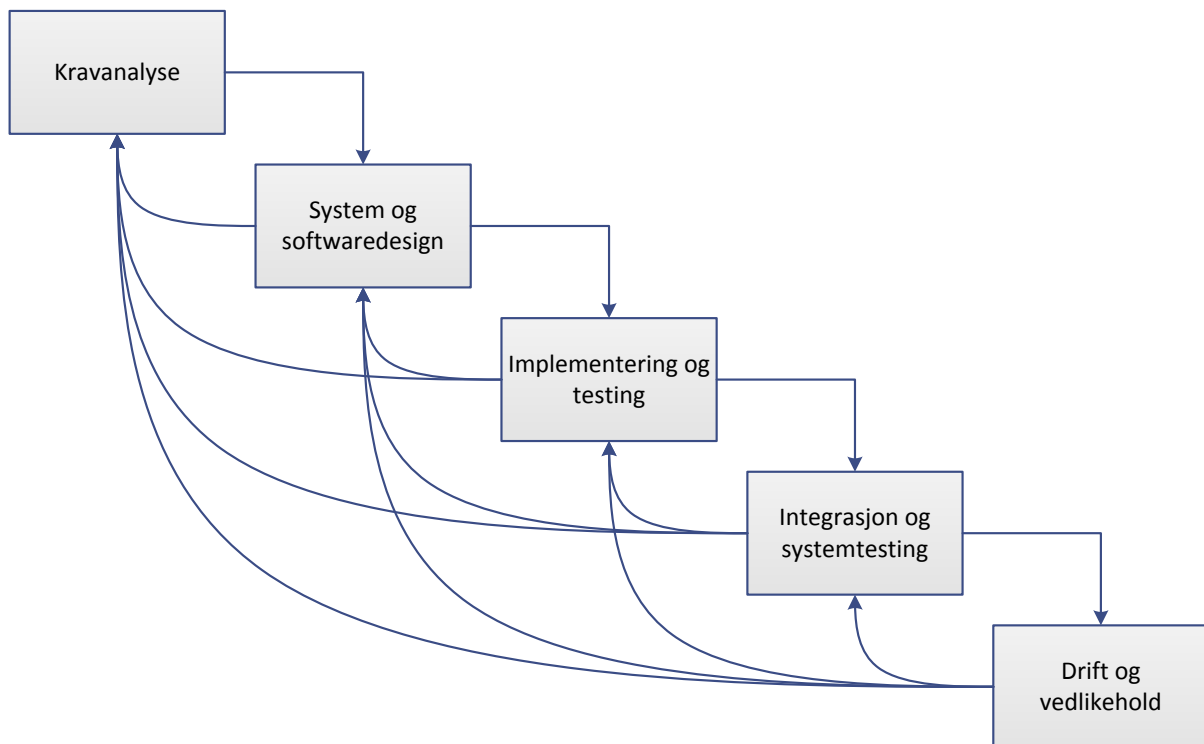
Prosjektgruppa ble til slutt enig om at prosjektmodell kalt **DOD-2167A** (se figur 4) ville være en tilfredsstillende prosjektmodell. Denne prosjektmodellen er basert på vannfallsmodellen, men da med tilbakekoblede sløyfer i de forskjellige fasene. De tilbakekoblede sløyfene tillater å kjøre én eller flere faser om og om igjen, helt til tilfredsstillende resultat er oppnådd.

Modellen ble valgt da kravene og målene mottatt fra KM er få, men veldig klare og entydig, samtidig som den endelige løsningen står fritt. På grunn av friheten til valg av løsninger er det sannsynlig at det blir nødvendig å endre krav- og testspesifikasjonene utover i prosjektet. Det er der en kan se de store fordelene med tilbakekoblingen.

## 6.2 Oppbygningen av prosjektmodellen:

Først må en kravanalyse utarbeides. Dette er kravene i oppgaven mottatt av KM. Disse må analyseres og gruppen må sette opp de konkrete kravene og målene til oppdragsgiver. Ut ifra kravanalysen følger system og software design, hvor gruppa må tenke ut hvordan oppgavens system og software skal bygges opp og designes. Dette må videre implementeres og testes i det som skal utføres som en fysisk utførelse av oppgaven. I denne fasen må også den fysiske utførelsen testes og settes på prøve for de ulike påkjenninger som kan oppstå.

Videre skal hele systemet integreres og systemet testes. I dette stadiet vil man ha det som kalles en prototyp. Dersom noe feiler i dette trinnet, må man tilbake å se om feilen kan rettes i trinn tre. I verste fall kan man måtte risikere å starte på nytt. Derfor er det viktig at man legger grundig arbeid i hver fase, og ikke forhaster seg før man går videre til neste fase. Til slutt er det fasen "drift og vedlikehold", hvor systemet skal være ferdig utviklet og skal kunne fungere under de forhold produktet er beregnet å befinne seg i. Det skal samtidig være klart i denne fasen hvilke vedlikeholdsprosedyrer som må til for at produktet skal kunne vedvare og leve opp til sine forventninger over lengre tid.



Figur 4: DOD-2167A

## 7 TIDSESTIMERING

Denne hovedoppgaven, som er det avsluttende prosjektet ved HBV, har en tyngde på 20 studiepoeng. 20 studiepoeng gir et estimat på den totale tiden prosjektgruppa skal legge i oppgaven. Det er ikke uvanlig å regne ca. 30 timer pr. studiepoeng, og det vil for denne oppgaven, gi et estimat på ca. 600 timer pr student. Totalt for prosjektgruppa vil dette gi ca. 2400 timer. Det regnes da ikke med timene i forelesningene frem til 30. september (21 timer) som medgått tid for prosjektet.

For å bruke timene så effektivt som mulig, ble det allerede fra første dag satt opp en timeliste. Denne timelisten skal hver prosjektdeltager føre opp hvilke oppgaver og antall timer som blir jobbet med til enhver tid. Dette vil gi en god oversikt over medgått tid i forhold til oppgaver, og ikke minst en god oversikt over antall timer til rådighet i henhold til tidsplanen.

### 7.1 Fordeling av timer

Timene skal fordeles i forhold til gitt skoleplan; 25 % (600t) på høstsemesteret og 75 % (1800t) på vårsemesteret. Dette er de faktorene som ligger til grunn for tidsplanleggingen, og vil være en god pekepinn for å sette opp en tidsplan i grove trekk.

#### 7.1.1 Høstsemesteret

Med 600 timer som utgangspunkt for høstsemesteret, fordelt på uke 41 til 48 og 51-52, gir det et overblikk over timeestimatet vårt. Dette gir 10 uker å jobbe på, fordelt på 4 studenter. Hver student vil da måtte komme til å arbeide 150 timer hver dette semesteret, 15 timer i uken. Uke 49 og 50 går med til eksamen.

#### 7.1.2 Vårsemesteret

Under vårsemesteret vil det være et fag ved siden av hovedoppgaven, samt at det er planlagt at uke 14 og 15 går med til eksamenslesing, da eksamen er 11. april.

Det er foreløpig ikke gitt noen dato for innlevering av oppgaven, og denne er dermed estimert til slutten av mai, altså uke 22.

Det viser seg at faget som er ved siden av hovedoppgaven dette semesteret, har krevd litt mer tid av gruppen enn først antatt, og av den grunn har vært problematisk å opprettholde den første timeestimeringen. I snitt hadde gruppen som mål å jobbe ca. 21.5 time pr student pr uke. Det viser seg at frem mot eksamen 11. april vil det avvike litt fra dette timeestimatet. Medlemmene vil altså ha litt mindre timer i uken før eksamen, men er naturligvis innstilt på å ta dette igjen etter eksamen. Da har gruppa minst to hele dager i uken på skolen, i tillegg til helger, hvor alt fokus kan rettes mot oppgaven. Det forventes at i ukene etter eksamen vil arbeidsmengden komme opp mot 30 timer pr uke pr student.

## 8 REFERANSER

[1] Kongsberg, *Kongsberg Maritime hjemmeside*, 15/10-2013, <http://www.km.kongsberg.com/>



KONGSBERG



# IP Inverted Pendulum

---

## PROSJEKTPLAN

<b>PROSJEKT</b>	Inverted Pendulum		
<b>OPPDRAGSGIVER</b>	Kongsberg Maritime		
<b>UTFØRT VED</b>	Høgskolen i Buskerud og Vestfold, avd. Kongsberg		
<b>GRUPPE</b>	Stian A Nilsen, Stig Hølen, Jonas Pettersen og Terje Valaker		
<b>REVISJON</b>	3.0		
<b>ANTALL SIDER</b>	22		
<b>DOKUMENTHISTORIKK</b>	<b>REVISJON</b>	<b>UTGITT</b>	<b>BESKRIVELSE</b>
	1.0	04.11.2013	Første utgave
	2.0	17.03.2014	Andre utgave
	3.0	24.05.2014	Tredje utgave

## INNHALDSFORTEGNELSE

<b>INNHALDSFORTEGNELSE .....</b>	<b>1</b>
<b>TABELLER .....</b>	<b>2</b>
<b>1 DOKUMENTHISTORIKK .....</b>	<b>3</b>
<b>2 INNLEDNING .....</b>	<b>3</b>
<b>3 MÅL OG RAMMER .....</b>	<b>4</b>
3.1 BAKGRUNN .....	4
3.2 MÅLSETNINGER FOR GRUPPEN OG BEDRIFTEN .....	4
3.2.1 <i>Prosjektgruppens mål:</i> .....	4
3.2.2 <i>Oppdragsgivers mål:</i> .....	4
3.3 PROSJEKTRAMMER .....	4
<b>4 OPPFØLGING .....</b>	<b>5</b>
4.1 OPPFØLGINGSDOKUMENT .....	5
4.2 TIMELISTER .....	5
4.2.1 <i>Registrering av arbeidstimer</i> .....	5
4.3 MØTESTRUKTUR .....	5
4.3.1 <i>Møte med intern veileder</i> .....	5
4.3.2 <i>Møte med ekstern veileder</i> .....	5
4.4 INTERNE GRUPPEMØTER .....	6
4.4.1 <i>Telefonkonferanse</i> .....	6
4.4.2 <i>Internt forum</i> .....	6
4.5 HJEMMESIDE.....	6
<b>5 ORGANISERING.....</b>	<b>7</b>
5.1 BESKRIVELSE.....	7
<b>6 DOKUMENTASJON.....</b>	<b>8</b>
6.1 DOKUMENTHISTORIE.....	8
<b>7 PLANLEGGING OG GJENNOMFØRING .....</b>	<b>9</b>
7.1 OVERORDNET TIDSPPLAN.....	9
7.2 MILEPÆLER.....	10
<b>8 GJENNOMFØRING OG PROSJEKTFASER .....</b>	<b>11</b>
8.1 PROSJEKTFASER .....	11
8.1.1 <i>Fase 1 - Kravanalyse</i> .....	11
8.1.2 <i>Fase 2 - Software og systemdesign</i> .....	11
8.1.3 <i>Fase 3 -Implementering og testing</i> .....	12
8.1.4 <i>Fase 4 – Integrasjon og testing</i> .....	12
8.1.5 <i>Fase 5 – Drift og vedlikehold</i> .....	12
8.2 GJENNOMFØRING OG ERFARINGER .....	13
8.2.1 <i>Fase 1</i> .....	13
8.2.2 <i>Fase 2</i> .....	14
8.2.3 <i>Fase 3</i> .....	15
8.2.4 <i>Fase 4</i> .....	16
8.2.5 <i>Fase 5</i> .....	18

---

<b>9</b>	<b>RISIKO</b> .....	<b>19</b>
9.1	RISIKOANALYSE .....	19
9.1.1	<i>Konsekvens</i> .....	19
9.1.2	<i>Sannsynlighet</i> .....	20
9.1.3	<i>Risikomatrise</i> .....	20
9.2	ANALYSE AV RISIKOSCENARIOER .....	21
<b>10</b>	<b>REFERANSER</b> .....	<b>22</b>
<b>11</b>	<b>VEDLEGG</b> .....	<b>22</b>

## TABELLER

Tabell 1: Dokumenthistorikk .....	3
Tabell 2: Ansvarsbeskrivelser .....	7
Tabell 3: Overordnet tidsplan .....	9
Tabell 4: Milepælsplan .....	10
Tabell 5: Konsekvensanalyse .....	19
Tabell 6: Sannsynlighetsanalyse .....	20
Tabell 7: Risikomatrise .....	20
Tabell 8: Forklaring av fargekoder til tabell 7.....	20
Tabell 9: Risikoanalyse .....	21
Tabell 10: Vedlegg .....	22

## 1 DOKUMENTHISTORIKK

Tabell 1: Dokumenthistorikk

VERSJON NR:	DATO ENDRET	BESKRIVELSE
0.1	14.10.2013	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dokumentet prosjektplan opprettet.</li> </ul>
1.0	04.11.2013	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dokumentet er godkjent og gitt ut.</li> </ul>
1.1	17.03.2014	<ul style="list-style-type: none"> <li>Oppdatert innholdet. Spesielt oppfølging og gjennomføring.</li> </ul>
1.2	17.03.2014	<ul style="list-style-type: none"> <li>GANTT diagram oppdatert</li> </ul>
2.0	18.03.2014	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dokument har blitt revidert og gitt ut.</li> </ul>
2.1	22.04.2014	<ul style="list-style-type: none"> <li>Oppdatert GANTT diagram, milepæler og tidsplan</li> <li>Lagt til WBS</li> <li>Lagt til kapittel 8.2</li> </ul>
3.0	25.5.2014	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dokumentet er godkjent og gitt ut</li> </ul>

## 2 INNLEDNING

Prosjektplanen skal gi et innblikk i hvordan oppgaven skal arbeides med. Den skal sette konkrete mål, og gi arbeidet med oppgaven klare rammer for å kunne tilfredsstille vår oppdragsgiver og sikre et godt resultat. Arbeidsoppgavene skal være tydelige, og hjelpe til med å holde riktig fokus på fremdriften. Tiltak ved eventuelle avvik skal også komme tydelig frem i denne prosjektplanen.

Prosjektgruppen ser for seg hvordan oppfølgingen med interne og eksterne veiledere skal være. Planen legger struktur for hvordan gruppa skal registrere antall timer som går med til de forskjellige oppgavene, og sikre at fremdriften følger timeestimatet som er gitt i visjonsdokumentet.

En mer detaljert oversikt over ansvarsområdene hvert medlem i gruppen har, blir beskrevet nærmere i dette dokumentet. Dette for å ivareta at alle er sitt ansvar bevisst overfor de forskjellige oppgavene som skal utføres.

I grove trekk er det laget en tids- og aktivitetsplan som skal knytte aktiviteter opp imot en overordnet tidsplan. Det er denne tidsplanen som legger utgangspunktet for fremdriften for gruppen.

Det er beskrevet hvordan gruppa ser for seg å gjennomføre oppgaven ut ifra valgt prosjektmodell. Det står beskrevet detaljert hvordan hver fase vil være med på å ivareta prosjektets fremgang.

---

## 3 MÅL OG RAMMER

### 3.1 Bakgrunn

Som en del av den fireårige Industribachelor-utdannelsen ved Høgskolen i Buskerud og Vestfold skal det være et avsluttende prosjekt som foregår over to semestre. Som en del av prosjektoppgaven er det blitt gitt en teoretisk innføring i prosjektstyring. Da disse forelesningene var ferdige var det opp til studentene selv å danne grupper, samt oppsøke bedrifter for å skaffe en prosjektoppgave.

Grappa ønsket et spennende hovedprosjekt som kunne utfordre alle gruppe-medlemmene, både faglig, praktisk og teoretisk. Flere interessante bedrifter ble kontaktet. Etter møte med de aktuelle bedriftene ble prosjektgruppa enige om å velge oppgaven fra Kongsberg Maritime (Heretter kalt KM).

Prosjektet skal utføres på et profesjonelt plan. På den måten sikrer man at alle gruppens medlemmer skal være bedre forberedt til å møte hverdagen som ingeniører ute i arbeidslivet.

### 3.2 Målsetninger for gruppen og bedriften

#### 3.2.1 Prosjektgruppens mål:

- Levere et sluttprodukt som tilfredsstillter kundens krav og spesifikasjoner.
- Oppnå en tilfredsstillende slutt karakter som alle gruppe-medlemmer er fornøyd med.
- Økt kompetanse innenfor prosjektarbeid.
- Utfordre de kunnskapene som er blitt tilegnet gjennom studiet, og teste de ut i praksis.

#### 3.2.2 Oppdragsgivers mål:

- Teste om KM sitt kontrollsystem klarer å takle en slikt reguleringsprosjekt som invertert pendel.
- Bygge en demostasjon med KM sitt produkt, som skal være pent utført slik at det kan fremstilles for kunder, besøkende og ansatte.
- Markedsføre Kongsberg sine produkter på en god måte.

### 3.3 Prosjektrammer

Prosjektrammene er satt av Høgskolen i Buskerud og Vestfold og oppdragsgiver. Rammene omhandler oppgavens frihet og krav til utførelse. Sentralt står også krav til arbeidstimer mot prosjektstørrelse og antall deltagere i gruppen. Visjonsdokumentet har en utfyllende beskrivelse rundt arbeidstimer og dens sammenheng med studiepoeng. Økonomiske utgifter i forbindelse med prosjektet dekkes av oppdragsgiver. Dette står også beskrevet i kontrakten mellom høgskolen, oppdragsgiver og studentene.

Under prosjektperioden skal det være i alt tre presentasjoner. De to første skal gi ett innblikk i arbeidet underveis, mens den siste er en avsluttende fremføring som tar for seg prosjektet i sin helhet og hvor

---

sluttproduktet skal vises frem. Før hver presentasjon skal dokumenter som er laget leveres til eksterne og interne veiledere, samt sensorer.

## 4 OPPFØLGING

### 4.1 Oppfølgingsdokument

Det er utarbeidet et oppfølgingsdokument som skal brukes for å sikre fremdriften i prosjektet. Dette dokumentet inneholder hva hvert gruppemedlem har gjort den siste uka, og hva som er planlagt å gjøre neste uke. Dette dokumentet vil også bli brukt til å holde intern veileder oppdatert på fremdriften i prosjektet.

### 4.2 Timelister

#### 4.2.1 Registrering av arbeidstimer

Under hele prosjektet vil gruppa registrere antall timer som er brukt på de forskjellige aktivitetene. Alle er innforstått med viktigheten av å registrere timer kontinuerlig. Dette for å ha god kontroll på hvordan gruppa ligger an i forhold til estimerte timer. Det er utarbeidet et excel dokument som håndterer timeføring for gruppemedlemmene. I samme dokument finnes også en felles oversikt over alle definerte aktiviteter som viser hvor mange timer hvert gruppemedlem har brukt per aktivitet, samt total sum.

### 4.3 Møtestruktur

#### 4.3.1 Møte med intern veileder

Hver tirsdag kl. 08:45 vil det være ukentlig oppfølgingsmøte med intern veileder, Sigmund Gudvangen. Intern veileder skal motta oppdatert oppfølgingsdokument senest dagen før møtet finner sted. Ukas møteleder vil være rullerende i en liten periode slik at alle kan prøve seg som dette. Etter denne perioden vil det være prosjektleder som er møteleder hver uke. Møteleder står ansvarlig for oppdatering av oppfølgingsdokument, innkalle alle møtedeltakere og skrive møtereferat.

#### 4.3.2 Møte med ekstern veileder

Møter med ekstern veileder avtales ved behov. I samarbeid med KM er det blitt enighet om at dette møtet bør foregå hver andre uke. Møter vil foregå per telefon, nettmøte eller i forbindelse med opplæring på Kongsberg-utstyr. Om det skulle være ønskelig og møtes, avtales dette underveis.

## 4.4 Interne gruppemøter

God fremdrift og struktur i prosjektperioden opprettholdes ved å holde to typer interne gruppemøter, telefonkonferanse og internt forum. Det er også blitt opprettet en egen Facebook-gruppe for å styrke kommunikasjonen mellom alle gruppemedlemmene.

### 4.4.1 Telefonkonferanse

Telefonkonferanse vil foregå ved behov.

### 4.4.2 Internt forum

Internt forum holdes mandager, der agenda vil være:

- Definere ukas møteleder (Prosjektleder vil være møteleder etter at alle har fått prøve seg).
- Gjennomgang av hvert enkelt gruppemedlems arbeid siste 7 dager og forslag til neste 7 dagers arbeid med prosjektet.
- Diskutere relevante saker.

Som et resultat av dette møtet vil møteleder utarbeide oppfølgingsdokument for neste uke og innkalle til møte med intern veileder.

## 4.5 Hjemmeside

Fra skolens side er det bestemt at hver prosjektgruppe skal ha en internettside. Siden forteller hva prosjektoppgaven går ut på, samt hvem prosjektgruppa består av. Under hele prosjektet oppdateres siden regelmessig, for at alle som er interessert skal kunne følge fremdriften av prosjektet.

Adressen er: [bachelor.jpstranger.com](http://bachelor.jpstranger.com)

## 5 ORGANISERING

Som en del av oppgaven har alle gruppe medlemmene fått forskjellige ansvarsområder. På denne måten oppnås god oppfølging på alle de forskjellige områdene. Hvert gruppe medlem skal ha en overordnet oversikt over sitt ansvarsområdet, men ikke stå alene med utførelsen av det.

### 5.1 Beskrivelse

Tabell 2: Ansvarsbeskrivelser

Ansvarsområdet	Beskrivelse
Prosjektleder	Har ansvaret for at prosjektet gjennomføres etter plan og kriterier utarbeidet av prosjektgruppa.
Økonomiansvarlig	Skal følge økonomien i prosjektet og være ansvarlig for økonomidokumentet i rapporten.
Testansvarlig	Har overordnet ansvar for testdokument samt utførelsen av de forskjellige testene i prosjektperioden.
Design og konstruksjon	Har ansvar for mekanisk design og konstruksjon av demostasjon.
Web og informasjon	Utarbeide web side for prosjektet, fortløpende oppdatere den under prosjektperioden, samt være ansvarlig for annen informasjon tilhørende prosjektoppgaven.
Presentasjon	Denne personen har ansvar for tilretteleggelse rundt de forskjellige presentasjonene.
Utviklingsansvarlig	Har ansvar for utvikling av software og arbeidet rundt matematisk modell.
Kravansvarlig	Er ansvarlig for kravspesifikasjon og kravspesifikasjonsdokument som leveres i rapport.
Dokumentansvarlig	Har ansvar for sammenstilling av dokumenter, at dokumentene er kvalitetsmessig godt utført, at maler følges og at dokumenthistorien er tilfredsstillende.

## 6 DOKUMENTASJON

Da oppdragsgiver ble valgt, ble det utarbeidet maler som brukes til dokumentasjonen i oppgaven for å forenkle arbeidet. Dette gir en standard på de forskjellige dokumentene.

De ulike malene er:

- Rapport
- Dokument
- Møtereferat
- Oppfølgingsdokument
- Møteinnkalling

### 6.1 Dokumenthistorie

I et utviklingsprosjekt er det nødvendig med god dokumenthistorikk. Dette for å ha en enkel måte se når endringer er gjort på utgitt dokumentasjon. Under forelesning i prosjektstyring høsten 2013 ble det undervist i hvordan dokumenthistorikk skal behandles.

Det vil i hvert dokument være historikk som inneholder utgivelsesdato, hvilken utgave det er, hva som er endret fra forrige utgave og hvem som har godkjent det. Første offisielle versjonen vil ha revisjonsnr 1.0. Tallet før punktum representerer offisielle utgivelser og tallet etter interne. Interne utgivelser etter for eksempel fjerde offisielle, vil da få dokumentnr 4.1, eller 4.2, avhengig av hvor mange som er blitt internerviderte. Den neste offisielle versjonen vil da være 5.0.

## 7 PLANLEGGING OG GJENNOMFØRING

### 7.1 Overordnet tidsplan

Prosjektgruppa har laget en overordnet tidsplan som skal, så godt det lar seg gjøre, gjenspeile den faktiske fremdriften i prosjektet. I tabell 3 er eksamensuker og ferieperioder markert ut.

Tabell 3: Overordnet tidsplan

UKE	AKTIVITET
42-46	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forberede første presentasjon:</li> <li>• Visjonsdokument</li> <li>• Prosjektplan</li> <li>• Kravspesifikasjon</li> <li>• Testspesifikasjon</li> </ul>
47	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Første presentasjon 25.11</li> <li>• Evaluere tilbakemelding</li> <li>• Vurdere bruk av utstyr</li> </ul>
48-49	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sjekke flere utstyrslleverandører og diskutere alternativer.</li> <li>• Sjekk mulig IO grensenitt mot utstyr. OPC, Profibus, modbus, TCP/IP, hardwire, puls osv.</li> <li>• Budsjett</li> </ul>
49-->	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Innkjøp av hardware</li> </ul>
50	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EKSAMEN fredag 13. Hele uken går med.</li> </ul>
51	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arbeid med prosjekt. Se an fremgang.</li> </ul>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Møte med KM ang introduksjon i deres systemer</li> </ul>
3-9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utforske og lære om AIM og RCU</li> <li>• Vurdere bruk av filter (Kalman, Complimentary filter)</li> <li>• Vurdere om oppgaven er mulig med KM utstyr?</li> </ul>
8-12	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utarbeide teoretisk løsning med matematisk modell</li> </ul>
10-11	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oppkobling og HW montasje på Carpus lab eventuelt på HIBU</li> </ul>
12-21	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uke 13: Andre presentasjon</li> <li>• Programmering og testing</li> </ul>
16	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Påske</li> </ul>
17-21	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programmering, konfigurering, implementasjon av regulator og matematisk modell</li> <li>• Bygge rigg</li> <li>• Lage brukergrensesnitt til rigg</li> <li>• Testing</li> <li>• Demonstrasjon</li> </ul>

22	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 26. Mai: Innlevering av hovedoppgave</li> </ul>
24	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 10 Juni: Tredje og siste presentasjon</li> </ul>

## 7.2 Milepæler

Milepæler defineres som et punkt hvor det kan stoppes opp og legge til rette for læring og refleksjon. Milepælen skal beskrive hva prosjektet skal ha oppnådd på det gitte tidspunkt. Tabell 4 viser en oversikt over de punktene som ansees som milepæler. Tabellen er dynamisk og må antakeligvis justeres underveis.

Tabell 4: Milepælsplan

DATO	MILEPÆL
30.09.13	<b>Valg av prosjekt oppgave, og oppstart av gruppe</b>
25.11.13	<p><b>Første presentasjon</b></p> <p>I denne presentasjonen skal det legges fram visjonsdokument, kravspesifikasjon og testspesifikasjon. Dette vil gi en kort introduksjon til publikum om hva som skal lages og hvordan det er planlagt prosjektert.</p>
17.02.14	<p><b>Utarbeidet matematisk modell</b></p> <p>En utarbeidet matematisk modell er en helt avgjørende del for gjennomføring av prosjektet vårt.</p>
24.03.14	<p><b>Andre presentasjon</b></p> <p>Denne presentasjonen vil ha fokus på tekniske løsninger. Det skal presenteres hvor langt prosjektet har kommet, og veien videre frem til siste presentasjon.</p>
05.05.14	<p><b>Få balanse på staven</b></p> <p>Demoriggen skal nå kunne klare å balansere staven.</p>
26.05.14	<p><b>Innlevering av hovedprosjekt</b></p> <p>Hovedprosjektet skal innleveres sammen med all dokumentasjon</p>
10.06.14	<p><b>Tredje presentasjon</b></p> <p>Dette er den siste presentasjonen. Det endelige produktet skal fremlegges. Dette er også den milepælen som markerer slutten på prosjektet.</p>

---

## 8 GJENNOMFØRING OG PROSJEKTFASER

### 8.1 Prosjektfaser

#### 8.1.1 Fase 1 - Kravanalyse

Dette er startfasen for hele hovedprosjektet. I denne fasen er oppgaveteksten fra oppdragsgiver mottatt. Denne teksten skal analyseres og prosjektets struktur skal planlegges. I denne fasen skal det opprettes dokumenter som; oppfølgingsdokumenter, timeregistreringer, rapporteringer og maler, samt legge føringer for møter med interne og eksterne veiledere.

Malene som blir laget i denne fasen setter standarden for hvordan utseende og oppsett på alle dokumenter skal være. Dette vil forenkle arbeidet med å opprette og skrive nye dokumenter, samt gjøre det oversiktlig og enkelt. Utseende skal være enkelt, men samtidig elegant.

Det må også i analyseperioden utarbeides en tidsplan som presenteres i dette dokumentet. Denne skal legge strukturen, samt beskrive hvordan prosjektet planlegges å føres frem mot slutfasen. Tidsplanen er laget ut ifra estimatet som er beskrevet i visjonsdokumentet [3].

En webside som omhandler prosjektet og dens medlemmer skal opprettes. Denne websiden skal være offentlig, slik at allmennheten kan få en introduksjon i hva gruppen arbeider med, og hvordan fremgangen er. Annet materiale av interesse vil også bli lagt ut.

Videre skal det utarbeides visjonsdokument, prosjektplan, kravspesifikasjon og tilhørende testspesifikasjon. Disse dokumentene skal være ferdig til første presentasjon. Fasen anses som avsluttet etter første presentasjon.

#### 8.1.2 Fase 2 - Software og systemdesign

I fase 2 skal det samles inn informasjon om både utstyr og software som skal brukes. I den forbindelse dannes det et bilde av hvilke komponenter som trengs og hvordan disse skal bygges opp.

I denne fasen vil det bli jobbet tett sammen med KM for å forstå softwaren til Kongsberg. Mye av dette vil bli selvstudie. En matematisk modell som skal brukes i vår software oppbygging skal utarbeides etter dette.

Softwaren som skal programmeres skal i senere faser overføres til en fysisk rigg. Det må dermed gjøres opp en mening om hvordan riggen skal se ut. Spesielt viktig er det få kartlagt informasjon om de komponenter som må kjøpes inn til riggen i denne fasen.

Det vil bli en større forståelse av hvordan dette systemet skal fungere. Det er derfor forventet at kravspesifikasjonen og testspesifikasjon vil bli revidert, som følge av denne fasen. Forslag til regulatordesign skal utarbeides i denne fasen, da kun i teorien.

### 8.1.3 Fase 3 -Implementering og testing

Dette vil være en krevende fase, både tidsmessig og faglig. I denne fasen implementeres regulatoren i kontrolleren til Kongsberg. De matematiske modellene, laget i fase 2, skal implementeres med kontrollen. Det samme gjelder regulator. Det vil bli enkelttester for å se at systemet fungerer som ønsket, avdekke eventuelle feil, for deretter å utvikle systemet til å fungere feilfritt. Testene blir kjørt i henhold til testspesifikasjonene, og må oppfylle kravene til kravspesifikasjonen. En fullstendig og komplett test av hele systemet vil bli tatt i slutfasen, når systemet er ferdigutviklet.

Utfordringen blir spesielt implementeringen og testingen av de forskjellige matematiske modellene. Ved siden av testingen av systemet vil det foregå bygging av skjermbilder som skal presentere modellen, samt gi mulighet for nødvendig informasjon og demokjøringer. I denne fasen skal det påbegynnes arbeidet med å lage brukergrensesnitt.

### 8.1.4 Fase 4 – Integrasjon og testing

I denne fasen møter det implementerte systemet den fysiske riggen. Riggen som ble påtenkt i fase 2, skal i denne fasen bygges opp og integreres med systemet utviklet i fase 3. Det må som i fase 3, også her tenkes at det går med mye tid til testing. Det meste skal fungere i denne fasen, men det må forventes å møte på uforutsette problemer. Når denne fasen nærmer seg slutten, vil den bli gjentatt for å sikre at alt fungerer i henhold til krav og spesifikasjoner.

Alle feil eller tekniske utfordringer må være løst i slutten av denne fasen.

Etter alle tester utarbeides en testrapport.

### 8.1.5 Fase 5 – Drift og vedlikehold

Dette er den siste fasen. Ved inngang i denne fasen er riggen ferdig oppkoblet og testene er vellykket. Da gjenstår all dokumentasjon som skal være klart til den avsluttende presentasjonen. All dokumentasjon som hører til oppgaven skal være ferdigstilt ved slutten av fasen.

Det skal samtidig utarbeides et dokument som omhandler drift av rigg. Det skal ta for seg hvordan riggen skal driftes og vedlikeholdes for at den skal fungere slik den skal. Det skal ikke være noe tvil om hvordan riggen skal driftes og vedlikeholdes ved overtagelse.

## 8.2 Gjennomføring og erfaringer

Gjennom dette delkapittelet vil det komme frem hvordan hver enkelt fase har blitt gjennomført, hvilke erfaringer prosjektgruppen har fått, og hvordan prosjektmodellen har fungert.

### 8.2.1 Fase 1

Fasen ble ansett som påbegynt da gruppen valgte hovedoppgaven fra Kongsberg Maritime. Allerede etter første prosjektdag hadde gruppen fått designet layout til dokumentmal og logo. Det var raskt enighet om at dette var viktig å få på plass, slik at de nødvendige dokumentene kunne bli påbegynt uten å måtte gjøre store endringer i ettertid. Fokuset når layout ble laget var «simpelhet» og «stilrent», noe som gjenspeiler seg gjennom hele prosjektet.

Videre ble det enighet om roller og ansvarsområder. Delegeringen av dette gikk uten store uenigheter, og arbeidet med å utarbeide de forskjellige dokumentene, prosjektmodell og tidsplan ble satt i gang. Forarbeidet med å lage gode og oversiktlige dokumentmaler gjorde at alle raskt kunne sette i gang arbeidet med sine oppgaver, uten at det oppsto problemer når dokumentene skulle settes sammen i ettertid.

Det ble etablert rutiner for oppfølgingsdokumenter og oppfølgingsmøter. På bakgrunn av at gruppemedlemmene kun var på skolen 2 dager i uken, ble det avtalt at oppfølgingsdokument lages via telefonmøte (konferansesamtale) på torsdager slik at oppfølgingsmøtet kunne bli avholdt påfølgende mandager.

Det viste seg at dette i praksis ikke var en effektiv løsning, så det ble etter hvert avtalt med intern veileder at gruppa kunne etablere oppfølgingsdokument på skolen på mandager slik at oppfølgingsmøte kunne bli avholdt på tirsdag morgen før forelesning. Løsningen har fungert bra for både gruppa og intern veileder.

Kravspesifikasjon ble utarbeidet etter at oppgaven fra KM var mottatt. Kravene fra KM viste seg å være klare og entydige, og det ble valgt en evolusjonær prosjektmodell på bakgrunn av dette. Ingen i prosjektgruppa har bakgrunn eller erfaringer i det å velge prosjektmodell, men valg av en vannfallsmodell med tilbakekobling har vist seg å være positivt i dette prosjektet. Dette fordi det har vært behov for å kunne gå om igjen på faser for å få et tilfredsstillende resultat.

Det ble frem mot første presentasjon lagt ned mye arbeid i å få de nødvendige dokumentene ferdig. Disse dokumentene er selve grunnlaget for en god prosjektgjennomføring, og gruppa anså det som nødvendig å bruke mye tid på dette i starten, slik at arbeidet utover i prosjektet ville holde en god struktur. Gruppa har fått gode tilbakemeldinger på strukturen i arbeidet fra både intern og ekstern veileder.

Gruppen gikk over til fase 2 etter første presentasjon, men da med forbehold om at de forskjellige dokumentene vil måtte komme til å bli revidert i senere tid. Siden de nå på dette tidspunkt allerede er laget, vil en ny gjennomgang av denne fasen være vesentlig mindre tidkrevende enn første gang.

Det ble gjort en ny runde av fase 1 i forbindelse med andre presentasjon, og den var mindre tidkrevende, men det gikk litt mer tid enn først planlagt. Revidering og korrekturlesing av dokumentene ble undervurdert fra gruppa sin side. Denne erfaringen gjorde at gruppa har planlagt litt mer tid til å gjennomgå fase 1 igjen frem mot innleveringen, noe som har gjort at GANTT-diagrammet har blitt oppdatert, se vedlegg 3. Fra tidligere erfaringer var dette en avgjørelse som ga mindre tidspress før innleveringen. Gruppa fikk totalt sett bedre tid til å lese gjennom alle dokumentene og gjøre ferdig siste revisjon frem til siste innlevering.

### 8.2.2 Fase 2

Etter første presentasjon reflekterte gruppen over tilbakemeldingene, og gikk tilbake til fase 1. Da de nødvendige tiltakene var gjort, gikk gruppen inn i fase 2.

Et av de første punktene i denne fasen var å velge utstyr og materialer. Det ble som forventet både uenigheter og diskusjoner rundt valg av utstyr. Diskusjonene ble holdt på et saklig nivå, noe som gjorde at mange gode meninger ble ytret og førte til en felles enighet rundt de valgene som ble tatt. Gruppen har en god takhøyde, og ser på det som naturlig at slike temaer fører til diskusjoner. Erfaringen fra dette er at gode, faglige diskusjoner gjør at det er blitt tatt reflekterte valg som gruppa kan stå for.

Gruppen fikk tilsendt RCU-kontrolleren tidlig i denne fasen. Som avtalt kom KM innom skolen for å kurse prosjektgruppen. Gruppen hadde i forkant av dette kurset blitt enige om valg av motor og vinkelgeber, og at kommunikasjonen mellom systemene skulle gå på profibus. Utfordringene rundt kommunikasjon ble derimot større enn først antatt.

Da KM skulle sette opp kommunikasjonen og gi en opplæring i AIM2000, viste det seg at det ikke var så enkelt å etablere kontakt mellom RCU og innkjøpt utstyr. Det var utfordringer knyttet til både hardware og software. Det var vanskelig å få opprettet kommunikasjon med motor og vinkelgeber. Gruppen i samarbeid med Petter Arne Mikalsen fra KM prøvde en hel dag, men fikk kun oppnådd kommunikasjon med motorkontrolleren. Vinkelgeberen sto fortsatt uten kommunikasjon. Dette gjorde at det trengtes bistand i flere omganger. Petter Arne var hjelpsom og oversendte en brukerveiledning, slik at kommunikasjon med vinkelgeber kunne etableres. Først da kommunikasjonen ble etablert kunne gruppa få opplæring i AIM2000, samt begynne å programmere på egenhånd. Vinkelsensor og motorkontroller vil bli implementert inn i program i fase 3.

For å opprettholde arbeidseffektiviteten i denne perioden ble det gjort en god delegering av oppgaver fra prosjektleder, slik at ikke mer tid enn nødvendig gikk tapt. Én person fikk ansvaret for å ta for seg utfordringene med RCU og programmering, mens de resterende 3 andre ble satt tilbake til sine respektive oppgaver.

Med hensyn til kravet på utseende til riggen, ble det laget flere forslag til hvordan riggen skulle se ut. Hvert forslag hadde sine fordeler og ulemper. Gikk så tilbake til fase 1 og veide kravene opp imot hverandre, og kom frem til et design som var pent og funksjonelt. Forslaget ble fremstilt for ekstern veileder i KM og godkjent. Bordet kan derimot ikke bestilles før fase 3, da mål på nødvendig utstyr som skal monteres må kontrollmåles ved ankomst før det implementeres i borddesignet. Tidsmessig gikk det som beregnet mindre og mindre tid hver gang fase 1 ble gjennomgått.

Arbeidet med å utlede den matematiske modellen som skal legge grunnlaget for regulatoren ble påbegynt i denne fasen. Dette er komplisert matematikk som setter prosjektgruppens mattekunnskaper på prøve. Matematikken finnes i designdokumentet [1]. Fysikkforeleser Lars M. Johansen har bistått gruppen underveis. Etter utarbeidelse vil modellen, i fase tre implementeres og testes i MatLab. Dette er en oppgave som vil være viktig å kjøre gjennom fase 2 og 3 flere ganger for å kunne sikre en optimal regulering. Teorien bak tre forskjellige regulatorer ble laget i denne fasen. Den fysiske testen vil skjer i fase 3, hvor det endelige designet skal bestemmes, før det integreres i fase 4. Det viste seg at ved integrering av regulator i fase 4, ble det nødvendig å gå tilbake til fase 2 igjen for å ta en gjennomgang av designet. Det viste seg at det dukket opp utfordringer som ikke var påtenkt da designene ble laget, og dette måtte utbedres før videre arbeid. Disse utfordringene er nevnt i fase 3 og 4 gjennom de neste sidene.

Rett før den andre presentasjonen ble første utkast av blokkdiagrammet for systemet ferdig. Dette kom dessverre ikke med i selve dokumentasjonen da den allerede var innlevert, men siden et slikt diagram er såpass vesentlig i dette prosjektet ble et utkast lagt frem under presentasjonen. Etter presentasjonen kom det tilbakemelding fra Thor Hukkelås om at dette blokkdiagrammet er en viktig og nyttig del av prosjektet, men at

det måtte vurderes en revidering. Under revisjonen viste det seg at arbeidet ble mer komplisert enn først antatt, og Thor ble igjen kontaktet. Han satte gruppa i kontakt med Nils Albert Jenssen, da han selv ikke hadde så mye tid. Nils Albert Jenssen er en av Norges fremste kybernetikere. Det ble avtalt et møte med Nils Albert. Møtet ga et godt bidrag i å utvikle blokkdiagrammet.

Da alt utstyr var mottatt og klart for implementering og testing anså gruppen seg som klar til å gå over i fase 3.

### 8.2.3 Fase 3

Et av hovedfokusene i denne fasen var å implementere motorkontroller og vinkelgiver sammen med AIM2000. For å få gjort dette hensiktsmessig, og optimal måte, krevde mye tid og faglig kompetanse. På bakgrunn av mangel på kompetanse innenfor AIM2000 og oppsett av profibus, ble gruppa nødt til å ha bistand av både Festo, Hecotron og KM underveis. Det ble raskt fattet enighet om at denne bistanden var nødvendig for at selve implementering kunne påbegynnes så raskt som mulig.

Da profibus baserer seg på styring av bytes og bits<sup>1</sup> var det en del av utfordringen å kunne forstå hvordan dette skulle styres og leses av ved hjelp av AIM2000.

Den største utfordringen i denne fasen var når motorkontrollerens startsignal [1] ikke lot seg overstyre ved bruk av profibus, men kun av digitale signaler. Dette betydde at RCU-kontrolleren ikke kunne sende et bit for start for deretter å kjøre kontinuerlig drift, men at den kontinuerlig måtte sende start og stopp kommandoer til vognen. Det vil si at RCU-kontrolleren må sende høyt start bit i den ene scanperioden, mens den må sende lavt start bit neste scanperiode. I praksis ville dette si at vognen reduserer sin kontinuerlige drift fra å kunne oppdatere vognposisjon 50 ganger i sekundet til 25 ganger i sekundet. Denne utfordringen ble førsteprioritet, og en konfrontasjon med Festo ble foretatt. Festo kunne etter kort stund bekrefte at det ikke lot seg gjøre å kjøre vognen med kontinuerlig drift som først antatt med profibus.

Da denne bekreftelsen kom, tok gruppa umiddelbart kontakt med KM og foretok testkjøring av vognen med den reduserte driften. Etter en testkjøring og samtale med KM ble vurderingen at riggen vil kunne klare å kjøre med en oppdateringsfrekvens på 25 ganger i sekundet. Nils Albert Jenssen var også veldig klar på at dette ikke ville være et problem for reguleringen. Etter denne episoden ble alle signaler som skulle brukes gjennomgått og testet, slik at ikke noe lignende skulle skje igjen og skape mer press på tiden.

Bordet ble som planlagt fra fase 2 bestilt etter å ha mottatt og kontrollmålt alle komponenter som skulle monteres på bordet. Produsenter for slike selvdesignede bord ble kontaktet [1]. Den ene produsenten som mottok tegninger fra gruppa, lovet å komme tilbake med prisoverslag, slik at priser kunne sammenliknes. Denne produsenten kom aldri med noen pris, selv etter flere purringer. Dermed så gruppa, grunnet tid, ingen annen løsning enn å velge den andre produsenten.

Selv om en produsent kan love å komme med noe, er det ingen garanti for at dette vil skje. Denne erfaringen er noe samtlige i prosjektgruppa vil ta med videre.

Da alle mål var tatt ble det gått flere runder tilbake til detaljene i fase 2 for å sikre at det ikke ble bestilt feil. Dette for å sikre at alle detaljer ble tilpasset det designet som hadde blitt fremstilt for KM.

Da den matematiske modellen ble laget i fase 2, ble denne implementert og testet ut i MatLab. Her kan eventuelle feil eller mangler i modellen avdekkes. Dersom det gjøres, må en gå tilbake til fase 2 for å kunne rette opp i feilen. For å kunne designe en god regulator i AIM2000 må den matematiske modellen testes ut i MatLab for å genere nødvendige parametere etter at gruppen har valgt regulator design.

---

<sup>1</sup> 1 byte = 8 bit

Test av de forskjellige regulatordesignene som er beskrevet i designdokumentet ble testet ut i denne fasen. Design 1 [1] viste seg å fungere godt. Vognen lot seg bevege i begge retninger med variabel hastighet ved å bruke design 1.

Design 2 fungerte ikke optimalt. Vognen lot seg kjøre i en retning med en gitt kraft, men med en endring i prefiksen på kraften skulle vognen ha endret retning. Dette ble ikke tilfellet. Vognen gikk med gitt kraft og prefiks til endeposisjon. Først da stoppet den. Det måtte så gis ny prefiks og kraft før den beveget seg i motsatt retning til endeposisjon. Dette var ikke som forventet, hverken fra gruppens eller Festo sin side. Det ble forsøkt å få dette til i samarbeid med Festo, men uten hell. Måtte derfor forkaste design 2.

Design 3 ble ikke testet da det ikke lot seg gjøre å sette opp GSD fila for kjøre å med akselerasjon som utgangsbitt. Festo var behjelpelige med å klargjøre motorkontrolleren for å kjøre vognen med akselerasjon. Det var derimot ikke mulig å få RCU-kontrolleren til å bruke akselerasjon som utgang. Derfor måtte også design 3 forkastes.

Da sto gruppen igjen med design 1 som hadde latt seg kjøre, og fokuset ble dermed rettet videre på dette designet.

### 8.2.4 Fase 4

Etter at alle enkeltstående komponenter hadde blitt implementert, skulle første utkast av regulator testes. Denne regulatoren var en testregulator for å se om alle objekter klarte å kommunisere med hverandre på riktig måte, slik at videre arbeid med regulatoren kunne påbegynnes.

Da denne testen startet dukket det opp en feilmelding om at det ikke var kommunikasjon mellom motorkontroller og selve motoren. Etter feilsøking viste det seg at motorkabelen fra kontrolleren til selve motoren hadde en svidd plugg. Dette hadde gitt merker på pluggen til motoren og medførte kommunikasjonsbrudd. Festo ble umiddelbart kontaktet, og var behjelpelig med å skaffe ny motor og kabel. Da dette skjedde mandag i påsken var det utfordringer med transport. Motoren ble ikke mottatt før etter påske. Da motoren ankom tirsdag etter påske, ble den levert med feil kabel. Den ble levert med signalkabel og ikke strømkabel. Strømkabelen måtte derfor ettersendes.

Festo har vært behjelpelige under hele denne episoden, men da flere uforutsette hendelser skjedde samtidig førte dette til utsettelse av regulatortestingen.

Da både ny kabel og motor hadde kommet, kunne en ny testing påbegynnes. Da systemet startet opp for testing kom det opp en ny feilmelding, og denne kunne ikke Festo forklare. Feilmeldingen beskrev at det var feil på inkrementell encoder i motoren. Dette gjorde at motoren ikke lot seg kjøre. Det ble straks satt i gang feilsøking. Brukermanualen var det feilsøkningsverktøyet som var tilgjengelig. Feilmeldingen sto i brukermanualen, men det var ingen klare svar på hvordan feilen kunne løses. Motoren og strømkabelen var ny, så de to komponentene ble ikke prioritert i første omgang. Det ble referert i manualen til at feilen kunne skyldes: «Ingen encoder signaler tilkoblet» eller «Feil i encoder signaler».

Videre så var det noen tester som kunne utføres. Det første som ble gjort var å koble fra alt annet utstyr enn motorcontrolleren for å eliminere eventuell støy. Da dette var gjort ble motoren forsøkt kjørt uten resultat. Samme melding kom opp igjen. Det ble forsøkt å endre parametere i selve motorcontrolleren for å prøve å eliminere feilen, gammel og ny motor ble kryssbyttet, også dette uten hell. Til slutt så var det ingen andre muligheter enn å følge siste punkt i brukermanualen som sa at; hvis ingen av punktene som ble nevnt fungerer, må motorcontrolleren byttes. Vi anså dette som scenarioet «sitter fast i prosjektet» fra risikoenalysen (Tabell 9). Utifra dette scenarioet ble Festo kontaktet og de sa de kunne ha en motorcontroller klar neste dag, men at en fra gruppen måtte komme å hente den da dette var på en lørdag. På denne måten kunne arbeidet med reguleringen være i gang allerede dagen etterpå.

I mellomtiden ble feilsøkingen opprettholdt utover kvelden. Det ble i et siste forsøk byttet signalkabel. Da dette ble gjort startet kontrolleren opp og ingen feilmelding kom opp. Det viser seg at også signalkabelen var defekt,

og at dette var grunnen til den siste feilmeldingen. Dette var en stor lettelse for gruppen, og motivasjonen steg umiddelbart.

Ut ifra denne erfaringen så kan det oppsummeres at det ikke nødvendigvis bare er én feil, men at flere feil ofte henger sammen. Det var tydelig svidde merker på motor og plugg som gjorde at det i denne episoden ble konkludert i at dette var problemet. Mens et foranliggende problem kan ha vært signalkabelen. En grundig analyse av et problem når det oppstår er derfor helt essensielt. Det gjelder å ikke bare å fokusere på det man kan se, men stoppe opp og ta en gjennomgang av hva som forårsaket skaden. Denne erfaringen var konstruktiv, og vil være nyttig dersom noe liknende skulle oppstå igjen.

Da systemet var kommet i gang, ble første utkast av reguleringen testet. Dette var et utkast, basert på logiske funksjoner, tilsvarende en enkel P-regulator. Pinnen ble satt i oppreist posisjon, og regulerte som om den lå på ustabilitetspunktet. Det å se at pinnen «regulerte» ble en stor opptur etter utfordringene som hadde vært i forkant, og ble et godt utgangspunkt for videre testing av regulator. Det var blitt valgt å gå for regulator design 1, men en av de større utfordringene var gruppens begrensinger på programmeringskunnskap i AIM2000.

Mandag 28 april var det avtalt at Petter Arne Mikalsen og Sigurd Kleppan fra KM skulle komme å bistå gruppen med programmering, og få satt opp AIM2000 på panel-pcen. Sigurd fikk satt opp pcen slik at denne var klar for montering i riggen. Det ble satt opp slik at det kunne kjøres to pcer parallelt på AIM2000. Petter Arne var der for å bistå med å programmere regulatoren. I samarbeid med han, ble den første regulatoren som klarte å holde staven oppreist designet. Designet som ble brukt var regulering av posisjon og hastighet ut ifra en kaskaderegulering. Staven klarte å holde seg oppe og bevege seg bortover med ørsmå forstyrrelser, men den var ikke robust nok til å takle større forstyrrelser. Bistanden gruppen fikk til denne programmeringen dannet grunnlaget for å kunne videreutvikle regulatoren. Gruppen hadde ideene og teoriene, og i samarbeidet med Petter Arne ble dette realisert i AIM2000.

Videre arbeid etter dette besøket innebar som beregnet mye tid til optimalisering av regulator. Det måtte også brukes tid til å lage sikkerhetsfunksjoner som stoppet akselen dersom pendelen gikk over fallgrensen sin. Dette ble gjort for riggen skulle være forsvarlig.

Foreløpig hadde regulatoren kun blitt testet mens lineæraksen var festet til et vanlig skolebord med to skrutvinger. Det viste seg at dette dannet forstyrrelser i motsatt retning av hva som ønskelig for stabilisering. Gruppen var klar over at bordet ikke var så stabilt som riggen kom til å være, men det viste seg at forstyrrelsene var større enn først antatt.

På bakgrunn av forsinkelser i innkjøpsavdeling på KM har det tatt lang tid fra bestillingen ble mottatt hos KM til bestillingen ble sendt til leverandør. Dette har ført til at byggingen av riggen har blitt utsatt lenger enn planlagt, og at fase 5 derfor har blitt forskjøvet fram. FAT testen kunne heller ikke påbegynnes før riggen var ferdig oppbygd, da denne er en del av kravene.

Riggen er designet for å ha nok vekt til å kunne motvirke denne forstyrrelsen, samt at alle fester er laget for at det ikke skal være noen form for slark i systemet. Dette vil gjøre jobben med å optimalisere både enklere og mer nøyaktig.

Da alle materialer til riggen hadde ankommet ble koblingsskapet og selve bordriggen bygd. Disse ble integrert og riggen ble komplett oppbygd. Et godt forarbeid med designet førte til at jobben med oppbyggingen gikk bra og resultatet ble pent. Det ble sendt bilde av riggen til KM, og tilbakemeldingene var positive. Etter oppbyggingen ble det påmontert front- og sidedeksler som var foliert med Kongsberg-logoen, samt HBV og gruppe-logoen. Resultatet ble pent, men det ble en bekymring fra gruppa at folieringen var litt for skjør. Dermed ble dekslene sendt til en ny foliering hvor det ble lagt en forsterkningsfilm over den eksisterende folieringen.

Da bordet var komplett oppbygd ble regulatordesign integrert og testet. En oppsummering av integreringen og testingen av dette designet står detaljert beskrevet i designdokumentet [1]. Det viste seg at dette designet fungerte, og at systemet etter mange timer med optimalisering klarte å takle relativt høye forstyrrelser. Det må nevnes at det underveis har vært nødvendig å gå tilbake til fase 2, for å ta en ny gjennomgang av regulatordesignet, da det i praksis dukket opp utfordringer som ikke var påtenkt i starten av prosjektet. Etter at systemet ble robust nok til å takle forstyrrelser ble KM kalt inn til en FAT test for å teste at kravene som er satt i oppgaven hadde blitt oppfylt og dermed få de godkjent. De godkjente alle kravene, med unntak av kravet som skal sette staven i balanse automatisk. Da dette er et C krav så ble det lagt til en kommentar om at dette kravet kan jobbes med frem mot siste presentasjon. Mer detaljert om FAT testen kan sees i testrapporten [2]. Når dette var gjort ble fase 5 påbegynt.

Dette har vært den mest tidkrevende fasen med mange utfordringer, men samtidig lærerik. De utfordringene som har vært har i etterkant blitt diskutert i gruppa, og det har blitt reflektert over de erfaringene som har oppstått.

### 8.2.5 Fase 5

Etter at FAT var blitt kjørt i samarbeid med KM var gruppen kommet inn i fase 5. Det ble tidlig kartlagt hvordan fullførelsen av dokumentene skulle gjøres, og det ble satt tidsfrister til når dokumentene skulle være ferdige. Innleveringsdatoen (26. mai) kom rett etter påske, og det la et ekstra press på å få ferdigskrevet og korrekturlest alle dokumenter. Gruppa har ingen konfidensielle dokumenter, så alle dokumenter som blir levert inn til sensur vil også være tilgjengelig i skolens bibliotek.

Ved siden av dokumenter har gruppa også en fysisk rigg som må ferdigstilles med et komplett reguleringsystem før siste presentasjon. Denne skal ikke leveres inn samtidig med oppgaven, men alt av dokumentasjon rundt riggen må være klart. Det er derfor besluttet at minst et av gruppe-medlemmene fokuserer på komplettering av riggen, mens de resterende 3 jobber med å komplettere all dokumentasjon. Denne måten å arbeide på ga en effektiv arbeidsmetode, og med en god takhøyde gikk samarbeidet mellom oppgavene veldig bra.

Det meste av underlaget for vedlikehold av riggen er på plass, men grunnet forsinkelser av riggen har igangkjøringen av optimaliseringen begynt senere enn planlagt. Dette har ført til at ikke all programmering av riggen er blitt klart til 26. mai. Det er derfor besluttet at det ved innlevering ikke vil medfølge en brukermanual til riggen. Derimot vil det utarbeides en brukermanual som vil medfølge riggen når siste presentasjon holdes. Dette er også da KM skal overta riggen.

I forbindelse med fase 5 gjensto det optimalisering av stabiliteten pendelen. Da gruppa følte de hadde den kontrollen som var ønsket på pendelen ble det bestemt å prøve å få til swing-up funksjonen. Dette er den funksjonen som får staven automatisk i balanse. Fremgangsmåten for denne står beskrevet i designdokumentet, kapittel 6.

Denne funksjonen var ut ifra kravspesifikasjonen et C-krav, og har dermed ikke vært en prioritert oppgave. Gruppa følte seg klar med reguleringen av pendelen, og dermed kunne det bli avsatt tid for å få til denne funksjonen. Gruppa hadde sett for seg at den kunne løses ved å bruke vinkelhastighet sammen med andre logikkparametere. Denne funksjonen ble ikke rask nok, og det ble heller valgt å legge fokus på en raskere løsning. Løsning som ble brukt var sekvensiell. Etter to dager med programmering og testing fungerte swing-up funksjonen for første gang.

Etter at denne funksjonen hadde blitt testet, ble det bekreftet at den fungerte i alle tilfellene. Samtlige medlemmer var stolte av utseende og funksjonaliteten til riggen. På dette tidspunkt var alle krav oppfylt.

## 9 RISIKO

Det vil alltid i et prosjekt være en risiko for større og mindre momenter som kan sette prosjektet på vent, i verstefall føre til fiasko. For å være forberedt på de fleste situasjoner er det utarbeidet en risikoanalyse for å kvalitetssikre en sikker fremgang i prosjektet. Slik kan faremomentet ved en gitt situasjon enkelt oppdages og tiltak kan raskt iverksettes.

### 9.1 Risikoanalyse

To tabeller er laget som utgangspunkt for risikoanalysen. Den første (Tabell 5), tar for seg konsekvens. Den andre (Tabell 6), tar for seg sannsynlighet.

#### 9.1.1 Konsekvens

Tabell 5: Konsekvensanalyse

KONSEKVENNS	UTSLAG I PROSJEKTETS FREMGANG
Svært liten	Prosjektet vil kunne gå videre uten problemer
Liten	Det vil merkes som litt motgang på prosjektgruppa, men fremgangen vil ikke bli påvirket i særlig grad
Middels	Prosjektet går i en stopp, og et tiltak bør vurderes for å sikre en fremgang
Stor	Prosjektet går i stå, og det er vanskelig å komme videre. Tiltak er nødvendig fortløpende
Svært stor	Et bristepunkt for prosjektet, og statusen er kritisk. Alle midler må brukes på et strakstiltak for å få prosjektet tilbake i en fremgang.

### 9.1.2 Sannsynlighet

Tabell 6: Sannsynlighetsanalyse

SANNSYNLIGHET	UTSLAG I PROSJEKTETS FREMGANG
Svært liten	< enn 1 hendelse pr 1000 time
Liten	Ca. 1 hendelse pr 1000 time
Middels	Ca. 1 hendelse pr 100 time
Stor	Ca. 1 hendelse pr 10 time
Svært stor	> enn 1 hendelse pr 10 time

### 9.1.3 Risikomatrise

Tabell 7: Risikomatrise

SANSYNLIGHET	KONSEKVENS				
	1. Svært liten	2. Liten	3. Middels	4. Stor	5. Svært stor
1. Svært liten	1	2	3	4	5
2. Liten	2	4	6	8	10
3. Middels	3	6	9	12	15
4. Stor	4	8	12	16	20
5. Svært stor	5	10	15	20	25

En matrise med tre farger angir enkelt risikoen i forhold til konsekvens og sannsynlighet. Tallene i rutene er sannsynlighet ganget med konsekvens. Noen ruter kan ha samme tall, men forskjellige sannsynlighet. Dette kommer av at det i tillegg til og bare gange tallene sammen, er vurdert hver enkelt rute for seg for å kvalitetssikre at matrisen er optimal.

Tabell 8: Forklaring av fargekoder til tabell 7

Høy risiko	Risikoen er høy, og det må uten tvil gjøres strakstiltak.
Middels risiko	Risikoen er noe over akseptabel og tiltak må vurderes i hvert enkelt tilfelle.
Lav risiko	Risikoen er akseptabel og tiltak er ikke nødvendig

## 9.2 Analyse av risikoscenarioer

Det er laget en analyse over forskjellige typer scenarioer som kan påvirke framgangen i prosjektet. Det er satt opp sannsynlighet oppimot konsekvens, som man igjen gir et risikotall. Denne risikofaktoren kan man finne igjen i Tabell 7.

Risikotallet R, kommer fra:  $S * K = R$

Tabell 9: Risikoanalyse

SCENARIO	ÅRSAK	S	K	R	KORRIGERENDE TILTAK
Lagret data går tap	Tap / kræsje av PC, evt menneskelig svikt	1	3	3	Ha backup av alle dokumenter på dropbox, samtidig som man har de på egen PC.
Sykdom	Mange	4	2	8	Viktig å være tidlig ute med å melde fra om sykdom. Prosjektleder må bli informert om arbeidsstatus for koordinering av arbeidsoppgaver.
Uenigheter	Forskjellige meninger / misforståelser	4	2	8	Viktig med god takhøyde i gruppa for å unngå et slik scenario. Være tidlig ute med å ta opp ting. Bøye seg for demokrati, ved likestemme har prosjektleder siste ord.
Sitter fast i prosjektet	Manglende kunnskaper eller mangel på materialer	3	3	9	Være tidlig ute med å innhente nødvendig hjelp. Viktig å komme i gang så fort som mulig.
Ligger bak tidsplanen	Arbeidet går ikke i henhold til prosjektplan	2	3	6	Analysere hvorfor arbeidet ikke går som planlagt, holde fokus på frister og oppfølgingsplan.
Gruppemedlemmer som ikke møter opp	Forsovelse, forsinkelse pga transport, latskap	2	3	6	Viktig å melde fra hvis man er forsinket, evt gi så god informasjon om hva vedkomne arbeider med slik at andre i gruppen kan ta over arbeidet.
Oppdragsgiver trekker seg	Brudd på kontrakt eller forpliktelser	1	5	5	Viktig med en god dialog med oppdragsgiver. Ved evt konflikt, følge kontrakt og retningslinjer som er gitt

Ingen av de scenarioene som er satt opp går over i rød kategori, noe som betyr at det er i hvert tilfelle er opp til prosjektgruppa om det er nødvendig å vurdere tiltak. Hver enkelt prosjektdeltager har ansvar for å følge tiltakene. Om et av scenario i Tabell 9 dukker opp, er det uansett viktig at prosjektleder får beskjed så fort som mulig for å kunne koordinere arbeidet så godt som mulig.

## 10 REFERANSER

[1] Hølen, S., Nilsen, S., Pettersen, J., Valaker, T., Inverted Pendulum, *Designdokument*, Høgskolen i Buskerud og Vestfold, 2014, Rev 3.0

[2] Hølen, S., Nilsen, S., Pettersen, J., Valaker, T., Inverted Pendulum, *Testrapport*, Høgskolen i Buskerud og Vestfold, 2014, Rev 1.0

[3] Hølen, S., Nilsen, S., Pettersen, J., Valaker, T., Inverted Pendulum, *Testrapport*, Høgskolen i Buskerud og Vestfold, 2014, Rev 4.0

## 11 VEDLEGG

Tabell 10: Vedlegg

Vedlegg	BESKRIVELSE
1	Work Breakdown Structure
2	Detaljert tidsplan
3	Gantt-diagram

**Inverted Pendulum  
Oppstart**  
Stian Nilsen



Vedlegg 2

Total: 2 433,00 2062:30

Aktivitet nr	Beskrivelse	Ansvarlig	Estimert	Brukte timer
<b>1,00</b>	<b>Administrativt</b>			26:30
1,01	Oppstart av prosjekt	Alle	35	23:30
1,02	Oppfølgingsdokument	Alle	10	12:00
1,03	Oppfølgingsmøte intern veileder	Alle	28	35:30
1,04	Timelister	Alle	30	5:00
1,05	Møter med ekstern veileder	Alle	20	7:30
1,06	Web-design	Jonas	10	14:30
1,07	Presentasjoner	Alle	110	157:00
1,08	Internt forum og internt telefonmøte	Alle	120	49:30
1,09	Annet admin.	Alle	35	56:30
1,10	Generell research	Alle	50	29:00
1,11	Revidering av dokumenter	Alle	160	165:00
	Sum		608	581:30

Aktivitet nr	Beskrivelse	Ansvarlig	Estimert	Brukte timer
<b>2,00</b>	<b>Kravanalyse</b>			1:00
2,01	Visjonsdokument	Terje	30	29:00
2,02	Prosjektplan	Stig	75	84:00
2,03	Kravspesifikasjon	Stian	35	20:30
2,04	Testspesifikasjon	Stig	35	20:30
2,05	Risikoanalyse	Terje	10	9:00
2,06	Budsjett	Terje	10	6:30
2,07	Innhente informasjon fra leverandører	Alle	40	52:30
2,08				0:00
				0:00
	Sum		235	223:00

Aktivitet nr	Beskrivelse	Ansvarlig	Estimert	Brukte timer
<b>3,00</b>	<b>System og softwaredesign</b>			40:30
3,01	Utarbeiding av teoretisk løsning med mat.mod	Jonas	100	72:30
3,02	Utreddelse rundt bruk av filter	Jonas		0:00
3,03	Utreddelse av I/O- grensesnitt	Stian	50	39:00
3,04	Operatorstation	Stian	100	66:30
3,05	Innkjøp av hardware	Alle	25	17:00
3,06	Kurs hos Kongsberg Maritime	Alle	25	25:00
3,07	Konstruksjon	Alle	100	98:00
				0:00
				0:00
	Sum		400	358:30

Aktivitet nr	Beskrivelse	Ansvarlig	Estimert	Brukte timer
<b>4,00</b>	<b>Implementering og testing</b>			51:00
4,01	Oppkobling av hardware	Alle	150	134:30
4,02	Programmering av AIM	Stian	180	206:30
4,03	Designdokument	Alle	80	79:30
4,04	Integrering av Operatorstation	Alle	100	87:00
4,05	Integrering av sikkerhet	Jonas	50	10:00
4,06	Implementasjon av regulator og mate. mod.	Jonas / Stian	50	0:00
4,07	Tuning av regulator	Jonas / Stian	180	215:00
				0:00
				0:00
	Sum		790	783:30

Aktivitet nr	Beskrivelse	Ansvarlig	Estimert	Brukte timer
<b>5,00</b>	<b>Integrasjon og systemtesting</b>			28:00
5,01	SAT	Alle	60	0:00
5,02	FAT	Alle	20	8:00
5,03	Test av Kravspesifikasjon	Stig / Terje	70	6:00
5,04	Testrapport	Stig / Terje	20	14:00
5,05	Brukerveiledning	Jonas	20	6:00
				0:00
				0:00
				0:00
				0:00
	Sum		190	62:00

Aktivitet nr	Beskrivelse	Ansvarlig	Estimert	Brukte timer
<b>6,00</b>	<b>Drift og vedlikehold</b>			0:00
6,01	Slutførelse av demo-rigg	Alle	150	0:00
6,02	HMS-Dokument	Jonas	15	10:00
6,03	EI/Mek-Dokumentasjon	Alle	25	0:00
6,04	Etteranalyse	Alle	20	9:00
				0:00
				0:00
				0:00
				0:00
				0:00
				0:00
	Sum		210	19:00







KONGSBERG



# IP Inverted Pendulum

## KRAVSPESIFIKASJON

<b>PROSJEKT</b>	Inverted Pendulum		
<b>OPPDRAGSGIVER</b>	Kongsberg Maritime		
<b>UTFØRT VED</b>	Høgskolen i Buskerud og Vestfold avd. Kongsberg		
<b>GRUPPE</b>	Stian A Nilsen, Stig Hølen, Jonas Pettersen, Terje Valaker		
<b>REVISJON</b>	2.0		
<b>ANTALL SIDER</b>	7		
<b>DOKUMENTHISTORIKK</b>	<b>REVISJON</b>	<b>UTGITT</b>	<b>BESKRIVELSE</b>
	1.0	04.11.2013	Første utgave
	2.0	18.03.2014	Andre utgave
	3.0	24.05.2014	Tredje utgave

## INNHALDSFORTEGNELSE

INNHALDSFORTEGNELSE .....	2
TABELLER .....	2
1 DOKUMENTHISTORIE .....	3
2 INNLEDNING .....	3
3 KRAV .....	4
3.1 RAMMEKRAV.....	5
3.2 FUNKSJONELLE KRAV .....	6
3.3 MASKIN OG PROGRAMVAREKRAV .....	7

## TABELLER

Tabell 1: Dokumenthistorie.....	3
Tabell 2: Kravprioritet .....	4
Tabell 3: Kravkategorier .....	4
Tabell 4: Rammekrav.....	5
Tabell 5: Funksjonelle krav.....	6
Tabell 6: Maskin og programvarekrav.....	7

## 1 DOKUMENTHISTORIE

Tabell 1: Dokumenthistorie

VERSJON NR:	DATO ENDRET:	BESKRIVELSE:
0.1	19.10.2013	<ul style="list-style-type: none"><li>• Oppretting av dokument</li></ul>
1.0	04.11.2013	<ul style="list-style-type: none"><li>• Godkjent og utgitt</li></ul>
1.1	25.11.2013	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fjernet KF03, endret beskrivelse på KF01.</li></ul>
1.2	13.01.2014	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lagt til KF07, KR06, KR07</li><li>• Endret beskrivelse av KF04 og innhold i innledning</li><li>• KM06-KM17 opprettet</li><li>• KM06 slettet grunnet likhet med KM08</li><li>• KM07 utgår</li></ul>
2.0	18.03.2014	<ul style="list-style-type: none"><li>• Godkjent og utgitt</li></ul>
2.1	14.04.2014	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fjernet krav KR06, KR07, KF07, KM08-KM17.</li><li>• Endret innhold i innledning</li></ul>
3.0	24.05.2014	<ul style="list-style-type: none"><li>• Godkjent og utgitt</li></ul>

## 2 INNLEDNING

Dokumentet er en spesifikasjon av kravene som er utarbeidet av prosjektgruppa, på bakgrunn av krav som oppdragsgiver Kongsberg Maritime (KM) v/ Sigurd Kleppan har fremsatt. Spesifikasjonen angir en beskrivelse av hva produktet skal tilfredsstillere innenfor gitte rammer og betingelser.

I næringslivet er det svært viktig å utarbeide en kravspesifikasjon for å danne en felles forståelse mellom alle involverte parter når det gjelder hvilke rammebetingelser og krav som skal stilles til ett produkt. Da er det avgjørende at dette må være utformet før arbeidet med produktet kan begynne. Dette skaper et grunnlag for det videre arbeidet. Spesifikasjonen inneholder flere ulike krav om hva produktet skal gjøre, oppfylle, forholde seg til og tåle av påkjenninger m.m.

Spesifikasjonen danner også grunnlaget for den såkalte testspesifikasjonen som prosjektgruppa skal utarbeide. Ved å teste de ulike kravene som er fremsatt i kravspesifikasjonen, kan det konkluderes med hvorvidt produktet oppfyller oppdragsgivers krav og forventninger.

Kravene i dette dokumentet er utredet ut ifra visjonsdokumentet, kapittel 4 og 5.

### 3 KRAV

I dette kapittelet presenterer vi de ulike kravene, samt en definisjon av hvordan kravene er presentert.

Det finnes flere forskjellige typer krav til ett produkt. De ulike kravene kan deles inn i forskjellige kategorier og de kan ha forskjellig prioritet, alt ettersom hvor sentrale de er for produktet. Noen krav er mer avgjørende enn andre. Eksempel på det kan være at sikkerhet har høyere prioritet enn design.

Kravene blir derfor tildelt en prioritet A, B eller C.

Tabell 2: Kravprioritet

PRIORITET	BESKRIVELSE
A	Absolutte krav som er helt nødvendige å oppfylle. Dette er gjerne krav knyttet til sikkerhet, og krav som er helt avgjørende for å tilfredsstillе oppdragsgiver
B	Viktige krav, men som er prioritert lavere enn A-krav. Krav som er relativt viktig for å tilfredsstillе oppdragsgivers behov
C	Mindre viktige krav som kun prioriteres hvis vi har tid.

Kravene er også fordelt i kategorier:

Tabell 3: Kravkategorier

KATEGORI	BESKRIVELSE
Rammekrav	Krav som er satt som rammebetingelser til oppgaven
Funksjonelle krav	Krav til funksjoner systemet skal ivareta
Maskin- og programvarekrav	Krav til bruk av maskin- og programvare

### 3.1 Rammekrav

Tabell 4: Rammekrav

ID	PRIORITET	FREMSATT DATO	FREMSATT AV	KRAV
KR01	A	17.09.13	KM	Skal være en fysisk rigg som skal ha noe i bevegelse.
KR02	B	17.09.13	KM	Riggen skal kunne kjøre kontinuerlig uten stans.
KR03	A	17.09.13	KM	Riggen skal være pent utført, slik at den skal kunne stå plassert på et offentlig område i Kongsberg Maritimes lokaler på Kongsberg.
KR04	A	17.09.13	KM	Riggen skal kunne vises til kunder, besøkende og ansatte.
KR05	A	17.09.13	KM	Skal bevise noe av hva kontrollsystemet til Kongsberg Maritime kan utføre.

### 3.2 Funksjonelle krav

Tabell 5: Funksjonelle krav

ID	PRIORITET	FREMSATT DATO	FREMSATT AV	KRAV
KF01	A	25.11.13	KM	Staven skal være leddet slik at den kan henge loddrett for så å bli satt i stående stilling, så staven peker opp og kan balanseres på et bevegende element.
KF02	C	17.09.13	KM	Riggen skal klare å sette staven i balanse automatisk ved å trykke på skjermen, eller ut fra klokkeslett og sekvenser.
KF04	A	17.09.13	KM	Det bevegende elementet skal ha den funksjonen at den stabiliserer en stav som er vinklet.
KF05	B	17.09.13	KM	Vinkelmåling bestemmer pådraget på lineærmotoren.
KF06	A	17.09.13	KM	Sanntidskontrolleren skal regulere elementet slik at staven står mest mulig stille og korrigerer hvis forstyrrelser inntreffer.

### 3.3 Maskin og programvarekrav

Tabell 6: Maskin og programvarekrav

ID	PRIORITET	FREMSATT DATO	FREMSATT AV	KRAV
KM01	A	17.09.13	KM	Skal kontrolleres av Kongsberg sin sanntidskontroller RCU510.
KM02	A	17.09.13	KM	Operatørstasjon skal installeres.
KM03	A	17.09.13	KM	Det skal benyttes KM kontrollsystem AIM2000 for styring.
KM04	B	17.09.13	KM	Det bevegende elementet på riggen skal være en lineærakse
KM05	B	17.09.13	KM	Vinkelen skal måles med vinkelsensor (angle encoder).



KONGSBERG



# IP Inverted Pendulum

## TESTSPESIFIKASJON

<b>PROSJEKT</b>	Inverted Pendulum		
<b>OPPDRAGSGIVER</b>	Kongsberg Maritime		
<b>UTFØRT VED</b>	Høgskolen i Buskerud og Vestfold avd. Kongsberg		
<b>GRUPPE</b>	Stian A Nilsen, Stig Hølen, Jonas Pettersen, Terje Valaker		
<b>REVISJON</b>	2.0		
<b>ANTALL SIDER</b>	7		
<b>DOKUMENTHISTORIKK</b>	<b>REVISJON</b>	<b>UTGITT</b>	<b>BESKRIVELSE</b>
	1.0	05.10.2013	Første utgave
	2.0	18.03.2014	Andre utgave
	3.0	24.05.2014	Tredje Utgave

## INNHALDSFORTEGNELSE

INNHALDSFORTEGNELSE .....	2
TABELLER .....	2
1 DOKUMENTHISTORIE .....	3
2 INNLEDNING .....	3
3 OPPBYGGING AV SPESIFIKASJONEN .....	4
4 TESTPLAN .....	5
4.1 TEST AV RAMMEKRAV .....	5
4.2 TEST AV FUNKSJONSKRAV .....	6
4.3 TEST AV MASKIN OG PROGRAMVARE KRAV .....	7

## TABELLER

Tabell 1: Dokumenthistorie.....	3
Tabell 2: Testplan .....	4
Tabell 3: Rammekrav.....	5
Tabell 4: Funksjonskrav .....	6
Tabell 5: Maskin og programvarekrav.....	7

## 1 DOKUMENTHISTORIE

Tabell 1: Dokumenthistorie

VERSJON NR:	DATO ENDRET:	BESKRIVELSE:
0.1	23.10.2013	<ul style="list-style-type: none"><li>• Oppretting av dokument.</li></ul>
1.0	04.11.2013	<ul style="list-style-type: none"><li>• Godkjent og utgitt.</li></ul>
1.1	25.11.2013	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fjernet TF03 grunnet sletting av KF03.</li></ul>
1.2	13.01.2013	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lagt til TM08 grunnet nytt krav KM08 og lagt til TF07 grunnet nytt krav KF07.</li><li>• Lagt til TM10 til TM17.</li></ul>
2.0	18.03.2014	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dokumentet har blitt revidert og gitt ut.</li></ul>
2.1	14.04.2014	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fjernet TM08, TM10 til TM17 og TF07. Slettet kolonne tiltak og resultat fra tabell 2</li><li>• Slettet kolonne resultat i tabell 3,4 og 5</li><li>• Lagt til ny kolonne med godkjenningskriterium i tabell 2 – 5</li></ul>
2.2	18.04.2014	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kapittel 5 og 6 utgår i dette dokumentet, Blir egne kapitler i testrapport.</li><li>• Fra tabell 3, 4 og 5 overskrift: Testbeskrivelse/-type erstattes med Testtype.</li></ul>
3.0	24.05.2014	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dokumentet har blitt revidert og gitt ut.</li></ul>

## 2 INNLEDNING

Dette dokumentet skal skape en oversikt over hvordan vi tester kravene som er blitt fremsatt fra oppdragsgiver. Som et resultat av dette dokumentet, skal funksjonene og kravene vi har stilt til det endelige produktet verifiseres. Det tar for seg når og hvordan vi skal teste kravene.

Formålet med testspesifikasjonen er å tilfredsstillere kravspesifikasjonen. Testene i dette dokumentet er utarbeidet ut ifra kravspesifikasjonen.

### 3 OPPBYGGING AV SPESIFIKASJONEN

Testspesifikasjonen skal være et kontrollorgan som sikrer at kravene blir ivaretatt.

Den er bygget slik at den for hver test refererer til dens samsvarende krav og forteller hva som testes, hvordan testen utføres, hvilket resultat den får og til hvilket tidspunkt testen utføres.

Det er viktig å presisere at dette er et dynamisk dokument før endelige godkjenninger er på plass og dokumentet anses ferdig i henhold til produkt.

Testene settes opp etter modellen beskrevet i tabell 2.

Tabell 2: Testplan

Test.id	Krav.id	Prioritet	Testbeskrivelse	Godkjenningskriterium
Testens identitet opp mot matchende krav	Kravets identitet linkes mot test id	A, B eller C	Hvem, hva, hvor og hvordan?	Hva gjør testene godkjent

Når testene er utført trekkes det en konklusjon av resultat og det avgjøres da om det er nødvendig med tiltak og eventuell endring av krav.

## 4 TESTPLAN

Dette kapittelet presenterer de ulike testene. Oversikten følger samme oppsett som kravspesifikasjonen, og sorterer testene i samsvar med kravspesifikasjonen. Det vil bli utført tester i samarbeid med representanter fra KM.

### 4.1 Test av rammekrav

Tabell 3: Rammekrav

Test.id	Krav.id	Prioritet	Testtype	Metode	Godkjenningskriterium
TR01	KR01	A	Inspeksjonstest	Etterse at forprosjektering jobber mot å prosjektere en fysisk rigg.	Testen er godkjent ved inspeksjon av at det er en fysisk rigg, og at den har et bevegende element integrert.
TR02	KR02	B	Funksjonstest	Måle driftstid under utvikling og finne passende tider vi kan definere som kontinuerlig drift.	Testen er godkjent ved at pendelen kan reguleres kontinuerlig ettersom ytre påvirkninger inntreffer.
TR03	KR03	A	Inspeksjonstest	Inspisere innkjøpte komponenter, og se at det kan godkjennes som pent, satt i sammenheng med den totale konstruksjonen.	Testen er godkjent når representater fra KM har vurdert og godkjent riggens utførelse.
TR04	KR04	A	Inspeksjonstest	Representanter fra KM utfører en inspeksjon av den ferdig produserte riggen.	Testen er godkjent når representater fra KM har vurdert og godkjent riggens utførelse.
TR05	KR05	A	Inspeksjonstest	Påse at det er RCUen som utfører hovedsekvensene på riggen	Testen er godkjent når reguleringen av pendelen skjer via RCU 510 og AIM 2000.

## 4.2 Test av funksjonskrav

Tabell 4: Funksjonskrav

Test.id	Krav.id	Prioritet	Testtype	Metode	Godkjenningskriterium
TF01	KF01	A	Funksjonstest	Kontrollere riggens mekaniske funksjonalitet	Testen er godkjent ved at man har en leddet stav montert på et bevegende element.
TF02	KF02	C	Funksjonstest	Start av systemsekvens uten fysisk kontakt med pendel av menneske.	Testen godkjennes når man via touch-PC setter staven i balanse.
TF04	KF04	A	Inspeksjonstest	Matematisk og fysisk uttesting av systemene.	Testen er godkjent når det er en vinklet stav som balanseres.
TF05	KF05	B	Funksjonstest	Kontrollere elektromekanisk funksjonalitet	Testen er godkjent når det via vinkelsensor styrer pådraget til lineærmotoren.
TF06	KF06	A	Funksjonstest	Matematisk og fysisk uttesting av systemene.	Testen er godkjent ved vurdering fra KM's representanter.

### 4.3 Test av maskin og programvare krav

Tabell 5: Maskin og programvarekrav

Test.id	Krav.id	Prioritet	Testtype	Metode	Godkjenningskriterium
TM01	KM01	A	Inspeksjonstest	Se over at vi bruker riktig system	Testen er godkjent når RCU 510 er tilkoblet og utfører reguleringen av systemet.
TM02	KM02	A	Inspeksjonstest	Se over at vi bruker riktig system	Operatørstasjon er integrert i riggen, og man kan betjene riggen via operatørstasjon.
TM03	KM03	A	Inspeksjonstest	Se over at vi bruker riktig system	AIM 2000 styrer reguleringen av riggen.
TM04	KM04	B	Inspeksjonstest	Se over at vi bruker riktig system	Testene er godkjent når det kan dokumenteres at vi har en lineærakse fra leverandør.
TM05	KM05	B	Inspeksjonstest	Se over at vi bruker riktig system	Testen er godkjent når vi bruker vinkelsensor for måling av vinkelen.



KONGSBERG



# IP Inverted Pendulum

---

## DESIGNDOKUMENT

<b>PROSJEKT</b>	Inverted Pendulum		
<b>OPPDRAGSGIVER</b>	Kongsberg Maritime		
<b>UTFØRT VED</b>	Høgskolen i Buskerud og Vestfold avd. Kongsberg		
<b>GRUPPE</b>	Stian A Nilsen, Stig Hølen, Jonas Pettersen og Terje Valaker		
<b>REVISJON</b>	1.0		
<b>ANTALL SIDER</b>	68		
<b>DOKUMENTHISTORIKK</b>	<b>REVISJON</b>	<b>UTGITT</b>	<b>BESKRIVELSE</b>
	1.0	17.03.2014	Første utgave
	2.0	25.05.2014	Andre utgave

## INNHALDSFORTEGNELSE

INNHALDSFORTEGNELSE .....	2
TABELLER .....	4
FIGURER .....	4
<b>1 DOKUMENTHISTORIE .....</b>	<b>5</b>
<b>2 INNLEDNING .....</b>	<b>5</b>
<b>3 UTSTYR .....</b>	<b>6</b>
3.1 RCU .....	6
3.2 BEVEGENDE ELEMENT .....	7
3.3 VINKELGIVER .....	8
3.4 OPERATØRSKJERM.....	<b>FEIL! BOKMERKE ER IKKE DEFINERT.</b>
3.5 BORD.....	10
3.5.1 Valg av type bord .....	10
3.5.2 Konstruksjon av bord.....	11
<b>4 SYSTEMDESIGN.....</b>	<b>12</b>
4.1 OPPBYGGING OG UTFØRELSE .....	13
4.2 KOMMUNIKASJON OG STØY .....	14
4.3 PROGRAMMERINGSVERKTØY .....	15
4.3.1 IO-oppsett i AIM2000 .....	15
4.3.2 Programmering og implementering i AIM2000 .....	19
4.4 SYSTEMTOPOLOGI .....	20
<b>5 MATEMATISK MODELL .....</b>	<b>22</b>
5.1 DYNAMIKK OG MODELLERING .....	23
5.2 LA-PLACETRANSFORMASJON.....	27
5.3 DISKRETISERING .....	31
5.3.1 Med matlab .....	31
5.3.2 Med matematisk utregning.....	33
5.4 BEREGNING AV PENDELENS MASSESENTER L .....	35
5.5 BEREGNING AV PENDELENS TREGHETSMOMENT.....	37
5.6 UTARBEIDELSE AV TRANSFERFUNKSJON FOR MOTORKONTROLLEREN .....	37
5.7 BLOKKDIAGRAM.....	37
5.8 REGULATORER.....	39
5.9 TRANSFERFUNKSJONENE.....	39
5.10 TEORI TIL PRAKSIS.....	39
5.11 PID-OPTIMALISERING VED ZIEGLER OG NICHOLS METODE [8] .....	40
5.12 MATLAB OG ANALYSE.....	41
5.12.1 M-script .....	41
5.13 MATLAB-PLOTT .....	42
<b>6 REGULATORDESIGN .....</b>	<b>45</b>
6.1 DESIGN .....	46
6.1.1 Design 1: Posisjon og hastighet.....	46
6.1.2 Design 2: Kraft.....	46
6.1.3 Design 3: Akselerasjon.....	47
6.2 KONKLUSJON REGULATORDESIGN .....	48

- 6.3 OPPSUMMERING REGULATORDESIGN ..... 49
  - 6.3.1 *Optimalisering av regulator* ..... 49
  - 6.3.2 *Swing-up*..... 52
- 7 REFERANSER ..... 53**
- 8 VEDLEGG ..... 54**

## TABELLER

Tabell 1: Dokumenthistorie.....	5
Tabell 2: Matrise for valg av lineærakse .....	7
Tabell 3: Matrise for valg av vinkelgiver.....	8
Tabell 4: Matrise for valg av operatørskjerm .....	9
Tabell 5: Utstyrliste.....	12
Tabell 6: Signaler og handlinger .....	14
Tabell 7: IO-liste, controlbyte 1 for motorkontrolleren .....	16
Tabell 8: IO-liste, controlbyte 2 for motorkontrolleren .....	17
Tabell 9: IO-liste, controlbyte 3 for motorkontrolleren .....	18
Tabell 10: IO-liste, controlbyte 4 for motorkontrolleren .....	18
Tabell 11, vekt og lengde til massesenter .....	36
Tabell 12: Ziegler & Nichols - tabell.....	40
Tabell 13: Vedlegg.....	54

## FIGURER

Figur 1: Quick-set profil-system .....	10
Figur 2: Demonstrasjonsrigg .....	11
Figur 3: Koblingsskap.....	13
Figur 4: Systemtopologi .....	20
Figur 5: Figur av systemet med krefter .....	22
Figur 6: Vogn med krefter .....	23
Figur 7: Pendelens massesenter .....	23
Figur 8: Root locus plott av pendelens transferfunksjon (65). .....	30
Figur 9: Steprespons av pendelens transferfunksjon (65). .....	31
Figur 10: Bodeplott av C2D diskretisering. ....	32
Figur 11: Steprespons av MatLabs egen diskretisering .....	32
Figur 12: Root Locus plott av MatLabs egen diskretisering .....	33
Figur 13: Marginplott av den diskrete modellen.....	34
Figur 14, steprespons av den diskrete modellen .....	35
Figur 15: Illustrasjon av pendelens masser, lengder oppgitt i mm. ....	36
Figur 16: Blokkdiagram av Invertert Pendel.....	38
Figur 17: Root Locus plott av systemet med påført støy .....	42
Figur 18: Bode-plott av systemet med påført støy .....	42
Figur 19: Steprespons av systemet påført støy .....	43
Figur 20: Root Locus plott av systemet med stepp i referansen.....	43
Figur 21: Bode-plott med step i referansen .....	44
Figur 22: Steprespons med step i referansen .....	44
Figur 23: Utgangspunkt for utregning av avviksformel .....	49

## 1 DOKUMENTHISTORIE

Tabell 1: Dokumenthistorie

VERSJON NR:	DATO ENDRET:	BESKRIVELSE:
0.1	06.01.2014	<ul style="list-style-type: none"><li>• Oppretting av dokument</li></ul>
0.2	16.03.2014	<ul style="list-style-type: none"><li>• Matematisk modell er lagt inn</li></ul>
1.0	18.03.2014	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dokumentet har blitt revidert og gitt ut</li></ul>
1.1	15.04.2014	<ul style="list-style-type: none"><li>• Endret beskrivelse for valg av utstyr.</li></ul>
1.2	23.05.2014	<ul style="list-style-type: none"><li>• Matematisk modell er revidert</li><li>• Regulatordesign lagt til</li></ul>
2.0	24.05.2014	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dokumentet har blitt revidert og gitt ut</li></ul>

## 2 INNLEDNING

Designdokumentet skal gi et innblikk i gruppa sin tankegang om design og funksjonalitet til oppgaven. Dokumentet tar for seg kravene for valg av nødvendig utstyr, oppbygging og utførelse, programmering, matematiske modell og regulatordesign. Det skal danne grunnlaget for videre arbeid med å få implementert et funksjonelt og stabilt system til å balansere pendelen.

Løsninger til utførelse av riggen skal bestemmes for å tilfredsstille kravene gitt av oppdragsgiver.

## 3 UTSTYR

I dette prosjektet er det utlevert en RCU-kontroller sammen med en strømforsyning fra KM. Kontrolleren utgjør den elementære rollen i riggen, og det vil være en mer detaljert beskrivelse rundt denne i kapittel 3.1.

Gruppen har så måtte velge nødvendige komponenter til riggen selv:

- Bevegende element
- Vinkelgiver
- Operatørskjem
- Bord

### 3.1 RCU

Prosjektgruppen har fått utlevert en RCU510 av KM. Denne skal ansluttes spenning med medfølgende 24V strømforsyning. Strømforsyningen er produsert av Phoenix Contacts. Den har en nominell utgangsspenning på  $24VDC \pm 1\%$ , samt en utgangsstrøm på 10A.

RCU-kontrolleren krever en inngangsspenning på  $24VDC \pm 20\%$  og har et effektbehov på maximum 20W. Det er ut ifra dataene som er mottatt ikke noe problem å benytte den medfølgende spenningsforsyningen.

RCU-kontrolleren danner grunnlaget for kommunikasjonen med resten av utstyret gruppa skal velges ut ifra resultater i dette kapittel.

Kontrolleren har mulighet for kommunikasjon via tradisjonell IO <sup>1</sup>, ethernet og profibus. Gruppen har valgt å bruke profibus [1] og dette har dannet et av kravene videre for valg av utstyr til oppgaven.

---

<sup>1</sup> Med tradisjonell IO menes; Digitale signaler, samt 0-10V /4-20mA analoge signaler

### 3.2 Bevegende element

Etter krav satt fra oppdragsgiver om at det bevegende elementet skulle være en lineærakse, ble jobben rundt dette betraktelig redusert. Som viktige kriterier for valg av lineærakse ble akselerasjon, fysisk størrelse, kommunikasjonstype og pris satt i fokus.

Den fysiske størrelsen ble valgt på bakgrunn av ønske fra oppdragsgiver om at riggen skulle være tilnærmet størrelsen til normalt bord. Det har blitt valgt å bruke profibus kommunikasjon grunnet problematikken med støy. Det vil ikke kunne bli samme utfordringer ved bruk av profibus som det ville blitt med for eksempel 4-20mA kommunikasjonsprotokoll. Akselerasjon på lineæraksen er gitt ved beregninger fra utstyrsleverandør. Disse beregningene ble funnet akseptable i henhold til hva lineæraksen skal utføre. Som en del av kriteriene har det blitt tatt en vurdering når det gjelder prisnivå.

Som en del av den totale vurderingen er det blitt vurdert flere leverandører. Kriterier som ikke ble innfridd som fysisk størrelse og akselerasjon gjordet at disse måtte utelukkes. På bakgrunn av disse vurderingene har det blitt valgt en lineærakse fra Festo. Dette kommer fram i tabell 2.

- Akselerasjon: Produkt vil bli rangert med raskest til tregest akselerasjon. Raskest er 1.
- Fysisk størrelse: Utgangspunkt i standard bord (130cm). Minimum 800mm og maksimum 1200mm.
- Kommunikasjon: Profibus
- Pris: Billigst vil bli prioritert, så lenge de andre kravene er oppfylt.

X markerer at krav er oppfylt, mens på pris vil 1 være billigst og 2 dyrest.

Tabell 2: Matrise for valg av lineærakse

ID	Levrandør	Akselerasjon	Fysisk størrelse	Kommunikasjon	Pris	Valgt utstyr
KU.1	FESTO	1	X	X	1	X
KU.2	AFAG	2	-	X	2	-

I tillegg til at Festo var billigst, var det også den leverandøren som klarte å levere det utstyret med best utseende. Dette sammen med at de oppnådde krav om størrelse og var raskest i akselerasjon gjorde at Festo ble valgt.

### 3.3 Vinkelgiver

Etter å ha tatt kontakt med Festo anbefalte de en produsent som de har hatt god erfaring med. Produsenten heter Hengstler. Det falt naturlig å se på hvilke forskjellige typer givere denne produsenten kunne tilby. De hadde en rekke forskjellige givere, og gruppa tok derfor kontakt for å hente inn informasjon og pristilbud. Som viktige kriterier for valg av vinkelgiver er vekt, oppløsning, kommunikasjon, type og pris.

Vekten til vinkelgiveren ønsket vi å holde på et så lavt nivå som mulig. Dette grunnet lineæraksen sin kapasitet på hvor mye den kan ha som last, maks 5kg. For at regulering skal kunne bli så nøyaktig som mulig er det viktig med god oppløsning på vinkelgiveren. Vinkelgiveren som er valgt har 16384 målepunkter på pr. omdreining, noe som gjør den svært nøyaktig. Kommunikasjons metoden til denne giveren var som standard oppsatt med profibus. Det ble sett på som hensiktsmessig med en absolutt encoder i riggens installasjon da dette ville gi en eksakt posisjon/vinkel på akselen.

Hengstler hadde vinkelgivere som oppfylte alle våre kriterier, og etter en samtale viste det seg at de ble såpass interessert i dette prosjektet at de besluttet å sponse gruppa med en vinkelgiver. Det ble dermed tatt en beslutning på at Hengstler ble valgt som leverandør av vinkelgiver. Dette sparte gruppa for litt tid.

Tabell 3: Matrise for valg av vinkelgiver

ID	Levrandør	Vekt	Oppløsning	Kommunikasjon	Absolutt (A) / Inkrementell (I)	Pris	Valgt utstyr
KU.6	HENGSTLER	X	X	X	A	X	X

Før arbeidet med å finne vinkelgiver var begynt, hadde allerede Festo anbefalt Hengstler. Da Hengstler ble kontaktet, sa de at de ønsket å sponse gruppa med en vinkelgiver. Siden vinkelgiveren hadde en god oppløsning og profibus som kommunikasjon, så gruppa ingen betenkeligheter med å velge denne vinkelgiveren.

### 3.4 Operatørskjerm

Skjermen skal være berøringsfølsom og skal vise informasjon fra riggen. Bildet må være klart, og det skal ikke være store forsinkelser. Grappa har for enkelhetsskyld besluttet at operatørskjermen skal:

- Være berøringsfølsom panel-PC<sup>2</sup>
- Ha mulighet for å integreres i bordriggen
- Ha 7" - 15" skjerm

Under prosessen med valg av operatørskjerm har det blitt lagt vekt på de tre punktene over. Fordelen med en berøringsfølsom panel-PC var at integrering av skjermen ble enklere. Reduksjon av kabling mellom skjerm og styreenhet er også en fordel med en slik PC. En skjermstørrelse på 12" vil være ideelt med tanke på plass og mulighet for integrering.

KM anbefalte at panel-PCen bør ha SSD disk og Windows XP. Det ble innhentet informasjon om tre aktuelle produkter, fra tre forskjellige produsenter. Resultatet presenteres i tabell 4. ARCHMI ble, selv om den ikke var rimeligst, valgt. Dette da det var den eneste som oppfylte kravet til SSD disk og skjermstørrelse.

X markerer at krav er oppfylt, mens tallverdiene i kolonnen «pris» rangerer fra rimeligst til dyrest der 1 er rimeligst.

Tabell 4: Matrise for valg av operatørskjerm

ID	Levrandør	Touchskjerm	Windows XP	SSD-Disk	Skjerm størrelse	Mulighet for integrering	Pris	Valgt utstyr
KU.3	ARCHMI - 712	X	X	X	12"	X	2	X
KU.4	HP IQ770	X	-	-	19"	-	3	-
KU.5	MSI 23	X	X	-	23"	X	1	-

<sup>2</sup> Panel-PC har både skjerm og PC i en kompakt enhet

## 3.5 Bord

I kapittel 3.5 vil valg av type bord og konstruksjon av dette bli presentert.

### 3.5.1 Valg av type bord

Etter ønske fra oppdragsgiver om å bygge et industri-preget bord, ble det kontaktet flere aktuelle leverandører. Det var viktig med profiler av en type med god stabilitet og pent utseende. Merito Automation leverer et system som heter Quick-set. Dette er et fleksibelt system hvor man står fritt til å bygge slik man måtte ønske.

Det ble valgt å benytte seg av profilene fra Merito Automation på bakgrunn av en solid aluminiumprofil og pent utseende. Med systemet til Quick-set fikk man også muligheten til å konstruere bordet uten særlige begrensninger.



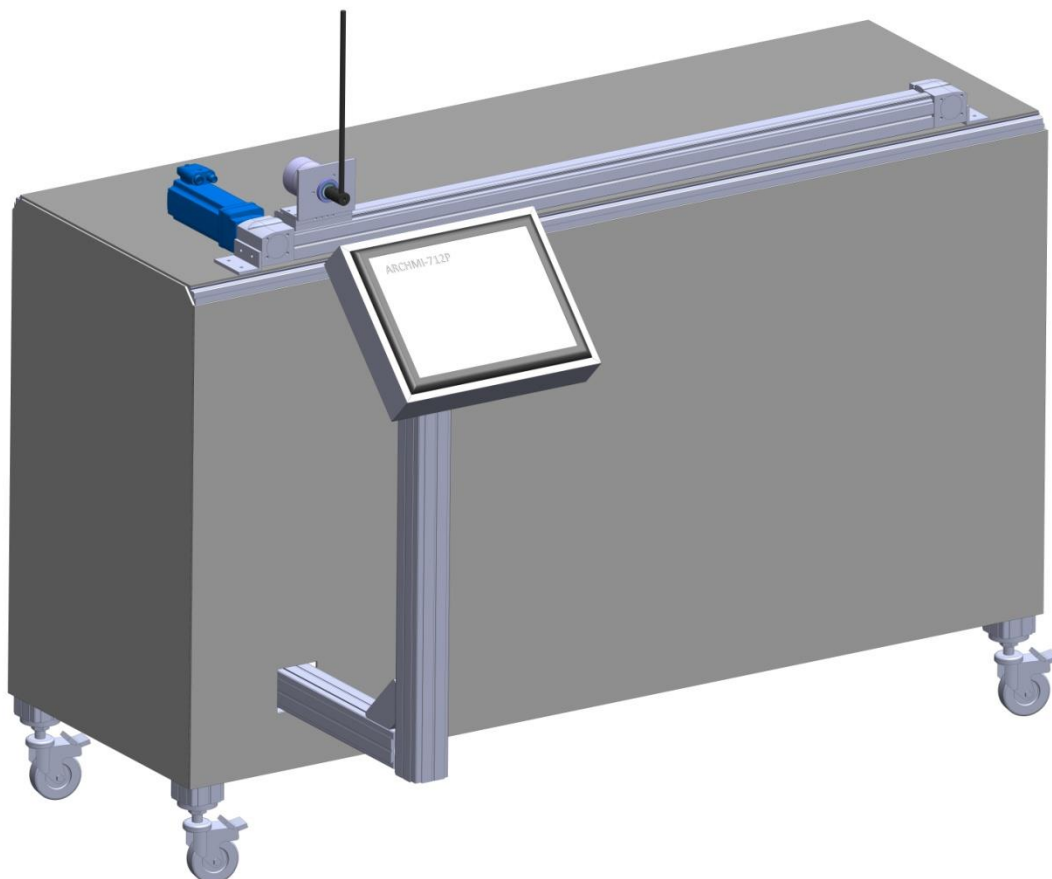
Figur 1: Quick-set profil-system

Gruppen var i kontakt med Aluflex System AS som også er leverandør av slike profiler. Disse skulle gi gruppen en pris, men etter gjentatte påringninger fra gruppen klarte de aldri å levere en pris. Disse ble derfor valgt bort som leverandør.

### 3.5.2 Konstruksjon av bord

Det er brukt 3D-modelleringsprogrammet SolidWorks for å konstruere bordet. Leverandøren av bordet leverer web-baserte CAD-tegninger, noe som resulterte i at det kunne lages en fullskala-modell ut i fra krav og ønsker. Dette gjorde arbeidet med montering av bordet lettere ettersom vi kunne lage tegninger ut i fra modellen.

Det er konstruert en ramme for integrering av panel-PC tilhørende riggen. Vedlegg 11 og 12 viser deler til rammen hvor Panel-PCen er integrert. Disse er sveiset sammen for deretter å ha blitt overflatebehandlet. En oversikt over tegninger laget i forbindelse med konstruksjonen av riggen finnes i tabell 12, dette dokument. Figur 2 viser 3D-modellen av den ferdige riggen.



Figur 2: Demonstrasjonsrigg

## 4 SYSTEMDESIGN

Systemdesignet skal ta for seg hvordan gruppa har tenkt at de tekniske løsningene skal utføres og hvilket type utstyr som skal brukes. Tabell 5 viser hvilke komponenter som skal benyttes.

Tabell 5: Utstysliste

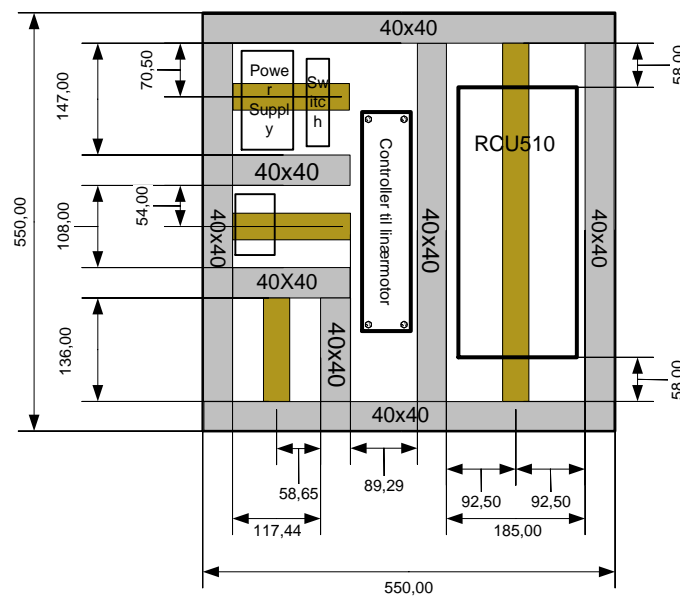
Utstysområde	Utstyrstype
Motor	Lineærmotor
	Kontroller til lineærmotor
Vinkelmåling	Absolutt encoder
Controller	RCU 510
Software	AIM2000
	SolidWorks
	MS Visio
	MatLab
	Festo Configuration Tool
Powersupply	230VAC / +24VDC
Kabling	Profibus støyskjermet kabel
	RK 0,75mm <sup>2</sup> til 24VDC
	RK 1.5mm <sup>2</sup> til 230VAC <sup>2</sup>
Bord	Aluminiumsplate for topp
	Quick-set komponenter
	Plexiglass
Operatørstasjon (integrert)	Panel-PC med berøringsskjerm.

### 4.1 Oppbygging og utførelse

KM har satt krav til at utførelsen skal se pen og representabel ut. Det er derfor besluttet å bestille et spesialtilpasset bord i aluminium. Det er gruppa selv som tegner bordet i SolidWorks og leverer tegningen til en bedrift som kan ta bestillingen. Utgangspunktet til designet ligger i et enkelt og stilrent utseende, samt ha en utforming som gjør at utstyr og kabler enkelt kan skjules. Det foreligger en utfordring i å få operatørskjermen integrert på en fornuftig måte. Her står det mellom å ha operatørskjermen på eksternt stativ eller integrert på bordet.

Pendelen som skal balanseres festes direkte på vinkelgiveren. Vinkelgiveren er festet på en lineærakse som blir skrudd fast på riggen. Motoren som driver beltet på lineæraksen er fastmontert i den ene enden av aksen. Det blir her lagt vekt på å ha gode festeordninger, da motoren som driver vognen generer mye krefter. Her er gruppa nødt til å tenke på at vekten på vinkelgiveren, sammen med pendelen, må være lav for å forhindre ustabilitet i bordet. Skulle det bli slakk i noen av festene kan dette medføre uønsket ustabilitet i systemet og slitasje på riggen. Kabelføringen til vinkelgiveren vil gå via et kabeljede festet til bordet.

Elektriske komponenter, med unntak av motor og vinkelgiver vil bli plassert i et koblingsskap. Koblingsskapet skal være plassert under bordplaten. Arrangementstegning for skapet er presentert i figur 3. Gruppa har laget en layout med alle mål til dette skapet i MS Visio. Elektrisk koblingsskjema for skapet ligger som vedlegg 14.



<b>Standard KB skap 60x60</b>	
Alle mål er i millimeter	
	Dato: 07012014
	Tegnet av: T.Valaker

Figur 3: Koblingsskap

I denne prosessen vil det gå med mye tid til å lære AIM2000, som er KM sin programvare for å programmere kontrolleren RCU510. Det er blitt gitt en grunnleggende opplæring i programmet. KM har meldt at de ikke har så store muligheter for å kunne komme og hjelpe til på skolen, så assistanse vil i hovedsak være telefonsupport.

Det vil være en del signaler som må behandles i AIM. Disse signalene er listet opp i tabell 6. Hele styringen for å kontrollere pendelen vil foregå via regulatorer i AIM software. Designet på regulatorene er presentert i kapittel 6, dette dokument.

Kontrolleren skal kjøre med en scantid på 20ms, altså en frekvens på  $\tau = \frac{1}{t} = \frac{1}{0.02s} = 50Hz$ . Dette er kontrollerens høyeste scanfrekvensen. Dette lar seg gjøre, da programmet ikke vil være så stort og krevende. Konsekvensen ved for stort program vil være at belastningen på kontrolleren vil bli for stor. Løsningen ved et for stort program med 20ms scantid må bli å redusere scantiden.

Tabell 6: Signaler og handlinger

Signal	Handling
Pådrag til motor	Styres fra Kontroller, via AIM
Hastighet på motor	Registreres og vises i AIM
Posisjon på traversvogn	Registreres og vises i AIM, og styres via AIM
Vinkelmåling	Registreres og vises i AIM, styrer pådrag til lineærmotor
Endebryter på lineærakse	Registreres i AIM, hindrer av traversvogn går for langt

## 4.2 Kommunikasjon

Det er valgt å bruke profibus som kommunikasjon mellom de ulike objektene på riggen. Det er valgt hovedsakelig på bakgrunn av to faktorer:

- Motorkontrolleren til lineæraksen er begrenset til 0-10V analog signal, og/eller profibus
- Vinkelsensor har bedre nøyaktighet ved bruk av profibus.

Grunnen til at det ikke er valgt 0-10V på motorkontrolleren er støy, da en spenningsløyfe vil være mer utsatt for støy enn strømsløyfe. 4-20mA kunne vært aktuelt å bruke da strøm ikke er så lett påvirkelig av støy som spenning, men det vil ikke være et alternativ grunnet begrensinger i motorkontrolleren.

En profibussløyfe vil derimot være godt skjermet mot støy. Det må tilføyes at det i dette prosjektet er snakk om korte avstander, og faren for støy i kretsen derfor begrenser seg. Temaet er også tatt opp med veilederne fra KM, samt Festo. Begge stiller seg ubekymret til dette. Det forutsettes at koblingene skjermes nøye og korrekt med de kablene som skal brukes. En annen fordel med profibus er at det er bare en kabel og forholde seg til.

## 4.3 Programmering

For å kunne sette i gang med programmering må det gjøres følgende:

- Objekter må kobles opp
- Hardwareadresser må gis til objekter
- IO må settes opp på objektene
- IO må knyttes til moduler i program
- Objekter må testes

### 4.3.1 IO-oppsett i AIM2000

Da det er brukt Profibus, må det for å opprettes en IO-database, brukes et tilleggsprogram til AIM. Dette for å sette opp en GSD fil<sup>3</sup> tilhørende hvert objekt. For å gjøre dette brukes programmet SyCon.

GSD er en fil som settes opp for å få kommunikasjon mellom objekt og kontroller når det brukes profibus. Med denne filen kan man sette opp objektet slik man ønsker for å få de signalene og signalområdene som trengs. I dette prosjektet er det lineæraksen som har de fleste parametere som trenger å bli satt opp. Parameterne som settes opp er i form av bit. Et av/på signal opptar et bit, mens et tilbakemelding- eller pådragssignal bruker 1 til 4 byte, hvorav 1 byte består av 8 bit. Vinkelsensor skal bare gi tilbakemelding av vinkel. Gruppen har satt opp denne med  $2^{14} = 16384$  step pr. omdreining eller  $\frac{360}{16384} = 0.02197^\circ$  pr step. Den er også satt opp slik at den nullstiller seg for hver omdreining.

---

<sup>3</sup> General Station Description - Fil for å kunne knytte profibus i en IO-database

Tabell 7: IO-liste, controlbyte 1 for motorkontrolleren

Bit	Handling				
B0 <b>Enable</b>	Aktiverer motorkontrolleren	= <b>1: Aktiver kontrolleren</b>			
		= 0: Blokker kontrolleren			
B1 <b>Stopp</b>	Stopper prosessen	= <b>1: Prosess kan kjøre</b>			
		= 0: Stopp aktiveres (prosessen stoppes med maksimal brems)			
B2 <b>Brake</b>	Åpner bremsen i lineæraksen	= <b>1: Åpner brems</b>			
		= 0: Aktiverer brems			
B3 <b>Reset</b>	Resetter motorkontroller ved evt. feil. Dette kan være at vognen har gått utenfor definert område, for tung last etc. Feil må være eliminert ved reset.				
B4 -	Reservert. Må være med verdi 0.				
B5 <b>Lock</b>	Kontrolltilgang til lokal parametrisering av motorkontrolleren	= <b>1: Software kan bare observere og ikke ta over kontrollen av motorkontrolleren</b>			
		= <b>0: Software kan ta kontroll over motorkontrolleren og modifisere paramtere.</b>			
B6 <b>OPM1</b>	Velger operasjonsmodus	Nummer	Bit 7	Bit 6	Operasjonsmodus
		0	0	0	Record
B7 <b>OPM2</b>		<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	Direkte modus
		2	1	0	Reservert
		3	1	1	Reservert

Tabell 7 viser oppsett av de forskjellige bittene i controlbyte 1 for motorkontrolleren.<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Uthevet skrift viser initialverdier prosessen skal ha ved normaldrift.

Tabell 8: IO-liste, controlbyte 2 for motorkontrolleren

Bit	Handling	
B0 Halt	Halt, bestemt stopp	= 1: Halt ikke forespurt = 0: Halt aktivert, lineæraksen stopper med en bestemt deakslerasjon
B1 Start	Starter en posisjonering	= 1: Prosessen kjører lineærvogn til betemt posisjon = 0: Vogn kjører ikke
B2 HOME	Kjører homing. Selvkalibreringssekvens.	= 1: Kjører homing = 0: Homing ikke bestilt
B3 JOGP	Jog-positiv. Kjører vognen manuelt med bestemt hastighet i positiv retning	
B4 JOGN	Jog-negativ. Kjører vognen manuelt med bestemt hastighet i negativ retning	
B5 Teach	Lærer vognen faktisk verdi. På fallende flanke vil den faktiske verdien bli til et nominelt register.	
B6 Clear	I halt modus så vil fallende flanke føre til posisjoneringsdata vil bli slettet	
B7 -	Reservert bit. Må være 0.	

Tabell 8 viser en IO-liste som i hovedsak tar for seg styrekommandoer.

Startbittet er det bittet som kjører trigger «start bevegelse av vogn». Vognen starter på stigende flanke av dette bittet. En utfordring som har oppstått her er at vognen kun beveger seg på stigende flanke på startbit. Dette gjør at startbittet må være høy i en syklus, gå lav i neste syklus, så høy igjen. Dermed må det kjøres en oscillerende funksjon på dette bittet som gjør at det totalt vil være 25 startpulser pr sekund.

Tabell 9: IO-liste, controlbyte 3 for motorkontrolleren

Bit	Handling				
B0 ABS	Absolutt / Relative	= 1: Nominell verdi er relativ til den siste lagrede nominelle verdien			
		= 0: Nominell verdi er absolutt			
B1 COM1	Kontrollmodus	Nummer	Bit 2	Bit 1	Control
		0	0	0	Posisjonskontroll
		1	0	1	Kraftmodus
B2 COM2		2	1	0	Hastighetskontroll
		3	1	1	Reservert
B3 FNUM 1	Funksjonsnummer. Vil ikke være i bruk i dette prosjektet.				
B4 FNUM 2					
B5 FGRP 1	Funksjonsgruppe. Vil ikke være i bruk i dette prosjektet.				
B5 FGRP 2					
B7 FUNC	Funksjon. Vil ikke være i bruk i dette prosjektet.				

COM1 og COM2 i tabell 9 angir hvilke parameter som skal styres til kontrolleren. Pådraget blir hentet ut fra controlbyte 4.

Tabell 10: IO-liste, controlbyte 4 for motorkontrolleren

Bit	Handling		
B0...B7		Valg som er avhengig av kontrollmodus	
	Hastighet	Posisjonkontroll	Hastighet i % av baseverdi
	-	Kraftmodus	Ingen funksjon
	Hastighetsramp	Hastighetskontroll	Hastighetsramp i % av baseverdien

Tabell 10 viser kontrollbyte som styrer hvilken hastighet vognen skal gå med. Det er dette byte som skal reguleres, avhengig av hvilken posisjon pendelen står i. Desto større avvik i forhold til oppreist posisjon, desto større hastighet må vognen få.

Motorkontrolleren er avansert og har veldig mange bit tilgjengelig som kan styres. Grappa trenger ikke å ta hensyn til alle bit, men de mest vesentlige bit som skal styres er i tabell 7, 8, 9 og 10.

## 4.3.2 Programmering og implementering i AIM2000

Programmering i AIM gjøres ved å bruke standardiserte program- og funksjonsmoduler som finnes i databasen. I denne databasen finnes de fleste moduler for å lage en reguleringsløyfe til pendelen. De forskjellige modulene knyttes til IOene, som vist i kap 4.3.1, til hvert enkelt objekt. Når alle IOene som skal brukes er tilknyttet kan programmeringen starte.

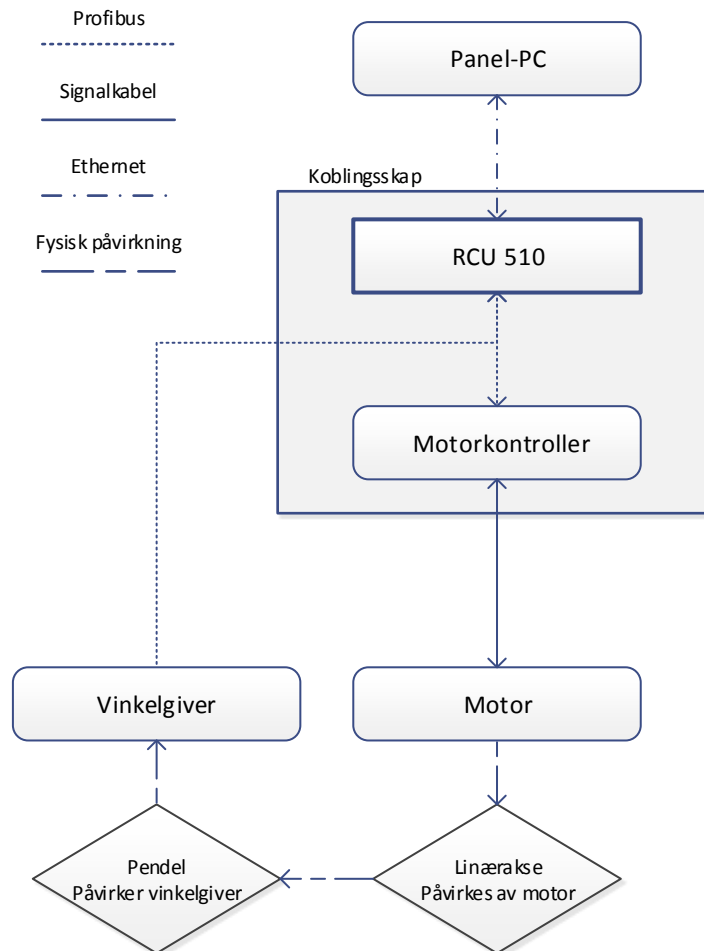
Selve reguleringen vil skje via en PID blokk som finnes i AIM. Inngangssignal på denne vil være endringen (avvik i forhold til setpunkt) i vinkelen på pendelen. Utgangen er tenkt være regulering av kraft eller en kombinasjon av posisjon og hastighet. Mer detaljer om dette finnes i kapittel 6, dette dokument. PID parametere vil settes utfra den matematiske modellen som blir utledet i kapittel 5, dette dokument.

Pendelen skal balanseres midt på lineæraksen, det må derfor programmeres en funksjon som kan ta seg av denne delen. Her kan det være mulig å tenke en funksjon hvor ønsket plassering av pendelen kan settes fritt.

Det skal være et skjermbilde som skal kunne betjenes via en touchskjerm. Denne skjermen har sanntidskommunikasjon og kan vise posisjon på vognen, vinkelen på pendelen og diverse annen informasjon. Dette vil være statusmeldinger, eventuelle feilmeldinger, reset av feil etc.

### 4.4 Systemtopologi

Kapittel 4.1 i dette dokumentet har tatt for seg hvordan oppbyggelsen og utførelsen av systemet er tenkt. Figur 4 presenterer en systemtopologi som enkelt viser hvordan kommunikasjon og oppbygging mellom de forskjellige komponentene er satt opp.



Figur 4: Systemtopologi

RCU 510 er som tidligere nevnt den sentrale komponenten i systemtopologien. Denne kontrollerer alle signaler, og kommuniserer med profibus ut til motorkontroller og vinkelgiver. De eksterne veilederne har gitt uttrykk for at det burde gå greit å sette opp profibus-protokollene, men at det vil kunne dukke opp uforutsette hendelser som kan forsinke arbeidet.

Selve motoren som driver lineæraksen har ikke RCU direkte kontakt med. Motoren må styres fra en egen motorkontroller, med egne separate strøm- og signalkabler. RCU behandler derimot alle signalene inn og ut av denne motorkontrolleren. Motoren driver fysisk lineæraksen, som igjen påvirker pendelen. Pendelen gir et fysisk utslag på vinkelsensoren som igjen gir tilbakemelding til RCU om vinkel. Det er dette signalet som angir et avvik i forhold til setpunkt i regulatoren. RCU sender ingen signaler til vinkelgiveren, den bare mottar.

Som det også kan sees på figur 4 ligger vinkelsensor og motorkontroller på samme profibussløyfe, hvor de er tildelt hver sin unike hardware-adresse.

Panel-PCen er tilkoblet RCU via ethernet, og brukes kun for å presentere et skjermbilde og utføre enkle operasjoner. Bildet vil vise tilbakemeldt informasjon og ha virtuelle knapper for å sende enkle kommandoer til RCU via AIM2000. Da skjermen vil ha tilgang til hele programmet i AIM2000, må noen funksjoner låses slik at ikke uvedkomne får tilgang til å kunne endre programmet eller parametere. KM vil bistå med oppsett av skjermen.

Systemet kan ved første øyekast virke enkelt med få objekter, men oppsettet og programmeringen er avansert. Det er holdt av mye tid til både oppkobling, programmering og optimalisering av systemet. Ved siden av dette skal hele den fysiske riggen monteres opp slik at det ser pent og representabelt ut for KM sine kunder og ansatte, noe som vil være tidkrevende. Det er tatt med i tidsberegningen at det sannsynligvis må gjøres noen kosmetiske tilpasninger under oppbyggingen av riggen.

## 5 MATEMATISK MODELL

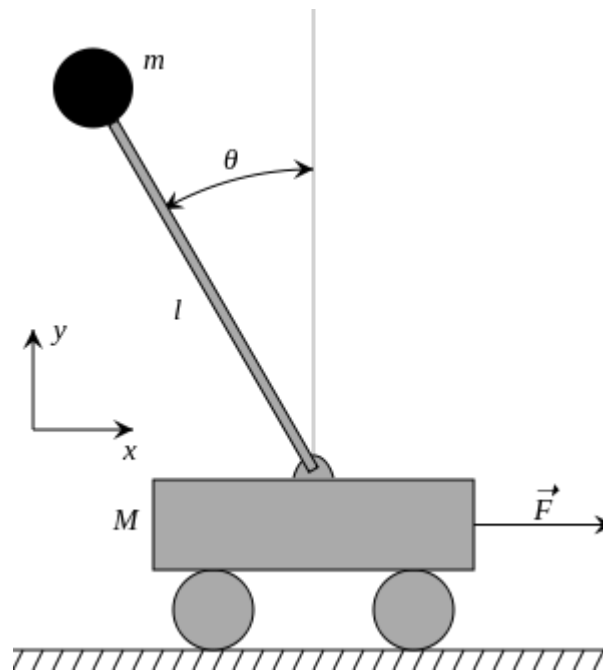
I dette kapitlet vil utledningen av den matematiske modellen for Inverted Pendulum bli nøye gjennomgått og forklart. Modellen vil ta for seg:

- Fysiske parametere
- Dynamiske likninger
- La-Place transformasjoner
- Transferfunksjoner
- Ziegler & Nichols metode
- Diskretisering
- Poler og nullpunkter
- Root-locus diagrammer
- Matlab-tester

I arbeidet med dette kapitlet har gruppa lest seg opp faglig ved bruk av internett, notater og bøker[3],[5],[6],[9] og sett forelesninger[4].

Formålet med denne modellen er å gi en god forståelse og teknisk innsikt i hvordan alle krefter fungerer på systemet, samt gi en teknisk innsikt i hvordan gruppa arbeider seg frem til de parametere som trengs for å kunne få en stabil regulering.

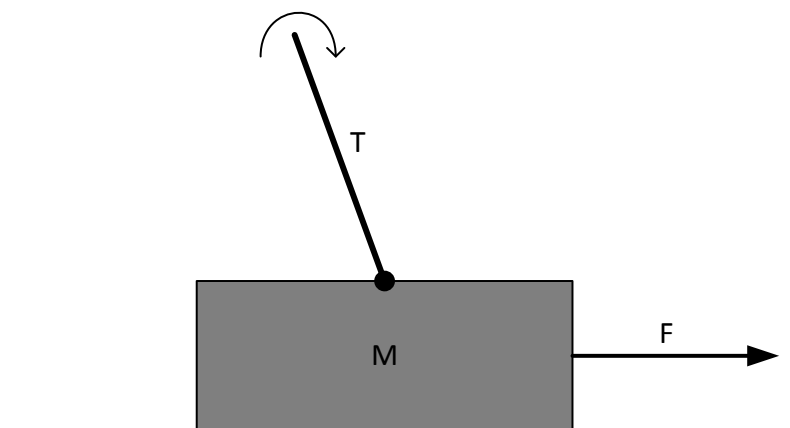
For å kunne velge riktige parametere i reguleringsalgoritmene er det en forutsetning at systemets oppførsel er kjent.



Figur 5: Figur av systemet med krefter

## 5.1 Dynamikk og modellering

Gruppen har fått faglig bistand av La  
Ser først på vogna med masse M.



Figur 6: Vogn med krefter

Ser på figur 6. Antar at spenningen «T» i pendelen er aksial, og ser bort fra eventuelle kraftmomenter i opphengspunktene og friksjon mellom vognen og banen.

Lar  $x$  være posisjonen til vogna (horisontalt) og bruker Newtons 2. lov i  $x$ -retning:

$$\sum F_x = M\ddot{x}_M \tag{1}$$

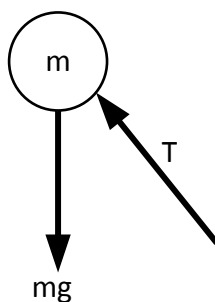
$$\sum F_x = F + T \sin(\theta) \tag{2}$$

Dette gir:

$$F + T \sin(\theta) = \sum F_x = M\ddot{x}_M \tag{3}$$

$$F + T \sin(\theta) = M\ddot{x}_M \tag{4}$$

Ser nå på massen til pendelen  $m$  i figur 7:



Figur 7: Pendelens massesenter

$$\sum F_x = m\ddot{x}_m \quad (5)$$

$$\sum F_x = -T \sin(\theta) \quad (6)$$

$$-T \sin(\theta) = \sum F_x = m\ddot{x}_m \quad (7)$$

Som sammen blir:

$$-T \sin(\theta) = m\ddot{x}_m \quad (8)$$

Benytter koordinatene  $x_m$  og  $y_m$  for massen  $m$ , og  $x_M$  og  $y_M$  for massen  $M$ . Setter så inn i likning 4 og får

$$F + T \sin(\theta) = M\ddot{x}_M \quad (9)$$

$$F = M\ddot{x}_M - T \sin(\theta) \quad (10)$$

Setter inn likning 8 for  $-T \sin(\theta)$

$$F = M\ddot{x}_M + m\ddot{x}_m \quad (11)$$

Innfører  $x_m$  og  $y_m$  som koordinater for massen  $m$ . I forhold til innfestningspunktet for pendelen på vogna er disse:

$$x_m = x_M - l * \sin(\theta) \quad (12)$$

$$y_m = l * \cos(\theta) \quad (13)$$

Ønsker et uttrykk for akselerasjonen til koordinatene med utgangspunkt i posisjonen. Dette skapes ved å derivere koordinatene to ganger da dette gir følgende: (posisjon)'= hastighet og (hastighet)'=akselerasjon. Dobbel derivasjon for  $x_m$ :

$$x_m = x_M - l * \sin(\theta) \quad (14)$$

$$\dot{x}_m = \dot{x}_M - l(\cos(\theta) * \dot{\theta}) \quad (15)$$

$$\ddot{x}_m = \ddot{x}_M - l(-\sin(\theta) * \dot{\theta}^2 + \cos(\theta) * \ddot{\theta}) \quad (16)$$

$$\ddot{x}_m = \ddot{x}_M + l * \sin(\theta) * \dot{\theta}^2 - l * \cos(\theta) * \ddot{\theta} \quad (17)$$

Dobbel derivasjon for  $y_m$ :

$$y_m = l * \cos(\theta) \quad (18)$$

$$\dot{y}_m = l * -\sin(\theta) * \dot{\theta} \quad (19)$$

$$\ddot{y}_m = l(-\cos(\theta) * \dot{\theta}^2 - \sin(\theta) * \ddot{\theta}) \quad (20)$$

$$\ddot{y}_m = -l * \cos(\theta) * \dot{\theta}^2 - l * \sin(\theta) * \ddot{\theta} \quad (21)$$

Setter uttrykket for  $\ddot{x}_m$  inn i likning 11 for å finne kraften som påvirker systemet i horisontalaksen ( $x$  – aksen)

$$F = M\ddot{x}_M + m\ddot{x}_m \quad (22)$$

$$F = M\ddot{x}_M + m(\ddot{x}_M + l * \sin(\theta) * \dot{\theta}^2 - l * \cos(\theta) * \ddot{\theta}) \quad (23)$$

$$F = M\ddot{x}_M + m\ddot{x}_M + l * m * \sin(\theta) * \dot{\theta}^2 - l * m * \cos(\theta) * \ddot{\theta} \quad (24)$$

$$\underline{\underline{F = (M + m)\ddot{x}_M + l * m * \sin(\theta) * \dot{\theta}^2 - l * m * \cos(\theta) * \ddot{\theta}}} \quad (25)$$

Formel 25 gir den første dynamiske likningen som beskriver systemet. Det er denne formelen som brukes mest blant andre prosjekter med samme tema.

Setter nå opp formelen for den kraften  $F$  i det vertikale planet. Det bruker Newtons 2. lov for massen  $m$  i vertikal retning:

$$\sum F_y = m\ddot{y}_m \quad (26)$$

$$T \cos(\theta) - mg = m\ddot{y}_m \quad (27)$$

Setter så inn likning 21, utledet for  $\dot{y}_m$ , i likning 27 og får:

$$T \cos(\theta) - mg = m(-l \cos(\theta) \dot{\theta}^2 - l \sin(\theta) \ddot{\theta}) \quad (28)$$

$$T \cos(\theta) - mg = -l m \cos(\theta) \dot{\theta}^2 - l m \sin(\theta) \ddot{\theta} \quad (29)$$

Løser likning 8 mht.  $T$ , for så å implementere den i likning 29:

$$-T \sin(\theta) = M\ddot{x}_m \quad (30)$$

$$T = -\frac{M\ddot{x}_m}{\sin(\theta)} \quad (31)$$

Setter inn likning 17 i likning 31 for  $\ddot{x}_m$  og videre inn i likning 29:

$$\begin{aligned} & -\frac{m(\ddot{x}_M + l \sin(\theta) \dot{\theta}^2 - l \cos(\theta) \ddot{\theta})}{\sin(\theta)} \cos(\theta) - mg \\ & = -l m \cos(\theta) \dot{\theta}^2 - l m \sin(\theta) \ddot{\theta} \end{aligned} \quad (32)$$

Deler på massen  $m$ , og ganger med  $\sin(\theta)$  i alle ledd:

$$\begin{aligned} & -\frac{m(\ddot{x}_M + l \sin(\theta) \dot{\theta}^2 - l \cos(\theta) \ddot{\theta})}{\sin(\theta)} \cos(\theta) \sin(\theta) \frac{1}{m} - mg \sin(\theta) \frac{1}{m} \\ & = -l m \cos(\theta) \dot{\theta}^2 \sin(\theta) \frac{1}{m} - l m \sin(\theta) \ddot{\theta} \sin(\theta) \frac{1}{m} \end{aligned} \quad (33)$$

$$-\ddot{x}_M \cos(\theta) - l \sin(\theta) \cos(\theta) \dot{\theta}^2 + l \cos(\theta)^2 \ddot{\theta} - g \sin(\theta) = -l \cos(\theta) \sin(\theta) \dot{\theta}^2 - l \sin(\theta)^2 \ddot{\theta} \quad (34)$$

Stryker  $-l \sin(\theta) \cos(\theta) \dot{\theta}^2$  på begge sider:

$$-\ddot{x}_M \cos(\theta) - l \sin(\theta) \cos(\theta) \dot{\theta}^2 + l \cos(\theta)^2 \ddot{\theta} - g \sin(\theta) = -l \cos(\theta) \sin(\theta) \dot{\theta}^2 - l \sin(\theta)^2 \ddot{\theta} \quad (35)$$

$$-\ddot{x}_M \cos(\theta) + l \cos(\theta)^2 \ddot{\theta} - g \sin(\theta) = -l \sin(\theta)^2 \ddot{\theta} \quad (36)$$

$$-\ddot{x}_M \cos(\theta) - g \sin(\theta) = -l \sin(\theta)^2 \ddot{\theta} - l \cos(\theta)^2 \ddot{\theta} \quad (37)$$

Faktorerer  $-l \sin(\theta)^2 \ddot{\theta} - l \cos(\theta)^2 \ddot{\theta}$ :

$$-\ddot{x}_M \cos(\theta) - g \sin(\theta) = -l\ddot{\theta}(\sin(\theta)^2 + \cos(\theta)^2) \quad (38)$$

$$-\ddot{x}_M \cos(\theta) - g \sin(\theta) = -l\ddot{\theta} \quad (39)$$

$$\underline{\underline{l\ddot{\theta} - g \sin(\theta) = \ddot{x}_M \cos(\theta)}} \quad (40)$$

Legger til forstyrrelse i form av eksternt påført akselerasjon på pendelen,  $l f(\theta)$  i likning 40 (Dette utledes også av Alan V. Oppenheim [4]) og får:

$$l\ddot{\theta} - g \sin(\theta) = \ddot{x}_M \cos(\theta) + \text{forstyrrelse}(l f(\theta)) \quad (41)$$

$$l\ddot{\theta} - g \sin(\theta) = \ddot{x}_M \cos(\theta) + l f(\theta) \quad (42)$$

Der:

- $l\ddot{\theta}$  er vinkelakselerasjonen påtrykt pendelen.
- $g \sin(\theta)$  er gravitasjonens påtrykk på pendelens masse.
- $\ddot{x} \cos(\theta)$  er akselerasjon påtrykt av vognen M.
- $l f(\theta)$  er akselerasjon påført av eksterne forstyrrelser.

## 5.2 La-placetransformasjon

Ettersom våre dynamiske formler er ulineære må det tas noen friheter for og lineærisere modellen. Siden  $\sin(\theta) \approx \theta$  og  $\cos(\theta) \approx 1$ , når  $\theta \approx 0$  setter  $\sin(\theta) = \theta$  og  $\cos(\theta) = 1$ .

Får da:

$$F = (M + m)\ddot{x}_M + l * m * 0 * \dot{\theta}^2 - l * m * 1 * \ddot{\theta} \quad (43)$$

$$F = (M + m)\ddot{x}_M - lm\ddot{\theta} \quad (44)$$

Posisjonen, farten og akselerasjonen til M er gitt absolutt, opp til M=5kg last påført vognen, av Festo kontrolleren.

$$F = (M + m)\ddot{x}_M - lm\ddot{\theta} \quad (45)$$

Og

$$l\ddot{\theta} - g\theta = \ddot{x}_M + \text{forstyrelse}(lf(\theta)) \quad (46)$$

Som blir:

$$l\ddot{\theta} - g\theta = \ddot{x}_M + lf(\theta) \quad (47)$$

La-placetransformerer:

$$\mathcal{L}\{F = (M + m)\ddot{x}_M - lm\ddot{\theta}\} \quad (48)$$

$$F(s) = (M + m)(S^2 x_M(s) - Sx_M(0) - \dot{x}_M(0)) - lm(S^2 \theta(s) - S\theta(0) - \dot{\theta}(0)) \quad (49)$$

$$F(s) = (M + m)S^2 x_M(s) - (M + m)Sx_M(0) - (M + m)\dot{x}_M(0) - lmS^2 \theta(s) - lmS\theta(0) - lm\dot{\theta}(0) \quad (50)$$

$$\theta(s) = \frac{-F(s) + (M + m)S^2 x_M(s) - (M + m)Sx_M(0) - (M + m)\dot{x}_M(0) - lmS\theta(0) - lm\dot{\theta}(0)}{lmS^2} \quad (51)$$

$$\theta(s) = -\frac{F(s)}{lmS^2} + \frac{(M + m)S^2 x_M(s)}{lmS^2} - \frac{(M + m)Sx_M(0)}{lmS^2} - \frac{(M + m)\dot{x}_M(0)}{lmS^2} - \frac{lmS\theta(0)}{lmS^2} - \frac{lm\dot{\theta}(0)}{lmS^2} \quad (52)$$

$$\theta(s) = \frac{(M + m)S^2 x_M(s)}{lmS^2} - \frac{F(s)}{lmS^2} \quad (53)$$

Og

$$\mathcal{L}\{l\ddot{\theta}(t) - g\theta(t) = \ddot{x}_M(t) + lf(s)\} \quad (54)$$

$$l(S^2\theta(s) - S\theta(0) - \ddot{\theta}(0)) - g\theta(s) = S^2x_M(s) - Sx_M(0) - \dot{x}_M(0) + lf(s) \quad (55)$$

$$lS^2\theta(s) - lS\theta(0) - l\ddot{\theta}(0) - g\theta(s) = S^2x_M(s) - Sx_M(0) - \dot{x}_M(0) + lf(s) \quad (56)$$

$$lS^2\theta(s) - g\theta(s) = S^2x_M(s) - Sx_M(0) - \dot{x}_M(0) + lS\theta(0) + l\ddot{\theta}(0) + lf(s) \quad (57)$$

$$\theta(s)(lS^2 - g) = S^2x_M(s) - Sx_M(0) - \dot{x}_M(0) + lS\theta(0) + l\ddot{\theta}(0) + lf(s) \quad (58)$$

Dette gir transferfunksjonen for  $\theta(s)$ :

$$\theta(s) = \frac{S^2x_M(s) - Sx_M(0) - \dot{x}_M(0) + lS\theta(0) + l\ddot{\theta}(0) + lf(s)}{(lS^2 - g)} \quad (59)$$

Separerer transferfunksjonene leddvis.

$$\theta(s) = \frac{S^2x_M(s)}{(lS^2 - g)} - \frac{Sx_M(0)}{(lS^2 - g)} - \frac{\dot{x}_M(0)}{(lS^2 - g)} + \frac{lS\theta(0)}{(lS^2 - g)} + \frac{l\ddot{\theta}(0)}{(lS^2 - g)} + \frac{lf(s)}{(lS^2 - g)} \quad (60)$$

Ser på systemet uten initialverdier:

$$\theta(s) = \frac{1}{(lS^2 - g)} [S^2x_M(s) - Sx_M(0) - \dot{x}_M(0) + lS\theta(0) + l\ddot{\theta}(0) + f(s)] \quad (61)$$

$$\theta(s) = \frac{1}{(lS^2 - g)} [S^2x_M(s) + f(s)] \quad (62)$$

$$G(S) = \frac{\theta(s)}{S^2x_M(s) + f(s)} = \frac{1}{(lS^2 - g)} \quad (63)$$

Eller

$$\theta(s) = \frac{S^2x_M(s)}{(lS^2 - g)} + \frac{f(s)}{(lS^2 - g)} - \frac{Sx_M(0)}{(lS^2 - g)} - \frac{\dot{x}_M(0)}{(lS^2 - g)} + \frac{lS\theta(0)}{(lS^2 - g)} + \frac{l\ddot{\theta}(0)}{(lS^2 - g)} \quad (64)$$

$$\theta(s) = \frac{S^2x_M(s)}{(lS^2 - g)} + \frac{f(s)}{(lS^2 - g)} \quad (65)$$

Ser på systemet med null eksterne forstyrrelser ( $f(s) = 0$ ):

$$\theta(s) = \frac{S^2 x_M(s)}{(lS^2 - g)} + 0 \frac{1}{(lS^2 - g)} \quad (66)$$

$$\theta(s) = \frac{S^2}{(lS^2 - g)} x_M(s) \quad (67)$$

$$\underline{\underline{G_{f(s)=0}(s) = \frac{\theta(s)}{x_M(s)} = \frac{S^2}{(lS^2 - g)}}} \quad (68)$$

Ser på systemet uten endring av vognens posisjon ( $x_M(s) = 0$ ) og ender opp med:

$$\theta(s) = 0 \frac{S^2}{(lS^2 - g)} + \frac{f(s)}{(lS^2 - g)} \quad (69)$$

$$\theta(s) = \frac{1}{(lS^2 - g)} f(s) \quad (70)$$

$$\underline{\underline{G_{x_M(s)=0}(s) = \frac{\theta(s)}{f(s)} = \frac{1}{(lS^2 - g)}}} \quad (71)$$

Ut ifra de foregående utledningene kan det bli funnet en transferfunksjon for påført akselerasjon av vognen. Ser da på formelen for endring av posisjon:

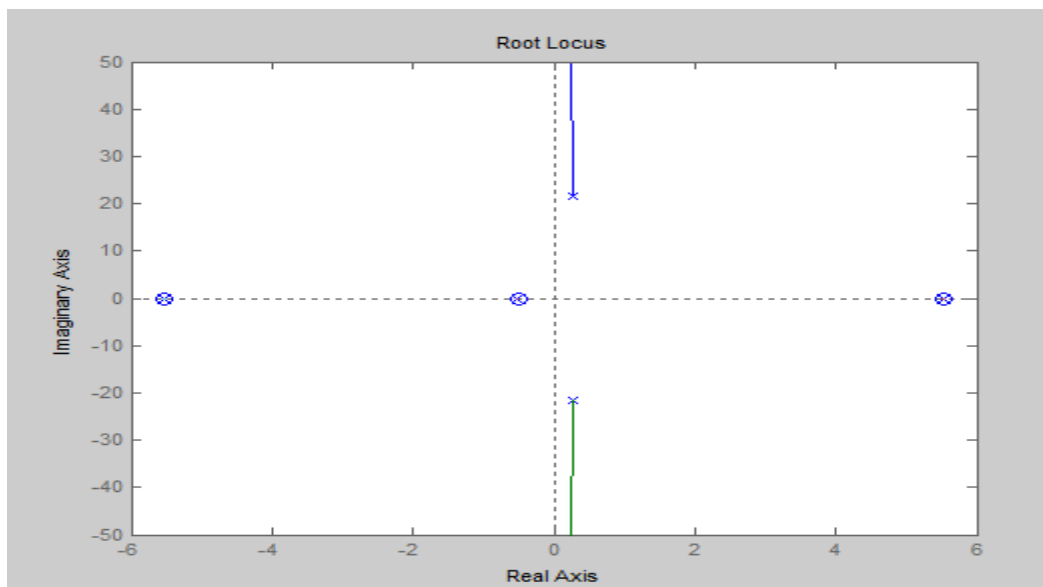
$$\theta(s) = \frac{s^2}{(1s^2 - g)} x_M(s) \quad (72)$$

Der  $a_M(s)$  er akselerasjon av vognens posisjon:

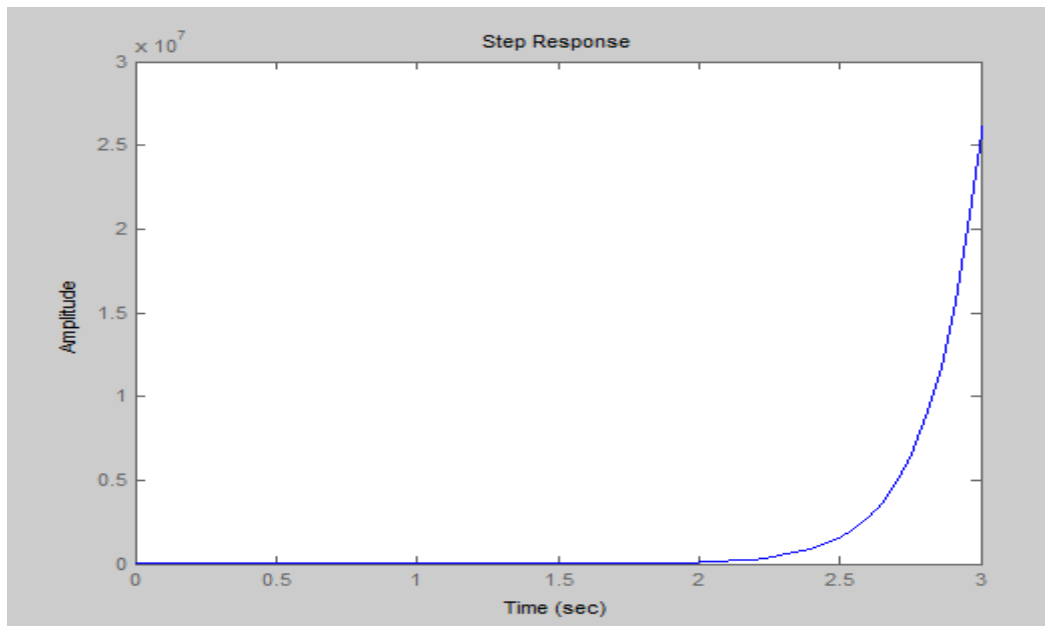
$$a_M(s) = s^2 * x_M(s) \quad (73)$$

Som gir transferfunksjonen for akselerasjon av vognen:

$$\underline{\underline{\theta(s) = \frac{1}{(1s^2 - g)} a_M(s)}} \quad (74)$$



Figur 8: Root locus plott av pendelens transferfunksjon (65).



Figur 9: Steprespons av pendelens transferfunksjon (65).

Fra figur 9 kan en se at modellen er ustabil og trenger regulering for å oppnå stabilitet.

## 5.3 Diskretisering

### 5.3.1 Med matlab

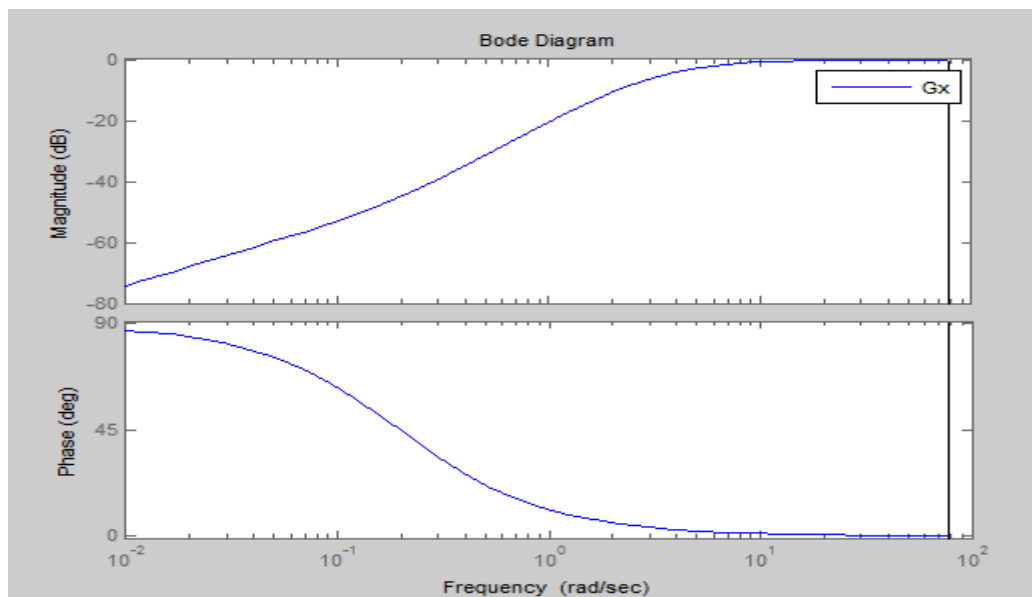
MatLab har en funksjon med navnet C2D som brukes til å diskretisere kontinuerlige systemer. C2D brukes videre for å diskretisere de ulike systemene der dette er et behov. Riggeren styres av en PLS der det er en samplingstid på  $T_s = 25 H$  ut på vognen. Det er brukt Matlab til å diskretisere systemet med funksjonen C2D. I dette eksempel brukes  $l = 0.3202 m$  og  $g = 9.81 m/s^2$

Får da:

$$G(S) = \frac{S^2}{(IS^2 - g)} \rightarrow G(Z) = \frac{z^2 - 2,008z + 1.008}{z^2 - 2,016z + 1} = \frac{\left(z - \frac{126}{125}\right)(z - 1)}{(z - 0,8813)(z - 1,1347)} = \frac{(z - 1,008)(z - 1)}{(z - 0,8813)(z - 1,1347)} \quad (75)$$

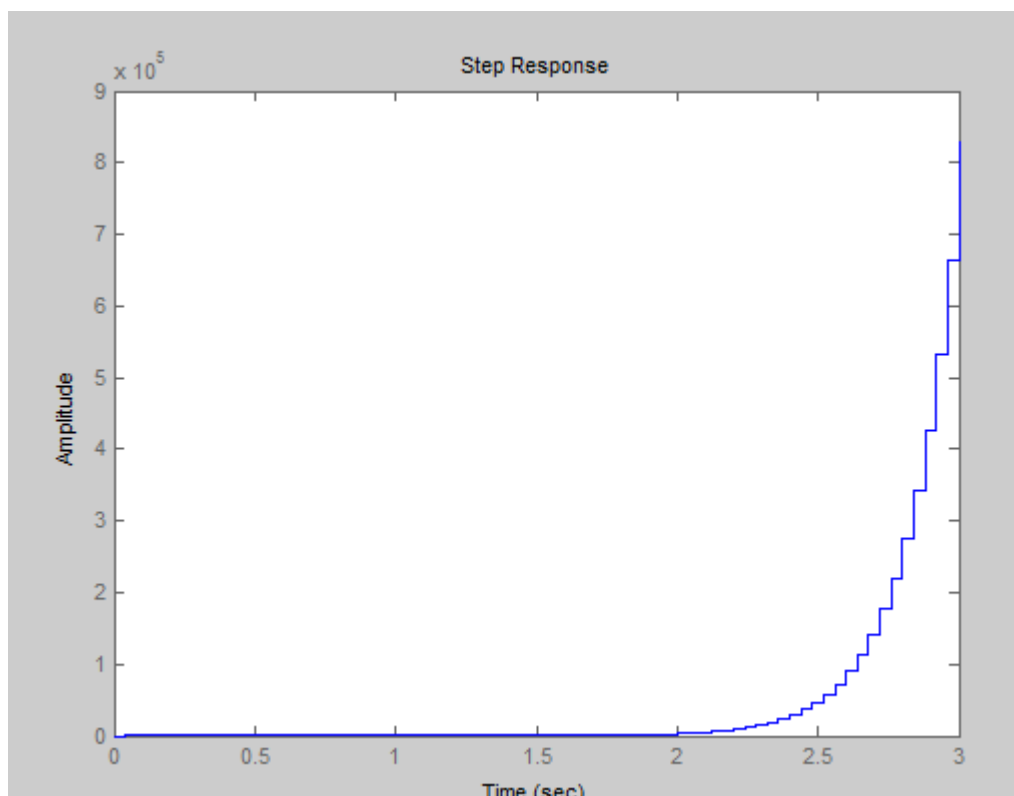
Ser på likning 75 og sammenligner den med denne:

$$G(Z) = \frac{(z - 1)^2}{(z - 0,8813)(z - 1,1347)} \quad (76)$$

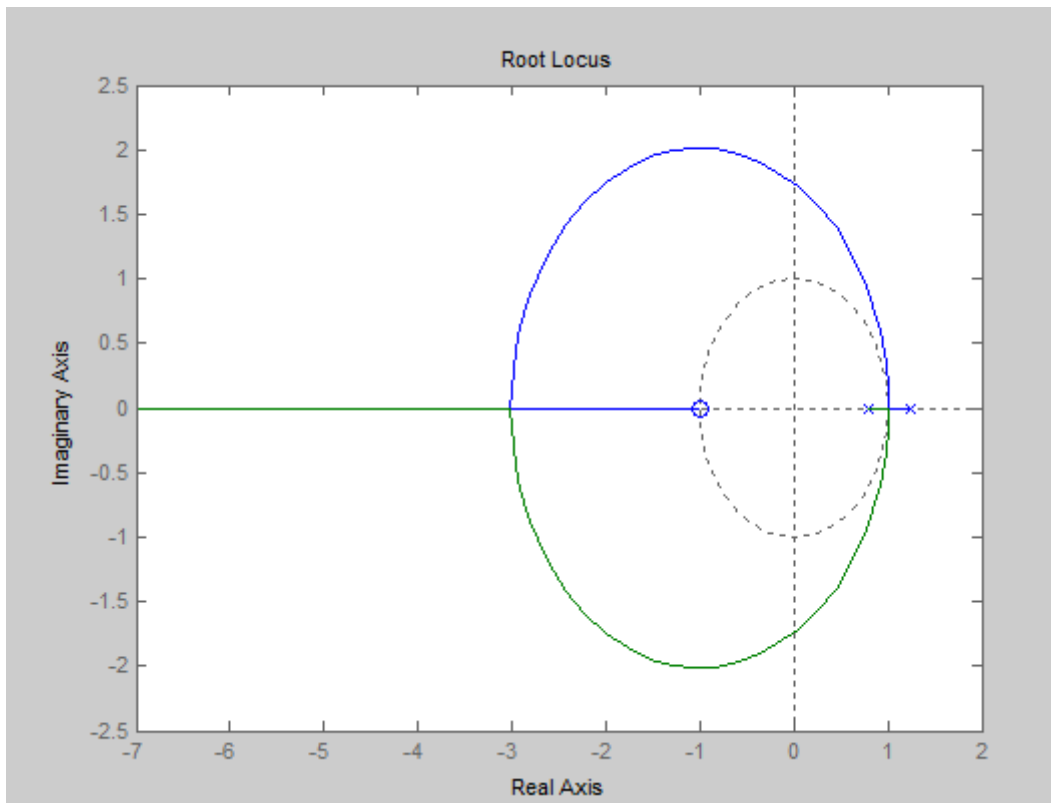


Figur 10: Bodeplott av C2D diskretisering.

Ser at dette systemet er ustabil og må ha en regulering for å oppnå stabilitet.



Figur 11: Stepspons av MatLabs egen diskretisering



Figur 12: Root Locus plott av MatLabs egen diskretisering

Det gir oss som forventet et ustabil system med to poler i høyre halvplan.

### 5.3.2 Med matematisk utregning

Ser på likning (47), men utelater for enkelhets skyld støyen  $f$  for denne utledningen.

$$l\ddot{\theta} - g\theta = \ddot{x} \tag{77}$$

Diskretiserer (Det finnes flere måter å gjøre dette på):

$$l \frac{\theta(k-1) - 2\theta(k) + \theta(k+1)}{\Delta t^2} - g\theta(k) = \frac{x(k-1) - 2x(k) + x(k+1)}{\Delta t^2} \tag{78}$$

Ganger alle ledd med  $\Delta t^2$  og stikker om på likningen:

$$x(k+1) - 2x(k) + x(k-1) = -g\theta(k)\Delta t^2 + l\theta(k-1) - 2l\theta(k) + l\theta(k+1) \tag{79}$$

Z-transformerer:

$$zX(z) - zx(0) - 2X(z) = -g\theta(z)\Delta t^2 + lz^{-1}\theta(z) - 2l\theta(z) + lz\theta(z) - lz\theta(0) \tag{80}$$

$$\theta(z) = \frac{X(z)(z-2) - zx(0) + lz\theta(0)}{(-g\Delta t^2 + lz^{-1} - 2l + lz)} \tag{81}$$

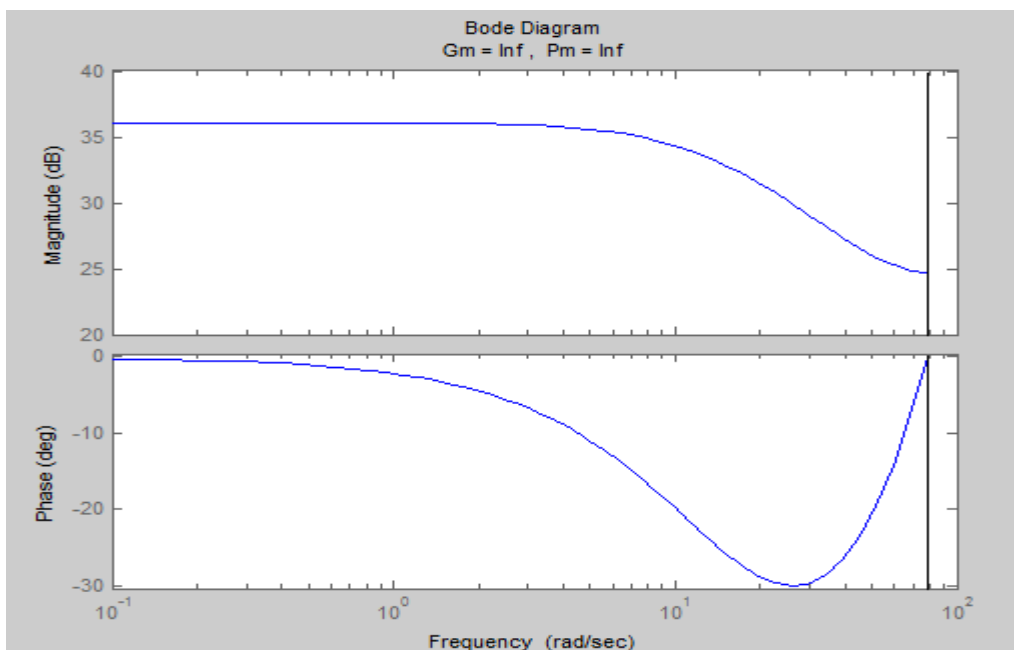
Setter inn for  $\Delta t^2 = \text{samplignstiden} = 25 \text{ Hz} = 0,04^2 \text{ sek} = 0,0016$ , og for  $l = 0,3202 \text{ m}$  og for  $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  og stryker start tilstandene:

$$G = \frac{\theta(z)}{X(z)} = \frac{(z - 2) - zx(0) + lz\theta(0)}{(-9,81 * 0,0016 + 0,04z^{-1} - 2 * 0,04 + 0,04z)} \quad (82)$$

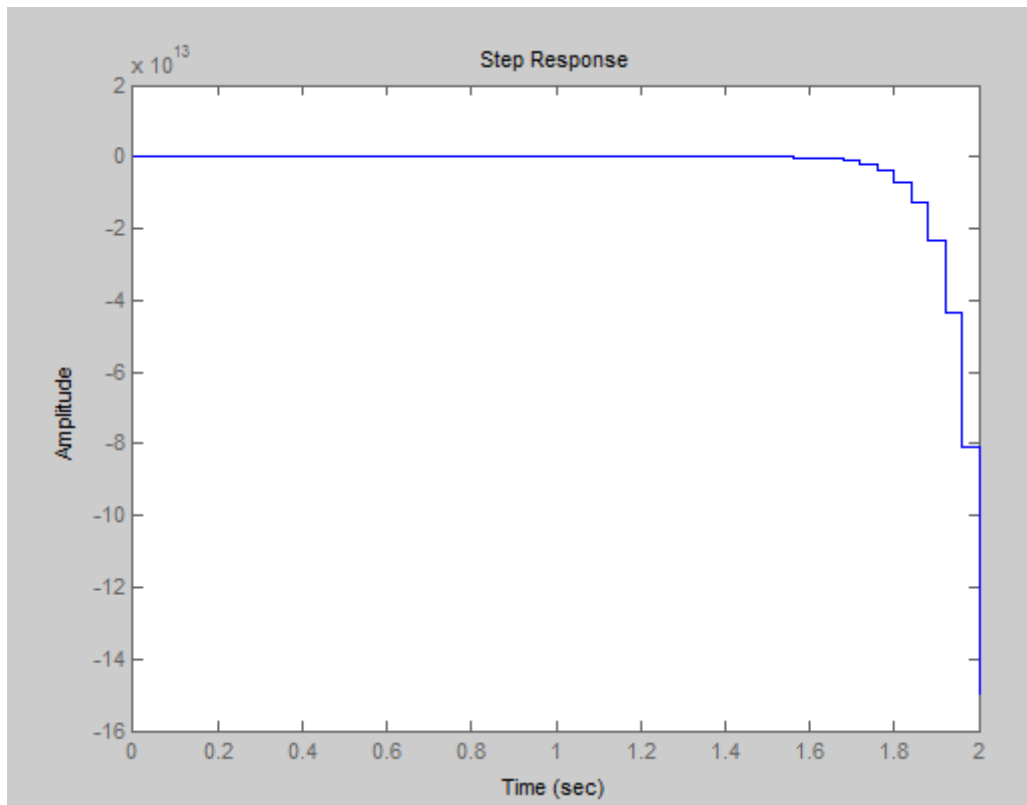
$$G = \frac{\theta(z)}{X(z)} = \frac{(z - 2) - zx(0) + lz\theta(0)}{(-9,81 * 0,0016 + 0,04z^{-1} - 2 * 0,04 + 0,04z)} \quad (83)$$

$$G = \frac{\theta(z)}{X(z)} = \frac{(z - 2)}{(-9,81 * 0,0016 + 0,04z^{-1} - 2 * 0,04 + 0,04z)} \quad (84)$$

Plotter dette systemet inn i MatLab og ser da på fasemarginer og frekvensmarginer i bodediagram:



Figur 13: Marginplott av den diskrete modellen



Figur 14, steprespons av den diskrete modellen

Ser at igjen at dette systemet også er ustabil, stående uten tilbakekobling og regulator. Dette gjengis av to poler i høyre halvplan som i seg selv gir et ustabil system. Ser at dette likner veldig MatLabs eget plott om man ser bort fra at det er speilvendt og smått raskere. Dette kommer av metoden som ble brukt for diskretisering og at den ikke er den samme metode som matlab selv bruker i sin C2D funksjon.

### 5.4 Beregning av pendelens massesenter L

I tidligere angitte formler opereres det med lengden L som beskriver lengden fra innfestningspunktet til vognen og frem til pendelens akkumulerte massesenter. Det utledes i dette underkapittelet hvordan lengden L beregnes og brukes videre.

Ser da på formelen:

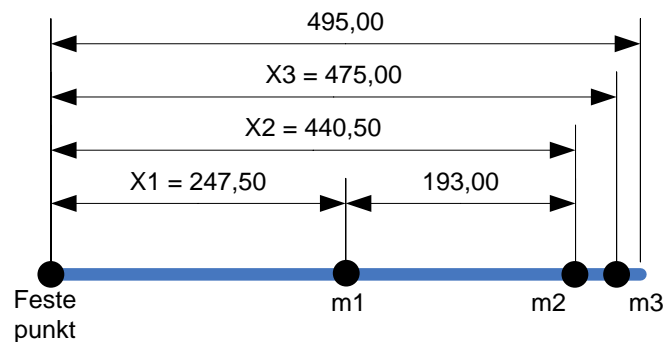
$$X_{cm} = \frac{m_{s1}X_{s1} + m_{l2}X_{l2} + m_{l3}X_{l3} \dots \dots}{m_{s1} + m_{l2} + m_{l3} \dots \dots} \tag{85}$$

Fra figur 15 ser man en illustrasjon av pendelen med masser festet på pendelen. Loddene er festet i enden av pendelen, der  $m_1$  er pendelens massesenter,  $m_2$  er lodd 1 og  $m_3$  er lodd 2 osv. Tilsvarende er  $X_n$  de tilhørende lengdene mellom festepunktet og pendelens masser. Lengdene kan lett endres og justeres ved å løsne påmonterte settskruer. Pendelen kan også byttes ut til ulike lengder og tykkelser. Formelen tar utgangspunkt i Kg og m. Det må derfor deles med en faktor på 1000.

Tabell 11 viser massen til pendel og lodd:

Tabell 11, vekt og lengde til massesenter

Navn	Vekt	Lengde	Lengde til massesenter
Pendel1 ( $m_1$ )	0.196 Kg	0,495 m	0,2475
Pendel2 ( $m_5$ )	0,098 Kg	0,239 m	0,1195
Lodd1 ( $m_2$ )	0,036 Kg	0,029 m	0,0145
Lodd2 ( $m_3$ )	0,064 Kg	0,041 m	0,0205
Lodd3( $m_4$ )	0,135 Kg	0,058 m	0,0290
Feste	0,028 Kg	0,020 m	0



Figur 15: Illustrasjon av pendelens masser, lengder oppgitt i mm.

Oppsett 1(pendel 1 og lodd 1, 2, plassert øverst på pendelen):

$$L = X_{cm} = \frac{0,196 * 0,2475 + 0,036 * 0,4405 + 0,064 * 0,475}{0,196 + 0,036 + 0,064} = \frac{0,094768}{0,296} = 0,3202m \quad (86)$$

Oppsett 2 (pendel 2 og lodd 3, plassert øverst på pendelen):

$$L = X_{cm} = \frac{0,098 * 0,1195 + 0,135 * 0,218}{0,098 + 0,135} = \frac{0,041141}{0,296} = 0,1766m \quad (87)$$

## 5.5 Beregning av pendelens treghetsmoment

Grunnet benyttelse av modellen for akselerasjon ses det bort fra treghetsmomentet til systemet. Dette fordi valgt modell bygger på den generelle akselerasjonen til systemet og ikke kraftmomentene påført.

## 5.6 Utarbeidelse av transferfunksjon for motorkontrolleren

Festo har av hensyn til sine retningslinjer ikke levert ut informasjon om kontrolleren- og motorens transferfunksjoner og blokkdiagram. Dette har skapt uforutsette utfordringer for prosjektets arbeid med teoretisk modellering av systemet. Det er da besluttet i samtale med intern veileder å utføre tester på kontrolleren for å tilnærme modellen. Det er testet stepresponsen til motoren gjennom Festo Configuration Tool og AIM for å måle tiden det tar fra en posisjon er blitt satt fra RCU, til motoren har nådd den gitte posisjonen. Dataene fra disse testene samles inn ved hjelp av en innbygd loggfunksjon i KM sin AIM og Festo sitt FCT program. Disse dataene ble så overført til Matlab. Ved hjelp av intern veileder er det utarbeidet et MatLab-skript [7] som behandler dataene om til en diskret transferfunksjon.

Det er prøvd ut ulike modeller av ulik grad for å finne den modellen som teoretisk har størst potensial for simulering og kom frem til en modell av 3. grad:

$$\text{motorkontroller og motor} = MC(s) \tag{88}$$

$$MC(s) = \frac{0,2195 Z^3 - 0,4723 Z^2 + 0,2535 Z}{Z^3 - 2,9534 Z^2 + 2,9117 Z - 0,9582} \tag{89}$$

Likning 89 angir en teoretisk fremstilte transferfunksjonen til motorkontroller og motor.

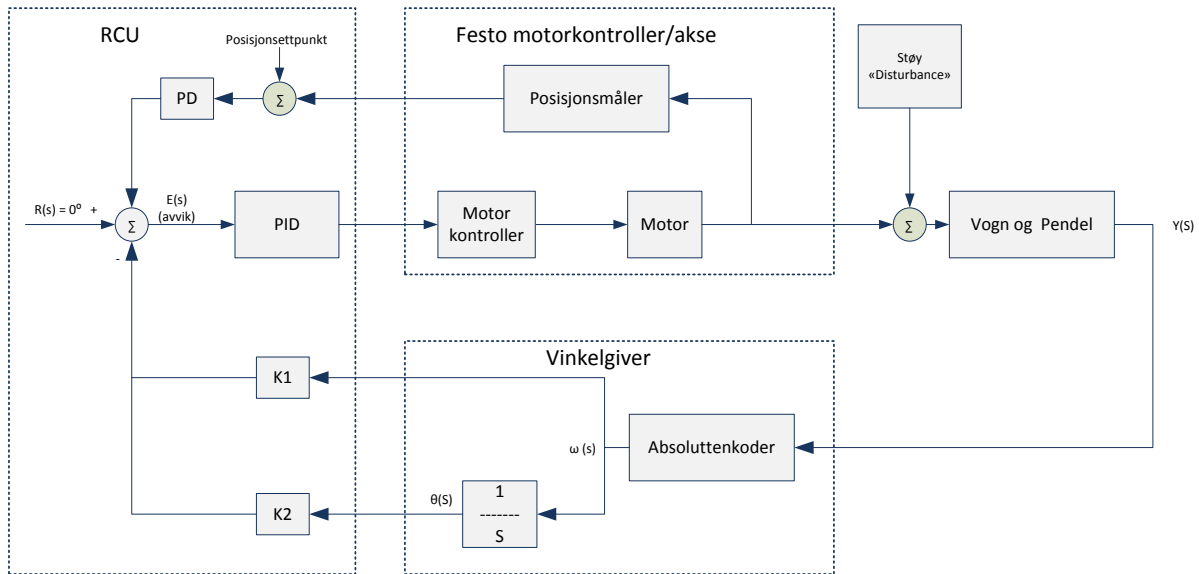
## 5.7 Blokkdiagram

Det er utviklet et blokkdiagram som passer systemet. Diagrammet kan ses i figur 16. Blokkdiagram er en enkel måte å fremstille systemets oppbygning og for å enklere se hvordan de ulike delene av systemet påvirker hverandre. Inverted Pendulum sitt blokkdiagram kan forklares slik:

Ønsket vinkel på pendelen er 0 grader, dvs. at pendelen står i balanse rett opp. Dette settes da som setpunkt  $R(s)=0$ . Videre brukes pendelens nåværende vinkel, altså hvilken vinkel enkoderen har oppgitt at pendelen faktisk har, og akkumulerer den sammen med referansen. Man får da et avvik som igjen behandles av regulatormatematikken og skaper et utsignal som motoren bruker til å posisjonere vognen slik at pendelen holdes stabilt rett opp.

Videre er det en utfordring ved å få systemet til å holde pendelen i midten på lineæraksen. Dette løste gruppa ved å bruke Festo systemets egen tilbakemelding av posisjon. Det er da opprettet en egen referanseverdi for posisjonen. Den målte posisjonen og posisjonsreferansen akkumuleres og behandles av en enklere PD regulator. Ved å legge utgangen fra denne regulatoren sammen med den allerede akkumulerte referanseverdien for vinkelen, vil dette påvirke det aktuelle avviket av vinkelen og dermed flytte hele pendelen mot posisjonssetpunktet. Dette gjør at man hele tiden har mulighet til å endre posisjonen systemet skal regulere mot på lineæraksen. Det er i tillegg tegnet inn feedback for vinkelhastigheten. Denne brukes ved swing-up<sup>5</sup> og som en sikkerhetsfunksjon. Vinkelhastigheten akkumuleres sammen med vinkelreferansen  $R(s)$ . Dette for å kompensere for store hastigheter.

<sup>5</sup> Funksjonen som automatisk setter pendelen i balanse



Figur 16: Blokkdiagram av Invertert Pendel

- Pendel = pendelens transferfunksjon
- D = støy, påført akselerasjon på pendelen eks. «noen slår til pendelen»
- MC = Festo motor, kontroller og akse
- Pos = referanse i posisjon
- $K_2$  = forsterknings faktor vinkel
- $K_1$  = forsterknings faktor vinkelhastighet
- P = Pendelens transferfunksjon
- Pg = Posisjongiver

$$Y = P(D + MC * PID * E) \tag{90}$$

$$E = PD(Pos + Pg * MC * PID) + R(s) + K_1 * Y + K_2 \frac{1}{s} * Y \tag{91}$$

$$Y = P \left( D + MC * PID * PD(Pos + Pg * MC * PID) + R(s) + K_1 * Y + K_2 \frac{1}{s} * Y \right) \tag{92}$$

$$Y = P \left( D_s + MC * PID * PD(Pos + Pg * MC * PID) + R(s) + \left( K_1 + K_2 \frac{1}{s} \right) Y \right) \tag{93}$$

$$Y = P * D_s + P * MC * PID * PD(Pos + Pg * MC * PID) + P * R(s) + \left( K_1 + K_2 \frac{1}{s} \right) P * Y \tag{94}$$

$$Y \left( 1 - \left( K_1 + K_2 \frac{1}{s} \right) P \right) = P * D_s + P * MC * PID * PD(Pos + Pg * MC * PID) + P * R(s) \tag{95}$$

$$Y = \frac{P * D_s + P * MC * PID * PD(Pos + Pg + MC * PID) + P * R(s)}{1 - \left( K_1 + K_2 \frac{1}{s} \right) P} \tag{96}$$

Denne formelen brukes så i MatLab der alle variabler og konstanter fylles inn.

## 5.8 Regulatorer

KM har bygget inn regulatormoduler i sitt kontrollsystem. Av hensyn til oppgaven er gruppa nødt til å bruke systemets ferdige moduler til regulering. Det er ønskelig og bygge regulatoren selv i modulen kalt Flexi. Da denne modulen viser seg og ikke kunne derivere sanntidsverdiene blir gruppa nødt til å benytte modulen kalt PIDcon.

PIDcon er bygget med følgende formler:

$$U = K_p \left( eK_c + \int \frac{e}{T_i} dt + T_d \frac{de}{dt} \right) \quad (97)$$

Dette gir tilsvarende transferfunksjon:

$$G(s) = \frac{e(s)}{u(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{sT_i} + T_d s \right) \quad (98)$$

## 5.9 Transferfunksjonene

Blokkdiagrammet:

$$Y = \frac{P * D_s + P * MC * PID * PD(Pos + Pg + MC * PID) + P * R}{1 - \left( K_1 + K_2 \frac{1}{s} \right) P * \omega} \quad (99)$$

Pendelen:

$$P(s) = \frac{\theta(s)}{x_M(s)} = \frac{s^2}{(I s^2 - g)} \quad (100)$$

Motor & motorkontrolleren:

$$MC(s) = \frac{0,2195 Z^3 - 0,4723 Z^2 + 0,2535 Z}{Z^3 - 2,9534 Z^2 + 2,9117 Z - 0,9582} \quad (101)$$

Regulatoren:

$$G(s) = \frac{e(s)}{u(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{sT_i} + T_d s \right) \quad (102)$$

## 5.10 Teori til praksis

Teori og praksis er ofte to forskjellige ting, dette har gruppa erfart. En av hovedutfordringene med modelleringen har vært at Festo ikke har gitt fra seg systemoppbyggingen av motoren. Dette har ført til en usikkerhet i modellen som gjør at teori ikke møter praksis. Derfor er det brukt Ziegler og Nichols metode for å finne optimale parametere for kontrolleren. Når disse er funnet har de blitt lagt til grunn ved videre optimalisering. Ved å bruke denne metoden kan det sees hva små endringer av parametere utgjør for reguleringen. Dette for å tilnærme teori og praksis opp mot hverandre.

### 5.11 PID-optimalisering ved Ziegler og Nichols metode [8]

Ziegler og Nichols metode er en fremgangsmåte brukt for optimalisering av reguleringsystemer. Metoden går ut på å koble ut I- og D-parameterne i regulatoren. Dermed brukes kun P-båndet i regulatoren. Deretter må det finnes den P verdien som gir tilnærmet harmoniske svingninger i systemet. Denne forsterkingen kalles  $K_u$ . Ved dette sies det å være stabil ustabilitet i systemet. Det vil si at systemet oscillerer tilnærmet stabilt rundt setpunktet.

Når det er funnet en optimal  $K_u$  må  $T_u$  finnes. Dette er periodetiden av systemets svingninger ved  $K_u$ . Når  $K_u$  og  $T_u$  er funnet bruker man så tabell 12 til å regne seg frem til I og D parameterene for regulatoren.

Det ble startet med å optimalisere regulatoren som regulerer vinkelen. Når den var optimalisert og i stand til å holde pendelen i balanse ble Ziegler og Nichols igjen brukt på posisjonsregulatoren.

En detaljert fremgang og parametrisering av regulatorene fremkommer i kapittel 7.

Tabell 12: Ziegler & Nichols - tabell

Type kontroller	$K_p$	$K_i$ ( $T_i$ ref. PIDcon)	$K_d$ ( $T_d$ ref. PIDcon)
<b>P</b>	$0,5 * K_p$	-	-
<b>PI</b>	$0,45 * K_p$	$\frac{1,2 * K_p}{T_u}$	-
<b>PD</b>	$0,8 * K_p$	-	$\frac{K_p * T_u}{8}$
<b>PID</b>	$0,60 * K_p$	$\frac{2 * K_p}{T_u}$	$\frac{K_p * T_u}{8}$
<b>Noe overshoot</b>	$0,33 * K_p$	$\frac{2 * K_p}{T_u}$	$\frac{K_p * T_u}{3}$

## 5.12 Matlab og analyse

Matlab er her brukt for å simulere pendelen og dens reaksjoner ved påført støy og endringer i referansen. Simuleringene brukes av gruppa til å analysere systemet og som et verktøy ved siden av den fysiske riggen. Vedlagt skript er basen det er kommet frem til og vil er kun en utskrift av MatLab koden som ble brukt. Alle plott og verdier som gjengis i dokumentet vil kunne avvike fra verdiene i denne utskriften.

### 5.12.1 M-script

```

clc, close all, clear all
%konstanliste
g = 9.81;
l = 0.1766;
r = 1;
d = 0;
pos = 0.5;
K3 = 1; %forterknings faktor vinkelhastighet (K1)
K4 = 1; %forterknings faktor vinkel (K2)

%parameterliste
Kc = 1;
Kp = 15000.967;
Ki = 0.021;
Kd = 200.72;
Ts = 1/100; %samplingsraten
s = tf('s');
z = tf('z',Ts)

%pendelens transferfunksjon
disp('*** Posisjon ***');
Gx = s^2/(1*s^2-g) %Posisjon
disp('*** Akselerasjon ***');
Gy = 1/(1*s^2-g) %Akselerasjon

%Transferfunksjon
P=Gx;
Pg = 1;%vinkelgiver
K = Kc*(Kp + (Ki/s)+ Kd*s);%PID-Regulator
K2 = Kc*(Kp + Kd*s); %PD-regulator
MC = (0.2195*z^3-0.4723*z^2+0.2535*z)/(z^3-2.9534*z^2+2.9117*z-
0.9582);%motor og motorkontroller
Y1 = (P*d+P*MC*K*K2 (pos+Pg+MC*K)+P*r)/(1-(K3+K4/s)*P);% systemet
L = K*Gy; %Open-loop
% z = tf('z',Ts);
disp('*** T funksjon ***')
T = L/(1+L) %Closed-loop
S = 1/(1+L); %Sensitivitetsfunksjon
Y = T*r+S*d; %Enkel feedback med støy

%Plott
Y = c2d(Y,Ts,'zoh') % Diskretiserer
Plot = Y;
figure(1)
step(Plot)
figure(2)

```

```
margin(Y)
figure(3)
rlocus(Y)
```

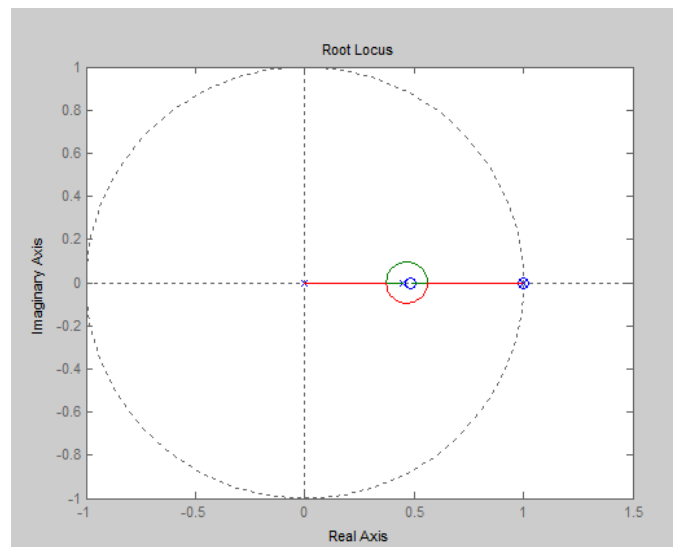
### 5.13 MatLab-plott

Det ønskes å teste systemets toleranse for endringer i referanseverdier og støy.

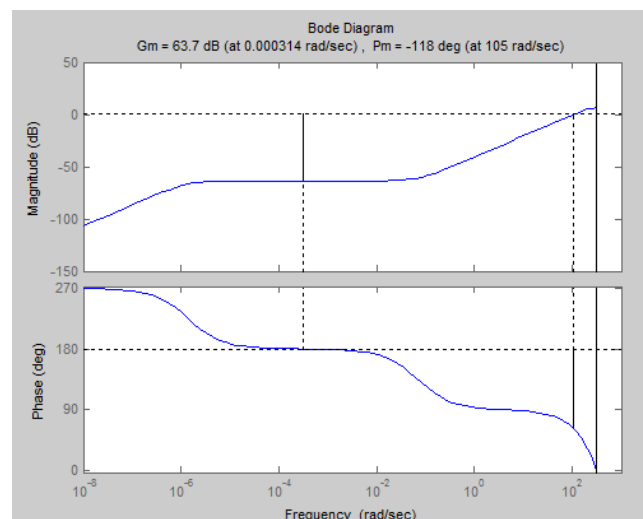
Ser først på påvirkning av støy påført systemet.

Det innføres en verdi i Støyen  $D(s)$  mens referansen  $R(s)$  settes til null.

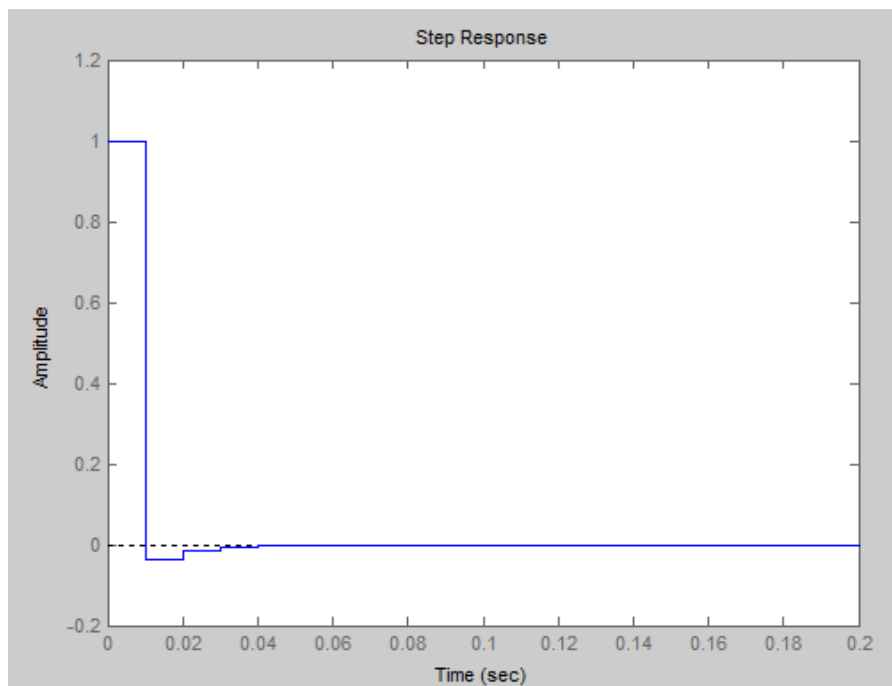
Dette vil i det fysiske systemet forekomme når noen dytter bort i pendelen og skaper avvik i vinkelen.



Figur 17: Root Locus plott av systemet med påført støy

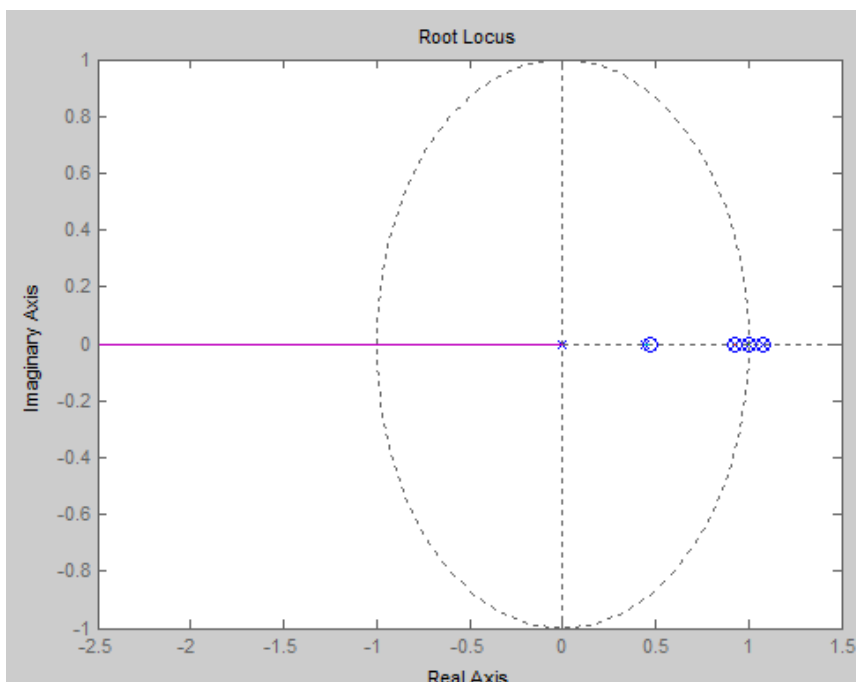


Figur 18: Bode-plott av systemet med påført støy

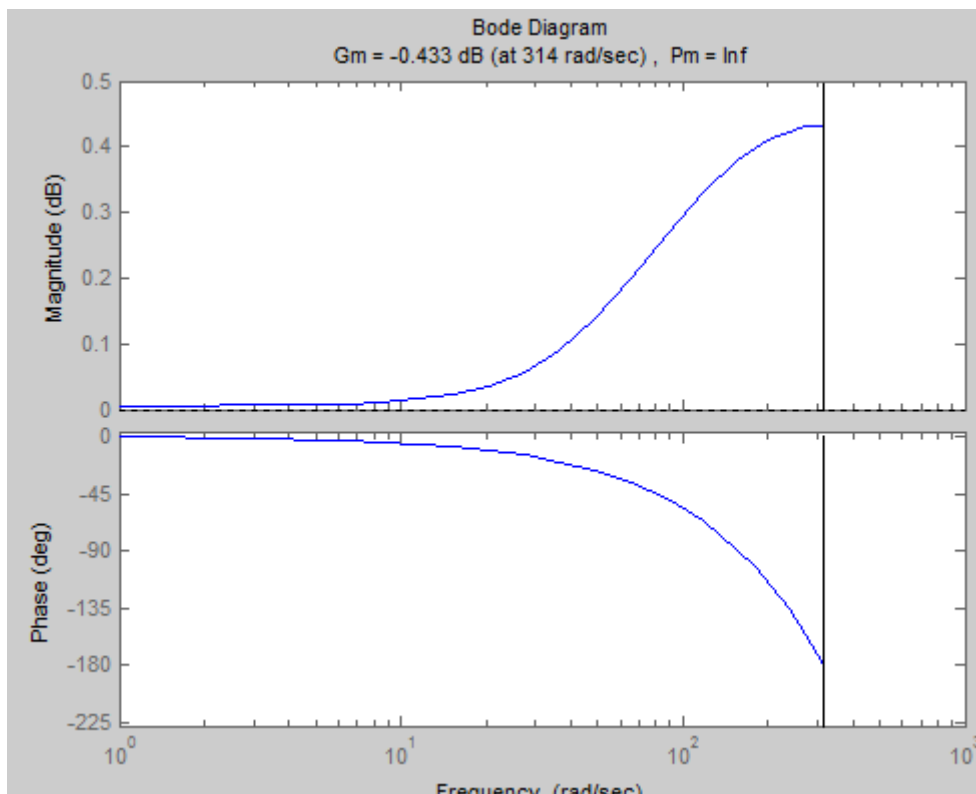


Figur 19: Steprespons av systemet påført støy

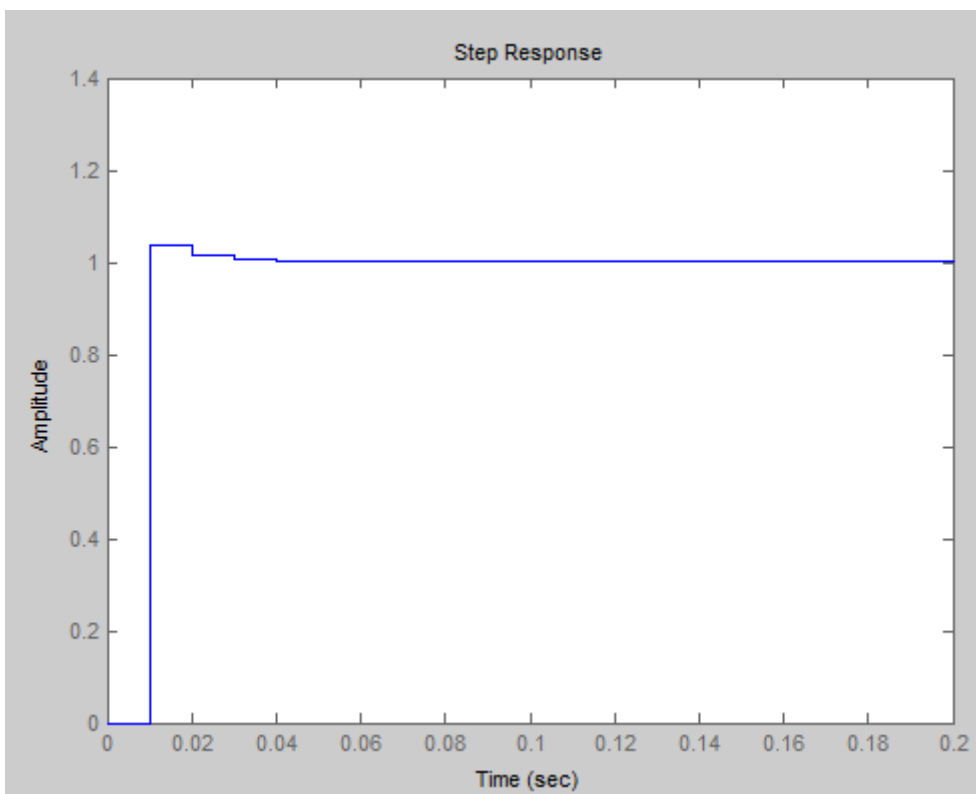
Figur 19 viser at systemet er pent og stabilt, evnen til å hente igjen avviket som støyen skaper er optimal. Ønsker så å teste systemets stabilitet ved endringer i referanseverdien. Dette skjer for eksempel når det fysiske systemet får signal fra posisjons reglatoren om å endre posisjon på lineæraksen. Dette vil skape endringer i referanseverdien slik at vinkelen endres og pendelen akselererer mot en av sidene. Det innføres nå en verdi i referansen  $R(s)$ , mens Støyen  $D(s)$  settes til null.



Figur 20: Root Locus plott av systemet med stepp i referansen.



Figur 21: Bode-plott med step i referansen



Figur 22: Steprespons med step i referansen

Også denne gangen er stabiliteten høy. Det er en liten overshoot, og rask respons i systemet.

## 6 REGULATORDESIGN

Det har gjennom fase 2 og 3 vært et tema hvordan det vil være mest hensiktsmessig å regulere lineæraksen. Det er blitt lest gjennom tidligere oppgaver, og i de er det brukt flere forskjellige løsninger avhengig av hvilke muligheter som har vært tilgjengelig i de forskjellige oppgavene.

I dette systemet så er det to styrende objekter ved siden av RCU 510; vinkelgiver og motorkontroller. Fra disse to objektene så hentes vinkelen fra pendelen og posisjonen på vognen. Videre kan utgangen til motorkontrolleren styres. Denne utgangen kan styres på flere måter:

- Posisjon og hastighet
- Kraft
- Akselerasjon

Det må settes i GSD filen i AIM2000 hvilken av de tre utgangstypene motorkontrolleren skal kjøre på. Dette vil gi mulighet for tre forskjellige regulatordesign. De matematiske transferfunksjonene til de tre forskjellige reguleringsdesignene er utledet i kapittel 5, dette dokument. Disse er nødvendige for å kunne forstå utgangspunktet for å sette opp parametere til hver av regulatorene.

Transferfunksjoner:

$$\text{Posisjon} = \theta(s) = \frac{s^2}{(ls^2 - g)} x_M(s) \quad (103)$$

$$\text{Kraft} = \theta(s) = \frac{F(s)}{lmS^2} + \frac{mS^2 x_M(s)}{lmS^2} \quad (104)$$

$$\text{Akselerasjon} = \theta(s) = \frac{1}{(ls^2 - g)} a_M(s) \quad (105)$$

Der parameterene i transferfunksjonene er:

***m = massen til pendelen***

***l = lengden til staven***

Felles for alle regulatordesignene vil være referanseverdien til regulatoren. Referanseverdien settes til 0°. Videre kommer skal-verdien inn på regulator fra en avviksalgoritme som er utarbeidet av en kalkulator i AIM2000. Denne gir verdier i positiv retning dersom pendelen faller den ene retningen og negativ retning dersom pendelen faller den motsatte retningen. Avhengig om avviket er positivt eller negativt, må regulatoren settes opp for å kompensere for dette i begge retninger. Det er viktig at regulatoren blir designet slik at den gir en overshoot på vognen. Dette må til for å hente inn pendelen, for så å trekke i motsatt retning av fallvinkelen for at den skal kunne stabilisere seg.

Videre vil det ved siden av selve regulatordesignet bli programmert at pendelen skal holde seg på midten av aksen. Det er også viktig å programmere slik at sikkerheten rundt riggen blir ivaretatt.

*Med tanke på sikkerhet ble det 21.05.2014 bestemt at det brukes en kortere pendel som ikke går utenfor bordets ytterkanter.*

## 6.1 Design

### 6.1.1 Design 1: Posisjon og hastighet

Dette designet baserer seg på å bruke pådraget for å styre posisjonen til vognen ved å kontinuerlig gi en ny posisjon. Ved å bruke posisjon vil pådraget fra RCU 510 til motorkontroller være en 4 bytes verdi som gir verdiene 0-100 000. Der 1000 i verdi tilsvarer 10 mm reel flytting av vognen, som igjen vil si at vognen har 1000mm vandring. Som en bi-funksjon av å bruke posisjon kan også hastigheten vognen flytter seg med reguleres. Denne kan settes til en fast verdi, eller det kan brukes en egen regulator. Om den skal reguleres gjøres dette ved å regulere et bitområde på 0-127 bit, der 127 er maks hastighet. Hva maks hastighet skal være ved en bit-verdi på 127 må defineres i motorkontrolleren.

Her er det to alternativer for regulering; posisjonsregulering med fast hastighet eller posisjonsregulering med regulerbar hastighet. Sistnevnte vil bli kaskaderegulering. En kaskaderegulering vil være mer kompleks å få til, men vil samtidig gi en større mulighet for en kontrollerbar regulering. Gode algoritmer kan gi muligheter for å beregne over- og undershooter for stabilisering. Om kaskaderegulering brukes vil denne kunne bidra til et roligere system ved små forstyrrelser, da vognen ved små bevegelser kan kjøre med lav hastighet. Ulempen er større kompleksitet i reguleringen.

Posisjonsregulering med fast hastighet gir mindre muligheter og er dermed ikke like gunstig. Grappa ser på det som mest aktuelt å bruke kaskaderegulering. I motsetning til design 2 og 3 vil det da være snakk om to regulatorer, og vil som resultat av dette kreve mer tid til optimalisering. Det er viktig å teste den faktiske funksjonen med å kunne styre posisjon med variabel hastighet i fase 3 før en eventuell implementering i fase 4.

Om testen i fase 3 viser seg å være positiv, vil neste steg være å utvikle regulatoren med den matematiske modellen i MatLab.

### 6.1.2 Design 2: Kraft

Dette designet baserer seg på å sette opp motorkontrolleren til å bevege vognen med å tilføre en gitt kraft, ved å sette opp GSD filen i AIM2000 til å bruke kraft. Regulatoren i AIM2000 vil da gi en utgangsverdi som baserer seg på 0-100 % kraft til motorkontrolleren. Videre er det motorkontrolleren som styrer vognen.

Fordelen med å bruke kraft som utgang på designet, er at den kan styres med én regulator. Regulatoren behandler avviket i forhold til referanseverdien, og gir ut et pådrag til motorkontrolleren. Dette pådraget behandles som 0-100% av en gitt kraft som settes i motorkontrolleren. Ulempen vil være at det ikke er kjent hvilken hastighet vognen vil gå med ved gitte krefter. Et objekt kan ha samme hastighet, men med forskjellig kraft. Derfor er det viktig at denne funksjonen testes i fase 3 før en eventuell integrering i fase 4.

Om testen i fase 3 viser seg å være positiv, vil neste steg være å utvikle regulatoren med den matematiske modellen i MatLab.

## 6.1.3 Design 3: Akselerasjon

Dette designet er tenkt ved å sette opp kontrolleren til å regulere akselerasjon. Motorkontrolleren vil da bruke akselerasjonen som utgang for å styre vognen. Regulatoren vil gi ut et pådrag til kontrolleren. Det må da settes opp hva som skal være maks hastighet vognen skal akselerere opp til.

For å bruke akselerasjon må dette settes opp i GSD filen i AIM2000. Siden akselerasjon ikke står i brukermanualen er Festo kontaktet for å høre om en slik regulering vil være mulig. Festo mente at kontrolleren har muligheten til det, men at dette måtte settes opp separat, både i oppsettet for motorkontrolleren og i GSD filen.

Igjen så vil fordelene med en slik regulering være at man kun trenger en regulator, med en inngang som er avvik i vinkel og en utgang som er pådraget til motorkontrolleren. Det finnes andre oppgaver som har benyttet akselerasjon som reguleringsprinsipp, men da med andre protokoller og styringer. Dette kan være til god hjelp. Med en god akselerasjonsregulator vil en kunne få til god overshoot for å ta igjen pendelen, og med en tilsvarende god deakselerasjon og undershoot for å stabilisere, så er dette et godt utgangspunkt for en god regulering. Ulempen vil være at det ikke er kjent hvordan oppsettet gjøres, og at det ikke eksisterer noen brukermanualer som kan gi svar på hvordan vognen skal kunne skifte retning. Dette gjør det sannsynlig at det kan dukke opp uforutsette hendelser for å få til denne type regulering. Det er viktig at funksjonen for akselerasjon testes i fase 3, før en eventuell integrering i fase 4.

Om testen i fase 3 viser seg å være positiv, vil neste steg være å utvikle regulatoren med den matematiske modellen i MatLab.

## 6.2 Konklusjon regulatordesign

Etter test i fase 3 ble **design 1** valgt på bakgrunn av de tre følgende konklusjoner:

### Konklusjon design 1:

Etter test viste det seg at systemet lot seg kjøre med denne type regulering. Posisjon lot seg styre med variabel hastighet. Det var enkelt å kunne bestemme retningen til vognen da den fulgte kommando om ny posisjon kontinuerlig. I motsetning til de to andre designene var det ikke noen utfordringer rundt det å snu retning på vognen, da det bare var å sette ny posisjon. Dette var ikke det designet som først var ønskelig. Dette på bakgrunn av kompleksiteten, men simpelheten med oppsett og styringen kan komme til gode. Da de to andre designene ikke fungerte ble det besluttet å gå for design 1.

### Konklusjon design 2:

Det ble fattet en beslutning om å ikke bruke kraft som utgang etter at testkjøringen i fase 3 var gjennomført. Vognen lot seg overraskende nok ikke kjøre i begge retninger under regulering, selv om både brukermanual og Festo påsto dette var mulig. Ved å endre prefiks (som i manualen anga at vognen skulle snu retning) på utgangen skulle vognen ved neste startkommando bevege seg i den retningen prefiksen anga. Dette var ikke tilfelle. Det var mulig å kjøre den en retning, men da gikk vognen til endeposisjon. Først ved nådd endeposisjon kunne retningen på vognen endres, og vognen gikk deretter til motsatt endeposisjon. Det ble prøvd å endre parametere i samarbeid med Festo, men uten hell. Dermed ble det konkludert med at design 2 forkastes.

### Konklusjon design 3:

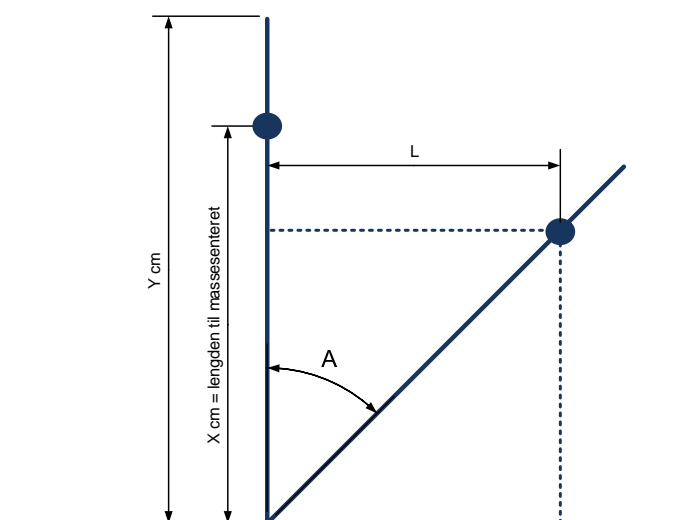
Etter at Festo var behjelpelige med å klargjøre motorkontrolleren for å styre med akselerasjon, ble det utfordringer med å få satt opp GSD filen til å bruke akselerasjon som utgangsbit fra RCU 510. Dette var noe av det som allerede var sett på som en utfordring når designet ble tenkt ut. Den opprinnelige GSD filen måtte slettes og settes opp på nytt. Det ble fortsatt ingen mulighet for å kunne styre motorkontrolleren med akselerasjon. Denne endringen skapte også problemer med alle de andre signalene som måtte styres. Da dette er en metode som er brukt i tidligere prosjekter, var det ønskelig å få dette til dette designet. Dette ble dessverre ikke tilfelle, og det ble konkludert med at design 3 forkastes.

Det konkluderes med at design 1 jobbes med videre i MatLab for parametrisering. Denne må deretter integreres og optimalisering i fase 4. Mye tid er beregnet til dette.

### 6.3 Oppsummering regulatordesign

Da det ble konkludert med å bruke design 1 ble denne avgjørelsen låst for å kunne fortsette med full konsentrasjon. På bakgrunn av gruppa sin kunnskap om AIM2000, bisto KM i oppbyggingen av designteorien i programmet. Etter å ha fått programmert regulatordesign 1 og optimalisert denne, ble det for første gang balanse på pendelen. Systemet taklet da ikke store ytre påvirkninger, men det klarte å holde pendelen i oppreist posisjon med noe hjelp.

For å kunne tåle mer støy, ble det utarbeidet en formel for å takle avviket på pendelen på en mer optimal måte. Teorien og formelen presenteres i figur 23. Den tar utgangspunkt i massesenteret til pendelen og beregner en ny posisjon ut i fra avviket i henhold til setpunkt. Det ble med denne formelen enkelt å justere reguleringen hvis massesenteret ble flyttet eller om det skulle bli benyttet en kortere pendel. Implementering av denne formelen bidro til stabilisering av pendelen.



$$L = \sin\left(\frac{A}{180 * 3,415}\right) * X \quad (106)$$

der  $L$  er gir en ny posisjon i cm og tilsvarer avviket i forhold til  $\sin = 1$

Siden det er laget tre forskjellige pendeler, og loddet er justerbart, defineres pendelens lengde som  $Y$ , og loddets plassering som  $X$ . De forskjellige lengdealternativene er 500mm, 245mm og 160mm.

Figur 23: Utgangspunkt for utregning av avviksformel

#### 6.3.1 Optimalisering av regulator

Etter å ha fått pendelen i balanse, var dette et godt utgangspunkt for å begynne optimaliseringen. Dette er den delen som har vært mest tidkrevende i prosjektet. Optimaliseringen var påbegynt før riggen var komplett oppbygd, og lineæraksen var da bare skrudd fast på et skolebord med tvinger. Dette gjorde at det ble ytre påvirkninger på pendelen fordi bordet beveget på seg når vognen gikk. Dette skape naturligvis en ureell situasjon for optimaliseringen. Det ble derfor prioritert å få purret opp leveransen av bordet, og det ble sendt purring til innkjøpsavdelingen på KM. Dette hjalp, og bordet ble levert kort tid etter.

Etter bordet ble levert, ble det en solid fremgang i reguleringen. Forstyrrelsene fra ustabiliteten i det forrige bordet ble tilnærmet eliminert, og i tillegg så ble det mulighet for å kunne legge mer energi i arbeidet med regulatoren.

Da det ble bestemt at det skulle være to regulatorer var gruppa forberedt på å bruke mer tid på optimaliseringen. Etterhvert kom gruppa frem til nye parametere som styrket stabiliteten, slik at systemet tålte større forstyrrelser.

Parameterene som ble brukt da var:

- Posisjonsregulator:
  - $P = 0.5$
  - $I = 0.04$
  - $D = 1$
  
- Hastighetsregulator:
  - $P = 1.1$
  - $I = 0$
  - $D = 1$

Videre ble det jobbet med å finne ut hvilke parametere som måtte endres for at pendelen skulle tåle enda større påvirkninger. Utgangspunktet var teorien om at systemet måtte ha stor overshoot, men samtidig en høy demping for ikke å bli ustabil. Slik systemet regulerte med de første parameterne gjorde at pendelen sto i balanse, men ved forstyrrelser var det ikke nok overshoot. På grunn av dette var systemet ikke robust nok mot ytre påvirkninger.

For å bli bedre kjent med en slik type regulering ble det gjort research på reguleringsmetoder for å oppnå høyere overshoot [9].

Ved å simulere en ustabil krets i MatLab kan en se hvordan et system påvirkes ved å legge til en regulator å endre de forskjellige parameterne: P, I og D. Selv om systemet som ble testet i MatLab ikke var Inverted Pendulum, og parameterene ikke kunne relateres til dette systemet, kunne det allikevel gi en indikasjon på hva som skjer ved å stille på de forskjellige parameterene. I gruppas tilfelle måtte systemet ha en raskere reaksjon, større overshoot, men også større demping. Alle tre parameterene måtte derfor optimaliseres. Erfaringen var at selv små justering gjorde store utslag i systemet. Det å danne seg kunnskap om hvordan et systemet forandrer seg ved endring av parametere viste seg å være nyttig i perioden hvor optimalisering pågikk.

Etter en lengere tid med optimalisering som ikke helt nådde mål ble det prøvd en manuell metode, ziegler og nichols. Denne metoden er beskrevet i kapittel 5.11, dette dokument. I og D parametere ble eliminert, samt hastighetsregulatoren ble eliminert slik at hastigheten var konstant. Pendelen ble dermed bare kjørt med P parameter på posisjonsregulator. Ved å finne det P parameteret som gjorde at systemet oscilerte ga dette et utgangspunkt for å finne I og D. Det var spesielt to utfordringer denne metoden ga. Den ene utfordringen var at dette er et system som er svært vanskelig å sette i kontinuerlig oscillering. Til slutt ble det brukt en tilnærmet oscillering. Med dette så menes det at systemet sto i en harmonisk oscillering i rundt 30 sekunder før det klarte å hente seg sakte inn. Den andre utfordringen var å få logget oscilleringen nøyaktig nok til å kunne hente ut periodetiden. Dette ble gjort ved hjelp av Festo sin programvare som viser et trendbilde med setpunkt og faktisk posisjon på vogn. Det vi fikk hentet ut var:

- Periodetid på ca. 300ms ved en P på 2.93.

Ved å ta utgangspunkt i «some overshoot» faktorene som kan finnes i tabell 12 så kom gruppa fram til følgende parametere:

- $P = 0.97$
- $I = 6.4$
- $D = 0.1$

Disse parameterene var veldig annerledes enn de som ble brukt i første omgang. Det var spesielt I-tiden som var annerledes, og med denne I-tiden ble reguleringen for treg. Da I-tid påvirker kretsen mer desto lavere tallverdien er, så var den i forhold til første utkast omtrent eliminert og kunne dermed ikke brukes. P parameteret oppførte seg derimot bra, og ved å gå tilbake til de gamle I og D parameterer opplevde gruppa at systemet var blitt mer stabilt. Det ble derfor valgt å optimalisere seg ut i fra disse parameterene og endte opp med en veldig stabil regulering ved følgende parameterer:

- Posisjonsregulator:
  - $P = 0.967$
  - $I = 0.021$
  - $D = 2.72$
- Hastighetsregulator:
  - Eliminert

Da hastighetsregulatoren var med på å gjøre hele designet veldig komplisert, ble det besluttet å prøve å fortsette med hastighetsregulatoren eliminert og kjøre på konstant hastighet. Dette viste seg å fungere bra og som resultat av dette ble det en enklere jobb å parametrisere posisjonsregulatoren. Nå som systemet regulerte bra og tålte større forstyrrelser, måtte det jobbes med at vognen skulle jobbe sentrert på lineæraksen.

Første utkast var å endre setpunkt for vinkelen når vognen gikk utenfor et definert område. Senter ble definert på 50cm (midten av akselen) og dersom vognen fikk et avvik på mer enn  $\pm 5\text{cm}$  ble setpunktet til vinkelen justert slik at det ikke lenger var 0 grader som var ønskelig referanseverdi på vinkelen. Avhengig av om det var +5cm eller -5cm i forhold til 50cm ble referanseverdien satt til enten  $+0.1^\circ$  eller  $-0.1^\circ$ . På denne måten begynte vognen å bevege seg mot midten dersom den gikk utenfor disse grensene. Det ble imidlertid en utfordring med å få programmeringslogikken til å rette opp denne vinkelen når vognen hadde passert midten, så resultatet av det første utkastet var at vognen kjørte fram og tilbake mellom disse grensene og systemet ble dermed mindre stabilt.

Andre utkast var å lage en regulator på tilbakemeldingen av vognens posisjon for å kunne ha en konstant regulering på vinkelens setpunkt. Dette utkastet fungerte bra. Desto lenger unna setpunktet til ønsket posisjon vognen bevegde seg, desto mer ble vinkelen endret. En positiv bi-effekt av denne regulatoren, var at selve reguleringen av pendelen ble raskere og systemet ble dermed mer stabilt. Det ble med denne regulatoren også mulig å kunne sette et setpunkt, slik at vognen kunne stå hvor som helst på akselen. Det ble da mulighet å kunne kjøre vognen til et nytt sted på lineæraksen uten at pendelen falt ned.

Frem til dette tidspunktet hadde det blitt brukt en pendel på 500mm. Det ble på bakgrunn av HMS besluttet å bytte til en kortere pendel. Ved å bruke pendelen på 245mm gikk ikke lenger pendelen utenfor riggen. Dette ga en utfordring i å teste om regulatoren også taklet å regulere en kortere pendel. Etter bytte av pendel ble avviksformelen korrigert for ny lengde og vekt. Dette var ikke tilstrekkelig og det ble satt i gang med ny optimalisering. Dette endte igjen med at reguleringen ble stabil, selv med kortere pendel. Det at vognen nå måtte korrigere med mindre avstander å ta igjen samme avviket, gjorde at vognen et større område å bevege seg på. Den korte pendelen krevde dog litt raskere respons.

Etter dette så gruppa seg fornøyd med stabiliteten og robustheten til systemet, og valgte derfor å si seg ferdig med reguleringen på dette tidspunkt. Regulatoren endte ikke helt som først planlagt i design 1, men resultatet ble en stabil og robust regulering. Hastighetsregulatoren ble eliminert og det ble istedet en regulator på tilbakemeldingen på posisjon.

De endelige P, I og D parameterene som ga stabil regulering ble da:

- $P = 1.05$
- $I = 0.021$
- $D = 2.72$

## 6.3.2 Swing-up

Etter at gruppa hadde sett seg fornøyd med reguleringen av pendelen begynte jobben med å få til swing-up. Dette er den funksjonen som skal få pendelen automatisk i balanse fra hengende stilling. Denne funksjonen var et C krav og ble ikke godkjent da FAT testen ble gjennomført, men det ble lagt til en kommentar om at dette kunne arbeides med frem mot siste presentasjon. Det at gruppa fikk til en robust regulering innen tidsfristen åpnet muligheten for å jobbe med denne funksjonen. Funksjonen ble også sett på som ønskelig å få til fra KM sin side.

Gruppa hadde en teori om å bruke vinkelhastighet sammen med vinkelmåling for å få satt pendelen i balanse. Dette ble en lang og komplisert programmering som aldri fungerte. Programmet ble for komplisert og gruppa måtte tenke annerledes.

Det ble laget en statisk sekvens som kjørte vognen til en gitt posisjon med en gitt hastighet, der stoppet den og kjørte tilbake etter en gitt pausetid. Etter å ha optimalisert pausetider og hastigheter resulterte dette i en swing-up funksjon som var rask og stabil. Ulempen med denne funksjonen er at pendelen må henge tilnærmet i ro, men dette passer godt med HMS hensynet som må tas.

Gruppa er svært fornøyd med å ha fått til denne funksjonen, da det bare noen uker i forveien ikke var balanse på pendelen i det hele tatt.

## 7 REFERANSER

[1] Hølen, S., Nilsen, S., Pettersen, J., Valaker, T., Inverted Pendulum, *Visjonsdokument*, Høgskolen i Buskerud og Vestfold, 2014, Rev 3.0

[2] Hølen, S., Nilsen, S., Pettersen, J., Valaker, T., Inverted Pendulum, *Kravspesifikasjon*, Høgskolen i Buskerud og Vestfold, 2014, Rev 3.0

[3] Johansen, L.M., *Invertert Pendel*, Internt notat, Høgskolen i Buskerud og Vestfold, 17/3-2014

[4] Oppenheim, A.V., Lecture 26, *Feedback: The Inverted Pendulum (MIT)*, 13/10-2013, <https://www.youtube.com/watch?v=D3bblng-Kcc>

[5] Wikipedia, Inverted Pendulum, Wikipedia, 13/10-2013, [http://en.wikipedia.org/wiki/Inverted\\_pendulum](http://en.wikipedia.org/wiki/Inverted_pendulum)

[6] Franklien, G.F., Powell, J.D., Emami-Naeini, A., *Feedback Controll of Dynamic Systems*, 6 utgave, Pearson, 2013

[7] Gudvangen, S., *MotorSysId.m*, Intern fil HBV, 20/5-2014

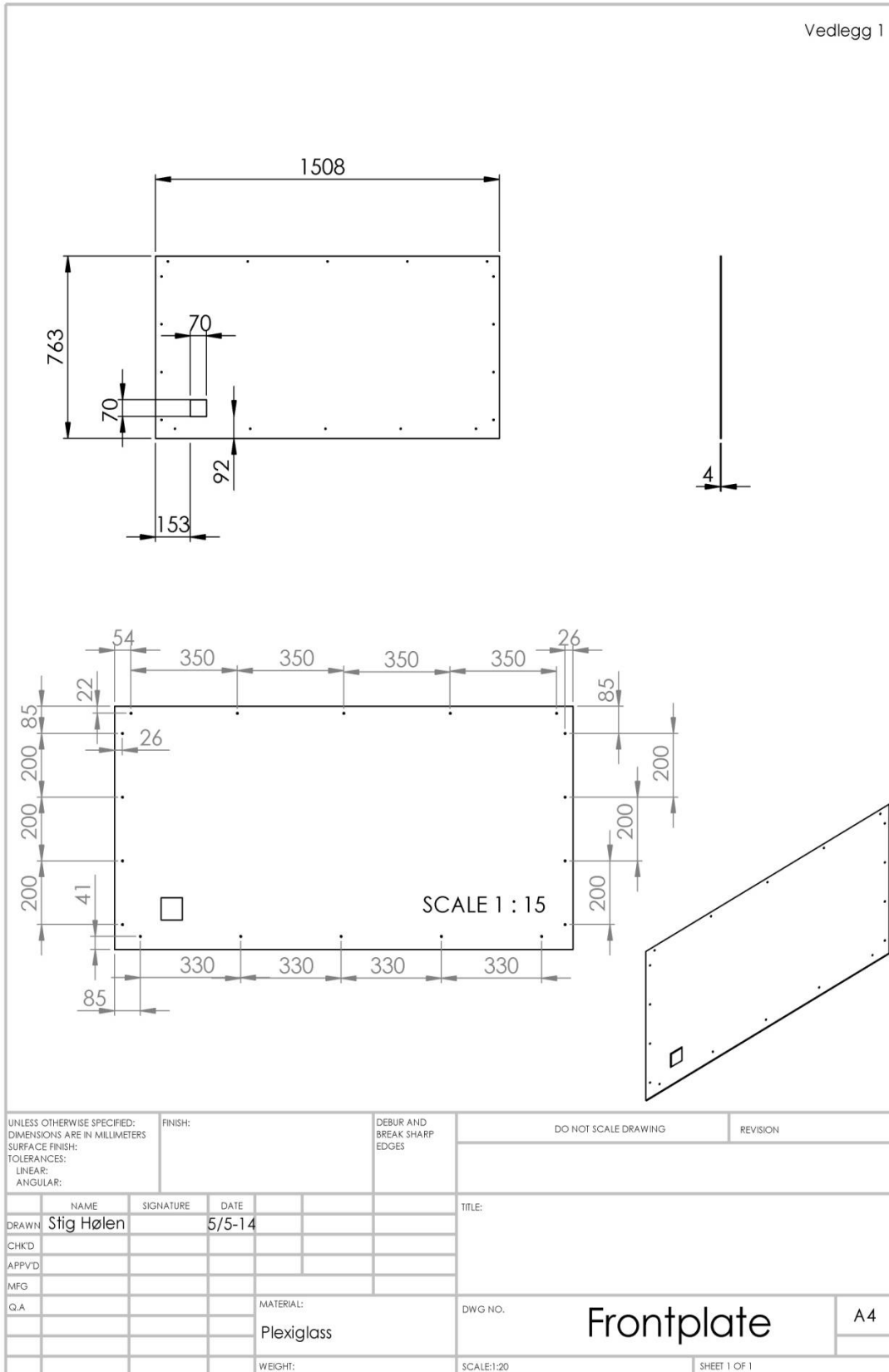
[8] Wikipedia, Ziegler and Nichols method, Wikipedia, 13/10-2013, [http://en.wikipedia.org/wiki/Ziegler-Nichols\\_method](http://en.wikipedia.org/wiki/Ziegler-Nichols_method)

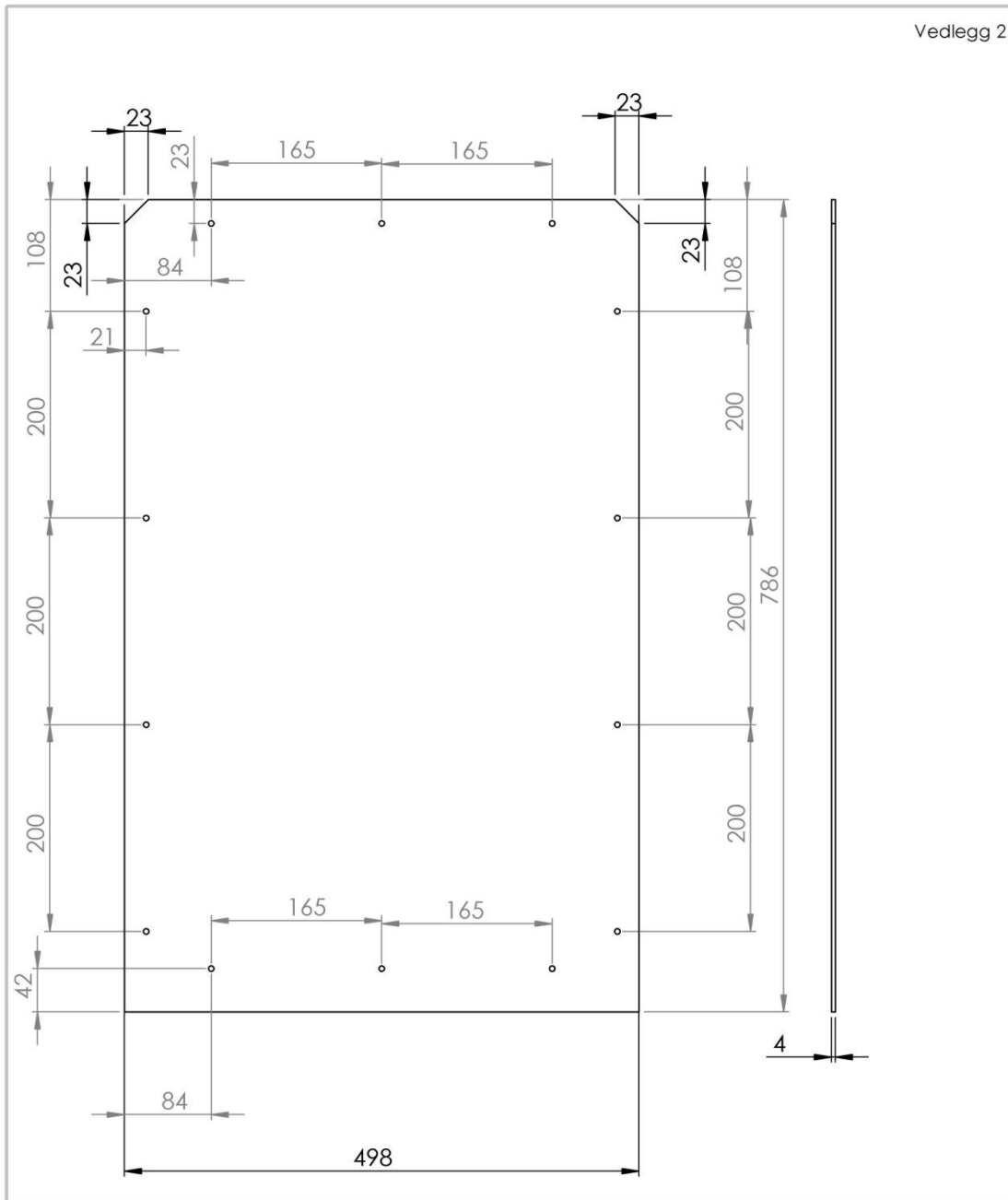
[9] Motion Engineering, *PID Tuning: Step Behavior – Overshoot Criteria*, 20/5-2014, [http://support.motioneng.com/downloads-notes/tuning/pid\\_overshoot.htm](http://support.motioneng.com/downloads-notes/tuning/pid_overshoot.htm)

## 8 VEDLEGG

Tabell 13: Vedlegg

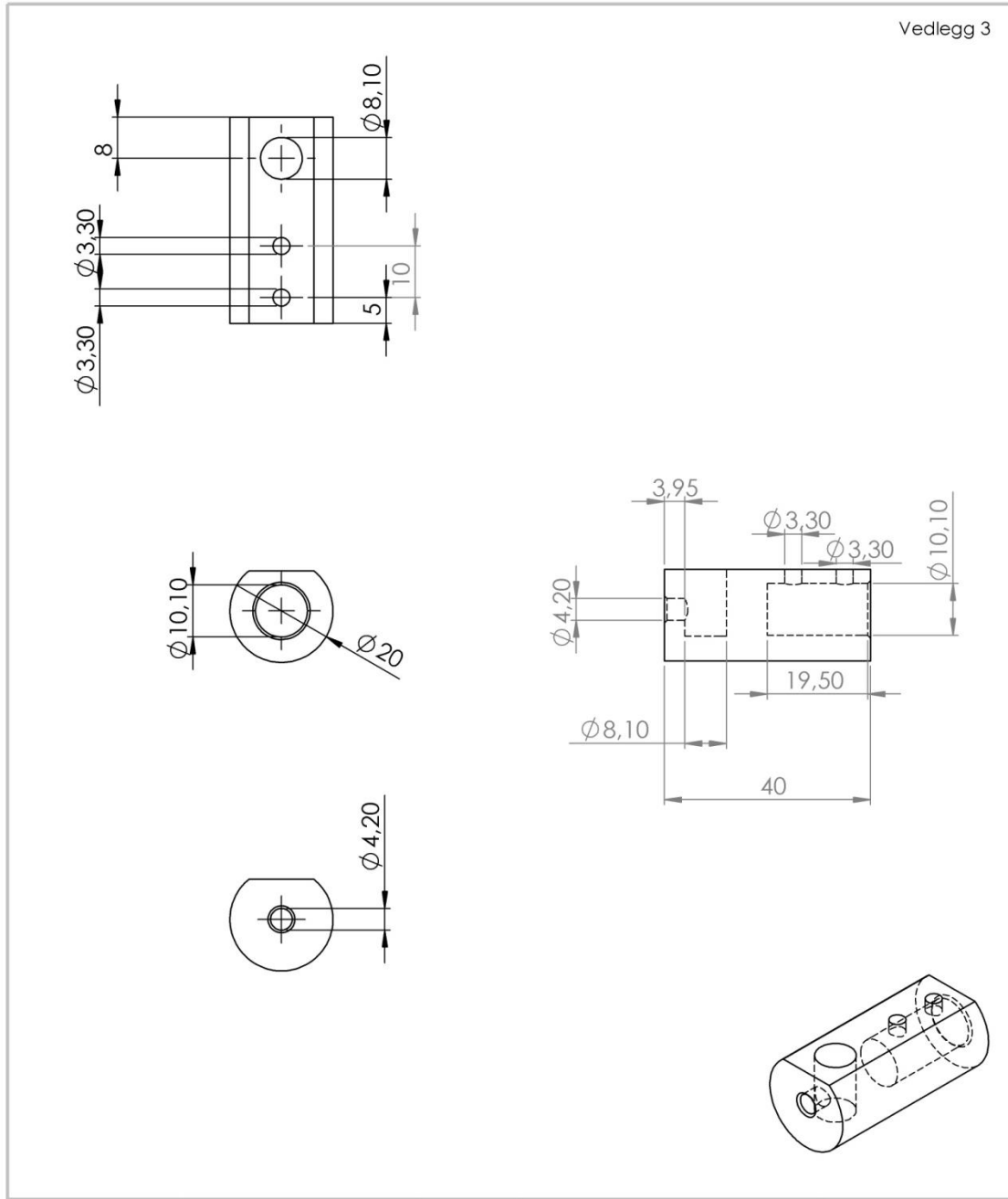
Vedlegg	BESKRIVELSE
1	Frontplate
2	Sideplater
3	Hylse
4	Stav 500mm
5	Feste vinkelgiver
6	Feste til akse
7	Feste kabelkjede
8	Del 2 kabelkjede
9	Stav 245mm
10	Vekt
11	Kortside tilhørende ramme for Panel-PC
12	Langside tilhørende ramme for Panel-PC
13	Topp
14	Elektrotegning for koblingsskap





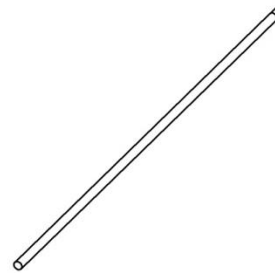
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:									
TOLERANCES:									
LINEAR:									
ANGULAR:									
NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
DRAWN Stig Hølen				5/5-14					
CHK'D									
APP'VD									
MFG									
Q.A						MATERIAL:		DWG NO.	
						Plexiglass		Sideplate	
						2 stk		A4	
						WEIGHT:		SCALE:1:5	
								SHEET 1 OF 1	

Vedlegg 3



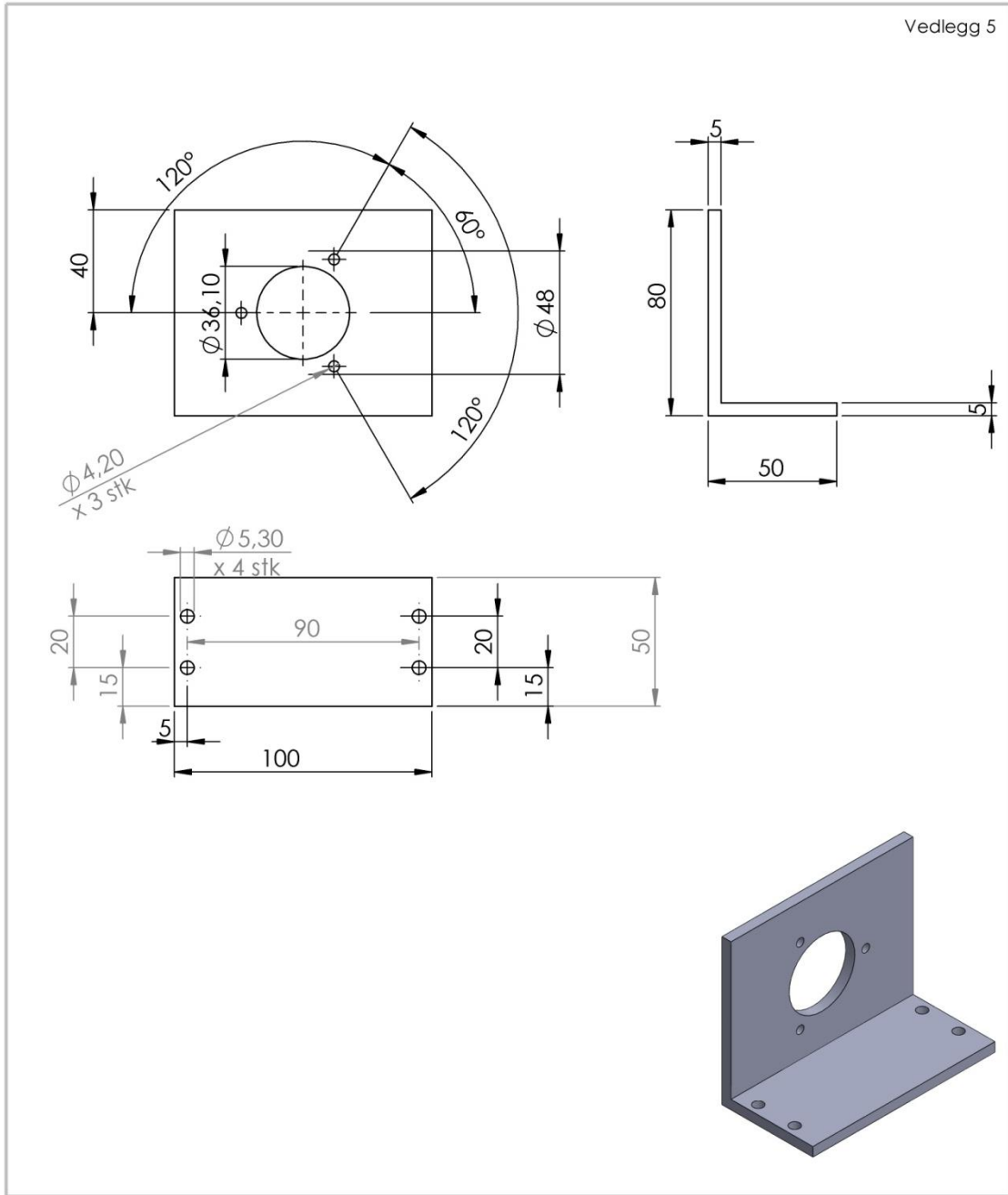
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:									
TOLERANCES:									
LINEAR:									
ANGULAR:									
DRAWN		NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE:				
		Stig Hølen		5/5-14					
CHK'D									
APP'VD									
MFG									
Q.A.					MATERIAL:	DWG NO.			A4
					Aluminium	Hylse			
					WEIGHT:	SCALE:1:1			SHEET 1 OF 1

Vedlegg 4



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN: Stig Hølen		SIGNATURE		DATE: 5/5-14		TITLE:			
CHK'D:									
APPV'D:									
MFG:									
Q.A:				MATERIAL: Stål		DWG NO. Stav 500mm		A4	
				WEIGHT:		SCALE:1:5		SHEET 1 OF 1	

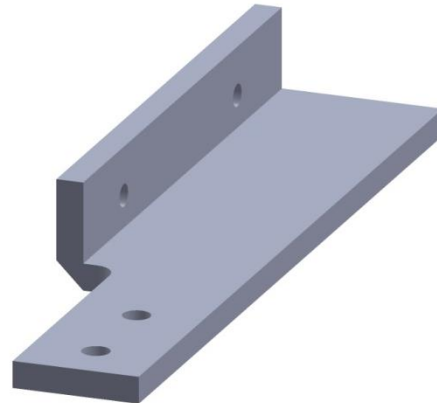
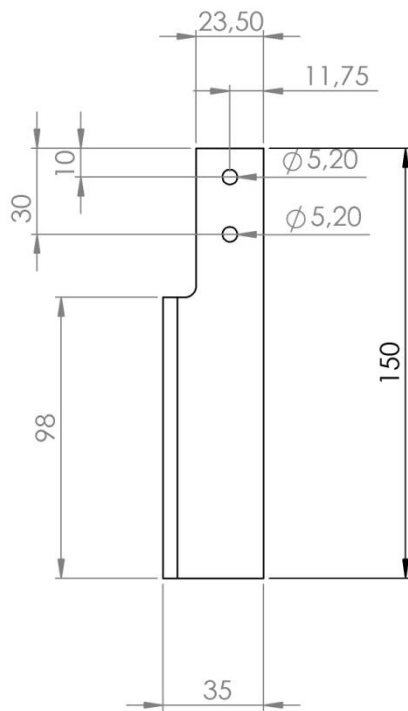
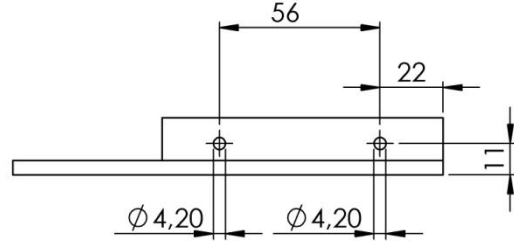
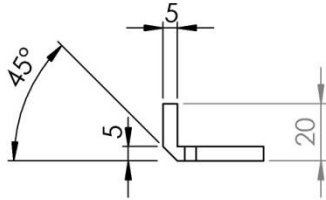
Vedlegg 5



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:									
TOLERANCES:									
LINEAR:									
ANGULAR:									
NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
DRAWN Stig Hølen				5/5-14					
CHK'D									
APP'VD									
MFG									
Q.A						MATERIAL:		DWG NO.	
						Aluminium		Feste vinkelgiver A4	
						WEIGHT:		SCALE:1:2	
								SHEET 1 OF 1	

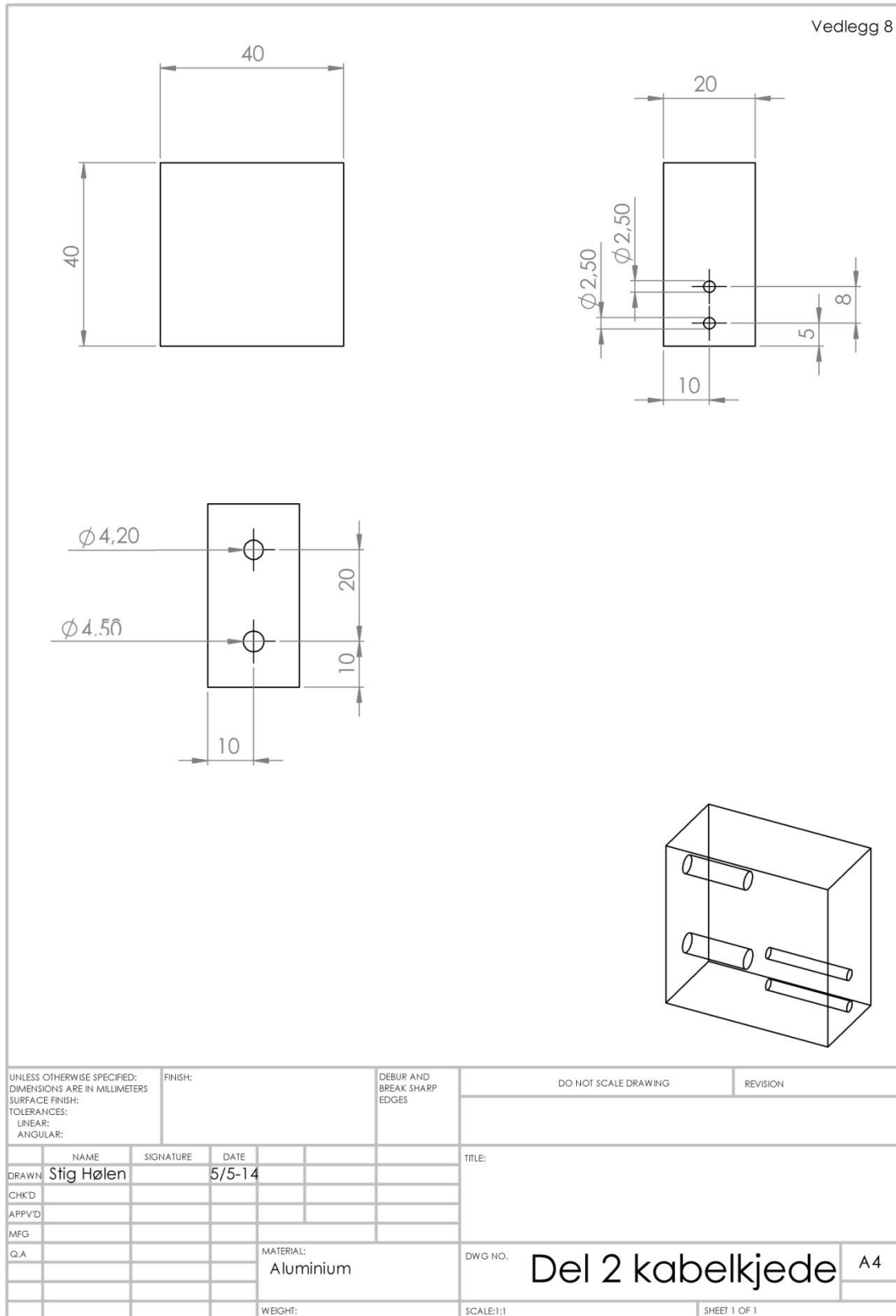


Vedlegg 7

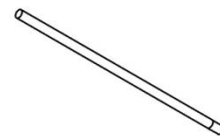
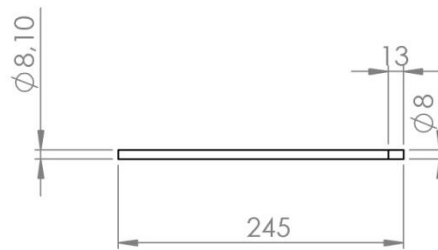


SCALE 1 : 1

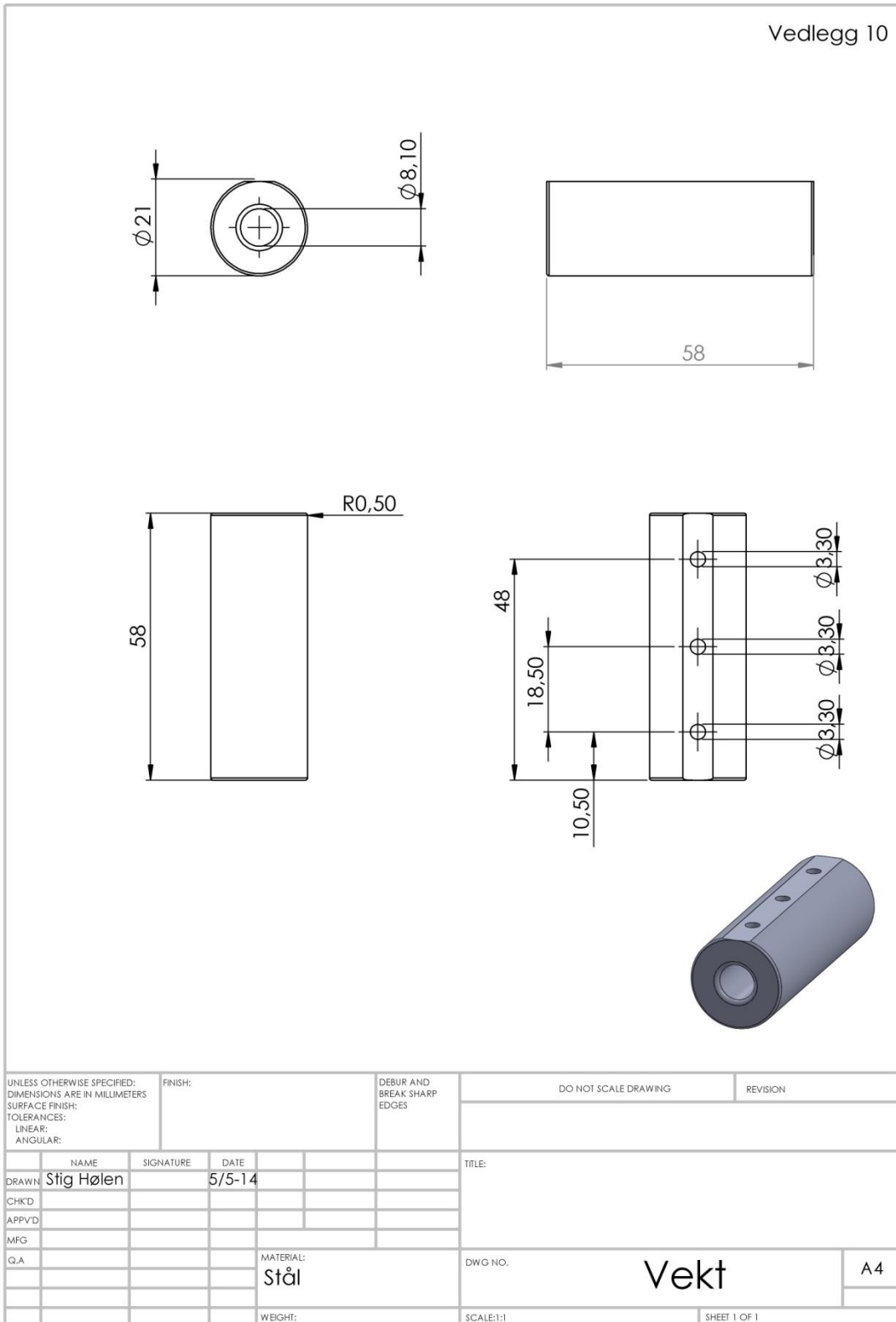
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN: Stig Hølen				SIGNATURE:		DATE: 5/5-14		TITLE:			
CHK'D:								DWG NO. <b>Feste kabelkjede</b> A4			
APP'VD:											
MFG:											
Q.A:						MATERIAL: Aluminium		SCALE:1:2 SHEET 1 OF 1			
WEIGHT:											



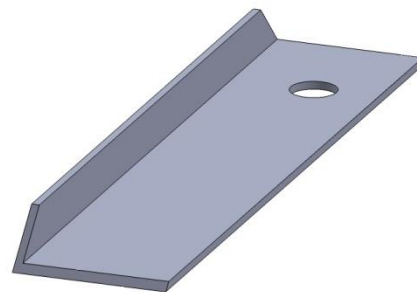
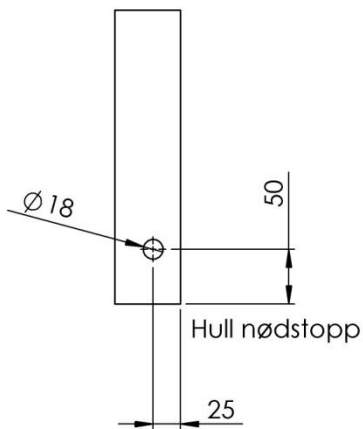
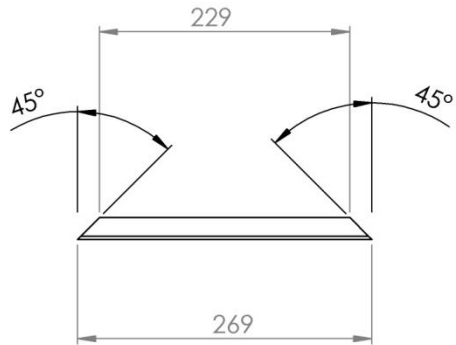
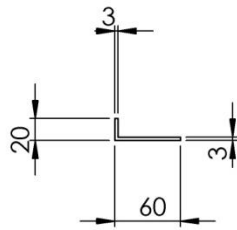
Vedlegg 9



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE:			
	Stig Hølen		5/5-14						
CHK'D									
APPV'D									
MFG									
Q.A					MATERIAL: Stål	DWG NO.	Stav 245mm		A4
					WEIGHT:	SCALE:1:5	SHEET 1 OF 1		



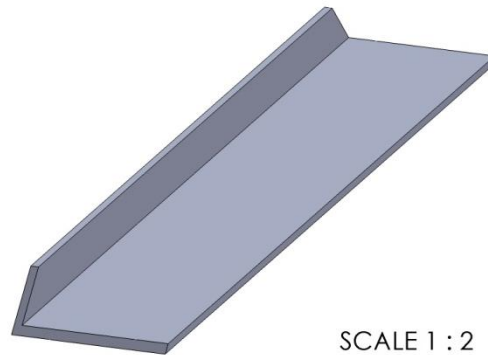
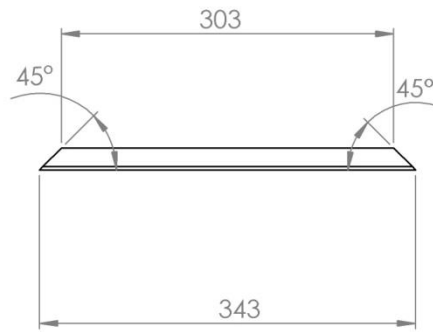
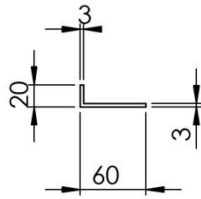
Vedlegg 11



SCALE 1 : 2

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
				2 stykker, kun en med hull	Side 1/2
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE:	
CHKD	Stig Hølen		15/4-14		
APPVD					
MFG					
Q.A				DWG NO.	A4
			MATERIAL: Stål	Kortside	
			WEIGHT:	SCALE:1:5	SHEET 1 OF 1

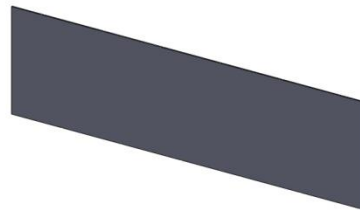
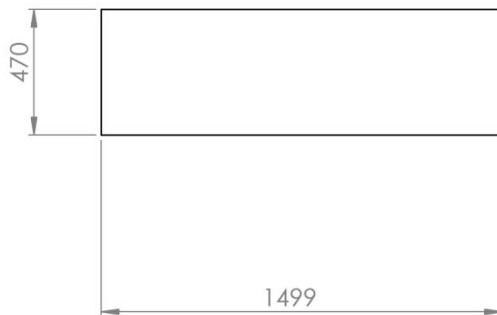
Vedlegg 12



SCALE 1 : 2

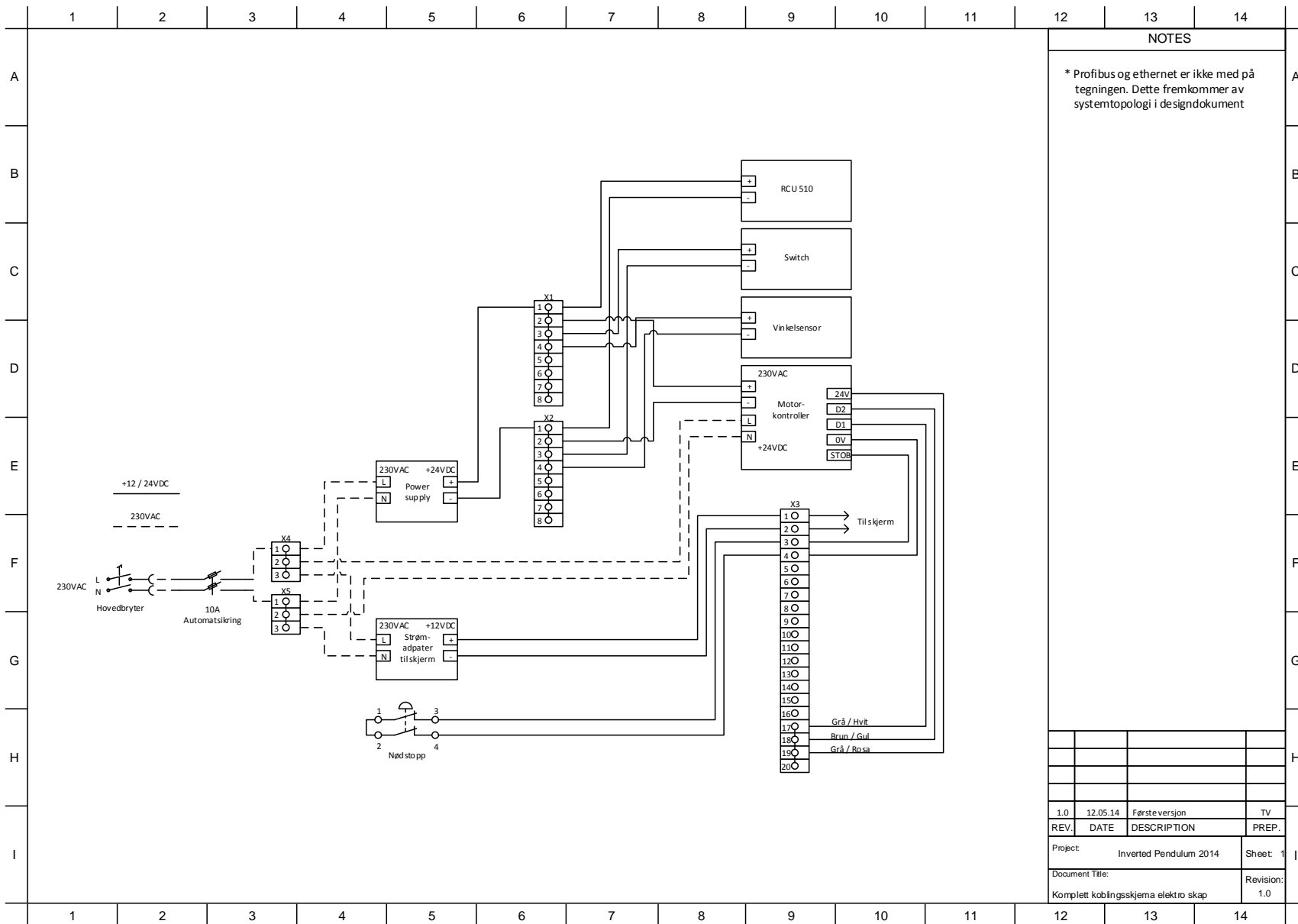
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
				2 stykker	Side 2/2
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE:	
	Stig Hølen		15/4-14		
CHKD					
APPVD					
MFG					
Q.A			MATERIAL: Stål	DWG NO. Langside	A4
			WEIGHT:	SCALE:1:5	SHEET 1 OF 1

Vedlegg13



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		
SURFACE FINISH:										
TOLERANCES:										
LINEAR:										
ANGULAR:										
	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE:				
DRAWN	Stig Hølen		5/5-14							
CHKD										
APPVD										
MFG										
Q.A						MATERIAL: Aluminium		DWG. NO. Topp		A4
						WEIGHT:		SCALE:1:20		SHEET 1 OF 1

# Vedlegg 14



## NOTES

\* Profibus og ethernet er ikke med på tegningen. Dette fremkommer av systemtopologi i designdokument

1.0	12.05.14	Førsteversjon	TV
REV.	DATE	DESCRIPTION	PREP.
Project: Inverted Pendulum 2014			Sheet: 1
Document Title: Komplette koblingsskjema elektro skap			Revision: 1.0



KONGSBERG



# IP Inverted Pendulum

---

## TESTRAPPORT

<b>PROSJEKT</b>	Inverted Pendulum		
<b>OPPDRAGSGIVER</b>	Kongsberg Maritime		
<b>UTFØRT VED</b>	Høgskolen i Buskerud og Vestfold avd. Kongsberg		
<b>GRUPPE</b>	Stian A Nilsen, Stig Hølen, Jonas Pettersen, Terje Valaker		
<b>REVISJON</b>	1.0		
<b>ANTALL SIDER</b>	9		
<b>DOKUMENTHISTORIKK</b>	<b>REVISJON</b>	<b>UTGITT</b>	<b>BESKRIVELSE</b>
	1.0	26.05.2014	Første utgave

## INNHALDSFORTEGNELSE

INNHALDSFORTEGNELSE .....	2
TABELLER .....	2
1 DOKUMENTHISTORIE .....	3
2 INNLEDNING .....	3
3 SAMMENDRAG OG KONKLUSJON .....	4
3.1 SAMMENDRAG .....	4
3.2 KONKLUSJON .....	4
4 UTSTYR .....	5
5 RESULTAT .....	6
5.1 RESULTAT AV RAMMEKRAV .....	6
5.2 RESULTAT AV FUNKSJONSKRAV .....	7
5.3 RESULTAT AV MASKIN/PROGRAMVAREKRAV .....	8
5.4 PUNCHLISTE .....	8
6 REFERANSER .....	9
7 VEDLEGG .....	9

## TABELLER

Tabell 1: Dokumenthistorie.....	3
Tabell 2: Utstysliste.....	5
Tabell 3: Resultat av rammekrav.....	6
Tabell 4: Resultat av funksjonellekrav.....	7
Tabell 5: Resultat av maskin/programvarekrav .....	8
Tabell 6: Punchliste .....	8
Tabell 7: Vedlegg.....	9

## 1 DOKUMENTHISTORIE

Tabell 1: Dokumenthistorie

VERSJON NR:	DATO ENDRET:	BESKRIVELSE:
0.1	14.04.2014	Oppretting av dokument
1.0	24.05.2014	Første utgivelse av dokument

## 2 INNLEDNING

Dette dokumentet presenterer testresultatet som er gjort i forbindelse med bygging av demonstrasjonsriggen. Dokumentet tar for seg testing av rammekrav, funksjonskrav og maskin/programvarekrav fremsatt av Kongsberg Maritime, KM. En beskrivelse av kravene finnes i kravspesifikasjon [1]. Det er brukt to typer testmetoder. Inspeksjonstest og funksjonstest. Testene er blitt gjennomført ved HBV avdeling Kongsberg i mai 2014. Testene er beskrevet i testspesifikasjon [2].

Som kommentar til de forskjellige testene brukes, godkjent eller ikke godkjent. Testene som ikke blir godkjent vil listes opp i egen tabell, tabell 6 i dette dokumentet. Her blir feilene kategorisert som PA og PB. PA – må fikses før leveranse. PB – kan leveres med feil/mangel avhengig av kravets prioritet. Et eksempel vil være et C-krav som vil kunne leveres med kategori PB.

### **3 SAMMENDRAG OG KONKLUSJON**

#### **3.1 Sammendrag**

Under testen ble samtlige rammekrav godkjent. Resultatet er spesifisert i tabell 3 i dette dokumentet. Ved test av funksjonskrav ble 4 av 5 krav godkjent. Avviket her skyldes at ved testdag, 19.05.14 var ikke den automatiske oppsvingen av pendelen ferdig programmert. Resultatet er spesifisert i tabell 4 i dette dokumentet. Samtlige maskin/programvarekrav ble godkjent uten avvik. Resultatet er spesifisert i tabell 5 i dette dokumentet.

#### **3.2 Konklusjon**

Systemet passerte samtlige A og B-krav tilhørende oppgaven. Det ene kravet som ikke ble godkjent var et C-krav. Det skal nevnes at gruppen fortsatt har tid og mulighet til å tilfredstille dette kravet i etterkant av test.

## 4 UTSTYR

Nedenfor vil du finne en liste over utstyr som er brukt under test av demonstrasjonsriggen.

Tabell 2: Utstyrsliste

Type utstyr	Betegnelse	Kommentar
PC	Bærbar	
Sanntidskontroller	RCU 510	
Vinkelgiver	Hengstler AC 58	
Lineærakse	FESTO EGC-70-1000-TB-KF-OH-GK	
Motorkontroller	FESTO CMMP-AS -C2-3A-M3	
Panel-PC	ARCHMI - 712	

## 5 RESULTAT

I dette delkapittelet vil du finne resultatene av de forskjellige testene som er blitt utført. De er delt inn i rammekrav, funksjonellekrav og maskin/programvarekrav.

### 5.1 Resultat av rammekrav

Tabell 3: Resultat av rammekrav

Test.id	Krav.id	Dato	Godkjent/Ikke godkjent	Kommentar
TR01	KR01	19.05.14	Godkjent	
TR02	KR02	19.05.14	Godkjent	
TR03	KR03	19.05.14	Godkjent	
TR04	KR04	19.05.14	Godkjent	
TR05	KR05	19.05.14	Godkjent	

## 5.2 Resultat av funksjonskrav

Tabell 4: Resultat av funksjonellekrav

Test.id	Krav.id	Dato	Godkjent/Ikke godkjent	Kommentar
TF01	KF01	19.05.14	Godkjent	
TF02	KF02	19.05.14	Ikke godkjent	Riggen svinger ikke opp automatisk
TF04	KF04	19.05.14	Godkjent	
TF05	KF05	19.05.14	Godkjent	Pådrag blir til posisjon
TF06	KF06	19.05.14	Godkjent	

### 5.3 Resultat av maskin/programvarekrav

Tabell 5: Resultat av maskin/programvarekrav

Test.id	Krav.id	Dato	Godkjent/Ikke godkjent	Kommentar
TM01	KM01	19.05.14	Godkjent	
TM02	KM02	19.05.14	Godkjent	
TM03	KM03	19.05.14	Godkjent	
TM04	KM04	19.05.14	Godkjent	
TM05	KM05	19.05.14	Godkjent	

### 5.4 Punchliste

Tabell 6: Punchliste

Punch id:	Side	Beskrivelse	Kategori	Klarert studenter (dato/sign)	Klarert KM (dato/sign)
1.0	7	Oppsving ikke laget	PB	19.05.14 Stig Hølen	19.05.14 Sigurd Kleppan

## 6 REFERANSER

[1] Hølen, S., Nilsen, S., Pettersen, J., Valaker, T., Inverted Pendulum, *Kravspesifikasjon*, Høgskolen i Buskerud og Vestfold, 2014, Rev 3.0

[2] Hølen, S., Nilsen, S., Pettersen, J., Valaker, T., Inverted Pendulum, *Testspesifikasjon*, Høgskolen i Buskerud og Vestfold, 2014, Rev 3.0

## 7 VEDLEGG

Tabell 7: Vedlegg

Vedlegg	BESKRIVELSE
1	Dokument for godkjenning av krav



**KONGSBERG**



## 1 VEDLEGG

I dette dokumentet finnes underskrift fra Kongsberg Maritimes representant og prosjektgruppens deltakere. Dokumentet bekrefter resultatet av testen gjennomført 19.05.2014 ved HBV avdeling Kongsberg.

## 2 GODKJENNING

Dokumentet er lest og godkjent av følgende representanter:

For Kongsberg Maritima, Sigurd Kleppan

Prosjektgruppen, Stian A Nilsen, Terje Valaker,  
Stig Hølen og Jonas Pettersen



KONGSBERG



# IP Inverted Pendulum

---

## ØKONOMIDOKUMENT

<b>PROSJEKT</b>	Inverted Pendulum		
<b>OPPDRAGSGIVER</b>	Kongsberg Maritime		
<b>UTFØRT VED</b>	Høgskolen i Buskerud og Vestfold, avd. Kongsberg		
<b>GRUPPE</b>	Stian A Nilsen, Stig Hølen, Jonas Pettersen, Terje Valaker		
<b>REVISJON</b>	2.0		
<b>ANTALL SIDER</b>	5		
<b>DOKUMENTHISTORIKK</b>	<b>REVISJON</b>	<b>UTGITT</b>	<b>BESKRIVELSE</b>
	1.0	18.03.2014	Første utgave
	2.0	25.05.2014	Andre utgave

## INNHALDSFORTEGNELSE

INNHALDSFORTEGNELSE .....	2
TABELLER .....	2
1 DOKUMENTHISTORIKK .....	3
2 INNLEDNING .....	3
3 BUDSJETT .....	4
4 REGNSKAP .....	5

## TABELLER

Tabell 1: Dokumenthistorikk .....	3
Tabell 2: Materiell budsjett .....	4
Tabell 3: Operatørstasjon budsjett .....	4
Tabell 4: Totale kostnader budsjett .....	4
Tabell 5: Administrative kostnader .....	5
Tabell 6: Materielle kostnader .....	5
Tabell 7: Operatørstasjon kostnader .....	5
Tabell 8: Totalt kostnader .....	5

## 1 DOKUMENTHISTORIKK

VERSJON NR:	DATO ENDRET	BESKRIVELSE
0.1	18.11.2013	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dokument opprettet</li></ul>
0.2	5.3.2014	<ul style="list-style-type: none"><li>• Oppdatert poster under budsjett og regnskap</li></ul>
1.0	18.03.2014	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dokument er godkjent og utgitt</li></ul>
1.1	22.04.2014	<ul style="list-style-type: none"><li>• Regnskap oppdatert</li></ul>
2.0	25.05.2014	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dokument er godkjent og utgitt</li></ul>

Tabell 1: Dokumenthistorikk

## 2 INNLEDNING

Som en del av hovedprosjektet skal det føres et budsjett og regnskap over utgifter. Det er ikke gitt konkrete budsjettrammer fra KM. Det er gitt beskjed om at riggen skal se pen og representabel ut, men at budsjettet holdes innenfor rimelighetens grenser.

Utgiftene føres i sorterte poster i dette dokumentet, og vil presentere utgiftene både prosjektgruppen og oppdragsgiver har hatt underveis.

### 3 BUDSJETT

Dette kapitlet presenterer prosjektgruppas budsjett under hele prosjektperioden. Det vil være noe usikkerhet knyttet til kostnadene da det ikke er kommet nøyaktig pris på alle komponenter og objekter som skal kjøpes inn. Det tas også forbehold om at noe kan utgå og noe kan legges til.

BESKRIVELSE	ANTALL	ENHETSPRIS	TOTALT
Lineærmotor m/tilbehør	1	Kr 32 015,06	Kr 32 015,06
Vinkelsensor	1	Kr 15 000,00	Kr 15 000,00
Koblingsskap	1	Kr 9000,00	Kr 9000,00
		SUM	Kr 56 015,06

Tabell 2: Materiell budsjett

BESKRIVELSE	ANTALL	ENHETSPRIS	TOTALT
Remote Controller RCU510	1	Kr 5350,00	Kr 5350,00
Operatørstasjon	1	Kr 8200,00	Kr 8200,00
Operatør PC m/touch	1	Kr 10 000,00	Kr 10 000,00
Bord i aluminium	1	Kr 15 000,00	Kr 15 000,00
Uforutsette kostnader i forbindelse med bord	1	Kr 5000,00	Kr 5000,00
		SUM	Kr 43 550,00

Tabell 3: Operatørstasjon budsjett

BESKRIVELSE	TOTALT
Materiell budsjett	Kr 56 015,06
Operatørstasjon budsjett	Kr 43 550,00
SUM	Kr 99 565,06

Tabell 4: Totale kostander budsjett

## 4 REGNSKAP

Dette kapitelet gir en oversikt over hvilke utgifter prosjektgruppa har hatt under hele prosjektperioden. Dette vil være et løpende dokument siden utgifter vil løpe frem til prosjektets slutt. Det endelige regnskapet vil dermed ikke være komplett før siste utgivelse.

Det har ikke blitt budsjettert administrative kostnader, men det har blitt kjøpt inn t-skjorter i forbindelse med prosjektet. Derfor er det blitt nødt til å ta med dette i regnskapet.

BESKRIVELSE	ANTALL	ENHETSPRIS	TOTALT
T-skjorter m/Kongsberg logo	4 stk	Kr 189,00	Kr 756,00
		Sum	<b>Kr 756,00</b>

Tabell 5: Administrative kostnader

BESKRIVELSE	BUDSJERTERT	FAKTURERT	DIFFERANSSE
Linærmotor	Kr 32 015,06	Kr 32 274,52	Kr 259,46
Koblingskap	Kr 9000,00	Kr 13 836,55	Kr 4836,55
Vinkelgiver	Kr 15 000,00	Kr 0,00	Kr 15 000,00
SUM	<b>Kr 56015,06</b>	<b>Kr 46 111,07</b>	<b>Kr 9903,99</b>

Tabell 6: Materielle kostnader

BESKRIVELSE	BUDSJERTERT	FAKTURERT	DIFFERANSSE
Remote Controller RCU510	Kr 5350,00	Kr 5350,00	Kr 0,00
Operatørstasjon	Kr 8200,00	Kr 0,00	Kr 8200,00
Operatør PC m/touch	Kr 10 000,00	Kr 9652,50	Kr 347,50
Bord i aluminium	Kr 15 000,00	Kr 26 237,00	Kr 11 237,00
Uforutsette kostnader i forbindelse med bord	Kr 5000,00	Kr 9118,00	Kr 4118,00
SUM	<b>Kr 43 550,00</b>	<b>Kr 50 357,00</b>	<b>Kr 6807,00</b>

Tabell 7: Operatørstasjon kostnader

BESKRIVELSE	BUDSJERTERT	FAKTURERT	DIFFERANSSE
Materielle kostnader	Kr 56 015,06	Kr 46 111,07	Kr 9903,99
Operatørstasjon kostnader	Kr 43 550,00	Kr 50 357,00	Kr 6807,00
Administrative kostnader	Kr 0,00	Kr 756,00	Kr 756,00
SUM	<b>Kr 99 565,06</b>	<b>Kr 97 224,07</b>	<b>Kr 2340,99</b>

Tabell 8: Totalt kostnader



KONGSBERG



# IP Inverted Pendulum

---

## HELSE, MILJØ OG SIKKERHET

<b>PROSJEKT</b>	Inverted Pendulum		
<b>OPPDRAGSGIVER</b>	Kongsberg Maritime		
<b>UTFØRT VED</b>	Høgskolen i Buskerud og Vestfold, avd. Kongsberg		
<b>GRUPPE</b>	Stian A Nilsen, Stig Hølen, Jonas Pettersen og Terje Valaker		
<b>REVISJON</b>	1.0		
<b>ANTALL SIDER</b>	4		
<b>DOKUMENTHISTORIKK</b>	<b>REVISJON</b>	<b>UTGITT</b>	<b>BESKRIVELSE</b>
	1.0	05.10.2013	Første utgave

## INNHALDSFORTEGNELSE

INNHALDSFORTEGNELSE .....	2
TABELLER .....	2
1 DOKUMENTHISTORIKK .....	3
2 INNLEDNING .....	3
3 SIKKERHETSFUNKSJONER .....	4
3.1 NØDSTOPPBRYTER.....	4
3.2 VINKELGRENSE.....	4
3.3 VINKELHASTIGHET .....	4
3.4 SYSTEM SIKKERHET .....	4
3.5 PENDELENS LENGDE.....	4

## TABELLER

Tabell 1: Dokumenthistorikk .....	3
-----------------------------------	---

## 1 DOKUMENTHISTORIKK

Tabell 1: Dokumenthistorikk

VERSJON NR:	DATO ENDRET	BESKRIVELSE
0.1	16.02.2014	<ul style="list-style-type: none"><li>• Opprettet dokument</li></ul>

## 2 INNLEDNING

Helse, miljø og sikkerhet (heretter kalt HMS) er et sentralt tema for utførelsen av oppgaven og implementering i sluttproduktet. Dette dokument er opprettet for å sikre bevissthet rundt tema HMS. Gruppas fokus på HMS er først og fremst å sikre personer i nærheten av riggen. Når dette er i varetatt skal riggen og utstyret sikres. Dette ønskes oppnådd ved å hele veien ha fokus på mulige scenarier som kan tenkes forekommer under utvikling og drift av systemet.

### **3 SIKKERHETSFUNKSJONER**

Det er viktig å ha fokus på å begrense mulighetene for skade på personer og utstyr under utvikling av software og hardware.

#### **3.1 Nødstoppbryter**

Systemet er utstyrt med en nødstoppbryter. Ved å aktivere nødstopp brytes kontrollereens motorkrets som deaktiverer all kraft i motoren og sekvens stoppes. Ved aktivering i nødstopp må det kvitteres for feil i programmet.

#### **3.2 Vinkelgrense**

Systemet er designet slik at, dersom vinkelen på pendelen har ett større avvik enn det den klarer å innhente, vil pendelen falle. Motoren stopper i gjeldende posisjon.

#### **3.3 Vinkelhastighet**

Et ledd i sikkerheten er at vinkelhastigheten overvåkes. Hvis vinkelhastighet på pendelen blir for høy stopper sekvensen og motoren stopper i gjeldende posisjon.

#### **3.4 System sikkerhet**

Riggen er sikret for overbelastning av interne komponenter med sikring av tilførselsspenning. Det er montert låsbar hovedstrømsbryter på siden av skapet som kan låses av ved behov.

#### **3.5 Pendelens lengde**

Pendelen har en slik lengde at den ikke stikker utenfor riggen.



KONGSBERG



# IP Inverted Pendulum

---

## ETTERANALYSE

<b>PROSJEKT</b>	Inverted Pendulum		
<b>OPPDRAGSGIVER</b>	Kongsberg Maritime		
<b>UTFØRT VED</b>	Høgskolen i Buskerud og Vestfold avd. Kongsberg		
<b>GRUPPE</b>	Stian A Nilsen, Stig Hølen, Jonas Pettersen, Terje Valaker		
<b>REVISJON</b>	1.0		
<b>ANTALL SIDER</b>	10		
<b>DOKUMENTHISTORIKK</b>	<b>REVISJON</b>	<b>UTGITT</b>	<b>BESKRIVELSE</b>
	1.0	24.05.2014	Første utgave

## INNHALDSFORTEGNELSE

INNHALDSFORTEGNELSE .....	2
TABELLER .....	2
<b>1 DOKUMENTHISTORIE .....</b>	<b>3</b>
<b>2 INNLEDNING .....</b>	<b>3</b>
<b>3 ADMINISTRATIV VURDERING .....</b>	<b>4</b>
3.1 PLANLEGGING.....	4
3.2 TIMEESTIMAT .....	4
3.3 MØTER .....	5
3.4 PRESENTASJONER.....	5
<b>4 TEKNISK VURDERING .....</b>	<b>6</b>
4.1 KONSTRUKSJON .....	6
4.2 PROGRAMMERING I AIM.....	6
<b>5 EGENVURDERING .....</b>	<b>7</b>
5.1 STIAN ANDREAS NILSEN .....	7
5.2 TERJE VALAKER.....	8
5.3 STIG HØLEN .....	8
5.4 JONAS S-T. PETTERSEN .....	9
<b>6 REFERANSER .....</b>	<b>10</b>

## TABELLER

Tabell 1: Dokumenthistorie.....	3
---------------------------------	---

## 1 DOKUMENTHISTORIE

Tabell 1: Dokumenthistorie

VERSJON NR:	DATO ENDRET:	BESKRIVELSE:
0.1	19.05.2014	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dokument opprettet</li></ul>
1.0	24.05.2014	<ul style="list-style-type: none"><li>• Utgivelse av dokument</li></ul>

## 2 INNLEDNING

Dette dokumentet vil fremstille en total vurdering av prosjektet. Vi tar her for oss administrative, tekniske og personlige erfaring gjort i prosjektperioden.

I den administrative delen vil det bli lagt fokus på planlegging, timeestimat, møter og presentasjonene. Som en vurdering av det tekniske arbeidet vil vi fokusere på konstruksjon og programmering i AIM2000. Som et avsluttende kapitell vil det være en egenvurdering for samtlige av gruppe medlemmene.

### 3 ADMINISTRATIV VURDERING

Fra Høgskolen sin side legges det stor vekt på gjennomføring av den administrative delen av et slikt prosjekt. Det er her essensielt å ha fokus på både hvordan man gjennomfører oppgaven samt den tekniske løsningen. Her vil du få presentert vår vurdering på en del av det administrative arbeidet gjort i prosjektperioden.

#### 3.1 Planlegging

En stor del av den administrative delen har vært å planlegge arbeid i prosjektet. Det ble tidlig laget en prosjektplan. Denne har blitt revidert underveis i prosjektet, ettersom aktiviteter har blitt utsatt eller av praktiske årsaker har måttet flyttes. Til gjennomføringen av de planlagte aktivitetene har samtlige gruppemedlemmer tilpasset seg bra. En erfaring som er blitt gjort underveis i prosjektet er at kombinasjonen med deltidsstuide og jobb krever god planlegging.

#### 3.2 Timeestimat

Som en del av oppgaven har gruppen estimert timeforbruk til de forskjellige aktivitetene i prosjektplanen [1]. Dette har vært en lærerik prosess, da dette er svært relevant, med tanke på en ingeniørs hverdag. Tilhørende de estimerte timene har gruppemedlemmene ført timelister knyttet til aktivitetene i prosjektplanen [1]. Som forventet har timestimatet blitt revidert under prosjektperioden, da det har vært nødvendig å flytte timer fra en aktivitet til en annen.

Forespeilet fra Høgskolen sin side, har de estimert med at en bacheloroppgave vil ligge på omlag 550 timer per student. Prosjektgruppa estimerte med å jobbe opp mot 30 timer i uken etter eksamen. I praksis viste dette seg å bli mye, men ikke uoverkommelig. Med konkrete arbeidsoppgaver fungerte dette bra.

Som en annen erfaring av prosjektet skal det nevnes at det finnes noe avvik rundt timeestimering til de forskjellige aktivitetene. En del aktiviteter har utgått mens andre har tatt mer tid enn først estimert. Ingen av gruppemedlemmene hadde erfaring med slik timeestimering, men dette er noe alle har lært av gjennom prosjektarbeidet.

### 3.3 Møter

Gjennom hele prosjektperioden har det vært forskjellige typer møter. Gruppen har hatt et ukentlig møte hvor det er blitt planlagt neste ukes arbeid samt en gjennomgang av hva som er gjort foregående uke. Ut i fra dette har det blitt laget et oppfølgingsdokument, som vi har brukt videre i møte med intern veileder.

Erfaringen med internt møte er at man oppnår god oversikt over fremdriften i prosjektet og man kan raskt iverksette tiltak ved avvik. Møte med intern veileder har vært konstruktive, og vi har fått rådført oss med intern veileder når vi har hatt behov for det.

### 3.4 Presentasjoner

Underveis i prosjektet har vi hatt to presentasjoner. Den tredje og siste finner sted etter denne vurderingen er skrevet. Det har vært lærerikt å presentere et budskap for en ukjent forsamling. Samtlige gruppe-medlemmer har vært gjennom dette i forbindelse med andre skoleprosjekt, så erfaringene herfra var gode å ha med seg. Det å formidle et budskap som er kjent for deg personlig, men ikke dine tilhørere, har vært en utfordring knyttet til presentasjonene. Dette er noe gruppen har jobbet konkret med for å lage en best mulig fremstilling av vårt hovedprosjekt.

## 4 TEKNISK VURDERING

Her vil våre erfaringer knyttet til den tekniske delen av oppgaven bli presentert. Våre refleksjoner og meninger om hvordan vi har opplevd den tekniske delen av oppgaven.

### 4.1 Konstruksjon

Som beskrevet i kravene fra Kongsberg Maritime ønsket de en demonstrasjonsrigg som skulle være presentabel ovenfor sine kunder og ansatte. Lite ante vi om at konstruksjonen av demonstrasjonriggen skulle være så omfattende som den ble. Dette resulterte i en god del mer jobb, men som igjen førte til at byggingen av riggen gikk veldig fint. 3D-modelleringen gjorde at vi fikk et helt realistisk bilde av hvordan demonstrasjonsriggen ville bli seende ut. I denne perioden gikk det også med en del tid på å sette seg inn i SolidWorks og alle dens funksjoner. En nyttig og lærerik prosess.

### 4.2 Programmering i AIM

Som kanskje den største delen av oppgaven var programmering i Kongsberg Maritimes software, AIM2000. Før prosjektet startet hadde ingen av prosjektmedlemmene kjennskap til dette programmeringsverktøyet. Tidlig i prosjektet fikk vi en innføring i KM's software via våre eksterne veiledere. De har også vært behjelpelige med spørsmål og utfordringer som har oppstått underveis i prosjektet. Engasjerte og positive veiledere har prosjektgruppa nytt godt av.

Mye tid har gått med på å gjøre seg kjent med kontrollenheten og hvordan den fungerer. En erfaring her er at om man hadde mulighet, skulle man startet denne prosessen tidligere. Vi har som oppgaven viser, kommet i mål med de ønskelige elementene, men mer tid ville resultert i et større programutvalg tilhørende demonstrasjonsriggen.

Opgaven baserte seg også på å teste ut hva kontrollenheten, RCU 510 var kapabel til å utføre. Under programmeringen har prosjektgruppa erfart både positive og negative sider ved Kongsberg Maritimes kontrollenhet. De har store muligheter i sin enhet, men også enkelte begrensninger.

## 5 EGENVURDERING

Som et siste kapittel i etteranalysen vil en egenvurdering fra gruppe medlemmene bli beskrevet.

### 5.1 Stian Andreas Nilsen

I denne egenvurderingen vil jeg reflektere over hvordan prosjektet har vært for min egen del, og komme med noen vurderinger av hvordan jeg synes prosjektet har gått i sin helhet. Da det er noen få dager igjen til endelig innlevering av prosjektet. Jeg sitter igjen med ulike inntrykk og erfaringer, både som prosjektleder og som prosjektdeltager.

Vi var enige om hvem som skulle være på denne prosjektgruppen før prosjektet startet, da vi har samarbeidet på tidligere prosjekter. Vi har en god tone og ett godt samarbeid, så det var naturlig at vi også samarbeidet om dette hovedprosjektet. Vi kontaktet en håndfull forskjellige bedrifter, og valget falt til slutt på Kongsberg Maritime. Oppgaven fra dem virket interessant og utfordrende. Ikke minst så var det den oppgaven som var overkommelig med hensyn til tiden vi hadde til rådighet. Som prosjektleder så ble det naturlig å kartlegge hvordan vi skal arbeide med prosjektet, for så å delegerer arbeid til de andre. Denne praksisen fungerte fint og vi fikk utarbeidet de dokumentene vi skulle frem mot første presentasjon. Først etter nyttår så ble vi såpass "varme i trøya" at arbeidsfordeling gikk mer av seg selv. Gruppe medlemmene hadde funnet sin plass i gruppa.

Gjennom hele prosjektet har vi hatt faste ukentlige møter internt i gruppa samt faste møter med intern veileder. Dette har vært en strategi som har fungert bra. Vi har hatt noen diskusjoner med til tider høy temperatur, da gruppa består av fire sterke personligheter. Med ett saklig nivå på diskusjonene, har vi alltid kommet frem til en konstruktiv løsning på alle utfordringer. Etter min mening, så har diskusjonene, uten tvil, styrket kvaliteten på arbeidet. Vi hadde også telefonmøter en periode for å prøve ut dette. Dette fungerte helt ok, men jeg anser vanlige møter som mest effektivt. Vi hadde også en periode hvor alle fikk prøve seg på å skrive oppfølgingsdokument og være møteleder. Etter at alle hadde prøvd seg, så gikk vi tilbake til at jeg tok ansvaret for oppfølgingsdokumentet, da jeg anså det som mer oversiktlig at kun en person har dette ansvaret.

Faglig sett så er jeg veldig fornøyd med oppgaven vi valgte, da den i stor grad omhandlet reguleringsteknikk. Dette anså jeg som et tungt og krevende fag da vi hadde forelesninger i faget. For meg har det følgelig vært interessant og lærerikt å få jobbe med ett reguleringsprosjekt som Inverted Pendulum. Dette har hjulpet veldig på min forståelse for faget 'Reguleringsteknikk'. Det har også vært svært interessant å bli kjent med KM's AIM2000. Dette er software ingen av gruppe medlemmene hadde noe kjennskap til fra tidligere, og det har vært en forholdsvis stor utfordring å bli så godt kjent med programvaren at vi kunne programmere pendelen til å balansere av seg selv.

Som student i industribachelorstudiet har det til tider vært utfordrende å kombinere hovedprosjektet med jobben jeg har ved siden av studiene. Studiet har en studiebelastning på 75%, og vi jobber 60% ved siden av. Det har blitt ofret mye fritid for å få denne pendelen til å balansere av seg selv. Krevende perioder med høy arbeidsintensitet gjør samtidig sitt til at man blir litt ekstra stolt over resultatet vi har kommet frem til. Jeg vil takke de andre på prosjektgruppa for samarbeidet vi har hatt. Vi har hatt ett godt miljø med en avslappet tone og mye godt humør, som etter min mening har gjort arbeidet mer lystbetont.

## 5.2 Terje Valaker

Nå som hovedprosjektet nærmer seg slutten så ønsker jeg å reflektere over de erfaringer jeg sitter igjen med. Det har utvilsomt vært den største utfordringen i mitt bachelorstudiet, men når det er sagt så er det den oppgaven jeg har fått størst utbytte av. I motsetning til andre praktiske oppgaver og prosjekter jeg har deltatt i tidligere, har denne gitt meg muligheten til å erfare et prosjekt helt fra idéfasen, via spesifikasjoner og design til ferdigstillelse av et fysisk produkt der vi selv har stått for alle løsninger. Både teoretisk og praktisk. Ved å gå industribachelorstudiet har det vært veldig fordelaktig for meg å kunne kombinere skole og jobb med tanke på økonomi, men det har helt klart gitt en hverdagslig utfordring. Det å kombinere skole, og ikke minst hovedprosjektet med jobb har gjort at jeg har måtte legge mye av fritid bort og prioritere studiene. Jeg hadde forberedt meg på at det skulle gå med mye tid til dette prosjektet, men jeg kan nok ha hatt en personlig undervurdering av tiden. Vi har gjennom prosjektet støtt på en del utfordringer som ikke har kunne latt seg løse på stedet og som har gitt tidsforsinkelser. Dette har ført med seg at det har blitt en del sene kvelder og ekstra arbeid hjemme. Jeg har klart å anlegge gode arbeids- og prioriteringsrutiner som har fungert veldig godt for både meg, og det har ikke gått over gruppe eller prosjektarbeidet. Dette er rutiner jeg kommer til å dra med meg videre.

Jeg syns det har vært interessant, og ikke minst lærerikt å ta del i såpass stor utfordring som Inverted Pendulum. Ikke bare har det faglige nivået mitt blitt satt på prøve, men jeg har også fått muligheten til å teste min evne til å samarbeide i en gruppe hvor det har vært mye diskusjoner og faglige drøftinger. Fra sistnevnte så vil de største erfaringene være evnen til å kunne stå for mitt ord og argumentasjon, mens jeg på en annen side har måtte vise ydmykhet for andre løsninger. Dette har resultert i at de avgjørelsene som er tatt i gruppen er godt reflekterte med mange gode synspunkter. Jeg visste tidlig at det var Stig, Stian og Jonas jeg skulle ta oppgaven sammen med. Vi har jobbet sammen siden første skoleår og er en gruppe som har gått godt overens gjennom hele studieperioden. Dette har gjort at oppgaven ikke bare har vært lærerik, men at hele prosjektperioden har vært morsom. Vi er en gruppe som klarer å holde humøret oppe, selv i de tidene utfordringene har vært som størst.

Når det gjelder det faglige så syns jeg det har vært interessant å se hvordan det vi hittil kun har drevet med i teorien, faktisk ser ut i virkeligheten. Det viser seg at det å gå fra teori til praksis kan være vanskelig å gjennomføre, men var kanskje ikke forberedt på et så stort skille. Det har vært komplikasjoner i dette prosjektet hvor vi har måttet gjøre praktiske tilnærminger i områder hvor teorien ikke har strekt til. Med det sagt så er jeg veldig fornøyd, og ikke minst stolt av produktet vi har fått til.

Jeg ønsker å takke de andre medlemmene på gruppa, ikke bare for arbeidet gjennom bacheloroppgaven, men også for arbeidet gjennom hele studietiden min ved HBV. Det er en gjeng jeg har opparbeidet meg et godt forhold til å jeg ser fremover til å kunne holde kontakten med disse i tiden fremover.

## 5.3 Stig Hølen

Det ble tidlig klart hvem jeg skulle utføre bacheloroppgaven sammen med. Dette resulterte i at gruppa tidlig kom igang med å finne oppdragsgiver. Samtlige av gruppemedlemmene var studenter jeg hadde knyttet kjennskap til etter tre års deltidsstudiet. Etter flere besøk hos forskjellige oppdragsgivere, ble tilslutt Kongsberg Maritime valgt. Store deler av tiden frem mot jul 2013 ble brukt til forprosjektering. Første presentasjon ble avholdt før eksamensperioden i desember 2013.

Det har vært en posetiv opplevelse å jobbe sammen med de andre gruppemedlemmene i denne prosjektperioden. En gruppe sammensatt av medlemmer med høyt kompetansenivå og individuelle ferdigheter, har resultert i et prosjekt jeg er stolt av. Gruppa har nytt godt av både tildels lik kompetanse, men også at vi har forskjellige interesser og bakgrunner. Ettersom vi skulle gjennomføre de to siste fagene parallellt med bacheloroppgaven ble det bestemt å legge den største delen av prosjektet til vårsemesteret. I

praksis har dette resultert i lange dager, spesielt etter påske og siste eksamen. Sett tilbake, skulle jeg ønsket å brukt noen flere timer før jul. En utfordring vi har hatt med oss hele veien er 60% jobb ved siden av skolen. For meg personlig har kombinasjonen av småbarnsfar, jobb og studie resultert i en meget hektisk periode. Jeg har her måttet legge hobby og andre aktiviteter tilside for å kunne fullføre bacheloroppgaven.

Opgaven vi valgte har bydd på store utfordringer, både teknisk og teoretisk. Et slikt prinsipp som inverted pendulum har vært utarbeide mange ganger tidligere, men det er første gang noe gjør det med Kongsberg Maritimes kontroller, RCU 510. Gjennom prosjektet har jeg blitt kjent med kontrolleren til KM og vi har utforsket dens grensesnitt. Når det gjelder programmeringen skulle vi startet tidligere, noe som hadde resultert i mindre tidspress mot slutten av oppgaven.

Gjennom prosjektet har jeg oppnådd gode erfaringer innen prosjektarbeid. Dette har vært et spennende og lærerikt prosjekt, som jeg vil kunne se tilbake til på som en positiv opplevelse. Jeg er stolt og fornøyd med det resultatet vi har levert inn.

### 5.4 Jonas S-T. Pettersen

Da er det snart over, en periode av livet på snart 4 år. En tid som avsluttes med denne oppgaven. Hele denne oppgaven har vært en erfaring jeg kommer til å ta med meg videre i karrieren. En oppgave der jeg virkelig har fått testet meg selv, mine faglige, og personlige evner. Vi startet skoleåret med forelesninger i hvordan hovedprosjektet skulle utføres og hvilke krav som ble stilt. Deretter måtte vi dele oss i grupper og oppsøke bedrifter som kunne stille med en oppgave som innfridde skolens og studiets krav. Gruppen vår oppsøkte flere aktuelle bedrifter der vi besluttet å ta den oppgaven Kongsberg Maritime hadde tilbudt oss. Det var en spennende oppgave som relaterte sterkt til studiet og fagene vi hadde hatt til da.

Selv om jeg kommer fra industrien og er vant til å praktisere fag i felt har oppgaven lært meg mye. Blant annet har jeg på en helt ny måte lært å sette teorien i praksis. Jeg har tilegnet meg nye metoder og teknikker for å løse praktiske utfordringer ved hjelp av teori.

Jeg føler gruppen vår har fått en god dynamikk der vi har erfart hvordan det er å dele på ansvar og målsetninger. Vi har som utgangspunkt vært 4 ulike personer med 4 ulike mål og ambisjoner. Dette har gitt oss utfordringer som vi har måttet løse underveis for å skape fremgang i prosjektet. Selv om vi har delt spesifikke ansvar på enkeltpersonene har arbeidet til hver enkelt ofte sklidt sammen og vi har klart å utfylle hverandre. Dette kom tidlig til syne i prosjektet ved at de ulike deltakere satt med kompetanse på forskjellige steder. Der en var dårlig var en annen god og der en har kunnet lite var det alltid andre i gruppen som kunne forklare og lære bort. Dette har gjort oss som gruppe sterke og målrettede. Jeg føler vi har kommet langt og har fått pakket en ryggsekk med gode verktøy vi skal bruke videre i det kommende arbeidslivet.

Opgaver har utfordret meg til og gå utenfor det vi har lært på skolen og søke kunnskap på egenhånd. Den var av en slik karakter at det ikke var nok med våre egne fag. Vi har måttet løse oppgaver i alt fra blant annet mekaniske fag til økonomiske og strategiske fag.

KM ønsket en installasjon der deres PLS (Programmerbar Logisk Styring) system skulle kunne demonstreres for kunder. I dag har ikke Kongsberg noe og vise frem ettersom alle deres installasjoner er plassert ute i felt og er for store og komplekse til å ha fremme for demonstrasjon. Oppgaven vi fikk var å lage en rigg de kunne ha stående i deres hovedkvarter og mulighet for å ta med på messer. Den skulle være pen å se på, enkel å forstå og fremme deres produkt på en positiv måte for bedriften. Jeg føler vi har innfridd dette til det fulle samtidig som vi har opparbeidet og viktige kontakter i bedriften og verdifull kunnskap i arbeidet med oppgaven.

## 6 REFERANSER

[1] Inverted Pendulum 2014, Hølen, S., Nilsen, S., Pettersen, J., Valaker, T., Prosjektplan (*Rev 3.0*), Vedlegg 2, Høgskolen i Buskerud og Vestfold