

# Sensur av hovedoppgaver Høgskolen i Buskerud Avdeling for Teknologi



**Prosjektnummer: 2011-10**

For studieåret: 2010/2011

Emnekode: [SFHO-3200](#)

## **Prosjektnavn**

Trådstrammesystem.

Thread Control System.

**Utført i samarbeid med:** Tronrud Engineering AS

**Ekstern veileder:** Bjørn Liene Gundersen

## **Sammendrag:**

Prosjektoppgaven omhandler både elektronikk og mekanikk. Oppgaven består av fire deler, som tar for seg design av bommer for Thread Controller 2, implementering av streklapper, algoritme for stramming av renningstråd og konstruksjon av elektronikken til 3-fase BLDC motor.

## **Stikkord:**

- Algoritme
- Mekanikk
- Motorstyring

Tilgjengelig: JA

## **Prosjekt deltagere og karakter:**

Navn	Karakter
Lars Thorvald Lie	
Japrit Singh Thakkar	
Babar Iqbal	
Rebaz Jawher	

Dato: 10. Juni 2011

---

Sigmund Gudvangen  
Intern Veileder

---

Olaf Hallan Graven  
Intern Sensor

---

Bjørn L. Gundersen  
Ekstern Sensor





## *Thread Control System*

### **PROSJEKTGRUPPE 2011-10**

LARS THORVALD LIE

JAPRIT THAKKAR

REBAZ JAWHER

BABAR IQBAL



**PROSJEKTGRUPPE 2011-10**

*Avdeling for Teknologi*

*Høgskolen i Buskerud*

*30. Mai 2011*

## FORORD

Som et ledd i utdanningen ved Høgskolen i Buskerud har prosjektgruppe 2011-10 gjennomført et omfattende hovedprosjekt som markerer avslutningen på et treårig Bachelorstudium. Prosjektet ble startet i august 2010, og avsluttes med en hovedpresentasjon 7. juni 2011.

Arbeidet har blitt gjennomført av en gruppe på fire ingeniørstudenter, som spesialiserte seg innenfor fagområdene mekatronikk, produktutvikling og kybernetikk.

Oppdragsgiveren for prosjektet har vært Tronrud Engineering. Dette er en bedrift som holder til på Eggemoen i Ringerike kommune.

Veilederne for prosjektgruppen har vært Bjørn Liene Gundersen fra Tronrud Engineering, og Sigmund Gudvangen fra Avdeling for Teknologi ved Høgskolen i Buskerud.

Vi ønsker spesielt å takke Arne Bjørnar Næss, Dag Samuelson og Richard Thue ved HiBu, for at de har vært hjelpelige med teknisk utfordringer underveis. Fra Tronrud Engineering ønsker vi å takke Geir Atle Ekaas og Anders Beyer Brattli, som har stilt opp for prosjektgruppen under prosjektprosessen.

Tilslutt ønsker prosjektgruppen å takke familie og venner som har støttet oss gjennom prosjektperioden, det har blitt mange lange arbeidsdager og sene kvelder.

*Prosjektgruppe 2011-10*

## SAMMENDRAG

Oppdragsgiveren for prosjektet var Tronrud Engineering, og oppgaven omhandlet både mekanikk og elektronikk for Thread Controller 2. Prosjektoppgaven var fire-delt og tok for seg design av bommene til TC-2, implementasjon av strekkklapper på TC-2, utvikling av algoritme med tanke på stramming av renningen og konstruksjon av en 3-fase BLDC motorkontroller.

Det har blitt designet totalt fire bommer for TC-2. Designet til brystbom og bakbom er C-formet, noe som reduserer både materialbruk og vekt. Dessuten muliggjør dette designet innvendig plassering av strekkklapper. Videre er renningsbom og varebom designet i en sylindereformet profil. Materialet som har blitt brukt for design av bommene er Aluminium i serie 6063-T6. Alle de fire bommene kan bli ekstrudert uten behov for fresing eller ettermaskinering.

Prosjektgruppen har valgt å benytte strekkklapptypen XY33-3/350 fra HBM, og strekkklappene er koblet opp i helbrokobling. For optimal plassering kom prosjektgruppen frem til en løsning hvor strekkklappene plasseres på innsiden av den C-formede bommen, mer spesifikt innenfor et bestemt område gitt av FEM-analyse.

Det har blitt utviklet algoritmer for en mastermikrokontroller og to slavemikrokontrollere. For kommunikasjon mellom masteren og de to slavene benytter prosjektgruppen I<sup>2</sup>C-gresesnitt. Mastermikrokontrolleren konverterer det analoge signalet fra strekkklappene til en digital verdi. Videre vurderer masteren hva som skal gjøres rent spesifikt, og sender kommandoer angående hastighet, retning og antall rotasjoner til slavene. Til slutt skal slavene utføre operasjoner i henhold til disse kommandoene.

Motorkontrolleren har som oppgave å sørge for kommutasjonen av viklingene i motoren. Grunnen til at man trenger en motorkontroller er for å kunne styre motoren med bestemt retning og hastighet. De viktigste komponentene på dette kortet er transistorene som sørger for at motoren forsynes med spenning og strøm. Skjematikken tar hensyn til at det skal være mulig for motoren å trekke store strømmer, opptil 14A. Ut i fra oppgavebeskrivelsen dekker skjematikken vår behovene TC-2 har til motorstyring.

## INNHOLDSFORTEGNELSE

FORORD	03
SAMMENDRAG	04
INNHOLDSFORTEGNELSE	05
FIGURER	07
TABELLER	08
AKRONYMER	9
01 – INNLEDNING	11
02 – MEKANIKK	15
2.1 – ANALYSE	15
2.1.1 – PROBLEMSTILLINGENE	15
2.1.2 – OPTIMAL GEOMETRI OG MATERIALBRUK FOR BRYSTBOM OG BAKBOM	15
2.1.3 – IMPLEMENTERING AV STREKKLAPPER I BRYSTBOM OG BAKBOM	16
2.1.5 – DESIGN AV BRYSTBOM OG BAKBOM	17
2.1.6 – GEOMETRI FOR RENNINGSBOM OG VAREBOM	18
2.1.7 – DIMENSJONERING OG STYRKE	19
2.2 – DESIGN	19
2.2.1 – DESIGN AV BRYSTBOM OG BAKBOM	20
2.2.2 – OPTIMAL GEOMETRI OG MATERIALBRUK FOR BRYSTBOM OG BAKBOM	20
2.2.3 – IMPLEMENTERING AV STREKKLAPPER I BAKBOM	21
2.2.4 – INNFESTING TIL BRYSTBOM OG BAKBOM	22
2.2.5 – DESIGN FOR RENNINGSBOM OG VAREBOM	23
2.2.6 – STIVHET OG STYRKE TIL RENNINGSBOM OG VAREBOM	24
2.3 – STYRKEBEREGNINGER	25
2.3.1 – MAKSIMAL BELASTNING	25
2.3.2 – MOMENTBEREGNING	26
2.3.3 – TVERSGÅENDE SKJÆRSPENNING I BAKBOM	27
03 – STREKKLAPPER	29
3.1 – PROBLEMSTILLINGENE	29
3.2 – VALG AV STREKKLAPPRODUSENT OG STREKKLAPPSERIE	29
3.3 – VALG AV BROKOBLING	31
3.4 – VALG AV STREKKLAPP MODELL UT I FRA Y-SERIEN	32
3.5 – PLASSERING AV STREKKLAPPER	34
3.6 – PLASSERING AV OPERASJONSFORSTERKEREN	34
04 – ALGORITME	35
4.1 – KOMPONENTER	35
4.2 – MASTERMIKROKONTROLLEREN	36
4.2.1 – IMPLEMENTASJON	37
4.3 – SLAVEMIKROKONTROLLER	44
4.3.1 – SLAVEMIKROKONTROLLERENES OPPGAVER	45
4.3.2 – MOTORSTYRING	45

4.3.3 – IMPLEMENTASJON	47
4.4 – I2C-GRENSESNIITT	49
4.4.1 – SLAVE-ADRESSE	50
4.4.3 – I <sup>2</sup> C-SLAVE	51
4.4.5 – KOMMANDOER SOM SENDES VIA I <sup>2</sup> C-GRESESNITTET	52
05 – MOTORKONTROLLER	55
5.1 – OPPBYGGING OG VIRKEMÅTE	55
5.2 – DESIGN	59
5.2.1 – MODIFISERINGER	60
5.2.2 – SKJEMATEGNING	63
5.3 – IMPLEMENTERING	64
06 – TESTING	67
6.1 – TESTING AV MOTORENE	67
6.1.1 – FORSKJELLIG PÅ MOTORHASTIGHET	67
6.1.2 – SKJEV AKSEL PÅ VARBOMMEN	67
6.1.3 – PROBLEMER MED RISTING PÅ TESTRIGGEN	68
6.1.4 – DEFECT MOTORKONTROLLER	68
6.2 – TESTING AV STREKKLAPPENE	69
6.3 – TESTING AV ALGORITME	71
6.3.1 – DEBUGGING	71
6.3.2 – FYSISK TESTING AV ADC	72
6.3.3 – FYSISK TESTING AV I <sup>2</sup> C-GRENSESNIITTET	72
6.4 – TESTING AV BOMMENE	73
6.4.1 – BAKBOM OG BRYSTBOM	73
6.4.2 – RESULTATER FOR TESTING AV BAKBOM OG BRYSTBOM	74
6.4.3 – RESULTATER FRA TESTING AV VAREBOM OG RENNINGSBOM	81
07 – KONKLUSJON	83
REFERANSER	85
VEDLEGG	87



## FIGURER

FIGUR 01.01 – TC-2	12
FIGUR 02.01 – TRE ALTERNATIVE LØSNINGER SOM KREVER SVEISING	16
FIGUR 02.03 – INNGRAVERT HULL	17
FIGUR 02.04 – GEOMETRI FOR VAREBOM OG RENNINGSBOM	18
FIGUR 02.05 – TREDELTE RENNINGSBOM OG VAREBOM	18
FIGUR 02.06 – LØSNINGSFORSLAG TIL RENNING/VAREBOM	19
FIGUR 02.07 – OPTIMAL GEOMETRI FOR BAKBOM OG BRYSTBOM	21
FIGUR 02.08 – MASS FOR BAKBOM/BRYSTBOM	21
FIGUR 02.09 – FORSKYVNINGSTEST	22
FIGUR 02.10 – SKRUER	22
FIGUR 02.11 – TVERRSNITT GEOMETRI PÅ VAREBOM OG RENNINGSBOM	23
FIGUR 02.12 – RENNINGSBOM	24
FIGUR 02.13 – MASSE FOR RENNINGSBOM	24
FIGUR 02.14 – STYRKEBEREGNINGER	25
FIGUR 02.15 – BAKBOM	27
FIGUR 03.01 – HELBROKOBLING	31
FIGUR 03.02 – UTSATT OMRÅDE BAKBOM	33
FIGUR 04.01 – FLYTSKJEMA MASTERMIKROKONTROLLEN	37
FIGUR 04.02 – OPPSETT FOR KOMMUNIKASJON OG STYRING	44
FIGUR 04.03 – FLYTSKJEMA SLAVEMIKROKONTROLLEREN	45
FIGUR 04.04 – KOMMUTASJON	47
FIGUR 05.01 – BLDC-MOTOR	55
FIGUR 05.02 – U HALVBRO	57
FIGUR 05.03 – SPENNINGSTILFØRSEL	58
FIGUR 05.04 – TESTRIGG	59
FIGUR 05.05 – SPENNINGSREGULATOR	61
FIGUR 05.06 – KOBLINGSPUNKTER FOR ISP	63
FIGUR 06.01 – SKJEV AKSEL TILHØRENDE RENNINGSBOM	68
FIGUR 06.02 – DEFEKT TRANSISTOR	69
FIGUR 06.03 – FORSKYVNING I BAKBOM VED 1000N	70
FIGUR 06.04 – KRETSEN FOR KOBLING AV STREKKLAPPER	70
FIGUR 06.05 – TO STREKKLAPPER MONTERT PÅ BAKBOMMEN	71
FIGUR 06.06 – STYRKEBEREGNINGER	73
FIGUR 06.07 – STØRRELSE OG RETNING AV FAB OG FBE	74
FIGUR 06.08 – NORMALT STRESS I X RETNING	75
FIGUR 06.09 – NORMALT STRESS I Y RETNING	76
FIGUR 06.10 – NORMALT STRESS I Z RETNING	76
FIGUR 06.11 – SKJÆRSTRESS I Y RETNING PÅ YZ PLANET	77
FIGUR 06.12 – SKJÆRSTRESS I Z RETNING PÅ XZ PLANET	77
FIGUR 06.13 – SKJÆRSTRESS I Z RETNING PÅ YZ PLANET	78
FIGUR 06.14 – PRINSIPIELT STRESS	78
FIGUR 06.15 – MAKSIMAL PRINSIPIELT STRESS	79
FIGUR 06.16 – MAKSIMAL VON MISES-STRESS	80
FIGUR 06.17 – FORSKYVNINGSTEST	80
FIGUR 06.18 – MOMENT RUNDT VAREBOM OG RENNINGSBOM	81
FIGUR 06.19 – STRESS I VAREBOM OG RENNINGSBOM VED MAKS STRAMNING	82

## TABELLER

TABELL 00.01 – AKRONYMER	9
TABELL 02.01 – FORSKJELLIGE STØRRELSE AV SOCKET CAP SKRUER	23
TABELL 04.01 – FUNKSJONER I MAIN.C	38
TABELL 04.02 – ADC-REGISTERE	39
TABELL 04.03 – ALGORITME FOR ADC	39
TABELL 04.04 – KODE FOR TRYKKNAPP OG LED0	40
TABELL 04.05 – ADC-VERDI MED TILHØRENDE KOMMANDOER	41
TABELL 04.06 – ALGORITME FOR REGULERING MED HENSYN TIL STREKKET	41
TABELL 04.07 – UTVEKSLING PÅ VINKELGIR	43
TABELL 04.08 – TILKOBLINGER	43
TABELL 04.09 – KOMMUTASJON	46
TABELL 04.10 – MAIN FUNKSJONEN	48
TABELL 04.11 – TILKOBLINGER FOR I <sup>2</sup> C PÅ MIKROKONTROLLERENE	50
TABELL 04.12 – SLAVE ADRESSE	50
TABELL 04.13 – FUNKSJONER I TWI_MASTER.C	51
TABELL 04.14 – FUNKSJONER I USI_TWI_SLAVE.C	52
TABELL 04.15 – I <sup>2</sup> C-VERDIER MED DERES TILHØRENDE BETYDNING	53
TABELL 05.01 – STRØMBEGRENSNINGER	60
TABELL 06.01 – MATERIAL EGENSKAPER FOR ALUMINIUM 6063-T6	74

## AKRONYMER

TABELL 00.01 – AKRONYMER

ADC	Analog-to-Digital Converter
BLDC	Børsteløs DC-motor
DWN	Digital Weaving Norway (varemerke for TE)
FEM	Finite Element Method
HiBu	Høgskolen i Buskerud
I <sup>2</sup> C	Inter-Integrated Circuit
IC	Integrated Circuit
PBM	Puls-Bredde-Modulasjon
TC-1	Thread Controller 1
TC-2	Thread Controller 2
TE	Tronrud Engineering
TWI	Two Wire Interface



## KAPITTEL 1

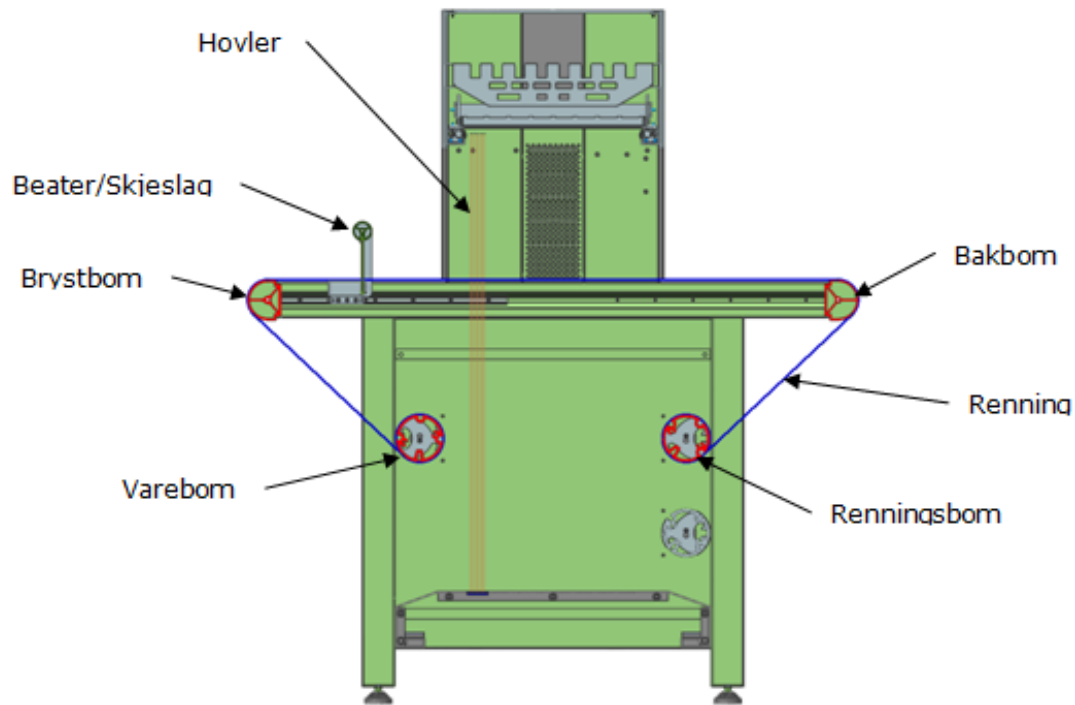
### INNLEDNING

Prosjektgruppe 2011-10 ble dannet på grunnlag av hovedprosjektet som avslutter den tre-årige bachelor utdanning ved Høgskolen i Buskerud. Prosjektoppgaven vår ble utført for Tronrud Engineering (heretter TE). Denne bedriften er en leverandør av spesialmaskiner til industrien innenlands og utenlands.

Prosjektoppgaven vår omhandlet både elektronikk og mekanikk for Thread Controller 2 (heretter TC-2). For å få en forståelse av hvordan TC-2 fungerer, tar vi kort med en beskrivelse av den opprinnelige TC. TC-1 er en digital vevemaskin utviklet av TE. Man sender et bilde fra PC-en til veven i bitmønstre. Bitmønstrene blir sendt til forskjellige moduler/blokker på veven. Modulene løfter deretter trådene i samsvar med bitmønsteret. Dette danner igjen det samme bildet som ble sendt fra PC-en.

Veven er modulbasert, noe som vil si at den kan konstrueres i forskjellige dybder og bredder. Bredden på veven bestemmer bredden på stoffet, og dybden på veven bestemmer hvor høy oppløsning veven har. Med oppløsning menes trådtettheten til stoffet.

Før vi beskriver de forskjellige delene av oppgaven, så er det viktig å få på plass noen faglige uttrykk tilknyttet TC-2. I Figur 01.01 ser man en illustrasjon utarbeidet av TE, som skal illustrere slik man forventer at TC-2 vil se ut når den er ferdigprodusert. Man ser de forskjellige delene av veven og hvilke navn de forskjellige delene har. Disse beskrivelsene er nyttige for å få en helhetlig forståelse for oppgaven, som blir presentert på neste side.



FIGUR 01.01 – TC-2

Oppgavebeskrivelsen som TE tildelte prosjektgruppen kan kort beskrives i følgende fire punkter:

#### *DEL 1 - MEKANIKK*

Den første delen av oppgaven er knyttet til mekanikk og gikk ut på å finne den optimale geometrien og materialbruken i alle de fire bommene, for maksimal stivhet og lavest mulig vekt.

#### *DEL 2 - STREKKLAPPER*

Oppdragsgiveren ønsket videre at vi skulle undersøke mulighetene for å implementere strekkklapper i de ikke-roterende bommene, slik at vi kunne detektere stramming av renningen. Videre skulle strammingen på renningen beregnes ved bruk av strekkklappene. Det var også ønskelig at vi foreslo egnet type strekkklapper til TC-2, samt plassering av strekkklappene på veven og oppkobling mot styringssystemet.

#### *DEL 3 - ALGORITME*

Den tredje delen av oppgaven gikk ut på å utvikle en algoritme for stramming av renningen. Denne algoritmen skulle implementeres på en mikrokontroller for regulering av strammingen i renningen. Videre skulle denne algoritmen testes på en fysisk prototype som ble levert av oppdragsgiveren. Denne fysiske prototypen skulle styre motorene til bommene basert på det målte strekket fra strekkklappene.

*DEL 4 - MOTORKONTROLL*

Den fjerde og siste delen av oppgaven gikk ut på at vi skulle konstruere elektronikken til en 3-fase BLDC-motorkontroller og teste denne. Det skulle videre utvikles et PCB som dekket de behovene TC-2 har til motorstyring. Det var også ønskelig at motorkontrolleren fungerte som en I<sup>2</sup>C slave som mottok kommandoer om hastighet, rotasjonsretning og andre styresignal over I<sup>2</sup>C grensesnittet.





## KAPITTEL 2

### MEKANIKK

Vi vil i dette kapitlet ta for oss analyse og design for den mekaniske delen av oppgaven. Først presenteres en liste over problemstillingene vi har tatt hensyn til. Deretter presenteres en grundig analyse for hver av problemstillingene.

#### 2.1 – ANALYSE

Først presenteres en liste over problemstillingene vi har tatt hensyn til. Deretter presenteres en grundig analyse for hver av problemstillingene.

##### 2.1.1 – PROBLEMSTILLINGENE

Problemstillingene knyttet til mekanikkdelen av oppgaven var følgende:

1. Vi måtte finne optimal geometri og materialbruk for brystbom og bakbom for maksimal stivhet og lavest mulig vekt.
2. Mulighetene for å implementere strekkklapper i enten brystbom eller bakbom skulle undersøkes.
3. Innfestningen til brystbom og bakbom skulle revurderes.
4. Designet til brystbom og bakbom, samt tilhørende løsning for innfestning skulle ikke kreve store endringer til armene som holder bommene.
5. Ytre geometri for renningsbom og varebom var definert, den indre geometrien måtte gi rom for innfesting av to skruer.
6. Vi skulle ta hensyn til dimensjonering av stivhet og styrke til renningsbom og varebom. Videre måtte vi vurdere styrken rundt området der hvor skruene festes.

##### 2.1.2 – OPTIMAL GEOMETRI OG MATERIALBRUK FOR BRYSTBOM OG BAKBOM

I utgangspunktet valgte vi å designe en C-formet bom som er åpen på innsiden. Fordelen med dette er å redusere både materialbruk og vekt ved å fjerne det området der det ikke er noen kontakt mellom selve bommen og trådene. Det vil si den flate delen på innsiden av brystbom og bakbom på TC1. En annen fordel med C-formede bommer er at den muliggjør en enkel prosess for å plassere strekkklapper på innsiden av bommene.

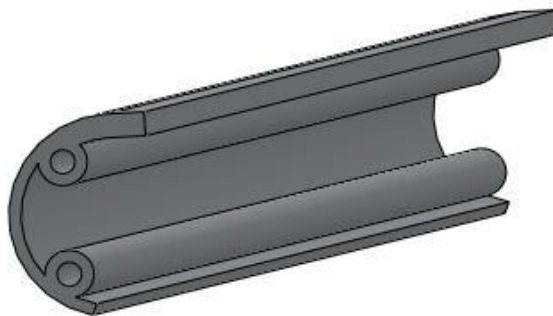
Prosjektgruppen planla tidlig under analysefasen å simulere forskjellige bommer med forskjellige tykkelser, hvor maksimal bøyning ville bli observert inntil vi kom frem til den

optimale geometrien for maksimal stivhet. Både brystbommen og bakbommen har lik geometri. I startfasen av analysefasen tok vi hensyn til forskjellige alternativer med forskjellig geometri til brystbommen og bakbommen. Figur 02.01 viser en illustrasjon over tre alternative løsninger som vi kom frem til under analyseprosessen.



FIGUR 02.01 – TRE ALTERNATIVE LØSNINGER SOM KREVER SVEISING

Som dere ser av Figur 02.01 så krever disse alternativene å bli sveiset i sidene, noe som ikke er optimalt. Vi valgte derfor å unngå sveising under design av bommene for å redusere kritisk stress i bommene når de blir utsatt for maks belastning. For å oppnå dette kom vi frem til den alternative løsningen som er vist i Figur 02.02. Bommene i denne løsningen baserer seg på aluminium i serie 6063-T6. Denne typen aluminium har en flytegrense på 215Mpa. Siden bommene skulle ekstruderes, mente vi at det var hensiktsmessig å velge materiale som hadde en flytegrense under 300Mpa. Denne informasjonen er hentet fra læreboka *Manufacturing Engineering and Technologies* [1]. En mer detaljert forklaring angående geometrien, materialvalg og simuleringsprosessen vil bli gitt i seksjonen som omhandler design.

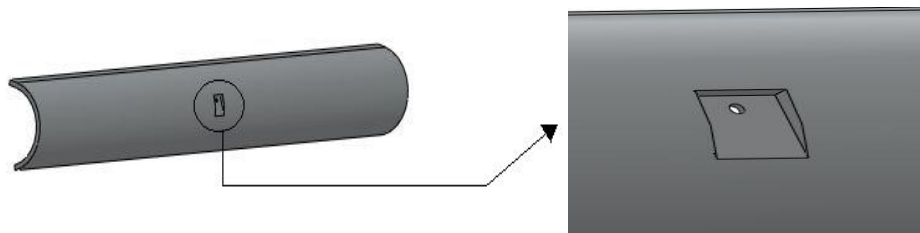


FIGUR 02.02 – C-FORMET BOM SOM IKKE KREVER SVEISING

### 2.1.3 – IMPLEMENTERING AV STREKKLAPPER I BRYSTBOM OG BAKBOM

Vi vurderte mulighetene for å implementere strekkklapper i bakbommen ved å simulere bommene FEM. Testing av bommene ved å benytte simuleringsprogrammet FEM analyse

viste oss at maks bøyning ville forekomme i midten av bommen. Vi vurderte først å plassere strekkklappene både på innsiden og utsiden av bommene, der maksimal bøyning skjer. For å unngå friksjon mellom trådene og strekkklappene som eventuelt ble plassert på utsiden tenkte vi først på å designe bommene med et inngravert hull, slik vist i Figur 02.03.



FIGUR 02.03 – INNGRAVERT HULL

Å produsere en slik bom ville ha krevd ekstra tiltak enn bare ekstrudering. Ved maksimal bøyning ville det i teorien ha blitt ekstra stress i området der inngravingen er. Vi valgte derfor å se bort fra denne løsningen, og ønsket kun å plassere strekkklappene på innsiden av bommene. En mer detaljert beskrivelse angående problemstillingene for strekkklappene vil bli gitt i kapittel 3, som omhandler strekkklapper.

#### 2.1.4 – INNFESTING TIL BRYSTBOM OG BAKBOM

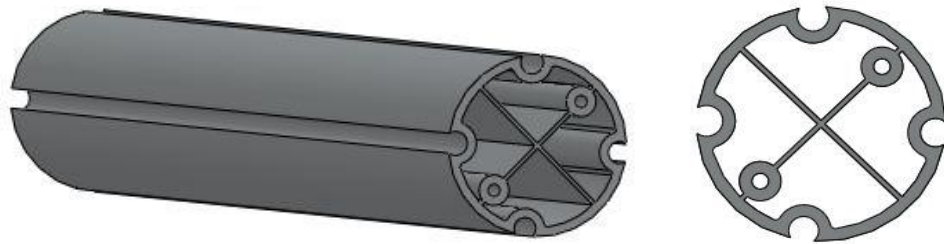
Videre kom vi under analyseprosessen frem til at bommene burde bli festet med to skruer på hver side som vist i Figur 02.02. Dette fører til at bommene blir mer stødige under maksimal belastning enn å bli festet med kun en skrue på hver side, som innfesting til brystbom og bakbommen til TC1. Ulempen med 2 skruer på hver side av bommene er at kanskje løsningen fører til store endringer resten av veven (primært armene som holder bommene). Tversgående skjærspenning i området der bommene skal bli festet ble regnet ut ved hjelp av læreboka *Statics and Mechanics of Materials* [2], og svaret ble sammenliknet med resultatene fra FEM analysen. Skruetype og dimensjonen på dem, samt styrkeberegningene vil bli beskrevet nærmere i designdelen.

#### 2.1.5 – DESIGN AV BRYSTBOM OG BAKBOM

Designet til bakbommen og brystbommen skulle ikke kreve store endringer til armene som holder bommene. For å tilfredsstille dette kravet valgte vi å designe brystbommen og bakbommen med samme ytre radius som dagens løsning som er utviklet av TE.

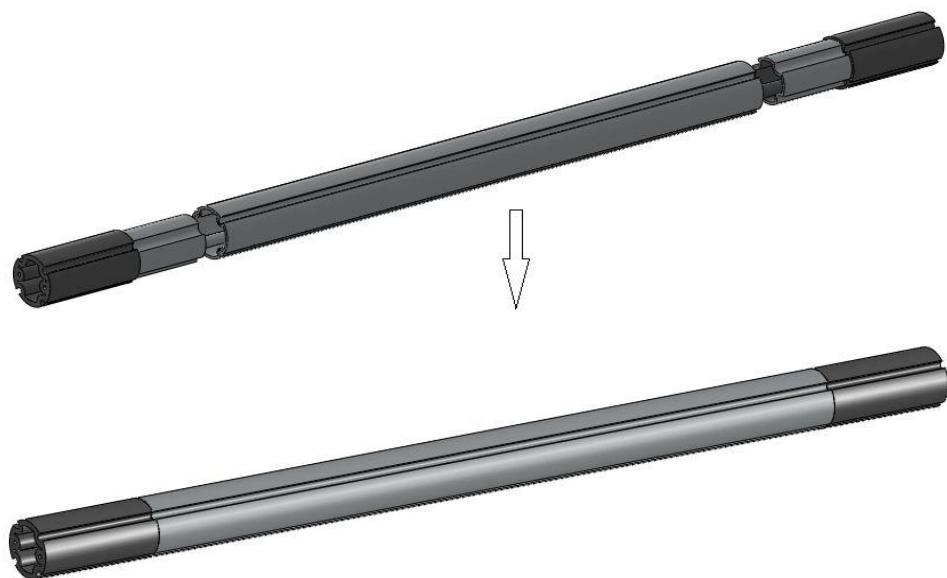
### 2.1.6 – GEOMETRI FOR RENNINGSBOM OG VAREBOM

Vi ønsket å designe varebommen og renningsbommen slik at de hadde lik geometri. Videre ønsket vi også å designe bommene slik at de kun måtte ekstruderes. På denne måten unngår man sveising i produksjonen av bommene. Figur 02.04 viser den første utgaven prosjektgruppen kom frem til under analysen for designet av renningsbommen og bakbommen.



FIGUR 02.04 – GEOMETRI FOR VAREBOM OG RENNINGSBOM

Videre kom vi frem et løsningsforslag hvor varebommen og renningsbommen ble delt i tre deler, som enkelt kunne settes sammen. For en illustrasjon over dette er gitt i Figur 02.05. To av disse delene har fast dimensjon som kan festes til veven, mens den midterste delen har tre størrelser i lengden. Med andre kunne denne løsningen ha blitt benyttet til den størrelsen som passer veven.



FIGUR 02.05 – TREDELT RENNINGSBOM OG VAREBOM

Etter nøye vurdering kom vi frem til at denne løsningen ikke var lønnsom. Grunnlaget for dette er de ekstra kostnadene som kommer i tillegg til ekstrudering for å lage ende delene av bommen. Disse profilene må maskineres og eventuelt freses innvendig. Denne informasjonen har vi fått fra Rud Mekanikk AS [3]. For å unngå ekstra kostnader bestemte vi å se bort fra denne løsningen, og designe bommene som kun en del som kunne ekstruderes. Prinsippet er vist i Figur 02.06.



FIGUR 02.06 – LØSNINGSFORSLAG TIL RENNING/VAREBOM

### 2.1.7 – DIMENSJONERING OG STYRKE

Dimensjonering av stivhet og styrke til bommene ble gradvis definert under analyseprosessen. Forskjellige dimensjoner ble senere i designfasen testet i FEM analyse, hvor styrken av bommene ble observert under simulering. Testene ble utført på bommer som kunne benyttes til vever med maks moduler, det vil si med fire moduler i bredden. Med andre ord er 1590mm lengden av bommene. Under hver simuleringsprosess av bommene, ble området der skruene festes vurdert. Skjæringsstresset i området ble observert frem til vi kom til en optimal tykkelse rundt der skruene festes på 10mm.

## 2.2 – DESIGN

Denne seksjonen tar for seg løsningsforslag vi har kommet frem til for den mekaniske delen av oppgaven. Det vil også bli gitt en begrunnelse for valgene vi har foretatt underveis i designprosessen. Merk at styrkeberegningen tilknyttet mekanikkdelen er gitt i seksjon 2.3.

### 2.2.1 – DESIGN AV BRYSTBOM OG BAKBOM

Designet til bakbom og brystbom vil ikke kreve store endringer til primært armene som holder bommene. Ytre radius for vår løsning har samme størrelse som den er i dag. Merk at vår løsning til innfestning av bommene krever litt endring av armene som holder bommene. Løsningen vår vil bli festet med to skruer på hver side.

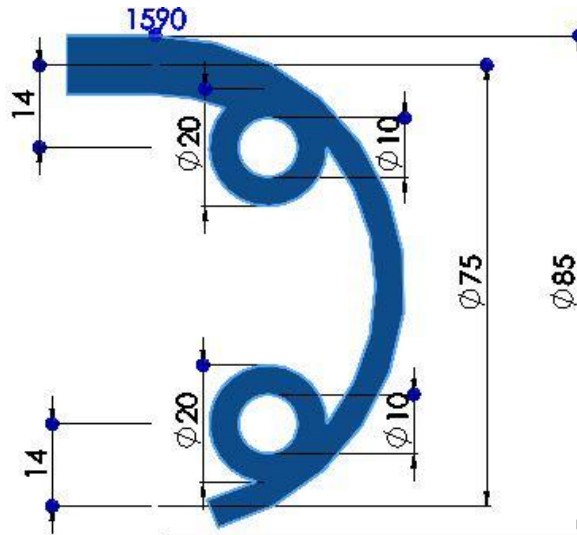
### 2.2.2 – OPTIMAL GEOMETRI OG MATERIALBRUK FOR BRYSTBOM OG BAKBOM

Brystbom og bakbom har lik geometri i vår løsning. Vi har etter nærmere undersøkelser funnet ut at geometrien som er vist i Figur 02.07 er den optimale til disse bommene, med hensyn til maksimal stivhet.

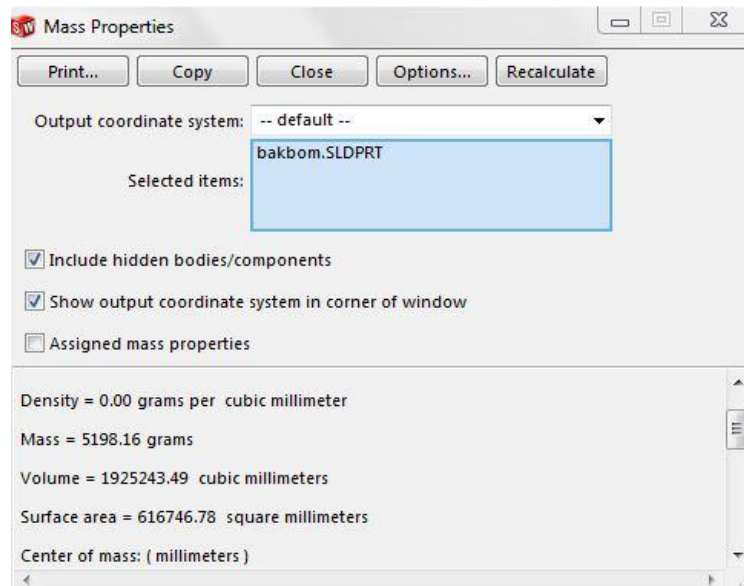
Disse bommene er C-formet. Fordelen med dette er å redusere både vekt og materialbruk ved å fjerne områder der det ikke er kontakt mellom trådene og bommene. En annen fordel med C-formede bommer er at det er enkelt å plassere strekkklapper på innsiden av bommene.

Den øverste delen av bommen er 10mm tykk, dobbelt så tykk som den nederste delen. Grunnen for dette er at vi ønsket å få en bedre flatekontakt mellom brystbom og skjeslag under vevingsprosessen. For mer informasjon, se illustrasjon gitt av Figur 02.07

Materialet til disse bommene er Aluminium i serie 6063-T6. Denne typen aluminium er gunstig når bommene vil bli ekstrudert. Denne informasjonen er i følge læreboka Manufacturing Engineering and Technologies [1]. Bommene som er 1590mm lange, altså de som skal brukes for maskiner med fire moduler i bredden, vil veie 5,2 kg. For nærmere informasjon, se Figur 02.08. Dette er et slags "databladd" fra Solid Works som presenterer egenskapene til bommen som blant annet vekt, overflatearealet, og volumet.



FIGUR 02.07 – OPTIMAL GEOMETRI FOR BAKBOM OG BRYSTBOM

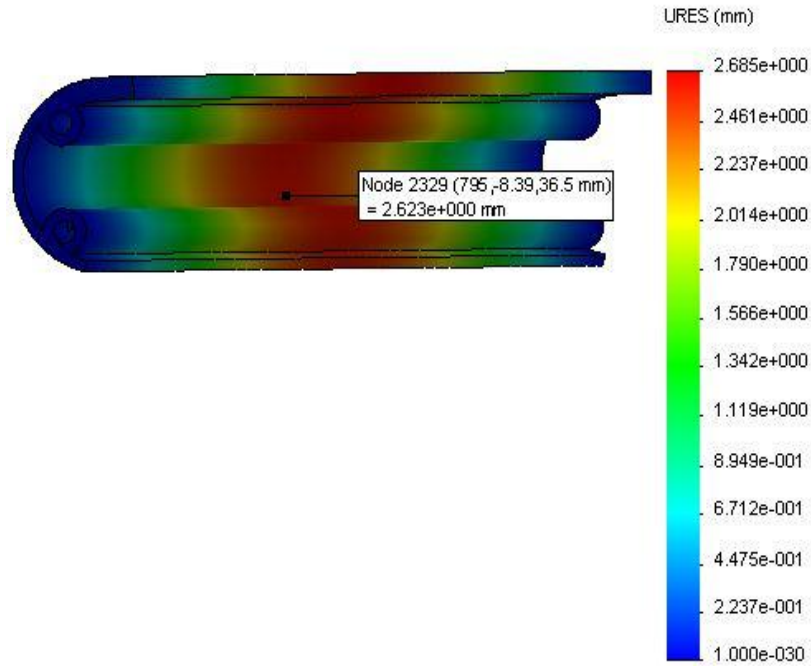


FIGUR 02.08 – MASS FOR BAKBOM/BRYSTBOM

### 2.2.3 – IMPLEMENTERING AV STREKKLAPPER I BAKBOM

Strekklappene kan plasseres på innsiden av bommene, for å kunne detektere strekk/stramning av renningen. Plassering av strekkklapper på utsiden av bommen er ikke aktuelt på grunn av kontakt mellom bommen og tråder.

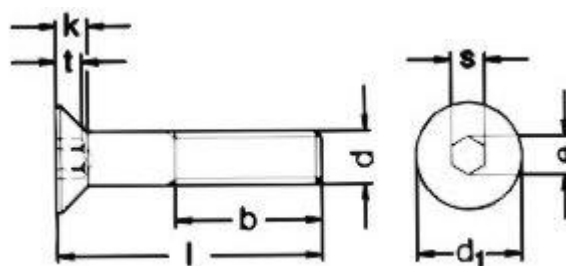
Testing av bommene ved simuleringsprogram FEM analyse viste oss at maks bøyning vil skje i midten av bommen. Ved maks stramning vil bakbom bli bøyd 2,68 mm. Se Figur 02.09 hvor området som er rødt viser det aktuelle området for plassering av strekkklapper.



FIGUR 02.09 – FORSKYVNINGSTEST

### 2.2.4 – INNFESTING TIL BRYSTBOM OG BAKBOM

Bommene kan bli festet på maskinen med to skruer på hver side. Vi anbefaler skruer som ANSI Metric Standard, type (socket Countersunk Head Cap screw-ANSI B18.3.5M) [4]. Mer informasjon om type skruer og størrelsen er vist i Figur 02.10. De to Ø20 hullsylinderne på innsiden av bommene brukes for å feste bommene i endene, og fordelene med at mønsteret er langs bommene er å forsterke bestandigheten av bommene mot maks stramning.



FIGUR 02.10 – SKRUER

Tabell 02.01 viser forskjellige størrelser av Socket Cap skruer (Flat Head Countersunk). M10 er anbefalt til festing av bakbom og brystbom [4].



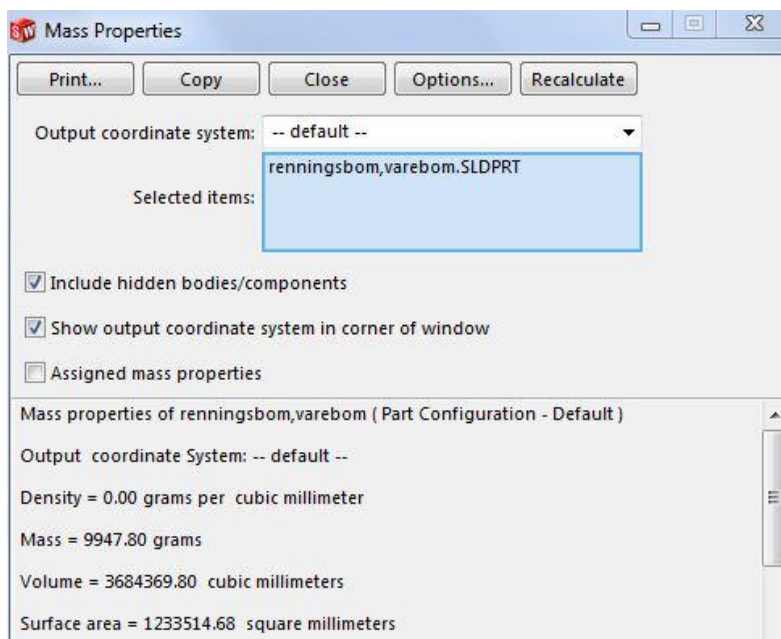




FIGUR 02.12 – RENNINGSBOM

**2.2.6 – STIVHET OG STYRKE TIL RENNINGSBOM OG VAREBOM**

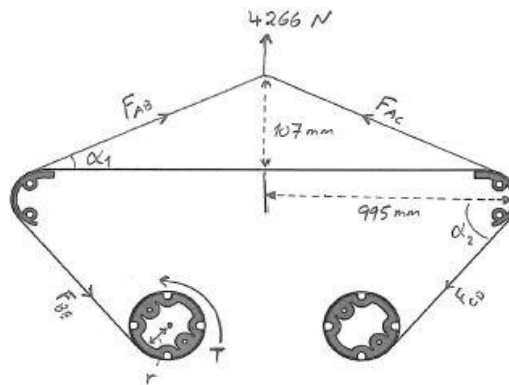
Stivhet og styrket til bommene er optimale. Tykkelsen av bommene har blitt redusert gradvis til lavest mulig. Ved hjelp av FEM analyse forskjellige tester har blitt utført fram til vi har kommet til den optimale geometrien til disse bommene. Resultatene av testene er dokumentert i kapittelet for testing. Tykkelsen på bommene er 5mm. Materialet til disse bommene er Aluminium i serie 6063-T6. Denne typen aluminium er gunstig når bommene vil bli ekstrudert. Bommene er 1590mm lange, altså de kan brukes for maskiner med fire moduler i bredden. Hver bom veier 9,9 kg. Se Figur 02.13. Styrket rundt området der skruene festes har blitt observert underveis. Bommene har blitt påført maks belastning, resultatene er dokumentert i kapittelet for testing.



FIGUR 02.13 – MASSE FOR RENNINGSBOM

### 2.3 – STYRKEBEREGNINGER

Dette underkapittelet er ment for å gi en forklaring av styrkeberegningen som har blitt utført av prosjektgruppen. Dette innebærer beregning av styrke i området rundt der skruene festes for varebom og renningsbom, samt dimensjonering av stivhet og styrke til varebom og renningsbom.



FIGUR 02.14 – STYRKEBEREGNINGER

#### 2.3.1 – MAKSIMAL BELASTNING

$$32 \text{ (moduler)} \times 220 \text{ (tråder)} \times 0,606\text{N} = \underline{4266,24\text{N}}$$

$$\alpha_1 = \tan^{-1} \frac{107}{995} = 6,13^\circ$$

$$\rightarrow \sum F_x = 0 \Leftrightarrow F_{AC} \sin 6,13 + (-F_{AB} \sin 6,13) = 0 \Leftrightarrow \underline{F_{AC} = F_{AB}}$$

$$+ \uparrow \sum F_y = 0 \Leftrightarrow 4266 - F_{AB} \cos 6,13 - F_{AC} \cos 6,13 = 0 \Leftrightarrow F_{AB} + F_{AC} = \frac{4266}{\cos 6,13} = \underline{4,29}$$

Dette gir:

$$F_{AB} = 2,14 \text{ KN}$$

$$F_{AC} = 2,14 \text{ KN}$$

Antar at  $\alpha_2 = 45^\circ$ , noe som gir:

$$\rightarrow \sum F_x = 0 \Leftrightarrow -F_{AC} \cos 6,13 + (-F_{CD} \cos 45) = 0 \Leftrightarrow F_{CD} = (-F_{AC} \cos 6,13) / \cos 45$$

$$\Rightarrow \underline{F_{CD} = \frac{-2,14 \cos 6,13}{\cos 45} = -3,0 \text{ KN}}$$

$$F_{CD} = F_{BE} = -3,0 \text{ KN}$$

Disse beregningene er i henhold til [2].

### 2.3.2 – MOMENTBEREGNING

Varebom og renningsbom vil bli styrt med BLDC motor, det vil si at hastigheten er proporsjonal med spenning, og moment er proporsjonal med strømmen. DC motor likning:

$$L \frac{di(t)}{dt} = U_s(t) - RA i(t) - K_e \omega R(t) \text{ [V]} \quad (2.1)$$

Hvor:

$L$  = rotorinduktans [mH],  $i$  = tilført rotorstrøm [A],  $U_s$  = tilført rotorspenning [V],  $RA$  = rotormotstand [ $\Omega$ ],  $K_e$  = indusertspenning konstant [ $\frac{Vs}{rad}$ ] og  $\omega R$  = rotorhastighet [ $\frac{rad}{s}$ ].

Tar utgangspunktet til formelen:

$P = T\omega$  [W], omforme formelen med hensyn til  $T$  som gir

$$T = P/\omega \quad (2.2)$$

Hvor  $P$  = Effekt og  $T$  = rotorlastmoment [N.m]. Videre får vi:

$$P = RA \quad (2.3)$$

Ved maks stramning antas strømmen er konstant, og den deriverte av en konstant er lik null. Dette gir en reduksjon i DC motor likningen som følgende:

$$0 = U_s(t) - RA i(t) - K_e \omega R(t) \text{ [V]} \quad (2.4)$$

løser likningen med hensyn til  $\omega$ :

$$\omega R = \frac{U_s(t) - R i(t)}{K_e} \left[ \frac{rad}{s} \right] \quad (2.5)$$

Setter (2.3) og (2.5) i (2.2):

$$T = \frac{R i}{\frac{U_s - R i}{K_e}} = \frac{R i K_e}{U_s - R i} \quad (2.6)$$

Ved maksimal stramning vil spenning og strømmen være:

$$U_s = 24 \text{ [V]}$$

$$i = 14 \text{ [A]}$$

I følge databladet til motoren [9.6]:

$$RA = 0,16 [\Omega]$$

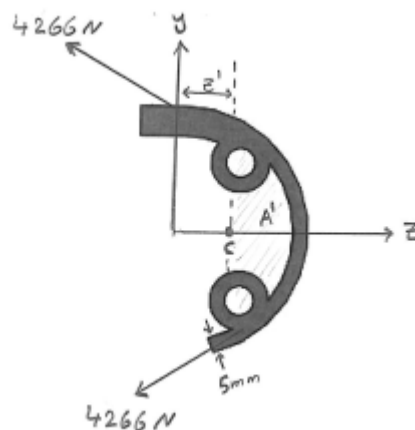
$$Ke = 4,25 \left[ \frac{V}{krpm} \right] = \frac{4,25 \cdot 60}{1000} \left[ \frac{V}{rps} \right] = \frac{4,25 \cdot 60}{1000 \cdot 2 \pi} = \frac{0,1275}{\pi} \left[ \frac{V}{rad/s} \right]$$

Setter verdiene i (2.6)

$$T = \frac{R i Ke}{Us - R i} = T = \frac{(0,16)(14)(0,1275)}{\{(24) - (0,16)(14)\} \pi} = 0,00418 [Nm]$$

Disse beregningene er i henhold til kapittel fire og en i [5], og [7].

### 2.3.3 - TVERSGÅENDE SKJÆRSPENNING I BAKBOM



FIGUR 02.15 - BAKBOM

$$\tau = \frac{VQ}{It} \tag{2.7}$$

Hvor  $\tau$  er den skjærspenning i bakkbommen, V er den interne resulterende skjærkraften bestemt fra metoden for seksjoner og ligninger av likevekt.

Vet at  $V = 4266 \text{ N}$

$$I = \text{treghetsmomentet av hele tverrsnittet} = \frac{1}{8} \pi (c^4 - c_0^4)$$

Hvor  $C = 42,5^4$  med mer,  $C_0 = 37,5^4 \text{ mm}$  og t er bredden av bommens tverrsnittsareal (5 mm)

$$Q = Z' \times A' = \sum Z' \times A' \text{ hvor } Z' = \frac{4 \times r}{3\pi} \text{ og } A' = \frac{\pi \times r^2}{2}$$

$$I = \frac{1}{8} \pi (42,5^4 - 37,5^4) = \underline{50,46 \times 10^4 \text{ mm.}}$$

$$Q_{max} = \frac{4 \times 42,5}{3\pi} \times \left( \frac{\pi \times 42,5^2}{2} \right) - \frac{4 \times 37,5}{3\pi} \times \left( \frac{\pi \times 37,5^2}{2} \right) = \underline{16,02 \times 10^3 \text{ mm.}}$$

$$\underline{\underline{\tau_{max}}} = \frac{VQ_{max}}{I_t} = \frac{4266 \times 16,02 \times 10^3}{50,46 \times 10^4 \times 5} = \underline{\underline{27,08 \text{ MPa}}}$$

Disse beregningene er i henhold til [2].

## KAPITTEL 3

### STREKKLAPPER

Følgende kapittel er ment for å gi svar på problemstillingene knyttet til strekklapptypen av oppgaven. Først gis det en kort beskrivelse av problemstillingene, deretter følger løsningsforslaget prosjektgruppen har kommet frem til for hver av problemstillingene

#### 3.1 – PROBLEMSTILLINGENE

1. Hvilke faktorer må vi ta hensyn til når vi bestemmer oss for en type strekkklapper, som er egnet for vårt system?
2. Skal det benyttes en kvart-bro, halv-bro eller hel-bro?
3. Hvilken modell av strekkklapper skal vi velge ut i fra Y-serien, skal det være fire separate strekkklapper, to par eller skal det være en lapp med fire innebygde strekkklapper?
4. På hvilken overflate skal strekkklappene monteres, på innsiden eller utsiden av bakbommen? Må vi ha strekkklapper på begge sidene av bakbommen? Og hvor langt inn fra kantene til bakbommen er det aktuelt å ha strekkklapper?
5. Hvor skal operasjonsforsterkeren plasseres?

#### 3.2 – VALG AV STREKKLAPPRODUSENT OG STREKKLAPPSERIE

Når vi startet med å undersøke rundt strekkklappene, begynte vi med å lese produktbeskrivelser og datablader om forskjellige typer av strekkklapper som kunne være aktuelle for vårt bruk. Gruppen har undersøkt produkter fra Farnell [8], HBM Norge [9] og Mouser [10].

Ut i fra løsningen for bryst/bakbommen som prosjektgruppen designet, fikk gruppen en bedre oversikt over hva som vi måtte ta hensyn til når vi valgte strekkklapptype. Grunnleggende informasjon som vi kunne hente fra den løsningen var at bommene ville være i aluminium og at de ville ha en C-form, slik som beskrevet i forrige kapittel.

Det er en rekke faktorer vi mente var viktig når vi valgte ut strekkklapper som passet for vårt system. Et eksempel på en slik faktor var å undersøke om en strekkklapp som er beregnet for stål ville utgi feil verdier hvis vi monterte den på et objekt laget av

aluminium. En annen viktig faktor som spilte en rolle ved bestemmelsen av plassering av strekkklapper, var om den C-formede bakbommen ga oss mulighet til å plassere strekkklapper på innsiden av bommen. Den store fordelen med å kunne plassere strekkklapper på innsiden av bommen er først og fremst at strekkklappen ikke vil bli utsatt for slitasje som vil oppstå grunnet friksjon som kommer av tekstiltrådene som glir på utsiden av bommen.

Andre faktorer som vi tok hensyn til under analysefasen for valg av strekkklapper var:

- Måleobjektet/overflaten der strekkklappene skulle plasseres er ikke rett, den er C-formet.
- Tøyningen vil variere. Maksimal deformasjon av bommen måtte ikke overstige 4mm.
- Strekkklappene vi ønsket å benytte måtte kunne detektere små deformasjoner.
- Bommen er fastmontert på en maskin som vil bli brukt av en person. Vi antok at maskinen ville bli brukt i minimum åtte timer om dagen, samt fem dager i uka.
- Målingene skulle utføres i tørt innendørs miljø, med relativ luftfuktighet mellom 20% Rf – 60% Rf.
- Strekkklappene måtte tåle å bli benyttet i omgivelsestemperaturer mellom 16°C - 34°C.
- Vi ønsket primært å ha strekkklapper med lange ledninger. Dersom strekkklapptypen som passet til vårt bruk ikke fantes med ledninger og vi må lodde ledninger på strekkklappen selv, så aksepterte vi å gjøre det, men dette var da vår sekundære løsning.

Etter mye drøfting internt i gruppen endte vi opp med to serier av strekkklapper vi mente ville fungere optimalt til vårt system. Dette gjorde vi før vi tok kontakt med ulike forhandlere og leverandører. På bakgrunn av undersøkelsene som ble utført av gruppemedlemmene og hjelp fra HBM Norge kom vi frem til at Y-serien [12] og V-serien [13] fra HBM Norge ville passe til vårt bruk og oppfylte alle de overnevnte kravene.

Disse seriene ble valgt på grunnlag av at Y-serien er universal og fleksibel. Den er dessuten lett å behandle, samt at den har en god målekaraktistikk. Y-serien er også beregnet for aluminium, noe V-serien ikke er, grunnet dette ble hele V-serien eliminert ut. Begge seriene kunne dessuten kjøpes med påloddete ledninger.

Vi tok videre kontakt med HBM Norge for å kvalitetssikre valget av strekkklappene. Vi ønsket å få mer informasjon om strekkklapp-modellene vi hadde undersøkt. Ut fra kontakten med HBM Norge kom prosjektgruppen i samarbeid med HBM, frem til at våre



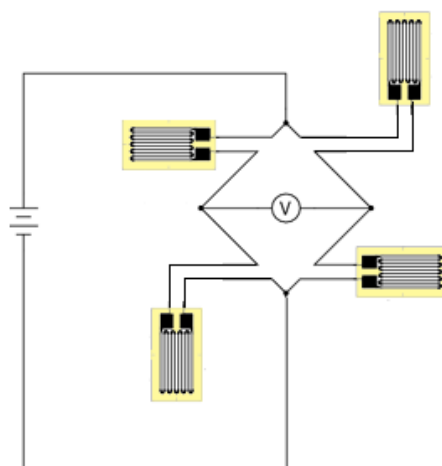
tanker angående valg av strekkklapper var riktig. Grunnlaget for dette var at HBM anbefalte strekkklapper fra Y-serien.

Vi ønsker å takke HBM som veiledet oss og hjalp oss med å komme frem til den riktige serien og modellen av strekkklapper.

### 3.3 – VALG AV BROKOBLING

Når det gjelder valg av målebro/Wheatstonebro tilsa anbefalingen fra HBM at vi burde benytte minst en halvbrokobling. Vi har sett på forskjellige brokoblinger, og har konkludert med at en halvbrokobling ikke er den beste løsningen. I henhold til tidligere lærebok i faget *Instrumentering og styring* [11], har vi lest om strekkklapper og kommet frem til at en helbrokobling vil gi oss et større måleutslag enn det en kvartbro eller en halvbro vil gi. En helbrokobling er mer sensitiv når det gjelder deteksjon av deformasjon av bommen. Koblingen er også temperaturkompensert, slik at store svingninger i temperaturen vil virke likt på de fire strekkklappene, og dermed kan temperaturen neglisjeres. Resistansen i de aktive strekkklappene vil øke når det blir påført trekkspenninger. Samtidig vil resistansen til strekkklappene som er koblet opp som "dummies" minke. Eventuelle temperaturpåvirkninger på strekkklappene vil påvirke strekkklappene likt, slik at feilkilden og annet støy vil nesten bli eliminert.

Gruppen valgte derfor å gå videre med en helbrokobling. I henhold til avtale med TE mottok prosjektgruppen to strekkklapper av typen XY33-3/350 fra TE, som til sammen skal former en fullbrokobling som er vist i Figuren 03.01.



FIGUR 03.01 – HELBROKOBLING

### 3.4 – VALG AV STREKKLAPP MODELL UT I FRA Y-SERIEN

Etter drøfting internt i gruppen og med ekstern sensor og veileder satt vi igjen med tre strekkklappmodeller fra Y-serien:

- Ett måleelement i en lapp, dette vil gi fire lapper, LY43.
- To måleelementer normalt på hverandre i en lapp, dette vil gi to lapper, XY33.
- Alle fire måleelementer i en lapp, dette vil gi en lapp, VY43.

Grunnlaget bak valget vårt var at vi ønsket å måle deformasjon over et større område, slik at vi kunne måle deformasjon på flere steder enn et eneste punkt, samtidig som vi heller ikke vil øke monteringstiden unødvendig.

FEM-analysen som prosjektgruppen utførte ga oss et bilde av hvilket område som vil bli mest utsatt for kreftene produsert av trådene og ikke "ett" punkt som vil være mest utsatt. Vi var derfor en smule redd for å sette den ene strekkklappen med fire elementer på et sted i det røde område og ikke kunne klare å detektere "nøyaktig" deformasjon. En lapp som VY43 modellen inneholder fire elementer i en lapp ville gi lavest monteringstid men på grunnlag av resultatet fra FEM-analysen mente vi at det var bedre å sette strekkklappene fordelt utover det røde området slik at vi hadde en bedre sjanse for å detektere alle mulige påførte krefter fra alle retninger.

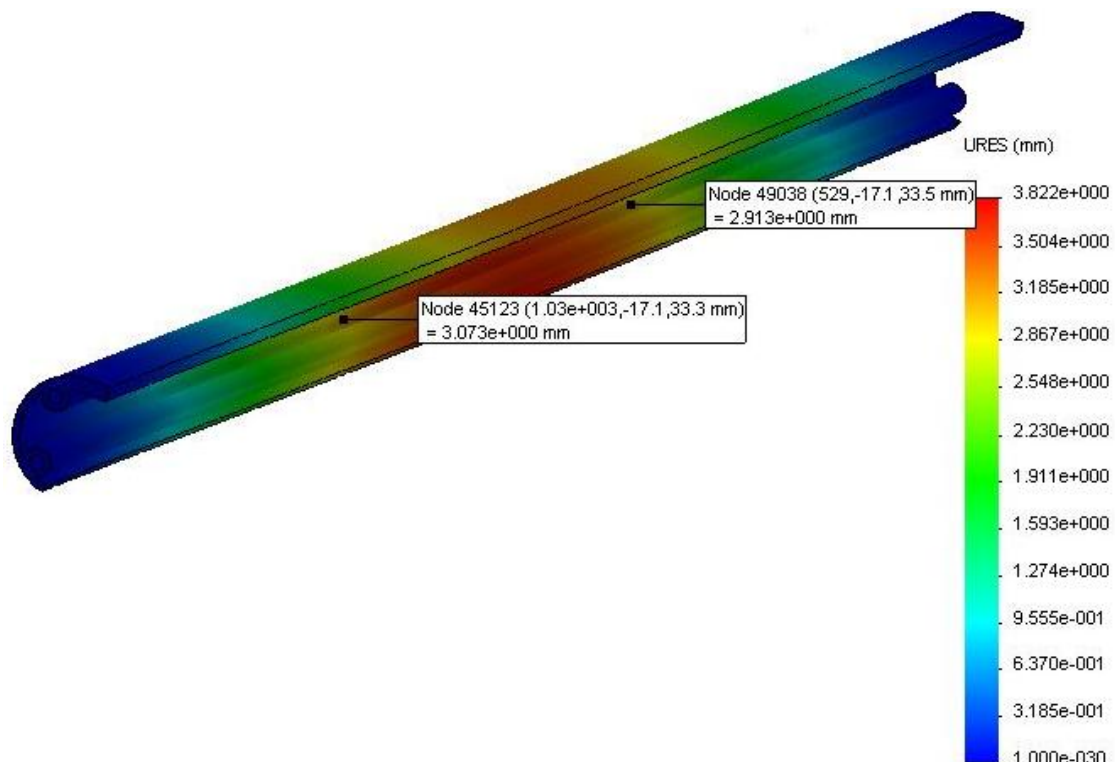
Grunnet dette så vi bort fra VY43 type strekkklapper som har alle fire måleelementer i en lapp. Gruppen eliminerte også ut LY43 type strekkklapper som har et måleelement i en lapp, med tanke på montering.

Gruppen valgte å gå videre med den type strekkklapper som har to måleelementer normalt på hverandre i en lapp, dette vil gi to lapper. Ved hjelp av HBM Norge kom vi fram til en modell som passet vårt bruk. Den heter XY33-3/350 fra Y-serien og under kategori XY33. Det positive med XY33-3/350 modellen var at monteringstiden ville bli halvert i forhold til LY43 modellen som har en måleelement i en lapp og samtidig kan vi måle deformasjon på to forskjellige steder (innenfor det røde område) istedenfor å måle deformasjon over et punkt som VY43. Som nevnt tidligere i 3.1.2, vil vi helst måle deformasjon over mer enn et punkt. På grunnlag av overnevnte faktorene så kom vi til at XY33-3/350 var strekkklapptypen vi ønsket å jobbe videre med. XY33-3/350 er en dobbel strekkklapp, som er beregnet for aluminium. Vi ønsket å benytte denne typen strekkklapper fordi dette valget førte til mindre mulighet for monteringsfeil, "active" og "dummy" står normalt på hverandre i en lapp. Dessuten ville det bli 90 grader mellom "active" og "dummy" uansett hvilken retning vi monterte strekkklappene.

Det at brystbom og bakbom har åpen profil uten en rett flate på baksiden vil i følge HBM Norge ikke skape store problemer med hensyn på utslag, når vi monterer de på en buet flate.

Prosjektgruppen benytter strekkklapptypen XY33-3/350 fra HBM [9] på testtriggen. Denne strekkklapptypen har en tre meter lang ledning som er påloddet. Strekkklappene ble bestilt av TE. Vi kom frem til denne typen strekkklapper etter flere interne diskusjoner innad i gruppen, samt samtaler med våre kontaktpersoner fra TE (Bjørn og Geir) og hjelp fra HBM Norge.

Mastermikrokontroller foretar målingene med korte og jevne mellomrom, deformasjon vil oppstå når trådene er trukket opp. Når det ikke er vakuum i systemet og alle trådene er nede, da vil det ikke være noe deformasjon i bommen og dette vil mastermikrokontrolleren merke grunnet verdiene strekkklappene gir når det er deformasjon og når det ikke er deformasjon. Vi tenkte også oss at renningstrådene ikke ville bli løftet likt hver gang, men forskjellig, slik at kreftene virket mer på en side av bommen en gang, og mer på den andre siden ved senere veving. En illustrasjon av det utsatte området som strekker seg fra rundt 52cm til 100cm er gitt i Figur 03.02.



FIGUR 03.02 – UTSATT OMRÅDE BAKBOM

### **3.5 – Plassering av strekkklapper**

Gruppen valgte å utføre noen tester med strekkklapper som vi hadde på skolen for å finne ut om det er mulig å detektere deformasjon ved å ha strekkklapper bare på inn siden av overflaten til bakbommen. Resultatet av denne testen hjalp oss med å kunne bestemme om det er mulig å ha strekkklapper bare på innsiden av bakbommen.

Utfallet fra denne testen var at det var mulig å plassere strekkklappene kun på innsiden av bommen. Med andre ord var det ikke nødvendig med strekkklapper på både innsiden og utsiden av bommen. Siden vi vet at strekkklappene vil ha mest sensitivitet dersom de blir strekt i lengderetningen (horisontalt), vil strekkklappene bli montert slik.

Gruppen besluttet under analysefasen at vi skal plassere strekkklappene innenfor det røde området FEM-analysen gitt av Figur 03.02 (på innsiden av bommen) Figuren viser oss at det utsatte området strekker seg fra omtrent 52cm fra kanten og 100cm innover.

### **3.6 – Plassering av operasjonsforsterkeren**

Når det kommer til plasseringen av forsterkerkretsen, har vi valgt kun å teste plassering rett ved mastermikrokontrolleren. Grunnlaget for dette er at vi i første omgang kun mottok to strekkklapper. Av denne grunn så vi det hensiktsmessig å gjøre dette. Ved testing av forsterkerkretsen rett ved strekkklappene, måtte vi ha klippet av mesteparten av signalkablene. Hvis vi så hadde funnet ut at dette ikke var en optimal plassering, måtte vi ha montert nye strekkklapper. Derfor valgte vi kun å teste montering av forsterkeren ved mastermikrokontrolleren.

## KAPITTEL 4

### ALGORITME

Følgende kapittel tar for seg algoritmen prosjektgruppen har utviklet. Algoritmen danner grobunnen for at reguleringssystemet som vi har utviklet skal fungere optimalt i henhold til kravene som ble fremsatt i kravspesifikasjonen [14].

Det har i henhold til avtale med TE blitt utviklet algoritmer for totalt tre mikrokontrollere, en mastermikrokontroller og to slavemikrokontrollere. Prosjektgruppen besluttet etter avtale med oppdragsgiver at reguleringssystemet skulle fungere slik at mastermikrokontrolleren sendte kommandoer om hastighet, retning og antall rotasjoner til slavemikrokontrollerne. Videre har slavemikrokontrollerne ansvaret for å utføre operasjoner for å styre motorene i henhold til kommandoene den har mottatt fra mastermikrokontrolleren.

Det ble videre vedtatt at det bare er renningsmotoren som skal være med på å regulere systemet i henhold til strekket. Denne beslutningen har prosjektgruppen tatt med tanke på å forenkle reguleringsprosessen. Dette spesifiseres nærmere i delkapittelet om slavemikrokontrollerne.

For å forenkle forklaringen videre har vi valgt å dele resten av kapittelet inn i fire deler. Først vil vi ta for oss komponentene vi har benyttet for å utvikle algoritmen, deretter går vi videre til algoritmen med hensyn til masterkontrolleren og slavekontrollerne. Helt til slutt tar vi for oss I<sup>2</sup>C-grensesnittet som sørger for masteren kan kommunisere med de to slavene.

#### 4.1 – KOMPONENTER

Et av kravene TE fremsatte var at mikrokontrolleren ATtiny861 [15] skulle benyttes som slavemikrokontroller. Med andre ord hadde ikke prosjektgruppen noen valg angående hvilken type mikrokontroller som skulle benyttes som slave i systemet. Derimot fikk prosjektgruppen være med på å velge ut mikrokontrolleren som skulle benyttes som master i systemet. Valg av mastermikrokontroller ble diskutert med oppdragsgiver, hvor oppdragsgiver var med på å veilede oss angående dette valget. Vi benyttet oss av sammenligningsskjemaet fra Atmel sine hjemmesider [16] og leste igjennom

flere datablader for ATmega-mikrokontrollerne under prosessen. Vi sto igjen med ATmega 16A og 48. Etter nærmere sammenligning falt valget på ATmega16A [17]. Grunnlaget for dette var at den hadde større flash-minne, EEPROM, SRAM og at den støttet JTAG (debugger), slik at vi kan bruke denne under testing.

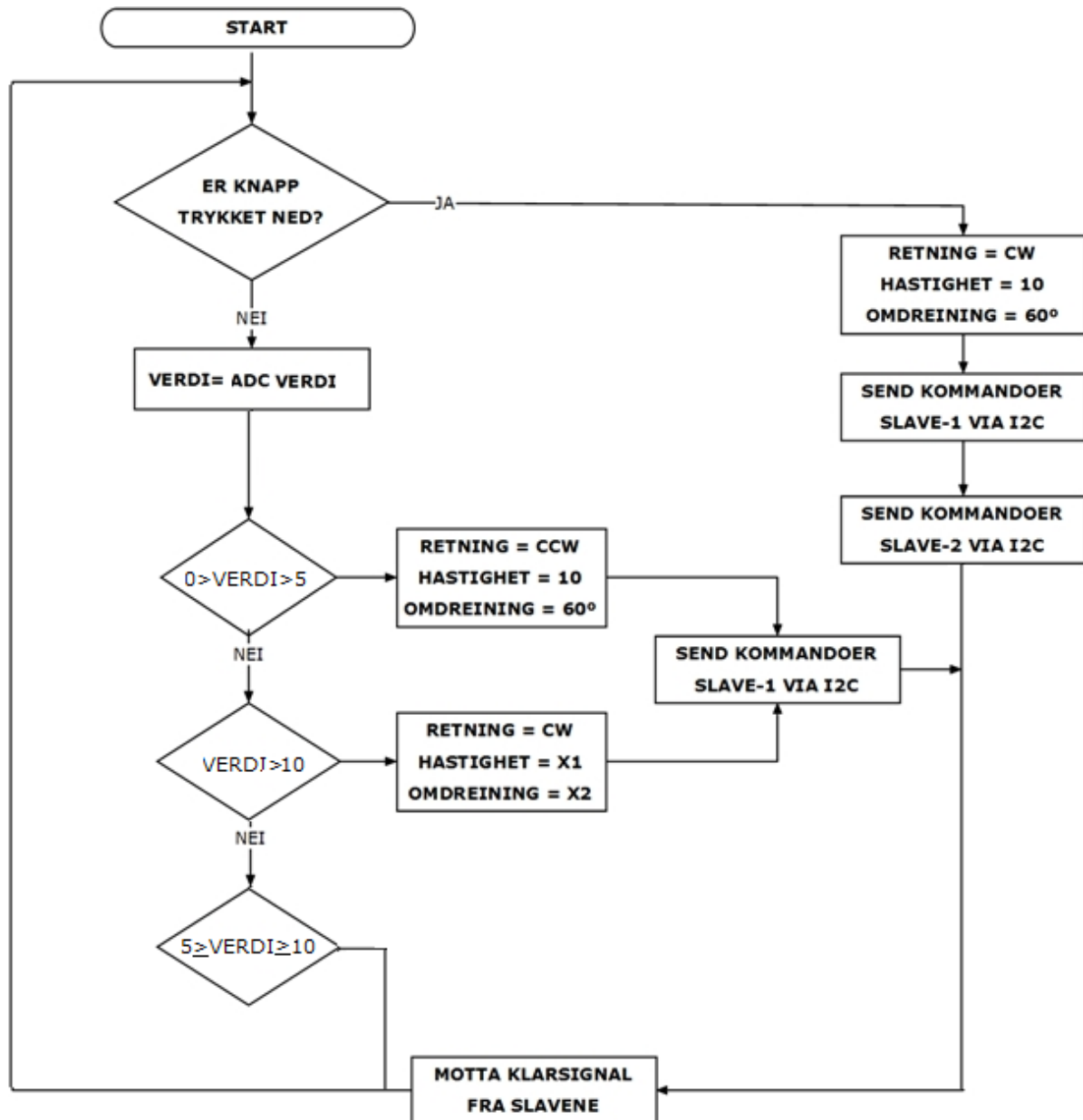
TE spesifiserte heller ikke hvilket utviklingskort som eventuelt måtte benyttes av gruppen for å programmere mikrokontrollerne, men etter samtale med ekstern veileder fant vi det hensiktsmessig å benytte STK600 (ATSTK600) [18]. Dette er et utviklingskort som passet prosjektgruppens behov, ettersom utviklingskortet var kompatibelt med både ATtiny861 og ATmega16A.

#### **4.2 – MASTERMIKROKONTROLLEREN**

Hovedpoenget med reguleringssystemet er at systemet for det meste skal være selvregulerende. For å gjøre dette mulig har prosjektgruppen utviklet en algoritme for mikrokontrolleren ATmega16A med hensyn til dette. En vanlig prosess fra detektering av stramming til utsending av kommandoer til riktig slavemikrokontroller er som følger:

1. Stramming på renningen detekteres via strekkklappene, som igjen fører til spenningsforskjell på Wheatstone-broen.
2. Spenningsforskjellen er et analogt signal som konverteres om til en digital verdi.
3. Algoritmen vurderer verdien som ble mottatt og bestemmer utfra dette hvilke operasjoner (kommandoer) som eventuelt må utføres.
4. Dersom noen operasjoner for slavemikrokontrollerne er nødvendig, så sendes kommandoer og andre styresignal over I<sup>2</sup>C grensesnittet til slavemikrokontrollerne.

Figur 04.01 viser et overordnet flytskjema for hvordan prosjektgruppen har valgt å sette opp algoritmen for mastermikrokontrolleren. Slave en i Figuren er mikrokontrolleren tilknyttet renningsmotoren, mens slave 2 er mikrokontrolleren tilknyttet varemotoren.



FIGUR 04.01 – FLYTSKJEMA MASTERMIKROKONTROLLEN

#### 4.2.1 – IMPLEMENTASJON

Vi vil videre ta for oss algoritmen som har blitt implementert på mastermikrokontrolleren. Algoritmen er spesialtilpasset testtriggen som prosjektgruppen har mottatt av TE. Videre er algoritmen skrevet for en mikrokontroller av typen ATmega16A og en GCC kompilator.

Algoritmen er fordelt på totalt to C-filer. Filnavnet på disse to filene er Main.c og TWI\_Master.c. Vi vil her kun ta for oss algoritmen som er skrevet for Main filen.

Algoritmen som er skrevet for TWI\_Master filen vil bli forklart mer detaljer i delkapittel 3.4 som omhandler I<sup>2</sup>C-gresesnittet.

Merk at den fullstendige algoritmen og de tilhørende filene er vedlagt på en CD som medfølger dette dokumentet. I den fullstendige algoritmen følger en mer detaljert beskrivelse for hver av algoritmelinjene, slik at leseren får en fullstendig oversikt over hva som gjøres hvor i algoritmen.

*FUNKSJONER*

Vi starter med å gi en beskrivelse av funksjonene som har blitt implementert i algoritmen til mastermikrokontrolleren. Tabell 04.01 viser funksjonene som har blitt implementert i Main-filen med deres tilhørende beskrivelse.

TABELL 04.01 – FUNKSJONER I MAIN.C

FUNKSJON	BESKRIVELSE
<code>void main(void)</code>	Hovedfunksjonen til programmet.
<code>void initadc(void)</code>	Denne funksjonen benyttes for å sette opp registrene for ADC-en.
<code>void initkeys(void)</code>	Denne funksjonen benyttes for å sette opp registrene for LED og knappene på utviklingskortet.
<code>void sendvalue(void)</code>	Denne funksjonen benyttes når data skal sendes via I2C-grensesnitt til slavene.
<code>void receivevalue(void)</code>	Denne funksjonen benyttes når masteren skal motta data fra slavene via I <sup>2</sup> C-grensesnittet.
<code>ISR(ADC_vect)</code>	Funksjon for avlesing av ADC. Denne funksjonen benytter Interrupt Service Routine (ISR), og blir derfor ikke referert til direkte fra main-funksjonen.

*ANALOG TIL DIGITAL OMFORMER*

For å lese av det analoge signalet fra strekklappene har vi benyttet den innebygde ADC-en på ATmega16A. For å benytte denne måtte vi skrive en algoritme som var tilpasset registrene til mikrokontrolleren. Disse registrene og deres tilhørende betydning er gitt av Tabell 04.02.



TABELL 04.02 – ADC-REGISTERE

REGISTER	BESKRIVELSE
ADEN	ADC aktiverings bit, settes til 1 for å aktivere ADC.
ADSC	Bit for å starte konvertering. Settes til 1 for å starte ADC-konverteringen.
ADATE	Settes til 1 for å aktivere "auto triggering" av ADC-konverteringen.
ADIF	ADC interrupt flag – Settes til 1 når konverteringen er ferdig.
ADIE	Aktivering av ADC-interrupt.
ADLAR	Register satt til 1 ettersom vi kun skal benytte 8-bits avlesning.
ADCH	Dataregister for 8-bits avlesning. Benyttes for lagre den avleste verdien.

Under designfasen besluttet prosjektgruppen å benytte en 8-bits ADC med spenningsforsyning på 5V (tilsvarer Vcc på mikrokontrolleren). Dette gir en oppløsning/presisering på  $5V/2^8 = 0.01953125V$ . Dette innebærer med andre ord at den digitale verdien som vi får fra ADC-en vil være i området 0-255. For eksempel vil en avlest verdi på 125 tilsvare  $0.01953125 * 125 = 2.44V$ .

Tabell 03.03 viser hvordan vi har implementert algoritmen som utfører de operasjonene som er nødvendig for å konvertere et analogt signal til en digital verdi. Den nederste delen av algoritmen i Tabellen viser at vi har valgt å benytte interrupt for å lese av verdien fra ADC. ISR i algoritmen står for "Interrupt Service Routine".

TABELL 04.03 – ALGORITME FOR ADC

```

ALGORITME FOR ADC

void initadc(void)
{
    ADCSRA |= (1 << ADPS2) | (1 << ADPS1) | (1 << ADPS0);
    ADMUX |= (1 << REFS0) | (1 << ADLAR);
    ADCSRA |= (1 << ADATE) | (1 << ADEN) | (1 << ADIE) | (1 << ADSC);
}

ISR(ADC_vect)
{
    adcvalue = ADCH;
}
    
```

*TRYKKNAPP*

Prosjektgruppen ønsket å benytte en av de totalt åtte trykknappene på utviklingskortet (STK600). Når denne knappen trykkes ned skulle begge motorene kjøre en viss omdreining fremover. For å implementere denne funksjonen i algoritmen har vi valgt å benytte SW0 som er koblet til PORTB. Som en ekstra funksjon har vi valgt å benytte LED0 på samme utviklingskort, slik at denne lyser når knappen trykkes ned. Tabell 03.04 viser algoritmen som sørger for å initialere SW0 og LED0.

TABELL 04.04 – KODE FOR TRYKKNAPP OG LED0

**ALGORITME FOR TRYKKNAPP OG LED**

```
void initkeys(void)
{
    DDRD = 0xff;
    DDRB = 0x00
    PORTD = 0xff
    PORTB = 0xff;

    keys = ~PINB;
}
```

*REGULERING MED HENSYN PÅ STREKKET*

Masterkontrolleren er som tidligere nevnt med på systemreguleringen. Det er mastermikrokontrolleren som detekterer stramming på renningen, og som videre sender tilhørende kommandoer om hastighet, retning og omdreininger til riktig slavemikrokontroller.

For å tilfredsstille dette kravet har vi valgt å lese av dataregisteret ADCH først. Videre benytter vi verdien fra ADCH til å sende spesifikke kommandoer om hastighet, rotasjon og omdreininger til riktig slavemikrokontroller. Tabell 03.05 viser hvilke kommandoer som blir utført med hensyn på den avleste verdien fra dataregisteret ADCH.

TABELL 04.05 – ADC-VERDI MED TILHØRENDE KOMMANDOER

ADC VERDI	RETNING	HASTIGHET	OMDREININGER (MOTOR)
ADCH < 5	CW	10 %	60°
5 ≤ ADCH ≤ 10	Ingen regulering nødvendig grunnet "perfekt strekk"		
10 < ADCH ≤ 25	CCW	10 %	60°
25 < ADCH ≤ 50	CCW	20 %	120°
50 < ADCH ≤ 100	CCW	30 %	180°
100 < ADCH ≤ 150	CCW	40 %	240°
150 < ADCH ≤ 200	CCW	40 %	300°
ADCH ≥ 200	CCW	40 %	360°

Som det fremgår av Tabell 04.05 regulerer masterkontrolleren stramming på renningen i henhold til en gitt referanse. Referansen i vårt tilfelle er karakterisert som "perfekt strekk" i Tabellen. Med andre ord regulerer vi med hensyn til en avlest ADC verdi mellom 5 og 10 (analogt: 0.1V-0.2V). Dersom den avleste verdien ligger i dette området er ingen regulering nødvendig. Dersom verdien er mindre enn fem betyr det at renningen er slakk og må strammes opp. På samme måte betyr en verdi på over 10 at renningen er for stram og at systemet må slakkes opp.

Videre viser Tabell 04.06 algoritmen for regulering med hensyn på strekket målt fra strekklappene.

TABELL 04.06 – ALGORITME FOR REGULERING MED HENSYN TIL STREKKET

```

ALGORITME FOR REGULERING MED HENSYN PÅ STREKKET
else if (adcvalue >= 0)
{
    deviceaddress = 0x10;

    if ( (adcvalue >= 0) & (adcvalue < 5) )
    {
        direction = 0xD2;
        speed = 0x0A;
        rotation = 0x6E;
        sendvalue();
        receivevalue();
    }

    else if ( (adcvalue >= 5) & (adcvalue <= 10) )
    {
        // "Perfekt strekk"
        slavestatus = 0xFA;
    }
}

```

```
else if (adcvalue > 10)
{
    direction = 0xDC;

    if (adcvalue <= 25)
    {
        speed = 0x0A;
        rotation = 0x6E;
    }

    else if (adcvalue <= 50)
    {
        speed = 0x14;
        rotation = 0x78;
    }

    else if (adcvalue <= 100)
    {
        speed = 0x1E;
    }

    else if (adcvalue <= 150)
    {
        speed = 0x28;
        rotation = 0x8C;
    }

    else if (adcvalue <= 200)
    {
        speed = 0x28;
        rotation = 0x96;
    }

    else if (adcvalue >= 200)
    {
        speed = 0x28;
        rotation = 0xA0;
    }

    sendvalue();
    receivevalue();
}
}
```

Grunnlaget for at vi har valgt verdiene for antall omdreininger som spesifisert i Tabell 04.06 er at motorene har tre hallsensorer. Med disse tre hallsensorene kan motorene

utføre totalt seks forskjellige kommutasjoner. Disse hallsensorene vil bli benyttet av slavemikrokontrollerne til å sørge for at motorene kjører antall omdreininger som blir spesifisert av omdreiningsskommandoen, som slaven har mottatt fra masteren. En mer detaljert beskrivelse av dette gis i neste delkapittel som omhandler slavemikrokontrollerne.

Det er videre montert et vinkelgir mellom motoren og renningsbommen. Dette vinkelgiret har en utveksling på 5:1 [19]. Dette innebærer at en omdreining på 60° på selve motoren, vil gi en omdreining på 12° på varebommen\renningsbommen. Forholdet mellom de resterende omdreiningene er gitt i Tabell 04.07.

TABELL 04.07 – UTVEKSLING PÅ VINKELGIR

OMDREINING MOTOR	OMDREINING VAREBOM\RENNINGSBOM
60°	12°
120°	24°
180°	36°
240°	48°
300°	60°
360°	72°

*TILKOBLINGER*

Prosjektgruppen har benyttet PORT A-D på mikrokontrolleren under implementasjonen. Disse tilkoblingene må benyttes for at algoritmen på mastermikrokontrolleren skal fungere optimalt. Tabell 04.08 angir hvilke porter og pinner som benyttes, samt en tilhørende beskrivelse angående hva de forskjellige pinnene benyttes til.

TABELL 04.08 - TILKOBLINGER

PORT	PINNE	BESKRIVELSE
PORTA	PA0	PA0 benyttes for ADC. Signalet fra streklappene skal kobles inn på denne pinnen.
PORTB	PB0	PB0 på PORTB kobles til SW0 på utviklingskortet. Denne sørger for at trykknappfunksjonen fungerer.
PORTC	PC0	PC0 benyttes for kommunikasjon med slavemikrokontrollerne. Denne pinnen må kobles til SCL på TWI-kretsen.
PORTC	PC1	Benyttes for kommunikasjon med slavemikrokontrollere. Denne pinnen må kobles til SDA på TWI-kretsen.
PORTD	PD0	PD0 på PORTD må kobles til LED0 på utviklingskortet. Denne sørger for at LED0 lyser når SW0 er trykket ned.

*KLARSIGNAL FRA SLAVEMIKROKONTROLLERNE*

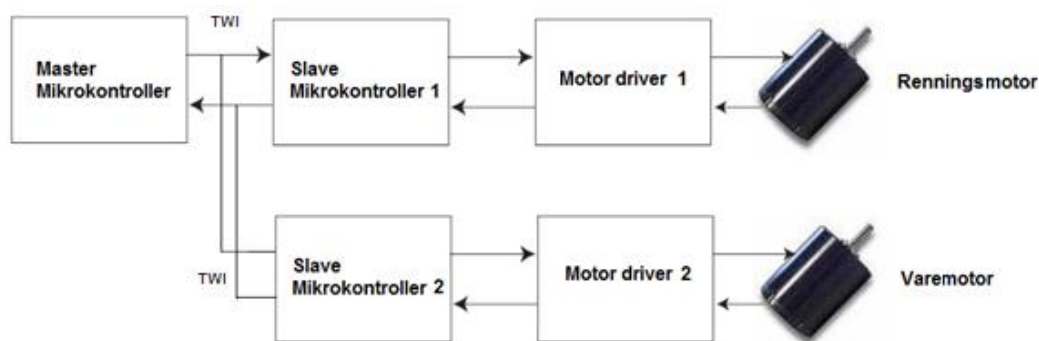
Under testfasen fant prosjektgruppen ut av at kjøring av motorene skapte stor støy på strekklapsignalet. Grunnlaget for dette var at hele testtriggen ristet når motorene kjørte, noe som igjen ga utslag på strekklippene. For å unngå at vi leser av ADC-en når motorene kjører har vi valgt å implementere en funksjon hvor slavemikrokontrolleren som har mottatt kommandoer fra masteren, sender et klarsignal tilbake via I<sup>2</sup>C-gresesnippet så fort operasjonene som slaven har mottatt kommandoer angående er fullført. På denne måten unngår vi feil på avlesningsverdiene til ADC-en.

Selve implementeringen av denne funksjonen har blitt gjort slik at slaven sender verdien 0xFA til masteren fortløpende etter at motorene har stoppet å kjøre. Når denne verdien er mottatt så vil masteren fortsette med å utføre sine operasjoner. Så lenge masteren ikke mottar dette klarsignalet så vil masteren stå i "hvilemodus".

**4.3 – SLAVEMIKROKONTROLLER**

Som nevnt innledningsvis i dette kapittelet omhandlet oppgaven vår å utvikle algoritme for totalt to slavemikrokontrollere. Begge slavemikrokontrollerne inneholder identiske algoritmer. Den eneste forskjellen er adresseringsbittet for I<sup>2</sup>C-gresesnippet. Algoritmen på disse mikrokontrollerne mottar kommandoer om hastighet, rotasjonsretning og andre styresignal over I<sup>2</sup>C grensesnittet, samt sørger for at motorene utfører de operasjonene som kreves i henhold til de mottatte kommandoene.

Figur 04.02 viser hvordan slavemikrokontrollerne mottar verdier fra mastermikrokontrolleren via TWI (I<sup>2</sup>C-grensesnittet) og hvordan masteren styrer riktig motor.



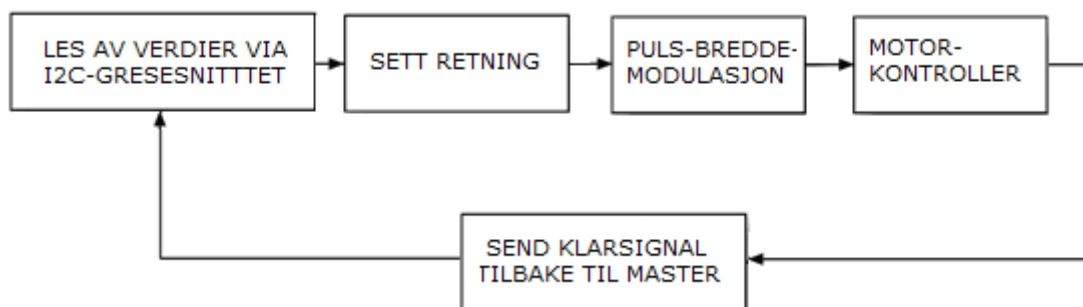
FIGUR 04.02 – OPPSETT FOR KOMMUNIKASJON OG STYRING

### 4.3.1 – SLAVEMIKROKONTROLLERENES OPPGAVER

Renningsmotoren har tre forskjellige oppgaver den skal gjøre. Ved for lite stramning i systemet skal renningsmotoren gå i klokkeretning for å stramme trådene. Ved for mye stramning i systemet skal renningsmotoren gå i motsatt retning av klokken. Videre skal dessuten begge motorene (som nevnt i delkapittelet om masteren) kjøres fremover dersom brukeren trykker på en knapp (SW0).

Slavemikrokontrollerne mottar verdier fra masteren over I<sup>2</sup>C-grensesnittet hver gang det er behov for å utføre en av de overnevnte operasjonene. Operasjonene vil bli utført ved hjelp av UL-UH, VL-VH og WL-WH (en til retning og en til hastighet), i form av puls-bredde-modulering. Disse utgangene vil få transistorene i motordriveren til å sette strøm på riktige viklinger, noe som vil føre til at motoren går i den retningen og hastigheten som masteren ønsket.

Figur 04.03 viser et overordnet flytskjema for algoritmen til slavemikrokontrollerne.



FIGUR 04.03 – FLYTSKJEMA SLAVEMIKROKONTROLLERNE

### 4.3.2 - MOTORSTYRING

Vi vil videre ta for oss viktige elementer knyttet til programkoden som utvikles for slavemikrokontrollerne med hensyn på motorstyring.

Hall-sensorene er plassert med 120° mellomrom. Med disse tre sensorene er det mulig å oppnå seks forskjellige kommutasjoner. Fasekommutasjonene er avhengige av Hall-sensorenes verdier. Med riktig synkronisert kommutasjon forblir dreiemomentet omtrent konstant og høyt. Tabell 04.03 viser oss hall sensorens signaler for CW rotasjon.

TABELL 04.09 – KOMMUTASJON

HALL SENSOR (H3 H2 H1)	FASE	SWITCH
101	U-V	Q1:Q4
001	U-W	Q1:Q6
011	V-W	Q3:Q6
010	V-U	Q3:Q2
110	W-U	Q5:Q2
100	W-V	Q5:Q4

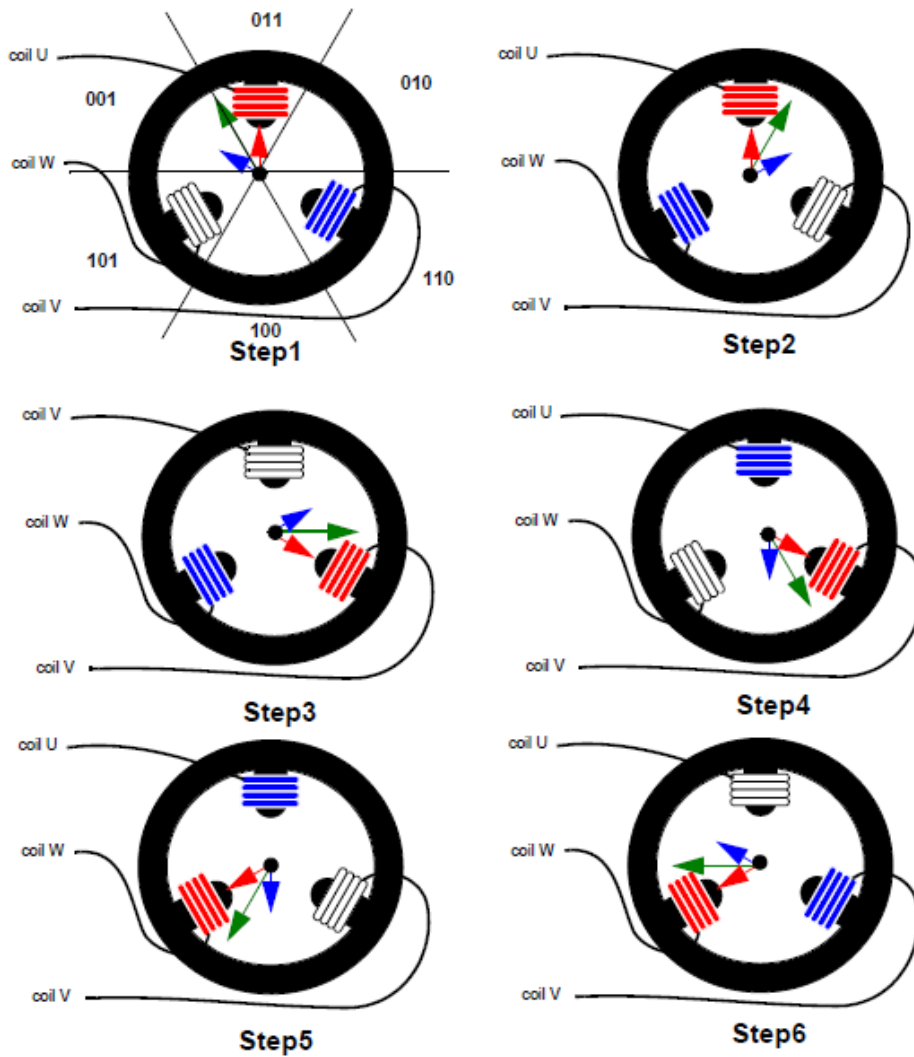
For å forenkle forklaring på hvordan man driver en typisk BLDC-motor kan man si at kommutasjonen er avhengig av Hall-sensorens verdier. Når spolene i motoren blir systematisk forsynt med spenning, blir det induisert et magnetisk felt og rotoren beveger seg. Den vanligste kommutasjonsmetoden for å drive en BLDC-motor er en av og på ordning. Dette innebærer at en spole enten leder eller ikke leder. Bare to viklinger jobber samtidig for å drive motoren.

Hastigheten og dreiemomentet på motoren kan justeres. Den vanligste måten å kontrollere hastigheten er å kontrollere den gjennomsnittlige spenningen over spolene. Arbeidssyklusen til PWMs utganger brukes til å justere den gjennomsnittlige hastigheten.

Spenning blir satt på transistor Q1 og fase V er tilkoblet med transistor Q4 (Figur 09.24), fase W blir strømløse fordi de andre transistorene (Q2, Q3, Q5 og Q6) ikke leder.

To fluksvektorer er generert av fase U (rød pil) og fase V (blå pil). Summen av de to vektorene gir statoren fluksvektoren (grønn pil). Dette kan man se i Figur 04.04, som er hentet fra [20]. Rotoren prøver å følge statorfluksen. Så snart rotoren når en gitt posisjon, gir hall sensorer en ny logisk tilstand av denne stillingen (fra "010" til "011" i Tabell 04.04) og det neste spenningsmønsteret blir satt av motorkontrolleren og brukes på motoren.





FIGUR 04.04 - KOMMUTASJON

Fase V er spenningsløs og fase W er koblet til jord, dette resulterer at en ny statorfluksvektor "Steg 2" dukker. Figur 04.04 viser seks ulike fluksvektorer til stator tilsvarende de seks omgjørings trinnene. De seks trinnene gir et elektrisk rotasjonsfelt.

### 4.3.3 - IMPLEMENTASJON

Grunnet tidspress under implementasjonsfasen kom vi ikke i mål med hele algoritmen for slavemikrokontrollerne. På grunnlag av dette vil det her bli lagt vekt på den delen av algoritmen vi fikk fullført og testet.

Programkoden for slavemikrokontrollerne er fordelt på totalt to c-filer. Filnavnet på disse to filene er Main.c og TWI\_Slave.c. Vi vil i dette kapittelet kun ta for oss algoritmen som er implementert i Main-filen. Algoritmen i filen TWI\_Slave.c vil bli forklart nærmere i neste delkapittel som tar for seg I<sup>2</sup>C-gresesnippet.

Main filen for slavemikrokontrollerne inneholder kun en funksjon. Dette er Main funksjonen som mottar verdien fra masteren via I<sup>2</sup>C-grensesnittet og videre setter denne verdien på LED-ene.

For at den mottatte verdien skal kunne vises på LED-ene har vi benyttet PORTB. Grunnlaget for dette er at ATtiny861 kun har to porter, disse er PORTA og PORTB. PA0 og PA2 på PORTA benyttes i henhold til kravspesifikasjonen til SDA og SCL (TWI). Derfor hadde vi kun mulighet til å benytte PORTB til LED-ene.

Den fullstendige algoritmen for main funksjonen er gitt i Tabell 04.10.

TABELL 04.10 – MAIN FUNKSJONEN

#### MAIN FUNKSJONEN TIL SLAVEMIKROKONTROLLERNE

```
void main(void)
{
    slaveAddress = 0x10;

    DDRB = 0xFF;
    PORTB = 0x00;

    usiTwISlaveInit(slaveAddress);
    sei();

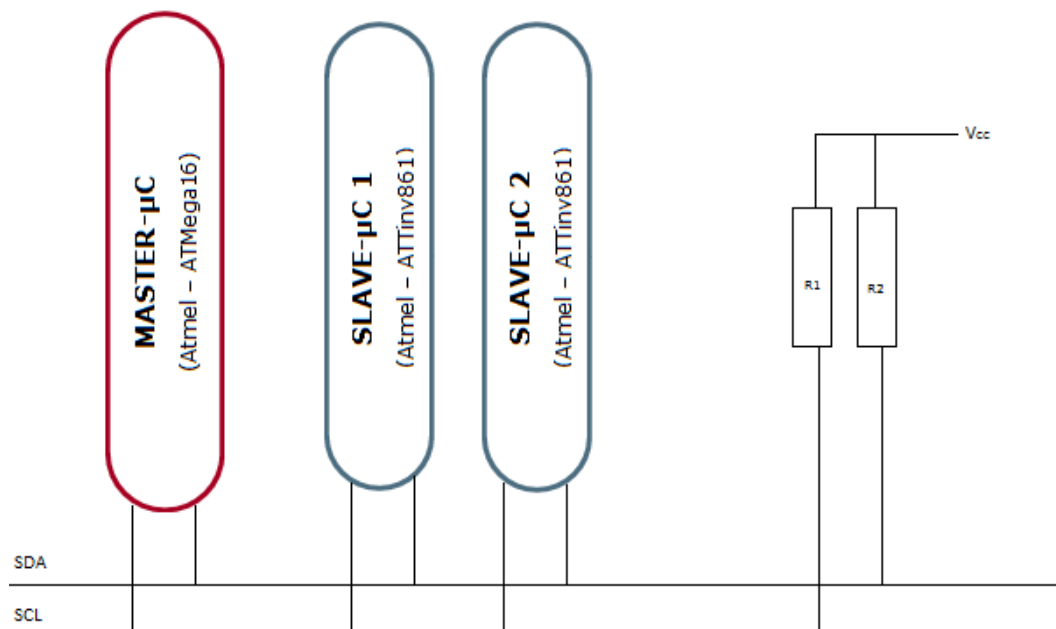
    for(;;)
    {
        if( usiTwIDataInReceiveBuffer( ) )
        {
            temp = usiTwIReceiveByte( );
            PORTB = temp;
        }
    }
}
```

#### 4.4 – I<sup>2</sup>C-GRENSESNIITT

I henhold til kravspesifikasjonen [14] fremsatte TE et krav om at prosjektgruppen skulle benytte seg av I<sup>2</sup>C-grensesnitt for kommunikasjon mellom masteren (ATmega16A) og de to slavemikrokontrollerne (ATTiny861). I<sup>2</sup>C er en seriell databuss utviklet av Phillips, som er et master-slave system og bruker to bidireksjonale linjer. Disse to bidireksjonale linjene heter seriell data (SDA) og seriell klokke (SCL).

Atmel har utviklet en egen modul med hensyn I<sup>2</sup>C til som heter TWI (Two Wire Interface). Med andre ord har prosjektgruppen benyttet TWI på mikrokontrollerne for å tilfredsstille kravet om at I<sup>2</sup>C skal benyttes for kommunikasjon mellom mikrokontrollerne.

Figur 04.05 viser kretsen vi har valgt å sette opp for I<sup>2</sup>C-grensesnittet. Denne kretsen har blitt koblet opp på et bimboard og deretter blitt testet av prosjektgruppen. Vi ser fra Figuren at vi har benyttet to motstander (pull-up resistorer) R1 og R2 som begge har verdiene 4.7KΩ. Videre har vi benyttet en spenningsforsyning (Vcc) til kretsen som tilsvarer 5V.



FIGUR 04.05 – I<sup>2</sup>C OPPSETT

Tabell 04.11 angir hvilke porter og pinner som har blitt benyttet for SDA og SCL på de to forskjellige mikrokontrollerne.

TABELL 04.11 – TILKOBLINGER FOR I<sup>2</sup>C PÅ MIKROKONTROLLERENE

MIKROKONTROLLER	PORT	PINNE
ATMega16A (Master)	PORTC	PC1 (SDA) PC0 (SCL)
ATTiny861V (Slave)	PORTA	PA0 (SDA) PA2 (SCL)

#### 4.4.1 – SLAVE-ADRESSE

Hver av slaveenhetene som benyttes i I<sup>2</sup>C-grensesnittet må ha sin egen "slave-adresse", for at den serielle kommunikasjonen mellom masteren og slavene skal fungere optimalt. På grunnlag av dette har vi benyttet to HEX verdier for å spesifisere "slave-adressen" til de to slavemikrokontrollerne vi har i systemet. Slaveadressen blir angitt for hver av slavene for at masteren skal kunne vite hvilken slave den skal kommunisere med.

Tabell 04.12 viser navnet på mikrokontrolleren og dens tilhørende "slave-adresse".

TABELL 04.12 – SLAVE ADRESSE

MIKROKONTROLLER	SLAVE ADRESSE
Slave-1 (Renningsmotor)	0x10
Slave-2 (Varemotor)	0x11

#### 4.4.2 – I<sup>2</sup>C-MASTER

For å implementere algoritmen for I<sup>2</sup>C-grensesnittet på masteren har prosjektgruppen valgt å benytte Atmel sitt applikasjonsnotat [20], og applikasjonsnotatets tilhørende programkode som utgangspunkt. Algoritmen som kan knyttes direkte til TWI på mastermikrokontrolleren er implementert i filen med filnavnet TWI\_Master.c. Denne filen har en tilhørende header fil med filnavnet TWI\_Master.h, som må benyttes for at I<sup>2</sup>C-grensesnittet skal fungere optimalt.

Mastermikrokontrolleren vil sende totalt fire bytes til en slavemikrokontroller av gangen. Det første bytet er et adresseringsbyte og forteller hvem beskjeden skal sendes til. Byte nummer to inneholder informasjon om retningen motorene skal kjøre. Tredje byte inneholder informasjon om hastigheten, mens fjerde byte inneholder informasjon om hvor mange rotasjoner motorene skal kjøre.

Under implementasjonen valgte vi å sette TWBR (TWI Bit Rate Register) lik 2. TWBR kan i teorien benyttes for å oppnå nødvendig hastighet for SCL. Det er dessuten masteren som har ansvaret for å generere "SCL-clock" og derfor må TWBR defineres i algoritmen for masteren. Verdien ble valgt i henhold til Tabell 1 i applikasjonsnotatet til Atmel [21]. Det at TWBR ble definert med denne verdien innebærer at SCL har en frekvens på 50 kHz.

For å forenkle beskrivelsen av hvordan algoritmen for I<sup>2</sup>C-masteren er satt opp har vi valgt å kun forklare funksjonene i algoritmen i dette dokumentet. Med andre ord vil vi ikke gå inn i detalj angående hver linje i algoritmen her. Programkoden kan ses i helhet i den vedlagte CD-en som medfølger dette dokumentet. Tabell 04.13 viser funksjonene som har blitt implementert med deres tilhørende beskrivelse.

TABELL 04.13 – FUNKSJONER I TWI\_MASTER.C

FUNKSJON	BESKRIVELSE
TWI_Master_Initialize()	Denne funksjonen benyttes for å sette opp registrene for TWI.
TWI_Start_Transceiver_With_Data()	Denne funksjonen benyttes for å sende data.
TWI_Start_Transceiver()	Denne funksjonen benyttes for å sende siste beskjed om igjen.
TWI_Get_Data_From_Transceiver()	Denne funksjonen benyttes for å motta data.
ISR(TWI)	Interrupt Service Routine

#### 4.4.3 – I<sup>2</sup>C-SLAVE

For å implementere algoritmen for I<sup>2</sup>C-gresesnippet på slavemikrokontrollerne valgte vi å benytte USI (Universal Serial Interface) modulen på ATTiny861. Videre har vi benyttet Atmel sitt applikasjonsnotat [22] som utgangspunkt for å utvikle algoritmen.

Tabell 04.14 gir en detaljert beskrivelse av alle funksjonene som har blitt implementert på slavemikrokontrollerne av typen ATTiny861.

TABELL 04.14 – FUNKSJONER I USI\_TWI\_SIAVE.C

FUNKSJON	BESKRIVELSE
<code>Flush_TWI_Buffers()</code>	Denne funksjonen tømmer TWI bufferen.
<code>USI_TWI_Slave_Initialize()</code>	Denne funksjonen benyttes for å sette opp registrene for TWI slaven.
<code>USI_TWI_Transmit_Byte()</code>	Funksjonen benyttes for å sende data. Mer bestemt setter den data på overføringsbufferen.
<code>USI_TWI_Receive_Byte()</code>	Denne funksjonen benyttes for å motta data fra masteren.
<code>USI_TWI_Data_In_Receive_Buffer()</code>	Denne funksjonen sjekker om det er noen data som kan mottas.
<code>USI_Start_Condition_ISR()</code>	Denne funksjonen gjør TWI klar for mottagelse av "TWI Adresse" pakken.
<code>USI_Counter_Overflow_ISR()</code>	Denne funksjonen behandler kommunikasjonen og er kun deaktivert når den venter på en start tilstand.

#### 4.4.5 – KOMMANDOER SOM SENDES VIA I<sup>2</sup>C-GRESESNITTET

I henhold til oppgavebeskrivelsen skulle vi benytte I<sup>2</sup>C-grensenitt for å sende kommandoer fra mastermikrokontrolleren til slavemikrokontrollerne. Derfor vil vi her ta for oss hva slags data som blir sendt over I<sup>2</sup>C-gresesnettet.

Det blir sendt totalt tre forskjellige kommandoer fra mastermikrokontrolleren til slavemikrokontrollerne. Disse tre kommandoene angir hastighet, retning og antall omdreininger motorene skal kjøre.

Videre vil det kun bli sendt en verdi fra slavemikrokontrollerne til masteren. Denne verdien gir et klarsignal til masteren, om at motoren som er tilknyttet slavemikrokontrolleren er ferdig med sin operasjon.

Tabell 04.15 gir en forenklet beskrivelse av verdiene som sendes over I<sup>2</sup>C-gresesnettet, med deres tilhørende betydning. Tabellen angir også verdien i HEX og binærtall.

TABELL 04.15 - I<sup>2</sup>C-VERDIER MED DERES TILHØRENDE BETYDNING

DEC	HEX	BIN	BETYDNING
10	0x0A	00001010	Hastighetskommando - 10 %
20	0x14	00010100	Hastighetskommando - 20 %
30	0x1E	00110000	Hastighetskommando - 30 %
40	0x28	00101000	Hastighetskommando - 40 %
50	0x32	00110010	Hastighetskommando - 50 %
60	0x3C	00111100	Hastighetskommando - 60 %
70	0x46	01000110	Hastighetskommando - 70 %
80	0x50	01010000	Hastighetskommando - 80 %
90	0x5A	01011010	Hastighetskommando - 90 %
100	0x64	01100100	Hastighetskommando - 100 %
110	0x6E	01101110	Omdreiningskommando - 60°
120	0x78	01111000	Omdreiningskommando - 120°
130	0x82	10000010	Omdreiningskommando - 180°
140	0x8C	10001100	Omdreiningskommando - 240°
150	0x96	10010110	Omdreiningskommando - 300°
160	0xA0	10100000	Omdreiningskommando - 360°
210	0xD2	11010010	Retningskommando - CW
220	0xDC	11011100	Retningskommando - CCW
250	0xFA	11111010	Klarsignal fra slavemikrokontroller(e)





## KAPITTEL 5

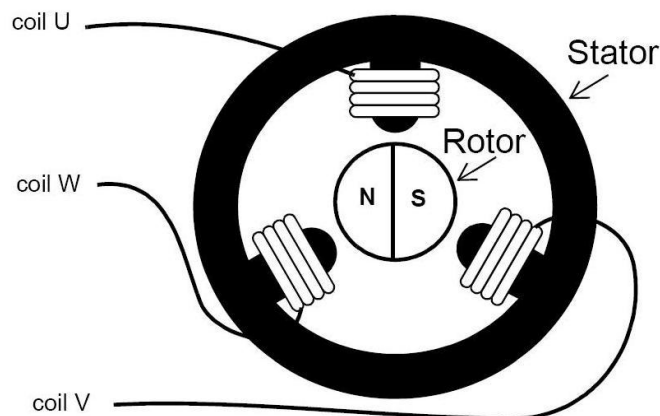
### MOTORKONTROLLER

Dette kapitlet tar for seg prosessen vi har vært gjennom for å finne ut hvordan en motorkontroller virker og er bygd opp. Kunnskapen vi innhentet under analysen ble senere benyttet for å designe motorkontrollere.

#### 5.1 – OPPBYGGING OG VIRKEMÅTE

En motorkontroller er en elektrisk krets som har som funksjon å sørge for riktig kommutasjon av en elektrisk motor, for eksempel en 3-fase BLDC-motor.

En 3-fase BLDC-motor har en stator, og en rotor. I statoren er det tre viklinger, vist i Figur 05.11, som er hentet fra applikasjonsnotat AVR496 [23], som kalles U, V og W. Ved å lage en sluttet krets mellom to av viklingene, kan man styre motoren. I motoren sitter det tre Hall-sensorer med  $120^\circ$  mellomrom. Disse sensorene gir en varierende utgangsspenning. Utgangsspenning er proporsjonal med magnetfeltet som virker på sensoren. Magnetfeltet som virker på sensorene blir induisert i viklingene som settes spenning på ved hjelp av transistorhalvbroene. En transistorhalvbro består av to transistorer i serie, der den ene er koblet til spenningsforsyning, og den andre koblet til jord. Mellom transistorene kobler man til viklingen i motoren. Dette beskrives senere i kapitlet.



FIGUR 05.01 – BLDC-MOTOR

Det er mikrokontrolleren som bestemmer hvilken retning motoren skal gå, og hvor stor hastighet motoren skal ha. Dette gjøres ved å bruke PWM (Pulse-Width-Modulation).

Ut i fra verdiene fra Hall-sensorene kan man styre hvilke av viklingene man setter spenning på, og også hvilke MOSFET-transistor i hver transistorhalvbro som skal lede. Med andre ord bestemmes neste PWM mønster på utgangene til mikrokontrolleren ut i fra verdiene fra Hall-sensorene. Det er denne kommutasjonen som gjør at motoren roterer. Verdiene fra Hall-sensorene kan også benyttes for å registrere hvor mange rotasjoner statoren har gjort.

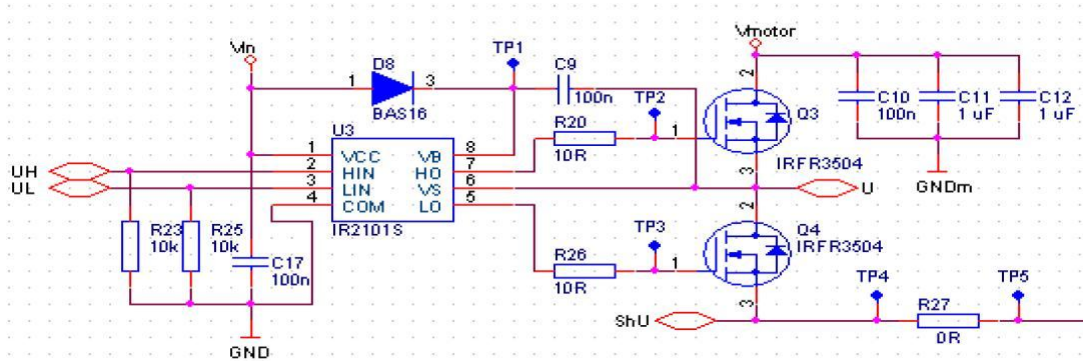
Oppbyggingen til motorkontrolleren vi konstruerer, tar utgangspunkt i de ferdige produktene MC300 (AVR430) [24] og MC301 (AVR469) [25] fra Atmel. MC300 er et "Power Stage", som består av transistorhalvbroene som sørger for kommutering av motoren. Dette kortet forsyner også motoren med spenning. MC301 er et "Motor Control Device Board", som tar for seg styringen av motoren. Her sitter det en mikrokontroller som behandler styresignalene som kommer fra MC300-kortet. De to kortene kobles sammen, og utgjør styreenheten til motoren.

En videreutvikling av denne styreenheten, er å bruke mikrokontrolleren på MC301 som en slave, og sende kommandoer over I<sup>2</sup>C-grensesnitt fra en mastermikrokontroller. Mastermikrokontrolleren kan sitte på et annet kort og kan sende og motta data fra mange forskjellige slaver.

Hovedkomponenten som prioriteres fra MC301, er mikrokontrolleren. Mikrokontrolleren vi skal bruke for styring av motoren, er en ATtiny861. Grunnen til at vi bruker en ATtiny861 er fordi TE har kommet med et krav om at vi skal benytte oss av denne mikrokontrolleren. Dette kan man lese om i kravspesifikasjon [14].

I applikasjonsnotat AVR496, kan man lese at ATtiny861 er velegnet for motorstyring. Kontrolleren har også en egen port som er definert til å styre en elektrisk motor. Mikrokontrolleren ATtiny861 skal sitte på motorkontrolleren vi designer.

Når det kommer til MC300-kortet, skal vi kun ta med de komponentene som må være med for at motorkontrolleren skal kunne styre en motor. Andre komponenter skal ikke tas med. Hovedkomponentene til MC300 beskrives videre i kapittelet.



FIGUR 05.02 – U HALVBRO

Figur 05.01, som er hentet fra applikasjonsnotat AVR430, kan vi se hvilke komponenter en transistorhalvbros består av, samt hvor de er plassert i kretsen.

Resistanser blir brukt i kretsen for å;

- Dimensjonere strømmgangen.
- Sørge for en konstant spenning til en inngangspinne.
- Blir brukt tykk-film-resistanser [26].
- $R_{27}$  i Figur 05.02 er en "Sense"-resistans [27], som brukes for å måle strømtrekk. Motstandene er laget for overflatemontering.

I kretsen sørger kondensatorer for å:

- Filtrere bort rippelspenninger.
- Opprettholde spenningsnivåer.
- Stenge for likespenning.

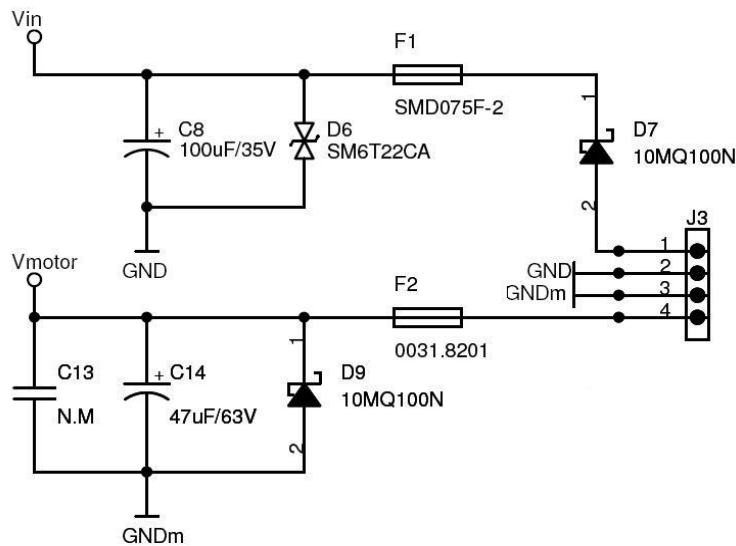
Mellom mikrokontrolleren og MOSFET-transistoren er det en spenningsdriver. Denne sørger for å heve spenningssignalet som kommer fra mikrokontrollere, opp til et vist nivå, slik at den kan åpne MOSFET-transistorene. Man trenger denne, siden signalet fra utgangsporten til mikrokontrolleren ikke er leverer mer enn drivspenning, som er ca. 5V. Spenningsdriver IR2101 [28] sin oppgave er å:

- Leverer en utgangsspenning som er større enn inngangsspenningen.
- Åpne GATE-inngangen på MOSFET-transistorene.

Utgangspinnene fra spenningsdriveren er så koplet til GATE-pinnene på MOSFET-transistoren. MOSFET-transistoren [29] blir brukt i motorkontrolleren for å:

- Lage en sluttet krets mellom motorviklingene.
- Blir brukt fordi den tåler stort strømtrekk, opptil 30A.
- Laget for å håndtere rask svitsjing, det vil si når man åpner og stenger GATE-inngangen og forbindelsen mellom DRAIN- og SOURCE-pinnene med PEM.

Fra spenningsforsyningen og inn på kretskortet, er det en del komponenter som sørger for en stabil DC-spenning til resten av kretsen.



FIGUR 05.03 - SPENNINGSTILFØRSEL

Figur 05.02 viser hvilke komponenter som er med på å stabilisere spenningssignalet som går videre til driverkretsen og halv-broene og motoren. Figur 05.02 er hentet fra AVR469. Disse er kort beskrevet nedenfor.

En "Bidirectional Transient Suppression Diode" [30] er plassert i kretsen for å:

- Beskytte komponenter som er sensitive mot ESD (Elektrostatisk Lading).

Schottky diode [31]:

- Brukes som en likeretter. Sørger for strømretning i en bestemt retning.
- Lite spenningsfall over dioden.

På kretskortet sitter det to sikringer:

- "Resettable PolySwitch" som beskytter drivkretsen. Sørger for at det ikke går for stor strøm, slik at komponenter blir ødelagt.
- Overflatemontert sikring som sørger for at motoren ikke skal trekke større strøm enn motorkontrolleren er dimensjonert for. Dette er en engangssikring og må byttes ut hvis den ryker.

Rekkeklemmer brukes for å tilkople:

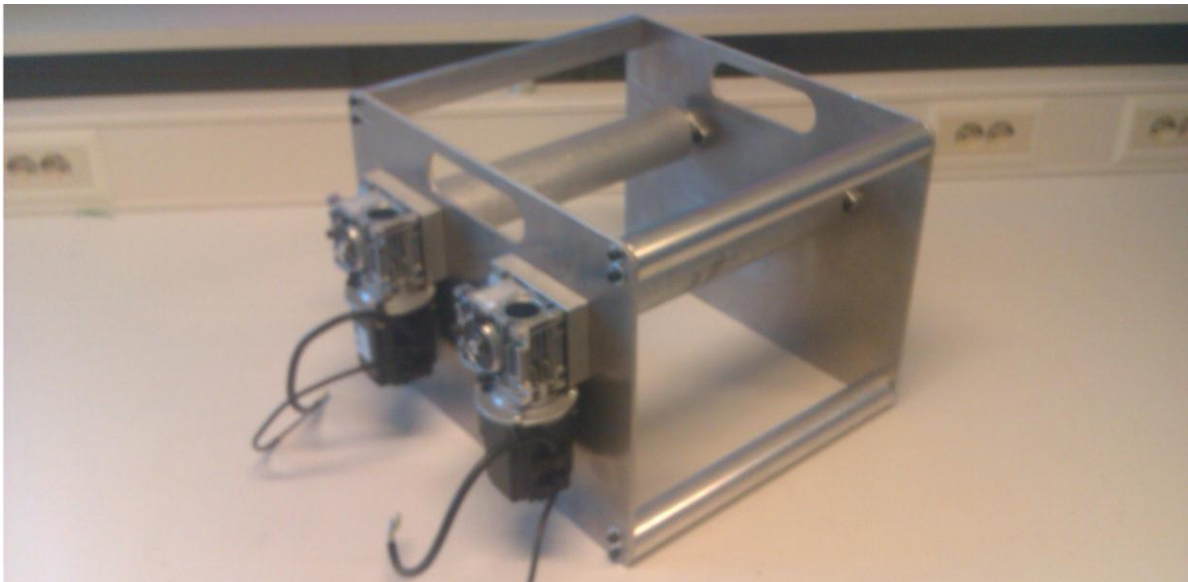
- Spenningsstilførsel til mikrokontrolleren.

- Spenningstilførsel til drivkretsen.
- Spenningstilførselen til BLDC-motoren.
- BLDC-motoren til kretskortet.

Siden rekkeklemmene sørger for forbindelse mellom spenningsforsyningen og BLDC-motoren, måtte disse tåle kravet for strømtrekk, som er 14A.

## 5.2 – DESIGN

Motorkontrolleren som vi lager en design for, skal drive motorene som sitter på testriggen. Riggen vi har fått fra TE er nedskalert til en modell på 40cm \* 43cm \* 30cm, der motorene sitter på. Figur 05.03 viser testriggen prosjektgruppen har fått av TE.



FIGUR 05.04 – TESTRIGG

Etter at vi analyserte skjematikken og oppbyggingen til motorkontrolleren ved applikasjonsnotatene til Atmel, har vi kommet frem til en løsning som vi har jobbet videre med. Denne løsningen bygger på den samme oppbyggingen som MC300 har. Motorkontrollerkortet vil bestå av slavemikrokontrolleren, en logikkrets med spenningsdriveren, samt tre transistorhalvbroer som driver BLDC-motorene. Skjematisk tegning av kretsen ligger som vedlegg.

### 5.2.1 – MODIFISERINGER

For å kunne bruke en tilsvarende sammensetning fra MC300, må vi gjøre noen små justeringer. Disse er i forbindelse med hvor stor den tillatte strømgangen skal være på. I applikasjonsnotatet er det beskrevet hvilke endringer man må gjøre. Disse er vist i Tabell 05.01.

TABELL 05.01 - STRØMBEGRENSNINGER

KOMPONENTNUMMER	KOMPONENTNAVN	BEGRENSENDE PARAMETRE
R62	50mΩ 2W	$I_{\max} = \text{sqrt}(P/R) = 6,0A$
J3 & J7	MC1,5/x-G3,81	$I_{\max} = 8A$
Q3, Q4, Q5, Q6, Q7, Q8, Q9 & Q10	IRFR3504	$I_D = 30A$

#### STRØMTREKK

En av endringene som må gjøres, er å regne ut en ny strømmålingsmotstand, slik at det er mulig at det kan gå 14A maksimum. Dette gjorde vi ved å snu på uttrykket:

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{P}{R}} \quad (5.1)$$

Ved å snu på uttrykket, får man et uttrykk for motstanden, som er:

$$R = \frac{P}{I_{\max}^2} \quad (5.1)$$

Effektutviklingen skal ikke være større enn 2W, i følge applikasjonsnotatet til MC300.

Setter man inn verdiene for  $P = 2W$  og  $I_{\max} = 14A$ , får man:

$$R = \frac{2}{14^2} = 0,01\Omega.$$

Får at motstanden  $R_{62}$  må være på  $0,01\Omega$  for at det kan gå 14A gjennom kretsen.

**KONTAKTPLUGGER**

En av de andre justeringene som må gjøres, er at kontaktpluggene som man kobler til spenningsforsyningene, også må tåle at det går stor strøm gjennom seg. Derfor må vi finne nye koblingsplinter som kan tåle 14A. Type kontaktplugger vi har valgt er nevnt i komponentlisten vi har lagd for motorkontrolleren. Dette dokumentet ligger på vedlagt CD.

**TRANSISTORER**

I Tabell 05.01, må man ta i betraktning transistorene. Transistorene vi har tenkt til å bruke er MOSFET-er, som tåler en kontinuerlig Drain-strøm på 30A. Man ser at transistorene tåler mye mer enn det vi kommer til å belaste de, så vi trenger ikke å gjøre noen utskifting av disse.

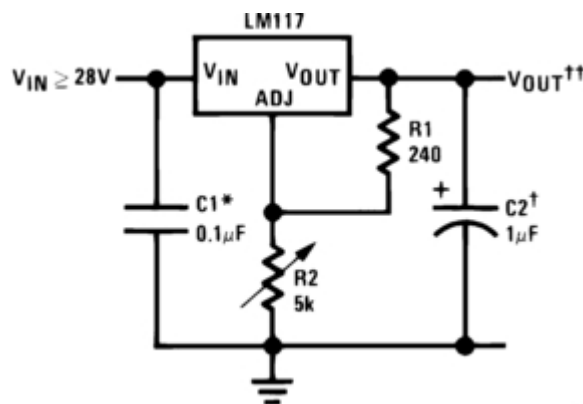
**SIKRINGER**

Andre endringer som må gjøres, er å endre størrelsen på sikringen som sitter på drivkretsen til BLDC-motorene. Disse må endres til å tåle 14A. Den resettbare sikringen til drivkretsen tenger ikke byttes ut.

**SPENNINGSREGULATOR**

For å kunne forsyne både mikrokontrollere og Hall-sensorene, må vi benytte oss av en krets som justerer spenningsnivået fra 24V til 5V. Dette kan gjøres ved å ta i bruk en LM317-krets [32].

Den integrerte spenningsregulatorkretsen LM317 er et eksempel på en tre-terminals positiv regulator med varierbar utgangsspenning. Figur 05.04 viser hvordan standardkonfigurasjonen til LM317-kretsen ser ut.



FIGUR 05.05 - SPENNINGSREGULATOR

Kondensatorene i kretsen fungerer som avkopling for rippelspenning, og påvirker ikke DC-operasjonen. LM317-kretsen har tre terminal. Dette er "Input", "Output" og "Adjustment". Man har også en fast motstand  $R_1$ , og en variabel motstand  $R_2$ , som er med på å justere spenningsnivået på utgangen. Utgangsspenningen kan varieres i fra 1,25V og helt opp til 37V. Dette avhenger av hvilke verdier resistansene har, samt verdien på inngangsspenningen.

I kapittelet som beskriver LM317 i læreboka *Electronic Devices* [33], forklares det at regulatoren har en konstant referansespenning  $V_{REF}$ , som er på 1,25V.

Referansespenningen produserer igjen en strøm,  $I_{REF}$ , gjennom  $R_1$ , uansett verdien til  $R_2$ . Dette kan beskrives ved uttrykket:

$$I_{REF} = \frac{V_{REF}}{R_1} = \frac{1,25V}{R_1}. \quad (5.3)$$

Det må også tas hensyn til en veldig liten strøm som går ved reguleringsterminalen "Adjustment". Denne er på omtrent 50µA og kalles  $I_{ADJ}$ .  $I_{ADJ}$  går gjennom  $R_2$  i tillegg til  $I_{REF}$ . Ut i fra disse opplysningene, kan man sette opp et uttrykk for å beregne utgangsspenningen  $V_{OUT}$ . Får her:

$$\begin{aligned} V_{OUT} &= V_{R1} + V_{R2} = I_{REF} \cdot R_1 + I_{REF} \cdot R_2 + I_{ADJ} \cdot R_2 \\ &= I_{REF} \cdot (R_1 + R_2) + I_{ADJ} \cdot R_2 = \frac{V_{REF}}{R_1} \cdot (R_1 + R_2) + I_{ADJ} \cdot R_2 \end{aligned}$$

Ut fra dette får man at finner utgangsspenningen ved hjelp av:

$$V_{OUT} = V_{REF} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{ADJ} \cdot R_2. \quad (5.4)$$

Leddene  $I_{ADJ} \cdot R_2$  kan neglisjeres når man skal regne utgangsspenningen, siden strømmen er så liten.

Dette vil altså si, at for og få en spenning på 5V, som kan forsyne mikrokontrollerne og Hall-sensorene, må  $R_1$  være på 120Ω og  $R_2$  på 360Ω.



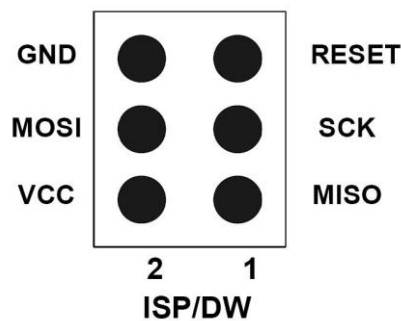
Grunnen til at vi ønsker et signal på 5V fra regulatoren, er fordi dette er et signal både Hall-sensorene kan jobbe med, samt mikrokontrolleren. Mikrokontrolleren kan jobbe med spenninger fra 3,3V til 5V.

Dette vil forenkle og minimalisere antall komponenter som vil bli brukt i kretsen, som igjen vil være kostnadsbesparende med tanke på produksjon.

Ved hjelp av spenningsregulatoren, trenger man kun én spenningsforsyning til motorkontrolleren, som hentes fra en 24V DC-forsyning.

### ISP-PROGRAMMERING

På forespørsel fra ekstern veileder kommer vi også til å integrere en ISP-kontakt som gjør at man kan programmere eller omprogrammere mikrokontrolleren mens den sitter på kretskortet. ISP står for "In System Programming". Denne kontakten vil gjøre at man slipper å lodde ut mikrokontrolleren.



FIGUR 05.06 – KOBLINGSPUNKTER FOR ISP

En trenger kun å koble til en 6-pins kontakt mellom utviklingskortet og mikrokontrolleren, for så å programmere enheten. Oppsettet for hvordan pinnene kobles opp står forklart i applikasjonsnotat AVR469.

### 5.2.2 – SKJEMATEGNING

Når vi hadde bestemt oss for hvilke komponenter som måtte være med i kretsen, har vi som nevnt tidligere tatt utgangspunkt i applikasjonsnotatene. Komponentene vi har kommet frem til kan både ses i skjemategningen for designet, samt i komponentlisten. Begge dokumentene ligger som vedlegg.

Etter at de fleste komponentene var bestemt, startet vi på arbeidet med å lage det skjematisk designet. Til dette, bruker vi et program som heter OrCAD Capture CIS.

Capture er et verktøy man bruker når man designer elektriske kretser, enten det er analog- eller digitalelektronikk. I dette programmet kan man også utføre simuleringen av kretsen, for å se virkemåten. Vi vil forklare mer om arbeidet i OrCAD senere.

På skjemategningen ser man at kretsen består av:

- En slavemikrokontroller som kommuniserer med en mastermikrokontroller over I<sup>2</sup>C-grensesnitt. Styrer også transistorhalvbroene med PWM.
- Spenningsdrivere, som sørger for riktige spenningsnivåer inn på "Gate" til transistorene, slik at de vil lede.
- MOSFET-transistorene styres av signaler fra mikrokontrolleren. Åpner og lukker for strømgjennomgang. Sørger for sluttet krets mellom viklingene i BLDC-motorene.
- Resistanser og kondensatorer for å sørge for en stabil krets.
- Kontakter for å koble til spenningsforsyninger, BLDC-motorer og I<sup>2</sup>C-kommunikasjon.
- Spenningsregulator som forsyner elektronikken med riktig spenning.
- ISP-kontakt for programmering av ATtiny861.

### 5.3 - IMPLEMENTERING

Når det kom til beslutningen om hvordan designet til motorkontrolleren skulle bli, gjorde vi en del undersøkelser for å få en god forståelse for hvordan en motorkontroller fungerer, og hvilke funksjoner de forskjellige komponentene har.

Det første vi gjorde, var å ta tak i applikasjonsnotater vi fikk utlevert av ekstern veileder, og som vi fant på nettet (dette inkluderer skjemategninger og komponentliste fra Atmels hjemmeside) og leste og studerte disse. Vi tok også et møte med en faglærer ved HiBu (Dag Samuelson), for å diskutere litt rundt virkemåten, og for å prate om hva man måtte ta hensyn til når man skal modifisere en motorkontroller til eget bruk.

Underveis i analyseprosessen, kom både ekstern og intern veileder med innspill under møtene, når det kom til det å konstruere motorkontrolleren.

Etter å ha jobbet med motorkontrolleren, tok vi en beslutning om å ta utgangspunkt i de opprinnelige skjemategningene fra Atmel. Vi ønsket å benytte de eksisterende komponentene som er beskrevet i applikasjonsnotatet til AVR430 og søkte opp tilsvarende komponenter som består av samme materiale og som har samme verdier.

Verdier og oppbyggingen til komponentene står i produktbeskrivelsen som lå i applikasjonsnotat AVR430.

Når det kommer til implementeringsfasen til motorkontrolleren, så har gruppen fått til å utvikle en skjematisk fremstilling. Dette har blitt gjort i programverktøyet OrCAD Capture CIS. Vi har også forsøkt å gjøre simuleringer og startet med utlegget av kretsen, før vi dessverre måtte konkludere med at vi ikke hadde kapasitet nok til å fullføre utlegget med den resterende tiden vi hadde.

Etter at vi hadde analysert oppbyggingen og virkemåten til kretsen, startet vi med å sette opp kretsen. For å gjøre dette, gikk vi over alle komponentene som skulle være med. Det første som ble gjort var å søke opp og bruke PSpice-modeller som allerede fantes i OrCAD sitt innebygde bibliotek. Komponenter som finnes i biblioteket er motstander, kondensatorer, transistorer og diode. I tillegg har vi måttet legge til komponenten IR2101, som er "High Side Low Side Driver" spenningsdriver som trengs for å drive MOSFET-transistorene.

Resten av komponentene i skjematikken: ISP-kontakt, kontaktplugg, sikringsholdere, LM317-kretskobling og mikrokontrollere har vi kun funnet i biblioteket for å bruke de videre til utlegg for å legge til footprints og for å tegne strømbaner og ledere mellom komponentene. En ting som kan nevnes her er at for å gjøre simuleringer med disse modellene, kan man legge til PSpice-bibliotekfil til komponentene, slik at man kan kjøre tester og se hvordan komponentene oppfører seg.

Senere prøvde å gjøre simuleringer for å se hvordan transistorhalvbroene reagerer når man setter på en varierende spenningspuls på inngangen til spenningsdriveren. Denne spenningspulsen har som hensikt å simulere PWM. Disse simuleringene gikk ikke helt etter planen. Underveis opplevde vi en god del problemer i forbindelse med komponentbiblioteket til spenningsdriveren, slik at vi brukte en del tid på å fjerne denne feilen. Det viste seg at det var noen parametre som hadde feil innstillinger. Etter at disse var rettet opp i, kunne vi gjøre noen simuleringer. Dessverre fikk vi ingen gode resultater, noe vi tror har med signalkilden vi brukte. Vi klarte ikke å få noen klare resultater fra denne testingen, slik at vi må basere kretsen vår på det teoretiske og applikasjonsnotatene AVR430 og AVR469.

Det ble også startet på å lage footprints til utlegget av kretskortet, men avsluttet prosessen på grunn av tidsmangel og kapasitet. Alt arbeid som har blitt gjort i

forbindelse med skjematikken til motorkontrolleren og simulering ligger på innlevert CD. Her er det mappen *Skjematikk1* som inneholder den endelige skjematikken, mens i mappen *Skjematikk2* ligger det en skjematisk kobling som vi har forsøkt å gjøre simuleringer med. Disse testene finner sted i mappen *Test 04.05.11*.

## KAPITTEL 6

### TESTING

Dette kapitlet er ment for å gi en oversiktlig beskrivelse av de forskjellige testene vi har gjennomført og de utfordringene vi har møtt underveis. Det vil også gis en beskrivelse av beslutningene vi tok for å løse de problemene vi har møtt på underveis i testfasen.

#### 6.1 – TESTING AV MOTORENE

BLDC motorene var det første vi testet når vi hadde mottatt testtriggen fra TE. Dette ble gjort for å undersøke om motorene fungerte som de skulle. Dessverre var ikke dette tilfellet ettersom prosjektgruppen møtte på en rekke problemer under testing av motorene. Dette delkapitlet tar for seg disse utfordringene i detalj.

##### 6.1.1 – FORSKJELLIG PÅ MOTORHASTIGHET

Det første problemet vi støtte på var at motorene ikke roterte med lik hastighet. Motoren som er festet til renningsbommen roterte noe fortere enn motoren på varebommen. Vi observerte videre at renningsmotoren kjørte med omtrent dobbelt så fort i forhold til varemotoren. Denne observasjonen ble gjort ved å sette et merke på begge motorene og kjøre de med samme spenning, noe som i teorien skulle ha ført til at begge bommene roterte med lik hastighet.

For å unngå at dette problemet skulle bli kilden til andre problemer under prosjektet valgte vi å endre algoritmen i mastermikrokontrolleren, slik at motoren knyttet til varebommen ble kjørt med dobbel hastighet i forhold til motoren tilknyttet renningsmotoren.

##### 6.1.2 – SKJEV AKSEL PÅ VARBOMMEN

Videre fant vi ut at det var en feilkilde ved akselen mellom vinkelgiret til motoren og varebommen. Denne akselen var skjev noe som er illustrert i Figur 06.01.

Prosjektgruppen valgte å filme dette fenomenet ettersom Figur 06.01 ikke illustrerer dette godt nok. Leseren refereres derfor til YouTube-linken [34] hvor denne videoen kan ses.



FIGUR 06.01 – SKJEV AKSEL TILHØRENDE RENNINGSBOM

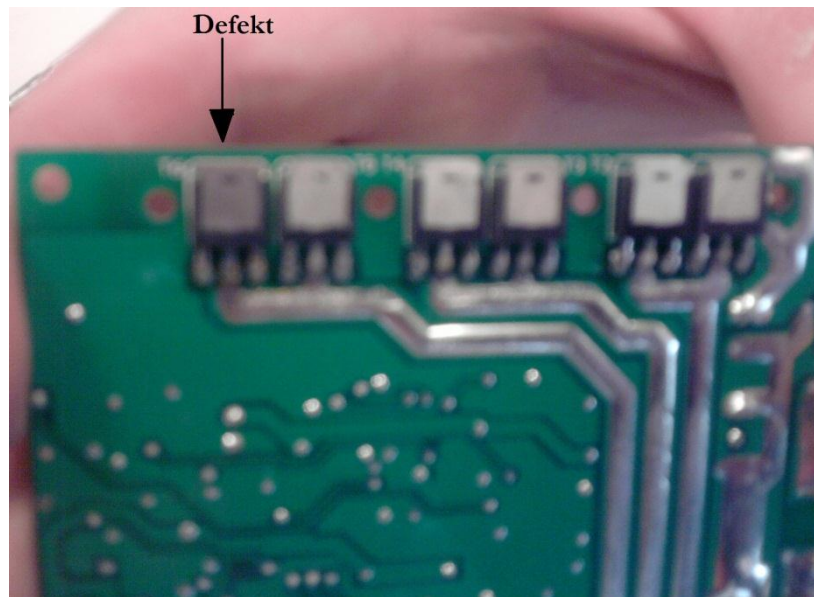
### 6.1.3 – PROBLEMER MED RISTING PÅ TESTRIGGEN

Problemet med den skjeve akselen viste seg å være kilden til et annet problem. Den skjeve akselen førte til at hele testriggeren ristet når varemotoren ble kjørt. Dette førte igjen til at vi fikk utslag fra strekkklappene som i prinsippet ikke ble påført noen kraft. Dette problemet førte til at vi måtte legge til en tilleggsfunksjon i algoritmen for reguleringsystemet. Denne funksjonen er beskrevet mer detaljert i implementeringskapittelet.

### 6.1.4 – DEFECT MOTORKONTROLLER

Det siste problemet vi opplevde med motorene oppsto under testing av motorene. Dette problemet var direkte knyttet til det ene transistorparet på den ene motorkontrolleren. Dette transistorparet hadde blitt kortsluttet slik at motorkontrolleren ikke klarte å drive motoren. Figur 06.02 viser den defekte transistoren til motorkontrolleren.

Prosjektgruppen kontaktet med engang ekstern veileder for å informere om problemet. Under et møte med ekstern veileder samme uken fikk prosjektgruppen utlevert en ny motorkontroller som skulle erstatte den defekte. Den nye motorkontrolleren var fra samme produsent, men var en annen type.



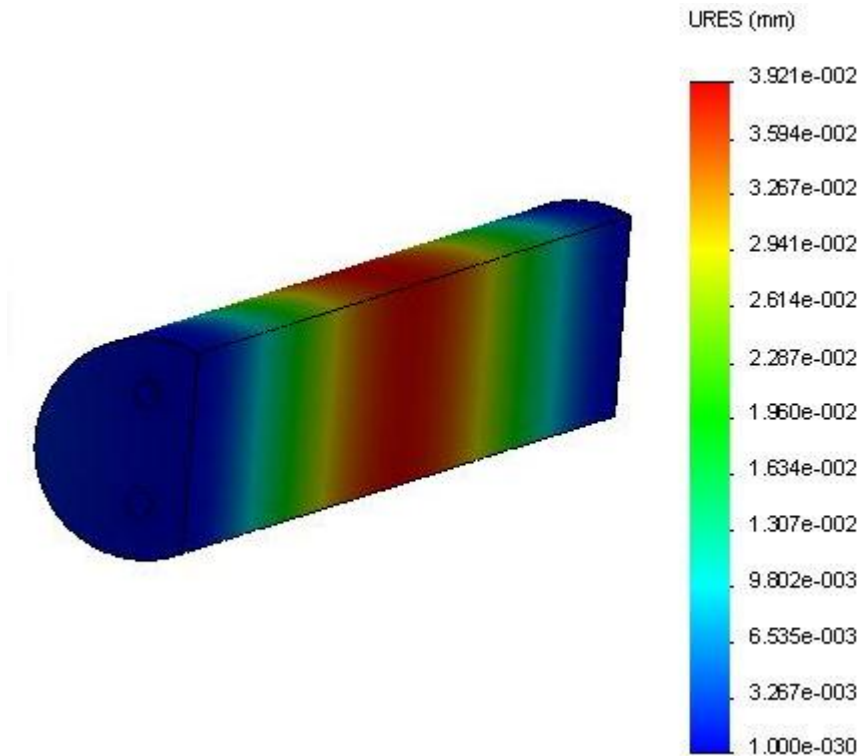
FIGUR 06.02 – DEFEKT TRANSISTOR

## 6.2 – TESTING AV STREKKLAPPENE

Vi vil nå ta for oss fremgangsmetoden vi benyttet oss av for å teste strekkklappene, samt hvilke utfordring vi har møtt på underveis.

Før vi monterer strekkklappene på bommene ville vi være sikre på hvor stor tøyning i bommene som måtte til for at strekkklappene skulle gi et utslag. Vi simulerte derfor bakbommen som sitter på testtriggen i FEM-analyse, med en kraft tilsvarende 1000N ville deformere bommen.

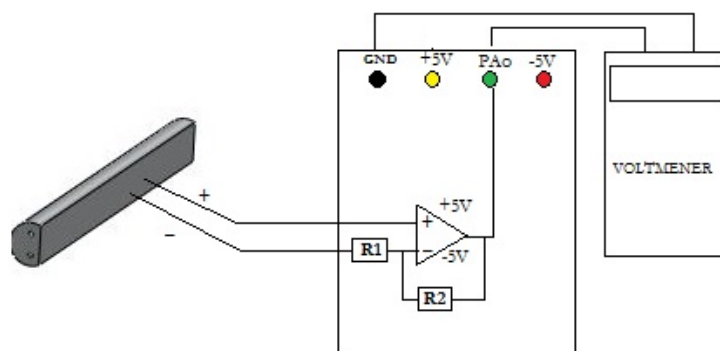
Resultatene fra FEM analysen viste oss at maksimal resultant forskyvning i bommen er 0,039 mm. En illustrasjon av dette er gitt i Figur 06.03.



FIGUR 06.03 - FORSKYVNING I BAKBOM VED 1000N

Vi sendte videre en forespørsel til HBM Norge etter at vi hadde simulert bommene. I denne forespørselen ga vi en forklaring angående hvor strekkklappene skulle plasseres, samt hva slags materiale bommen var laget av. I tillegg til dette informerte vi om hvor stor tøyning vi i teorien fikk dersom det ble påført en kraft på 1000N. HBM Norge informerte oss om at strekkklappene ville gi oss nok utslag med en tøyning som tilsvarer 3,9  $\mu\text{m}/\text{m}$ .

Videre monterte vi en strekkklapp på midten av bommen for å sjekke om vi fikk et signal ved å påføre renningsbommen en liten kraft. Figur 06.04 illustrerer hvordan kretsen for koblingen av strekkklappene under testing så ut. I Figuren er  $R1=100\Omega$ ,  $R2=1\text{ M}\Omega$  og PA0 er inngangen til ADC.

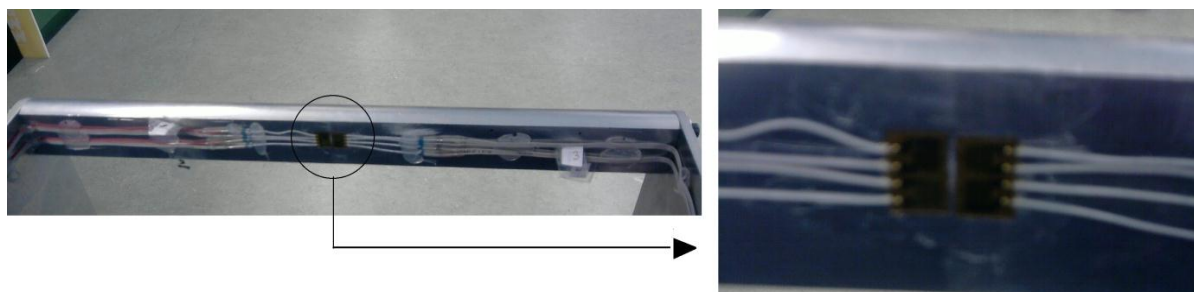


FIGUR 06.04 - KRETSEN FOR KOBLING AV STREKKKLAPPER



Da vi testet strekkloppene var ikke resultatet som ønsket. Vi fikk mye støy som forstyrret signalet. Etter grundig testing fant vi ut av at dekadeboksene og de tilhørende kablene som gikk til dekadeboksene var kilden til noe av støyen. Det var disse støykildene som gjorde at signalet varierte mye. Litt senere fant vi også ut at vi fikk støy ettersom vi ikke benyttet et felles jordingspunkt. Signalet ble mye bedre når vi byttet ut kablene og dekadeboksene med faste motstander, samt hadde et felles jordingspunkt for kretsen.

Når vi hadde tilnærmet eliminert støykildene monterte vi på den andre strekkloppen på testtrigen slik som vist i Figur 06.05. Prosjektgruppen filmet en video under testing av strekkloppene som kan ses ved å følge gitte webadresse [35].



FIGUR 06.05 - TO STREKKLAPPER MONTERT PÅ BAKBOMMEN

### 6.3 – TESTING AV ALGORITME

Ettersom prosjektgruppen dessverre ikke kom helt i mål med algoritmen for slavemikrokontrollerne fikk vi dessverre ikke tid til å teste algoritmen i sin helhet. Derimot kom vi i mål med algoritmen for mastermikrokontrolleren, og fikk dessuten også kommunikasjonen mellom mastermikrokontrolleren og slavemikrokontrollerne til å fungere. Koden for mastermikrokontrolleren og I<sup>2</sup>C-grensesnittet ble derfor testet både fysisk og ved å benytte en debugger.

#### 6.3.1 – DEBUGGING

Algoritmen ble debugget før vi i det hele tatt testet noe av koden fysisk. Under debuggingen fant vi noen små feil som for eksempel at registrene til ADC-en ikke var korrekt definert. Slike feil ble rettet fortløpende ved å undersøke registrene opp mot databladet til mikrokontrolleren.

### 6.3.2 – FYSISK TESTING AV ADC

Under testing av ADC-en støtte vi på et problem med at vi ikke fikk lest av verdier fra strekkklappene som var høyere enn 3,5V. Vi gikk derfor gjennom programkoden og fikk bekreftet at problemet ikke lå der. Videre byttet vi ut selve mikrokontrolleren vi hadde benyttet ut under testing med en nye en. Den nye mikrokontrolleren var av samme type altså ATmega16A. Når vi testet den nye mikrokontrolleren opplevde vi at alt fungerte optimalt og vi kunne lese av verdier opptil 5V, slik som vi skulle klare i henhold til teorien.

Etter nærmere undersøkelser fant prosjektgruppen ut at det var PA0 inngangen på mikrokontrolleren som var kilden til problemet. Denne inngangen var defekt og skapte trøbbel for avlesningen av verdier fra ADC-en.

### 6.3.3 – FYSISK TESTING AV I<sup>2</sup>C-GRENSESNIETTET

Ettersom prosjektgruppen ikke kom helt i mål med prosjektoppgaven, valgte prosjektgruppen å tilpasse algoritmen slik at de kunne påvise at vi fikk I<sup>2</sup>C-grensesnittet til å fungere. På grunnlag av dette ble en egen algoritme utviklet slik at vi kunne teste kommunikasjonen mellom masteren og slaven.

Testalgoritmen ble testet ved at vi leste av en ADC verdi på masteren. Denne masteren sendte er verdier til slaven som ble bestemt av hvor stort strekket var. Denne verdien ble så vist på LED-ene på utviklingskortet til slavemikrokontrolleren. For å teste dette videre valgte prosjektgruppen å implementere to ekstra funksjoner ved å benytte SW0 og SW1 på utviklingskortet til masteren. Når SW0 blir trykket ned så skulle alle de åtte LED-ene på slaven skrus av. Tilsvarende skulle alle LED-ene på masteren skrus på dersom SW1 ble trykket ned.

Vi støtte ikke på noen store problemer under testing av I<sup>2</sup>C-grensesnittet. Grunnen til dette var sannsynligvis at vi tidligere hadde debugget algoritmen ved å benytte AVR Dragon og AVR Studio 4.

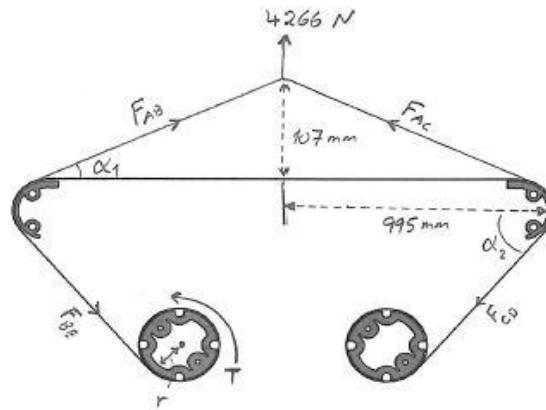
Prosjektgruppen valgte å lage en video under testingen av I<sup>2</sup>C-grensesnitett. Leseren refereres til [36], hvor denne videoen kan ses. Denne videoen viser at kommunikasjonen mellom de to mikrokontrollerne fungerer optimalt.

### 6.4 - TESTING AV BOMMENE

Her vil vi ta for oss testene som har blitt utført på bommene, med de tilhørende resultatene. Ettersom bommene i henhold til oppgavebeskrivelsen ikke skulle ekstruderes så er alle testene utført ved å benytte simuleringverktøyet FEM-analyse.

#### 6.4.1 – BAKBOM OG BRYSTBOM

Testing av bakbommen og brystbommen baserte seg på kreftene som treffer bommene ved maks belastning. Stramning av renningen vil stadig endre seg når TC-2 er i drift. Denne endringen er igjen avhengig av mønsteret som skal veves. Testene ble utført i den tilstanden hvor renningene er under maksimal stramning. Utregningene av maksimal belastning er forklart i designkapittelet i dette dokumentet.



FIGUR 06.06 - STYRKEBEREGNINGER

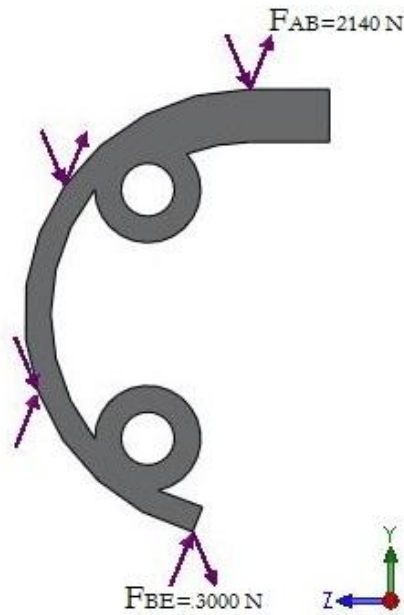
I følge beregningene som er vist i designkapittelet har vi:

$$F_{AB} = F_{AC} = 2,14 \text{ kN}$$

$$F_{BE} = F_{CE} = 3,0 \text{ kN}$$

$$T = 0,00418 \text{ N.m}$$

Vi benyttet disse verdiene for å analysere bakbommen og brystbommen. Figur 06.06 og Figur 06.07 viser retningen og størrelsen av  $F_{AB}$  og  $F_{BE}$ .



FIGUR 06.07 - STØRRELSE OG RETNING AV  $F_{AB}$  OG  $F_{BE}$

For å kjøre analysen i FEM trengte vi å velge materialtype. Vi valgte aluminium i serie 6063-T6. Dette materialet har flytegrense på 215 MPa [6], noe som er optimalt for ekstrudert aluminium [1]. Tabell 06.01 viser materialets egenskaper.

TABELL 06.01 - MATERIAL EGENSKAPER FOR ALUMINIUM 6063-T6

Property	Value	Units
Elastic Modulus in X	69000	N/mm <sup>2</sup>
Poisson's Ration in XY	0.33	N/A
Shear Modulus in XY	25800	N/mm <sup>2</sup>
Mass Density	2700	kg/m <sup>3</sup>
Tensile Strength in X	240	N/mm <sup>2</sup>
Compressive Strength in X		N/mm <sup>2</sup>
Yield Strength	215	N/mm <sup>2</sup>
Thermal Expansion Coefficient in X	2.34e-005	/K
Thermal Conductivity in X	209	W/(m·K)
Specific Heat	900	J/(kg·K)
Material Damping Ratio		N/A

#### 6.4.2 – RESULTATER FOR TESTING AV BAKBOM OG BRYSTBOM

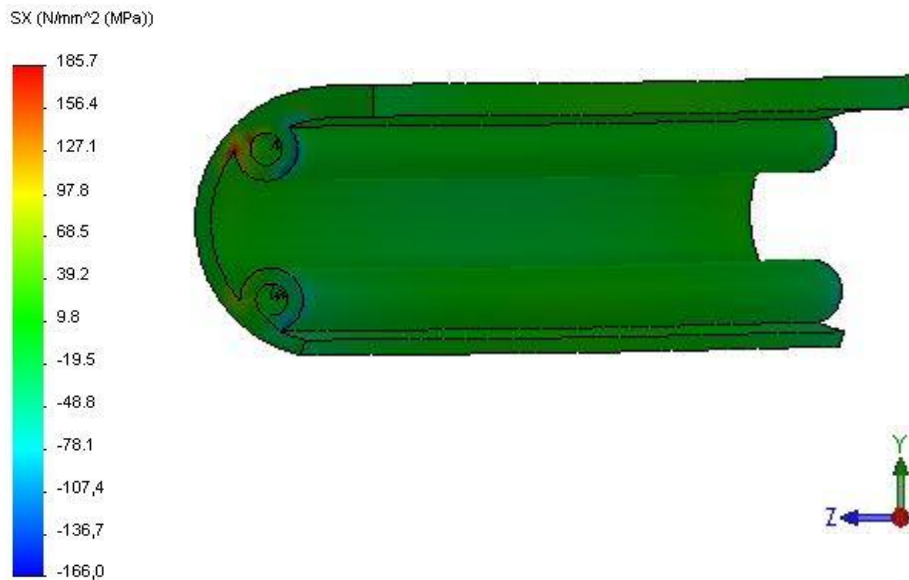
Resultatene fra testingen av brystbom og bakbom, etter at de er påført maks belastning, vil nå bli vist. Resultatene viser at geometrien til bommene vi har kommet til i løsningsforslaget vårt er optimale for maks belastning og lavest mulig vekt. Mekanisk stress er en størrelse som i mekanikk er gjennomsnittlig kraft per areal. Mekanisk

spenning er delt inn i normal spenning (normal stress) og skjærspenning (skjærstress) [5].

**NORMALT STRESS**

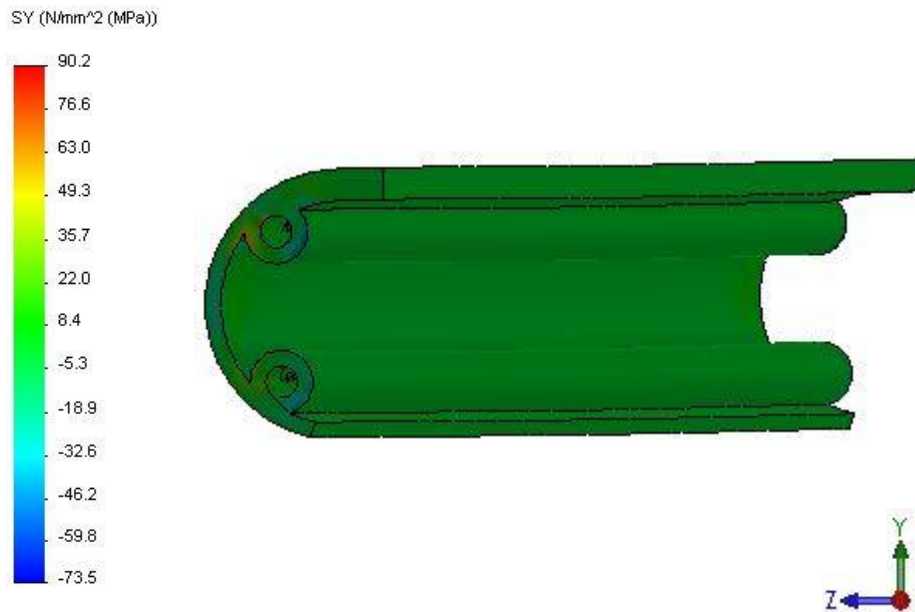
Normalt stress opptrer når kraften står vinkelrett på den planen vi ser på [5]. Her vises normal stress i X, Y og Z retning ved maks stramning.

Vi ser først på normalt stress i X retning. Figur 06.08 viser resultatene til normalt stress i bakkbom/brystbom i X retning. Maksimal normalt stress kommer på 185,7 MPa, ved maksimal stramning.



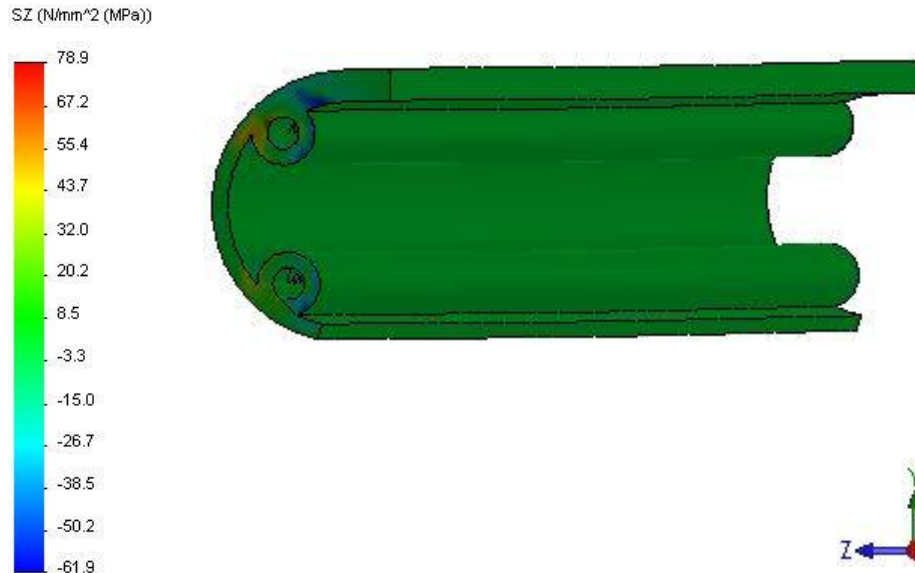
FIGUR 06.08 - NORMALT STRESS I X RETNING

Videre ser vi på normalt stress i y-retning. Figur 06.09 viser resultatene for normalt stress i bakkbom/brystbom i Y retning. Maksimal normalt stress kommer på 90,2 MPa, ved maksimal stramning.



FIGUR 06.09 - NORMALT STRESS I Y RETNING

Figur 06.09 viser resultatene for normalt stress i bakkom/brystbom i Z retning. Maksimal normalt stress kommer på 78,9 MPa, ved maksimal stramning.

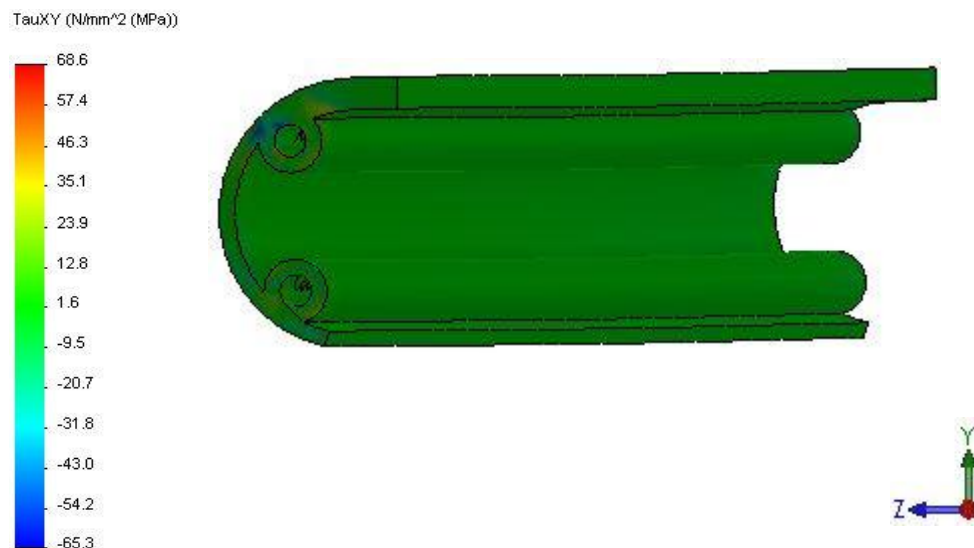


FIGUR 06.10 - NORMALT STRESS I Z RETNING

### SKJÆRSTRESS

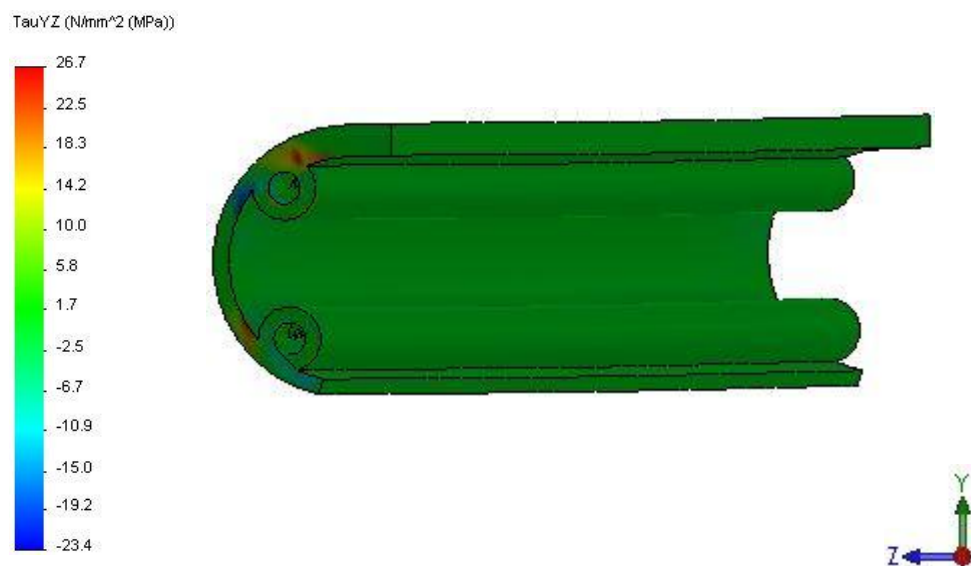
Mens normalkrefter og normalt stress alltid virker normalt (vinkelrett) på spenningsflaten, virker skjærkrefter og skjærstress alltid langs flaten. Vi vil nå ta for oss skjærstress i forskjellige planer og retninger [5].

Figur 06.11 viser resultatene av skjærstress i bakkbom/brystbom i Y retning på YZ planet. Maksimalt skjærstress kommer på 68,6 MPa, ved maksimal stramning.



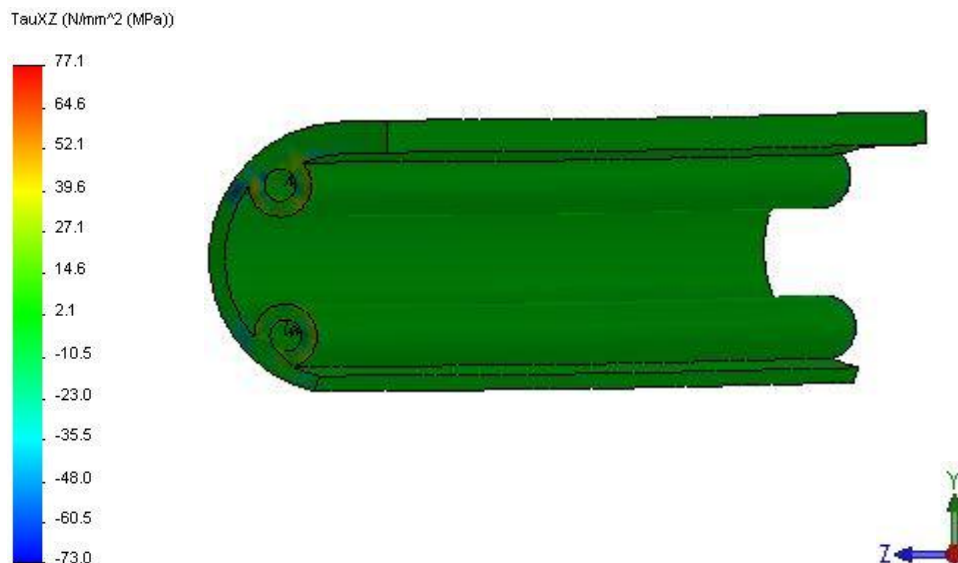
FIGUR 06.11 - SKJÆRSTRESS I Y RETNING PÅ YZ PLANET

Videre viser Figur 06.12 resultatet av skjærstress i bakkbom/brystbom i Z retning på XZ planet. Maks skjærstress kommer på 26,7 MPa. Ved maks stramning.



FIGUR 06.12 - SKJÆRSTRESS I Z RETNING PÅ XZ PLANET

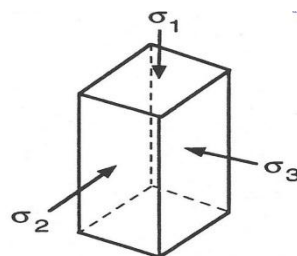
Tilslutt viser Figur 06.13 skjærstress i Z retning på YZ planet. Maksimalt skjærstress kommer på 77,1 MPa, ved maksimal stramning.



FIGUR 06.13 - SKJÆRSTRESS I Z RETNING PÅ YZ PLANET

PRINSIPIELT STRESS

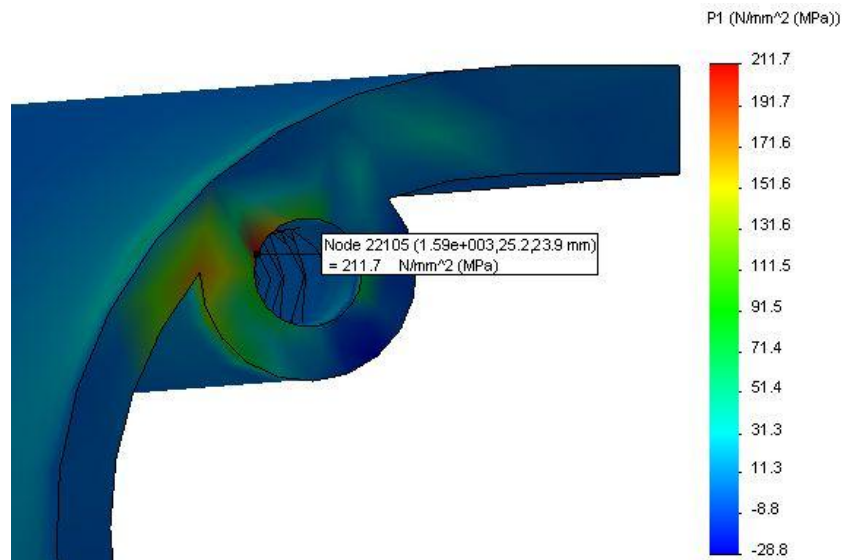
På hvert element eller punkt i en stresset kropp er det minst tre planer, kalt prinsipielle planer. I vårt tilfelle var de prinsipielle planene XY, XZ og YZ planet. Normal stress som står vinkelrett på disse planene kalles prinsipielt stress. Se Figur 06.14 for illustrasjon over dette.



FIGUR 06.14 - PRINSIPIELT STRESS

Det var viktig for oss å finne ut maksimal prinsipielt stress i punkter som er mest kritisk under maksimal belastning. I vårt tilfelle var dette området der bommene blir festet til veven. Maksimal prinsipielt stress vil være 211,7 MPa. En illustrasjon over dette er gitt i Figur 06.15.



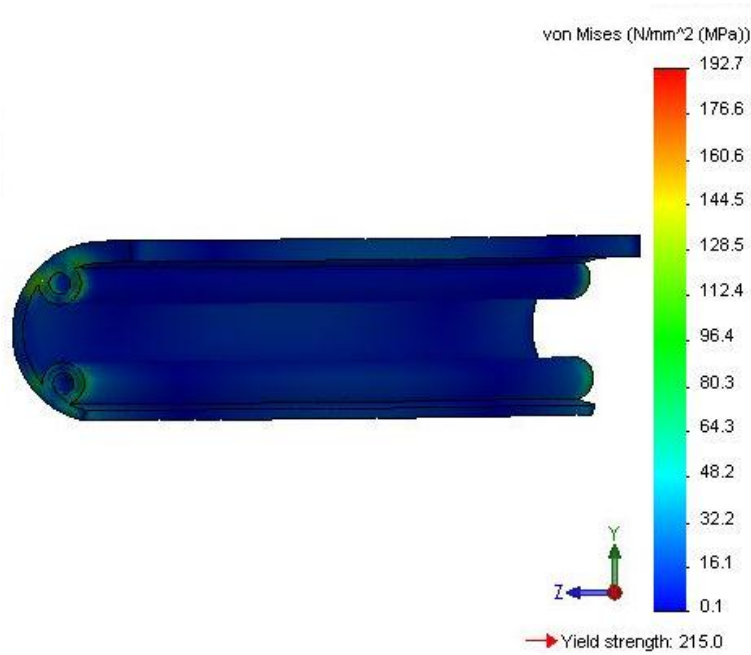


FIGUR 06.15 - MAKSIMAL PRINSIPELT STRESS

Dette resultatet regnes som kritisk ettersom flytegrensen til materialet er 215 MPa. Dette innebærer med andre ord at en påkjenning på 211,7 MPa. er 3,3 MPa fra å gjøre bommen varig deformert. I industrien vil ikke bommen regnes robust dersom konstruksjonen har en sikkerhetsfaktor på 2 [2], men merk at testene er statiske. Dette innebærer at det ikke vil være likt i virkeligheten. TC-2 blir ikke utsatt for en statisk påkjenning når den er i drift. Kraftene vil stadig endre seg. Påkjenningene er dynamiske, og påfører ikke så stor kraft at den resulterer i varig deformasjon i bommen.

#### VON MISES-STRESS

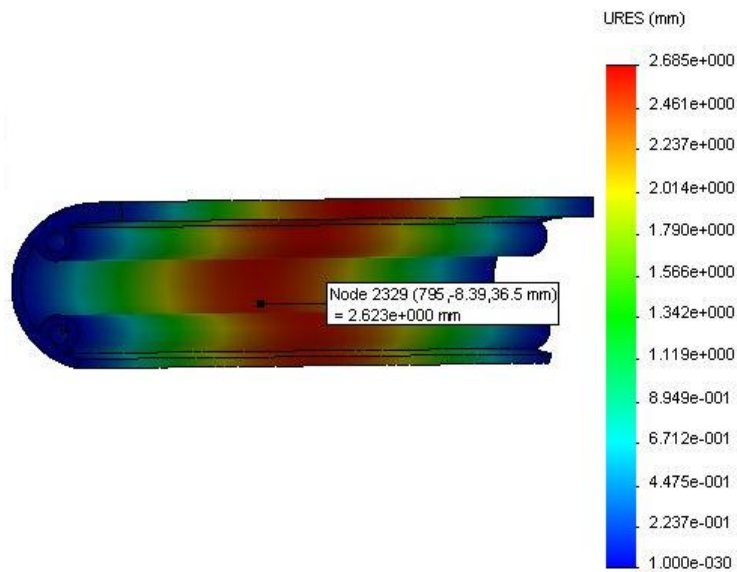
Materialer er generelt testet ved å strekke et stykke metall for å definere egenskapene til materialet. Mens bommene har mer kompliserte spenninger når maskinen er i drift enn bare en en-akset spenning. Med von Mises-stress kan vi sammenligne de kompliserte spenningene i bommen med de enkle verdier (enaksede spenning) som er nevnt i datablader [2]. Resultatene av FEM analysen viser at maksimal von Mises-stress er 192,7 MPa. Dette er illustrert i Figur 06.16.



FIGUR 06.16 - MAKSIMAL VON MISES-STRESS

FORSKYVNINGSTEST

Denne testen ble utført ved å benytte analyseverktøyet FEM analyse, og ved å utsette bakbommen under maksimal belastning. Resultatene viser oss hvor i bommen maksimal tøyning skjer. Resultant Displacement i dialogboksen viser oss at den maksimale tøyningen kommer på 2,6 mm (se Figur 06.17). Denne testen var avgjørende for oss når det gjaldt plassering av strekkklapper.



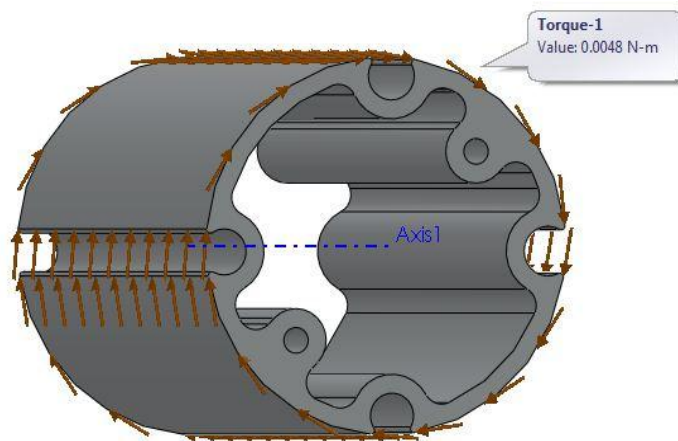
FIGUR 06.17 - FORSKYVNINGSTEST

### 6.4.3 - RESULTATER FRA TESTING AV VAREBOM OG RENNINGSBOM

Her vises resultatene fra testingen av varebommen og renningsbommen etter at de er påført maksimal belastning. Resultatene viser at geometrien til bommene vi har kommet frem til i løsningen vår er optimalt for maksimal belastning og lavest mulig vekt.

Varebom og renningsbom vil bli styrt med BLDC motor, det vil si at hastigheten er proporsjonal med spenning, samt at momentet er proporsjonalt med strømmen. For å finne ut momentet i de overnevnte bommene har vi regnet ut hvordan elektrisk moment blir omgjort til mekanisk. Ut fra beregningene som er vist i designkapittelet har vi funnet ut at momentet i varebommen vil være 0,0048 [Nm] ved maksimal stramning.

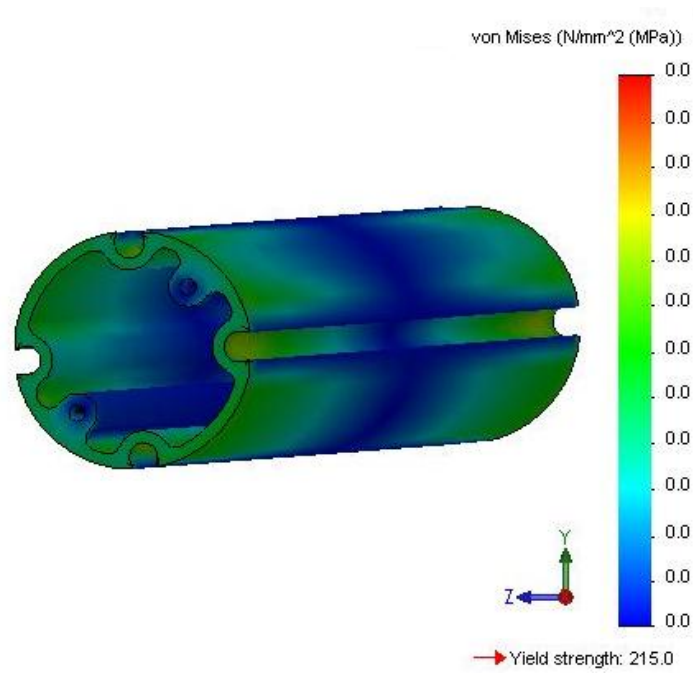
Retningen til momentet er vist i Figur 06.18. Denne verdien er ikke så stor at den påvirker bommene i stor grad. For å bevise dette har vi testet bommene i FEM analyse og vi har fått følgende resultater:



FIGUR 06.18 - MOMENT RUNDT VAREBOM OG RENNINGSBOM

### VON MISES STRESSTEST I VAREBOM OG RENNINGSBOM

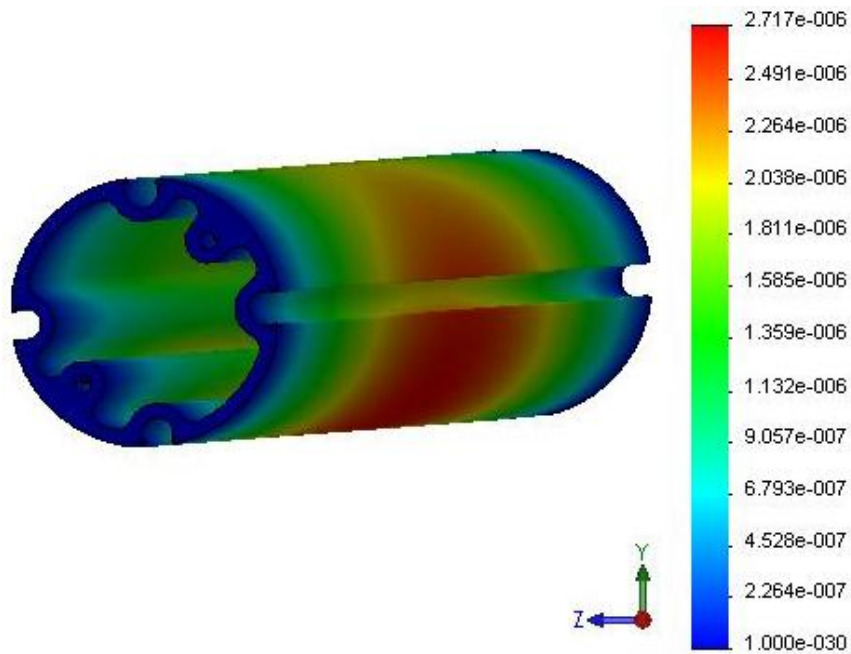
Figur 06.19 viser at momentet i bommene ikke vil resultere i noen stress i bommene. Påkjeningen er for liten noe som fører til at de blir registrert som en nullverdi over hele bommen.



FIGUR 06.19 - STRESS I VAREBOM OG RENNINGSBOM VED MAKS STRAMNING

FORSKYVNINGSTEST I VAREBOM OG RENNINGSBOM

Figur 06.20 viser at maksimal tøyning i varebom og renningsbom ved maksimal stramning er 2.717e-006 mm. Denne verdien er så liten at den ikke påvirker reguleringsystemet for stramning av renningen.



FIGUR 06.20 - FORSKYVNINGSTEST PÅ VAREBOM

## KAPITTEL 7

### KONKLUSJON

Ut i fra oppgavebeskrivelsen så har prosjektgruppen utarbeidet løsninger for de fire delene av oppgaven. I den mekaniske delen har vi kommet frem til løsninger som teoretisk tilfredsstillende de kravene som oppdragsgiver har kommet med. De endelige løsningsdesignene våre var en c-formet bom som brystbom og bakbom, og en helhetlig, hul bom for varebommen og renningsbommen. Denne c-formede bommen er designet slik at den tolererer maksimum belastning fra TC, som tilsvarer stramming fra 32 moduler. Dette for at den ikke skal bli plastisk deformert ved maksimal stramming. Vare- og renningsbommen er konstruert etter en bestemt ytre geometri. Geometrien har også blitt tilpasset rundt krav om posisjonering av rom for innfestning av to skruer. Vi endte opp med en profil som kan ekstruderes som ett stykke, uten behov for fresing eller ettermaskinering.

Strekkappløsningen består av en Wheatstone-kobling, som består av fire måleelementer. Denne brokoblingen gir best mulig utslag av de alternativene vi har underøkt. Ut i fra den strekkapptypen vi endte opp med, som var to strekkelementer i en lapp, normalt på hverandre, ser vi at denne kan bli erstattet med en helbrokobling i en klistrelapp, som for eksempel VY43 [13]. Dette er de erfaringene vi har opplevd i forbindelse med testtriggen vi har jobbet med. Bakbommen til TC-2 har her en rett rygg og ikke buet flate, men dette skal etter vår mening ikke spille en stor rolle hvis man kalibrerer broen riktig.

Signalet som kom fra strekkappene var veldig lite, slik at vi forsterket det opp ved hjelp av en forsterkerkrets. Vi brukte en operasjonsforsterker med en ikke-inverterende oppkobling.

I henhold til hva prosjektoppgaven sier angående algoritmedelen, har vi utarbeidet et system som utfører store deler av målsetningene vi hadde. Resultatet var at mastermikrokontrolleren registrerer utslaget fra strekkappene ved hjelp av innebygd ADC. Videre vurderer masteren hva som skal gjøres rent spesifikt, og sender kommandoer angående hastighet, retning og antall rotasjoner til slavene over I<sup>2</sup>C-grensesnittet. Dessverre kom vi ikke helt i mål med implementeringen av algoritmen til slavemikrokontrollerne. Derfor, for å verifisere at vi fikk I<sup>2</sup>C-grensesnittet til å fungere, utviklet vi en testkode for å se at vi fikk avlest en verdi på ADC-en. Masteren behandler

verdien og sender en kommando til slaven. Denne verdien ble vist på LED-ene på begge utviklingskortene for å sjekke at de var identiske.

Resultatet av arbeidet med motorkontrolleren, er at vi har kommet frem til en teoretisk løsning på hvordan elektronikken for motorstyringen skal inneholde av nødvendige komponenter for å kunne utføre de essensielle operasjonene som kreves, som rotasjon i begge retninger og hastighetsstyring.

Siden vi ikke kom i mål med alle punktene i oppgavebeskrivelse, så ser vi det mest hensiktsmessig og kort ta for seg videre arbeid for ferdigstilling av systemet.

Videre arbeid som må gjøres er implementering av algoritmedelen for slavemikrokontrolleren, som tar for seg styring og kommutering av den 3-fase BLDC motoren i samsvar med løsningsforslaget vi har utformet. Videre må utlegget for motorkontrolleren ferdigstilles. Dette utlegget kan, med fordel, baseres på skjematikken prosjektgruppen har utviklet.

Generelt var prosjektoppgaven svært lærerik for alle prosjektmedlemmene, uansett studieretning. Vi har opparbeidet kunnskaper på flere forskjellige fagområder, noe vi ser på som svært positivt for fremtiden.

## REFERANSER

- [1] Kalpakjian, S. & Schmid, S.R., *Manufacturing Engineering and Technologies*, Prentice Hall, 2010, s.362-363.
- [2] Hibbeler, R.C., *Statics and Mechanics of Materials*, Prentice Hall, 2004, s.20,176,374,547-549,606.
- [3] Rud Mekanikk AS, <http://www.rudmekanikk.no/produkter.htm> (sist besøkt 29.04.11).
- [4] 4x4rc, *Socket Cap Screw M2x6mm*, [http://www.4x4rc.no/socket\\_cap\\_screw\\_m2x6mm\\_10\\_stk/P\\_371](http://www.4x4rc.no/socket_cap_screw_m2x6mm_10_stk/P_371) (sist besøk 16.02.11).
- [5] Vollen, Ø., *Statistikk og fasthetslære*, NKI Forlaget, 2007, s.242-250.
- [6] Aerospace Specification Metals, *Aluminium 606-T6*, <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA6063T6> (sist besøkt: 22.05.11).
- [7] John Chiasson, *Modeling and High-Performance Control of Electric Machines*, 2005, s.20, 21
- [8] Farnell, *Farnell Norge*, <http://no.farnell.com> (sist besøkt 16.02.11).
- [9] HBM, *HBM Norge*, <http://hbm.no> (sist besøkt 16.02.11).
- [10] Mouser, *Mouser Norge*, <http://no.mouser.com/Home.aspx> (sist besøkt 16.02.11).
- [11] Bolton, W., *Mechatronics 4<sup>th</sup> edition*, Pearson Education Ltd, 2008, s.30-31,42,63-71,76-81.
- [12] HBM, *Y Series Strain Gages*, [http://disensors.com/downloads/products/Y%20Series%20Strain%20Gauges\\_333.pdf](http://disensors.com/downloads/products/Y%20Series%20Strain%20Gauges_333.pdf) (sist besøkt 29.05.11).
- [13] HBM, *V Strain Gages*, [http://disensors.com/downloads/products/Y%20Series%20Strain%20Gauges\\_332.pdf](http://disensors.com/downloads/products/Y%20Series%20Strain%20Gauges_332.pdf) (sist besøkt 29.05.11).
- [14] Thakkar J, Jawher R, Lie L, Iqbal B, *Kravspesifikasjon*.
- [15] Atmel, *ATtiny 861 Summary*, [http://atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/7753S.pdf](http://atmel.com/dyn/resources/prod_documents/7753S.pdf) (sist besøkt 29.05.11).
- [16] Atmel, *ATMega Paramteric Table*, [http://atmel.com/dyn/products/param\\_table\\_excel.asp?category\\_id=163&family\\_id=607&subfamily\\_id=760](http://atmel.com/dyn/products/param_table_excel.asp?category_id=163&family_id=607&subfamily_id=760) (sist besøkt 13.02.11)
- [17] Atmel, *ATMega16A*, [http://atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc8154.pdf](http://atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8154.pdf) (sist besøkt 01.05.11).
- [18] Atmel, *STK600*, [http://atmel.com/dyn/products/tools\\_card.asp?tool\\_id=4254](http://atmel.com/dyn/products/tools_card.asp?tool_id=4254) (sist besøkt: 13.02.11).

- [19] Busck, *Vinkelgir*, [http://busck.se/ovrigt/Busck\\_snackvaxel\\_2010.pdf](http://busck.se/ovrigt/Busck_snackvaxel_2010.pdf) (sist besøkt 01.03.11).
- [20] Atmel, *AVR496: Brushless DC Motor Control using ATtiny861*, [http://atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc7827.pdf](http://atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc7827.pdf) (sist besøkt 21.05.11)
- [21] Atmel, *AVR315: Using TWI module as I2C master*, [http://atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc2564.pdf](http://atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2564.pdf) (sist besøkt 01.03.11).
- [22] Atmel, *AVR311: Using the USI module as a I<sup>2</sup>C slave*, [http://atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc2560.pdf](http://atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2560.pdf) (sist besøkt: 18.05.11).
- [23] Atmel, *AVR496: Brushless DC Motor using ATtiny861*, [http://atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc7827.pdf](http://atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc7827.pdf) (sist besøkt 17.03.11).
- [24] Atmel, *AVR469: MC301 Hardware User Guide*, [http://atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc8195.pdf](http://atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8195.pdf) (sist besøkt 01.03.11).
- [25] Atmel, *AVR430: MC300 Hardware User Guide*, [http://atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc8124.pdf](http://atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8124.pdf) (sist besøkt 01.03.11).
- [26] Vishay, *Standard Thick Film Clip Resistor*, <http://vishay.com/docs/20035/dcrcwe3.pdf> (sist besøkt 17.03.11).
- [27] Vishay, *Low Value Resistor*, <http://www.vishay.com/docs/30100/wsl.pdf> (sist besøkt 17.03.11).
- [28] IRF, *High and Low Side Driver*, <http://www.irf.com/product-info/data-sheets/data/ir2101.pdf> (sist besøkt 17.03.11).
- [29] IRF, *HEXFET Power MOSFET*, <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irfr3504pbf.pdf> (sist besøkt 17.03.11).
- [30] STMicroelectronics, *Bipolar Transient Supression Diode*, [http://st.com/Internet/com/TECHNICAL\\_RESOURCES/TECHNICAL\\_LITERATURE/DATASHEET/CD00000725.pdf](http://st.com/Internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/CD00000725.pdf) (sist besøkt 17.03.11).
- [31] Vishay, *Schottky Rectifier*, <http://www.vishay.com/docs/94119/10mq100n.pdf> (sist besøkt 17.03.11).
- [32] National Semiconductor, *3-Terminal Adjustable Regulator*, <http://national.com/ds/LM/LM117.pdf> (sist besøkt 10.05.11).
- [33] Floyd, T.L, *Electronic Devices – Conventional Current Version*, Prentice Hall, 2008, s.864-866.
- [34] Prosjektgruppe 2011-10, *Skjev Aksel (Video)*, <http://youtube.com/watch?v=vw6IBwVfHzE> (sist besøkt: 22.05.11)
- [35] Prosjektgruppe 2011-10, *Testing av strekkklapper (Video)*, <http://www.youtube.com/watch?v=bF5gSC3kqSs> (sist besøkt: 22.05.11)
- [36] Prosjektgruppe 2011-10, *Testing av I<sup>2</sup>C-Buss (Video)*, <http://www.youtube.com/watch?v=IGft9wx20aU> (sist besøkt: 22.05.11).



## VEDLEGG

VEDLEGG 1 – VAREBOM & RENNINGSBOM, FRONT & ISOMETRIC

VEDLEGG 2 – VAREBOM & RENNINGSBOM, LEFT

VEDLEGG 3 – BRYSTBOM & VAREBOM, BACK & ISOMETRIC

VEDLEGG 4 – BRYSTBOM & VAREBOM, LEFT

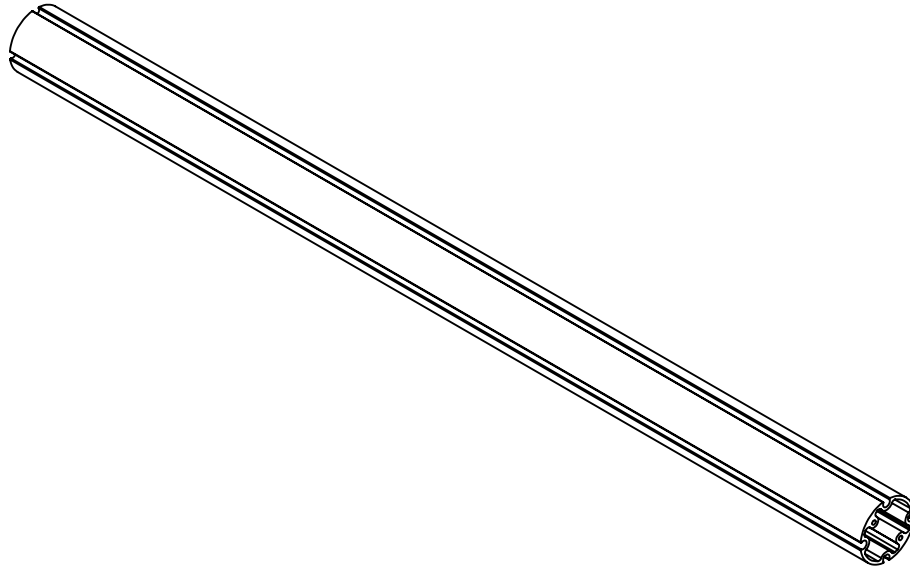
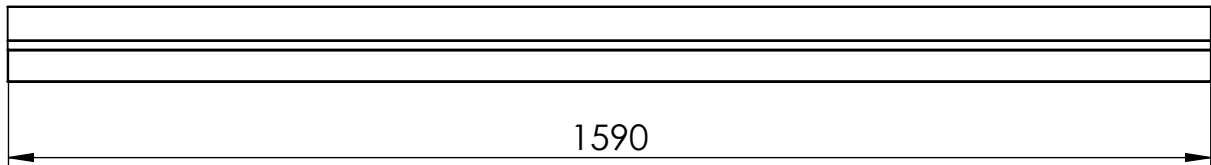
VEDLEGG 5 – SKJEMATEGNING, MOTORKONTROLLER

VEDLEGG 6 – KOMPONENTLISTE, MOTORKONTROLLER

VEDLEGG 7 – ALGORITME (VEDLAGT PÅ CD)

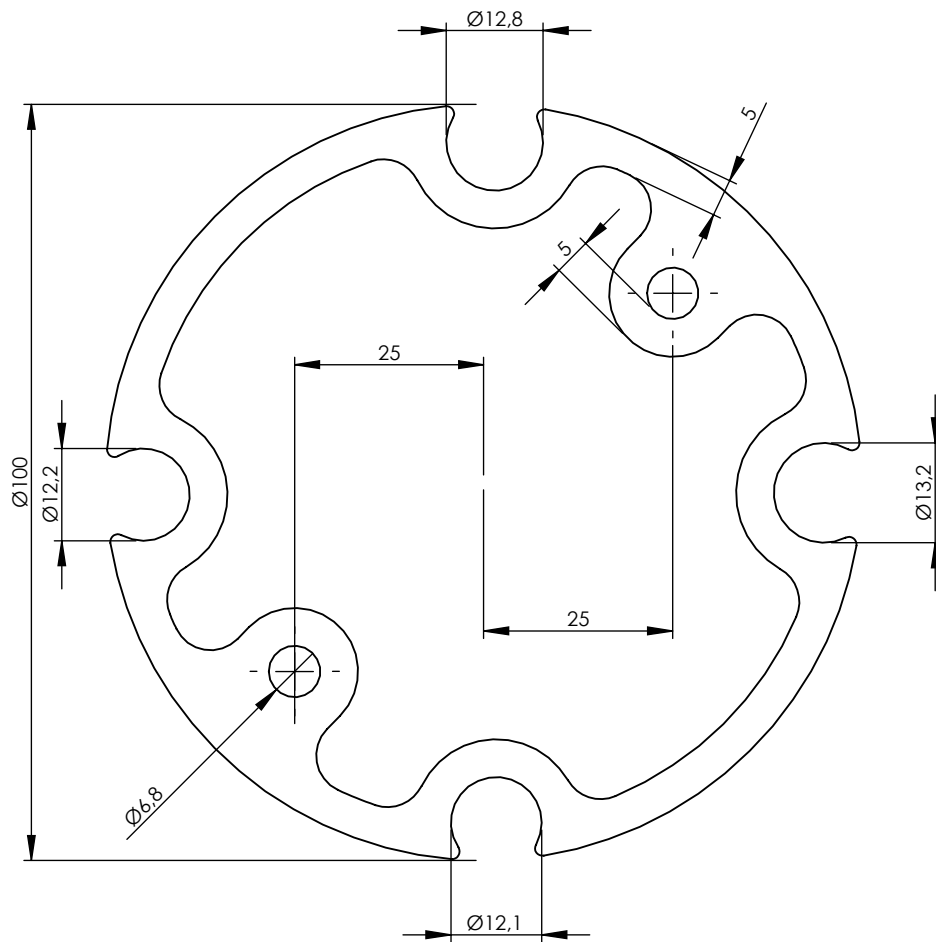
VEDLEGG 8 – SOLIDWORKS-FILER (VEDLAGT PÅ CD)

VEDLEGG 9 – ORCAD-FILER (VEDLAGT PÅ CD)



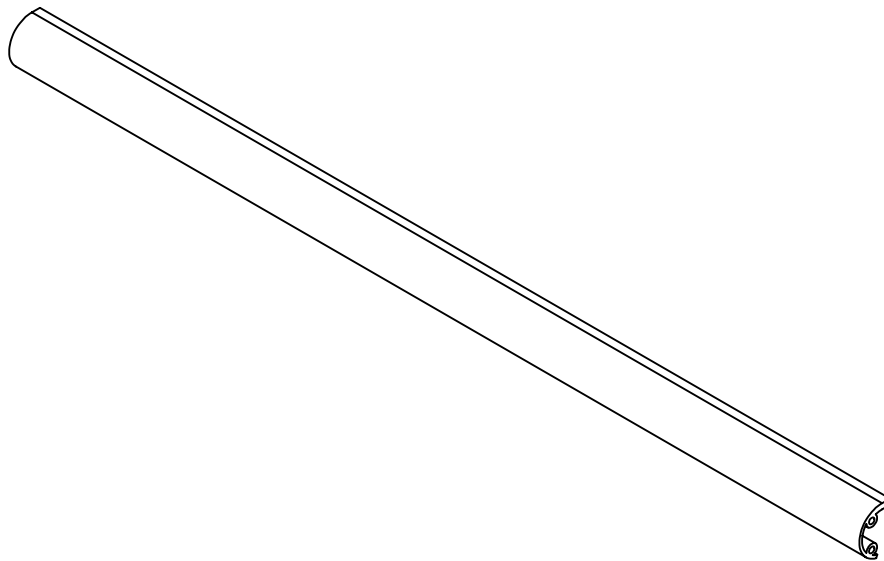
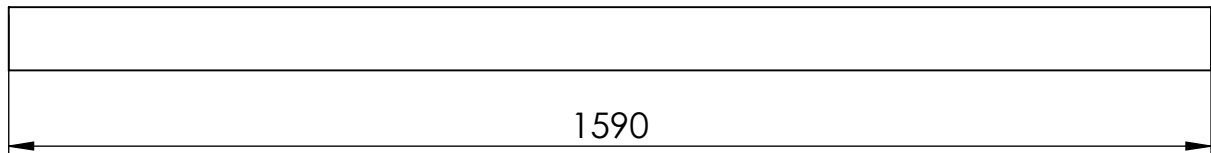
<b>DRAWN</b>	<b><i>POINTechnologies</i></b>
<b>DATE</b>	20.05.11
<b>TITLE</b>	Varebom & Renningsbom
<b>VIEW</b>	Front & Isometric
<b>DWG.NO</b>	001
<b>SCALE</b>	1:10
<b>MATERIAL</b>	Aluminum 6063 -T6
<b>WEIGHT</b>	9941,55 g

**SolidWorks Student Edition.  
For Academic Use Only.**



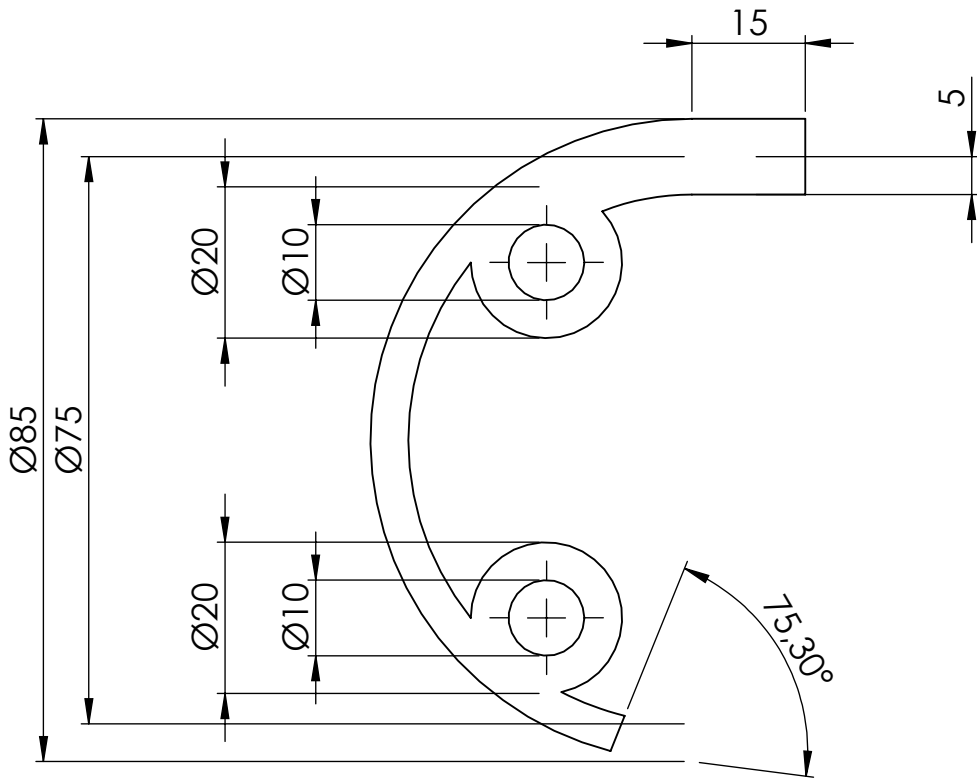
<b>DRAWN</b>	<b><i>POINT</i>Technologies</b>
<b>DATE</b>	20.05.11
<b>TITLE</b>	Varebom & Renningsbom
<b>VIEW</b>	Left
<b>DWG.NO</b>	002
<b>SCALE</b>	1:1
<b>MATERIAL</b>	Aluminum 6063 -T6
<b>WEIGHT</b>	9941,55 g

**SolidWorks Student Edition.  
For Academic Use Only.**



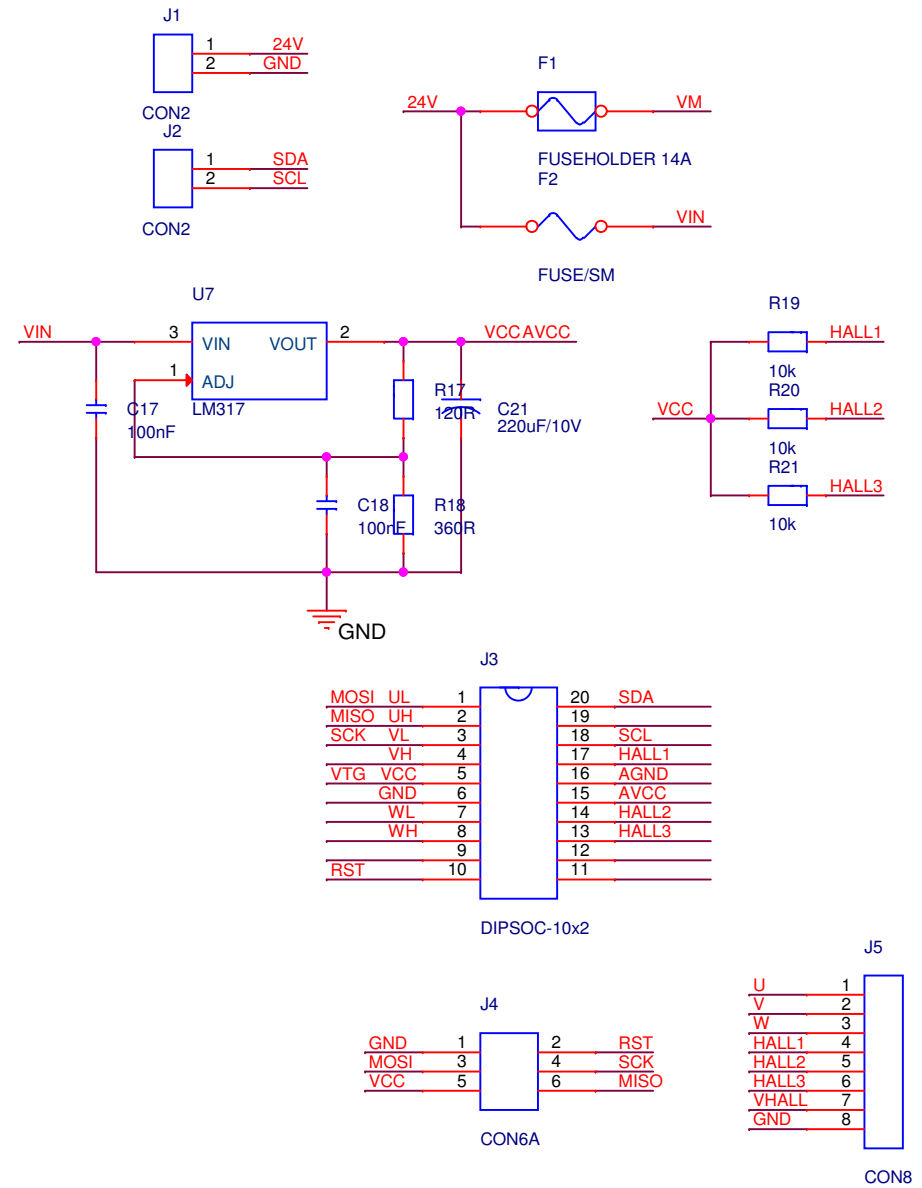
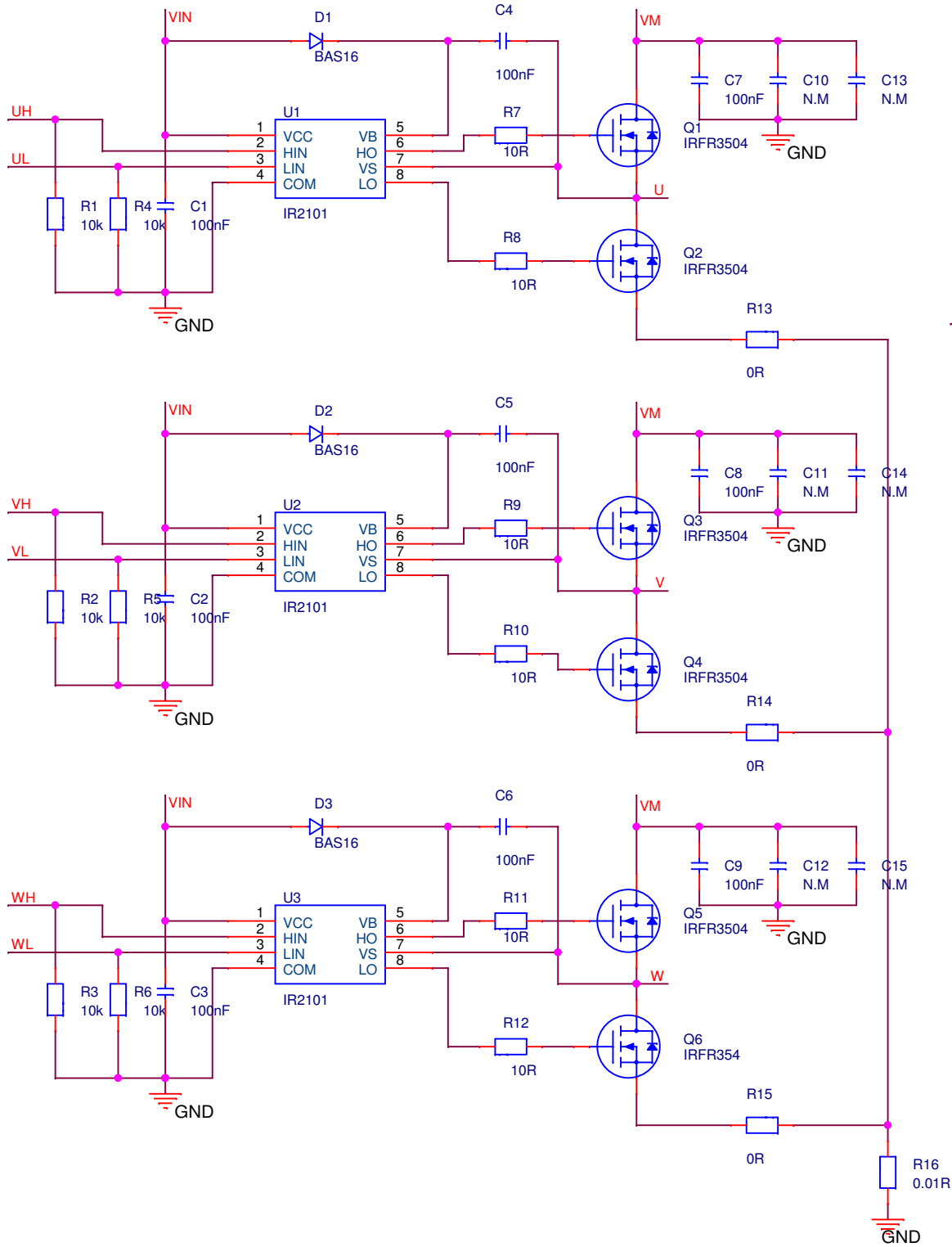
<b>DRAWN</b>	<b><i>POINT</i>Technologies</b>
<b>DATE</b>	20.05.11
<b>TITLE</b>	Brystbom & Bakbom
<b>VIEW</b>	Back & Isometric
<b>DWG.NO</b>	003
<b>SCALE</b>	1:10
<b>MATERIAL</b>	Aluminum 6063 -T6
<b>WEIGHT</b>	5198,16 g

**SolidWorks Student Edition.  
For Academic Use Only.**



<b>DRAWN</b>	<b><i>POINT</i>Technologies</b>
<b>DATE</b>	20.05.11
<b>TITLE</b>	Brystbom & Bakbom
<b>VIEW</b>	Left
<b>DWG.NO</b>	004
<b>SCALE</b>	1:1
<b>MATERIAL</b>	Aluminum 6063 -T6
<b>WEIGHHT</b>	5198,16 g

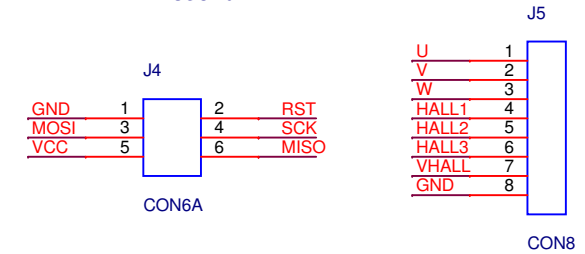
**SolidWorks Student Edition.  
For Academic Use Only.**



J3


MOSI	UL	1	20	SDA
MISO	UH	2	19	
SCK	VL	3	18	SCL
	VH	4	17	HALL1
VTG	VCC	5	16	AGND
	GND	6	15	AVCC
	WL	7	14	HALL2
	WH	8	13	HALL3
		9	12	
RST		10	11	

DIPSOC-10x2



**POINTechnologies**

Prosjektgruppe 2011-10  
Frogsvei 41  
3611 Kongsberg




---

Title: **Motorcontroller**

Size: A4	Document Number: <Doc>	Rev: LTL
----------	------------------------	----------

Date: 28May11      Sheet 1 of 1

## KOMPONENTLISTE

### MOTORKONTROLLER

Tabellene under tar for seg de komponentene som prosjektgruppe 2011-10 mener vi trenger for å konstruere en fungerende motorkontrollerkrets.

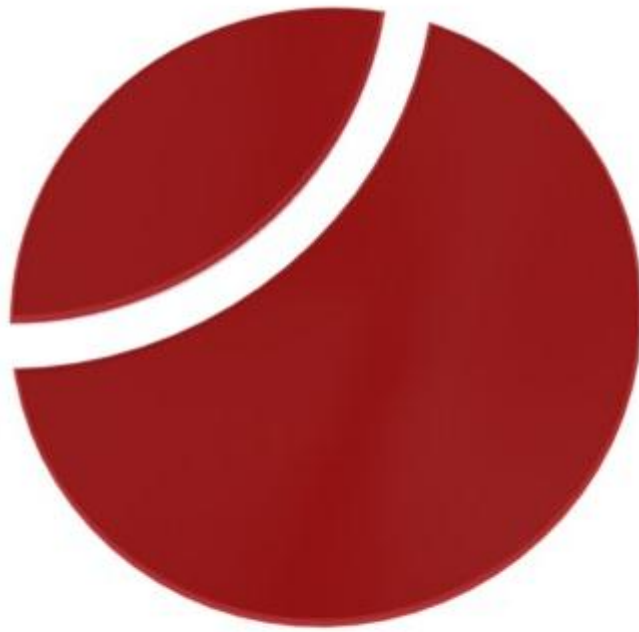
Produktinformasjonen er hentet fra [www.elfaelektronikk.no](http://www.elfaelektronikk.no).

Antall komponenter er for 2 motorkontrollkretser.

Antall	Beskrivelse	Artikkelnr.	Pris per stk.
12	Metallfilmsmotstand SMD 10kΩ ±1% 1206, D25/CRCW1206	60-547-32	1 - 99: 0,419
12	Metallfilmsmotstand SMD 10Ω ±1% 1206, D25/CRCW1206	60-546-96	1 -99: 0,419
6	Bridge SO-8, IR2101SPBF	73-222-68	1 - 24: 35,40
12	MOSFET D-PAK N 40V 54A, IRFR 3504ZPBF	71-385-48	1 - 49: 18,60
18	Keramisk kondensator SMD 100nF 50VDC 1206, C1206C104K5RAC	65-724-45	1 - 99: 0,50
6	Diode SOT-323 85V, BAS 16W	70-304-70	1 - 49: 1,11
2	Kretskort, epoxi, LAM 100x160 DS FOTO, 105/105 (Positiv fotoresist)	49-583-51	1 - 49: 65,60
2	Tilbakestillbar polymersikring SMD 6V 0,75A, 1206LO35YR	33-240-10	1 - 49: 4,78
2	Åpen sikringsholder 5x20mm	33-179-20	1 - 49: 6,84
2	Rørsikring 5x20mm 15A	33-168-66	1 - 49: 3,13
4	Koblingsplint for kretskort, 10 pol, 14A	48-410-12	1 - 9: 38,30
2	Elektrolyttkondensator SMD 0,1uF 50VDC, ELV0R1M50RA-RHOS	67-309-84	1 - 29: 4,61

2	Elektrolyttkondensator SMD 47uF 50VDC, NACZ470M50V6.3X8	67-041-84	1 - 9; 1,98
2	Spenningsregulator, LM317, SOT-223, LM317EMP/NOPB	73-285-21	1 - 9; 13,90
2	Metallfilmsmotstand, SMD 120Ω, 1206, D25/CRCW1206	60-547-09	1 - 99; 0,419
2	Metallfilmsmotstand SMD 360Ω, 1206, RK73H2BTDD3600F	60-193-84	1 - 99; 1,27
2	Pin header, 2x3P, 826632-3	43-717-12	1 - 49; 4,59





## *Thread Control System*

---

# **VISJONSDOKUMENT**

---

<b>VERSJON</b>	<b>DATO</b>	<b>BESKRIVELSE</b>
OD-01	25.10.10	Første offisielle dokument

<b>NAVN</b>	<b>SIGNATUR</b>
LARS THORVALD LIE	
JAPRIT SINGH THAKKAR	
BABAR IQBAL	
REBAZ JAWHER	

## DOKUMENTHISTORIE OG AKRONYMER

### DOKUMENTHISTORIE

VERSJON	DATO	ENDRINGER
0.0	20.10.10	Opprettet oppsett for dokument
0.1	24.10.10	Skrevet oppgavebeskrivelse, sett over grammatikk
1.0	25.10.11	Første offisielle dokument

### AKRONYMER

AKRONYM	
TE	Tronrud Engineering
BLDC	Børsteløs DC-motor
TC-1	Thread Controller 1
TC-2	Thread Controller 2

### **HENSIKTEN MED PROSJEKTET**

Hensikten med dette prosjektet er at deltakerne skal få et innblikk i hvordan det er å komme ut i arbeidslivet. I prosjektperioden skal gruppedeltakerne gå gjennom de forskjellige fasene, slik som konstruksjon, testing og dokumentasjon. Det er også et mål at prosjektgruppen blir vant til å jobbe i samarbeid med eksterne aktører som oppdragsgiver, kunder og grossister.

Hovedprosjektet vil kreve at studentene selv skal kunne organisere og gjennomføre et utviklingsprosjekt. Dette betyr at de selv må danne kunnskaper om prosjektorganisering, styre prosjektet innenfor gitte rammer og på egenhånd styre det administrative arbeidet.

### **BAKGRUNN FOR OPPGAVEN**

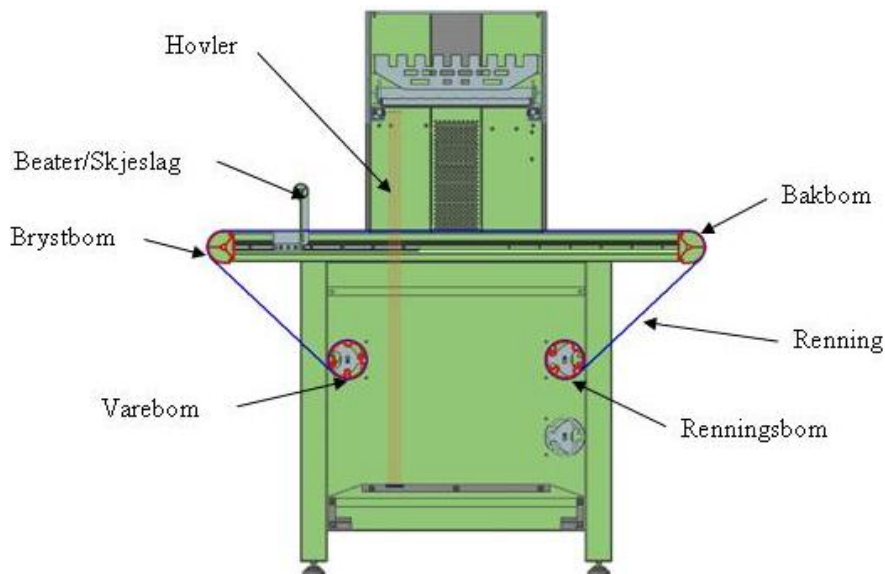
For å få en forståelse av hvordan TC-2 fungerer, tar vi kort med en beskrivelse av den opprinnelige TC. TC-1 er en digital vevemaskin utviklet av TE. Man sender et bilde fra PC-en til veven i bitmønstre. Bitmønstrene blir sendt til forskjellige moduler/blokker på veven. Modulene løfter deretter trådene i samsvar med bitmønsteret. Dette danner igjen det samme bildet som ble sendt fra PC-en.

Veven er modulbasert, noe som vil si at den kan konstrueres i forskjellige dybder og bredder. Bredden på veven bestemmer bredden på stoffet, og dybden på veven bestemmer hvor høy oppløsning veven har. Med oppløsning menes trådtettheten til stoffet. oppløsningen/trådtettheten på stoffet.

### **OPPGAVEBESKRIVELSE**

TE holder nå på med en videreutvikling av TC-1, kalt TC-2. I den forbindelse har prosjektgruppen fått tildelt en oppgave som er knyttet til konstruksjon av et strammesystem for renningstrådene til TC-2. Ettersom prosjektgruppen også består av en maskinstudent, har vi også fått i oppgave å designe bommene til veven.

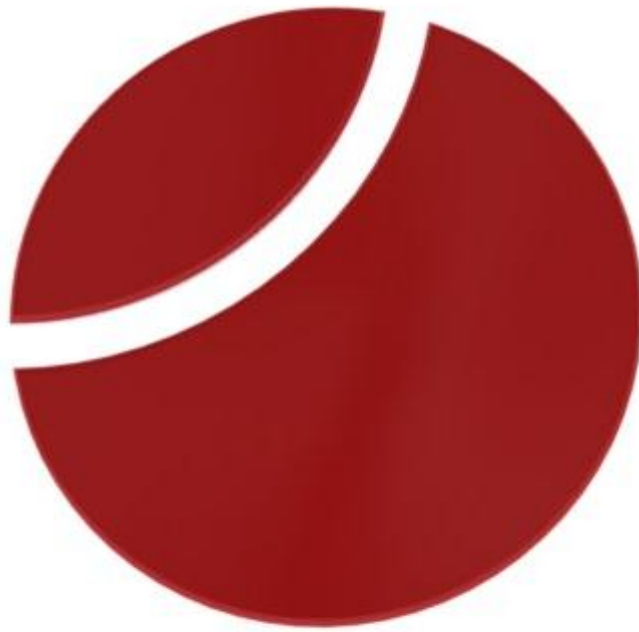
I figur 01 kan man få et bedre bilde av de komponentene samt det opprinnelige systemet prosjektgruppen skal jobbe ut i fra.



FIGUR 01 – TC-2

Oppgavebeskrivelsen som TE har kommet med kan kort beskrives i de fire punktene under:

1. Finn optimal geometri og materialbruk i alle de fire bommene for maksimal stivhet og lavest mulig vekt. Krav til maksimal utbøyning vil bli gitt. Ytre geometri for varebom og renningsbom er definert. Øvrige geometrivalg er en del av oppgaven.
2. Undersøk mulighetene for å implementere strekkklapper i de ikke-roterende bommene. Dette for å kunne detektere strekket/stramming av renningen og videre ut fra dette beregne strammingen på renningen. Foreslå egnet type strekkklapp til TC-2, samt plassering av strekkklappen på veven og oppkobling mot styringssystemet.
3. Utvikle en algoritme for stramming av renningen. Starten av stramming skjer alltid ved et gitt signal. Implementer algoritmen på en mikrokontroller for regulering av strammingen i renningen. Test algoritmen på en fysisk prototype (levert av TE) som styrer motorene til bommene basert på det målte strekket fra strekkklappene.
4. Konstruer elektronikken til en 3-fase børsteløs DC (BLDC) motorkontroller/driver og test denne. Studer hvordan en 3-fase BLDC motor fungerer og kan styres. Det skal utvikles et PCB som dekker de behov TC-2 har til motorstyring. BLDC-motor med datablad vil bli utdelt. Elektronikken kan designes med valgfri programvare. Motorkontroller/driver bør kunne fungere som en I<sup>2</sup>C slave som mottar kommandoer om hastighet, rotasjonsretning og andre styresignaler over I<sup>2</sup>C grensesnittet. Utfør enkle tester med den utviklede motorkontrolleren/driveren på prototypen levert av TE.



*Thread Control System*

---

## **FORSTUDIERAPPORT**

---

<b>VERSJON</b>	<b>DATO</b>	<b>ENDRINGER</b>
OD-03	04.01.11	Tredje offisielle dokument

<b>NAVN</b>	<b>SIGNATUR</b>
LARS THORVALD LIE	
JAPRIT SINGH THAKKAR	
BABAR IQBAL	
REBAZ JAWHER	

## INNHALDSFORTEGNELSE

DOKUMENTHISTORIE OG AKRONYMER	04
01 – INNLEDNING	05
02 – BAKGRUNN FOR PROSJEKTET	06
2.1 – Prosjektgruppen	06
2.2 – Oppdragsgiver	06
2.3 – Bakgrunn for oppgaven	06
2.4 – Prosjektets omfang	07
03 – PROSJEKTOPPGAVEN	08
3.1 – Del 1 av prosjektoppgaven	09
3.2 – Del 2 av prosjektoppgaven	09
3.3 – Del 3 av prosjektoppgaven	09
3.4 – Del 4 av prosjektoppgaven	09
04 – MÅL MED OPPGAVEN	10
4.1 – Effektmål	10
4.2 – Resultatmål	10
4.3 – Prosessmål	10
05 – KRITISKE SUKSESSFAKTORER	11
5.1 – Godkjenning av løsningsdesign	11
5.2 – Sette av tilstrekkelig tid/ressurser	11
5.3 – God kommunikasjon med oppdragsgiver/veiledere	12
5.4 – Godt samhold i gruppa	12
06 – RISIKO ANALYSE	13
6.1 – Datakrasj	13
6.2 – Mangel på komponenter/deler	13
6.3 – Oppdragsgiver trekker seg	14
6.4 – Mangel på kunnskap	14
6.5 – Sykdom	14
6.6 – Gruppemedlemmer krangler/dropper ut	14
07 – KOST OG NYTTE ANALYSE	15
7.1 – Kvantifiserbar og ikke-kvantifiserbar nytte	15
7.2 – Lage og gjennomføre tester for kvalitetssikre løsninger	15
7.3 – Mulighet for gjennomføring av prosjektet	15
08 – RETNINGSLINJER OG STANDARDER	16
8.1 – Krav til dokumentasjon	16
8.2 – Krav til standarder og metoder	16
09 – PROSJEKTORGANISERING	17
9.1 – Intern prosjektgruppe	17
9.2 – Referansegruppe	17
10 – PROSJEKTMODELL	18

## INNHOLDSFORTEGNELSE FOR TABELLER

Tabell 08.01 – Dokumentasjon	16
Tabell 09.01 – Prosjektorganisering	17
Tabell 09.02 – Referansegruppe	17
Tabell 11.01 – Fremdriftsplan	19

## INNHOLDSFORTEGNELSE FOR FIGURER

Figur 01.1 – Tronrud Engineerings lokaler på Eggemoen	06
Figur 03.1 – TC-2	08
Figur 10.1 – Prosjektmodell	18

## DOKUMENTHISTORIE OG AKRONYMER

### DOKUMENTHISTORIE

VERSJON	DATO	ENDRINGER
0.0	06.11.10	Sammensatt til et felles dokument
0.1	06.11.10	Lagt til introduksjon og prosjektmodell
0.2	12.11.10	Lagt til oppgavebeskrivelse
0.3	13.11.10	Lagt til fremdriftsplan
1.0	14.11.10	Første offisielle dokument
1.1	23.11.10	Endret formulering i 11.1 og informasjon tilknyttet 8.2
2.0	23.11.10	Andre offisielle dokument
2.1	02.01.10	Lagt til testansvarlig under kapittel 9. Endret tittel på designansvarlig til konstruksjonsansvarlig under 9.1 og 9.3. Endret beskrivelse på konstruksjonsansvarlig under 9.3.
2.2	03.01.11	Endret beskrivelser i 2.1, 9.3, 8.1. Fjernet 9.3 og 4.4 ettersom disse delene kommer i prosjektplanen. Rettet skrivefeil. Endret overskrift på kapitel 4. Oppdatert innholdsfortegnelse. Oppdatert fremdriftsplanen i kapitel 11. Rettet skrivefeil i 3.4 Rettet skrivefeil i 4.2 Endret feil i tabell 08.01.
3.0	04.01.11	Tredje offisielle dokument

### AKRONYMER

AKRONYM	
TC-1	Thread Controller 1
TC-2	Thread Controller 2
TE	Tronrud Engineering
DWN	Digital Weaving Norway (Datterselskapet til TE)
HiBu	Høgskolen i Buskerud
BLDC	Børsteløs DC motor



## KAPITTEL 1

### INNLEDNING

Dette dokumentet tar for seg forstudien Prosjektgruppe 2011-10 ved Høgskolen i Buskerud, avdeling Kongsberg.

Formålet er å skaffe oss en grov oversikt over hva problemområdet er, hva målene i prosjektet er, risikoelementer som kan dukke opp underveis og retningslinjer for gruppa.

Noen av temaene som blir tatt opp er beskrivelse av selve oppgaven vi skal jobbe med, en tidsplan, eller Gantt-plan, over hva som kommer til skje fremover. Vi skal også komme inn på hvilke faktorer og risikoer som kan påvirke prosjektarbeidet.

Etter å ha lest denne forstudien skal både prosjektgruppa, intern veileder og oppdragsgiver være samstemte om hva prosjektet går ut på, og også hva som kommer til å skje videre i prosjektperioden.

## KAPITTEL 2

### BAKGRUNN FOR PROSJEKTET

#### 2.1 - PROSJEKTGRUPPEN

Denne prosjektgruppen ble dannet på grunnlag av hovedoppgaven som skal avslutte den 3-årige bachelor utdanningen ved Høgskolen i Buskerud. Gruppen består av totalt fire studenter som spesialisere seg innenfor mekatronikk, kybernetikk og produktutvikling.

#### 2.2 - OPPDRAGSGIVER

Vår oppdragsgiver for prosjektoppgaven er Tronrud Engineering. Denne bedriften ble grunnlagt i 1977 av Ola Tronrud, og holder til på Eggemoen i Ringerike kommune.



FIGUR 1.1 – TRONRUD ENGINEERINGS LOKALER PÅ EGGEMOEN

Bedriften er en leverandør av spesialmaskiner til industrien innenlands og utenlands. Visjonen deres er å være en fremtidsrettet og markedsledende teknologibedrift. Deres visjon gjenspeiles i mottoet: "Vi gjør ideen til virkelighet".

#### 2.3 – BAKGRUNN FOR OPPGAVEN

Digital Weaving Norway som er et datterselskap av TE, utviklet på 1990-tallet et dynamisk designsystem som kunne benyttes av vevere. Dette designsystemet fikk navnet Thread Controller 1 (TC-1), og blir i dag benyttet av vevere i forskjellige verdensdeler. Denne vevemaskinen skal etter planen videreutvikles til en nyere versjon som har fått navnet TC-2. Det er her vår prosjektgruppe kommer inn i bildet.

Oppdragsgiveren ønsker at prosjektgruppen skal være med på å videreutvikle, samt modernisere komponenter som kan benyttes til TC-2.

## **2.4 – PROSJEKTETS OMFANG**

Det forventes at hver student bruker omtrent 650 timer på dette prosjektet. Dette tilsvarer totalt 2600 timer for alle gruppemedlemmene, som skal brukes på oppgaveløsning og dokumentering.

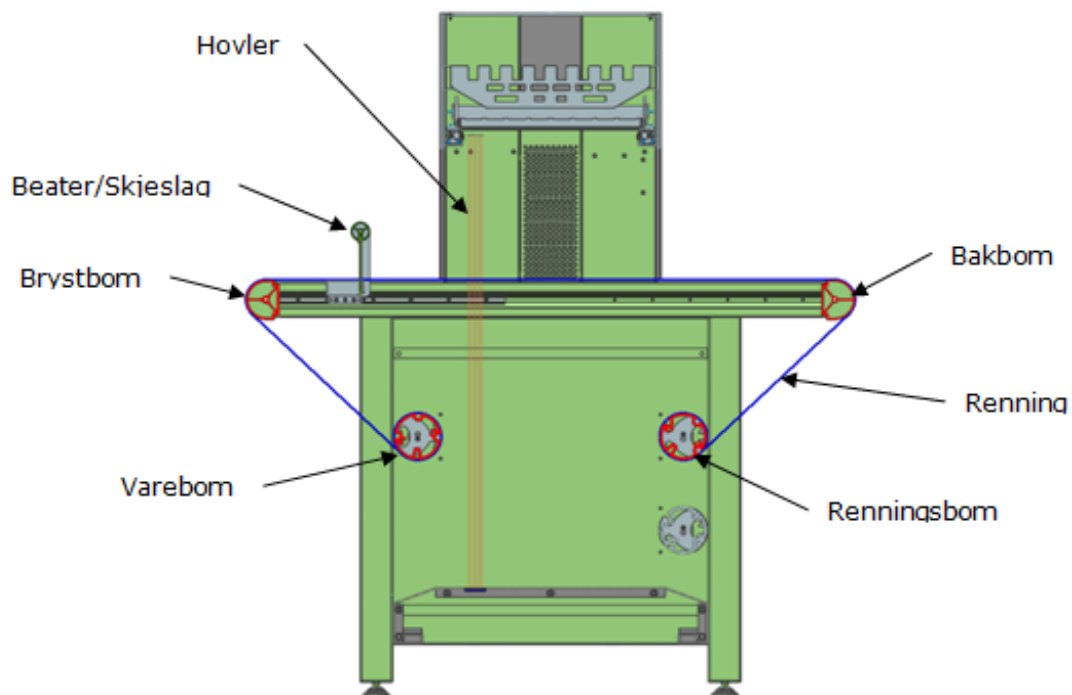
Prosjektet veiledes av Sigmund Gudvangen som er 1 amanuensis ved Høgskolen i Buskerud. Bjørn Liene Gundersen fra TE er både ekstern sensor og veileder. Intern sensor fra HiBu er Olaf Hallan Graven.

## KAPITTEL 3

### PROSJEKTOPPGAVEN

Prosjektoppgaven vi har fått tidelt av TE omhandler design av mekanikk og elektronikk for TC-2. Oppgaven kan deles inn fire deler hvor en av delene omhandler mekanikk, mens de resterende delene omhandler elektronikk.

Før vi beskriver de forskjellige delene av oppgaven, så er det viktig å få på plass noen faglige uttrykk tilknyttet TC-2. I figuren nedenfor ser man en illustrasjon utarbeidet av TE, som skal illustrere slik man forventer at TC-2 vil se ut når den er ferdigprodusert. Man ser de forskjellige delene av veven og hvilke navn de forskjellige delene har. Disse beskrivelsene er nyttige for å få en helhetlig forståelse for oppgaven.



FIGUR 03.01 – TC-2

#### 3.1 – DEL 1 AV PROSJEKTOPPGAVEN

Den første delen av oppgaven er knyttet til mekanikk og går ut på å finne den optimale geometrien og materialbruken i alle de fire bommene, for maksimal stivhet og lavest mulig vekt.

### **3.2 – DEL 2 AV PROSJEKTOPPGAVEN**

Oppdragsgiveren ønsker at vi videre skal undersøke mulighetene for å implementere strekkklapper i de ikke-roterende bommene, slik at vi kan detektere stramming av renningen. Videre skal strammingen på renningen beregnes ved bruk av strekkklappene. Det er også ønskelig at vi foreslår egnet type strekkklapper til TC-2, samt plassering av strekkklappen på veven og oppkobling mot styringssystemet.

### **3.3 – DEL 3 AV PROSJEKTOPPGAVEN**

Den tredje delen av oppgaven går ut på å utvikle en algoritme for stramming av renningen. Denne algoritmen skal implementeres på en mikrokontroller for regulering av strammingen i renningen. Videre skal denne algoritmen testes på en fysisk prototype som vil bli levert av oppdragsgiveren. Denne fysiske prototypen skal styre motorene til bommene basert på det målte strekket fra strekkklappene.

### **3.4 – DEL 4 AV PROSJEKTOPPGAVEN**

Den fjerde og siste delen av oppgaven går ut på at vi skal konstruere elektronikken til en 3-fase BLDC-motorkontroller og teste denne. Det skal videre utvikles et PCB som dekker de behov TC-2 har til motorstyring. Det er ønskelig at motorkontrolleren fungerer som en I<sup>2</sup>C slave som mottar kommandoer om hastighet, rotasjonsretning og andre styresignal over I<sup>2</sup>C grensesnittet.

## KAPITTEL 4

### MÅL MED OPPGAVEN

#### 4.1 - EFFEKTMÅL

Oppdragsgiveren ønsker en mer automatisert vevemaskin enn den som finnes på markedet i dag. Den nye veven skal være billigere, samt mer modernisert. Bedriften ønsker å oppnå økt produktivitet som på lengre sikt vil gi økt inntekt for bedriften.

#### 4.2 - RESULTATMÅL

Det er noen krav som oppdragsgiveren stiller for sluttproduktet. Siden produktets kvalitet er det viktigste for en hver bedrift, så ønsker vi å sørge for at de diverse delene tåler daglig slitasje.

Rammen som vi skal bruke (hvor motoren, bommene og alt annet vil bli fastmontert) er allerede utviklet av oppdragsgiver. Prosjektgruppen skal sørge for at rammen klarer å samarbeide med de nye komponentene som skal utvikles. Prototypen skal dessuten være ferdig innen 17.05.11.

#### 4.3 - PROSESSMÅL

Hvert prosjekt har forskjellige fremgangsmetoder for å løse oppgaver på. Vi har bestemt noen viktige punkter som vi føler er både viktig for gruppemedlemmenes tilværelse i gruppen, samt produktets kvalitet. Disse punktene er:

- Bli kjent med bedriften.
- Samarbeide i gruppe.
- Få full forståelse av oppgavens innhold.
- Lik fordeling av arbeid.
- Lære nytt fagstoff.
- Lære å bruke tiden mest mulig effektivt.
- Oppnå best mulig resultat.

## KAPITTEL 5

### KRITISKE SUKSESSFAKTORER

Suksessfaktorer i denne sammenheng beskriver punkter i prosjektprosessen som er kritisk avgjørende for at prosjektets gjennomførelse skal bli vellykket eller ikke. Grunnen til at vi påpeker slike faktorer, er så vi kan ta forbehold og forhåpentligvis sørge for at prosjektet vil lykkes og bli gjennomført.

Det første som må gjøres er å identifisere suksessfaktorene og vurdere hvor stor sannsynligheten er for at de skal inntreffe.

#### 5.1 – GODKJENNING AV LØSNINGSDESIGN

En av faktorene for at prosjektgruppen kan fortsette videre med prosjektet, er at oppdragsgiver (TE) godkjenner løsningsdesignet vi har kommet fram til. Dette er viktig slik at vi kan fortsette med prosjektet og komme i gang med å konstruere en prototype av løsningen vår. Prototypen vil igjen være med på å statuere resultatet av gruppas prosjektoppgave.

Her må vi også tenke på at det er oppdragsgiver som sitter med kapitalen som er disponibel for gruppa for å kjøpe inn komponenter og annet nødvendig materiale. For å unngå at vi ikke får godkjent løsningen vår, må alle medlemmene av gruppa bruke de kunnskapene vi har lært i de ulike fagene vi har hatt i løpet av totalt tre studieår. Dette omfatter både fag innenfor kybernetikk, produktutvikling og mekatronikk.

#### 5.2 – SETTE AV TILSTREKkelig MED TID OG RESURSER

Det er viktig for gruppen at det settes av tilstrekkelig med tid og resurser. Med dette mener vi at vi må ta i betraktning at vi har begrenset tid og vi må disponere den til det fulleste, slik at vi rekker å utføre det vi har satt opp i fremdriftsplanen til de rette tidene. Ukentlige gruppemøter og møter med veileder er gode måter å vite hvor i løypa man er ved at alle er informerte og oppdaterte om statusen til prosjektet.

#### 5.3 – GOD KOMMUNIKASJON MED OPPDRAGSGIVER OG VEILEDERE

Det å ha en god kommunikasjon mellom oss i prosjektgruppa og veilederne våre er viktig, slik at ingen av partene opplever eller får negative assosiasjoner med gruppa. Kommunikasjonssvikt kan føre til at prosjektet blir nektet å fortsette, noe som igjen setter alle som er involverte i dårlig lys.

Måten vi kan unngå dette er å være pro aktive og være hurtige til å ta kontakt med de nødvendige personene så hurtig som mulig, og også å holde alle parter oppdaterte på hvordan prosjektet ligger an.

#### **5.4 – GODT SAMHOLD I GRUPPA**

Vi anser det som viktig at gruppa oppfører seg skikkelig og profesjonelt ovenfor oppdragsgiver, veiledere og andre parter gruppa har kontakt med. Et negativ bilde av oss når det kommer til hovedprosjekt er ikke positivt, spesielt ved evaluering.

Gruppa har derfor satt opp et dokument som skal veilede medlemmene. På denne måten blir man mer samkjørte når det kommer til dokumentering og hvordan man skal håndtere saker i prosjektet.



## KAPITTEL 6

### RISIKOANALYSE

I alle prosjekter finnes det momenter som kan forhindre at prosjektet kommer til å lykkes. Det utføres derfor vanligvis en risikoanalyse for å ta forbehold om de hendelsene som mest sannsynlig kan oppstå. Ved å gjennomføre en slik analyse er man bedre rustet og man kan enkelt gjøre endringer, slik at resten av prosjektet ikke blir påvirket i større grad.

Analysen skal svare på følgende tre ting:

1. Hva som kan gå galt.
2. Hva sannsynligheten er for at noe går galt.
3. Hva konsekvensene av dette kan bli.

Enkelte elementer kan komme igjen i dette kapittelet, er nevnt tidligere i kapittelet om suksessfaktorer. Vi har her klassifisert hvor stor sannsynligheten (P) og hva konsekvensen (C) for at noe skal skje, ved bruk av liten, middels og høy grad.

#### 6.1 – DATAKRASJ

Datakrasj skjer så gruppa mister verdifull informasjon som har blitt opparbeidet over lang tid.

P: Middels                      C: Middels/høy

Forebyggende arbeid for dette er å ha en god rutine for sikkerhetskopiering. Den som har ansvaret for sikkerhetskopiering skal gjøre dette i slutten av hver uke, slik at sannsynligheten for å miste stor mengde data reduseres.

#### 6.2 – MANGEL PÅ KOMPONENTER OG DELER

Mangel på komponenter og deler kan skje dersom gruppa ikke bestiller inn de delene man trenger i god tid, med tanke på lang leveringstid.

P: Lav                              C: Lav

Vi regner her med at deler vi trenger i prosjektet ikke har veldig lang bestillings- eller leveringstid.

### 6.3 – OPPDRAGSGIVER TREKKER SEG

Oppdragsgiver trekker seg på grunn av manglende kapasitet eller grunnet finansielle faktorer.

P: Lav C: Høy

Hvis dette skjer må resterende involverte personer kontaktes, så det kan avgjøres hva som skal skje videre, om gruppa skal fortsette med prosjektet eller om prosjektet avsluttet.

### 6.4 – MANGEL PÅ KUNNSKAP

Prosjektgruppen har mangel på kunnskap og vet ikke nok om teknologien som det jobbes med i ett eller flere emner.

P: Lav/middels C: Lav

Her må vi studere emner om de ulike teknologiene både på egenhånd og eventuelt ta kontakt med personen som kan hjelpe. Vi må være flittige til å bruke veilederne samt fagpersoner på HiBu.

### 6.5 - SYKDOM

Medlemmer av gruppa blir syke for en lengre periode av prosjektet, som kan forsinke framgangen/progresjonen.

P: Lav C: Middels

Måten gruppa kan forhindre at dette skjer er å ha et sunt kosthold og kle seg med klær etter forholdene. Hvis dette skal skje, så må resten av gruppemedlemmene prøve å fordele arbeidsoppgavene slik at fremgangen kan fortsette likevel.

### 6.6 – GRUPPEMEDLEMMER KRANGLER/DROPPER UT

Gruppemedlemmer krangler seg i mellom eller velger å forlate gruppa av ulike grunner.

P: Lav C: Høy

Dette kan forhindres ved å jobbe med å skape et godt miljø i gruppa, og at det skal være demokrati innad i gruppa. Arbeidsmengde skal bli relativt likt fordelt.

## KAPITTEL 7

### KOST/NYTTEANALYSE

Kost og nytte analyse er en viktig del av beslutningsgrunnlaget for om prosjektet skal gjennomføres. Hensikten er å avgjøre nytten av prosjektet.

#### 7.1 – KVANTIFISERBAR OG IKKE-KVANTIFISERBAR NYTTE

Med utgangspunkt i effektmålene vurderes verdien av den forventede effekten av prosjektet. Nyttens kvantifiseres best mulig. Med kvantifisering mener vi at vi tallfester nytten, som oftest i kroner. Det er imidlertid svært viktig å beskrive nytte som ikke er kvantifiserbar da den kan være avgjørende for å velge å kjøre prosjektet.

Den største fordelen med å modernisere TC-1 er at brukeren vil kjenne mindre fysiske påkjenninger ved å bruke TC-2 flere timer daglig. Dette vil føre til mindre sykefravær og friske arbeidere.

#### 7.2 – LAGE OG GJENNOMFØRE TESTER FOR KVALITETSSIKRE LØSNINGER

- Analysere hvor ofte vi bør ta tester
- Lage en sjekklister for testene
- Hvor og hvordan testene skal gjennomføres
- Analysere forskjellige løsninger for å finne en effektiv og sikker produkt.

#### 7.3 – MULIGHET FOR GJENNOMFØRING AV PROSJEKTET

Selv om prosjektet er en delt oppgave hvor noen av delene er rene mekaniske og andre er elektriske, så ser vi på prosjektet som fullt gjennomførbart.

Elektrostudentene vil bruke mikrokontroller, BLDC-motorer og maskin studenten vil bruke Solidworks og FEM-analyse.

## KAPITTEL 8

### RETNINGSLINJER OG STANDARDER

#### 8.1 – KRAV TIL DOKUMENTASJON

Tabell 08.01 viser hvilke dokumenter prosjektgruppen skal produsere i løpet av prosjektperioden:

DOKUMENTNAVN
Visjonsdokument
Forstudierapport
Kravspesifikasjon
Prosjektplan
Testplan
Testspesifikasjon
Testrapport
Analysedokument
Designdokument
Implementasjons dokument
Etteranalyse
Timelister
Møteinnkallinger
Møtereferater
Oppfølgingsdokumenter

TABELL 08.01 - DOKUMENTASJON

#### 8.2 – KRAV TIL STANDARDER OG METODER

Gruppen har stadfestet å bruke følgende metoder og verktøy i dette prosjektet:

- Gruppen skal bruke C/C++ som programmeringsspråk.
- SolidWorks skal brukes for design og utviklingsprosessen.
- FEM-analyse (Finite Element Method) skal benyttes for å beregne spenninger og deformasjoner, samt kunnskapen fra konstruksjonsteknologi.
- Gruppen bruker fildelingsprogrammet Dropbox for å laste opp dokumenter, slik at alle dokumenter er tilgjengelige for alle gruppemedlemmene til en hver tid.
- Møtereferater plasseres i en mappe på en CD.

## KAPITTEL 9

### PROSJEKTORGANISERING

#### 9.1 – INTERN PROSJEKTGRUPPE

NAVN	ROLLE	KONTAKTINFO
Lars Thorvald Lie	- Prosjektleder - Sikkerhetskopi ansvarlig - Komponentansvarlig	Larsthorvald.lie@gmail.com
Japrit Singh Thakkar	- Dokumentansvarlig - Webansvarlig	Japrit@gmail.com
Babar Iqbal	- Økonomiansvarlig - Timelisteansvarlig	Babar.iqbal@gmail.com
Rebaz Jawher	- Konstruksjonsansvarlig - Testansvarlig	J.rebaz@gmail.com

TABELL 09.01 – PROSJEKTORGANISERING

#### 9.2 – REFERANSEGRUPPE

NAVN	ROLLE	KONTAKTINFO
Tronrud Engineering	- Oppdragsgiver	Flyplassveien.22 N 3514 Eggemoen
Bjørn L. Gundersen	- Ekstern veileder - Ekstern sensor	Bjorn.liene.gundersen@tronerud.no
Sigmund Gudvangen	- Intern veileder	Sigmund.gudvangen@hibu.no
Olaf Hallan Graven	- Intern sensor	Olaf.hallan.graven@hibu.no

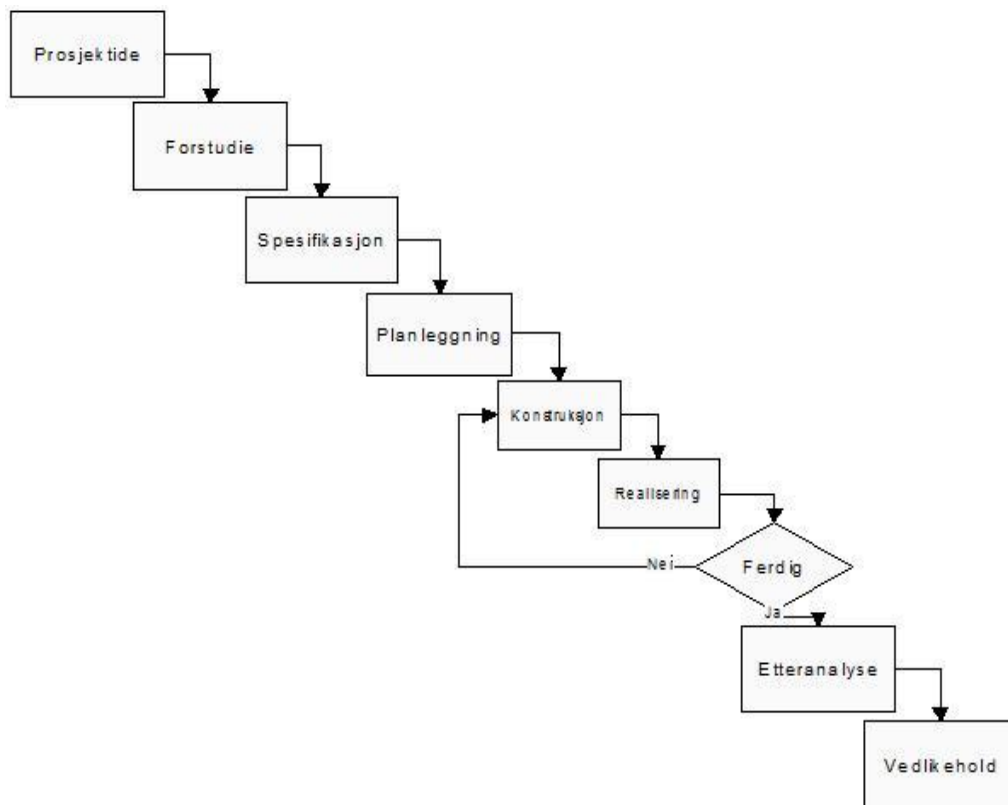
TABELL 09.02 - REFERANSEGRUPPE

## KAPITTEL 10

### PROSJEKTMODELL

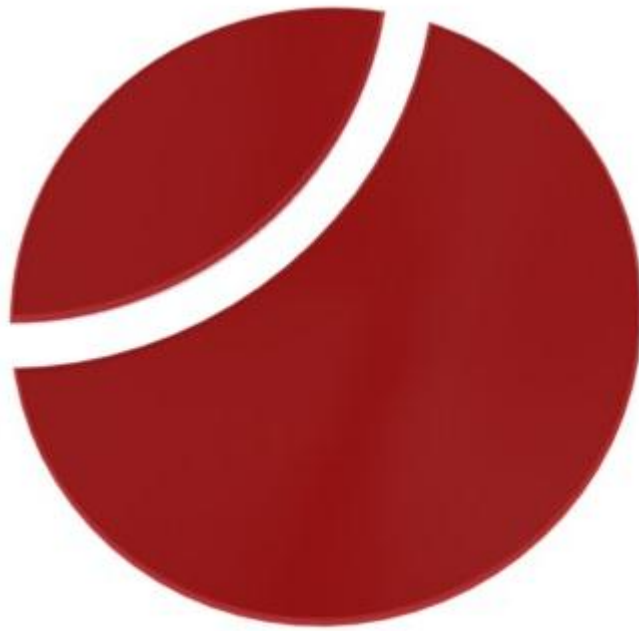
Vi har valgt å bruke en inkrementell utviklingsmodell for vårt prosjekt. Dette er en undermodell av en evolusjonær utviklingsmodell. Det vil si at vi kommer til å behandle systemet som separate komponenter, som vi bygger en og en av gangen.

Det som vi kommer til å sikte oss inn på er å få gjennomført de viktigste kravene fra kravspesifikasjonen først, konstruere, realisere og teste disse. Deretter jobber vi oss videre med å utføre resten av kravene, ut i fra deres rangering.



FIGUR 10.1 - PROSJEKTMODELL

Forløpet til prosjektet vil omtrent se ut som figuren nedenfor. Etter at forstudierapporten og planleggingsprosessen er ferdig, begynner vi å konstruere løsningen, og jobber i sykluser, hvor vi gjør ferdig en del av oppgaven, tester den og så fortsetter med neste del. Grunnen til at vi har valgt denne utviklingsmodellen, er fordi den passer bra når det gjelder å utvikle og teste en prototype.



*Thread Control System*

---

## PROSJEKTPLAN

---

VERSJON	DATO	BESKRIVELSE
OD-04	20.05.11	Fjerde offisielle dokument

NAVN	SIGNATUR
LARS THORVALD LIE	
JAPRIT SINGH THAKKAR	
BABAR IQBAL	
REBAZ JAWHER	

## INNHOLDSFORTEGNELSE

DOKUMENTHISTORIE OG AKRONYMER	05
01 – INNLEDNING	06
02 – MÅLSETTING	07
03 – FORUTSETNINGER	08
04 – OPPGAVEBESKRIVELSE	09
4.1 – Del 1 – Mekanikk	09
4.2 – Del 2 - Streklapper	09
4.3 – Del 3 – Algoritme	09
4.4 – Del 4 – BLDC motor	09
05 – AVGRENSNINGER	10
06 – PROSJEKTORGANISERING	11
6.1 – Intern prosjektgruppe	11
6.2 – Referansegruppe	11
6.3 – Ansvarsområder	11
07 – DOKUMENTOVERSIKT	13
08 – AKTIVITETER	14
8.1 – Administrasjon og prosjektstyring	14
8.2 – Konstruksjon og realisering	15
8.3 – Dokumentasjon	16
8.4 – Estimering av timer	16
09 – HOVEDPLAN	17
9.1 – Fremdriftsplan	17
10 – MILEPÆLER	21
10.1 – Første presentasjon	21
10.2 – Løsningsforslag og godkjenning	21



10.3 – Konstruksjon og realisering	21
10.4 - Hovedpresentasjon	21
REFERANSER	22

## INNHOLDSFORTEGNELSE FOR TABELLER

Tabell 00.01 – Dokumenthistorie	05
Tabell 00.02 - Akronymmer	05
Tabell 06.01 – Prosjektorganisering	11
Tabell 06.02 - Referansegruppe	11
Tabell 07.01 - Dokumentasjon	13
Tabell 08.01 – Administrasjon og prosjektstyring	14
Tabell 08.02 – Konstruksjon og realisering	15
Tabell 08.03 – Dokumentasjon	16

## INNHOLDSFORTEGNELSE FOR FIGURER

Figur 09.01 - Fremdriftsplan	18
------------------------------	----

## DOKUMENTHISTORIE OG AKRONYMER

### DOKUMENTHISTORIE

VERSJON	DATO	ENDRINGER
0.0	03.01.11	Sammensatt til et felles dokument
0.1	04.01.11	Lagt til innholdsfortegnelse
1.0	04.01.11	Første offisielle dokument
1.1	06.01.11	Oppdatert innholdsfortegnelse Redigert tidsplan samt gjort til helside Rettet opp i tabell 08.02
2.0	06.01.11	Andre offisielle dokument
2.1	18.04.11	Oppdatert aktivitetsplan og lagt til oppdatert fremdriftsplan
3.0	18.04.11	Tredje offisielle dokument
3.1	19.05.11	Rettet grammatikk
3.2	20.05.11	Lagt til oppdatert fremdriftsplan
4.0	20.05.11	Fjerde offisielle dokument

TABELL 00.01 – DOKUMENTHISTORIE

### AKRONYMER

AKRONYM	
TE	Tronrud Engineering
PT	POINTechnologies
TC2	Thread Controller 2

TABELL 00.02 - AKRONYMER

## KAPITTEL 1

### INNLEDNING

Denne prosjektplanen har som mål å vise hva som skal gjøres av prosjektgruppen til gitte tidspunkter og datoer. Det har også blitt satt opp hvilke aktiviteter som skal utføres, med tilhørende estimerte timer.

Dette dokumentet kommer til å bli brukt for å se hvordan prosjektet ligger an, og for å se om gruppen holder seg innenfor de estimerte tidsfristene.

For å sørge for at prosjektets forløp er i rute må gruppen underveis gjøre oppdateringer og kontroller. Dette er for å holde prosjektet innenfor de planlagte rammene og ikke la prosjektet skli ut av kontroll. Siden dette er første gang gruppemedlemmene lager og setter opp en prosjektplan, tar vi forbehold om at det må gjøres jevnlig revideringer av tidsplanen.

## KAPITTEL 2

### MÅLSETTING

Målsetting er en tanke, intensjon eller en ide om ønsket form av et sluttprodukt. Med andre ord skal målsetting gi oss informasjon om et ønsket sluttresultat, samt gi oss en retning til videre arbeid med prosjektet.

Hovedmålet med dette prosjektarbeidet er å få et mest mulig tilnærmet bilde av hvordan arbeidslivet til en ingeniør fungerer, samt å lære hvordan prosessen til å utvikle et produkt fungerer i praksis.

Det er også et mål å kunne demonstrere ferdigheter innen prosjektarbeid, organisering og dokumentering. Disse ferdighetene skal demonstreres ved å legge vekt på planlegging, gjennomføring og grundig dokumentering. Det er dessuten også satt som mål for prosjektgruppen å legge vekt på kommunikasjon mellom gruppemedlemmer, kunder, leverandører og grossister.

Foruten dette ønsker prosjektgruppen å innarbeide kunnskap om å sette realistiske tidsgrenser og lære å disponere tiden riktig.

Noen av de viktigste fasene som prosjektgruppen vil gå gjennom, og oppleve i løpet av prosjektprosessen er:

- Valg av gruppe
- Valg av oppgave
- Planleggingsfasen
- Forberedelsesfasen
- Gjennomføringsfasen
- Presentasjonsfasen

## KAPITTEL 3

### FORUTSETNINGER

De aller fleste prosjektene har som regel flere forutsetninger. I dette prosjektet forutsettes det at hvert individ skal bruke bortimot 600 arbeidstimer på prosjektet. Dette innebærer at prosjektgruppen vår, som består av fire personer til sammen skal bruke ca 2400 timer.

Det forutsettes også at bortimot 20 prosent av disse 2400 timene må benyttes til dokumentering. Dette gjøres for at sensorer og veiledere skal ha et bedre grunnlag for å vurdere, samt sette karakter til prosjektet.

Foruten disse forutsetningen har Høgskolen i Buskerud har et ønske om at prosjektet skal være ferdig innen 30.05.11 kl. 14:00.

Mesteparten av arbeidet med prosjektoppgaven kommer til å bli gjennomført ved HiBu sine lokaler i Kongsberg, og en mindre del ved TE sine lokaler.

## KAPITTEL 4

### OPPGAVEBESKRIVELSE

Prosjektoppgaven vi har fått tidelt av TE omhandler design av mekanikk og elektronikk for TC-2. Oppgaven kan enkelt deles inn fire deler hvor en av delene omhandler mekanikk, mens de resterende delene omhandler elektronikk.

#### 4.1 – DEL 1 – MEKANIKK

Den første delen av oppgaven er knyttet til mekanikk og går ut på å finne den optimale geometrien og materialbruken i alle de fire bommene, for maksimal stivhet og lavest mulig vekt. Ytre geometri for varebom og renningsbom er definert av oppdragsgiver, og øvrige geometrivalg er en del av oppgaven.

#### 4.2 – DEL 2 - STREKKLAPPER

Oppdragsgiveren ønsker at vi videre skal undersøke mulighetene for å implementere strekkklapper i de ikke-roterende bommene, slik at vi kan detektere stramming av renningen. Videre skal strammingen på renningen beregnes ved bruk av strekkklappene. Det er også ønskelig at vi foreslår egnet type strekkklapper til TC-2, samt plassering av strekkklappen på veven og oppkobling mot styringssystemet.

#### 4.3 – DEL 3 – ALGORITME

Den tredje delen av oppgaven går ut på å utvikle en algoritme for stramming av renningen. Stramming skjer alltid ved et gitt signal. Algoritmen skal implementeres på en mikrokontroller for regulering av strammingen i renningen. Videre skal denne algoritmen testes på en fysisk prototype som vil bli levert av oppdragsgiveren. Denne fysiske prototypen skal styre motorene til bommene basert på det målte strekket fra strekkklappene.

#### 4.4 – DEL 4 – BLDC MOTOR

Den fjerde og siste delen av oppgaven går ut på at vi skal konstruere elektronikken til en 3-fase BLDC-motorkontroller og teste denne. Det skal videre utvikles et PCB som dekker de behov TC-2 har til motorstyring. Det er ønskelig at motorkontroller fungerer som en I<sup>2</sup>C slave som mottar kommandoer om hastighet, rotasjonsretning og andre styresignal over I<sup>2</sup>C grensesnittet.

## KAPITTEL 5

### AVGRENSNINGER

Prosjektoppgaven vi har fått tildelt av TE inneholder en rekke problemstillinger. Disse problemstillingene er ikke direkte avgrenset i oppgavebeskrivelsen, og derfor anser vi det som en fordel å foreta noen avgrensninger av oppgaven.

Avgrensning av omfanget til et prosjekt er svært viktig grunnet begrenset tid og ressurser. Derfor har vi i samarbeid med TE kommet frem til flere avgrensninger for prosjektoppgaven.

Den første avgrensningen vi vil ta for oss er produksjon av selve TC-2. Denne maskinen består av mange forskjellige systemer, men oppgaven vår går ikke ut på å konstruere alle de forskjellige systemene. Vi har kun ansvaret for å utvikle de delene som er spesifisert i oppgavebeskrivelsen og kravspesifikasjonen.

TE har også ansvaret for bærekonstruksjonen til TC-2, samt løftemekanismen til trådene. De har også det overordnede ansvaret for kommunikasjon mellom mikrokontroller og datamaskin. Med andre ord, det er ikke en del av oppgaven at man skal kommunisere mellom PC og styrekretsen via USB eller Ethernet-kabel.



## KAPITTEL 6

### PROSJEKTORGANISERING

#### 6.1 – INTERN PROSJEKTGRUPPE

NAVN	ROLLE	KONTAKTINFO
Lars Thorvald Lie	- Prosjektleder - Sikkerhetskopi ansvarlig - Komponentansvarlig	Larsthorvald.lie@gmail.com
Japrit Singh Thakkar	- Dokumentansvarlig - Webansvarlig	Japrit@gmail.com
Babar Iqbal	- Økonomiansvarlig - Timelisteansvarlig	Babar.iqbbal@gmail.com
Rebaz Jawher	- Konstruksjonsansvarlig - Testansvarlig	J.rebaz@gmail.com

TABELL 06.01 – PROSJEKTORGANISERING

#### 6.2 – REFERANSEGRUPPE

NAVN	ROLLE	KONTAKTINFO
Tronrud Engineering	- Oppdragsgiver	Flyplassveien.22 N 3514 Eggemoen
Bjørn L. Gundersen	- Ekstern veileder - Ekstern sensor	Bjorn.liene.gundersen@tronerud.no
Sigmund Gudvangen	- Intern veileder	Sigmund.gudvangen@hibu.no
Olaf Hallan Graven	- Intern sensor	Olaf.hallan.graven@hibu.no

TABELL 06.02 - REFERANSEGRUPPE

#### 6.3 – ANSVARSOMRÅDER

Denne delen av kapitlet er ment for å gi detaljert beskrivelse av ansvarsområdene i prosjektgruppen. Ansvarsområdene er rangert i alfabetisk rekkefølge.

##### DOKUMENTASJONSANSVARLIG

Dokumentasjonsansvarlig har det overordnede ansvaret for dokumenthåndtering. Han holder oversikt på dokumentering og har ansvaret for arkivering.

**KOMPONENTANSVARLIG**

Komponentansvarlig har det overordnede ansvaret for komponentene som prosjektgruppen skal benytte.

**KONSTRUKSJONSANSVARLIG**

Konstruksjonsansvarlig har ansvaret for å lede arbeidet med design av komponenter, samt å koordinere dokumentasjon rundt design.

**PROSJEKTLEDER**

Prosjektlederen er ansvarlig for at prosjektets mål nåes, samt framdriften i prosjektarbeidet. Han skal sørge for at prosjektet fullføres innen tidsfristen og har samtidig ansvaret for interne møter i gruppen. Prosjektlederen er dessuten en ekstern kontaktperson for prosjektgruppen

**SIKKERHETSKOPI ANSVARLIG**

Har ansvaret for å ta sikkerhetskopier av alle filer fra Dropbox hver uke, slik at dokumentasjon ikke går tapt.

**TESTANSVARLIG**

Testansvarlig har det overordnede ansvaret for all testarbeid i gruppen. Han skal lede arbeidet med testing samt har ansvaret for utarbeidelse av dokumentasjon rundt testing.

**TIMELISTE ANSVARLIG**

Har ansvaret for å liste opp alle aktiviteter og antall timer blir som brukt ved gjennomføring av aktiviteter. Har ansvaret for at timerapportering er à jour.

**ØKONOMIANSVARLIG**

Økonomiansvarlig skal føre et oversiktlig regnskap, samt sørge for det ikke blir budsjettoverskridelser. Han har også ansvaret for kviteringer på forbruk av økonomiske ressurser.

**WEB ANSVARLIG**

Webansvarlig har ansvaret for å drifte nettsiden til prosjektgruppen. Dette innebærer å utvikle, samt oppdatere nettsiden.

## KAPITTEL 7

### DOKUMENTOVERSIKT

Det skal produseres en rekke dokumenter gjennom prosjektperioden. Disse dokumentene skal både innleveres til skolen og oppdragsgiver. Tabell 07.01 viser hvilke dokumenter som skal produseres av prosjektgruppen, samt hvem som har det overordnede ansvaret for at dokumentet blir produsert til rett tid.

DOKUMENTNAVN	ANSVARLIG
Visjonsdokument	Lars
Forstudierapport	Japrit
Kravspesifikasjon	Japrit
Prosjektplan	Japrit
Testplan	Japrit
Testspesifikasjon	Alle
Analysedokument	Alle
Designdokument	Rebaz
Realiseringsdokument	Alle
Testresultater	Rebaz
Etteranalyse	Alle
Møtereferater	Alle
Møteinnkallinger	Lars
Timelister	Babar

TABELL 07.01 - DOKUMENTASJON

## KAPITTEL 8

### AKTIVITETER

Dette kapitlet tar for seg alle aktiviteter og antall timer, som prosjektgruppen tror vi kommer til å bruke for å gjennomføre dette prosjektet.

#### 8.1 – ADMINISTRASJON OG PROSJEKTSTYRING

NR	AKTIVITET	ANSVARLIG	TIMER
<b>110</b>	<b>Gruppedannelse</b>		<b>7</b>
111	Danne prosjektgruppe	Alle	1
112	Sende forespørsel om tildeling av oppgave	Alle	4
113	Valg av oppgave	Alle	2
<b>120</b>	<b>Økonomi</b>		<b>20</b>
121	Budsjettering	Babar	10
122	Regnskapsføring	Babar	10
<b>130</b>	<b>Webside</b>		<b>50</b>
131	Opprette webside	Japrit	15
132	Opprette passordbeskyttet område	Japrit	15
133	Oppdatere webside	Japrit	20
<b>140</b>	<b>Møter</b>		<b>123</b>
141	Møter med Tronrud Engineering	Alle	15
142	Møter med intern veileder	Alle	25
143	Gruppemøter	Alle	60
144	Møter med andre kontaktpersoner	Alle	3
145	Reisetid til møter	Alle	20
<b>150</b>	<b>Presentasjoner</b>		<b>150</b>
151	1. presentasjon	Alle	25
152	2. presentasjon	Alle	25
153	Hovedpresentasjon	Alle	100
<b>160</b>	<b>Sikkerhetskopiering</b>		<b>10</b>
161	Sikkerhetskopiering av filer fra Dropbox	Lars	10
<b>170</b>	<b>Annet administrasjonsarbeid</b>	Alle	<b>40</b>
SUM TIMER ESTIMERT ADMINISTRASJON OG PROSJEKTSTYRING			400

TABELL 08.01 – ADMINISTRASJON OG PROSJEKTSTYRING

**8.2 – KONSTRUKSJON OG REALISERING**

NR	AKTIVITET	ANSVARLIG	TIMER
<b>210</b>	<b>Mekaniske delen av oppgaven</b>		<b>250</b>
211	Research	Rebaz	50
212	Design av bommene	Rebaz	75
213	Simulering av design	Rebaz	75
214	Styrkeberegninger	Rebaz	50
<b>220</b>	<b>Algoritme</b>		<b>250</b>
221	Research	Japrit & Babar	50
222	Valg av komponenter	Japrit	25
223	Løsningsforslag	Japrit & Babar	100
224	Implementering	Japrit & Babar	75
<b>230</b>	<b>Streklapper</b>		<b>125</b>
231	Research	Alle	25
232	Valg av komponenter	Alle	25
233	Løsningsforslag	Alle	75
<b>240</b>	<b>BLDC-motorkontroller</b>		<b>250</b>
241	Research	Lars & Japrit	50
242	Valg av komponenter	Lars	50
243	Konstruere elektronikken til 3-fase BLDC-motor	Lars	75
244	Utvikle kretskort	Lars	75
<b>250</b>	<b>Testing</b>		<b>350</b>
251	Enhetstesting	Alle	100
252	Modultesting	Alle	100
253	Systemtesting	Alle	75
254	Forbedring av feil	Alle	75
<b>260</b>	<b>Prototype</b>		<b>150</b>
261	Bestille komponenter	Alle	50
262	Montering	Alle	100
SUM TIMER ESTIMERT KONSTRUKSJON OG REALISERING			1375

TABELL 08.02 – KONSTRUKSJON OG REALISERING

### 8.3 – DOKUMENTASJON

NR	AKTIVITET	ANSVARLIG	TIMER
301	Visjonsdokument	Lars	5
302	Forstudierapport	Japrit	30
303	Kravspesifikasjon	Japrit	50
304	Prosjektplan	Lars	40
305	Testplan	Japrit	20
306	Testspesifikasjon	Japrit	30
307	Analysedokument	Alle	25
308	Designdokument	Alle	25
309	Realiseringsdokument	Alle	25
310	Testrapport	Rebaz	20
311	Etteranalyse	Alle	20
312	Møtereferater	Alle	30
313	Møteinnkallinger	Lars	5
314	Timelister	Babar	20
315	Oppfølgingsdokumenter	Alle	20
316	Dokumentstandarder og maler	Japrit	50
317	Klargjøring av dokumentasjon	Japrit	120
318	Prosjektplakat	Alle	15
319	Sluttdokumentasjon	Alle	50
320	Annen dokumentasjon	Alle	25
SUM TIMER ESTIMERT DOKUMENTASJON			625

TABELL 08.03 – DOKUMENTASJON

### 8.4 – ESTIMERING AV TIMER

Det er avsatt bortimot 2400 timer for prosjektet, slik som nevnt tidligere i kapittel 3. Vi har kun estimert bruk av 2327 timer i dette kapittelet. Dette innebærer at vi har ca. 75 timer som en "buffer". Vi regner med at disse timene vil bli brukt i noen av de overnevnte aktivitetene. Grunnlaget for at vi har avsatt disse timene er at vi ikke vil la prosjektet skli ut av kontroll.

## KAPITTEL 9

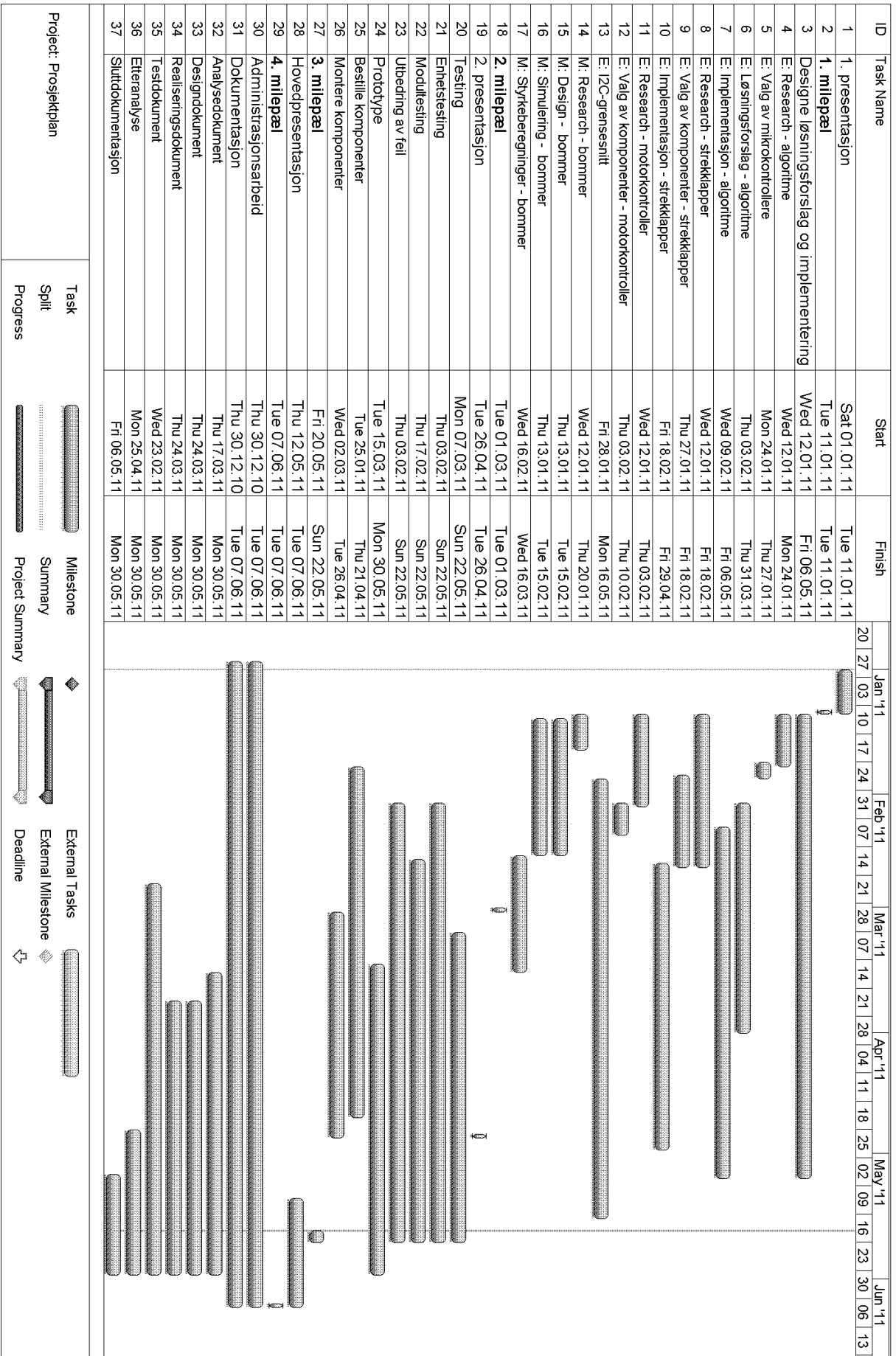
### HOVEDPLAN

#### 9.1 – FREMDRIFTSPLAN

Figur 09.01 viser den endelige tidsplanen gruppen har satt opp for hele prosjektperioden. Denne tidsplanen er en fortsettelse av den som fant sted i forstudierapporten. Planen tar for seg hovedaktivitetene som er beskrevet tidligere i kapittel 6.

Milepælene i dette prosjektet er markert i figur. 09.01. En nærmere beskrivelse av disse milepælene er gitt i neste kapittel.

Når det kommer til de gitte tidsfristene i planen, har vi forsøkt å sette frister som er overkommelige. Samtidig har vi prøvd å sette de slik at vi eventuelt kan forskyve fristene, enn å fremskynde de. Dette er gjort for å sørge for at vi har god nok tid til å utføre aktivitetene.



FIGUR 09.01 - FREMDRIFTSPLAN



## **ADMINISTRASJONSARBEID**

Administrasjonsarbeid er den jobben det tar for å lede prosjektet og sørge for at det er under kontroll. Det vil si å ha styring på hvor langt de forskjellige fasene i prosjektet er og at de overholder fristene.

Husk: Ifølge Sommerville skal man sette av 20% av tiden din til "administrativt arbeid"[1].

## **DOKUMENTASJON**

Med dokumentasjon mener vi alle skriftlige dokumenter som blir produsert i forbindelse med prosjektet. Disse dokumentene tar for seg prosjektfasene, slik som

- Konstruksjon
- Realisering
- Testing, osv.

## **DESIGN**

Etter første presentasjon begynner prosjektgruppen med å utarbeide løsningsdesignet. Denne fasen skal avklare hvilke komponenter løsningen skal inneholde og skjematiske tegninger.

Her må gruppen ha god kommunikasjon med oppdragsgiver slik at alle parter er samkjørte når det kommer til den endelige løsningen som skal realiseres. Prosjektgruppen avtaler sammen med TE hvilke komponenter som skal kjøpes inn.

## **REALISERING**

Denne fasen av prosjektet vil bestå av bestilling og innkjøp av komponenter. Prototypen som vi skal konstruere vil i hovedsak bli montert i HiBu sine lokaler. Gruppen vil bli utstyrt med en rigg fra TE. Denne riggen er et delvis oppsett av TC-2, som gjør at gruppen kan gjennomføre de monteringen og testene som trengs for systemet.

Som beskrevet i forstudierapporten, vil realiseringen avhenge av at prosjektgruppen får en godkjenning av TE.

## **TESTING**

For å undersøke om prototypen fungerer som planlagt, vil det bli gjennomført ulike typer av tester. Disse testene er beskrevet nøyere i testdokumentene.

## **2. PRESENTASJON**

Denne presentasjonen skal ta for seg hva som er gjort så langt i prosjektet. Det skal også opplyse om hvordan fremdriften videre blir.

### **ETTERANALYSE**

Dette dokumentet tar for seg hvordan prosjektet har gått underveis, hvilke resultater gruppen har kommet med og hva gruppen mener om prosjektet og prosjektarbeidet. Her skal det også komme en evaluering av produktet vi har laget, samt gå gjennom hvordan vi mener samarbeidet mellom gruppedeltakerne og med oppdragsgiver har gått.

### **SLUTTDOKUMENTASJON**

Sluttdokumentasjonen vil være et resultat av de produserte dokumentene. Denne rapporten vil være en sammenføring, slik at det fremstår som et helhetlig dokument. I tillegg skal all dokumentasjon leveres inn på en CD-plate.

### **HOVEDPRESENTASJON**

Visning av gruppens sluttresultat i form av en muntlig presentasjon og fremvisning av prototype. Presentasjonen består av en salgsdel og en teknisk del, samt en beskrivelse av prosjektgangen.

## KAPITTEL 10

### MILEPÆLER

#### 10.1 - FØRSTE PRESENTASJON

Den første milepælen viser til at forprosjektfasen er ferdig. Før første presentasjon skal vi ha vært ferdig med innledende dokumentasjon som innebærer dannelse av gruppe, valg av oppgave, forstudierapport, kravspesifikasjon, testplan, prosjektplan og testspesifikasjon.

#### 10.2 - LØSNINGSFORSLAG OG GODKJENNING

Andre milepæl er når vi har designet løsningen for det elektriske oppstramningssystemet og valg av design for bommene. Når TE har gitt klarsignal på løsningen vår, anser vi den andre milepælen som oppnådd.

#### 10.3 - KONSTRUKSJON OG REALISERING

Realisering av prosjektet som å bestille komponenter og sette sammen prototypen. Under denne milepælen vil også testing komme.

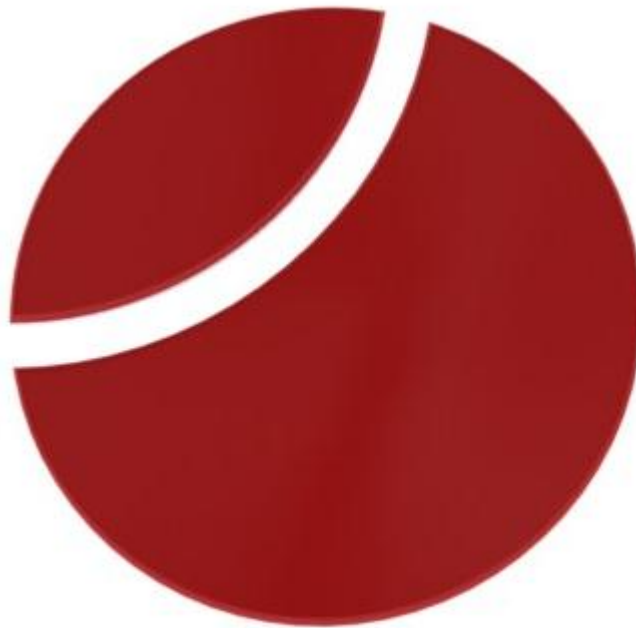
Testing av løsningen er for å finne eventuelle feil eller mangler i løsningen før vi går videre til konstruksjonen. Noen av testene, som er nevnt i testspesifikasjonen, krever at vi utfører testen når hele prototypen er satt sammen.

#### 10.4 - HOVEDPRESENTASJON

Siste milepæl er ferdig i juni etter at den siste presentasjonen er utført. Denne representerer også at prosjektet er ferdig.

## REFERANSER

- [1] Tittel: Prosjekthåndbok  
Forfatter: Torbjørn Strøm og Olaf Hallan Graven  
Utgitt: 2010



*Thread Control System*

---

## **KRAVSPESIFIKASJON**

---

<b>VERSJON</b>	<b>DATO</b>	<b>BESKRIVELSE</b>
OD-03	04.01.11	Tredje offisielle dokument

<b>NAVN</b>	<b>SIGNATUR</b>
LARS THORVALD LIE	
JAPRIT SINGH THAKKAR	
BABAR IQBAL	
REBAZ JAWHER	

## INNHOLDSFORTEGNELSE

DOKUMENTHISTORIE OG AKRONYMER	04
01 INNLEDNING	05
1.1 - Oppdeling av krav	05
1.2 - Sportbarhet	05
1.3 - Prioritet	06
02 INTRODUKSJON TIL OPPGAVEN	07
03 RAMMEKRAV	08
04 FUNKSJONELLE KRAV	09
05 MASKINVARE KRAV	14
06 ANDRE KRAV	16
07 VEDLIKEHOLDSINFORMASJON	17
7.1 - Vedlikehold av den elektroniske delen	17
7.2 - Vedlikehold av den mekaniske delen	17
REFERANSER	19

## INNHOLDSFORTEGNELSE FOR TABELLER

Tabell 01.01 – Kravtyper	05
Tabell 03.01 – KR01	08
Tabell 03.02 – KR02	08
Tabell 04.01 – KF01	09
Tabell 04.02 – KF02	09
Tabell 04.03 – KF03	10
Tabell 04.04 – KF04	10
Tabell 04.06 – KF06	11
Tabell 04.07 – KF07	11
Tabell 04.08 – KF08	11
Tabell 04.09 – KF09	12
Tabell 04.10 – KF10	12
Tabell 04.11 – KF11	12
Tabell 04.12 – KF12	13
Tabell 04.13 – KF13	13
Tabell 04.14 – KF14	13
Tabell 05.01 – KM01	14
Tabell 05.02 – KM02	14
Tabell 05.03 – KM03	15
Tabell 05.04 – KM04	15
Tabell 05.05 – KM06	15
Tabell 06.01 – KA01	16
Tabell 06.02 – KA02	16
Tabell 06.03 – KA03	16

## DOKUMENTHISTORIE OG AKRONYMER

### DOKUMENTHISTORIE

VERSJON	DATO	ENDRINGER
0.0	14.12.10	Sammensatt til et felles dokument
0.1	15.12.10	Lagt til introduksjon
0.2	16.12.10	Lagt til funksjonelle krav
0.3	17.12.10	Lagt til maskinvare krav
0.4	18.12.10	Lagt til vedlikeholdsinformasjon
0.5	19.12.10	Lagt til innholdsfortegnelse
1.0	20.12.10	Første offisielle dokument
1.1	23.12.10	Lagt til: M06, F12, F13, F14. Fjernet: R03, M05, F05. Endret beskrivelse i: M01, M04, R01, R02, F03. Endret navn på: F10
1.2	03.01.11	Oppdatert innholdsfortegnelse
2.0	03.01.11	Andre offisielle dokument
2.1	03.01.11	Endret beskrivelse i: F07, F09, F10 Lagt til bokstaven K foran alle krav.
3.0	04.01.11	Tredje offisielle dokument

### AKRONYMER

AKRONYM	
TE	Tronrud Engineering
BLDC	Børsteløs DC-motor
TC-2	Thread Controller 2



## KAPITTEL 1

### INNLEDNING

Kravspesifikasjonen er svært nyttig sett i forhold til produktet vi ønsker å utvikle. Dokumentet regnes som et av de viktigste i hovedprosjektet og forteller oss hva vi skal lage, og hvordan produktet prinsipielt skal fungere. Den tar også for seg noen av komponentene vi kommer til å bruke, samt komponentene vi skal ta utgangspunkt i.

Dette dokumentet skal gi alle parter et innsyn i hvordan oppdragsgiver og prosjektgruppen har utdypet oppgavebeskrivelsen, ved å definere hvilke krav som oppgaveløsningen skal oppfylle. Det vil bli utført en analyse av behovet som systemet skal ivareta, og etter å ha lest gjennom dette dokumentet skal man ha skaffet seg en forståelse for behovene vi ønsker å dekke.

#### 1.1 – OPPDELING AV KRAV

Prosjektgruppen har fastslått å forenkle fremstillingen av kravene i dette dokumentet. På grunnlag av dette har man valgt å dele inn kravene i følgende fire deler:

- Rammekrav
- Funksjonelle krav
- Maskinvarekrav
- Andre krav

#### 1.2 - SPORBARHET

Kravspesifikasjonen er konstruert med tanke på sporbarhet. Hvert krav har fått tildelt sitt unike krav ID. På denne måten kan lett finne tilbake til kravet på et senere tidspunkt. Tabell 01.01 gir en illustrasjon av kravtypene som danner grunnlaget for oppbygningen av krav ID.

FORKORTEELSE	KRAVTYPE
KF	Funksjonelt krav
KR	Rammekrav
KM	Maskinvarekrav
KA	Andre krav

TABELL 01.01 - KRAVTYPER

Krav ID-en er bygget opp slik: "KTX", hvor K står for krav, T står for kravtype, og X er et tall.

### **1.3 – PRIORITET**

I dette dokumentet har vi valgt å klassifisere prioriteten på alle krav. Hvert krav har enten høy, middels eller lav prioritet.

## KAPITTEL 2

### INTRODUKSJON TIL OPPGAVEN

Prosjektoppgaven er selve ryggraden til kravspesifikasjonen. På grunnlag av dette er det betydningsfullt å gi leseren en kort introduksjon til selve prosjektoppgaven, slik at man kan se kravene som er beskrevet i dette dokumentet i sammenheng til oppgaven. Derfor vil vi i dette kapittelet gi en kort innføring i selve prosjektoppgaven.

Prosjektoppgaven vi har fått tidelt av TE omhandler design av mekanikk og elektronikk for TC-2. Oppgaven kan enkelt deles inn fire deler hvor en av delene omhandler mekanikk, mens de resterende delene omhandler elektronikk.

De fire hoveddelene oppgaven kan deles inn i er:

1. Den første delen er knyttet til mekanikk og går ut på å finne den optimale geometrien og materialbruken i alle de fire bommene.
2. Andre del av oppgaven går ut på å detektere stramming av renningen, samt å vurdere muligheten for å implementere streklapper i systemet.
3. Den tredje delen av oppgaven går ut på å utvikle en algoritme for stramming av renningen.
4. Den fjerde og siste delen av oppgaven går ut på at vi skal konstruere elektronikken til en 3-fase BLDC-motorkontroller.

## KAPITTEL 3

### RAMMEKRAV

Det stilles en rekke pålitelighetskrav og miljøkrav til produktet. Derfor har prosjektgruppen valgt å utlede rammekrav, som kan ses i sammenheng med produktet som skal utvikles i løpet av dette prosjektet.

KR01 – SIKKERHETSSTANDARD	
Krav ID:	KR01
Dato:	23.12.10
Fremsatt av:	Tronrud Engineering
Prioritet:	Lav
Beskrivelse:	TE har ikke spesifisert at vi skal følge standarder for sikkerhet, men ønsker at valgene vi gjør tas i forhold til motivet om å ivareta liv og eiendom.

TABELL 03.01 - KR01

KR02 – MILJØ	
Krav ID:	KR02
Dato:	10.12.10
Fremsatt av:	Tronrud Engineering
Prioritet:	Middels
Beskrivelse:	Maskinen skal brukes i omgivelsestemperaturer mellom 16°C - 34°C, og relativ luftfuktighet mellom 20% Rf – 60% Rf.

TABELL 03.02 - KR02

## KAPITTEL 4

### FUNKSJONELLE KRAV

Dette kapitelet tar for seg de funksjonelle kravene for systemet vi skal utvikle. De funksjonelle kravene er definert som krav som spesifiserer de faktiske funksjonene et system skal utføre. Med andre ord skal det beskrives hvordan systemet skal fungere og hvordan det skal håndtere forskjellige situasjoner.

KF01 – ALGORITME FOR MIKROKONTROLLER	
Krav ID:	KF01
Dato:	16.11.10
Fremsatt av:	Tronrud Engineering
Prioritet:	Høy
Beskrivelse:	Algoritme for mikrokontrolleren skal utvikles av prosjektgruppen. Denne algoritmen skal utvikles med hensyn på stramming av renningen.

TABELL 04.01 - KF01

KF02 – DRIVERBRO	
Krav ID:	KF02
Dato:	16.11.10
Fremsatt av:	Tronrud Engineering
Prioritet:	Høy
Beskrivelse:	Driverbroen skal modifiseres slik at den tåler 14A.

TABELL 04.02 - KF02

KF03 – STREKKLAPPER	
Krav ID:	KF03
Dato:	10.11.10
Fremsatt av:	Tronrud Engineering
Prioritet:	Middels
Beskrivelse:	Muligheten for å implementere strekkklapper skal undersøkes. Valg og implementering av strekkklapper bør ta hensyn til at det er store variasjoner i belastning på bommene, ut fra antall moduler i veven. Optimal plassering av strekkklapper i de ikke-roterende bommene skal også utledes av prosjektgruppen.

TABELL 04.03 - KF03

KF04 – ATTINY861 PINOUT, DIGITAL SPEED INTERFACE	
Krav ID:	KF04
Dato:	16.11.10
Fremsatt av:	Tronrud Engineering
Prioritet:	Høy
Beskrivelse:	<p>Det er fremsatt følgende krav angående bruk av pinout på ATtiny861:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- PB0 – PB5 går til fasene</li> <li>- PB6 er til BK</li> <li>- PB7 til reset/enable</li> <li>- PA0 PA2 er til TWI for I2C slave kommandoer for retning og speed</li> <li>- PA1 til PG (Speed pulse output)</li> <li>- PA3 – PA5 er til Hall sensorer</li> <li>- PA6 – PA7 er til shuntresistorer</li> </ul>

TABELL 04.04 - KF04

<b>KF06 – REGULERINGSALGORITME MED HENSYN PÅ DIAMETER</b>	
Krav ID:	KF06
Dato:	16.11.10
Fremsatt av:	Tronrud Engineering
Prioritet:	Høy
Beskrivelse:	Det skal utvikles en reguleringsalgoritme med hensyn på forskjellige diameter på bommene, som igjen krever hastighetsregulering eller ulik vinkelrotasjon på BLDC-motorene.

TABELL 04.06 – KF06

<b>KF07 – PULS-BREDDE-MODULASJON</b>	
Krav ID:	KF07
Dato:	16.11.10
Fremsatt av:	Tronrud Engineering
Prioritet:	Høy
Beskrivelse:	Puls-bredde-modulasjon skal brukes til å styre hastigheten til BLDC-motorene.

TABELL 04.07 - KF07

<b>KF08 – ELEKTRONIKKEN TIL 3-FASE BLDC-MOTOR</b>	
Krav ID:	KF08
Dato:	10.11.10
Fremsatt av:	Tronrud Engineering
Prioritet:	Høy
Beskrivelse:	Elektronikken til en 3-fase BLDC-kontroller og BLDC-driver skal utvikles av prosjektgruppen.

TABELL 04.08 - KF08

**KF09 – KONSTRUKSJONSSTØRRELSE**

Krav ID:	KF09
Dato:	16.11.10
Fremsatt av:	Tronrud Engineering
Prioritet:	Høy
Beskrivelse:	Konstruksjonen skal ha 3-forskjellige størrelser. Bredden har 2, 3 og 4 blokker. Kravet er å designe bommer som skal brukes til den største konstruksjonen med 44 moduler/blokker.

TABELL 04.09 - KF09

**KF10 – STIVHET OG STYRKE**

Krav ID:	KF10
Dato:	16.11.10
Fremsatt av:	Tronrud Engineering
Prioritet:	Høy
Beskrivelse:	Hver modul kontrollerer 220 tråder. Hver tråd har en kraft på 0,606N. Bommene skal tåle en total belastning som en følge av spenning i trådene. Maksimal stramning skal ikke overgå den belastningen 32 moduler gir. Det bør også ses på styrke rundt området der skruene festes.

TABELL 04.10 – KF10

**KF11 – BELASTNING**

Krav ID:	KF11
Dato:	16.11.10
Fremsatt av:	Tronrud Engineering
Prioritet:	Middels
Beskrivelse:	Finne ut hvor det er mest spenning (bøyning) i bommene. Maksimal utbøyning overstiger ikke 4mm for hver bom.

TABELL 04.11 - KF11



KF12 – INDRE GEOMETRI PÅ BOMMENE	
Krav ID:	KF12
Dato:	21.12.10
Fremsatt av:	Tronrud Engineering
Prioritet:	Middels
Beskrivelse:	Den indre geometrien skal gi rom for innfestning av to skruer, som er posisjonert i henhold til beskrivelsene som er gitt av TE.

TABELL 04.12 - KF12

KF13 – INNFESTNING AV BOMMENE	
Krav ID:	KF13
Dato:	21.12.10
Fremsatt av:	Tronrud Engineering
Prioritet:	Lav
Beskrivelse:	Innfestning av bommene bør revurderes av prosjektgruppen.

TABELL 04.13 - KF13

KF14 – DESIGN AV BOMMENE	
Krav ID:	KF14
Dato:	21.12.10
Fremsatt av:	Tronrud Engineering
Prioritet:	Middels
Beskrivelse:	Designet til bommene, samt den tilhørende løsningen for innfestning bør ikke kreve store endringer til resten av veven (primært armene som holder bommene)

TABELL 04.14 - KF14

## KAPITTEL 5

### MASKINVARE KRAV

Med maskinvare menes det alle komponentene som et system består av. I oppgavebeskrivelsen har oppdragsgiver allerede kommet med flere av komponentene og maskinvaren de tenker at vi skal benytte oss av i oppgaveløsningen vår.

Prioriteten til maskinvarekravene er satt til middels. Dette er på grunn av at komponentene er satt som et utgangspunkt, men ikke er fastsatte. Dette er noe som vil komme frem under løsningsprosessen.

KM01 – ME060AS307_P5	
Krav ID:	KM01
Dato:	23.12.10
Fremsatt av:	Tronrud Engineering
Prioritet:	Middels
Beskrivelse:	Elektrisk børsteløs 3-fasemotor.

TABELL 05.01 - KM01

KM02 – ATTINY861	
Krav ID:	KM02
Dato:	16.11.10
Fremsatt av:	Tronrud Engineering
Prioritet:	Middels
Beskrivelse:	8-bits mikrokontroller fra Atmel [1].

TABELL 05.02 - KM02

KM03 – I <sup>2</sup> C-BUSS	
Krav ID:	KM03
Dato:	16.11.10
Fremsatt av:	Tronrud Engineering
Prioritet:	Middels
Beskrivelse:	Seriellkommunikasjonsbuss med Master/Slave oppsett [2].

TABELL 05.03 - KM03

KM04 – ELEKTRONIKKDESIGN	
Krav ID:	KM04
Dato:	16.11.10
Fremsatt av:	Tronrud Engineering
Prioritet:	Høy
Beskrivelse:	Et kretskort til en BLDC motorkontroller/driver skal utvikles. Dette skal hovedsakelig inneholde styringskrets med grensesnitt mot både eksternt styringskort og motor (hall sensor), samt 3-fase utgangstrinn (power stage) til å drive motor. Styringskrets vil være sentrert rundt en ATtiny861. 3-fase utgangstrinn vil bestå av 3 halvbroer. Kretskortet vil være inspirert av AVR 439/469/496/444 [3], samt kommersielle BLDC motorkontrollere/drivere.

TABELL 05.04 - KM04

KM06 – BUSCK SB025	
Krav ID:	KM06
Dato:	21.12.10
Fremsatt av:	Tronrud Engineering
Prioritet:	Middels
Beskrivelse:	Vinkelgir med utveksling på 5:1.

TABELL 05.05 - KM06

## KAPITTEL 6

### ANDRE KRAV

Dette kapittelet tar for seg andre krav som har blitt framsatt av oppdragsgiver. Med andre krav menes ikke funksjonelle krav.

KA01 – KOMPONENTMONTERING	
Krav ID:	KA01
Dato:	16.11.10
Framsatt av:	Tronrud Engineering
Prioritet:	Lav
Beskrivelse:	Det bør brukes komponenter som er enkle å lodde for prototypen.

TABELL 06.01 - KA01

KA02 – MATERIALE	
Krav ID:	KA02
Dato:	16.11.10
Framsatt av:	Tronrud Engineering
Prioritet:	Middels
Beskrivelse:	Det skal tas hensyn til både pris og vekt når det gjelder valg av materiale til å designe alle fire bommene.

TABELL 06.02 - KA02

KA04 – GEOMETRI	
Krav ID:	KA04
Dato:	16.11.10
Framsatt av:	Tronrud Engineering
Prioritet:	Høy
Beskrivelse:	Prosjektgruppen skal finne optimal geometri for maksimal stivhet og lavest mulig vekt.

TABELL 06.03 - KA03

## KAPITTEL 7

### VEDLIKEHOLDSINFORMASJON

Dette kapitlet er ment for å beskrive de fundamentale forutsetningene som systemet er basert på. Vi har valgt å dele dette kapitlet inn i to deler. Først vil ta for oss vedlikehold av den elektroniske delen av systemet, og deretter vil vi tar for oss vedlikehold av den mekaniske delen av systemet.

#### 7.1 - VEDLIKEHOLD AV DEN ELEKTRONISKE DELEN

Komponentene i den elektroniske biten av systemet som trenger eventuell vedlikehold er algoritmen og BLDC-motorene.

Algoritmen kommer til å trenge liten vedlikehold, så lenge programmeringskoden er fungerende. Dette tar også for seg de angitte pinouts til mikrokontrolleren, noe som også ikke endrer programmeringskoden, med mindre man bytter ut mikrokontrolleren med en annen type eller modell fra en annen fabrikant.

BLDC-motorene trenger utskiftning etter hvert, grunnet slitasje og begrenset levetid.

Andre komponenter som kan trenge vedlikehold er kretskortet som styrer motorene, samt kommunikasjonsbussen.

Det er stor sannsynlighet for at prosjektgruppen kommer til å sette bort produksjonen av kretskortet, samt at komponentene blir maskinmontert. På grunnlag av dette vil vedlikeholdsarbeidet her bli enkel feilsøking for å finne og bytte ut komponenter (hvis komponentene står på sokler) eller at man bytter ut hele kortet.

#### 7.2 – VEDLIKEHOLD AV DEN MEKANISKE DELEN

Når man analyserer vedlikehold av den mekaniske delen, så vil man se at begge bommene (varebom og renningsbom) har lik ytre og indre geometri. Dette innebærer at man ved en eventuell slitasje kan ekstrudere en type bom som både kan brukes som varebom og renningsbom. Dette prinsippet gjelder også brystbommen og bakbommen.

Sikkerhetsfaktoren skal legges til grunn ved dimensjonering av bommene, og betegner forholdet mellom materiales bruddgrense og den påkjenning man kan tillate at de utsettes for.

Låseenheten på bommene skal være identiske. En eventuell endring i bredden av konstruksjonen vil resultere i en endring i kun bredden av bommene. Med andre ord blir det ingen endring i metoden å feste bommene på selve maskinen.

## REFERANSER

- [1] Tittel: ATtiny 861 Summary  
Webadresse: [atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/7753S.pdf](http://atmel.com/dyn/resources/prod_documents/7753S.pdf)  
Sist besøkt: 19.12.10
- [2] Tittel: I<sup>2</sup>C-Bus Spesification  
Webadresse: [nxp.com/acrobat\\_download2/literature/9398/39340011.pdf](http://nxp.com/acrobat_download2/literature/9398/39340011.pdf)  
Sist besøkt: 19.12.10
- [3] Tittel: AVR-469: MC301 Hardware User Guide  
Webadresse: [atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc8195.pdf](http://atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8195.pdf)  
Sist besøkt: 19.12.10







## *Thread Control System*

---

# TESTPLAN

---

VERSJON	DATO	BESKRIVELSE
OD-02	06.01.11	Andre offisielle dokument

NAVN	SIGNATUR
LARS THORVALD LIE	
JAPRIT SINGH THAKKAR	
BABAR IQBAL	
REBAZ JAWHER	

## INNHOLDSFORTEGNELSE

DOKUMENTHISTORIE OG AKRONYMER	03
01 - INNLEDNING	04
02 - TESTTYPER	05
2.1 – Statisk testing	05
2.2 – Dynamisk testing	05
03 - TESTSTRATEGI	06
3.1 – Inkrementell testing	06
3.2 – Funksjonell testing	06
3.2 – Strukturell testing	07
04 - TESTRUTINER	08
4.1 – Inspeksjon av algoritme	08
4.2 – Inspeksjon/testing av funksjonelle krav	08
4.3 – Inspeksjon av sikkerhet	08
05 - TESTVERKTØY	09

## DOKUMENTHISTORIE OG AKRONYMER

### DOKUMENTHISTORIE

VERSJON	DATO	ENDRINGER
0.0	20.12.10	Sammensatt til et felles dokument
0.1	03.01.10	Lagt til innholdsfortegnelse
1.0	03.01.10	Første offisielle dokument
1.1	06.01.11	Skrev om nivåtesting Oppdaterte innholdsfortegnelse
2.0	06.01.11	Andre offisielle dokument

TABELL 00.01 - DOKUMENTHISTORIE

### AKRONYMER

AKRONYM	
TE	Tronrud Engineering
PT	POINTechnologies
FEM	Finite Element Method

TABELL 00.02 - AKRONYMER

## KAPITTEL 1

### INNLEDNING

Dette dokumentet inneholder beskrivelser om testene som skal utføres av POINTechnologies, for å verifisere og validere maskinvaren og programvaren til systemet. Disse testene vil bli utført for å verifisere at vi bygger produktet riktig, samt for å validere at vi bygger det riktige produktet. Hensikten med dette dokumentet er å gi en beskrivelse av hvordan vi skal utføre testene, samt å gi en beskrivelse av hvilke verktøy som prosjektgruppen kommer til å benytte.

Tidligst mulig start av testing, samt at testplanen følges vil gjøre det mulig for prosjektgruppen å kunne oppdage feil og mangler. Testingen kan også utføres senere i prosjektet, men dette kan føre til at de feilene som kunne ha blitt oppdaget tidligere dessverre ikke blir oppdaget, før på et senere tidspunkt. Slike feil kan resultere i at prosjektgruppen og oppdragsgiver taper tid og penger. Prosjektgruppen anser det derfor som svært viktig at testplanen følges, for at sluttproduktet og prosjektet i sin helhet skal bli vellykket.

## KAPITTEL 2

### TESTTYPER

Det finnes flere ulike testtyper som kan utføres under utvikling av et produkt. Vi ønsker å ta i bruk både dynamiske og statiske tester for å utføre verifisering og validering for vårt system. I dette kapitlet vil vi ta for oss testtypene vi kommer til å benytte i denne prosjektoppgaven.

#### 2.1 – STATISK TESTING

Statisk testing går ut på å sjekke kravspesifikasjon og sluttproduktet ved å bruke strukturerte gjennomganger. Statisk testing er en form av formell verifisering og analyse, som baserer seg på å sjekke et dokument eller produkt mot en eller flere spesifikasjoner.

#### 2.2 – DYNAMISK TESTING

Dynamisk testing går ut på å teste produktet vi lager, ved å simulere, teste og bruke selve produktet. Denne typen testing utføres i de fleste tilfeller mot slutten av prosjektet. Grunnlaget for dette er at vi må ha et produkt å teste. Dynamisk testing på et produkt utføres ved hjelp av to typer testdata. Disse to testdataene er statisk testing og feilfinning.

Statisk testing brukes for å kunne gi et tall på driftsikkerheten til systemet. Denne testen utføres ved å velge inndata til systemet lik de dataene som kommer til systemet når det er i virkelig drift.

Feilfinning utføres for å avdekke feil i systemet, og utføres ved å skrive tester slik at de fremprovoserer feil i selve systemet.

## KAPITTEL 3

### TESTSTRATEGI

Dette kapitlet tar for seg strategier som skal benyttes av prosjektgruppen ved testing. En teststrategi er definert som en generell metode for å gjennomføre tester. Prosjektgruppen har valgt å benytte inkrementell testing som sin teststrategi i dette prosjektet.

#### 3.1 – INKREMENTELL TESTING

Inkrementell testing er en modifisert utgave av bottom-up testing, hvor de mest kritiske modulene testes først. De forskjellige delene av systemet testes hver for seg. På denne måten kan man prioritere de viktige delene av systemet og teste disse delene når de lages.

Dette vil med andre ord si at vi vil utføre testingen i forskjellige nivåer. En typisk oppdeling av testene blir da:

- Enhetstesting, der man tester enkeltkomponenter. Dette vil skje kontinuerlig gjennom prosessen.
- Modultesting, hvor man tester deler av et system, eller samsvaret mellom flere systemer/moduler. Dette vil skje så fort de nødvendige delsystemene er klare.
- Integrasjonstesting, hvor man tester modulene i et endelig system.

#### 3.2 – FUNKSJONELL TESTING

Funksjonell testing baserer seg på at vi ser på systemet utenifra. Et annet navn for funksjonelltesting er Black-box testing. Grunnlaget for dette navnet er at vi anser systemet som en sort boks, med andre ord vet vi ikke hva som er inne i systemet. Denne sorte boksen har en mengde innganger og utganger. Hver gang vi sender noe inn i inngangen, så forventer vi å få en respons på utgangen. Denne responsen blir så sammenlignet med den forventede responsen.

De funksjonelle testene utarbeides med utgangspunkt i kravspesifikasjonen.

### **3.2 – STRUKTURELL TESTING**

Strukturell testing som også er kjent under navnet White-box testing, baserer seg på kjennskap til den interne oppbyggingen av systemet. Med andre ord er White-box testing det motsatte av Black-box testing som ble beskrevet i forrige avsnitt.

Den store fordelen med denne teststrategien er at den som tester kan analysere oppbygningen, samt at personen som utfører testene har detaljert kunnskap om hva som er inne i systemet.

## KAPITTEL 4

### TESTRUTINER

Dette kapitlet tar for seg hvordan testrutinene vil foregå underveis i prosjektet.

#### **4.1 – INSPEKSJON AV ALGORITME**

Måten gruppen kommer til å teste om algoritmen vi har skrevet er riktig, er ved at en av de andre gruppemedlemmene får i oppgave å rettlese programmeringskoden. Gruppen kommer også til å kontakte en ansatt ved HiBu og TE til å se over grammatikk og programflyt.

#### **4.2 – INSPEKSJON/TESTING AV FUNKSJONELLE KRAV**

Når vi skal til å teste de funksjonelle kravene, vil vi dele opp testene i en elektronikkdel og en maskindel. Disse testene vil bli gjennomført på testtriggen gitt av TE.

#### **4.3 – INSPEKSJON AV SIKKERHET**

Gruppen må ta i betraktning at prototypen er sikker og fungerer på en trygg måte. Dette er grunnet at maskinen brukes av personer som står helt inntil den. Det må derfor gjøres forebyggende tiltak for å eliminere risikofaktoren.



## KAPITTEL 5

### TESTVERKTØY

Følgende utstyr og programvare vil bli benyttet under testing:

- Digitalt multimeter (for å måle spenning, strøm og motstand)
- OrCad
- AVR Studio (Versjon 4)
- Newton fjær
- PSpice
- FEM analyse
- AVR Dragon
- Spenningsforsyning





*Thread Control System*

---

## TESTSPESIFIKASJON

---

VERSJON	DATO	BESKRIVELSE
OD-02	17.04.11	Første offisielle dokument

NAVN	SIGNATUR
LARS THORVALD LIE	
JAPRIT SINGH THAKKAR	
BABAR IQBAL	
REBAZ JAWHER	

## INNHOLDSFORTEGNELSE

DOKUMENTHISTORIE OG AKRONYMER	04
01 - INNLEDNING	05
1.1 – Oppdeling av tester	05
1.2 – Sporbarhet	05
02 - TESTER FOR RAMMEKRAV	06
03 - FUNKSJONELLE TESTER	10
04 - MASKINVARE TESTER	27
05 - TESTER FOR ANDRE KRAV	38

## INNHOLDSFORTEGNELSE FOR TABELLER

Tabell 01.01 - TESTTYPER	05
Tabell 02.01 - TR01A	06
Tabell 02.02 - TR01B	07
Tabell 02.03 - TR02A	08
Tabell 02.03 - TR02B	09
Tabell 03.01 - TF01A	10
Tabell 03.02 - TF01A	11
Tabell 03.03 - TF02	12
Tabell 03.04 - TF03A	13
Tabell 03.05 - TF03B	14
Tabell 03.06 - TF04A	15
Tabell 03.07 - TF04B	16
Tabell 03.08 - TF06	17
Tabell 03.09 - TF07	18
Tabell 03.10 - TF09	19
Tabell 03.11 - TF10A	20
Tabell 03.12 - TF10B	21
Tabell 03.13 - TF11	22
Tabell 03.14 - TF12	23
Tabell 03.15 - TF13	24
Tabell 03.16 - TF14	25
Tabell 03.17 - TF15	26
Tabell 04.01 - TM01	27
Tabell 04.02 - TM02	28
Tabell 04.03 - TM03	29
Tabell 04.04 - TM04	30
Tabell 04.05 - TM05	31
Tabell 04.06 - TM06	32
Tabell 04.07 - TM07	33
Tabell 04.08 - TM08	34
Tabell 04.09 - TM09	35
Tabell 04.10 - TM10	36
Tabell 04.11 - TM11	37
Tabell 05.01 - TA01	38
Tabell 05.02 - TA02	39
Tabell 05.03 - TA04	40

## DOKUMENTHISTORIE OG AKRONYMER

### DOKUMENTHISTORIE

VERSJON	DATO	ENDRINGER
0.0	29.12.10	Sammensatt til et felles dokument
0.1	06.01.11	Lagt til innholdsfortegnelse
1.0	06.01.11	Første offisielle dokument
1.1	16.02.11	Lagt til TR01B, TR02B, TF01B, TF03B, TF10B, TF15, TF16, TM05, TM06, TM07, TM08, TM09, TM10, TM11, TF4B.
2.0	17.04.11	Andre offisielle dokument

### AKRONYMER

AKRONYM	
BLDC	Børsteløs likestrømmotor
IC	Integrated Circuit
FEM	Finite Element Method
I <sup>2</sup> C	Inter-Integrated Circuit
TE	Tronrud Engineering
TWI	Two Wire Interface

## KAPITTEL 1

### INNLEDNING

Dette dokumentet gir informasjon om hvordan testing skal utføres, samt hvilket utstyr som skal benyttes av prosjektgruppen under testing. Testspesifikasjonen gir også en beskrivelse av hver test, og danner grunnlaget for at prosjektgruppen skal klare å måle om vi har møtt kravene som ble fastsatt i kravspesifikasjonen. Med andre ord vil dette dokumentet i hovedsak gi en detaljert beskrivelse av hvordan testene skal utføres.

#### 1.1 – OPPDELING AV TESTER

Testene i dette dokumentet er fordelt inn i fire kategorier, slik som kravene var i kravspesifikasjonen. Disse kategoriene er

1. Test av rammekrav
2. Test av funksjonelle krav
3. Test av maskinvarekrav
4. Test av andre krav.

#### 1.2 - SPORBARHET

Testspesifikasjonen er konstruert med tanke på sporbarhet. Hver test har sin unike test ID. Tabell 01.01 gir en illustrasjon av testtypene som danner grunnlaget for oppbygningen av test ID.

FORKORTEELSE	TESTTYPE
TR	Test av rammekrav
TF	Test av funksjonelle krav
TM	Test av maskinvarekrav
TA	Test av andre krav

TABELL 01.01 - TESTTYPER

Test ID-en er bygget opp slik: "TKX", T står for test, K står for testtype, og X er et tall.

## KAPITTEL 2

### TESTER FOR RAMMEKRAV

TR01A – SIKKERHETSSTANDARD	
<b>TEST IDENTIFIKASJON</b>	
Test ID:	TR01A
Test navn:	Sikkerhetsstandard
Opprettet av:	Prosjektgruppe 2011-10
Opprettet dato:	22.12.10
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KR01
Testrapport ID:	RR01
<b>TEST INFORMASJON</b>	
Testtype:	Dynamisk
Testkriterier:	
Testbeskrivelse:	Prototypen skal kjøres med full belastning
Forventet resultat:	Prototypen skal oppføre seg normalt selv om den er fullt belastet, og den skal ikke være skadelig for liv og eiendom.

TABELL 02.01 – TR01A



TR01B – NØDSTOPP TEST	
<b>TEST IDENTIFIKASJON</b>	
Test ID:	TR01B
Test navn:	Nødstop test
Opprettet av:	Prosjektgruppe 2011-10
Opprettet dato:	03.01.11
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KR01
Testrapport ID:	RR01
<b>TEST INFORMASJON</b>	
Testtype:	Dynamisk
Testkriterier:	Testen utføres på prototype.
Testbeskrivelse:	Denne testen går ut på å sjekke om det er mulig å stoppe systemet umiddelbart dersom det skulle oppstå et uhell.
Forventet resultat:	Systemet stopper når vi trykker inn nødstop knappen.

TABELL 02.02 – TR01B

TR02A – TEMPERATUR	
<b>TEST IDENTIFIKASJON</b>	
Test ID:	TR02A
Test navn:	Temperatur
Opprettet av:	Prosjektgruppe 2011-10
Opprettet dato:	22.12.10
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KR02
Testrapport ID:	RR02A
<b>TEST INFORMASJON</b>	
Testtype:	Dynamisk
Testkriterier:	Termometer
Testbeskrivelse:	Prototypen vil bli testet med temperatur mellom 16°C–34°C.
Forventet resultat:	Prototypen skal oppføre seg normalt mellom overnevnte temperaturer. Det skal ikke oppstå noen uforutsette hendelser.

TABELL 02.03 – TR02A

TR02B – LUFTFUKTIGHET	
<b>TEST IDENTIFIKASJON</b>	
Test ID:	TR02B
Test navn:	Luftfuktighet
Opprettet av:	Prosjektgruppe 2011-10
Opprettet dato:	22.12.10
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KR02B
Testrapport ID:	RR02B
<b>TEST INFORMASJON</b>	
Testtype:	Dynamisk
Testkriterier:	Luftfuktighetsmåler
Testbeskrivelse:	Prototypen vil bli testet i en luftfuktighet intervall 20% Rf – 60% Rf.
Forventet resultat:	Prototypen skal oppføre seg normalt mellom overnevnte luftfuktighetsnivåer. Det skal ikke oppstå noen uforutsette hendelser.

TABELL 02.03– TR02B

## KAPITTEL 3

### FUNKSJONELLE TESTER

TF01A – ALGORITME FOR MIKROKONTROLLER	
<b>TEST IDENTIFIKASJON</b>	
Test ID:	TF01A
Test navn:	Algoritme for mikrokontroller
Opprettet av:	Prosjektgruppe 2011-10
Opprettet dato:	28.12.10
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KF01
Testrapport ID:	RF01
<b>TEST INFORMASJON</b>	
Testtype:	Statisk
Testkriterier:	AVR Studio 4
Testbeskrivelse:	Debugger og compiler blir benyttet for å verifisere at det ikke er noen grammatiske feil i koden.
Forventet resultat:	Algoritmen skal fungere optimalt uten uforutsette hendelser som for eksempel krasj.

TABELL 03.01 – TF01A

TF01B – KODEINSPEKSJON	
<b>TEST IDENTIFIKASJON</b>	
Test ID:	TF01B
Test navn:	Kodeinspeksjon
Opprettet av:	Prosjektgruppe 2011-10
Opprettet dato:	06.01.11
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KF01
Testrapport ID:	RF01
<b>TEST INFORMASJON</b>	
Testtype:	Statisk
Testkriterier:	AVR Studio 4
Testbeskrivelse:	Gir en av de andre gruppelemmene i oppgave å rettlese programmeringskoden, for eliminere eventuelle grammatiske feil i koden.
Forventet resultat:	Algoritmen skal fungere optimalt uten uforutsette hendelser som for eksempel krasj.

TABELL 03.02 – TF01A

TF02 – DRIVERBRO	
<b>TEST IDENTIFIKASJON</b>	
Test ID:	TF02
Test navn:	Driverbro
Opprettet av:	Prosjektgruppe 2011-10
Opprettet dato:	22.12.10
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KF02
Testrapport ID:	RF02
<b>TEST INFORMASJON</b>	
Testtype:	Dynamisk
Testkriterier:	Amperemeter
Testbeskrivelse:	Amperemeter vil bli brukt for å måle at det går minimum 14A gjennom driverbroen.
Forventet resultat:	Driverbroen skal tåle en strøm på minimum 14A.

TABELL 03.03 – TF02

<b>TF03A – OPTIMAL PLASSERING AV STREKKLAPPER</b>	
<b>TEST IDENTIFIKASJON</b>	
Test ID:	TF03A
Test navn:	Optimal plassering av strekkklapper
Opprettet av:	Prosjektgruppe 2011-10
Opprettet dato:	22.12.10
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KF03
Testrapport ID:	RF03A
<b>TEST INFORMASJON</b>	
Testtype:	Dynamisk
Testkriterier:	Voltmeter
Testbeskrivelse:	Testen går ut på at vi setter strekkklapper på forskjellige steder på bommene for å finne den optimale plasseringen.
Forventet resultat:	Vi klarer å implementere strekkklappene og finne optimal plassering av strekkklapper.

TABELL 03.04 – TF03A

TF03B – STREKKLAPP	
<b>TEST IDENTIFIKASJON</b>	
Test ID:	TF03B
Test navn:	Strekkklapp
Opprettet av:	Prosjektgruppe 2011-10
Opprettet dato:	17.02.11
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KF03
Testrapport ID:	RF03B
<b>TEST INFORMASJON</b>	
Testtype:	Dynamisk
Testkriterier:	Multimeter
Testbeskrivelse:	Denne testen går ut på å benytte utstyr fra skolens laboratorier, for å finne ut at det er mulig å detektere deformasjon ved å ha strekkklapper bare på innsiden av bommen.
Forventet resultat:	Finner gruppen ut at det er mulig å detektere deformasjonen ved å ha strekkklapper bare på innsiden av bommen

TABELL 03.05 – TF03B



TF04A – ATTINY 861 PINOUT	
<b>TEST IDENTIFIKASJON</b>	
Test ID:	TF04A
Test navn:	ATTiny 861 pinout
Opprettet av:	Prosjektgruppe 2011-10
Opprettet dato:	28.12.10
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KF04
Testrapport ID:	RF04A
<b>TEST INFORMASJON</b>	
Testtype:	Statisk
Testkriterier:	AVR Studio 4
Testbeskrivelse:	Testen går ut på at vi benytter view funksjonen i AVR Studio for å sjekke om vi har forventede signaler på utgang.
Forventet resultat:	Riktige verdier/signaler på pin-outene på ATtiny861.

TABELL 03.06 – TF04A

TF04B – ATMEGA16 PINOUT	
<b>TEST IDENTIFIKASJON</b>	
Test ID:	TF04B
Test navn:	ATmega 16 Pinout
Opprettet av:	Prosjektgruppe 2011-10
Opprettet dato:	03.02.11
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	
Testrapport ID:	RF04B
<b>TEST INFORMASJON</b>	
Testtype:	Statisk
Testkriterier:	AVR Studio 4
Testbeskrivelse:	Testen går ut på at vi benytter view funksjonen i AVR Studio for å sjekke om vi har forventede signaler på utgang.
Forventet resultat:	Riktige verdier/signaler på pinoutene på ATtiny861.

TABELL 03.07 – TF04B

TF06 – REGULERINGSALGORITME	
<b>TEST IDENTIFIKASJON</b>	
Test ID:	TF06
Test navn:	Reguleringsalgoritme
Opprettet av:	Prosjektgruppe 2011-10
Opprettet dato:	28.12.10
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KF06
Testrapport ID:	RF06
<b>TEST INFORMASJON</b>	
Testtype:	Statisk
Testkriterier:	AVR Studio 4
Testbeskrivelse:	Testen går ut på at vi sjekker overføring av informasjonen fra BLDC-motorene til mikrokontrolleren, for å se hva diameteren er til en hver tid.
Forventet resultat:	Reguleringsalgoritmen skal fungere optimalt på forskjellige diameter.

TABELL 03.08 – TF06

TF07 – PULS-BREDDE-MODULASJON	
<b>TEST IDENTIFIKASJON</b>	
Test ID:	TF07
Test navn:	Puls-bredde-modulasjon
Opprettet av:	Prosjektgruppe 2011-10
Opprettet dato:	03.01.11
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KF07
Testrapport ID:	RF07
<b>TEST INFORMASJON</b>	
Testtype:	Dynamisk
Testkriterier:	Måleinstrument for rotasjonshastighet.
Testbeskrivelse:	Benytter et eksternt måleinstrument for å måle hastighet, når vi sender ut forskjellige pulsbredder. Eksempel på måleinstrument som kan benyttes er optisk enkoder eller tachometer.
Forventet resultat:	Vi skal klare å regulere hastigheten ved bruk av puls-bredde-modulasjon.

TABELL 03.09 – TF07

TF09 – KONSTRUKSJONSSTØRRELSE	
<b>TEST IDENTIFIKASJON</b>	
Test ID:	TF09
Test navn:	Konstruksjonsstørrelse
Opprettet av:	Prosjektgruppe 2011-10
Opprettet dato:	23.12.10
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KF09
Testrapport ID:	RF09
<b>TEST INFORMASJON</b>	
Testtype:	Dynamisk
Testkriterier:	FEM analyse
Testbeskrivelse:	Testen går ut på at vi tester den mekaniske løsningen for konstruksjonsstørrelse, med 44 moduler i FEM analyse.
Forventet resultat:	Bommene skal tåle maksimal stramning.

TABELL 03.10 – TF09

<b>TF10A – STIVHETSTEST</b>	
<b>TEST IDENTIFIKASJON</b>	
Test ID:	TF10A
Test navn:	Stivhetstest
Opprettet av:	Prosjektgruppe 2011-10
Opprettet dato:	23.12.10
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KF10
Testrapport ID:	RF10A
<b>TEST INFORMASJON</b>	
Testtype:	Statisk
Testkriterier:	FEM analyse
Testbeskrivelse:	Benytter FEM analyse for å teste hvor mye bommene vil bli bøyd etter at de blir påført kraft. Maksimal stramming er den belastningen 32 moduler vil gi.
Forventet resultat:	Maksimal utbøyning skal ikke overstige 4mm for hver bom.

TABELL 03.11 – TF10A

TF10B – STYRKETEST	
<b>TEST IDENTIFIKASJON</b>	
Test ID:	TF10B
Test navn:	Styrketest
Opprettet av:	Prosjektgruppe 2011-10
Opprettet dato:	27.12.10
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KF10
Testrapport ID:	RF10B
<b>TEST INFORMASJON</b>	
Testtype:	Statisk
Testkriterier:	FEM analyse
Testbeskrivelse:	Tester styrken rundt området der skruene festes i bommene, ved hjelp av FEM analyse.
Forventet resultat:	Området der skruene festes må tåle maksimal stramming.

TABELL 03.12 – TF10B

TF11 – MAKSIMAL UTBØYNING	
<b>TEST IDENTIFIKASJON</b>	
Test ID:	TF11
Test navn:	Maksimal utbøyning
Opprettet av:	Prosjektgruppe 2011-10
Opprettet dato:	27.12.10
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KF11
Testrapport ID:	RF11
<b>TEST INFORMASJON</b>	
Testtype:	Statisk
Testkriterier:	FEM analyse
Testbeskrivelse:	Benytter FEM analyse for å finne ut hvor maks bøyning er i bommene.
Forventet resultat:	Maksimal utbøyning skal ikke overstige 4mm for hver bom.

TABELL 03.13 – TF11



TF12 – INDRE GEOMETRI	
<b>TEST IDENTIFIKASJON</b>	
Test ID:	TF12
Test navn:	Indre geometri
Opprettet av:	Prosjektgruppe 2011-10
Opprettet dato:	22.12.10
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KF12
Testrapport ID:	RF12
<b>TEST INFORMASJON</b>	
Testtype:	Statisk
Testkriterier:	SolidWorks
Testbeskrivelse:	Siden bommene sannsynligvis ikke blir ekstrudert, får vi ikke testet bommene fysisk og sett om den indre geometrien har riktig dimensjonering for innfesting av to skruer. Dobbeltsjekker derfor en 2-D tegning som lages i SolidWorks.
Forventet resultat:	Indre geometri har rom for innfesting av to skruer.

TABELL 03.14 – TF12

<b>TF13 – INNFESTNING AV BOMMENE</b>	
<b>TEST IDENTIFIKASJON</b>	
Test ID:	TF13
Test navn:	Innfestning av bommene
Opprettet av:	Prosjektgruppe 2011-10
Opprettet dato:	03.01.11
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KF13
Testrapport ID:	RF13
<b>TEST INFORMASJON</b>	
Testtype:	Statisk
Testkriterier:	FEM analyse
Testbeskrivelse:	Forskjellige typer av innfesting av bommene vil bli testes og revurderes. Styrken i området rundt skruene vil bli overvåket under testen.
Forventet resultat:	Området som skruene festes i skal være sterk nok til å tåle beregnede påkjenninger.

TABELL 03.15 – TF13

TF14 – DESIGN AV BOMMENE	
<b>TEST IDENTIFIKASJON</b>	
Test ID:	TF14
Test navn:	Design av bommene
Opprettet av:	Prosjektgruppe 2011-10
Opprettet dato:	06.01.11
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KF14
Testrapport ID:	RF14
<b>TEST INFORMASJON</b>	
Testtype:	Statisk
Testkriterier:	SolidWorks
Testbeskrivelse:	Design av bommene samt løsning for innfesting av skruer sjekkes, og all dimensjonering lages i en 2D tegning.
Forventet resultat:	Design av bommene skal ikke føre til noen endring i konstruksjonen.

TABELL 03.16 – TF14

TF15 – OPERASJONSFORSTERKER	
<b>TEST IDENTIFIKASJON</b>	
Test ID:	TF15
Test navn:	Operasjonsforsterker
Opprettet av:	Prosjektgruppe 2011-10
Opprettet dato:	17.02.11
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	-
Testrapport ID:	RF15
<b>TEST INFORMASJON</b>	
Testtype:	Dynamisk
Testkriterier:	Testtrigg, OpAmp.
Testbeskrivelse:	Plasserer operasjonsforsterkeren først i nærheten av strekkloppene, deretter i nærheten av mastermikrokontrolleren for å teste hvor vi får mest støy.
Forventet resultat:	En av plasseringene gir minst støy.

TABELL 03.17 – TF15

## KAPITTEL 4

### MASKINVARE TESTER

TM01 – ME060AS307_P5	
<b>TEST IDENTIFIKASJON</b>	
Test ID:	TM01
Test navn:	ME060AS307_P5
Opprettet av:	Prosjektgruppe 2011-10
Opprettet dato:	06.01.11
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KM01
Testrapport ID:	RM01
<b>TEST INFORMASJON</b>	
Testtype:	Dynamisk
Testkriterier:	-
Testbeskrivelse:	Ved komponenttesting skal vi måle hastighet og posisjon til motoren, vi må også teste at vi kan styre hastighet og posisjon til motoren.
Forventet resultat:	Komponenten skal fungere i henhold til datablad.

TABELL 04.01 – TM01

TM02 – ATTINY 861	
<b>TEST IDENTIFIKASJON</b>	
Test ID:	TM02
Test navn:	ATtiny 861
Opprettet av:	Prosjektgruppe 2011-10
Opprettet dato:	06.01.11
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KM02
Testrapport ID:	RM02
<b>TEST INFORMASJON</b>	
Testtype:	Dynamisk
Testkriterier:	AVR Studio 4
Testbeskrivelse:	Vi tester mikrokontrolleren ved å benytte oss av ferdigprodusert kode som vi henter fra internett, og som er tilpasset komponenten. Eksempelkoden vil gi oss svar på om mikrokontrolleren oppfører seg slik som beskrevet
Forventet resultat:	Mikrokontrolleren skal fungere slik som spesifisert i datablad.

TABELL 04.02 – TM02

TM03 – I <sup>2</sup> C-BUSS	
<b>TEST IDENTIFIKASJON</b>	
Test ID:	TM03
Test navn:	I <sup>2</sup> C-BUSS
Opprettet av:	Prosjektgruppe 2011-10
Opprettet dato:	06.01.11
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KM03
Testrapport ID:	RM03
<b>TEST INFORMASJON</b>	
Testtype:	Dynamisk
Testkriterier:	AVR Studio 4
Testbeskrivelse:	Vi benytter to mikrokontrollere som blir koblet sammen via I <sup>2</sup> C-buss. Deretter sender vi verdier via bussen. Sjekker om riktige verdier blir mottatt. Undersøker også at det ikke oppstår datakrasj.
Forventet resultat:	Riktige verdier blir mottatt i begge ender, og det oppstår ingen datakrasj.

TABELL 04.03 – TM03

TM04 – ELEKTRONIKKDESIGN	
<b>TEST IDENTIFIKASJON</b>	
Test ID:	TM04
Test navn:	Elektronikkdesign
Opprettet av:	Prosjektgruppe 2011-10
Opprettet dato:	06.01.11
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KM01
Testrapport ID:	RM01
<b>TEST INFORMASJON</b>	
Testtype:	Dynamisk
Testkriterier:	Testen krever bruk av simuleringsverktøy
Testbeskrivelse:	Benytter PSpice for å studere oppførsel og adferd av systemet. Sjekker om konstruksjonen vi har gjort stemmer overens med den spesifiserte virkemåten.
Forventet resultat:	Konstruksjonen stemmer overens med spesifikasjon.

TABELL 04.04 – TM04



TM05 – AVRDRAGON	
<b>TEST IDENTIFIKASJON</b>	
Test ID:	TM05
Test navn:	AVRdragon
Opprettet av:	Prosjektgruppe 2011-10
Opprettet dato:	03.02.11
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	-
Testrapport ID:	RM05
<b>TEST INFORMASJON</b>	
Testtype:	Dynamisk
Testkriterier:	AVR studio, AVRdragon, STK 600
Testbeskrivelse:	Benytter watch-vinduet for å se om vi klarer å sette riktige verdier på utgangene til $\mu$ C stemmer. Eller eventuelt om vi får noen feilmeldinger.
Forventet resultat:	Setter verdier til porter, ser om dette stemmer med watch-vinduet.

TABELL 04.05 – TM05

TM06 – STK600	
<b>TEST IDENTIFIKASJON</b>	
Test ID:	TM06
Test navn:	STK600
Opprettet av:	Prosjektgruppe 2011-10
Opprettet dato:	03.02.11
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	-
Testrapport ID:	RM06
<b>TEST INFORMASJON</b>	
Testtype:	Dynamisk
Testkriterier:	AVR Studio, STK600
Testbeskrivelse:	Bruk eksempelkode for å sette opp $\mu$ C med eksempelkoder.
Forventet resultat:	Utviklingskortet fungerer uten problemer som for eksempel krasj og andre feilmeldinger.

TABELL 04.06 – TM06

TM07 – OPERASJONSFORSTERKER U741	
<b>TEST IDENTIFIKASJON</b>	
Test ID:	TM07
Test navn:	Operasjonsforsterker U741
Opprettet av:	Prosjektgruppe 2011-10
Opprettet dato:	03.02.11
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	-
Testrapport ID:	RM07
<b>TEST INFORMASJON</b>	
Testtype:	Dynamisk
Testkriterier:	Spenningskilde, 741CN OpAmp, bimboard, dekadeboks.
Testbeskrivelse:	Testen går ut på å koble opp en OpAmp krets for å måle gain.
Forventet resultat:	Forventer å se forsterkning av signalet.

TABELL 04.07 – TM07

TM08 - BIMBOARD	
<b>TEST IDENTIFIKASJON</b>	
Test ID:	TM08
Test navn:	Bimboard
Opprettet av:	Prosjektgruppe 2011-10
Opprettet dato:	03.02.11
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	-
Testrapport ID:	RM08
<b>TEST INFORMASJON</b>	
Testtype:	Dynamisk
Testkriterier:	Bimboard, multimeter
Testbeskrivelse:	Alle tilkoblingspinner testes om de er i brukbar tilstand.
Forventet resultat:	Kontakt i horisontal retning og ikke kontakt i vertikal retning.

TABELL 04.08 – TM08

TM09 – ATMEGA16A	
<b>TEST IDENTIFIKASJON</b>	
Test ID:	TM09
Test navn:	ATMega 16A
Opprettet av:	Prosjektgruppe 2011-10
Opprettet dato:	03.02.11
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	-
Testrapport ID:	RM09
<b>TEST INFORMASJON</b>	
Testtype:	Dynamisk
Testkriterier:	AVR Studio 4
Testbeskrivelse:	Vi tester mikrokontrolleren ved å benytte oss av ferdigprodusert kode som vi henter fra internett, og som er tilpasset komponenten. Eksempelkoden vil gi oss svar på om mikrokontrolleren oppfører seg slik som beskrevet
Forventet resultat:	Mikrokontrolleren skal fungere slik som spesifisert i datablad.

TABELL 04.09 – TM09

TM10 – SOCKET KORT	
<b>TEST IDENTIFIKASJON</b>	
Test ID:	TM10
Test navn:	Socket kort
Opprettet av:	Prosjektgruppe 2011-10
Opprettet dato:	03.02.11
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	-
Testrapport ID:	RM10
<b>TEST INFORMASJON</b>	
Testtype:	Dynamisk
Testkriterier:	AVR Studio 4
Testbeskrivelse:	Benytter AVR Studio for å sjekke om vi har valgt riktig socket kort.
Forventet resultat:	Vi benytter riktig socket kort

TABELL 04.10 – TM10

TM11 – ROUTINGKORT	
<b>TEST IDENTIFIKASJON</b>	
Test ID:	TM11
Test navn:	Routingkort
Opprettet av:	Prosjektgruppe 2011-10
Opprettet dato:	03.02.11
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	-
Testrapport ID:	RM11
<b>TEST INFORMASJON</b>	
Testtype:	Dynamisk
Testkriterier:	AVR Studio 4
Testbeskrivelse:	Benytter AVR Studio for å sjekke om vi har valgt riktig routing kort.
Forventet resultat:	Vi benytter riktig routingkort.

TABELL 04.11 – TM11

**KAPITTEL 5****TESTER FOR ANDRE KRAV**

<b>TA01 – KOMPONENTMONTERING</b>	
<b>TEST IDENTIFIKASJON</b>	
Test ID:	TA01
Test navn:	Komponentmontering
Opprettet av:	Prosjektgruppe 2011-10
Opprettet dato:	06.01.11
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KA01
Testrapport ID:	RA01
<b>TEST INFORMASJON</b>	
Testtype:	Statisk
Testkriterier:	OrCad
Testbeskrivelse:	Bestemme IC-typene i skjemategningsprogram.
Forventet resultat:	Kretskortet blir så enkelt som mulig.

TABELL 05.01 – TA01



TA02 – MATERIALE	
<b>TEST IDENTIFIKASJON</b>	
Test ID:	TA02
Test navn:	Materiale
Opprettet av:	Prosjektgruppe 2011-10
Opprettet dato:	06.01.11
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KA02
Testrapport ID:	RA02
<b>TEST INFORMASJON</b>	
Testtype:	Statisk
Testkriterier:	FEM analyse
Testbeskrivelse:	Benytter FEM analyse for å teste om materialet tåler påført kraft tilsvarende maksimal stramming av renningen.
Forventet resultat:	Materialet skal tåle maksimal belastning/innstramming av renningen.

TABELL 05.02 – TA02

TA04 – GEOMETRI	
<b>TEST IDENTIFIKASJON</b>	
Test ID:	TA04
Test navn:	Geometri
Opprettet av:	Prosjektgruppe 2011-10
Opprettet dato:	06.01.11
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KA04
Testrapport ID:	RA04
<b>TEST INFORMASJON</b>	
Testtype:	Dynamisk
Testkriterier:	Solid Works og FEM analyse
Testbeskrivelse:	Bruker simuleringsverktøyene for å modulere geometrien.
Forventet resultat:	Geometrien skal tåle maksimal belastning.

TABELL 05.03 – TA04



*Thread Control System*

---

## **ANALYSEDOKUMENT**

---

<b>VERSJON</b>	<b>DATO</b>	<b>BESKRIVELSE</b>
OD-02	18.05.11	Andre offisielle dokument

<b>NAVN</b>	<b>SIGNATUR</b>
LARS THORVALD LIE	
JAPRIT SINGH THAKKAR	
BABAR IQBAL	
REBAZ JAWHER	

## INNHOLDSFORTEGNELSE

DOKUMENTHISTORIE OG AKRONYMER	04
DOKUMENTHISTORIE OG AKRONYMER	04
DOKUMENTHISTORIE	04
TABELL 00.01 - DOKUMENTHISTORIE	04
AKRONYMER	04
TABELL 00.02 - AKRONYMER	04
01 – INNLEDNING	05
02 – REGULERINGSSYSTEMET	06
KAPITTEL 3 MEKANIKK	07
3.1 – PROBLEMSTILLINGENE	07
3.2 – OPTIMAL GEOMETRI OG MATERIALBRUK FOR BRYSTBOM OG BAKBOM	07
3.3 – IMPLEMENTERING AV STREKKLAPPER I BRYSTBOM OG BAKBOM	08
3.5 – DESIGN AV BRYSTBOM OG BAKBOM	09
3.7 – DIMENSJONERING OG STYRKE	11
04 – STREKKLAPPER	12
4.1 – PROBLEMSTILLINGENE	12
4.2 – VALG AV STREKKLAPPRODUSENT OG STREKKLAPPSERIE	12
4.3 – VALG AV BROKOBLING	14
4.4 – VALG AV STREKKLAPP MODELL UT I FRA Y-SERIEN	14
4.5 – PLASSERING AV STREKKLAPPER	16
4.6 – PLASSERING AV OPERASJONSFORSTERKEREN	17
5 – ALGORITME	18
5.1 – VALG AV KOMPONENTER	18
5.2 – ALGORITME FOR MASTERMIKROKONTROLLEREN (ATMEGA16A)	19
5.3 – ALGORITME FOR SLAVEMIKROKONTROLLERER (ATTINY861)	20
5.4 – I <sup>2</sup> C-GRENSESNIITT	22
06 – MOTORKONTROLLER	24
6.1 – OPPBYGGING OG VIRKEMÅTE	24
6.2 – FREMGANGSMETODE	28
6.3 – BESLUTNINGER MED HENSYN PÅ MOTORKONTROLLER	29
REFERANSER	30

## INNHOLDSFORTEGNELSE FOR FIGURER

FIGUR 02.01 – OPPSETT AV REGULERINGSSYSTEMET	06
FIGUR 03.01 – TRE ALTERNATIVE LØSNINGER SOM KREVER SVEISING	08
FIGUR 03.03 – INNGRAVERT HULL	09
FIGUR 03.04 – GEOMETRI FOR BOM	10
FIGUR 03.05 – TREDELT RENNINGSBOM OG VAREBOM	10
FIGUR 03.06 TVERRSNITT OG SIDEVIEW PÅ RENNING/VAREBOM	11
FIGUR 04.01 – HELBROKOBLING	14
FIGUR 04.02 – UTSATT OMRÅDE BAKBOM	16
FIGUR 05.01 – OPPSETT FOR KOMMUNIKASJON OG STYRING	20
FIGUR 05.02 - KOMMUTASJON	22
FIGUR 06.01 – BLDC-MOTOR	24
FIGUR 06.02 – U HALVBRO	26
FIGUR 06.03 - SPENNINGSTILFØRSEL	27

## INNHOLDSFORTEGNELSE FOR TABELLER

TABELL 00.01 - DOKUMENTHISTORIE	04
TABELL 00.02 - AKRONYMER	04
TABELL 05.01 – KOMMUTASJON	21

## DOKUMENTHISTORIE OG AKRONYMER

### DOKUMENTHISTORIE

VERSJON	DATO	ENDRINGER
0.0	13.03.11	Sammensatt til et felles dokument
0.1	17.04.11	Lagt til innholdsfortegnelse
1.0	17.04.11	Første offisielle dokument
1.1	04.05.11	Lagt til fremgangsmåte angående ny løsning for varebom og renningsbom. Lagt til figur 03.06, 03.07, 03.08, 03.09, 03.10, 03.11, 03.12, 03.13 og figur 03.14 Lagt til referanse nr. [28] Endret beskrivelser i kapittel 2 og 4
2.0	18.05.11	Andre offisielle dokument

TABELL 00.01 - DOKUMENTHISTORIE

### AKRONYMER

AKRONYM	
TE	Tronrud Engineering
BLDC	Børsteløs DC-motor
FEM	Finite Element Method
I <sup>2</sup> C	Inter-Integrated Circuit
PBM	Puls-Bredde-Modulasjon

TABELL 00.02 - AKRONYMER

## KAPITTEL 1

### INNLEDNING

Dette dokumentet er skrevet for å gi en oversiktlig analyse av produktet som prosjektgruppen skal utvikle. Analysen skal gi leseren og prosjektgruppen en overordnet forståelse for hvordan oppgaven skal løses. Denne forståelsen skal skapes ved gode beskrivelser, samt ved bruk av diagrammer og figurer.

Et annet mål med dette dokumentet er få en mer presis forståelse av kravene som er fremsatt i kravspesifikasjonen. Ved å gjøre dette vil prosjektgruppen få en bedre forståelse av hele systemet, noe som igjen resulterer i at overgangen til designfasen blir enklere.

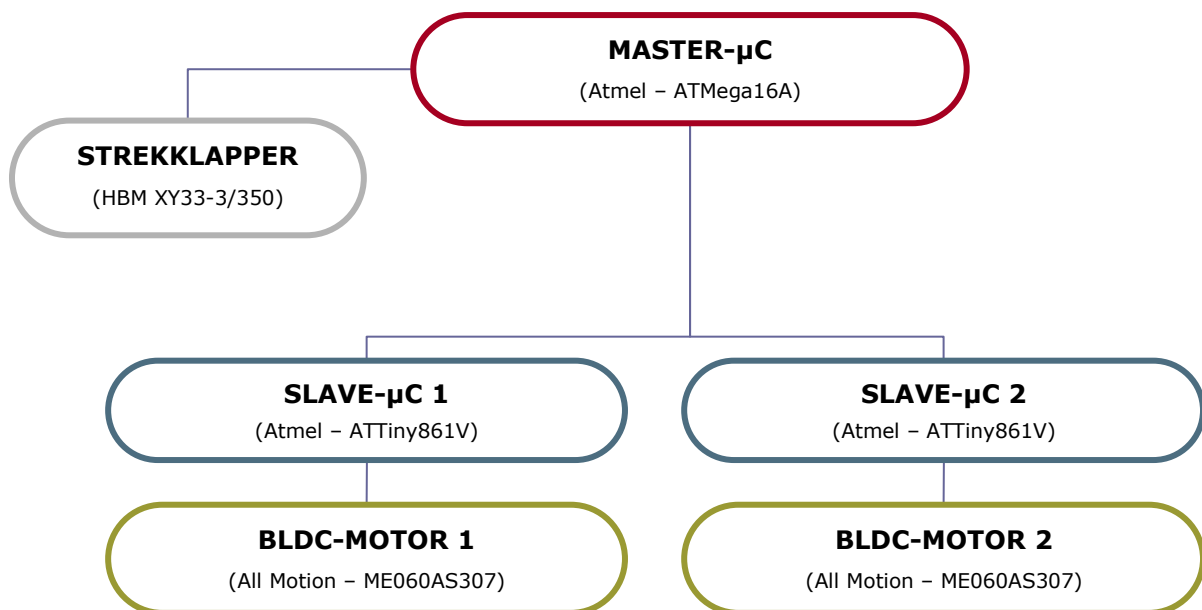
Dette dokumentet vil først ta for seg en overordnet analyse av hele systemet. Deretter vil vi gå dypere inn i hver av de fire hoveddelene som prosjektoppgaven vår omfatter. Disse delene er mekanikk, strekkklapper, algoritme og motorkontroller.

Ettersom dette dokumentet er ment for å analysere systemet så vil det her, i forhold til kravspesifikasjonen, være et mer teknisk språk tilpasset utviklerne av systemet.

## KAPITTEL 2

### REGULERINGSSYSTEMET

Vi startet analysefasen av prosjektet med å tenke over hvordan reguleringssystemet vårt skal se ut, samt hvordan de forskjellige delene er koblet sammen. Figur 02.01 illustrer hvordan ting er koblet sammen i systemet.



FIGUR 02.01 – OPPSETT AV REGULERINGSSYSTEMET

Vi ser ut ifra illustrasjonen at strekkloppene er koblet til en mastemikrokontroller. Videre er mastermikrokontrolleren koblet til to slavermikrokontrollere. For kommunikasjon mellom mikrokontrollerne skal prosjektgruppen benytte I<sup>2</sup>C-grensesnitt. Vi ser tilslutt av figur 02.01 at de to slavemikrokontrollerne er koblet til hver sin BLDC-motor, som er markert med gult i illustrasjonen.



## KAPITTEL 3

### MEKANIKK

Vi vil i dette kapitlet ta for oss analysen for den mekaniske delen av oppgaven. Først presenteres en liste over problemstillingene vi har tatt hensyn til. Deretter presenteres en grundig analyse for hver av problemstillingene.

#### 3.1 – PROBLEMSTILLINGENE

Problemstillingene knyttet til mekanikkdelen av oppgaven er følgende:

1. Vi må finne optimal geometri og materialbruk for brystbom og bakbom for maksimal stivhet og lavest mulig vekt.
2. Mulighetene for å implementere strekkklapper i enten brystbom eller bakbom må undersøkes.
3. Innfestningen til brystbom og bakbom skal revurderes.
4. Designet til brystbom og bakbom, samt tilhørende løsning for innfestning skal ikke kreve store endringer til armene som holder bommene.
5. Ytre geometri for renningsbom og varebom er definert, den indre geometrien må gi rom for innfesting av to skruer.
6. Vi skal ta hensyn til dimensjonering av stivhet og styrke til renningsbom og varebom. Videre skal vi vurdere styrken rundt området der hvor skruene festes.

#### 3.2 – OPTIMAL GEOMETRI OG MATERIALBRUK FOR BRYSTBOM OG BAKBOM

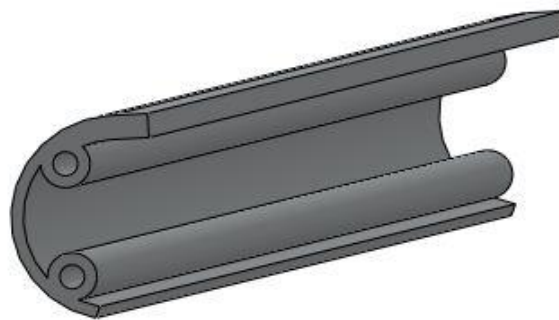
I utgangspunktet velger vi å designe en C-formet bom som er åpen på innsiden. Fordelen med dette er å redusere både materialbruk og vekt ved å fjerne det området der det ikke er noen kontakt mellom selve bommen og trådene. Det vil si den flate delen på innsiden av brystbom og bakbom på TC1. En annen fordel med C-formede bommer er at den muliggjør en enkel prosess for å plassere strekkklapper på innsiden av bommene.

Forskjellige bommer med forskjellige tykkelser vil bli simulert, maks bøyning vil bli observert, inntil vi har kommet til den optimale geometrien for maksimal stivhet. Både brystbom og bakbom har lik geometri. I startfasen av designprosessen skal vi ta hensyn til forskjellige alternativer med forskjellig geometri til brystbom og bakbom. Figur 03.01 viser en illustrasjon over tre alternative løsninger som vi har kommet frem til under analyseprosessen.



FIGUR 03.01 – TRE ALTERNATIVE LØSNINGER SOM KREVER SVEISING

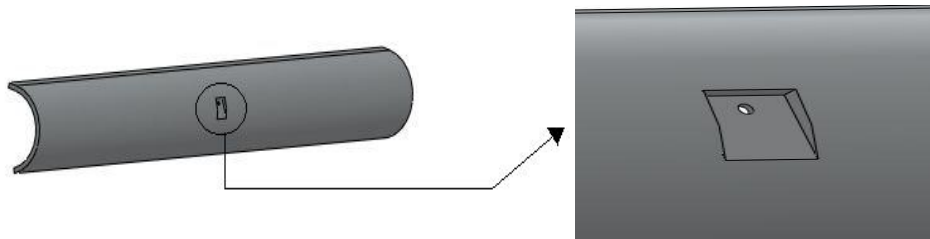
Som dere kan se så krever disse alternativene å bli sveiset i sidene, noe som ikke er optimalt. Vi har derfor valgt å unngå sveising i design av bommene, for å redusere kritisk stress i bommene når de er utsatt for maks belastning. For å oppnå dette har vi kommet til den alternative løsningen vist i figur 03.02. Bommene i løsningen vår vil bli laget av aluminium i serie 6063-T6. Denne type aluminium har flytegrense på 215Mpa. Siden bommene skal ekstruderes, så er det best å velge materiale som har flytegrense under 300Mpa. En mer detaljert forklaring angående geometrien, materialvalg og simuleringsprosessen vil bli gitt i designdokumentet.



FIGUR 03.02 – C-FORMET BOM SOM IKKE KREVER SVEISING

### 3.3 – IMPLEMENTERING AV STREKKLAPPER I BRYSTBOM OG BAKBOM

Vi har vurdert mulighetene for å implementere strekkklapper i bakbommen og/eller brystbommen ved å simulere bommene FEM. Testing av bommene ved å benytte simuleringsprogrammet FEM analyse viste oss at maks bøyning vil skje i midten av bommen. Vi har vurdert å plassere strekkklapper både på innsiden og utsiden av bommene, der maks bøyning skjer. For å unngå friksjon mellom trådene og strekkklappene som blir plassert på utsiden tenkte vi først å designe bommene med et inngravert hull, slik vist i figur 03.03.



FIGUR 03.03 – INNGRAVERT HULL

Å produsere en slik bom vil kreve ekstra tiltak enn bare ekstrudering, ved maks bøyning vil det være ekstra stress i området der er inngravd. Vi velger derfor å se bort fra denne løsningen, og ønsker kun å plassere strekkklappene kun på innsiden av bommene. En mer detaljert beskrivelse for problemstillingen angående strekkklapper vil bli gitt i kapittel 3, som omhandler strekkklapper.

### 3.4 – INNFESTING TIL BRYSTBOM OG BAKBOM

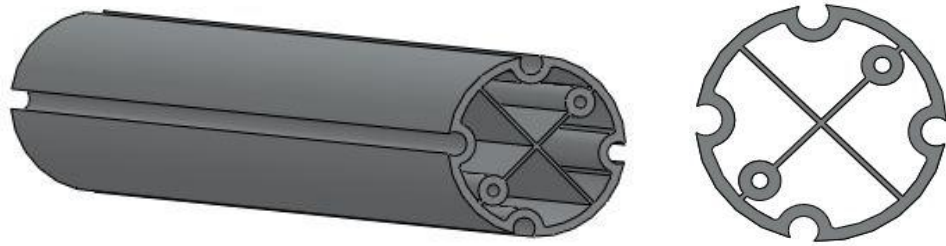
Bommene vil bli festet med 2 skruer på hver side som vist i figur 03.02. Dette gjør bommene mer stødig under maks belastning. Tverrgående skjærspenning i området der bommene blir festet er regnet ut [27], og svaret er sammenliknet med resultatene fra FEM analysen. Skruetype og dimensjonen på dem, samt styrkeberegningene vil bli nærmere forklart i designdokumentet.

### 3.5 – DESIGN AV BRYSTBOM OG BAKBOM

Designet til bakbom og brystbom må ikke kreve store endringer til armene som holder bommene. For å tilfredsstille dette kravet har vi valgt å designe brystbom og bakbom med samme ytre radius som dagens løsning som er utviklet av TE. Merk at vi regner med at løsningen vår til innfestning av bommer krever litt endring av armene som holder bommene. En mer detaljert beskrivelse angående dette vil bli gitt i designdokumentet.

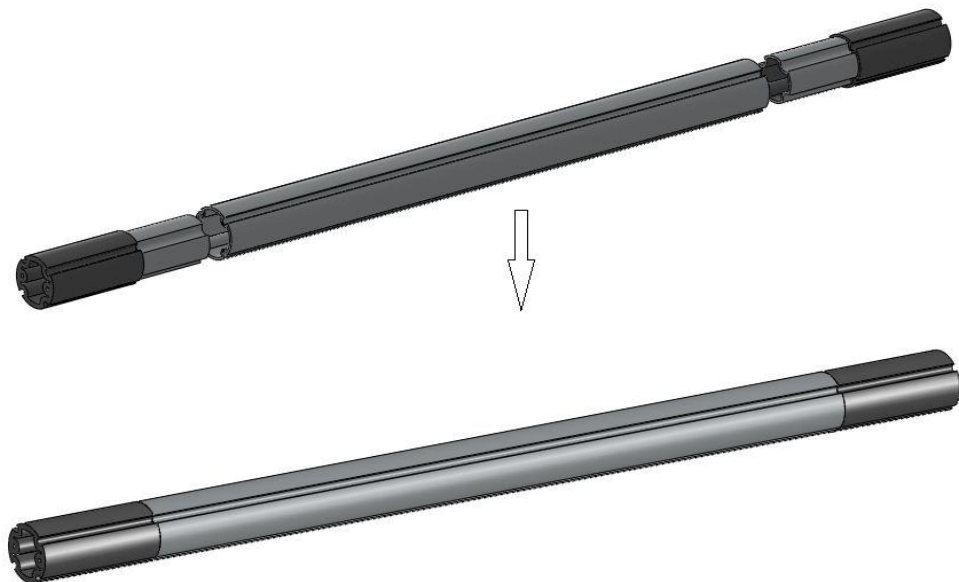
### 3.6 – GEOMETRI FOR RENNINGSBOM OG VAREBOM

Vi ønsker å designe varebom og renningsbom slik at de har lik geometri. Vi ønsker også å designe bommene slik at de kun skal ekstruderes. På denne måten unngår vi sveising i produksjonen av bommene. Figur 03.04 viser den første utgaven prosjektgruppen har kommet frem til under analysen for designet av renningsbom og bakbom.



FIGUR 03.04 – GEOMETRI FOR BOM

Videre kom vi frem et løsningsforslag hvor varebom og renningsbom blir delt i tre deler, som enkelt kunne settes sammen. For en illustrasjon over dette, se figur 03.05. To av disse delene har fast dimensjon som kan festes til veven, mens den midterste delen har tre størrelser i lengden. De kan byttes til den størrelsen som passer veven.



FIGUR 03.05 – TREDELT RENNINGSBOM OG VAREBOM

Bommene er tredelt, såkalt side 1, side 2 og midtskaft. Delene kan enkelt settes sammen.

Etter nøye vurdering kom vi frem til at løsningen ikke er lønnsom. Grunlaget for dette er de ekstra kostnadene som kommer i tillegg til ekstrudering for å lage side1 og side2. Disse profilene må ettermaskineres og eventuelt freses innvendig [28]. For å unngå ekstra kostnader har vi bestemt å se bort fra denne løsningen, og designe bommene som kun en part som kan ekstruderes. Prinsippet er vist i figur 03.14.



FIGUR 03.06 TVERRSNITT OG SIDEVIEW PÅ RENNING/VAREBOM

### 3.7 – DIMENSJONERING OG STYRKE

Dimensjonering av stivhet og styrke til bommene har gradvis blitt definert under analyseprosessen. Forskjellige dimensjoner vil i designfasen bli testet i FEM analyse, hvor styrken av bommene vil bli observert under simulering. Testene skal utføres på bommer som kan benyttes til vever med maks moduler, det vil si med fire moduler i bredden. Med andre ord er 1590mm bredden av bommene. Under hver simuleringsprosess av bommene, skal området der skruene festes bli vurdert. Skjæringsstresset i området skal observeres frem til vi har kommet til en optimal tykkelse rundt der skruene festes på 10mm.

## KAPITTEL 4

### STREKKLAPPER

Følgende kapittel er ment for å gi svar på problemstillingene knyttet til strekkklappdelen av oppgaven. Først gis det en kort beskrivelse av problemstillingene, deretter følger løsningsforslaget prosjektgruppen har kommet frem til for hver av problemstillingene

#### 4.1 – PROBLEMSTILLINGENE

1. Hvilke faktorer må vi ta hensyn til når vi bestemmer oss for en type strekkklapper, som er egnet for vårt system?
2. Skal det benyttes en kvart-bro, halv-bro eller hel-bro?
3. Hvilken modell av strekkklapper skal vi velge ut i fra Y-serien, skal det være fire separate strekkklapper, to par eller skal det være en lapp med fire innebygde strekkklapper?
4. På hvilken overflate skal strekkklappene monteres, på innsiden eller utsiden av bakbommen? Må vi ha strekkklapper på begge sidene av bakbommen? Og hvor langt inn fra kantene til bakbommen er det aktuelt å ha strekkklapper?
5. Hvor skal operasjonsforsterkeren plasseres?

#### 4.2 – VALG AV STREKKLAPPRODUSENT OG STREKKLAPPSERIE

Når vi startet med å undersøke rundt strekkklappene, begynte vi med å lese produktbeskrivelser og datablader om forskjellige typer av strekkklapper som kunne være aktuelle for vårt bruk. Gruppen har undersøkt produkter fra Farnell [2], HBM Norge [3] og Mouser [4].

Ut i fra løsningen for bryst/bakbommen som prosjektgruppen designet, fikk gruppen en bedre oversikt over hva som vi måtte ta hensyn til når vi valgte strekkklapptype. Grunnleggende informasjon som vi kunne hente fra den løsningen var at bommene ville være i aluminium og at de ville ha en C-form, slik som beskrevet i forrige kapittel.

Det er en rekke faktorer vi mente var viktig når vi valgte ut strekkklapper som passet for vårt system. Et eksempel på en slik faktor var å undersøke om en strekkklapp som er beregnet for stål ville utgi feil verdier hvis vi monterte den på et objekt laget av

aluminium. En annen viktig faktor som spilte en rolle ved bestemmelsen av plassering av strekkklapper, var om den C-formede bakbommen ga oss mulighet til å plassere strekkklapper på innsiden av bommen. Den store fordelen med å kunne plassere strekkklapper på innsiden av bommen er først og fremst at strekkklappen ikke vil bli utsatt for slitasje som vil oppstå grunnet friksjon som kommer av tekstiltrådene som glir på utsiden av bommen.

Andre faktorer som vi tok hensyn til under analysefasen for valg av strekkklapper var:

- Måleobjektet/overflaten der strekkklappene skulle plasseres er ikke rett, den er C-formet.
- Tøyningen vil variere. Maksimal deformasjon av bommen måtte ikke overstige 4mm.
- Strekkklappene vi ønsket å benytte måtte kunne detektere små deformasjoner.
- Bommen er fastmontert på en maskin som vil bli brukt av en person. Vi antok at maskinen ville bli brukt i minimum åtte timer om dagen, samt fem dager i uka.
- Målingene skulle utføres i tørt innendørs miljø, med relativ luftfuktighet mellom 20% Rf – 60% Rf.
- Strekkklappene måtte tåle å bli benyttet i omgivelsestemperaturer mellom 16°C - 34°C.
- Vi ønsket primært å ha strekkklapper med lange ledninger. Dersom strekkklapptypen som passet til vårt bruk ikke fantes med ledninger og vi må lodde ledninger på strekkklappen selv, så aksepterte vi å gjøre det, men dette var da vår sekundære løsning.

Etter mye drøfting internt i gruppen endte vi opp med to serier av strekkklapper vi mente ville fungere optimalt til vårt system. Dette gjorde vi før vi tok kontakt med ulike forhandlere og leverandører. På bakgrunn av undersøkelsene som ble utført av gruppemedlemmene og hjelp fra HBM Norge kom vi frem til at Y-serien [5] og V-serien [6] fra HBM Norge ville passe til vårt bruk og oppfylte alle de overnevnte kravene.

Disse seriene ble valgt på grunnlag av at Y-serien er universal og fleksibel. Den er dessuten lett å behandle, samt at den har en god målekarakteristikk. Y-serien er også beregnet for aluminium, noe V-serien ikke er, grunnet dette ble hele V-serien eliminert ut. Begge seriene kunne dessuten kjøpes med påloddete ledninger.

Vi tok videre kontakt med HBM Norge for å kvalitetssikre valget av strekkklappene. Vi ønsket å få mer informasjon om strekkklapp-modellene vi hadde undersøkt. Ut fra kontakten med HBM Norge kom prosjektgruppen i samarbeid med HBM, frem til at våre

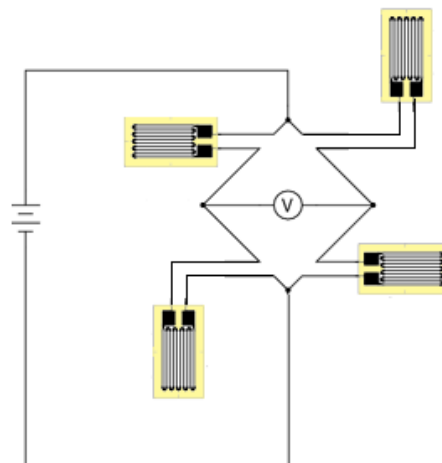
tanker angående valg av strekkapper var riktig. Grunnlaget for dette var at HBM anbefalte strekkapper fra Y-serien.

Vi ønsker å takke HBM som veiledet oss og hjalp oss med å komme frem til den riktige serien og modellen av strekkapper.

#### 4.3 – VALG AV BROKOBLING

Når det gjelder valg av målebro/Wheatstonebro tilsa anbefalingen fra HBM at vi burde benytte minst en halvbrokobling. Vi har sett på forskjellige brokoblinger, og har konkludert med at en halvbrokobling ikke er den beste løsningen. I henhold til tidligere lærebok i faget *Instrumentering og styring* [7], har vi lest om strekkapper og kommet frem til at en helbrokobling vil gi oss et større måleutslag enn det en kvartbro eller en halvbro vil gi. Resistansen i de aktive strekkappene vil øke når det blir påført trekkspenninger. Samtidig vil resistansen til strekkappene som er koblet opp som "dummies" minke. Eventuelle temperaturpåvirkninger på strekkappene vil påvirke strekkappene likt, slik at feilkilden og annet støy vil nesten bli eliminert.

Gruppen har valgt å gå videre med en helbrokobling. I henhold til avtale med TE har prosjektgruppen mottatt to strekkapper av typen XY33-3/350 fra TE, som til sammen skal forme en fullbrokobling som er vist i Figuren 04.01.



FIGUR 04.01 – HELBROKOBLING

#### 4.4 – VALG AV STREKKLAPP MODELL UT I FRA Y-SERIEN

Etter drøfting internt i gruppen og med ekstern sensor og veileder satt vi igjen med tre strekkappmodeller fra Y-serien:



- Ett måleelement i en lapp, dette vil gi fire lapper, LY43.
- To måleelementer normalt på hverandre i en lapp, dette vil gi to lapper, XY33.
- Alle fire måleelementer i en lapp, dette vil gi en lapp, VY43.

Grunnlaget bak valget vårt var at vi ønsket å måle deformasjon over et større område, slik at vi kunne måle deformasjon på flere steder enn et eneste punkt, samtidig som vi heller ikke vil øke monteringstiden unødvendig.

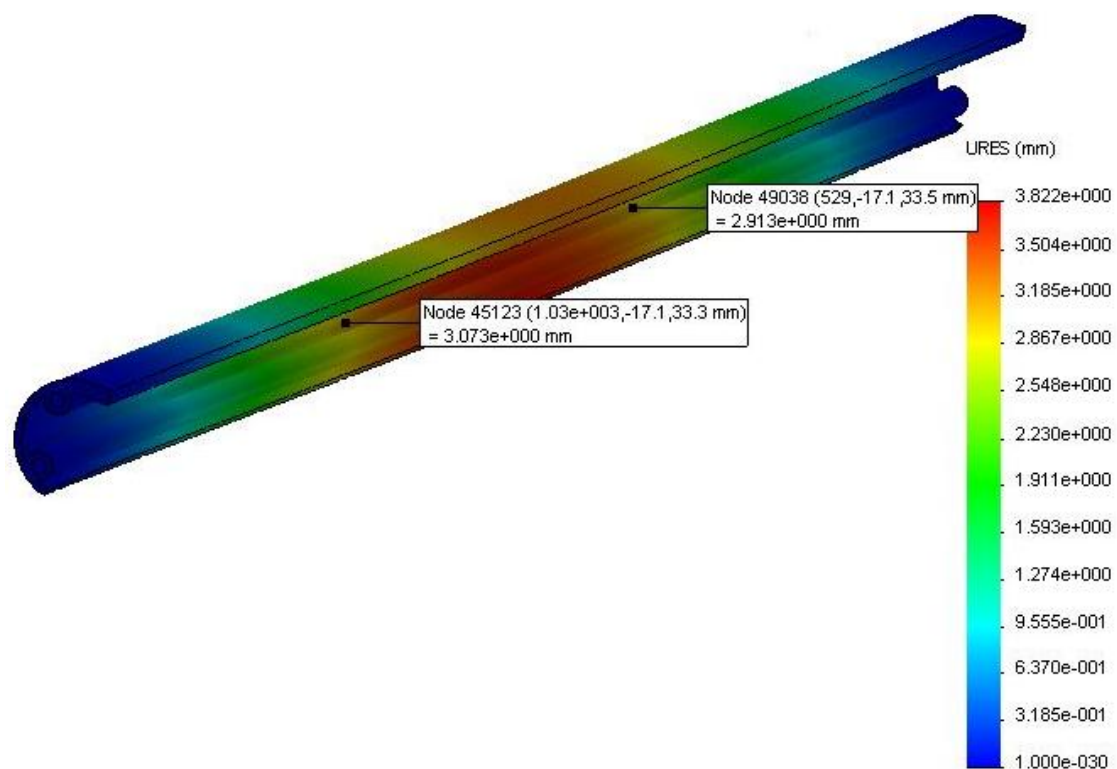
FEM-analysen som prosjektgruppen utførte ga oss et bilde av hvilket område som vil bli mest utsatt for kreftene produsert av trådene og ikke "ett" punkt som vil være mest utsatt. Vi var derfor en smule redd for å sette den ene strekkklappen med fire elementer på et sted i det røde område og ikke kunne klare å detektere "nøyaktig" deformasjon. En lapp som VY43 modellen inneholder fire elementer i en lapp ville gi lavest monteringstid men på grunnlag av resultatet fra FEM-analysen mente vi at det var bedre å sette strekkklappene fordelt utover det røde området slik at vi hadde en bedre sjanse for å detektere alle mulige påførte krefter fra alle retninger.

Grunnet dette så vi bort fra VY43 type strekkklapper som har alle fire måleelementer i en lapp. Gruppen eliminerte også ut LY43 type strekkklapper som har et måleelement i en lapp, med tanke på montering.

Gruppen valgte foreløpig å gå videre med den type strekkklapper som har to måleelementer normalt på hverandre i en lapp, dette vil gi to lapper. Ved hjelp av HBM Norge kom vi fram til en modell som passet vårt bruk. Den er fra Y-serien og under kategori XY33. Det positive med XY33 modellen var at monteringstiden ville bli halvert i forhold til LY43 modellen som har en måleelement i en lapp og samtidig kan vi måle deformasjon på to forskjellige steder (innenfor det røde område) istedenfor å måle deformasjon over et punkt som VY43. Som nevnt tidligere i 3.1.2, vil vi helst måle deformasjon over mer enn et punkt. XY33 er en dobbel strekkklapp, som er beregnet for aluminium. Vi ønsket å benytte denne typen strekkklapper fordi dette valget førte til mindre mulighet for monteringsfeil, "active" og "dummy" står normalt på hverandre i en lapp. Dessuten ville det bli 90 grader mellom "active" og "dummy" uansett hvilken retning vi monterte strekkklappene.

Det at brystbom og bakbom har åpen profil uten en rett flate på baksiden vil i følge HBM Norge ikke skape store problemer med hensyn på utslag, når vi monterer de på en buet flate.

Mastermikrokontroller foretar målingene med korte og jevne mellomrom, deformasjon vil oppstå når trådene er trukket opp. Når det ikke er vakuum i systemet og alle trådene er nede, da vil det ikke være noe deformasjon i bommen og dette vil mastermikrokontrolleren merke grunnet verdiene strekkklappene gir når det er deformasjon og når det ikke er deformasjon. Vi tenkte også oss at renningstrådene ikke ville bli løftet likt hver gang, men forskjellig, slik at kreftene virket mer på en side av bommen en gang, og mer på den andre siden ved senere veving. En illustrasjon av det utsatte området som strekker seg fra rundt 52cm til 100cm er gitt i Figur 04.02.



FIGUR 04.02 – UTSATT OMRÅDE BAKBOM

#### 4.5 – Plassering av strekkklapper

Gruppen valgte å utføre noen tester med strekkklapper som vi hadde på skolen for å finne ut om det er mulig å detektere deformasjon ved å ha strekkklapper bare på inn siden av overflaten til bakbommen. Resultatet av denne testen hjalp oss med å kunne bestemme om det er mulig å ha strekkklapper bare på innsiden av bakbommen.

Utfallet fra denne testen var at det var mulig å plassere strekkklappene kun på innsiden av bommen. Med andre ord var det ikke nødvendig med strekkklapper på både innsiden

og utsiden av bommen. Siden vi vet at strekklossene vil ha mest sensitivitet dersom de blir strekt i lengderetningen (horisontalt), vil strekklossene bli montert slik.

Gruppen besluttet under analysefasen at vi skal plassere strekklossene innenfor det røde området FEM-analysen gitt av Figur 04.02 (på innsiden av bommen) Figuren viser oss at det utsatte området strekker seg fra omtrent 52cm fra kanten og 100cm innover.

#### **4.6 – Plassering av operasjonsforsterkeren**

Når det kommer til plasseringen av forsterkerkretsen, har vi valgt kun å teste plassering rett ved mastermikrokontrolleren. Grunnlaget for dette er at vi i første omgang kun mottok to strekkapper. Av denne grunn så vi det hensiktsmessig å gjøre dette. Ved testing av forsterkerkretsen rett ved strekklossene, måtte vi ha klippet av mesteparten av signalkablene. Hvis vi så hadde funnet ut at dette ikke var en optimal plassering, måtte vi ha montert nye strekkapper. Derfor valgte vi kun å teste montering av forsterkeren ved mastermikrokontrolleren

## KAPITTEL 5

### ALGORITME

Dette kapitelet tar for seg analysen for algoritmen som skal utvikles av prosjektgruppen. Algoritmen danner grobunnen for at reguleringsystemet som vi utvikler skal fungere optimalt i henhold til kravene som ble fremsatt i kravspesifikasjonen. En av grunnene til dette er at algoritmen sørger for kommunikasjonen mellom de forskjellige delene av systemet.

Det skal i henhold til avtale med TE utvikles algoritmer for totalt tre mikrokontrollere, en mastermikrokontroller og to slavemikrokontrollere. Mastermikrokontrolleren har hovedansvaret for all kommunikasjon mellom kontrollerne og regulering av strømming på renningen, mens slavemikrokontrollerne har ansvaret for motorkontroll.

#### 5.1 – VALG AV KOMPONENTER

Et av kravene TE hadde satt til prosjektoppgaven var at mikrokontrolleren ATtiny861 [9] skulle benyttes som slavemikrokontroller. Med andre ord hadde ikke prosjektgruppen noe valg angående hvilken type mikrokontroller som skulle benyttes som slave i systemet. Derimot fikk prosjektgruppen være med på å velge ut mikrokontrolleren som skulle benyttes som master i systemet.

Valget vårt falt etter en diskusjon med TE på en mikrokontroller fra ATmega-serien. Når vi hadde valgt å benytte en mikrokontroller fra ATmega-serien som master, så måtte arbeide videre med å velge ut en spesifikk modell. Vi benyttet et sammenlignings skjema [10] fra Atmel sine hjemmesider og studerte denne grundig. Foruten dette skjemaet leste vi også igjennom flere datablader for ATmega-mikrokontrollerne, og sto igjen med ATmega 16/16A og 48. Etter nærmere sammenligning falt valget på ATmega16A [11]. Grunnlaget for dette var at den hadde større flash-minne, EEPROM, SRAM og at den støttet JTAG (debugger), slik at vi kan bruke denne under testing.

##### 5.1.1 - UTVIKLINGSKORT

TE hadde ikke spesifisert hvilket utviklingskort som skulle benyttes av gruppen for å programmere mikrokontrollerne. Med andre ord kunne prosjektgruppen fritt velge hvilket kort som passet vårt behov. Ettersom Atmel var produsenten av mikrokontrollere

gruppen skulle benytte, fant vi det hensiktsmessig å undersøke på deres hjemmesider angående hvilket utviklingskort som det var hensiktsmessig å kjøpe inn.

Etter nøye undersøkelser på Atmel sine hjemmesider [12] og etter diskusjoner med TE konkluderte gruppen med at Atmel sin STK600 (ATSTK600) [13], var et utviklingskort som passet vårt behov. Grunnlaget for at valget falt på dette kortet var i grunn at denne var kompatibel med ATtiny861 og ATmega16A. Med dette utviklingskortet ble også tilhørende socket og routingkort bestilt inn. Disse er essensielle for å få programmert mikrokontrollerne med STK600.

### 5.1.2 - DEBUGGER

Prosjektgruppen fant det nyttig å bestille en debugger som kunne benyttes under programmering av mikrokontrollerne. Valget av debugger ble diskutert med ekstern veileder og falt først på JTAGICE mkII [26], men etter nærmere undersøkelse bestemte vi oss (i samarbeid med Bjørn fra TE) å bestille inn AVR Dragon [15]. Grunnlaget for at JTAGICE mkII ble valgt bort var at denne kostet \$499, mens AVR Dragon kostet \$49. Etersom begge enhetene i prinsippet utførte samme arbeid fant vi det mest hensiktsmessig å velge den billige versjonen.

## 5.2 – ALGORITME FOR MASTERMIKROKONTROLLEREN (ATMEGA16A)

Mastermikrokontrolleren er den mikrokontrolleren som vil ha det overordnede ansvaret for reguleringsystemet. Det er denne som har ansvaret for de fleste operasjonene som reguleringsalgoritmen skal utføre. Dette inkluderer ansvar for operasjoner som å sende kommandoer og andre styresignal til slavemikrokontrollerne.

### 5.2.1 - ANALOG TIL DIGITAL OMFORMER

En vesentlig del av oppgaven er å detektere strammingen fra renningen. Denne strammingen vil bli detektert av strekkklappene som plasseres på bommene. Disse strekkklappene er som nevnt i forrige kapittel koblet opp i en Wheatstone bro, slik at vi analogt kan måle spenningsforskjeller. For at dette analoge signalet skal kunne benyttes på en mikrokontroller så må det analoge signalet konverteres til en digital verdi. Prosjektgruppen har av den grunn kommet frem til at vi må utvikle en algoritme for ADC som implementeres på mastermikrokontrolleren. Denne algoritmen vil benytte en av analoge pinnene på ATmega16A.

### 5.2.2 - STRAMMING AV RENNING

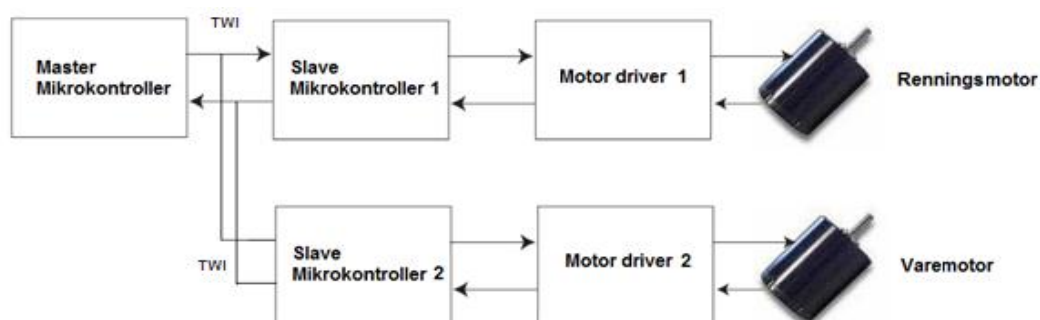
Hovedpoenget med reguleringsystemet som skal utvikles er at den for det meste skal være selvregulerende. For at dette skal være mulig så må vi utvikle en algoritme med hensyn til dette. En vanlig prosess fra detektering av stramming, til utførelse av operasjon er som følger:

1. Stramming på renningen detekteres via strekklappene, som igjen fører til spenningsforskjell på Wheatstone-broen.
2. Spenningsforskjellen er et analogt signal som konverteres om til en digital verdi.
3. Algoritmen vurderer verdien som ble mottatt og bestemmer utfra dette hvilke operasjoner (kommandoer) som eventuelt må utføres.
4. Dersom noen operasjoner for slavemikrokontrollerne er nødvendig, så sendes kommandoer og andre styresignal over I<sup>2</sup>C grensesnittet til slavemikrokontrollerne.

### 5.3 – ALGORITME FOR SLAVEMIKROKONTROLLERNE (ATTINY861)

Som nevnt innledningsvis i dette kapittelet omhandler oppgaven vår å utvikle algoritme for totalt to slavemikrokontrollere. Begge slavemikrokontrollerne inneholder identiske algoritmer. Den eneste forskjellen er adresseringsbittet for I<sup>2</sup>C-grensesnittet. Algoritmen på disse mikrokontrollerne mottar kommandoer om hastighet, rotasjonsretning og andre styresignal over I<sup>2</sup>C grensesnittet, samt sørger for at motorene utfører de operasjonene som kreves i henhold til de mottatte kommandoene.

Figur 04.01 viser hvordan slavemikrokontrollerne mottar verdier fra mastermikrokontrolleren via TWI (I<sup>2</sup>C-grensesnittet) og hvordan masteren styrer riktig motor.



FIGUR 05.01 – OPPSETT FOR KOMMUNIKASJON OG STYRING

Vi vil videre ta for oss viktige elementer knyttet til programkoden som skal utvikles for slavemikrokontrollerne med hensyn på motorstyring.

For å forenkle forklaring på hvordan man driver en typisk BLDC-motor kan man si at kommutasjonen er avhengig av Hall-sensorens verdier. Når spolene i motoren blir systematisk forsynt med spenning, blir det induisert et magnetisk felt og rotoren beveger seg. Den vanligste kommutasjonsmetoden for å drive en BLDC-motor er en av og på ordning. Dette innebærer at en spole enten leder eller ikke leder. Bare to viklinger jobber samtidig for å drive motoren.

Hall-sensorene er plassert med 120° mellomrom. Med disse tre sensorene er det mulig å oppnå seks forskjellige kommutasjoner. Fasekommutasjonene er avhengige av Hall-sensorenes verdier. Med riktig synkronisert kommutasjon forblir dreiemomentet omtrent konstant og høyt. Tabell 05.01 viser oss hall sensorens signaler for CW rotasjon.

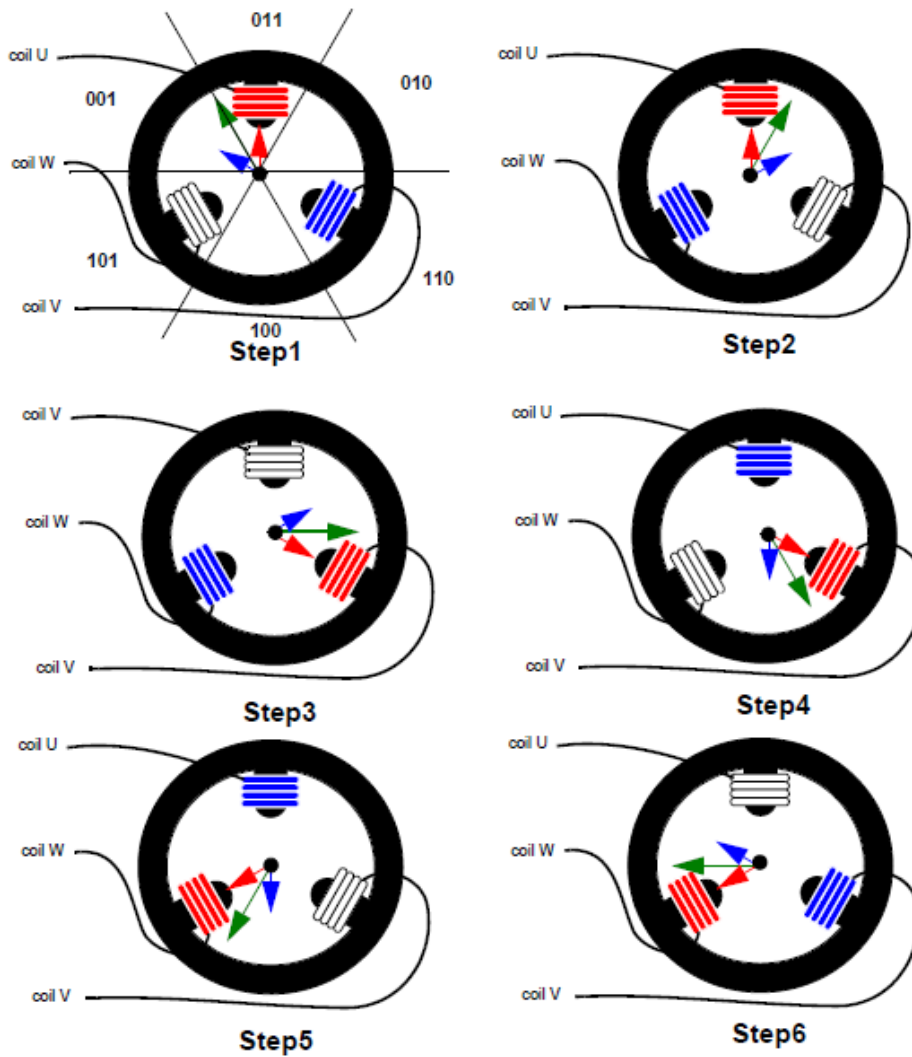
HALL SENSOR (H3 H2 H1)	FASE	SWITCH
101	U-V	Q1:Q4
001	U-W	Q1:Q6
011	V-W	Q3:Q6
010	V-U	Q3:Q2
110	W-U	Q5:Q2
100	W-V	Q5:Q4

TABELL 05.01 – KOMMUTASJON

Hastigheten og dreiemomentet på motoren kan justeres. Den vanligste måten å kontrollere hastigheten er å kontrollere den gjennomsnittlige spenningen over spolene. Arbeidssyklusen til PWMs utganger brukes til å justere den gjennomsnittlige hastigheten.

Spenning blir satt på transistor Q1 og fase V er tilkoblet med transistor Q4 (Figur 09.24), fase W blir strømløse fordi de andre transistorene (Q2, Q3, Q5 og Q6) ikke leder.

To fluksvektorer er generert av fase U (rød pil) og fase V (blå pil). Summen av de to vektorene gir statoren fluksvektoren (grønn pil). Dette kan man se i Figur 04.04. Rotoren prøver å følge statorfluksen. Så snart rotoren når en gitt posisjon, gir hall sensorer en ny logisk tilstand av denne stillingen (fra "010" til "011" i Tabell 04.04) og det neste spenningsmønsteret blir satt av motorkontrolleren og brukes på motoren.



FIGUR 05.02 - KOMMUTASJON

Fase V er spenningsløs og fase W er koblet til jord, dette resulteres at en ny statorfluksvektor "Steg 2" dukker. Figur 05.02 viser seks ulike fluksvektorer til stator tilsvarende de seks omgjørings trinnene. De seks trinnene gir et elektrisk rotasjonsfelt.

### 5.4 - I<sup>2</sup>C-GRENSESNIITT

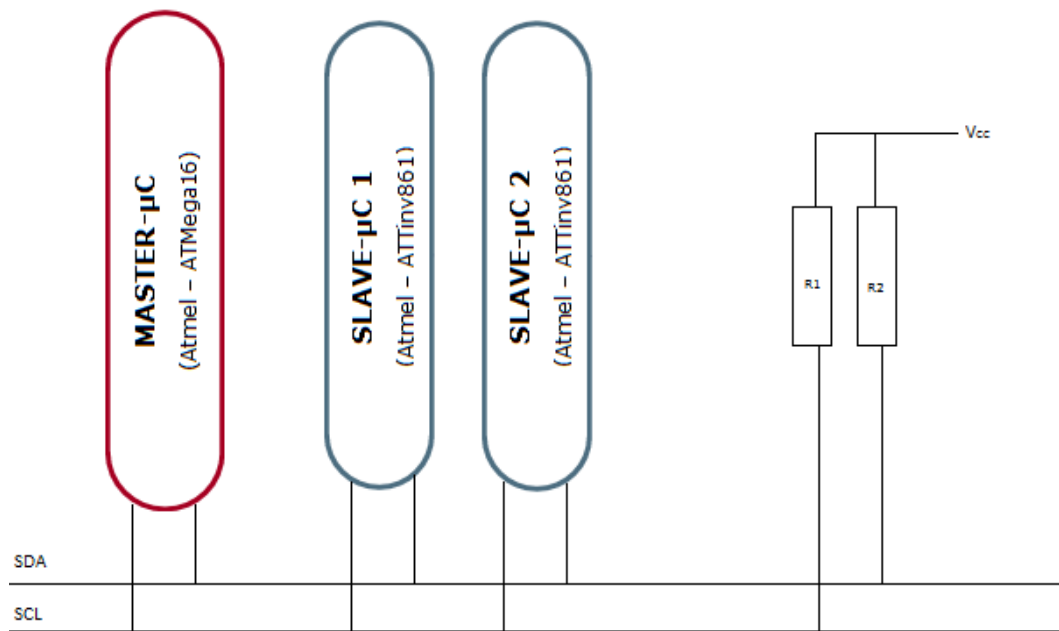
Som nevnt i kravspesifikasjonen så har TE fremsatt et krav om at gruppen benytter seg av I<sup>2</sup>C-grensesnitt for kommunikasjon mellom masteren og de to slavemikrokontrollerne. I<sup>2</sup>C er en seriell databuss utviklet av Phillips, som er et master-slave system og bruker to bidireksjonale linjer. Disse to bidireksjonale linjene heter seriell data (SDA) og seriell klokke (SCL).

Atmel har utviklet en egen modul med hensyn I<sup>2</sup>C til som heter TWI (Two Wire Interface). Med andre ord kommer prosjektgruppen til å benytte TWI på



mikrokontrollerne for å tilfredsstille kravet om at I<sup>2</sup>C skal benyttes for kommunikasjon mellom mikrokontrollerne.

Figur 05.03 viser hvordan prosjektgruppen forestiller seg at oppsettet for I<sup>2</sup>C-grensesnittet kommer til å se ut. Motstandene R1 og R2 i figuren er som regel på 4.7KΩ.



FIGUR 05.03 – I<sup>2</sup>C OPPSETT

## KAPITTEL 6

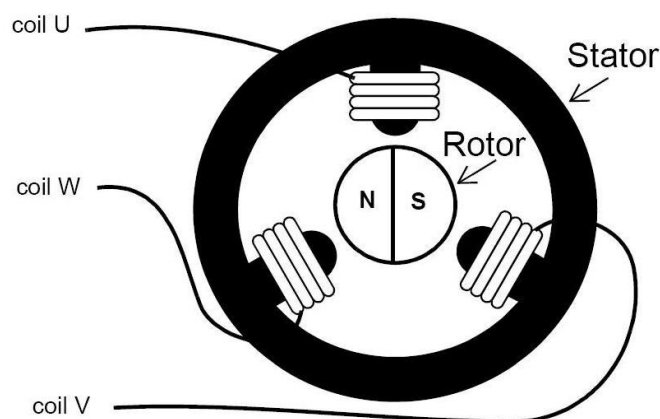
### MOTORKONTROLLER

Dette kapitlet tar for seg prosessen vi har vært gjennom for å finne ut hvordan en motorkontroller virker og er bygd opp. Kunnskapen vi innhentet under analysen ble senere benyttet for å designe motorkontrollere.

#### 6.1 – OPPBYGGING OG VIRKEMÅTE

En motorkontroller er en elektrisk krets som har som funksjon å sørge for riktig kommutasjon av en elektrisk motor, for eksempel en 3-fase BLDC-motor.

En 3-fase BLDC-motor har en stator, og en rotor. I statoren er det tre viklinger, vist i Figur 06.01, som er hentet fra applikasjonsnotat AVR496 [17], som kalles U, V og W. Ved å lage en sluttet krets mellom to av viklingene, kan man styre motoren. I motoren sitter det tre Hall-sensorer med  $120^\circ$  mellomrom. Disse sensorene gir en varierende utgangsspenning. Utgangsspenning er proporsjonal med magnetfeltet som virker på sensoren. Magnetfeltet som virker på sensorene blir induisert i viklingene som settes spenning på ved hjelp av transistorhalvbroene. En transistorhalvbro består av to transistorer i serie, der den ene er koblet til spenningsforsyning, og den andre koblet til jord. Mellom transistorene kobler man til viklingen i motoren. Dette beskrives senere i kapitlet.



FIGUR 06.01 – BLDC-MOTOR

Det er mikrokontrolleren som bestemmer hvilken retning motoren skal gå, og hvor stor hastighet motoren skal ha. Dette gjøres ved å bruke PWM (Pulse-Width-Modulation).

Ut i fra verdiene fra Hall-sensorene kan man styre hvilke av viklingene man setter spenning på, og også hvilke MOSFET-transistor i hver transistorhalvbro som skal lede. Med andre ord bestemmes neste PWM mønster på utgangene til mikrokontrolleren ut i fra verdiene fra Hall-sensorene. Det er denne kommutasjonen som gjør at motoren roterer. Verdiene fra Hall-sensorene kan også benyttes for å registrere hvor mange rotasjoner statoren har gjort.

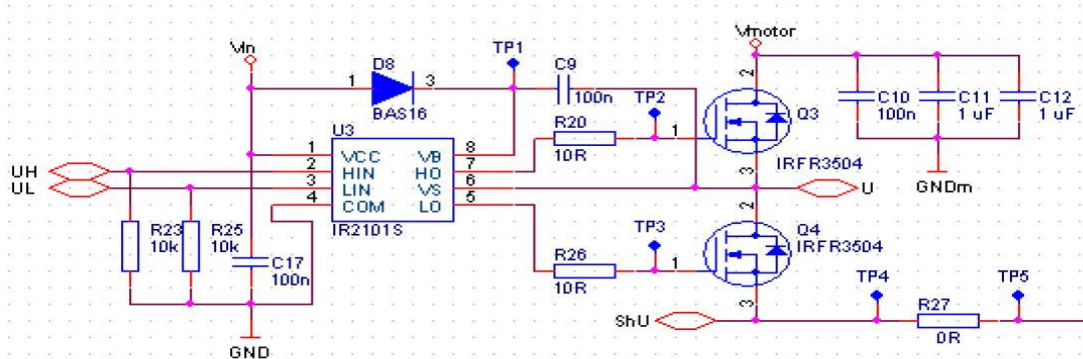
Oppbyggingen til motorkontrolleren vi konstruerer, tar utgangspunkt i de ferdige produktene MC300 (AVR430) [18] og MC301 (AVR469) [19] fra Atmel. MC300 er et "Power Stage", som består av transistorhalvbroene som sørger for kommutering av motoren. Dette kortet forsyner også motoren med spenning. MC301 er et "Motor Control Device Board", som tar for seg styringen av motoren. Her sitter det en mikrokontroller som behandler styresignalene som kommer fra MC300-kortet. De to kortene kobles sammen, og utgjør styreenheten til motoren.

En videreutvikling av denne styreenheten, er å bruke mikrokontrolleren på MC301 som en slave, og sende kommandoer over I<sup>2</sup>C-grensesnitt fra en mastermikrokontroller. Mastermikrokontrolleren kan sitte på et annet kort og kan sende og motta data fra mange forskjellige slaver.

Hovedkomponenten som prioriteres fra MC301, er mikrokontrolleren. Mikrokontrolleren vi skal bruke for styring av motoren, er en ATtiny861. Grunnen til at vi bruker en ATtiny861 er fordi TE har kommet med et krav om at vi skal benytte oss av denne mikrokontrolleren. Dette kan man lese om i kravspesifikasjon [20].

I applikasjonsnotat AVR496, kan man lese at ATtiny861 er velegnet for motorstyring. Kontrolleren har også en egen port som er definert til å styre en elektrisk motor. Mikrokontrolleren ATtiny861 skal sitte på motorkontrolleren vi designer.

Når det kommer til MC300-kortet, skal vi kun ta med de komponentene som må være med for at motorkontrolleren skal kunne styre en motor. Andre komponenter skal ikke tas med. Hovedkomponentene til MC300 beskrives videre i kapitlet.



FIGUR 06.02 – U HALVBRO

Figur 06.02, som er hentet fra applikasjonsnotat AVR430, kan vi se hvilke komponenter en transistorhalvbros består av, samt hvor de er plassert i kretsen.

Resistanser blir brukt i kretsen for å;

- Dimensjonere strømgangen.
- Sørge for en konstant spenning til en inngangspinne.
- Blir brukt tykk-film-resistanser [21].
- $R_{27}$  i Figur 05.02 er en "Sense"-resistans [22], som brukes for å måle strømtrekk. Motstandene er laget for overflatemontering.

I kretsen sørger kondensatorer for å:

- Filtrere bort rippelspenninger.
- Opprettholde spenningsnivåer.
- Stenge for likespenning.

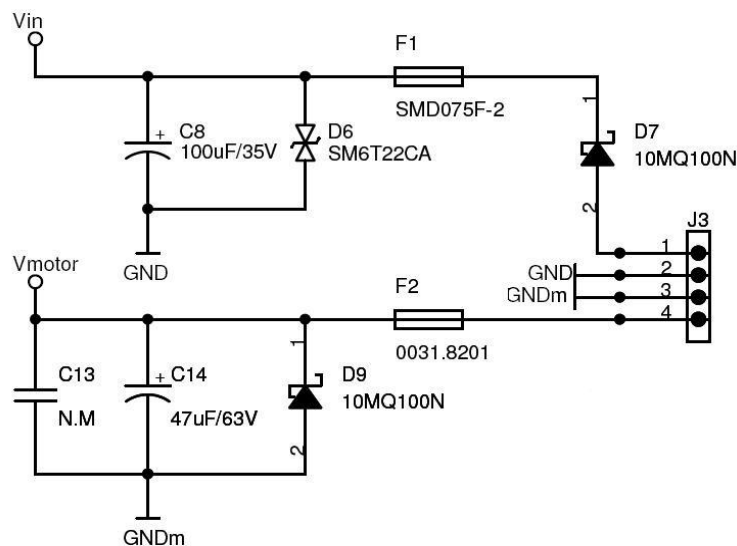
Mellom mikrokontrolleren og MOSFET-transistoren er det en spenningsdriver. Denne sørger for å heve spenningssignalet som kommer fra mikrokontrollere, opp til et vist nivå, slik at den kan åpne MOSFET-transistorene. Man trenger denne, siden signalet fra utgangsporten til mikrokontrolleren ikke er leverer mer enn drivspenning, som er ca. 5V. Spenningsdriver IR2101 [23] sin oppgave er å:

- Leverer en utgangsspenning som er større enn inngangsspenningen.
- Åpne GATE-inngangen på MOSFET-transistorene.

Utgangspinnene fra spenningsdriveren er så koplet til GATE-pinnene på MOSFET-transistoren. MOSFET-transistoren [24] blir brukt i motorkontrolleren for å:

- Lage en sluttet krets mellom motorviklingene.
- Blir brukt fordi den tåler stort strømtrekk, opptil 30A.
- Laget for å håndtere rask svitsjing, det vil si når man åpner og stenger GATE-inngangen og forbindelsen mellom DRAIN- og SOURCE-pinnene med PEM.

Fra spenningsforsyningen og inn på kretskortet, er det en del komponenter som sørger for en stabil DC-spenning til resten av kretsen.



FIGUR 06.03 - SPENNINGSTILFØRSEL

Figur 06.03 viser hvilke komponenter som er med på å stabilisere spenningssignalet som går videre til driverkretsen og halv-broene og motoren. Figur 06.03 er hentet fra AVR469. Disse er kort beskrevet nedenfor.

En "Bidirectional Transient Suppression Diode" [25] er plassert i kretsen for å:

- Beskytte komponenter som er sensitive mot ESD (Elektrostatisk Utladning).

Schottky diode [26]:

- Brukes som en likeretter. Sørger for strømretning i en bestemt retning.
- Lite spenningsfall over dioden.

På kretskortet sitter det to sikringer:

- "Resettable PolySwitch" som beskytter drivkretsen. Sørger for at det ikke går for stor strøm, slik at komponenter blir ødelagt.
- Overflatemontert sikring som sørger for at motoren ikke skal trekke større strøm enn motorkontrolleren er dimensjonert for. Dette er en engangssikring og må byttes ut hvis den ryker.

Rekkeklemmer brukes for å tilkople:

- Spenningsstilførsel til mikrokontrolleren.

- Spenningstilførsel til drivkretsen.
- Spenningstilførselen til BLDC-motoren.
- BLDC-motoren til kretskortet.

Siden rekkeklemmene sørger for forbindelse mellom spenningsforsyningen og BLDC-motoren, måtte disse tåle kravet for strømtrekk, som er 14A.

## 6.2 – FREMGANGSMETODE

Når det kom til beslutningen om hvordan designet til motorkontrolleren vår kommer til å bli, har vi gjort en del research. Dette har vi gjort for å få en god forståelse for hvordan en motorkontroller fungerer og hvilke funksjoner de forskjellige komponentene har.

Det første vi gjorde, var å ta tak i Application Note vi fikk utlevert av ekstern veileder, og som vi fant på nettet (dette inkluderer skjemategninger og komponentliste fra Atmels hjemmeside) og leste og studerte disse. Vi tok også et møte med en faglærer ved HiBu (Dag Samuelsen), for å diskutere litt rundt virkemåten, og for å prate om hva man måtte ta hensyn til når man skal modifisere en motorkontroller til eget bruk. Fra dette møtet fikk vi tips om hvordan noen av motstandene og kondensatorene skal plasseres (dette nevnes i designdokumentet), og at de eventuelt må endres på.

Med dette i tankene gikk vi videre og undersøkte hvordan man kunne beregne dette for at motoren kan trekke opp til 14A. Dette var uheldigvis en tidkrevende og lite vellykket, og vi fant ikke ut mye som forklarer hvordan man skal utføre beregningene.

Underveis i analyseprosessen, kom intern veileder også med innspill under oppfølgingsmøtene, når det kom til det å konstruere motorkontrolleren. Tipset veileder (Sigmund Gudvangen) kom med, er at man burde starte med transistorene, for så å dimensjonere resten av kretsen ut i fra dette. Det vil si at MOSFET-transistorene må tåle strømtrekket som er tenkt. Så beregnes resistansene og kondensatorene ut i fra denne verdien.

Likevel virket dette som en tungvint måte å starte på, siden databladet til transistorene allerede tåler kontinuerlige strømmer opp til 30A, som er over dobbelt så stor strøm som den opprinnelige kretsen tåler.

### **6.3 – BESLUTNINGER MED HENSYN PÅ MOTORKONTROLLER**

Etter å ha jobbet med motorkontrolleren over en lengre periode, tok vi en beslutning om å ta utgangspunkt i de opprinnelige skjemategningene fra Atmel. Vi vil bruke de eksisterende komponentene som er beskrevet i Application Note til AVR430 og kommer til å søke opp tilsvarende komponenter som består av samme materiale og som har samme verdier. Verdier og oppbyggingen til komponentene står i produktbeskrivelsen som ligger i Application Note AVR430.

## REFERANSER

- [1] Tittel: Manufacturing Engineering and Technologies  
 Forfatter: Serope Kalpakjian & Steven R. Schmid  
 Forlag: Pearson Education Centre  
 Kapittel: 15
- [2] Tittel: Farnell Norge  
 Webadresse: <http://no.farnell.com/>  
 Sist besøkt: 16.02.11
- [3] Tittel: HBM Norge  
 Webadresse: <http://hbm.no>  
 Sist besøkt: 16.02.11
- [4] Tittel: Mouser  
 Webadresse: <http://no.mouser.com/Home.aspx>  
 Sist besøkt: 16.02.11
- [5] Tittel: HBM, Strain Gages  
 Webadresse: [http://disensors.com/downloads/products/Y%20Series%20Strain%20Gauges\\_333.pdf](http://disensors.com/downloads/products/Y%20Series%20Strain%20Gauges_333.pdf)  
 Sist besøkt: 29.05.11
- [6] Tittel: HBM, V Strain Gages  
 Webadresse: [http://disensors.com/downloads/products/Y%20Series%20Strain%20Gauges\\_332.pdf](http://disensors.com/downloads/products/Y%20Series%20Strain%20Gauges_332.pdf)  
 Sist besøkt: 29.05.11
- [7] Tittel: Mechatronics (4<sup>th</sup> edition)  
 Forfatter: William Bolton  
 Forlag: Perason Education Limited  
 Side: 30-31, 42, 63-71, 76-81.
- [9] Tittel: Atmel – Atmega Paramteric Table  
 Webadresse: [http://atmel.com/dyn/products/param\\_table\\_excel.asp?category\\_id=163&family\\_id=607&subfamily\\_id=760](http://atmel.com/dyn/products/param_table_excel.asp?category_id=163&family_id=607&subfamily_id=760)  
 Sist besøkt: 13.02.11
- [10] Tittel: Atmel – ATmega16A  
 Webadresse: [http://atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc8154.pdf](http://atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8154.pdf)  
 Sist besøkt: 01.03.11
- [11] Tittel: Atmel  
 Webadresse: <http://atmel.com>  
 Sist besøkt: 13.02.11
- [12] Tittel: Atmel – STK600  
 Webadresse: [http://www.atmel.com/dyn/products/tools\\_card.asp?tool\\_id=4254](http://www.atmel.com/dyn/products/tools_card.asp?tool_id=4254)  
 Sist besøkt: 13.02.11



- [13] Tittel: Atmel – JTAGICE mkII  
 Webadresse: [http://atmel.com/dyn/products/tools\\_card.asp?tool\\_id=3353](http://atmel.com/dyn/products/tools_card.asp?tool_id=3353)  
 Sist besøkt: 13.02.11
  
- [26] Tittel: Atmel – AVR Dragon  
 Webadresse: [http://atmel.com/dyn/products/tools\\_card.asp?tool\\_id=3891](http://atmel.com/dyn/products/tools_card.asp?tool_id=3891)  
 Sist besøkt: 13.02.11
  
- [15] Tittel: Atmel – AVR315: Using TWI module as I2C master  
 Webadresse: [http://atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc2564.pdf](http://atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2564.pdf)  
 Sist besøkt: 01.03.11
  
- [16] Tittel: Atmel – AVR311: Using TWI module as I2C slave  
 Webadresse: [http://atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc2565.pdf](http://atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2565.pdf)  
 Sist besøkt: 01.03.11
  
- [17] Tittel: AVR496: Brushless DC Motor Control using ATtiny861  
 Webadresse: [http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc7827.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc7827.pdf)  
 Sist besøkt: 17.03.11
  
- [18] Tittel: AVR430: MC300 Hardware User Guide  
 Webadresse: [http://atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc8124.pdf](http://atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8124.pdf)  
 Sist besøkt: 01.03.11
  
- [19] Tittel: MC301: Hardware User Guide  
 Webadresse: [http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc8195.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8195.pdf)  
 Sist besøkt: 01.03.11
  
- [20] Tittel: Kravspesifikasjon  
 Forfatter: Thakkar J, Jawher R, Lie L, Iqbal B.
  
- [21] Tittel: Vishay – Standard Thick Film Chip Resistors  
 Webadresse: <http://www.vishay.com/docs/20035/dcrcwe3.pdf>  
 Sist besøkt: 17.03.11
  
- [22] Tittel: Vishay – Low Value Resistor  
 Webadresse: <http://www.vishay.com/docs/30100/wsl.pdf>  
 Sist besøkt: 17.03.11
  
- [23] Tittel: International Rectifier – High and Low Side Driver  
 Webadresse: <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/ir2101.pdf>  
 Sist besøkt: 17.03.11
  
- [24] Tittel: International Rectifier – HEXFET Power MOSFET  
 Webadresse: <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irfr3504pbf.pdf>  
 Siste besøkt: 17.03.11
  
- [25] Tittel: STMicroelectronics – Bipolar Transient Supression Diode  
 Webadresse: [http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL\\_RESOURCES/TECHNICAL\\_LITERATURE/DATASHEET/CD00000725.pdf](http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/CD00000725.pdf)
  
- [26] Tittel: Vishay – Schottky Rectifier  
 Webadresse: <http://www.vishay.com/docs/94119/10mq100n.pdf>  
 Siste besøkt: 17.03.11

- [28] Tittel: Statics and Mechanics of Materials  
Forfatter: R.C. Hibbeler  
Forlag: SI Edition  
Kapittel: 13
- [29] Tittel: Rud Mekanikk AS  
Webadresse: <http://www.rudmekanikk.no/produkter.htm>  
Sist besøkt: 29.04.11



## *Thread Control System*

---

# DESIGNDOKUMENT

---

VERSJON	DATO	BESKRIVELSE
OD-02	04.05.11	Første offisielle dokument

NAVN	SIGNATUR
LARS THORVALD LIE	
JAPRIT SINGH THAKKAR	
BABAR IQBAL	
REBAZ JAWHER	

## INNHOLDSFORTEGNELSE

DOKUMENTHISTORIE OG AKRONYMER	04
Dokumenthistorie	04
Akronymer	04
01 – INNLEDNING	05
02 – STREKKLAPPER	06
2.1 - Problemstillingene	06
2.2 – Strekklapptype	06
2.3 – Brokobling	06
2.4 – Montering	06
2.5 – Monteringsretning	07
2.6 – Optimal plassering	07
2.7 – Plassering av operasjonsforsterkeren	07
03 – MEKANIKK	08
3.1 – Problemstillinger	08
3.2 – Optimal geometri og materialbruk for brystbom og bakbom	08
3.3 – Implementering av strekkapper i bakbom	10
3.4 – Innfesting til brystbom og bakbom	10
3.5 – Design av brystbom og bakbom	11
3.6 – Geometri for renningsbom og varebom	11
04 - STREKKLAPPER	14
4.1 – Maksimal belastning	14
4.2 – Momentberegning	15
4.3 – Tverrsgående skjærspenning i bakbom	16
05 - ALGORITME	18
5.2 – Mastermikrokontroller	18
5.3 – Slavemikrokontrollere	21
5.3.1 - I <sup>2</sup> C-slave	22
06 - MOTORKONTROLLER	23
6.1 – Design	23
6.2 – Endringer av motorkontrolleren	24
6.3 – Komponenter	27
6.4 – Skjemategning	27
REFERANSER	29

## INNHOLDSFORTEGNELSE FOR TABELLER

Tabell 00.01 - Dokumenthistorie	04
Tabell 00.02 - Akronymmer	04
Tabell 03.01 - Forskjellige størrelse av Socket Cap skruer	11
Tabell 06.01 - Strømbegrensninger	24

## INNHOLDSFORTEGNELSE FOR FIGURER

Figur 03.01 - Optimal geometri	09
Figur 03.02 - Masse for bakbom/brystbom	09
Figur 03.03 - FEM-analyse	10
Figur 03.04 - Skruer	11
Figur 04.01 - Styrkeberegninger	14
Figur 04.02 - Bakbom	16
Figur 05.01 - Flytskjema mastermikrokontroller	19
Figur 05.02 - Flytskjema ADC	20
Figur 05.03 - Flytskjema for I <sup>2</sup> C-master	20
Figur 05.04 - Flytskjema slavemikrokontrollere	21
Figur 09.06 - Pin-out til ATtiny861	22
Figur 06.01 - Testtrigg	23
Figur 06.02 - Spenningsregulator	25
Figur 06.03 - Koblingspunkter for ISP	27

## DOKUMENTHISTORIE OG AKRONYMER

### DOKUMENTHISTORIE

VERSJON	DATO	ENDRINGER
0.0	16.04.11	Sammensatt til et felles dokument
0.1	18.04.11	Lagt til innholdsfortegnelse
1.0	18.04.11	Første offisielle dokument
1.1	26.04.11	Oppdatert flytskjema for mastermikrokontroller Endret beskrivelse for figur 3.10, 3.11, 3.12 Endret figur 05.01, 05.04, 05.05
1.2	04.05.11	Oppdatert delkapittel 3.5, 3.6 og 3.7 design for varebom og renningsbom Endret figur 03.05-03.06 og 03.07 Figur 03.08-03.12 er slettet Endret beskrivelser i kapittel 5
2.0	04.05.11	Andre offisielle dokument

TABELL 00.01 - DOKUMENTHISTORIE

### AKRONYMER

AKRONYM	
TE	Tronrud Engineering
PT	POINTechnologies
BLDC	Børsteløs DC-motor
TC-2	Thread Controller 2
ADC	Analog-to-Digital Converter
I <sup>2</sup> C	Inter-Integrated Circuit
IC	Integrated Circuit
FEM	Finite Element Method

TABELL 00.02 - AKRONYMER

## KAPITTEL 1

### INNLEDNING

Dette dokumentet er basert på analysen som ble utført i analysedokumentet. Hensikten med dokumentet er først og fremst å gi en god beskrivelse av designet prosjektgruppen har utviklet. Dokumentet vil bli benyttet av prosjektgruppen som et underlag for implementasjonen av systemet.

## KAPITTEL 2

### STREKKLAPPER

Dette kapitlet er ment for å gi svar på problemstillingene knyttet til prosjektoppgavens del som omhandler strekkapper. Først gis det en kort beskrivelse av problemstillingene, deretter følger løsningsforslaget prosjektgruppen har kommet frem til for hver av problemstillingene.

#### 2.1 - PROBLEMSTILLINGENE

1. Hvilken type strekkapper skal benyttes?
2. Hva slags brokobling skal benyttes?
3. På hvilken overflate skal strekkappene monteres?
4. Skal strekkappene monteres horisontalt eller vertikalt?
5. Hvor langt inn fra kantene av bommen kommer vi til å montere strekkappene?
6. Hva er den optimale plasseringen av operasjonsforsterkeren?

#### 2.2 – STREKKLAPPTYPE

Prosjektgruppen har valgt å benytte strekklapptypen XY33-3/350 fra HBM [1]. Denne strekklapptypen har en tre meter lang ledning som er påloddet. Vi kom frem til denne typen strekkapper etter flere interne diskusjoner innad i gruppen, samt samtaler med våre kontaktpersoner fra TE (Bjørn og Geir).

#### 2.3 – BROKOBLING

Gruppen har valgt å gå videre med en helbrokobling. I henhold til avtale med TE vil prosjektgruppen motta to strekkapper av typen XY33-3/350 fra TE, som til sammen skal forme en fullbrokobling.

#### 2.4 – MONTERING

Gruppen mener at fysisk testing er den beste måten å finne ut hvilken overflate strekkappene kan monteres på. Primært foretrekker vi å få festet begge strekkappene på innsiden av bommen, dersom dette viser seg å være mulig etter testing. En nærmere forklaring er gitt i kapittel 3.3.



## **2.5 – MONTERINGSRETNING**

Siden vi vet at strekkklappene vil ha mest sensitivitet dersom de blir strekt i lengderetningen (horisontalt), regner vi med å finne den beste plasseringen ved hjelp av fysisk testing. Med andre ord kreves det en fysisk test her også for å løse denne problemstillingen.

## **2.6 – OPTIMAL PLASSERING**

Gruppen har foreløpig valgt å plassere strekkklappene på innsiden av bommen. For mer informasjon refereres leseren til kapittel 3.3, som tar for seg optimal plassering av strekkklappene.

## **2.7 – PLASSERING AV OPERASJONSFORSTERKEREN**

Vi kommer primært til å prøve å plassere operasjonsforsterkeren ved mastermikrokontrolleren, dette grunnet at strekkklappene har tre meter lang ledning påloddet. For å forsikre oss om at dette valget er hensiktsmessig vil vi utføre en test for dette, slik som beskrevet i analysedokumentet og testspesifikasjonen. Denne testen vil bli utført på testtriggen prosjektgruppen har mottatt av TE.

## KAPITTEL 3

### MEKANIKK

Dette kapitlet tar for seg problemstillingene og løsningsforslag vi har kommet frem til for den mekaniske delen av oppgaven. Det vil også bli gitt en begrunnelse for valgene vi har foretatt underveis i designprosessen. Merk at styrkeberegningen tilknyttet mekanikkdelen er gitt i kapittel 4.

#### 3.1 – PROBLEMSTILLINGER

Problemstillingene knyttet til mekanikkdelen av oppgaven er følgende:

1. Finn optimal geometri og materialbruk i brystbom og bakbom for maksimal stivhet og lavest mulig vekt.
2. Undersøk mulighetene for å implementere strekkklapper i brystbom og/eller bakbom.
3. Innfestningen til bakbom og brystbom skal revurderes.
4. Designet til bakbom og brystbom, samt tilhørende løsningen for innfestning bør ikke kreve store endringer til primært armene som holder bommene.
5. Ytre geometri for varebom og renningsbom er definert, den indre geometrien må gi rom for innfesting av to skruer.

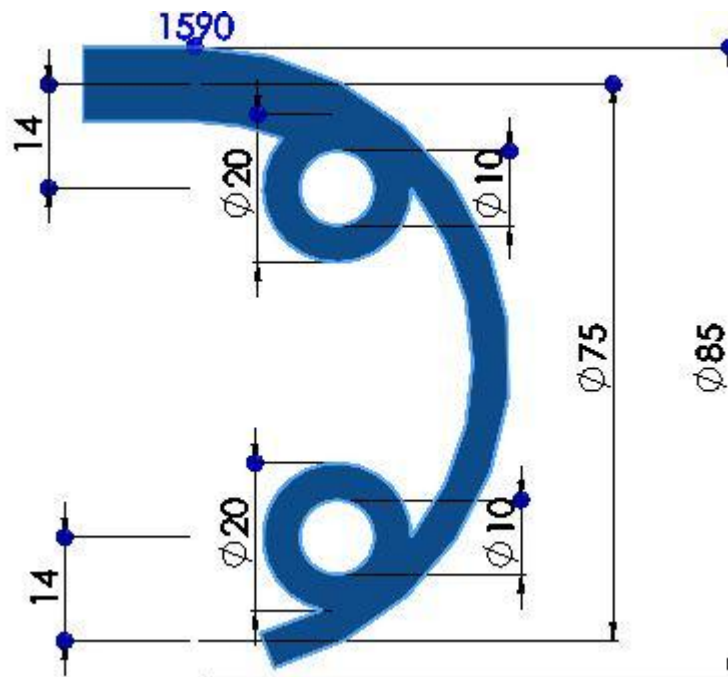
#### 3.2 – OPTIMAL GEOMETRI OG MATERIALBRUK FOR BRYSTBOM OG BAKBOM

Brystbom og bakbom har lik geometri i vår løsning. Vi har etter nærmere undersøkelser funnet ut at geometrien som er vist i figur 03.01 er den optimale til disse bommene, med hensyn til maksimal stivhet.

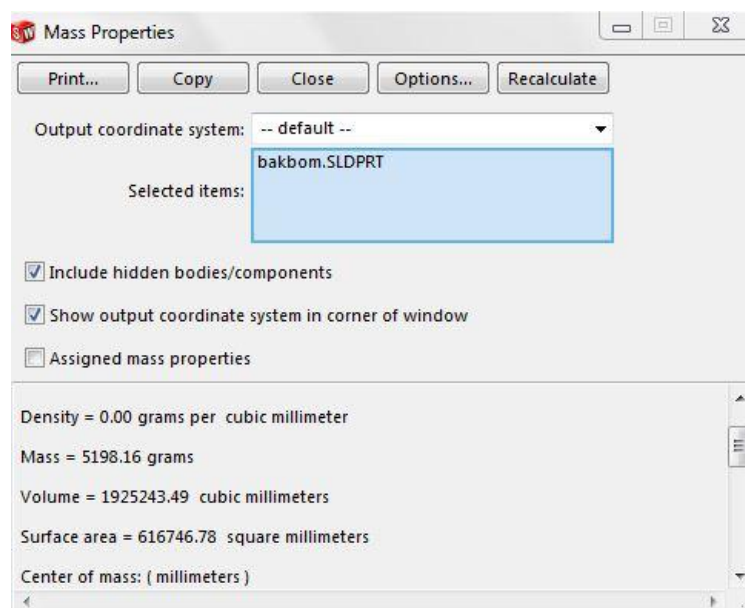
Disse bommene er C-formet. Fordelen med dette er å redusere både vekt og materialbruk ved å fjerne områder der det ikke er kontakt mellom trådene og bommene. En annen fordel med C-formede bomber er at det er enkelt å plassere strekkklapper på innsiden av bommene.

Den øverste delen av bommen er 10mm tykk, dobbelt så tykk som den nederste delen. Grunnen for dette er at vi ønsket å få en bedre flatekontakt mellom brystbom og skjeslag under vevingsprosessen.

Materialet til disse bommene er Aluminium i serie 6063-T6. Denne typen aluminium er gunstig når bommene vil bli ekstrudert [2]. Bommene som er 1590mm lange, altså de som skal brukes for maskiner med fire moduler i bredden, vil veie 5,2 kg. For nærmere informasjon, se illustrasjon gitt av figur 03.02. Dette er et slags "datablod" fra Solid Works som presenterer egenskapene til bommen som blant annet vekt, overflatearealet, og volumet.



FIGUR 03.01 – OPTIMAL GEOMETRI

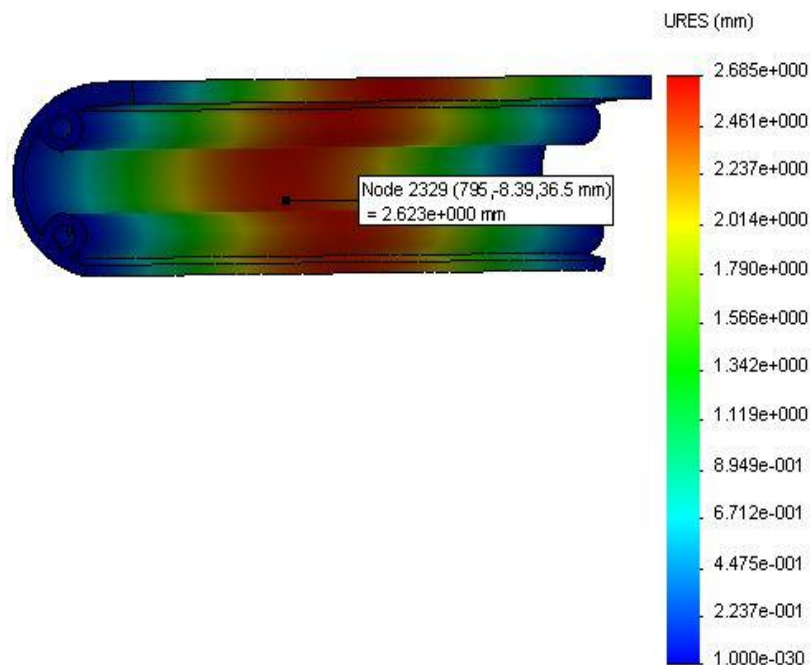


FIGUR 03.02 – MASSE FOR BAKBOM/BRYSTBOM

### 3.3 – IMPLEMENTERING AV STREKKLAPPER I BAKBOM

Strekklappene kan plasseres på innsiden av bommene, for å kunne detektere strekk/stramning av renningen. Plassering av strekkklapper på utsiden av bommen er ikke aktuelt på grunn av kontakt mellom bommen og tråder.

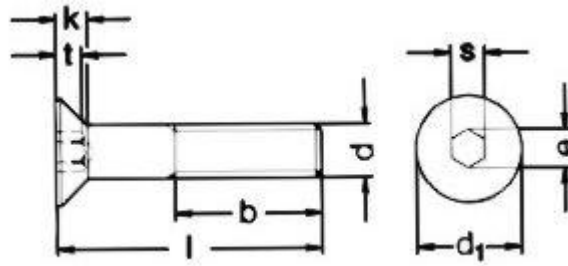
Testing av bommene ved simuleringsprogram FEM analyse viste oss at maks bøyning vil skje i midten av bommen. Ved maks stramning vil bakbom bli bøyd 2,6 mm. Se figur 03.03 hvor området som er rødt viser det aktuelle området for plassering av strekkklapper.



FIGUR 03.03 – FEM-ANALYSE

### 3.4 – INNFESTING TIL BRYSTBOM OG BAKBOM

Bommene kan bli festet på maskinen med to skruer på hver side. Vi anbefaler skruer som ANSI Metric Standard [3], type (socket Countersunk Head Cap screw-ANSI B18.3.5M). Mer informasjon om type skruer og størrelsen er vist i figur 03.04. De to Ø20 hullsylinderne på innsiden av bommene brukes for å feste bommene i endene, og fordelene med at mønsteret er langs bommene er å forsterke bestandigheten av bommene mot maks stramning.



FIGUR 03.04 - SKRUER

Tabell 03.01 viser forskjellige størrelser av Socket Cap skruer (Flat Head Countersunk). M10 er anbefalt til festing av bakbom og brystbom [3].

DIAMETER	M6	M8	M10	M12	M16
>125	18	22	26	30	38
>200	24	28	32	36	44
t	2,5	3,5	4,4	4,6	5,3
e	4,58	5,72	6,86	9,15	11,43
s	4	5	6	8	10
K max	3,3	4,4	5,5	6,5	7,5
D <sub>1</sub>	12	16	20	24	30

TABELL 03.01 – FORSKJELLIGE STØRRELSE AV SOCKET CAP SKRUER

### 3.5 – DESIGN AV BRYSTBOM OG BAKBOM

Designet til bakbom og brystbom vil ikke kreve store endringer til primært armene som holder bommene. Ytre radius for vår løsning har samme størrelse som den er i dag. Merk at vår løsning til innfestning av bommene krever litt endring av armene som holder bommene. Løsningen vår vil bli festet med to skruer på hver side.

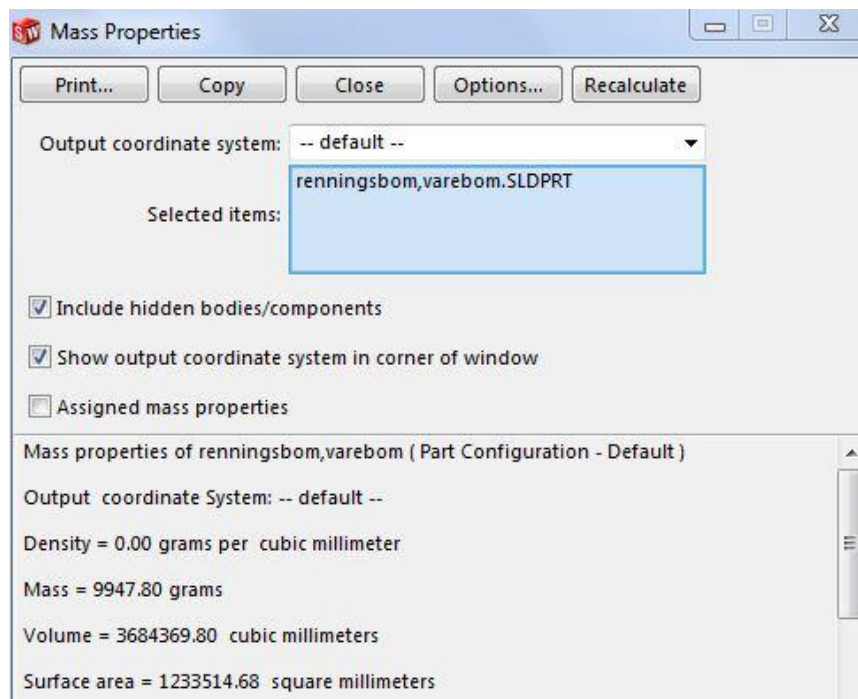
### 3.6 – GEOMETRI FOR RENNINGSBOM OG VAREBOM

Problemstillingene for design av overnevnte bommene er følgende:

1. Ytre geometri er definert, den indre geometri må gi rom for innfesting av to skruer.
2. Dimensjonering av stivhet og styrke til bommene.
3. Styrke i området der skruene festes vurderes.



2. Stivhet og styrket til bommene er optimale. Tykkelsen av bommene har blitt redusert gradvis til lavest mulig. Ved hjelp av FEM analyse forskjellige tester har blitt utført fram til vi har kommet til den optimale geometrien til disse bommene. Resultatene av testene er dokumentert i kapittelet for testing. Tykkelsen på bommene er 5mm. Materialet til disse bommene er Aluminium i serie 6063-T6. Denne typen aluminium er gunstig når bommene vil bli ekstrudert [2]. Bommene er 1590mm lange, altså de kan brukes for maskiner med fire moduler i bredden. Hver bom veier 9,9 kg. Se figur 03.07.



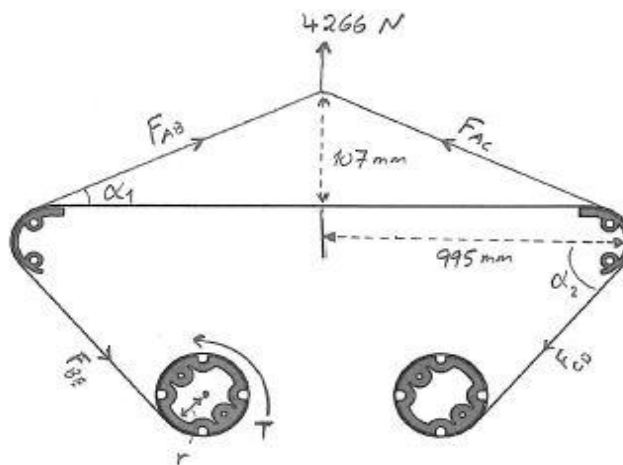
FIGUR 03.07 MASSE FOR RENNINGSBOM

3. Styrket rundt området der skruene festes har blitt observert underveis. Bommene har blitt påført maks belastning, resultatene er dokumentert i kapittelet for testing.

## KAPITTEL 4

### STYRKEBEREGNINGER

Dette kapitlet er ment for å gi en forklaring av styrkeberegningen som har blitt utført av prosjektgruppen. Dette innebærer beregning av maksimal belastning, momentberegning og styrke i området rundt der skruene festes for bakbom og renningsbom, dvs. skjærspenning i bommene ved maksimal belastning.



FIGUR 4.1 - STYRKEBEREGNINGER

#### 4.1 - MAKSIMAL BELASTNING

$$32 \text{ (moduler)} \times 220 \text{ (tråder)} \times 0,606\text{N} = \underline{4266,24\text{N}}$$

$$\alpha_1 = \tan^{-1} \frac{107}{995} = 6,13^\circ$$

$$\rightarrow \sum F_x = 0 \Leftrightarrow FAC \sin 6,13 + (-FAB \sin 6,13) = 0 \Leftrightarrow \underline{FAC = FAB}$$

$$+ \uparrow \sum F_y = 0 \Leftrightarrow 4266 - FAB \cos 6,13 - FAC \cos 6,13 = 0 \Leftrightarrow FAB + FAC = \frac{4266}{\cos 6,13} = \underline{4,29}$$

Dette gir:

$$FAB = 2,14 \text{ KN}$$

$$FAC = 2,14 \text{ KN}$$

Antar at  $\alpha_2 = 45^\circ$ , noe som gir:

$$\rightarrow \sum F_x = 0 \Leftrightarrow -FAC \cos 6,13 + (-FCD \cos 45) = 0 \Leftrightarrow FCD = (-FAC \cos 6,13) / \cos 45$$



$$\Rightarrow \underline{FCD} = \frac{-2,14 \cos 6,13}{\cos 45} = \underline{-3,0 \text{ KN}}$$

$$FCD = FBE = -3,0 \text{ KN}$$

Disse beregningene er i henhold til [6].

#### 4.2 – MOMENTBEREGNING

Varebom og renningsbom vil bli styrt med BLDC motor, det vil si at hastigheten er proporsjonal med spenning, og moment er proporsjonal med strømmen. DC motor likning:

$$L \frac{di(t)}{dt} = U_s(t) - RA i(t) - K_e \omega R(t) \text{ [V]} \quad (4.1)$$

Hvor:

$L$  = rotorinduktans [mH],  $i$  = tilført rotorstrøm [A],  $U_s$  = tilført rotorspenning [V],  $RA$  = rotormotstand [ $\Omega$ ],  $K_e$  = induertspenning konstant [ $\frac{Vs}{rad}$ ] og  $\omega R$  = rotorhastighet [ $\frac{rad}{s}$ ].

Tar utgangspunktet til formelen:

$P = T\omega$  [W], omforme formelen med hensyn til  $T$  som gir gir:

$$T = P/\omega \quad (4.2)$$

Hvor  $P$  = Effekt og  $T$  = rotorlastmoment [N.m]. Videre får vi:

$$P = RA \quad (4.3)$$

Ved maks stramning antas strømmen er konstant, og den deriverte av en konstant er lik null. Dette gir en reduksjon i DC motor likningen som følgende:

$$0 = U_s(t) - RA i(t) - K_e \omega R(t) \text{ [V]} \quad (4.4)$$

løser likningen med hensyn til  $\omega$ :

$$\omega R = \frac{U_s(t) - R i(t)}{K_e} \left[ \frac{rad}{s} \right] \quad (4.5)$$

Setter (4.3) og (4.5) i (4.2):

$$T = \frac{R i}{\frac{U_s - R i}{K_e}} = \frac{R i K_e}{U_s - R i} \quad (4.6)$$

Ved maksimal stramning vil spenning og strømmen være:

$$U_s = 24 \text{ [V]}$$

$$i = 14 \text{ [A]}$$

I følge databladet til motoren [6]:

$$R_A = 0,16 \text{ [\Omega]}$$

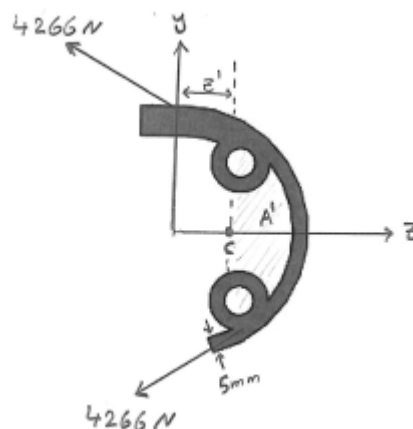
$$K_e = 4,25 \left[ \frac{\text{V}}{\text{krpm}} \right] = \frac{4,25 \cdot 60}{1000} \left[ \frac{\text{V}}{\text{rps}} \right] = \frac{4,25 \cdot 60}{1000 \cdot 2 \pi} = \frac{0,1275}{\pi} \left[ \frac{\text{V}}{\text{rad/s}} \right]$$

Setter verdiene i (3.6)

$$T = \frac{R i K_e}{U_s - R i} = T = \frac{(0,16)(14)(0,1275)}{\{(24) - (0,16)(14)\} \pi} = 0,00418 \text{ [Nm]}$$

Disse beregningene er i henhold til kapittel en i [4], og en og fire i [6].

### 4.3 - TVERRSGÅENDE SKJÆRSPENNING I BAKBOM



FIGUR 04.02 - BAKBOM

$$\tau = \frac{VQ}{It}$$

Hvor  $\tau$  er den skjærspenning i bakkbommen, V er den interne resulterende skjærkraften bestemt fra metoden for seksjoner og ligninger av likevekt.

Vet at  $V = 4266 \text{ N}$

$$I = \text{treghetsmomentet av hele tverrsnittet} = \frac{1}{8} \pi (c^4 - c_o^4)$$

Hvor  $C = 42,5^4$  med mer,  $C_o = 37,5^4$  mm og t er bredden av bommens tverrsnittsareal (5 mm)

$$Q = Z' \times A' = \sum Z' \times A' \text{ hvor } Z' = \frac{4 \times r}{3\pi} \text{ og } A' = \frac{\pi \times r^2}{2}$$

$$I = \frac{1}{8} \pi (42,5^4 - 37,5^4) = \underline{50,46 \times 10^4 \text{ mm.}}$$

$$Q_{max} = \frac{4 \times 42,5}{3\pi} \times \left( \frac{\pi \times 42,5^2}{2} \right) - \frac{4 \times 37,5}{3\pi} \times \left( \frac{\pi \times 37,5^2}{2} \right) = \underline{16,02 \times 10^3 \text{ mm.}}$$

$$\underline{\underline{\tau_{max}}} = \frac{VQ_{max}}{It} = \frac{4266 \times 16,02 \times 10^3}{50,46 \times 10^4 \times 5} = \underline{\underline{27,08 \text{ MPa}}}$$

disse beregningene er i henhold til kapittel 13 i [6].

## KAPITTEL 5

### ALGORITME

Her vil vi gi en forklaring på hvordan vi ønsker å løse problemstillingene knyttet til algoritmedelen av oppgaven. Denne forklaringen vil bli gitt i form av flytskjemaer som skal gi leseren et innblikk i hvordan algoritmen vår skal fungere i praksis.

Som nevnt i analysedokument skal det utvikles programkode for totalt tre mikrokontrollere. En mastermikrokontroller og to slavemikrokontrollere.

#### 5.1 – REGULERINGSSYSTEMET

Prosjektgruppen har etter avtale med oppdragsgiver besluttet at reguleringssystemet som utvikles skal fungere slik at mastermikrokontrolleren skal sende kommandoer som hastighet, styreretning og antall omdreininger til slavemikrokontrollerne. Videre skal slavemikrokontrollerne utføre operasjoner for å styre motorene i henhold til kommandoene den har mottatt fra mastermikrokontrolleren.

Videre har prosjektgruppen vedtatt at det bare er renningsmotoren som skal være med på å regulere systemet i henhold til strekket. Denne beslutningen har prosjektgruppen tatt med tanke på å forenkle reguleringsprosessen. Varemotoren skal kun kjøres når det ferdig vevde produktet på varebommen skal mates fremover. Mer informasjon om dette gis i delkapittelet om slavemikrokontrollerne.

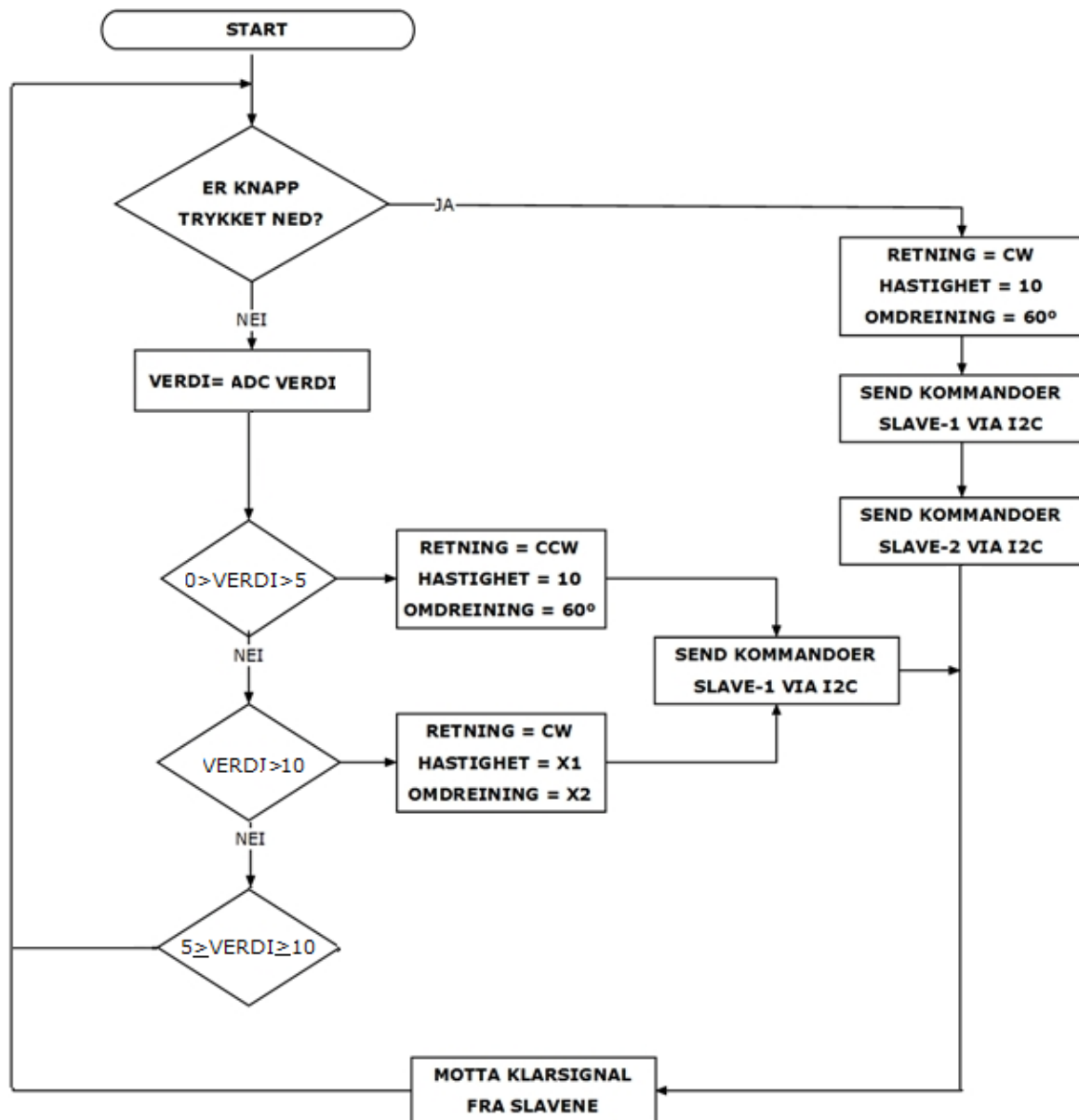
For å forenkle forklaringen videre har vi valgt å dele resten av kapittelet i to deler. Først vil vi ta for oss masterkontrolleren, og deretter slavekontrollerne.

#### 5.2 – MASTERMIKROKONTROLLER

Mastermikrokontrolleren har det overordnede ansvaret for operasjonene som skal foretas i reguleringssystemet. Koden som utvikles for mastermikrokontrollen skal implementeres på en mikrokontroller av typen ATmega16A [7]. Figur 05.01 viser et overordnet flytskjema for hvordan prosjektgruppen har valgt at algoritmen skal settes opp for mastermikrokontrolleren.

Mastermikrokontrolleren vil hele tiden prøve å detektere stramming på renningen ved hjelp av sensorer. Disse sensorene er i dette tilfellet strekkklapper. Dersom trådene verken er for stramme eller for slakke, og vi har "perfekt strekk" i systemet vil ikke

masteren sende ut noen som helst kommando til slavene. Dette innebærer igjen at slavene ikke trenger å foreta noe.



FIGUR 05.01 – FLYTSKJEMA MASTERMIKROKONTROLLEN

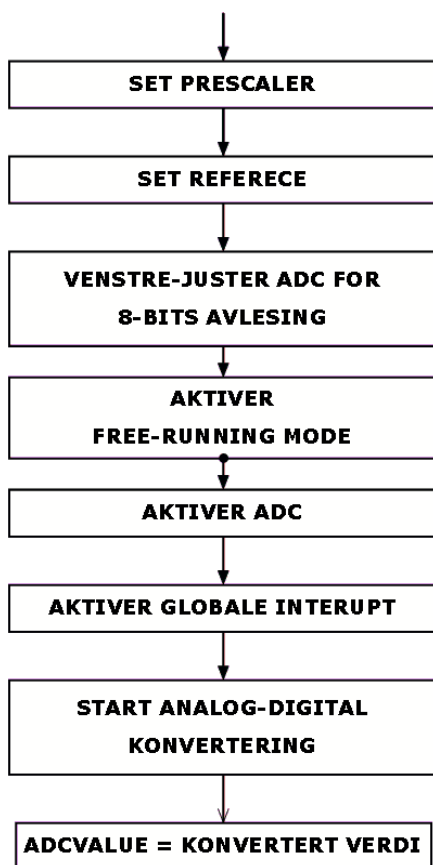
Dersom det detekteres stramming på renningen så vil det analoge signalet fra streklappene konverteres til en digital verdi. Denne digitale verdien vil sorteres videre i algoritmen slik at riktig kommando om hastighet, retning og antall rotasjoner sendes til slavene via I<sup>2</sup>C-grensesnittet. Et overordnet flytskjema for ADC er gitt i figur 05.02.

### 5.2.1 - I<sup>2</sup>C-MASTER

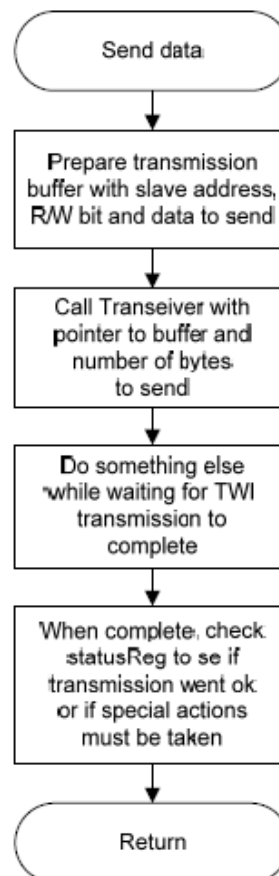
I analysedokumentet fremgikk det at mastermikrokontrolleren skulle fungere som I<sup>2</sup>C-master. For å få denne delen av oppgaven til så har vi valgt å ta utgangspunkt i Atmel sitt applikasjonsnotat som omhandler dette temaet. Leseren refereres her til [8] for mer detaljert informasjon om dette emnet. Flytskjemaet i figur 05.03 viser hvordan denne delen av algoritmen skal fungere etter at den har blitt implementert på mikrokontrolleren. Flytskjemaet er hentet fra Atmel sitt applikasjonsnotat som omhandler dette temaet [8].

Videre har TE uttrykt et ønske om at begge motorene skal kjøre fremover dersom det gis et signal. For å gi dette signalet tenker vi å benytte oss av en knapp.

Hver gang denne knappen presses ned så vil bestemte kommandoer sendes over I<sup>2</sup>C-grensesnittet til begge slavemikrokontrollerne, slik at begge motorene kjøres likt fremover.



FIGUR 05.02 – FLYTSKJEMA ADC

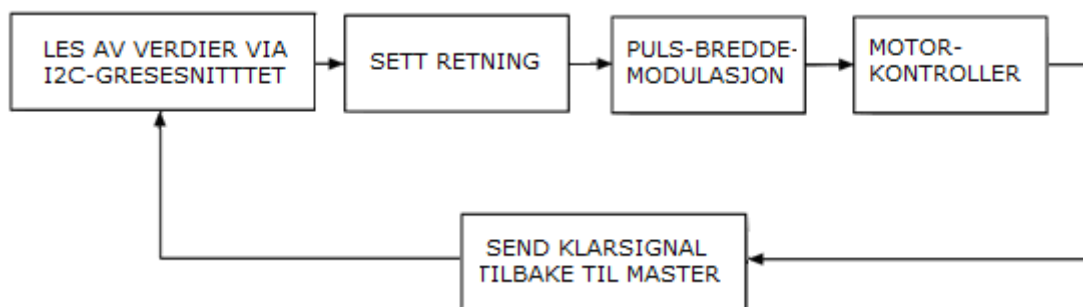


FIGUR 05.03 – FLYTSKJEMA FOR I<sup>2</sup>C-MASTER [8]

### 5.3 – SLAVEMIKROKONTROLLERE

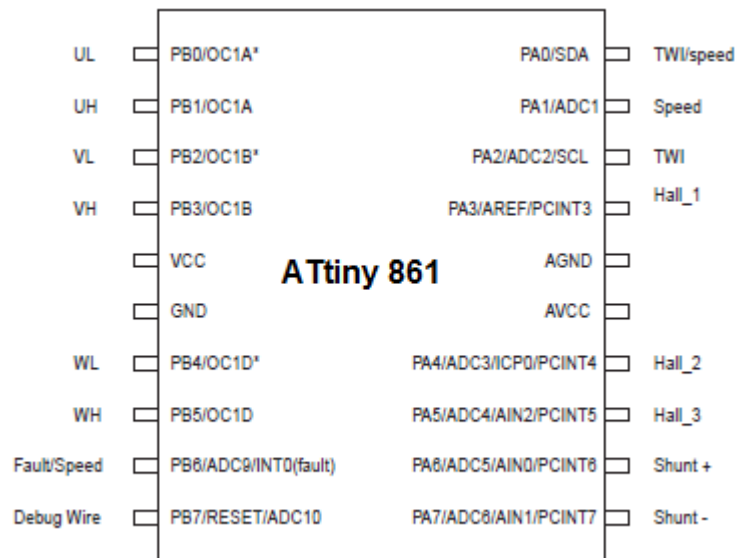
Vi har besluttet at det bare er renningsmotoren som skal være med på å regulere systemet i henhold til strekket. Dette for å gjøre prosessen enklere. Renningsmotoren har tre forskjellige oppgaver den skal gjøre. Ved for lite stramning i systemet skal renningsmotoren gå i klokkeretning for å stramme trådene. Ved for mye stramning i systemet skal renningsmotoren gå i motsatt retning av klokken. Videre skal dessuten begge motorene (som nevnt i delkapittelet om masteren) kjøres fremover dersom brukeren trykker på en knapp (SW0), for å rulle en bestemt lengde av det ferdig vevde produktet fremover. Kort oppsummert er oppgaven til slavemikrokontrollene å følge de kommandoene de får fra master mikrokontroller. Slavene skal ikke ta sine egne vurderinger.

Figur 09.04 viser flytskjemaet for algoritmen som skal implementeres på slavemikrokontrollerne. Koden som utvikles for slavemikrokontrollerne skal implementeres på to mikrokontrollere av typen ATTiny861 [9.11]. Koden på de to mikrokontrollerne skal være identiske. Den eneste forskjellen er adresseringsbittet for I<sup>2</sup>C-gresesnippet.



FIGUR 05.04 – FLYTSKJEMA SLAVEMIKROKONTROLLERE

Vi ser av figur 09.04 at slavemikrokontrollerne mottar kommandoer fra masteren over I<sup>2</sup>C-gresesnippet hver gang det er behov for å utføre en operasjon. Operasjonene vil bli utført ved hjelp av UL-UH, VL-VH og WL-WH (en til retning og en til hastighet) i form av pulsbredde modulering. Disse utgangene vil få transistorene i motordriveren til å sette strøm på riktig viklinger, noe som vil føre til at motoren går i den retningen og hastigheten som masteren ønsket. Figur 05.07 viser oss oppbygningen av ATTiny861.



FIGUR 09.06 – PIN-OUT TIL ATTINY861

### 5.3.1 - I<sup>2</sup>C-SLAVE

Slavemikrokontrollerne skal fungere som I<sup>2</sup>C-slaver som mottar verdier fra mastermikrokontrolleren. For å løse denne delen av oppgaven tatt i bruk [10] som utgangspunkt. Se [10] for mer detaljert informasjon om hvordan I<sup>2</sup>C-slaven skal fungere i praksis.



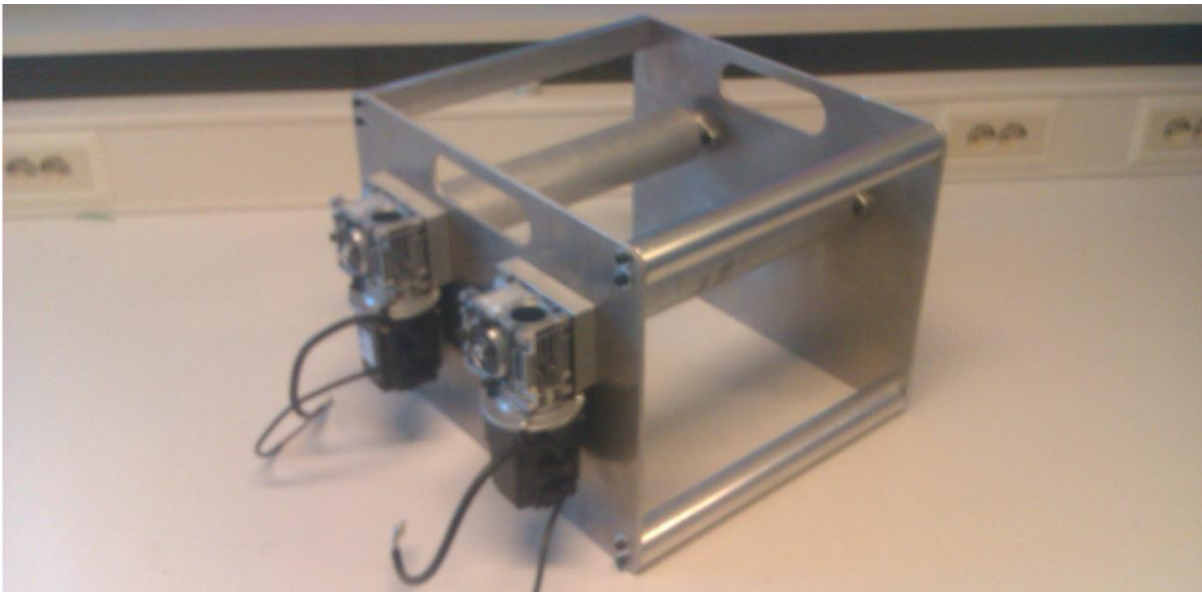
## KAPITTEL 6

### MOTORKONTROLLER

Dette kapitlet er en videreføring av analysedokumentet. Her finnes også en beskrivelse av kretsens komponenter.

#### 6.1 – DESIGN

Motorkontrolleren som vi lager en design for, skal drive motorene som sitter på testtriggen. Riggen vi har fått fra TE er nedskalert til en modell på 40cm \* 43cm \* 30cm, der motorene sitter på. Figur 06.01 viser testtriggen prosjektgruppen har fått av TE.



FIGUR 06.01 – TESTRIGG

Etter at vi analyserte skjematikken og oppbyggingen til motorkontrolleren ved applikasjonsnotatene til Atmel, har vi kommet frem til en løsning som vi har jobbet videre med. Denne løsningen bygger på den samme oppbyggingen som MC300 har. Motorkontrollerkortet vil bestå av slavemikrokontrolleren, en logikkrets med spenningsdriveren, samt tre transistorhalvbroyer som driver BLDC-motorene. Skjematisk tegning av kretsen ligger som vedlegg.

## 6.2 – ENDRINGER AV MOTORKONTROLLEREN

For å kunne bruke en tilsvarende sammensetning fra MC300, må vi gjøre noen små justeringer. Disse er i forbindelse med hvor stor den tillatte strømgangen skal være på. I applikasjonsnotatet er det beskrevet hvilke endringer man må gjøre. Disse er vist i tabell 06.01.

KOMPONENTNUMMER	KOMPONENTNAVN	BEGRENSENDE PARAMETRE
R62	50mΩ 2W	$I_{\max} = \text{sqrt}(P/R) = 6,0A$
J3 & J7	MC1,5/x-G3,81	$I_{\max} = 8A$
Q3, Q4, Q5, Q6, Q7, Q8, Q9 & Q10	IRFR3504	$I_D = 30A$

TABELL 06.01 - STRØMBEGRENSNINGER

Den første endringen som måtte gjøres, var å regne ut en ny strømmålingsmotstand, slik at det er mulig at det kan gå 14A maks. Dette gjorde vi ved å snu på uttrykket

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{P}{R}} \quad (6.1)$$

Ved å snu på uttrykket, får man et uttrykk for motstanden, som er

$$R = \frac{P}{I_{\max}^2} \quad (6.2)$$

Effektutviklingen skal ikke være større enn 2W, i følge applikasjonsnotatet til MC300.

Setter man inn verdiene for  $P = 2W$  og  $I_{\max} = 14A$ , får man

$$R = \frac{2}{14^2} = 0,01\Omega.$$

Får at motstanden R62 må være på  $0,01\Omega$  for at det skal gå 14A gjennom kretsen.

De andre justeringene som må gjøres, er at kontaktpluggene som man kobler til spenningsforsyningene, også må tåle at det går stor strøm gjennom seg. Derfor må vi finne nye koblingsplinter som kan tåle 14A.

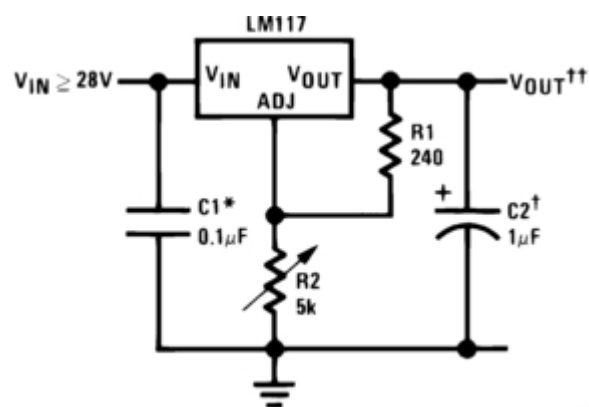
Til sist i tabell 06.01, må man ta i betraktning transistorene. De vi har tenkt til å bruke er en Power MOSFET, som tåler en kontinuerlig Drain-strøm på 30A. Man ser at

transistorene tåler mye mer enn det vi kommer til å belaste de, så vi trenger ikke å gjøre noen utskifting av disse.

Andre endringer som må gjøres, er å endre størrelsen på sikringen som sitter på drivkretsen til BLDC-motorene. Disse må endres til å tåle 14A. Den resettbare sikringen til drivkretsen trenger ikke byttes ut.

For å kunne forsyne både mikrokontrollere og Hall-sensorene, må vi benytte oss av en krets som justerer spenningsnivået fra 24V til 5V. Dette kan gjøres ved å ta i bruk en LM317-krets [9.14].

Den integrerte spenningsregulatorkretsen LM317 er et eksempel på en tre-terminals positiv regulator med varierbar utgangsspenning. Figur 06.02 viser hvordan standardkonfigurasjonen til LM317-kretsen ser ut.



FIGUR 06.02 - SPENNINGSREGULATOR

Kondensatorene i kretsen fungerer som avkopling for rippelspenning, og påvirker ikke DC-operasjonen. LM317-kretsen har tre terminal. Dette er "Input", "Output" og "Adjustment". Man har også en fast motstand  $R_1$ , og en variabel motstand  $R_2$ , som er med på å justere spenningsnivået på utgangen. Utgangsspenningen kan varieres i fra 1,25V og helt opp til 37V. Dette avhenger av hvilke verdier resistansene har, samt verdien på inngangsspenningen.

I kapittelet som beskriver LM317 i læreboka *Electronic Devices* [9.15], forklares det at regulatoren har en konstant referansespenning  $V_{REF}$ , som er på 1,25V.

Referansespenningen produserer igjen en strøm,  $I_{REF}$ , gjennom  $R_1$ , uansett verdien til  $R_2$ . Dette kan beskrives ved uttrykket:

$$I_{REF} = \frac{V_{REF}}{R_1} = \frac{1,25V}{R_1}. \quad (6.3)$$

Det må også tas hensyn til en veldig liten strøm som går ved reguleringsterminalen "Adjustment". Denne er på omtrent 50µA og kalles  $I_{ADJ}$ .  $I_{ADJ}$  går gjennom  $R_2$  i tillegg til  $I_{REF}$ . Ut i fra disse opplysningene, kan man sette opp et uttrykk for å beregne utgangsspenningen  $V_{OUT}$ . Får her:

$$\begin{aligned} V_{OUT} &= V_{R1} + V_{R2} = I_{REF} \cdot R_1 + I_{REF} \cdot R_2 + I_{ADJ} \cdot R_2 \\ &= I_{REF} \cdot (R_1 + R_2) + I_{ADJ} \cdot R_2 = \frac{V_{REF}}{R_1} \cdot (R_1 + R_2) + I_{ADJ} \cdot R_2 \end{aligned}$$

Ut fra dette får man at finner utgangsspenningen ved hjelp av:

$$V_{OUT} = V_{REF} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{ADJ} \cdot R_2. \quad (6.4)$$

Leddet  $I_{ADJ} \cdot R_2$  kan neglisjeres når man skal regne utgangsspenningen, siden strømmen er så liten.

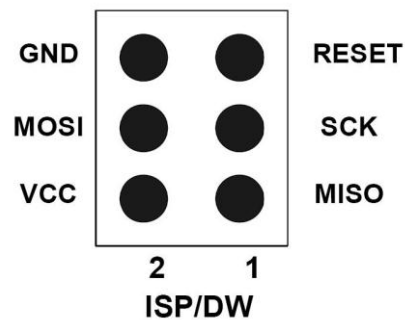
Dette vil altså si, at for og få en spenning på 5V, som kan forsyne mikrokontrollerne og Hall-sensorene, må  $R_1$  være på 120Ω og  $R_2$  på 360Ω.

Grunnen til at vi ønsker et signal på 5V fra regulatoren, er fordi dette er et signal både Hall-sensorene kan jobbe med, samt mikrokontrolleren. Mikrokontrolleren kan "som sagt" jobbe med spenninger fra 3,3V til 5V.

Dette vil forenkle og minimalisere antall komponenter som vil bli brukt kretsen, som igjen vil være kostnadsbesparende med tanke på produksjon.

Ved hjelp av spenningsregulatoren, trenger man kun én spenningsforsyning til motorkontrolleren, som hentes fra en 24V DC-forsyning.

På forespørsel fra ekstern veileder kommer vi også til å integrere en ISP-kontakt som gjør at man kan programmere eller omprogrammere mikrokontrolleren mens den sitter på kretskortet. ISP står for "In System Programming". Denne kontakten vil gjøre at man slipper å lodde ut mikrokontrolleren.



FIGUR 06.03 – KOBLINGSPUNKTER FOR ISP

En trenger kun å koble til en 6-pins kontakt mellom utviklingskortet og mikrokontrolleren, for så å programmere enheten. Oppsettet for hvordan pinnene kobles opp står forklart i applikasjonsnotat AVR469 [1].

### 6.3 – KOMPONENTER

Når vi hadde bestemt oss for hvilke komponenter som måtte være med i kretsen, for at den skulle gi samme virkemåte som den originale motorkontrolleren vi har tatt utgangspunkt i. Komponentene vi har kommet frem til kan både ses i skjematetegningen for design, samt i komponentlisten. Begge dokumentene ligger som vedlegg.

### 6.4 – SKJEMATEGNING

Etter at de fleste komponentene var bestemt, startet vi på arbeidet med å lage det skjematiske designet. Til dette, bruker vi et program som heter OrCAD Capture CIS. Capture er et verktøy man bruker når man designer elektriske kretser, enten det er analog- eller digitalelektronikk. I dette programmet kan man også utføre simuleringen av kretsen, for å se virkemåten. Vi vil forklare mer om arbeidet i OrCAD senere. Dette vil komme i implementasjonsdokument/realiseringsdokument, som prosjektgruppen skal utarbeide.

På skjematetegningen (vedlegg 1) ser man at kretsen består av:

- En "slave"-mikrokontroller som kommuniserer med en "master" over I<sup>2</sup>C-grensesnitt. Styrer også transistorparene ved Puls-Bredde Modulasjon.
- Spenningsdrivere, som sørger for riktige spenningsnivåer inn på Gate til transistorene, slik at de vil lede.

- Power MOSFET, styres av signaler fra mikrokontrolleren. Åpner og lukker for strømgjennomgang. Sørger for sluttet krets mellom viklingene i BLDC-motorene.
- Resistanser og kondensatorer for å sørge for en stabil krets.
- Kontakter for å koble til spenningsforsyninger, BLDC-motorer og I<sup>2</sup>C-kommunikasjon.

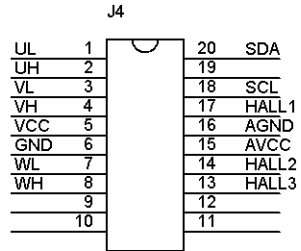
## REFERANSER

- [1] Tittel: HBM XY33-3/350  
Webadresse: [http://hbm.com/index.php?id=620&file=1A17075B0&no\\_cache=1&uid3118](http://hbm.com/index.php?id=620&file=1A17075B0&no_cache=1&uid3118)  
Sist besøkt: 01.04.11
- [2] Tittel: Manufacturing Engineering and Technologies  
Forfatter: Serope Kalpakjian & Steven R. Schmid  
Forlag: Pearson Education Centre  
Kapittel: 15
- [3] Tittel: Fuller Metric Parts LTD  
Webadresse: <http://fullermetric.com>  
Sist besøkt: 26.02.11
- [4] Tittel: Modeling and High-Performance Control of Electric Machines  
Forfatter: John Chaisson  
Forlag: John Miley & Sons, INC. 2005  
Kapittel: 1
- [5] Tittel: All motion – ME060AS307  
Webadresse: [http://exmek.com/Upload/PicFiles/2011.2.27\\_22.26.28\\_4463.pdf](http://exmek.com/Upload/PicFiles/2011.2.27_22.26.28_4463.pdf)  
Sist besøkt: 26.02.11
- [6] Tittel: Statics and Mechanics of Materials  
Forfatter: R.C. Hibbeler  
Forlag: SI Edition  
Kapittel: 1, 4 og 13
- [7] Tittel: Atmel – ATmega16A  
Webadresse: [http://atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc8154.pdf](http://atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8154.pdf)  
Sist besøkt: 01.04.11

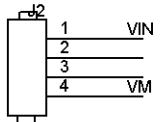
- [8] Tittel: Atmel – AVR315: Using TWI module as I2C master  
Webadresse: [http://atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc2564.pdf](http://atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2564.pdf)  
Sist besøkt: 01.04.11
- [9] Tittel: Atmel – ATTiny861  
Webadresse: [http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc2588.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2588.pdf)  
Sist besøkt: 01.04.11
- [10] Tittel: Atmel - AVR312 – Using the USI module as TWI Slave  
Webadresse: [http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc2560.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2560.pdf)  
Sist besøkt: 01.04.11
- [11] Tittel: AVR430: MC300 Hardware User Guide  
Webadresse: [http://atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc8124.pdf](http://atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8124.pdf)  
Sist besøkt: 16.04.11



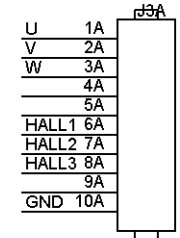




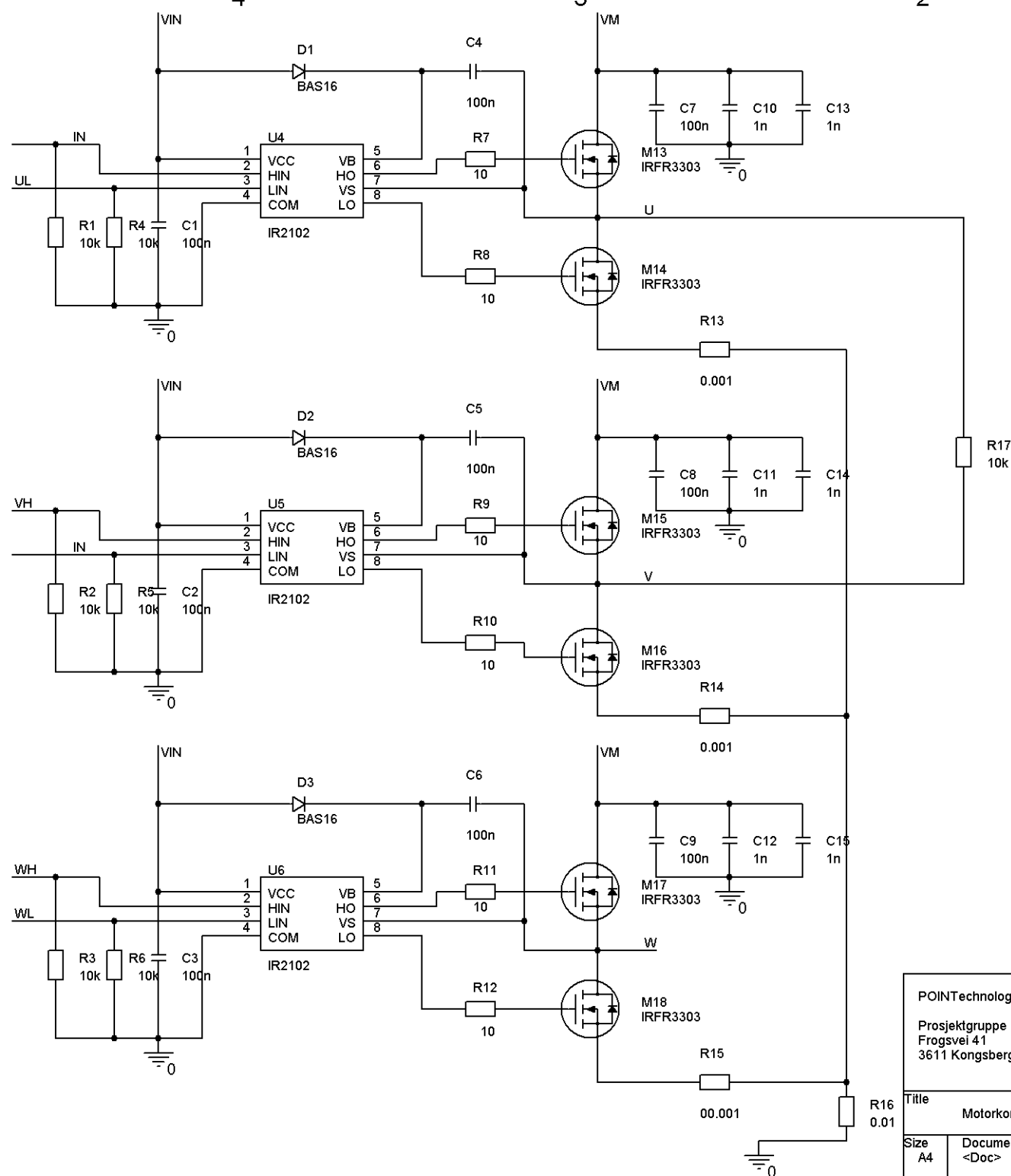
DIPSOC-10x2



4 HEADER




CONN ASY PLUG 10



POINTTechnologies

Projektgruppe 2011-10  
Frogsvei 41  
3611 Kongsberg



Title Motorkontroller		
Size A4	Document Number <Doc>	Rev LTL
Date: Monday, April 18, 2011	Sheet 1	of 1



*Thread Control System*

---

## **IMPLEMENTASJONSDOKUMENT**

---

<b>VERSJON</b>	<b>DATO</b>	<b>BESKRIVELSE</b>
OD-01	27.05.11	Første offisielle dokument

<b>NAVN</b>	<b>SIGNATUR</b>
LARS THORVALD LIE	
JAPRIT SINGH THAKKAR	
BABAR IQBAL	
REBAZ JAWHER	

## INNHOLDSFORTEGNELSE

DOKUMENTHISTORIE OG AKRONYMER	04
DOKUMENTHISTORIE	04
AKRONYMER	04
01 – INNLEDNING	05
02 – STREKKLAPPER	06
2.1 – STREKKLAPPTYPE	06
2.2 – PLASSERING AV STREKKLAPPER	06
2.3 – BROKOBLING	07
2.4 – PLASSERING AV OPERASJONSFORSTERKEREN	07
2.5 – OPERASJONSFORSTERKEREN	07
2.6 – FORSTERKNINGSKRETSEN	08
03 – MASTERMIKROKONTROLLER	10
3.1 – FUNKSJONER	10
3.2 – ANALOG-TIL-DIGITAL OMFORMER	11
3.3 – TRYKKNAPP	12
3.4 – REGULERING MED HENSYN PÅ STREKKET	13
3.6 – TILKOBLINGER	16
3.7 – KLARSIGNAL FRA SLAVEMIKROKONTROLLERNE	16
04 – SLAVEMIKROKONTROLLERNE	18
4.1 – FILENE TIL SLAVEMIKROKONTROLLERNE	18
4.2 – FUNKSJONEN MAIN	18
05 – I <sup>2</sup> C-GRESESNIITT	20
5.1 – I <sup>2</sup> C-KRETSEN	20
5.2 – SLAVE-ADRESSE	21
5.3 – I <sup>2</sup> C-MASTER	21
5.4 – I <sup>2</sup> C-SLAVE	22
5.5 – KOMMANDOER SOM SENDES VIA I <sup>2</sup> C-GRESESNIITTET	23
06 – MOTORKONTROLLER	25
REFERANSER	27

## INNHOLDSFORTEGNELSE FOR TABELLER

TABELL 00.01 – DOKUMENTHISTORIE	04
TABELL 00.02 – AKRONYMER	04
TABELL 02.01 – BESKRIVELSE TIL PINNENE TIL OPAMP	08
TABELL 03.01 – FUNKSJONER I MAIN.C	11
TABELL 03.02 – ADC-REGISTERE	11
TABELL 03.03 – ALGORITME FOR ADC	12
TABELL 03.04 – KODE FOR TRYKKNAPP OG LEDO	13
TABELL 03.05 – ADC-VERDI MED TILHØRENDE KOMMANDOER	13
TABELL 03.06 – ALGORITME FOR REGULERING MED HENSYN PÅ STREKKET	15
TABELL 03.07 – UTVEKSLING PÅ VINKELGIR	16
TABELL 03.08 – TILKOBLINGER	16
TABELL 04.01 – MAIN FUNKSJONEN	19
TABELL 05.01 – TILKOBLINGER FOR I <sup>2</sup> C PÅ MIKROKONTROLLERENE	21
TABELL 05.02 – SLAVE ADRESSE	21
TABELL 05.03 – FUNKSJONER I TWI_MASTER.C	22
TABELL 05.04 – FUNKSJONER I USI_TWI_SLAVE.C	23
TABELL 05.05 – I <sup>2</sup> C-VERDIER MED DERES TILHØRENDE BETYDNING	24

## INNHOLDSFORTEGNELSE FOR FIGURER

FIGUR 02.01 – MAKSIMAL TØYNING I BAKBOM	06
FIGUR 02.02 – OPTIMAL PLASSERING AV STREKKLAPPER	07
FIGUR 02.03 – OPAMP LM741	08
FIGUR 02.04 – FORSTERKNINGSKRETS	09
FIGUR 05.01 – KRETS FOR I <sup>2</sup> C-GRESESNIITT	20

## DOKUMENTHISTORIE OG AKRONYMER

### DOKUMENTHISTORIE

VERSJON	DATO	ENDRINGER
0.0	05.05.11	Sammensatt til et felles dokument
0.1	27.05.11	Lagt til innholdsfortegnelse
1.0	27.05.11	Første offisielle dokument

TABELL 00.01 - DOKUMENTHISTORIE

### AKRONYMER

AKRONYM	
TE	Tronrud Engineering
BLDC	Børsteløs DC-motor
I <sup>2</sup> C	Inter-Integrated Circuit
TWI	Two Wire Interface
ADC	Analog-To-Digital Converter

TABELL 00.02 - AKRONYMER

## KAPITTEL 1

### INNLEDNING

Hensikten med dette implementasjonsdokumentet er først og fremst å gi en beskrivelse angående hvordan vi har utført implementasjonen av vårt system. Dette dokumentet er basert på design og analysedokumentet.

I henhold til oppgavebeskrivelsen vi fikk tildelt av TE skulle vi kun konstruere designet for mekanikkdelene og teste disse i FEM-analyse. På grunnlag av denne avtalen med TE vil dette dokumentet kun omfatte implementasjon av strekkklapper, algoritme og motorkontrolleren.

## KAPITTEL 2

### STREKKLAPPER

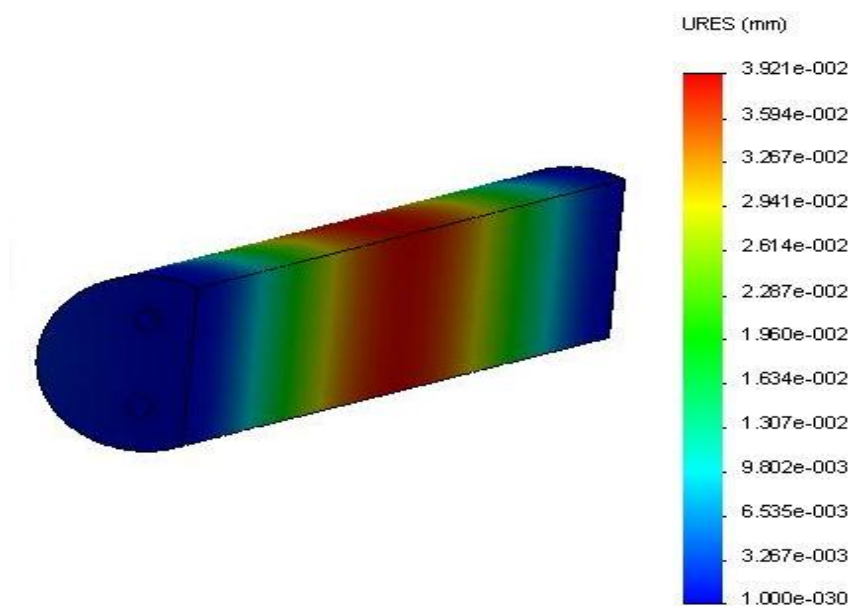
Dette kapitlet tar for seg hvordan prosjektgruppen har valgt å implementere delene som direkte kan knyttes til strekkappene på prototypen. Dette inkluderer montering av strekkappene og oppsett av forsterkningskretsen.

#### 2.1 – STREKKLAPPTYPE

Prosjektgruppen valgt under designfasen å benytte strekklapptypen XY33-3/350 fra HBM. Denne strekklapptypen har en tre meter lang ledning som er påloddet. På grunnlag av valget vi gjorde under designfasen har strekkapper av typen XY33-3/350 blitt implementert på renningsbommen til testtriggen.

#### 2.2 – PLASSERING AV STREKKLAPPER

Før vi monterte strekkappene simulerte vi bakbommen som sitter på testtriggen i FEM-analyse. Resultatene viste oss at maks tøyning skjer på den midterste delen av bommen, som er merket med rød farge i Figur 02.01. På grunnlag av denne analysen bestemte gruppen seg for å plassere strekkappene innenfor det røde området.



FIGUR 02.01- MAKSIMAL TØYNING I BAKBOM



Gruppen valgte videre å plassere strekkloppene på innsiden av bommen, for å kunne detektere stramning av renningen. Figur 02.02 viser plasseringen prosjektgruppen har foretatt på prototypen.



FIGUR 02.02 - OPTIMAL PLASSERING AV STREKKLAPPER

### 2.3 - BROKOBLING

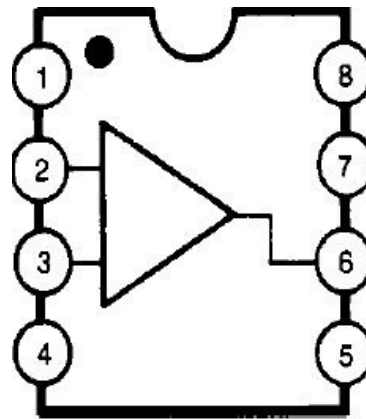
Som det fremgår av Figur 02.02 så har prosjektgruppen valgt å montere to strekklopper av typen XY33-3/350. Til sammen former disse to strekkloppene en helbrokobling.

### 2.4 – PLASSERING AV OPERASJONSFORSTERKEREN

Vi valgte å plassere operasjonsforsterkeren så nærme mastermikrokontrolleren som mulig. Grunnlaget for dette var at strekkloppene vi bestilte ble levert med påloddede ledninger, slik at dette var det mest praktiske. Vi fikk i første omgang to strekklopper av TE, så det hadde vært dumt av oss og klippe av ledningene for å teste operasjonsforsterkeren nærme for så og oppdage at dette ikke fungerte. Dette er grunnlaget for at operasjonsforsterkeren ble plassert nærme mastermikrokontrolleren.

### 2.5 – OPERASJONSFORSTERKEREN

Figuren 02.03 viser pinnekonfigurasjonen på operasjonsforsterkeren prosjektgruppen har valgt å benytte. Videre viser Tabell 02.01 hva de forskjellige pinnene i Figur 02.01 er koblet til på kretsen.



FIGUR 02.03 - OPAMP LM741

PINNE	BESKRIVELSE
1	<i>Ikke i bruk</i>
2	Invertert inngang fra strekkapper.
3	Positiv inngang fra strekkapper.
4	- 5V
5	<i>Ikke i bruk</i>
6	Utgang til ADC på mikrokontroller.
7	+5V
8	<i>Ikke i bruk</i>

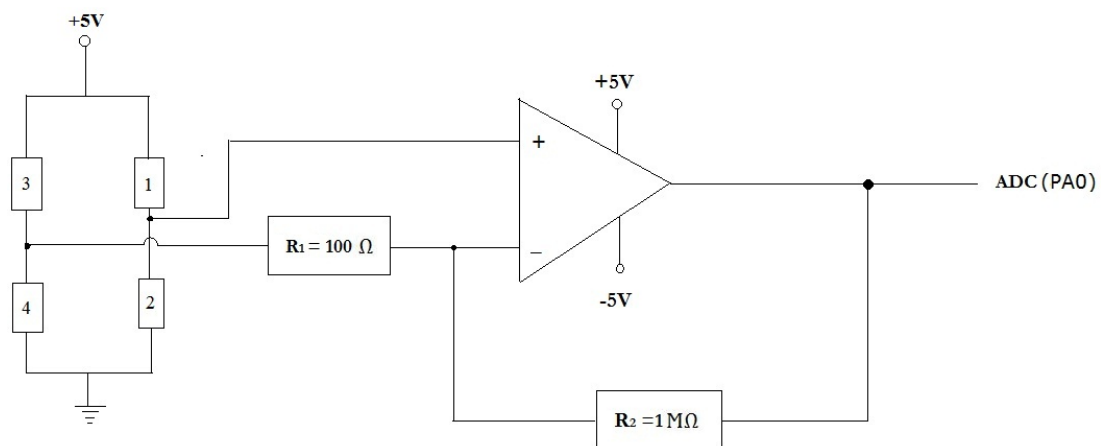
TABELL 02.01 – BESKRIVELSE TIL PINNENE TIL OPAMP

## 2.6 - FORSTERKNINGSKRETSEN

Figur 02.04 viser kretsen prosjektgruppen koblet opp for strekkappene og operasjonsforsterkeren.

Kretsen viser på venstre side viser fullbrokoblingen som består av de to strekkappene som har en resistans på  $350\Omega$ . Resistansen i de aktive strekkappene vil øke når det blir påført trekkspenninger. Samtidig vil resistansen til strekkappene som er koblet opp som "dummies" minke. Eventuelle temperaturpåvirkninger på strekkappene vil påvirke strekkappene likt, slik at feilkilden og annet støy vil nesten bli eliminert.

Ettersom strekkappene gir oss et lite signal så vil operasjonsforsterkeren forsterke signalet. Grunnlaget for at signalet forsterkes er at dette er nødvendig for at signalet skal kunne benyttes på mastermikrokontrolleren. På høyre side ser vi kontaktpunktet (markert som ADC på kretsen) som skal kobles til PA0 på mastermikrokontrolleren.



FIGUR 02.04 - FORSTERKNINGSKRETS

## KAPITTEL 3

### MASTERMIKROKONTROLLER

Vi vil nå ta for oss algoritmen som har blitt implementert på mastermikrokontrolleren. Algoritmen er spesialtilpasset testtriggeren som prosjektgruppen har mottatt av TE. Videre er algoritmen skrevet for en mikrokontroller av typen ATmega16A og en GCC kompilator.

Algoritmen er fordelt på totalt to C-filer. Filnavnet på disse to filene er Main.c og TWI\_Master.c. Dette kapitlet tar kun for seg algoritmen som er skrevet for Main filen. Algoritmen som er skrevet for TWI\_Master filen vil bli forklart mer detaljer i kapittel seks som omhandler I<sup>2</sup>C-gresesnippet.

Merk at den fullstendige algoritmen og de tilhørende filene er vedlagt på en CD som medfølger dette dokumentet. I den fullstendige algoritmen følger en mer detaljert beskrivelse for hver av algoritmelinjene, slik at leseren får en fullstendig oversikt over hva som gjøres hvor i algoritmen.

#### 3.1 – FUNKSJONER

Vi starter med å gi en beskrivelse av funksjonene som har blitt implementert i algoritmen til mastermikrokontrolleren. Grunnlaget for at vi har valgt å dele koden opp i flere funksjoner er for å gjøre programkoden mer oversiktlig. Tabell 03.01 viser funksjonene som har blitt implementert i Main-filen med deres tilhørende beskrivelse.

FUNKSJON	BESKRIVELSE
<code>void main(void)</code>	Hovedfunksjonen til programmet.
<code>void initadc(void)</code>	Denne funksjonen benyttes for å sette opp registrene for ADC.
<code>void initkeys(void)</code>	Denne funksjonen benyttes for å sette opp registrene for LED og knappene på utviklingskortet.
<code>void sendvalue(void)</code>	Denne funksjonen benyttes når data skal sendes via I2C-grensesnitt til slavene.
<code>void receivevalue(void)</code>	Denne funksjonen benyttes når masteren skal motta data fra slavene via I <sup>2</sup> C-grensesnittet.
<code>ISR(ADC_vect)</code>	Funksjon for avlesing av ADC. Denne funksjonen benytter Interrupt Service Routine (ISR), og blir derfor ikke referert til direkte fra main-funksjonen.

TABELL 03.01 – FUNKSJONER I MAIN.C

### 3.2 – ANALOG-TIL-DIGITAL OMFORMER

Vi har valgt å benytte den innebygde ADC-en for å lese av det analoge signalet fra strekkklappene. For å benytte denne måtte vi skrive en algoritme som var tilpasset registrene til ATmega16A. Disse registrene og deres tilhørende betydning er gitt av tabell 03.02.

REGISTER	BESKRIVELSE
ADEN	ADC aktiverings bit, settes til 1 for å aktivere ADC.
ADSC	Bit for å starte konvertering. Settes til 1 for å starte ADC-konverteringen.
ADATE	Settes til 1 for å aktivere "auto triggering" av ADC-konverteringen.
ADIF	ADC interrupt flag – Settes til 1 når konverteringen er ferdig.
ADIE	Aktivering av ADC-interrupt.
ADLAR	Register satt til 1 ettersom vi kun skal benytte 8-bits avlesning.
ADCH	Dataregister for 8-bits avlesning. Benyttes for lagre den avleste verdien.

TABELL 03.02 – ADC-REGISTERE

Under designfasen besluttet prosjektgruppen å benytte en 8-bits ADC med spenningsforsyning på 5V (tilsvarer Vcc på mikrokontrolleren). Dette gir en oppløsning/presisering på  $5V/2^8 = 0.01953125V$ . Dette innebærer med andre ord at den digitale verdien som blir lest av ADC-en vil være i området 0-255. For eksempel vil en avlest verdi på 125 tilsvare  $0.01953125 * 125 = 2.44V$ .

Tabell 03.03 viser hvordan vi har implementert algoritmen som utfører de operasjonene som er nødvendig for å konvertere et analogt signal til en digital verdi. Den nederste

delen av algoritmen i tabellen viser at vi har valgt å benytte interrupt for å lese av verdien fra ADC. ISR i algoritmen står for "Interrupt Service Routine".

**ALGORITME FOR ADC**

```
void initadc(void)
{
    ADCSRA |= (1 << ADPS2) | (1 << ADPS1) | (1 << ADPS0);
    ADMUX |= (1 << REFS0) | (1 << ADLAR);
    ADCSRA |= (1 << ADSC) | (1 << ADIF) | (1 << ADIFSC);
}

ISR(ADC_vect)
{
    adcvalue = ADCH;
}
```

TABELL 03.03 – ALGORITME FOR ADC

**3.3 – TRYKKNAPP**

Som nevnt i designdokumentet ønsket vi å benytte en av de totalt åtte trykknappene på utviklingskortet (STK600). Når denne knappen trykkes ned skulle begge motorene kjøre en viss omdreining fremover. For å implementere denne funksjonen i algoritmen har vi valgt å benytte SW0 som er koblet til PORTB. Som en ekstra funksjon har vi valgt å benytte LED0 på samme utviklingskort, slik at denne lyser når knappen trykkes ned. For at LED0 skal fungere så må en åtte-pins kabel kobles fra PORTD til LEDS på utviklingskortet, mer om tilkobling av kabler på utviklingskortet vil bli forklart i delkapittel 4.6.

Tabell 03.04 viser algoritmen som sørger for at trykknappen og LED-ene fungerer optimalt.

ALGORITME FOR TRYKKNAPP OG LED

```
void initkeys(void)
{
    DDRD = 0xff;
    DDRB = 0x00
    PORTD = 0xff
    PORTB = 0xff;

    keys = ~PINB;
}
```

TABELL 03.04 – KODE FOR TRYKKNAPP OG LED0

**3.4 – REGULERING MED HENSYN PÅ STREKKET**

Masterkontrolleren er som tidligere nevnt i designdokumentet med på systemreguleringen. Det er mastermikrokontrolleren som detekterer stramming på renningen, og som videre sender tilhørende kommandoer om hastighet, retning og omdreininger til riktig slavemikrokontroller.

For å tilfredsstille dette kravet har vi valgt å lese av dataregisteret ADCH først. Videre benytter vi verdien fra ADCH til å sende spesifikke kommandoer om hastighet, rotasjon og omdreininger til riktig slavemikrokontroller. Tabell 03.05 viser hvilke kommandoer som blir utført med hensyn på den avleste verdien fra dataregisteret ADCH.

ADC VERDI	RETNING	HASTIGHET	OMDREININGER (MOTOR)
ADCH < 5	CW	10 %	60°
5 ≤ ADCH ≤ 10	Ingen regulering nødvendig grunnet "perfekt strekk"		
10 < ADCH ≤ 25	CCW	10 %	60°
25 < ADCH ≤ 50	CCW	20 %	120°
50 < ADCH ≤ 100	CCW	30 %	180°
100 < ADCH ≤ 150	CCW	40 %	240°
150 < ADCH ≤ 200	CCW	40 %	300°
ADCH ≥ 200	CCW	40 %	360°

TABELL 03.05 – ADC-VERDI MED TILHØRENDE KOMMANDOER

Som det fremgår av Tabell 04.05 regulerer masterkontrolleren stramming på renningen i henhold til en gitt referanse. Referansen i vårt tilfelle er karakterisert som "perfekt

strekke" i tabellen. Med andre ord regulerer vi med hensyn til en avlest ADC verdi mellom 5 og 10 (analogt: 0.1V-0.2V). Dersom den avleste verdien ligger i dette området er ingen regulering nødvendig. Dersom verdien er mindre enn fem betyr det at renningen er slakk og må strammes opp. På samme måte betyr en verdi på over 10 at renningen er for stram og at systemet må slakkes opp.

Videre viser Tabell 03.06 algoritmen for regulering med hensyn på strekket målt fra strekkklappene. De to første kodelinjene er implementert for å sørge for at eventuelle tilnærmede like verdier som blir lest av fra ADC-en blir ignorert. Grunnlaget for at vi velger å ignorere disse verdiene er med tanke på støy som har en negativ påvirkning på systemet.

#### ALGORITME FOR REGULERING MED HENSYN PÅ STREKKET

```

else if (adcvalue >= 0)
{
    deviceaddress = 0x10;

    if ( (adcvalue >= 0) & (adcvalue < 5) )
    {
        direction = 0xD2;
        speed = 0x0A;
        rotation = 0x6E;
        sendvalue();
        receivevalue();
    }

    else if ( (adcvalue >= 5) & (adcvalue <= 10) )
    {
        // "Perfekt strekk"
        slavestatus = 0xFA;
    }

    else if (adcvalue > 10)
    {
        direction = 0xDC;

        if (adcvalue <= 25)
        {
            speed = 0x0A;
            rotation = 0x6E;
        }

        else if (adcvalue <= 50)
        {
            speed = 0x14;
        }
    }
}

```



```

        rotation = 0x78;
    }

    else if (adcvalue <= 100)
    {
        speed = 0x1E;
    }

    else if (adcvalue <= 150)
    {
        speed = 0x28;
        rotation = 0x8C;
    }

    else if (adcvalue <= 200)
    {
        speed = 0x28;
        rotation = 0x96;
    }

    else if (adcvalue >= 200)
    {
        speed = 0x28;
        rotation = 0xA0;
    }
    sendvalue();
    receivevalue();
}
}

```

TABELL 03.06 – ALGORITME FOR REGULERING MED HENSYN PÅ STREKKET

Grunnlaget for at vi har valgt verdiene for antall omdreininger som spesifisert i Tabell 03.06 er at motorene har tre hallsensorer. Med disse tre hallsensorene kan motorene utføre totalt seks forskjellige kommutasjoner. Disse hallsensorene vil bli benyttet av slavemikrokontrollerne til å sørge for at motorene kjører antall omdreininger som blir spesifisert av omdreiningsskommandoen, som slaven har mottatt fra masteren.

Merk at det er montert et vinkelgir mellom motoren og renningsbommen. Dette vinkelgiret har en utveksling på 5:1 [1]. Dette innebærer at en omdreining på 60° på selve motoren, vil gi en omdreining på 12° på varebommen\renningsbommen. Forholdet mellom de resterende omdreiningene er gitt i Tabell 03.07.

OMDREINING MOTOR	OMDREINING VAREBOM\RENNINGSBOM
60°	12°
120°	24°
180°	36°
240°	48°
300°	60°
360°	72°

TABELL 03.07 – UTVEKSLING PÅ VINKELGIR

### 3.6 – TILKOBLINGER

For at algoritmen skal fungere optimalt må brukeren huske å koble til noen kabler på selve utviklingskortet. Prosjektgruppen har benyttet PORT A-D under implementasjonen. Tilkoblingene som må benyttes for at algoritmen på mastermikrokontrolleren skal fungere optimalt er beskrevet i Tabell 03.08. I denne tabellen har vi angitt hvilke porter og pinner som skal benyttes, samt gitt en tilhørende beskrivelse angående hva de forskjellige pinnene benyttes til.

PORT	PINNE	BESKRIVELSE
PORTA	PA0	PA0 benyttes for ADC. Signalet fra strekkloppene skal kobles inn på denne pinnen.
PORTB	PB0	PB0 på PORTB kobles til SW0 på utviklingskortet. Denne sørger for at trykknappfunksjonen fungerer.
PORTC	PC0	PC0 benyttes for kommunikasjon med slavemikrokontrollerne. Denne pinnen må kobles til SCL på TWI-kretsen.
PORTC	PC1	Benyttes for kommunikasjon med slavemikrokontrollerne. Denne pinnen må kobles til SDA på TWI-kretsen.
PORTD	PD0	PD0 på PORTD må kobles til LED0 på utviklingskortet. Denne sørger for at LED0 lyser når SW0 er trykket ned.

TABELL 03.08 - TILKOBLINGER

### 3.7 – KLARSIGNAL FRA SLAVEMIKROKONTROLLERNE

Under testfasen fant prosjektgruppen ut av at kjøring av motorene skapte stor støy på strekkloppsignalet. Grunnlaget for dette var at hele testtriggen ristet når motorene kjørte, noe som igjen ga utslag på strekkloppene. For å unngå at vi leser av ADC-en når motorene kjører har vi valgt å implementere en funksjon hvor slavemikrokontrolleren som har mottatt kommandoer fra masteren, sender et klarsignal tilbake via TWI så fort

operasjonene som slaven har mottatt kommandoer angående er fullfør. På denne måten unngår vi feil på avlesningsverdiene til ADC-en.

Selve implementeringen av denne funksjonen har blitt gjort slik at slaven sender verdien 0xFA til masteren fortløpende etter at motorene har stoppet å kjøre. Når denne verdien er mottatt så vil masteren fortsette med å utføre sine operasjoner. Så lenge masteren ikke mottar dette klarsignalet så vil masteren stå i "hvilemodus".

## KAPITTEL 4

### SLAVEMIKROKONTROLLERNE

Følgende kapittel tar for seg algoritmen som har blitt implementert på slavemikrokontrolleren. Grunnet tidspress under implementasjonsfasen kom vi ikke i mål med hele algoritmen for slavemikrokontrollerne. På grunnlag av dette vil det her bli lagt vekt på den delen av algoritmen vi fikk fullført og testet.

I henhold til avtale med ekstern veileder var det viktigst å kunne bevise at vi fikk til kommunikasjonen mellom mikrokontrollerne, samt at vi hadde forstått hvordan algoritmen for slavene skulle settes opp. Når det kommer til implementasjon for slavemikrokontrollerne har vi derfor valgt å legge vekt på I<sup>2</sup>C-gresesnippet. Foruten dette har vi valgt å gi en dypere forklaring på hvordan programkoden i teorien må settes opp. Denne forklaringen har allerede blitt gitt i designdokumentet.

#### 4.1 – FILENE TIL SLAVEMIKROKONTROLLERNE

Programkoden for slavemikrokontrollerne er fordelt på totalt to c-filer. Filnavnet på disse to filene er Main.c og TWI\_Slave.c. Vi vil i dette kapitlet kun ta for oss algoritmen som er implementert i Main-filen. Algoritmen i filen TWI\_Slave.c vil bli forklart nærmere i kapittel 6, som tar for seg I<sup>2</sup>C-gresesnippet.

#### 4.2 – FUNKSJONEN MAIN

Main filen for slavemikrokontrollerne inneholder kun en funksjon. Dette er main funksjonen som mottar verdien fra masteren via I2C-grensesnittet og videre setter denne verdien på LED-ene.

For at den mottatte verdien skal kunne vises på LED-ene har vi benyttet PORTB. Grunnlaget for dette er at ATtiny861 kun har to porter, disse er PORTA og PORTB. PA0 og PA2 på PORTA benyttes i henhold til kravspesifikasjonen til SDA og SCL (TWI). Derfor hadde vi kun mulighet til å benytte PORTB til LED-ene.

Den fullstendige algoritmen for main funksjonen er gitt i Tabell 04.01.

## MAIN FUNKSJONEN TIL SLAVEMIKROKONTROLLERNE

```
void main(void)
{
    slaveAddress = 0x10;

    DDRB = 0xFF;
    PORTB = 0x00;

    usiTwISlaveInit(slaveAddress);
    sei();

    for(;;)
    {
        if( usiTwIDataInReceiveBuffer( ) )
        {
            temp = usiTwIReceiveByte( );
            PORTB = temp;
        }
    }
}
```

TABELL 04.01 – MAIN FUNKSJONEN

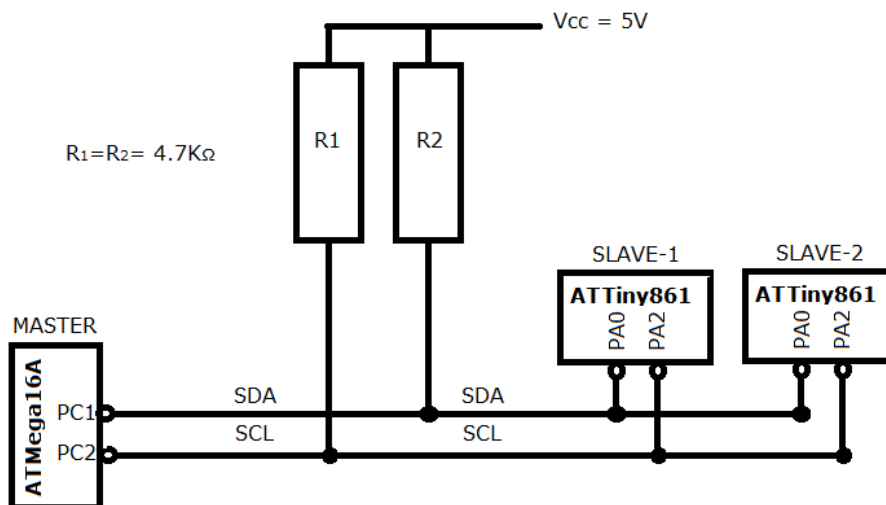
## KAPITTEL 5

### I<sup>2</sup>C-GRESESNIITT

Dette kapitlet tar for seg hvordan vi har valgt å implementere algoritmen og kretsen for I<sup>2</sup>C-gresesnittet. Vi vil her ta for oss både mastermikrokontrolleren og slavemikrokontrollerne.

#### 5.1 - I<sup>2</sup>C-KRETSEN

Figur 05.01 viser kretsen vi har valgt å sette opp for I<sup>2</sup>C-gresesnittet. Denne kretsen har blitt koblet opp på et bimboard og deretter blitt testet av prosjektgruppen. Vi ser fra figuren at vi har benyttet to motstander (pull-up resistorer) R<sub>1</sub> og R<sub>2</sub> som begge har verdiene 4.7KΩ. Videre har vi benyttet en spenningsforsyning (V<sub>cc</sub>) til kretsen som tilsvarer 5V.



FIGUR 05.01 – KRETS FOR I<sup>2</sup>C-GRESESNIITT

Tabell 05.01 angir hvilke porter og pinner som har blitt benyttet for SDA og SCL på de to forskjellige mikrokontrollerne.

MIKROKONTROLLER	PORT	PINNE
ATMega16A (Master)	PORTC	PC1 (SDA) PC0 (SCL)
ATTiny861V (Slave)	PORTA	PA0 (SDA) PA2 (SCL)

TABELL 05.01 – TILKOBLINGER FOR I<sup>2</sup>C PÅ MIKROKONTROLLERENE

### 5.2 – SLAVE-ADRESSE

Hver av slaveenhetene som benyttes i I<sup>2</sup>C-grensesnittet må ha sin egen "slave-adresse", for at den serielle kommunikasjonen mellom masteren og slavene skal fungere optimalt. På grunnlag av dette har vi benyttet to HEX verdier for å spesifisere "slave-adressen" til de to slavemikrokontrollerne vi har i systemet. Slaveadressen blir angitt for hver av slavene for at masteren skal kunne vite hvilken slave den skal kommunisere med.

Tabell 05.02 viser navnet på mikrokontrolleren og dens tilhørende "slave-adresse".

MIKROKONTROLLER	SLAVE ADRESSE
Slave-1 (Renningsmotor)	0x10
Slave-2 (Varemotor)	0x11

TABELL 05.02 – SLAVE ADRESSE

### 5.3 – I<sup>2</sup>C-MASTER

For å implementere algoritmen for I<sup>2</sup>C-grensesnittet på masteren har prosjektgruppen valgt å benytte Atmel sitt applikasjonsnotat [2] som utgangspunkt. Algoritmen som kan knyttes direkte til TWI på mastermikrokontrolleren er implementert i filen med filnavnet TWI\_Master.c. Denne filen har en tilhørende header fil med filnavnet TWI\_Master.h, som må benyttes for at I<sup>2</sup>C-grensesnittet skal fungere optimalt.

Mastermikrokontrolleren vil sende totalt fire bytes til en slavemikrokontroller av gangen. Det første bytet er et addresseringsbyte og forteller hvem beskjeden skal sendes til. Byte nummer to inneholder informasjon om retningen motorene skal kjøre. Tredje byte inneholder informasjon om hastigheten, mens fjerde byte inneholder informasjon om hvor mange rotasjoner motorene skal kjøre.

Under implementasjonen valgte vi å sette TWBR (TWI Bit Rate Register) lik 2. TWBR kan i teorien benyttes for å oppnå nødvendig hastighet for SCL. Det er dessuten masteren som har ansvaret for å generere "SCL-clock" og derfor må TWBR defineres i algoritmen

for masteren. Verdien ble valgt i henhold til Tabell 1 i applikasjonsnotatet til Atmel [2]. Det at TWBR ble definert med denne verdien innebærer at SCL har en frekvens på 50 kHz.

For å forenkle beskrivelsen av hvordan algoritmen for I<sup>2</sup>C-masteren er satt opp har vi valgt og kun forklare funksjonene i algoritmen i dette dokumentet. Med andre ord vil vi ikke gå inn i detalj angående hver linje i algoritmen her. Programkoden kan ses i helhet i den vedlagte CD-en som medfølger dette dokumentet. Tabell 05.03 viser funksjonene som har blitt implementert med deres tilhørende beskrivelse.

FUNKSJON	BESKRIVELSE
TWI_Master_Initialize()	Denne funksjonen benyttes for å sette opp registrene for TWI.
TWI_Start_Transceiver_With_Data()	Denne funksjonen benyttes for å sende data.
TWI_Start_Transceiver()	Denne funksjonen benyttes for å sende siste beskjed om igjen.
TWI_Get_Data_From_Transceiver()	Denne funksjonen benyttes for å motta data.
ISR(TWI)	Interrupt Service Routine

TABELL 05.03 – FUNKSJONER I TWI\_MASTER.C

#### 5.4 – I<sup>2</sup>C-SLAVE

For å implementere algoritmen for I<sup>2</sup>C-gresesnippet på slavemikrokontrollerne valgte vi å benytte USI (Universal Serial Interface) modulen på ATTiny861. Denne modulen er kompatibel med TWI (Two Wire Interface). Videre har vi benyttet Atmel sitt applikasjonsnotat [3] som utgangspunkt for å utvikle algoritmen.

Tabell 05.04 gir en detaljert beskrivelse av alle funksjonene som har blitt implementert på slavemikrokontrollerne av typen ATTiny861.



FUNKSJON	BESKRIVELSE
Flush_TWI_Buffers()	Denne funksjonen tømmer TWI bufferen.
USI_TWI_Slave_Initialize()	Denne funksjonen benyttes for å sette opp registrene for TWI slaven.
USI_TWI_Transmit_Byte()	Funksjonen benyttes for å sende data. Mer bestemt setter den data på overføringsbufferen.
USI_TWI_Receive_Byte()	Denne funksjonen benyttes for å motta data fra masteren.
USI_TWI_Data_In_Receive_Buffer()	Denne funksjonen sjekker om det er noen data som kan mottas.
USI_Start_Condition_ISR()	Denne funksjonen gjør TWI klar for mottagelse av "TWI Adresse" pakken.
USI_Counter_Overflow_ISR()	Denne funksjonen behandler kommunikasjonen og er kun deaktivert når den venter på en start tilstand.

TABELL 05.04 – FUNKSJONER I USI\_TWI\_SLAVE.C

## 5.5 – KOMMANDOER SOM SENDES VIA I<sup>2</sup>C-GRESESNITTET

I henhold til oppgavebeskrivelsen skulle vi benytte I<sup>2</sup>C-grensenitt for å sende kommandoer fra mastermikrokontrolleren til slavemikrokontrollerne. Derfor vil vi her ta for oss hva slags data som blir sendt over I<sup>2</sup>C-grensesnittet.

Det blir sendt totalt tre forskjellige kommandoer fra mastermikrokontrolleren til salvemikrkontrollerne. Disse tre kommandoene angir hastighet, retning og antall omdreininger motorene skal kjøre.

Videre vil det kun bli sendt en verdi fra slavemikrokontrollerne til masteren. Denne verdien gir et klarsignal til masteren, om at motoren som er tilknyttet slavemikrokontrolleren er ferdig med sin operasjon.

Tabell 05.05 gir en forenklet beskrivelse av verdiene som sendes over I<sup>2</sup>C-grensesnittet, med deres tilhørende betydning. Tabellen angir også verdien i HEX og binærtall.

DEC	HEX	BIN	BETYDNING
10	0x0A	00001010	Hastighetskommando - 10 %
20	0x14	00010100	Hastighetskommando - 20 %
30	0x1E	00110000	Hastighetskommando - 30 %
40	0x28	00101000	Hastighetskommando - 40 %
50	0x32	00110010	Hastighetskommando - 50 %
60	0x3C	00111100	Hastighetskommando - 60 %
70	0x46	01000110	Hastighetskommando - 70 %
80	0x50	01010000	Hastighetskommando - 80 %
90	0x5A	01011010	Hastighetskommando - 90 %
100	0x64	01100100	Hastighetskommando - 100 %
110	0x6E	01101110	Omdreiningskommando - 60°
120	0x78	01111000	Omdreiningskommando - 120°
130	0x82	10000010	Omdreiningskommando - 180°
140	0x8C	10001100	Omdreiningskommando - 240°
150	0x96	10010110	Omdreiningskommando - 300°
160	0xA0	10100000	Omdreiningskommando - 360°
210	0xD2	11010010	Retningskommando - CW
220	0xDC	11011100	Retningskommando - CCW
250	0xFA	11111010	Klarsignal fra slavemikrokontroller(e)

TABELL 05.05 - I<sup>2</sup>C-VERDIER MED DERES TILHØRENDE BETYDNING

## KAPITTEL 6

### MOTORKONTROLLER

Når det kom til beslutningen om hvordan designet til motorkontrolleren skulle bli, gjorde vi en del undersøkelser for å få en god forståelse for hvordan en motorkontroller fungerer, og hvilke funksjoner de forskjellige komponentene har.

Det første vi gjorde, var å ta tak i applikasjonsnotater vi fikk utlevert av ekstern veileder, og som vi fant på nettet (dette inkluderer skjemategninger og komponentliste fra Atmels hjemmeside) og leste og studerte disse. Vi tok også et møte med en faglærer ved HiBu (Dag Samuelsen), for å diskutere litt rundt virkemåten, og for å prate om hva man måtte ta hensyn til når man skal modifisere en motorkontroller til eget bruk.

Underveis i analyseprosessen, kom både ekstern og intern veileder med innspill under møtene, når det kom til det å konstruere motorkontrolleren.

Etter å ha jobbet med motorkontrolleren, tok vi en beslutning om å ta utgangspunkt i de opprinnelige skjemategningene fra Atmel. Vi ønsket å benytte de eksisterende komponentene som er beskrevet i applikasjonsnotatet til AVR430 og søkte opp tilsvarende komponenter som består av samme materiale og som har samme verdier. Verdier og oppbyggingen til komponentene står i produktbeskrivelsen som lå i applikasjonsnotat AVR430.

Når det kommer til implementeringsfasen til motorkontrolleren, så har gruppen fått til å utvikle en skjematisk fremstilling. Dette har blitt gjort i programverktøyet OrCAD Capture CIS. Vi har også forsøkt å gjøre simuleringer og startet med utlegget av kretsen, før vi dessverre måtte konkludere med at vi ikke hadde kapasitet nok til å fullføre utlegget med den resterende tiden vi hadde.

Etter at vi hadde analysert oppbyggingen og virkemåten til kretsen, startet vi med å sette opp kretsen. For å gjøre dette, gikk vi over alle komponentene som skulle være med. Det første som ble gjort var å søke opp og bruke PSpice-modeller som allerede fantes i OrCAD sitt innebygde bibliotek. Komponenter som finnes i biblioteket er motstander, kondensatorer, transistorer og diode.

I tillegg har vi måttet legge til komponenten IR2101, som er "High Side Low Side Driver" spenningsdriver som trengs for å drive MOSFET-transistorene.

Resten av komponentene i skjematikken: ISP-kontakt, kontaktplugger, sikringsholdere, LM317-kretskobling og mikrokontrollere har vi kun funnet i biblioteket for å bruke de videre til utlegg for å legge til footprints og for å tegne strømbaner og ledere mellom komponentene. En ting som kan nevnes her er at for å gjøre simuleringer med disse modellene, kan man legge til PSice-bibliotekfil til komponentene, slik at man kan kjøre tester og se hvordan komponentene oppfører seg.

Senere prøvde å gjøre simuleringer for å se hvordan transistorhalvbroene reagerer når man setter på en varierende spenningspuls på inngangen til spenningsdriveren. Denne spenningspulsen har som hensikt å simulere PWM. Disse simuleringene gikk ikke helt etter planen. Underveis opplevde vi en god del problemer i forbindelse med komponentbiblioteket til spenningsdriveren, slik at vi brukte en del tid på å fjerne denne feilen. Det viste seg at det var noen parametre som hadde feil innstillinger. Etter at disse var rettet opp i, kunne vi gjøre noen simuleringer. Dessverre fikk vi ingen gode resultater, noe vi tror har med signalkilden vi brukte. Vi klarte ikke å få noen klare resultater fra denne testingen, slik at vi må basere kretsen vår på det teoretiske og applikasjonsnotatene AVR430 og AVR469.

Det ble også startet på å lage footprints til utlegget av kretskortet, men avsluttet prosessen på grunn av tidsmangel og kapasitet. Alt arbeid som har blitt gjort i forbindelse med skjematikken til motorkontrolleren og simulering ligger på innlevert CD. Her er det mappen *Skjematikk1* som inneholder den endelige skjematikken, mens i mappen *Skjematikk2* ligger det en skjematisk kobling som vi har forsøkt å gjøre simuleringer med. Disse testene finner sted i mappen *Test 04.05.11*.

## REFERANSER

- [1] Tittel: Busck Vinkelgir  
Webadresse: [http://busck.se/ovrigt/Busck\\_snackvaxel\\_2010.pdf](http://busck.se/ovrigt/Busck_snackvaxel_2010.pdf)  
Sist besøkt: 02.05.11
- [2] Tittel: Atmel – AVR315: Using TWI module as I<sup>2</sup>C master  
Webadresse: [http://atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc2564.pdf](http://atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2564.pdf)  
Sist besøkt: 05.05.11
- [3] Tittel: Atmel - Using the USI module as a I<sup>2</sup>C slave  
Webadresse: [http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc2560.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2560.pdf)  
Sist besøkt: 18.05.11





*Thread Control System*

---

## TESTRAPPORT

---

VERSJON	DATO	BESKRIVELSE
OD-02	20.05.11	Andre offisielle dokument

NAVN	SIGNATUR
LARS	
JAPRIT	
BABAR	
REBAZ	

## INNHOLDSFORTEGNELSE

DOKUMENTHISTORIE OG AKRONYMER	04
01 – INNLEDNING	05
1.1 – Oppdeling av rapporter	05
1.2 – Sporbarhet	05
02 – FUNKSJONELLE TESTER	06
03 – TESTRAPPORT FOR MASKINVARE TESTER	22
04 – TESTRAPPORT FOR ANDRE TESTER	36



## INNHOILDSFORTEGNEISE FOR TABELLER

Tabell 00.01 – Dokumenthistorie	04
Tabell 00.02 – Akronumer	04
Tabell 01.01 – Testrapporttyper	05
Tabell 02.01 – RF01A	06
Tabell 02.02 – RF01B	07
Tabell 02.03 – RF03A	08
Tabell 02.04 – RF03B	09
Tabell 02.05 – RF04A	10
Tabell 02.06 – RF04B	11
Tabell 02.07 – RF07	12
Tabell 02.08 – RF09	13
Tabell 02.09 – RF10A	14
Tabell 02.10 – RF10A	15
Tabell 02.11 – RF10B	16
Tabell 02.12 – RF11	17
Tabell 02.13 – RF12	18
Tabell 02.14 – RF13	19
Tabell 02.15 – RF14	20
Tabell 02.16 – RF15	21
Tabell 03.01 – RM01	22
Tabell 03.02 – RM02	23
Tabell 03.03 – RM03	24
Tabell 03.04 – RM05	25
Tabell 03.05 – RM06	26
Tabell 03.06 – RM07	27
Tabell 03.07 – RM08	28
Tabell 03.08 – RM09	29
Tabell 03.09 – RM10	30
Tabell 03.10 – RM11	31
Tabell 04.01 – RR01A	32
Tabell 04.02 – RR01B	33
Tabell 04.03 – RR02A	34
Tabell 04.04 – RR02B	35
Tabell 05.01 – RA02	36
Tabell 05.02 – RA04	37

## DOKUMENTHISTORIE OG AKRONYMER

### DOKUMENTHISTORIE

VERSJON	DATO	ENDRINGER
0.0	15.04.11	Sammensatt til et felles dokument
0.1	16.04.11	Lagt til innholdsfortegnelse
1.0	17.04.11	Første offisielle dokument
1.1	20.05.11	Endret kapittel 4 og lagt til kapittel 5. Lagt til testrapporter i kapittel 2-5.
2.0	20.05.11	Andre offisielle dokument

TABELL 00.01 - DOKUMENTHISTORIE

### AKRONYMER

AKRONYM	
TE	Tronrud Engineering
BLDC	Børsteløs likestrømmotor
IC	Integrated Circuit
FEM	Finite Element Method
I <sup>2</sup> C	Inter-Integrated Circuit

TABELL 00.02 - AKRONYMER

## KAPITTEL 1

### INNLEDNING

Dette dokumentet er ment for å gi informasjon om hvordan tester har blitt utført, samt hva som har vært resultatet av disse testene. Testrapporten danner grunnlaget for at prosjektgruppen skal klare å måle om vi har møtt kravene som ble fastsatt i kravspesifikasjonen. Med andre ord vil dette dokumentet i hovedsak gi en detaljert beskrivelse av hvordan testene har blitt utført.

#### 1.1 – OPPDELING AV RAPPORTER

Rapportene i dette dokumentet er fordelt inn i fire kategorier, slik som testene var i testspesifikasjonen. Disse kategoriene er:

- Testrapport for rammekrav tester.
- Testrapport for funksjonelle tester.
- Testrapport for maskinvare tester.
- Testrapport for andre tester.

#### 1.2 - SPORBARHET

Testrapporten er konstruert med tanke på sporbarhet. Hver rapport har sin unike rapport ID. Tabell 01.01 gir en illustrasjon av rapporttypene som danner grunnlaget for oppbygningen av rapport ID.

FORKORTEELSE	TESTTYPE
RR	Testrapport av ramme test
RF	Testrapport av funksjonelle test
RM	Testrapport av maskinvare test
RA	Testrapport av andre test

TABELL 01.01 - TESTRAPPORTTYPER

## KAPITTEL 2

### FUNKSJONELLE TESTER

RF01A – ALGORITME FOR MIKROKONTROLLER	
<b>TESTRAPPORT IDENTIFIKASJON</b>	
Testrapport ID:	RF01A
Test navn:	Algoritme for mikrokontroller
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KF01
Test ID:	TF01
<b>TESTINFORMASJON</b>	
Utført av:	Japrit
Utført dato:	04.05.11
Forventet resultat:	Algoritmen skal fungere optimalt uten uforutsette hendelser som for eksempel krasj.
Faktisk resultat:	Koden fungerte som forventet, men med en feil. Se feilbeskrivelse.
<b>FEILRAPPORT</b>	
Antall feil:	1
Feilbeskrivelse:	Leser av feil register for ADC. Leste av ADCW, men skulle lese av ADCH.
Kommentar:	Feilen ble rettet ved å bytte ut ADCW med ADCH i algoritmen.

TABELL 02.01 – RF01A

RF01B – KODEINSPEKSJON	
<b>TESTRAPPORT IDENTIFIKASJON</b>	
Testrapport ID:	RF01B
Test navn:	Kodeinspeksjon
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KF01
Test ID:	TF01B
<b>TESTINFORMASJON</b>	
Utført av:	Lars
Utført dato:	18.05.11
Forventet resultat:	Algoritmen skal fungere optimalt uten uforutsette hendelser som for eksempel krasj.
Faktisk resultat:	Avdekket ingen feil på nåværende tidspunkt. Testen er gjennomført tilfredsstillende.
<b>FEILRAPPORT</b>	
Antall feil:	0
Feilbeskrivelse:	-
Kommentar:	-

TABELL 02.02 – RF01B

RF03A – OPTIMAL PLASSERING AV STREKKLAPPER	
<b>TESTRAPPORT IDENTIFIKASJON</b>	
Testrapport ID:	RF03A
Test navn:	Optimal plassering av strekkklapper
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KF03
Test ID:	RF03A
<b>TESTINFORMASJON</b>	
Utført av:	Hele prosjektgruppen
Utført dato:	29.04.11
Forventet resultat:	Vi klarer å implementere og finne optimal plassering av strekkklapper.
Faktisk resultat:	2 doble strekkklapper er plassert på bakbomen.
<b>FEILRAPPORT</b>	
Antall feil:	0
Feilbeskrivelse:	
Kommentar:	

TABELL 02.03 – RF03A

RF03B – STREKKLAPP	
<b>TESTRAPPORT IDENTIFIKASJON</b>	
Testrapport ID:	RF03B
Test navn:	Strekkklapp
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KF03
Test ID:	RF03B
<b>TESTINFORMASJON</b>	
Utført av:	Hele prosjektgruppen
Utført dato:	29.04.11
Forventet resultat:	Det skal være mulig å detekttere deformasjon ved å ha strekkklapper bare på innsiden av bommen.
Faktisk resultat:	Test utført uten feil. Det var mulig å detekttere derfomasjon ved å ha strekkklapper bare på innsiden av bommen.
<b>FEILRAPPORT</b>	
Antall feil:	0
Feilbeskrivelse:	-
Kommentar:	Denne testen blir utført på testriggen og ikke på utstyr fra skolens laboratorier som spesifiser i testspesifikasjonen.

TABELL 02.04 – RF03B

RF04A – ATTINY 861 PINOUT	
<b>TESTRAPPORT IDENTIFIKASJON</b>	
Testrapport ID:	RF04A
Test navn:	Attiny 861 Pinout
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KF04
Test ID:	TF04A
<b>TESTINFORMASJON</b>	
Utført av:	Japrit
Utført dato:	13.05.11
Forventet resultat:	Riktige verdier/signaler på pin-outene på ATtiny861.
Faktisk resultat:	Ingen feil avdekket på nåværende tidspunkt.
<b>FEILRAPPORT</b>	
Antall feil:	0
Feilbeskrivelse:	-
Kommentar:	Det var kun inngangene som ble benyttet under testing av I <sup>2</sup> C-gresesnippet som ble testet.

TABELL 02.05 – RF04A



RF04B – ATMEGA 16A PINOUT	
<b>TESTRAPPORT IDENTIFIKASJON</b>	
Testrapport ID:	RF04B
Test navn:	Atmega 16A Pinout
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	-
Test ID:	TF04B
<b>TESTINFORMASJON</b>	
Utført av:	Japrit
Utført dato:	13.05.11
Forventet resultat:	Riktige verdier/signaler på pinoutene på ATtiny861.
Faktisk resultat:	En feil funnet på nåværende tidspunkt. Testen er gjennomført tilfredsstillende.
<b>FEILRAPPORT</b>	
Antall feil:	1
Feilbeskrivelse:	Kunne lese av maks 3,5V på PA0, selv om vi skulle få opptil 5V.
Kommentar:	Byttet ut mikrokontroller med en annen ATmega16A, noe som løste problemet.

TABELL 02.06 – RF04B

RF07 – PULS-BREDDE-MODULASJON	
<b>TESTRAPPORT IDENTIFIKASJON</b>	
Testrapport ID:	RF07
Test navn:	Puls-bredde-modulasjon
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KF07
Test ID:	TF07
<b>TESTINFORMASJON</b>	
Utført av:	-
Utført dato:	-
Forventet resultat:	Vi skal klare å regulere hastigheten ved bruk av puls-bredde-modulasjon.
Faktisk resultat:	Testen ble ikke utført grunnet tidspress under implementasjonsfasen.
<b>FEILRAPPORT</b>	
Antall feil:	-
Feilbeskrivelse:	-
Kommentar:	-

TABELL 02.07 – RF07

RF09 - KONSTRUKSJONSSTØRRELSE	
<b>TESTRAPPORT IDENTIFIKASJON</b>	
Testrapport ID:	RF09
Test navn:	Konstruksjonsstørrelse
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KF09
Test ID:	TF09
<b>TESTINFORMASJON</b>	
Utført av:	Rebaz
Utført dato:	16.02.11
Forventet resultat:	Bakbom og brystbom er designet for en maskin med 44 moduler. Tåler stramning av 32 moduler. Utbøyning skal ikke overstige 4 mm. Stress skal ikke overstige 215 MPa.
Faktisk resultat:	Maks utbøyning var 2,68 mm. Maks Von-Mises stress var 192,7 MPa.
<b>FEILRAPPORT</b>	
Antall feil:	0
Feilbeskrivelse:	Ingen feil funnet
Kommentar:	215 MPa er flytegrensen til aluminiumserie 6063-T6 materialet som er brukt i design av bommene.

TABELL 02.08 – RF09

RF10A – STIVHETSTEST	
<b>TESTRAPPORT IDENTIFIKASJON</b>	
Testrapport ID:	RF10A
Test navn:	Stivhetstest
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KF10
Test ID:	TF10A
<b>TESTINFORMASJON</b>	
Utført av:	Rebaz
Utført dato:	16.02.11
Forventet resultat:	Bakbom og brystbom skal tåle maks stramning, maksimal utbøyning skal ikke overstige 4 mm.
Faktisk resultat:	Maks utbøyning var 2,68 mm.
<b>FEILRAPPORT</b>	
Antall feil:	0
Feilbeskrivelse:	-
Kommentar:	-

TABELL 02.09 – RF10A

RF10A – STIVHETSTEST	
<b>TESTRAPPORT IDENTIFIKASJON</b>	
Testrapport ID:	RF10A
Test navn:	Stivhetstest
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KF10
Test ID:	TF10A
<b>TESTINFORMASJON</b>	
Utført av:	Rebaz
Utført dato:	08.02.11
Forventet resultat:	Varebom og renningsbom skal tåle maks strammning.
Faktisk resultat:	Bommene tålte maks strammning. Det ble observert 192,7 som maksimal stress på Bakbom som resultat av mask strammning, og 0,00 stress i Varebom som resultat av et moment på 0.0048 N.m
<b>FEILRAPPORT</b>	
Antall feil:	0
Feilbeskrivelse:	-
Kommentar:	-

TABELL 02.10 – RF10A

RF10B – STYRKETEST	
<b>TESTRAPPORT IDENTIFIKASJON</b>	
Testrapport ID:	RF10B
Test navn:	Styrketest
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KF10
Test ID:	TF10B
<b>TESTINFORMASJON</b>	
Utført av:	Rebaz
Utført dato:	16.02.11
Forventet resultat:	Stresset rundt området der skruene festes i brystbom og bakbom skal ikke overstige flytegrensen til materialet.
Faktisk resultat:	Maksimal prinsipiell stress rundt området der skruene festes i Bakbommen er 211,7 MPa. Flytegrensen til materialet er 215 MPa.
<b>FEILRAPPORT</b>	
Antall feil:	0
Feilbeskrivelse:	-
Kommentar:	215 MPa er flytegrensen til Aluminium serie 6063-T6 materialet som er brukt i design av bommene.

TABELL 02.11 – RF10B

RF11 – MAKSIMAL UTBØYNING	
<b>TESTRAPPORT IDENTIFIKASJON</b>	
Testrapport ID:	RF11
Test navn:	Maksimal utbøyning
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KF11
Test ID:	TF11
<b>TESTINFORMASJON</b>	
Utført av:	Rebaz
Utført dato:	16.02.11
Forventet resultat:	Maksimal utbøyning skal ikke overstige 4 mm.
Faktisk resultat:	Maksimal utbøyning i bakbom ved maksimal belastning er 2,68 mm. Maksimal utbøyning i varebom ved maksimal belastning er 2,717 E -06 mm.
<b>FEILRAPPORT</b>	
Antall feil:	0
Feilbeskrivelse:	-
Kommentar:	-

TABELL 02.12 – RF11

RF12 – INDRE GEOMETRI	
<b>TESTRAPPORT IDENTIFIKASJON</b>	
Testrapport ID:	RF12
Test navn:	Indre geometri
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KF12
Test ID:	TF12
<b>TESTINFORMASJON</b>	
Utført av:	Rebaz
Utført dato:	28.04.11
Forventet resultat:	Indre geometri til varebom og renningsbom, samt rom for innfestning av bommene skal være i henhold til oppgaven.
Faktisk resultat:	Rom for innfestning av to skruer er posisjonert slik det er definert i oppgaven. Se vedlegg nr.4 i designdokumentet.
<b>FEILRAPPORT</b>	
Antall feil:	0
Feilbeskrivelse:	-
Kommentar:	-

TABELL 02.13 – RF12



RF13 – INNFESTING AV BOMMENE	
<b>TESTRAPPORT IDENTIFIKASJON</b>	
Testrapport ID:	RF13
Test navn:	Innfesting av bommene
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KF13
Test ID:	TF13
<b>TESTINFORMASJON</b>	
Utført av:	Rebaz
Utført dato:	09.03.11
Forventet resultat:	Området som skruene festes i skal være sterkt nok til å tåle beregnede påkjenninger.
Faktisk resultat:	Resultater fra FEM analyse viser at mask spenning rundt skruene til bakbom er 211,7 MPa. Materialet har en flytegrense på 215 MPa. Det vil si området som skruene festes er sterk nok til å tåle maks stramning.
<b>FEILRAPPORT</b>	
Antall feil:	0
Feilbeskrivelse:	-
Kommentar:	-

TABELL 02.14 – RF13

RF14 – DESIGN AV BOMMENE	
<b>TESTRAPPORT IDENTIFIKASJON</b>	
Testrapport ID:	RF14
Test navn:	Design av bommene
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KF14
Test ID:	TF14
<b>TESTINFORMASJON</b>	
Utført av:	Rebaz
Utført dato:	16.02.11
Forventet resultat:	Løsning for innfesting av skruer skal ikke føre til store endring i konstruksjonen.
Faktisk resultat:	Posisjonering av rom for innfesting av skruer er i henhold til oppgavebeskrivelsen.
<b>FEILRAPPORT</b>	
Antall feil:	0
Feilbeskrivelse:	-
Kommentar:	Brystbom og bakbom festes med 2 skruer på hver side i enden av bommene. Det er også varebom og renningsbom.

TABELL 02.15 – RF14

RF15 – OPERASJONSFORSTERKER	
<b>TESTRAPPORT IDENTIFIKASJON</b>	
Testrapport ID:	RF15
Test navn:	Operasjonsforsterker
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	-
Test ID:	TF15
<b>TESTINFORMASJON</b>	
Utført av:	
Utført dato:	
Forventet resultat:	Testen gir liten til ingen støy.
Faktisk resultat:	Ikke utført. For nærmere forklaring, se avsnitt 3.6 i hovedrapport.
<b>FEILRAPPORT</b>	
Antall feil:	
Feilbeskrivelse:	
Kommentar:	

TABELL 02.16 – RF15

### KAPITTEL 3

### MASKINVARE TESTER

RM01 – ME060AS307_P5	
<b>TESTRAPPORT IDENTIFIKASJON</b>	
Testrapport ID:	RM01
Test navn:	ME060AS307_P5
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KM01
Test ID:	TM01
<b>TESTINFORMASJON</b>	
Utført av:	Hele prosjektgruppen
Utført dato:	27.04.11
Forventet resultat:	Motorene skal fungere i henhold til datablad.
Faktisk resultat:	Motoren roterte ikke som forventet.
<b>FEILRAPPORT</b>	
Antall feil:	1
Feilbeskrivelse:	Kraftforsyning klarte ikke å levere stor nok strøm for at motorene gikk normalt. Motoren gikk ujevnt og bråkte.
Kommentar:	Koblet motoren til en ekstra spenningsforsyning i parallell, dette løste problemet.

TABELL 03.01 – RM01

RM02 – ATTINY861V	
<b>TESTRAPPORT IDENTIFIKASJON</b>	
Testrapport ID:	RM02
Test navn:	ATtiny861V
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KM02
Test ID:	TM02
<b>TESTINFORMASJON</b>	
Utført av:	Lars
Utført dato:	09.02.11
Forventet resultat:	
Faktisk resultat:	Fikk koblet opp ATtiny på STK600 ved bruk av routing og socketkort. Kommuniserte/testet den på AVR Studio.
<b>FEILRAPPORT</b>	
Antall feil:	1
Feilbeskrivelse:	ISP error mode
Kommentar:	Endret ISP frequency til 1/3 av default clock source.

TABELL 03.02 – RM02

RM03 – I <sup>2</sup> C-BUSS	
<b>TESTRAPPORT IDENTIFIKASJON</b>	
Testrapport ID:	RM03
Test navn:	I <sup>2</sup> C-buss
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KM03
Test ID:	TM03
<b>TESTINFORMASJON</b>	
Utført av:	Japrit
Utført dato:	16.05.11
Forventet resultat:	Riktige verdier blir mottatt i begge ender, og det oppstår ingen datakrasj.
Faktisk resultat:	Riktige verdier ble mottatt av slave og testen er derfor utført uten feil.
<b>FEILRAPPORT</b>	
Antall feil:	0
Feilbeskrivelse:	-
Kommentar:	Avdekket ingen feil på nåværende tidspunkt.

TABELL 03.03 – RM03

RM05 – AVR DRAGON	
<b>TESTRAPPORT IDENTIFIKASJON</b>	
Testrapport ID:	RM05
Test navn:	AVR dragon
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	
Test ID:	TM05
<b>TESTINFORMASJON</b>	
Utført av:	Japrit
Utført dato:	04.05.11
Forventet resultat:	Setter verdier til porten, ser at det stemmer med watch vinduet.
Faktisk resultat:	Enheten fungerer som den skal. Verdiene kan avleses i watch vinduet som forventet.
<b>FEILRAPPORT</b>	
Antall feil:	0
Feilbeskrivelse:	-
Kommentar:	-

TABELL 03.04 – RM05

RM06 – STK600	
<b>TESTRAPPORT IDENTIFIKASJON</b>	
Testrapport ID:	RM06
Test navn:	STK600
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	
Test ID:	TM06
<b>TESTINFORMASJON</b>	
Utført av:	Japrit
Utført dato:	09.02.11
Forventet resultat:	Utviklingskortet fungerer uten feil, ved bruk av eksempelkoder.
Faktisk resultat:	Resultatet fra testen var at utviklingskortet fungerer slik som forventet, og uten feil.
<b>FEILRAPPORT</b>	
Antall feil:	0
Feilbeskrivelse:	-
Kommentar:	-

TABELL 03.05 – RM06



RM07 – OPERASJONSFOSTERKER U741	
<b>TESTRAPPORT IDENTIFIKASJON</b>	
Testrapport ID:	RM07
Test navn:	Operasjonsforsterker U741
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	
Test ID:	TM07
<b>TESTINFORMASJON</b>	
Utført av:	Babar
Utført dato:	21.02.11
Forventet resultat:	Med innspenning på 2V, R1 = 2 kΩ, R2 = 10 kΩ, samt driftspenning på 15V og forsterkning på 6 regnet vi med å få 12V utspenning.
Faktisk resultat:	12.1V
<b>FEILRAPPORT</b>	
Antall feil:	1
Feilbeskrivelse:	Feilen var at vi fikk 12.1V utspenning. Grunnen til det var at vi ikke brukte faste motstander. Vi benyttet to dekadebokser med feilmargin på ±1%. Regner med at 0.1V kommer av den overnevnte feilmargin.
Kommentar:	Kommer til å bruke faste motstander under den reelle konstruksjonen og regner med at vi slipper en feilmargin på ±1%.

TABELL 03.06 – RM07

RM08 – BIMBOARD	
<b>TESTRAPPORT IDENTIFIKASJON</b>	
Testrapport ID:	RM08
Test navn:	Bimboard
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	
Test ID:	TM08
<b>TESTINFORMASJON</b>	
Utført av:	Babar
Utført dato:	21.02.11
Forventet resultat:	Bimboardet fungerer optimalt, uten noen form for problemer.
Faktisk resultat:	Koblet i horisontal retning og ikke i vertikal retning. Alle tilkoblingspinnene er testet og de er i brukbar tilstand.
<b>FEILRAPPORT</b>	
Antall feil:	0
Feilbeskrivelse:	-
Kommentar:	-

TABELL 03.07 – RM08

RM09 – ATMEGA16A	
<b>TESTRAPPORT IDENTIFIKASJON</b>	
Testrapport ID:	RM09
Test navn:	ATmega16A
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KM09
Test ID:	TM09
<b>TESTINFORMASJON</b>	
Utført av:	Japrit
Utført dato:	09.02.11
Forventet resultat:	Mikrokontrolleren skal fungere uten error ved bruk av AVR Studio 4.
Faktisk resultat:	Mikrokontrolleren fungerte som den skulle med en feil. Feilen var knyttet til innstillingene i AVR Studio. Se feilrapport for mer informasjon.
<b>FEILRAPPORT</b>	
Antall feil:	1
Feilbeskrivelse:	ISP Error Mode.
Kommentar:	Løsningen på problemet var å manuelt endre ISP frekvensen til 200 kHz, som er 1/5 default clock source.

TABELL 03.08 – RM09

RM10 – SOCKET KORT	
<b>TESTRAPPORT IDENTIFIKASJON</b>	
Testrapport ID:	RM10
Test navn:	Socket kort
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	
Test ID:	TM10
<b>TESTINFORMASJON</b>	
Utført av:	Japrit
Utført dato:	09.02.11
Forventet resultat:	Vi benytter riktig socket kort
Faktisk resultat:	Testen ble utført uten feil. Med andre ord har vi valgt riktig socket kort.
<b>FEILRAPPORT</b>	
Antall feil:	0
Feilbeskrivelse:	-
Kommentar:	-

TABELL 03.09 – RM10

RM11 – ROUTINGKORT	
<b>TESTRAPPORT IDENTIFIKASJON</b>	
Testrapport ID:	RM11
Test navn:	Routingkort
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	
Test ID:	TM11
<b>TESTINFORMASJON</b>	
Utført av:	Japrit
Utført dato:	09.02.11
Forventet resultat:	Vi benytter riktig routingkort
Faktisk resultat:	Testen ble utført uten feil. Med andre ord har vi valgt riktig routing kort.
<b>FEILRAPPORT</b>	
Antall feil:	0
Feilbeskrivelse:	-
Kommentar:	-

TABELL 03.10 – RM11

## KAPITTEL 4

### RAMMEKRAV TESTER

RR01A – SIKKERHETSSTANDARD	
<b>TESTRAPPORT IDENTIFIKASJON</b>	
Testrapport ID:	RR01A
Test navn:	Sikkerhetsstandard
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KR01
Test ID:	TR01A
<b>TESTINFORMASJON</b>	
Utført av:	Hele prosjektgruppen
Utført dato:	28.04.11
Forventet resultat:	Prototypen skal oppføre seg normalt selv om den er fullt belastet, og den skal ikke være skadelig for liv og eiendom.
Faktisk resultat:	Testtriggen oppførte seg normalt under maks belastning.
<b>FEILRAPPORT</b>	
Antall feil:	0
Feilbeskrivelse:	-
Kommentar:	-

TABELL 04.01 – RR01A

RR01B – NØDSTOPP TEST	
<b>TESTRAPPORT IDENTIFIKASJON</b>	
Testrapport ID:	RR01B
Test navn:	Nødstop test
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KR01
Test ID:	TR01B
<b>TESTINFORMASJON</b>	
Utført av:	Babar
Utført dato:	28.04.11
Forventet resultat:	Systemet stopper når vi trykker på nødstop knappen.
Faktisk resultat:	Siden prototypen ikke hadde en nødstopknapp, testet vi dette ved å trekke ut strømledningen fra strømuttaket. Systemet stoppet når vi trakk ut strømkontakten.
<b>FEILRAPPORT</b>	
Antall feil:	0
Feilbeskrivelse:	
Kommentar:	

TABELL 04.02 – RR01B

RR02A – TEMPERATUR	
<b>TESTRAPPORT IDENTIFIKASJON</b>	
Testrapport ID:	RR02A
Test navn:	Temperatur
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KR02
Test ID:	TR02A
<b>TESTINFORMASJON</b>	
Utført av:	Prosjektgruppe 2011-10
Utført dato:	27.05.11
Forventet resultat:	Prototypen skal oppføre seg normalt mellom 16°C - 34°C. Det skal ikke oppstå noen uforutsette hendelser.
Faktisk resultat:	Testen har blitt utført i temperaturområdet 16-25°C
<b>FEILRAPPORT</b>	
Antall feil:	1
Feilbeskrivelse:	Fikk ikke testet testtrigg og resten av system i temperaturområdet 25-34°C.
Kommentar:	-

TABELL 04.03 – RR02A



RR02B – LUFTFUKTIGHET	
<b>TESTRAPPORT IDENTIFIKASJON</b>	
Testrapport ID:	RR02B
Test navn:	Luftfuktighet
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KR02
Test ID:	TR02B
<b>TESTINFORMASJON</b>	
Utført av:	Ikke utført
Utført dato:	Ikke utført
Forventet resultat:	Prototypen skal oppføre seg normalt i en luftfuktighet intervall mellom 20%Rf – 60%Rf. Det skal ikke oppstå noen uforutsette hendelser.
Faktisk resultat:	Vi fikk ikke utført denne testen ettersom vi ikke hadde utstyr for å endre luftfuktigheten mellom 20%Rf – 60%Rf.
<b>FEILRAPPORT</b>	
Antall feil:	-
Feilbeskrivelse:	-
Kommentar:	-

TABELL 04.04 – RR02B

## KAPITTEL 5

### ANDRE TESTER

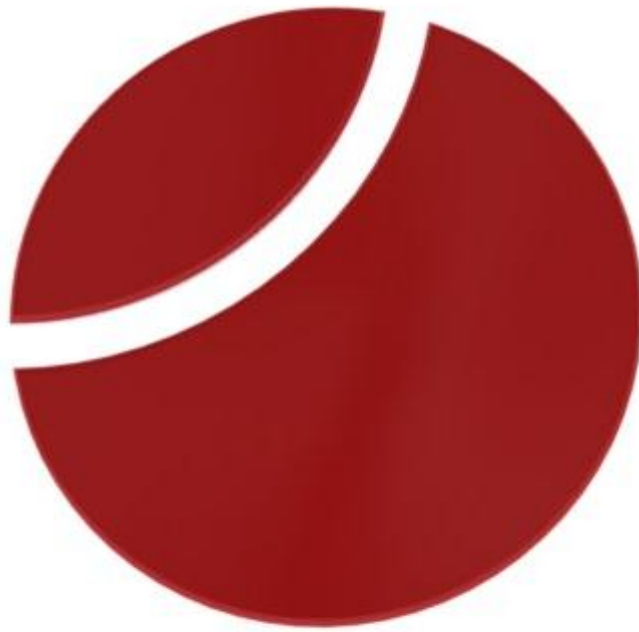
RA02 - MATERIALE	
<b>TESTRAPPORT IDENTIFIKASJON</b>	
Testrapport ID:	RA02
Test navn:	Materiale
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KA02
Test ID:	TA02
<b>TESTINFORMASJON</b>	
Utført av:	Rebaz
Utført dato:	16.02.11
Forventet resultat:	Materialet som blir brukt for design av bommene skal tåle påført kraft tilsvarende maksimal stramning av renningen.
Faktisk resultat:	Materialet tåler maks belastning/innstramning av renningen.
<b>FEILRAPPORT</b>	
Antall feil:	0
Feilbeskrivelse:	-
Kommentar:	-

TABELL 05.01 – RA02

RA04 - GEOMETRI	
<b>TESTRAPPORT IDENTIFIKASJON</b>	
Testrapport ID:	RA04
Test navn:	Geometri
<b>SPORBARHET</b>	
Krav ID:	KA04
Test ID:	TA04
<b>TESTINFORMASJON</b>	
Utført av:	Rebaz
Utført dato:	27.04.11
Forventet resultat:	Geometrien av bommene skal tåle maks belastning.
Faktisk resultat:	Alle bommene har blitt simulert med FEM analyse, og de har blitt påført maks belastning. Bommene tålte maks innstramning.
<b>FEILRAPPORT</b>	
Antall feil:	0
Feilbeskrivelse:	-
Kommentar:	-

TABELL 05.02 – RA04





## *Thread Control System*

---

### **TESTDETALJER**

---

<b>VERSJON</b>	<b>DATO</b>	<b>BESKRIVELSE</b>
OD-01	21.05.11	Første offisielle dokument

<b>NAVN</b>	<b>SIGNATUR</b>
LARS THORVALD LIE	
JAPRIT SINGH THAKKAR	
BABAR IQBAL	
REBAZ JAWHER	

## INNHOLDSFORTEGNELSE

DOKUMENTHISTORIE OG AKRONYMER	04
01 – INNLEDNING	05
02 – TESTING AV MOTORENE	06
2.1 – Forskjellig motorhastighet	06
2.2 – Skjev aksel på varebommen	06
2.3 – Problemer med risiting på testtriggen	07
2.4 – Defekt motorkontroller	07
03 – TESTING AV STREKKLAPPENE	09
04 – TESTING AV ALGORITME	11
4.1 – Debugging	11
4.2 – Fysisk testing av ADC	11
4.3 – Fysisk testing av I <sup>2</sup> C-gresesnippet	11
05 – TESTING AV BOMMENE	13
5.1 – Bakbom og brystbom	13
5.2 – Resultater for testing av bakbom og brystbom	14
5.3 – Resultatet fra testing av varebom og renningsbom	21
REFERANSER	23

## INNHOLDSFORTEGNELSE FOR TABELLER

TABELL 00.01 - DOKUMENTHISTORIE	04
TABELL 00.02 - AKRONYMER	04
TABELL 05.01 - MATERIAL EGENSKAPER FOR ALUMINIUM 6063-T6	14

## INNHOLDSFORTEGNELSE FOR FIGURER

FIGUR 02.01 - SKJEV AKSEL TILHØRENDE RENNINGSBOM	07
FIGUR 02.02 - DEFEKT TRANSISTOR	08
FIGUR 03.01 - FORSKYVNING I BAKBOM VED 1000N	09
FIGUR 03.02 - KRETSEN FOR KOBLING AV STREKKLAPPER	10
FIGUR 03.03 - TO STREKKLAPPER MONTERT PÅ BAKBOMMEN	10
FIGUR 05.01 - STYRKEBEREGNINGER	13
FIGUR 05.02 - STØRRELSE OG RETNING AV FAB OG FBE	14
FIGUR 05.04 - NORMALT STRESS I X RETNING	15
FIGUR 05.05 - NORMALT STRESS I Y RETNING	16
FIGUR 05.06 - NORMALT STRESS I Z RETNING	16
FIGUR 05.07 - SKJÆRSTRESS I Y RETNING PÅ YZ PLANET	17
FIGUR 05.08 - SKJÆRSTRESS I Z RETNING PÅ XZ PLANET	17
FIGUR 05.09 - SKJÆRSTRESS I Z RETNING PÅ YZ PLANET	18
FIGUR 05.10 - PRINSIPIELL STRESS	18
FIGUR 05.11 - MAKSIMAL PRINSIPELL STRESS	19
FIGUR 05.12 - MAKSIMAL VON MISES-STRESS	20
FIGUR 05.13 - FORSKYVNINGSTEST	20
FIGUR 05.14 - MOMENT RUNDT VAREBOM OG RENNINGSBOM	21
FIGUR 05.15 - STRESS I VAREBOM OG RENNINGSBOM VED MAKS STRAMNING	22

## DOKUMENTHISTORIE OG AKRONYMER

### DOKUMENTHISTORIE

VERSJON	DATO	ENDRINGER
0.0	19.05.11	Satt sammen til et felles dokument
1.0	21.05.11	Første offisielle dokument

TABELL 00.01 - DOKUMENTHISTORIE

### AKRONYMER

AKRONYM	
FEM	Finite Element Analysis
TC-2	Thread Controller 2
TWI	Two Wire Interface

TABELL 00.02 - AKRONYMER



## KAPITTEL 1

### INNLEDNING

Dette dokumentet er ment for å gi en oversiktlig beskrivelse av de forskjellige testene vi har gjennomført og de utfordringene vi har møtt underveis. Det vil også gis en beskrivelse av beslutningene vi har tatt for å løse de problemene vi har møtt på underveis i testfasen.

## KAPITTEL 2

### TESTING AV MOTORENE

BLDC motorene var det første vi testet når vi hadde mottatt testtriggen. Dette ble gjort for å undersøke om motorene fungerte som de skulle. Dessverre var ikke dette tilfellet ettersom prosjektgruppen møtte på en rekke problemer under testing av motorene. Dette kapittelet tar for seg disse utfordringene i detalj.

#### 2.1 – FORSKJELLIG MOTORHASTIGHET

Det første problemet vi støtte på var at motorene ikke roterte med lik hastighet. Motoren som er festet til renningsbommen roterte noe fortere enn motoren på varebommen. Vi observerte videre at renningsmotoren kjørte med omtrent dobbelt så fort i forhold til varemotoren. Denne observasjonen ble gjort ved å sette et merke på begge motorene og kjøre de med samme spenning, noe som i teorien skulle ha ført til at begge bommene roterte med lik hastighet.

For å unngå at dette problemet skulle bli kilden til andre problemer under prosjektet valgte vi å endre algoritmen i mastermikrokontrolleren, slik at motoren knyttet til varebommen ble kjørt med dobbel hastighet i forhold til motoren tilknyttet renningsmotoren.

#### 2.2 – SKJEV AKSEL PÅ VARBOMMEN

Videre fant vi ut at det var en feilkilde ved akselen mellom vinkelgiret til motoren og varebommen. Denne akselen var skjev noe som er illustrert i figur 02.01. Prosjektgruppen valgte å filme dette fenomenet ettersom bildet ovenfor ikke illustrerer dette godt nok. Leseren refereres derfor til YouTube-linken [1] hvor denne videoen kan ses.



FIGUR 02.01 – SKJEV AKSEL TILHØRENDE RENNINGSBOM

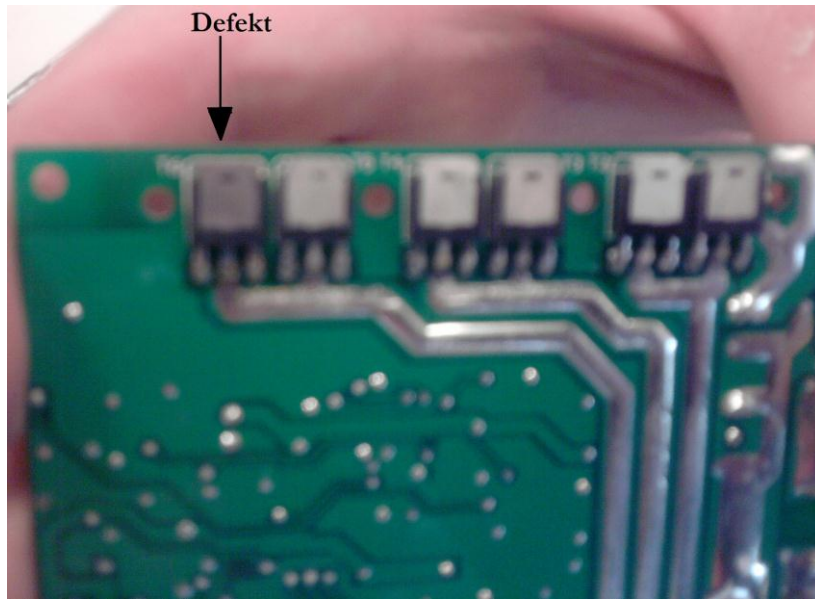
### 2.3 – PROBLEMER MED RISTING PÅ TESTRIGGEN

Problemet med den skjeve akselen viste seg å være kilden til et annet problem. Den skjeve akselen førte til at hele testriggeren ristet når varemotoren ble kjørt. Dette førte igjen til at vi fikk utslag fra strekkklappene som i prinsippet ikke ble påført noen kraft. Dette problemet førte til at vi måtte legge til en tilleggsfunksjon i algoritmen for reguleringsystemet. Denne funksjonen er beskrevet mer detaljert i implementasjonsdokumentet.

### 2.4 – DEFEKT MOTORKONTROLLER

Det siste problemet vi opplevde med motorene oppsto under testing av motorene. Dette problemet var direkte knyttet til det ene transistorparet på den ene motorkontrolleren. Dette transistorparet hadde blitt kortsluttet slik at motorkontrolleren ikke klarte å drive motoren. Figur 02.02 viser den defekte transistoren til motorkontrolleren.

Prosjektgruppen kontaktet med engang ekstern veileder for å informere om problemet. Under et møte med ekstern veileder samme uken fikk prosjektgruppen utlevert en ny motorkontroller som skulle erstatte den defekte. Den nye motorkontrolleren var fra samme produsent, men var en annen type.



FIGUR 02.02 - DEFEKT TRANSISTOR

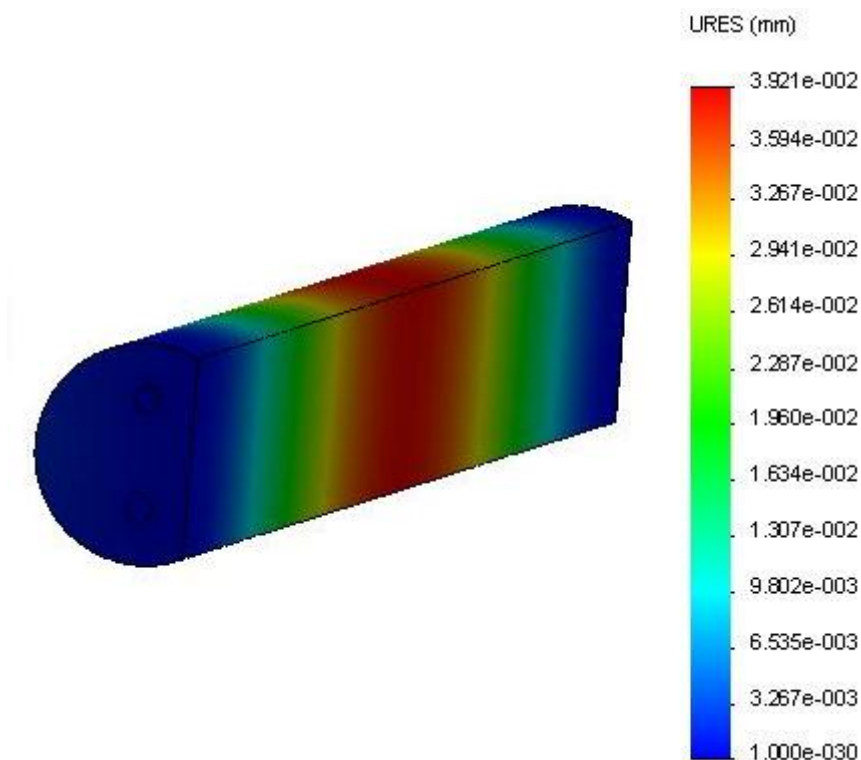
## KAPITTEL 3

### TESTING AV STREKKLAPPENE

Dette kapitlet tar for seg fremgangsmetoden vi har benyttet oss av for testingen av strekkklappene og hvilke utfordring vi har møtt på underveis.

Før vi monterer strekkklappene på bommene ville vi være sikre på hvor stor tøyning i bommene som måtte til for at strekkklappene skulle gi et utslag. Vi simulerte derfor bakbommen som sitter på testtriggen i FEM-analyse, med en kraft tilsvarende 1000N ville deformere bommen.

Resultatene fra FEM analysen viste oss at maksimal resultant forskyvning i bommen er 0,039 mm. En illustrasjon av dette er gitt i figur 03.01.

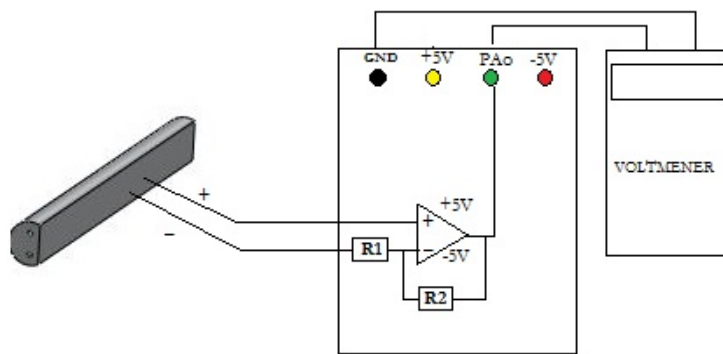


FIGUR 03.01 - FORSKYVNING I BAKBOM VED 1000N

Vi sendte videre en forespørsel til HBM Norge etter at vi hadde simulert bommene. I denne forespørselen ga vi en forklaring angående hvor strekkklappene skulle plasseres, samt hva slags materiale bommen var laget av. I tillegg til dette informerte vi om hvor

stor tøyning vi i teorien fikk dersom det ble påført en kraft på 1000N. HBM Norge informerte oss om at strekkklappene ville gi oss nok utslag med en tøyning som tilsvarer 3,9  $\mu\text{m}/\text{m}$ .

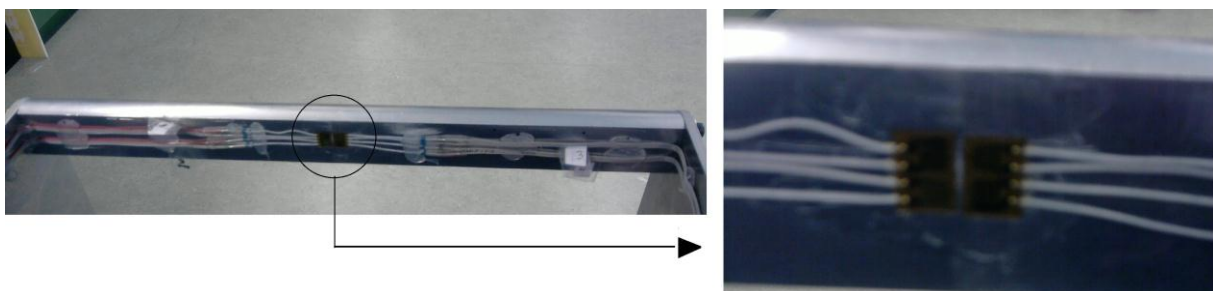
Videre monterte vi en strekkklapp på midten av bommen for å sjekke om vi fikk et signal ved å påføre renningsbommen en liten kraft. Figur 03.02 illustrerer hvordan kretsen for koblingen av strekkklappene under testing så ut. I figuren er  $R_1=100\Omega$ ,  $R_2=1\text{ M}\Omega$  og PA0 er inngangen til ADC.



FIGUR 03.02 - KRETSEN FOR KOBLING AV STREKKLAPPER

Da vi testet strekkklappene var ikke resultatet som ønsket. Vi fikk mye støy som forstyrret signalet. Etter grundig testing fant vi ut av at dekadeboksene og de tilhørende kablene som gikk til dekadeboksene var kilden til noe av støyen. Det var disse støykildene som gjorde at signalet varierte mye. Litt senere fant vi også ut at vi fikk støy ettersom vi ikke benyttet et felles jordingspunkt. Signalet ble mye bedre når vi byttet ut kablene og dekadeboksene med faste motstander, samt hadde et felles jordingspunkt for kretsen.

Når vi hadde tilnærmet eliminert støykildene monterte vi på den andre strekkklappen på testtriggen slik som vist i figur 03.03. Prosjektgruppen filmet en video under testing av strekkklappene som kan ses ved å følge gitt webadresse [2].



FIGUR 03.03 - TO STREKKLAPPER MONTERT PÅ BAKBOMMEN

## KAPITTEL 4

### TESTING AV ALGORITME

Ettersom prosjektgruppen dessverre ikke kom helt i mål med algoritmen for slavemikrokontrollerne fikk vi dessverre ikke tid til å teste algoritmen i sin helhet. Derimot kom vi i mål med algoritmen for mastermikrokontrolleren, og fikk dessuten også kommunikasjonen mellom mastermikrokontrolleren og slavemikrokontrollerne til å fungere. Koden for mastermikrokontrolleren og I<sup>2</sup>C-grensesnittet ble derfor testet både fysisk og ved å benytte en debugger.

#### 4.1 – DEBUGGING

Algoritmen ble debugget før vi i det hele tatt testet noe av koden fysisk. Under debuggingen fant vi noen små feil som for eksempel at registrene til ADC-en ikke var korrekt definert. Slike feil ble rettet fortløpende ved å undersøke registrene opp mot databladet til mikrokontrolleren.

#### 4.2 – FYSISK TESTING AV ADC

Under testing av ADC-en støtte vi på et problem med at vi ikke fikk lest av verdier fra strekklappene som var høyere enn 3,5V. Vi gikk derfor gjennom programkoden og fikk bekreftet at problemet ikke lå der. Videre byttet vi ut selve mikrokontrolleren vi hadde benyttet ut under testing med en nye en. Den nye mikrokontrolleren var av samme type altså ATmega16A. Når vi testet den nye mikrokontrolleren opplevde vi at alt fungerte optimalt og vi kunne lese av verdier opptil 5V, slik som vi skulle klare i henhold til teorien.

Etter nærmere undersøkelser fant prosjektgruppen ut at det var PA0 inngangen på mikrokontrolleren som skapte trøbbel. Denne inngangen var defekt og skapte trøbbel for avlesningen av verdier fra ADC-en.

#### 4.3 – FYSISK TESTING AV I<sup>2</sup>C-GRENSESNITTET

Ettersom prosjektgruppen ikke kom helt i mål med prosjektoppgaven, valgte prosjektgruppen å tilpasse algoritmen slik at de kunne påvise at vi fikk til I<sup>2</sup>C-

grensesnittet. På grunnlag av dette ble en egen algoritme utviklet slik at vi kunne teste kommunikasjonen mellom masteren og slaven.

Testalgoritmen ble testet ved at vi leste av en ADC verdi på masteren. Denne masteren sendte er verdier til slaven som ble bestemt av hvor stort strekket var. Denne verdien ble så vist på LED-ene på utviklingskortet til slavemikrokontrolleren. For å teste dette videre valgte prosjektgruppen å implementere to ekstra funksjoner ved å benytte SW0 og SW1 på utviklingskortet til masteren. Når SW0 blir trykket ned så skulle alle de åtte LED-ene på slavene skrus av. Tilsvarende skulle alle LED-ene på masteren skrus på dersom SW1 ble trykket ned.

Vi støtte ikke på noen store problemer under testing av I<sup>2</sup>C-grensesnittet. Grunnen til dette var sannsynligvis at vi tidligere hadde debugget algoritmen ved å benytte AVR Dragon og AVR Studio 4.

Prosjektgruppen valgte å lage en video under testingen av I2C-grensesnitett. Leseren refereres til [3], hvor denne videoen kan ses. Denne videoen viser at kommunikasjonen mellom de to mikrokontrollerne fungerer optimalt.



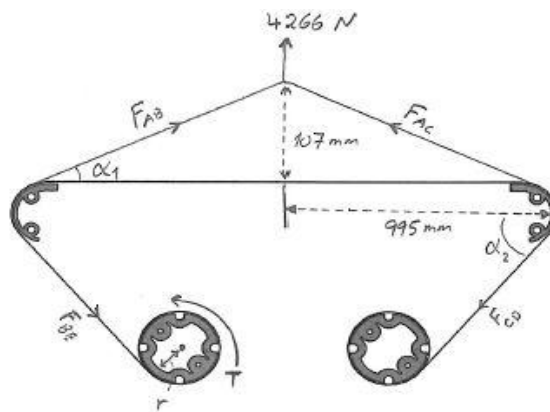
## KAPITTEL 5

### TESTING AV BOMMENE

Dette kapitlet tar for seg testene som har blitt utført på bommene, med de tilhørende resultatene. Etersom bommene ikke har blitt ekstrudert så er alle testene utført ved å benytte simuleringsverktøyet FEM-analyse.

#### 5.1 – BAKBOM OG BRYSTBOM

Testing av bakbommen og brystbommen er basert på kreftene som treffer bommene ved maks belastning. Stramning av renningen vil stadig endre seg når TC-2 er i drift. Denne endringen er igjen avhengig av mønsteret som skal veves. Testene er utført i den tilstanden hvor renningene er under maksimal stramning. Utrekningene av maksimal belastning er forklart i designdokumentet prosjektgruppen har skrevet.



FIGUR 05.01 - STYRKEBEREGNINGER

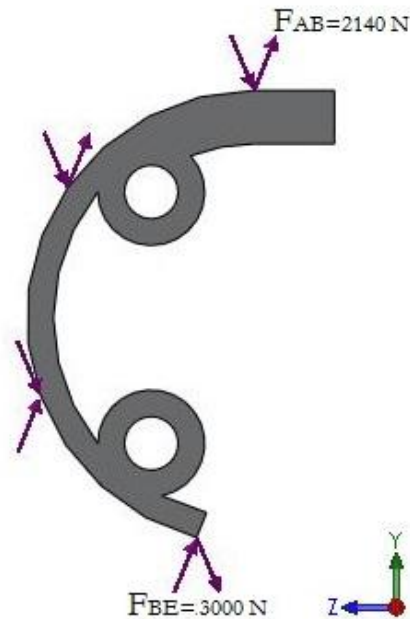
I følge beregningene som er vist i designdokumentet har vi:

$$F_{AB} = F_{AC} = 2,14 \text{ kN}$$

$$F_{BE} = F_{BD} = 3,0 \text{ kN}$$

$$T = 0,00418 \text{ N.m}$$

Vi benytter disse verdiene for å analysere bakbommen og brystbommen. Figur 05.02 viser retningen og størrelsen av  $F_{AB}$  og  $F_{BE}$ .



FIGUR 05.02 - STØRRELSE OG RETNING AV  $F_{AB}$  OG  $F_{BE}$

For å kjøre analysen i FEM trengte vi å velge materialtype. Vi har valgt Aluminium i serie 6063-T6. Dette materialet har flytegrense på 215 MPa [4], noe som er optimalt for ekstrudert aluminium [5]. Tabell 05.01 viser materialets egenskaper.

Property	Value	Units
Elastic Modulus in X	69000	N/mm <sup>2</sup>
Poisson's Ration in XY	0.33	N/A
Shear Modulus in XY	25800	N/mm <sup>2</sup>
Mass Density	2700	kg/m <sup>3</sup>
Tensile Strength in X	240	N/mm <sup>2</sup>
Compressive Strength in X		N/mm <sup>2</sup>
Yield Strength	215	N/mm <sup>2</sup>
Thermal Expansion Coefficient in X	2.34e-005	/K
Thermal Conductivity in X	209	W/(m·K)
Specific Heat	900	J/(kg·K)
Material Damping Ratio		N/A

TABELL 05.01 - MATERIAL EGENSKAPER FOR ALUMINIUM 6063-T6

## 5.2 – RESULTATER FOR TESTING AV BAKBOM OG BRYSTBOM

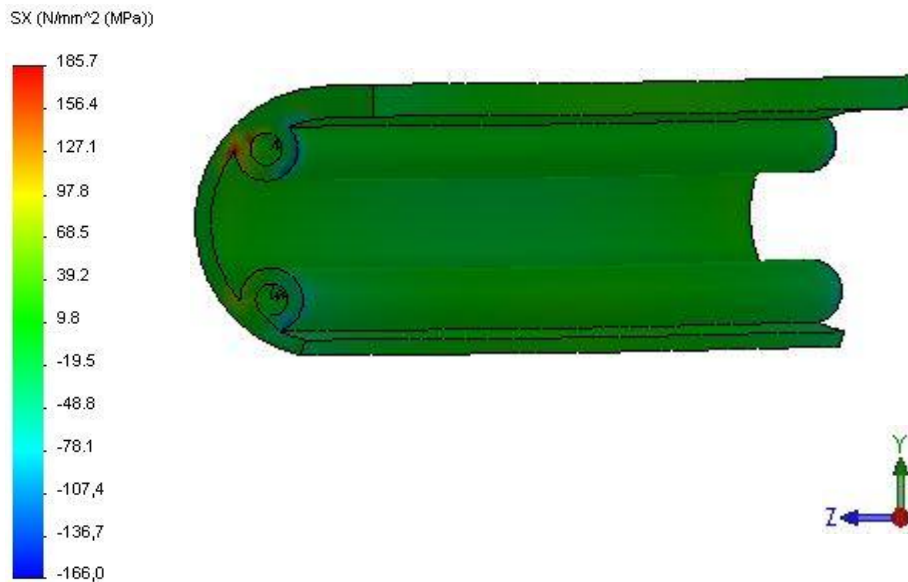
I dette delkapittelet vil vi vise alle resultatene for testing av brystbom og bakbom, etter at de er påført maks belastning. Resultatene viser at geometrien til bommene vi har kommet til i løsningsforslaget vårt er optimale for maks belastning og lavest mulig vekt. Mekanisk stress er en størrelse som i mekanikk er gjennomsnittlig kraft per areal.

Mekanisk spenning er delt inn i normal spenning (normal stress) og skjærspenning (skjærstress) [6].

### 5.2.1 - NORMALT STRESS

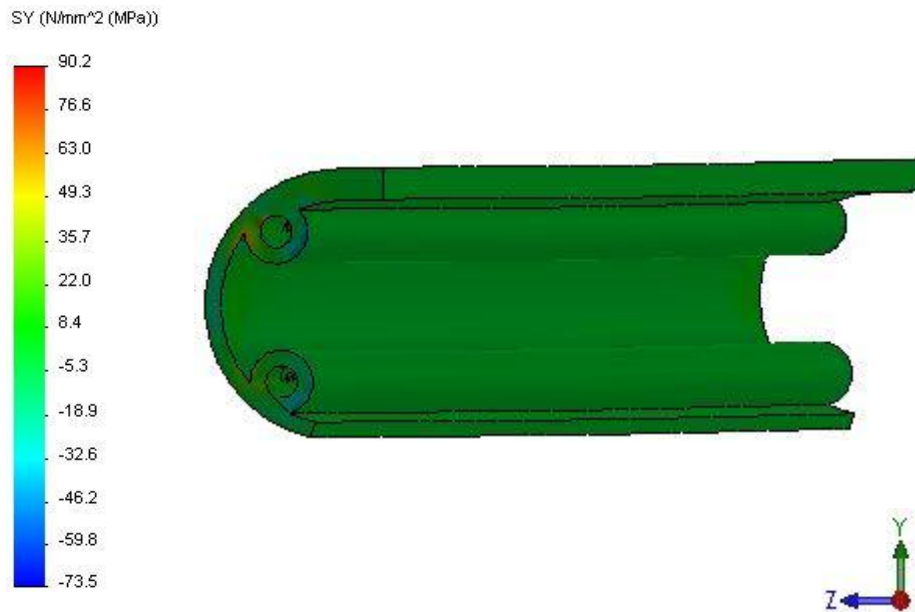
Normalt stress opptrer når kraften står vinkelrett på den planen vi ser på [6]. Her vises normal stress i X, Y og Z retning ved maks stramning.

Vi ser først på normalt stress i X retning. Figur 05.04 viser resultatene til normal stress i bakkbom/brystbom i X retning. Maksimal normal stress kommer på 185,7 MPa, ved maksimal stramning.



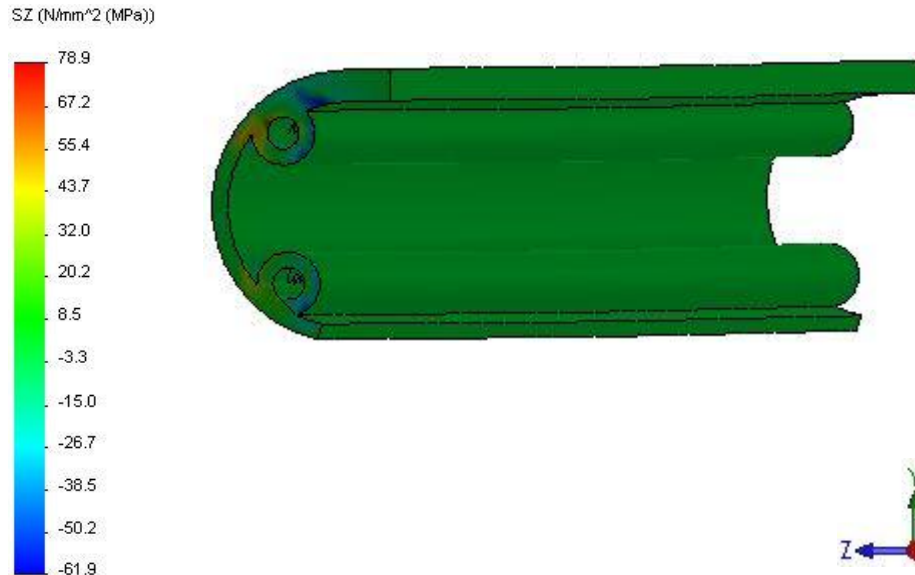
FIGUR 05.04 - NORMALT STRESS I X RETNING

Videre ser vi på normalt stress i y-retning. Figur 05.05 viser resultatene for normalt stress i bakkbom/brystbom i Y retning. Maksimal normalt stress kommer på 90,2 MPa, ved maksimal stramming.



FIGUR 05.05 - NORMALT STRESS I Y RETNING

Figur 05.06 viser resultatene for normalt stress i bakbom/brystbom i Z retning. Maksimal normalt stress kommer på 78,9 MPa, ved maksimal stramning.

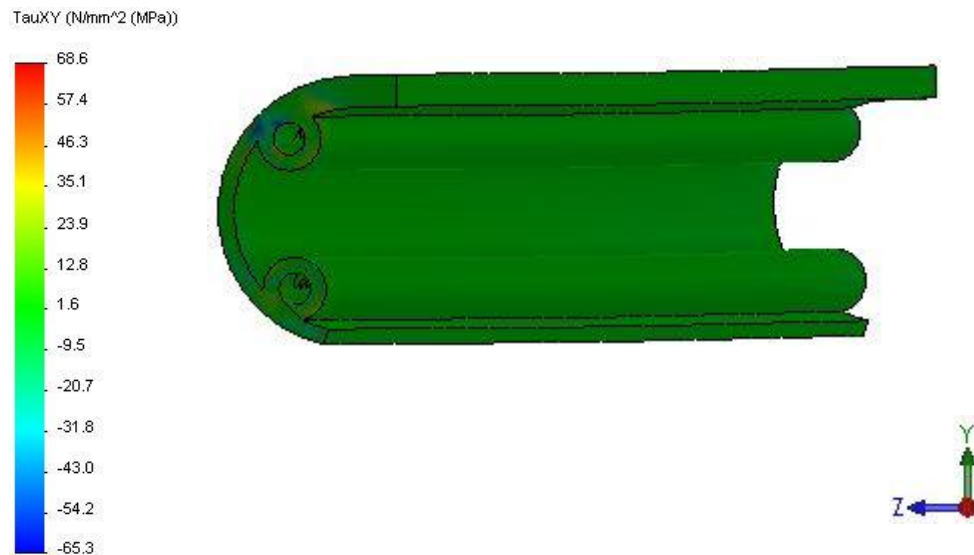


FIGUR 05.06 - NORMALT STRESS I Z RETNING

### 5.2.2 - SKJÆRSTRESS

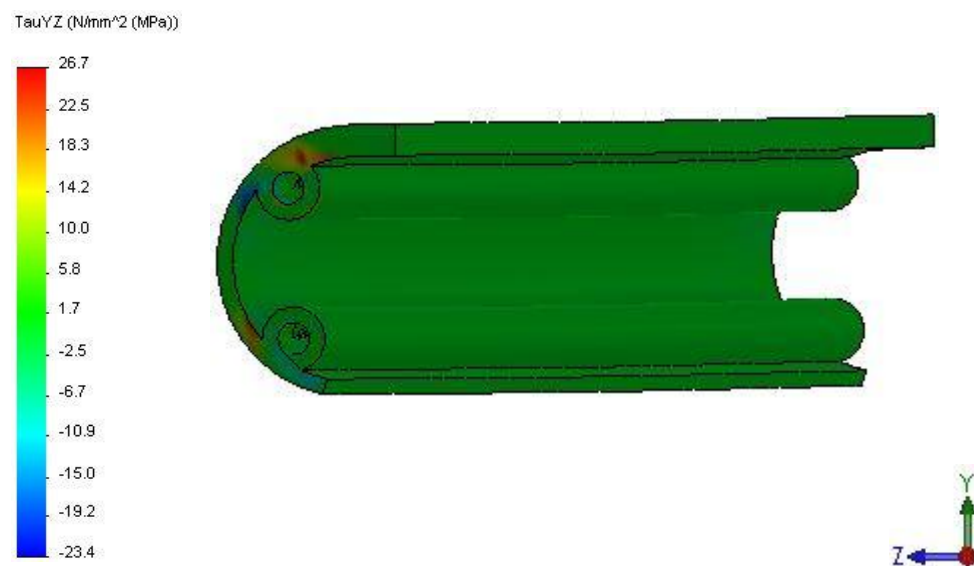
Mens normalkrefter og normalt stress alltid virker normalt (vinkelrett) på spenningsflaten, virker skjærkrefter og skjærstress alltid langs flaten. Vi vil nå ta for oss skjærstress i forskjellige planer og retninger [6].

Figur 05.07 viser resultatene av skjærstress i bakkbom/brystbom i Y retning på YZ planet. Maksimalt skjærstress kommer på 68,6 MPa, ved maksimal stramming.



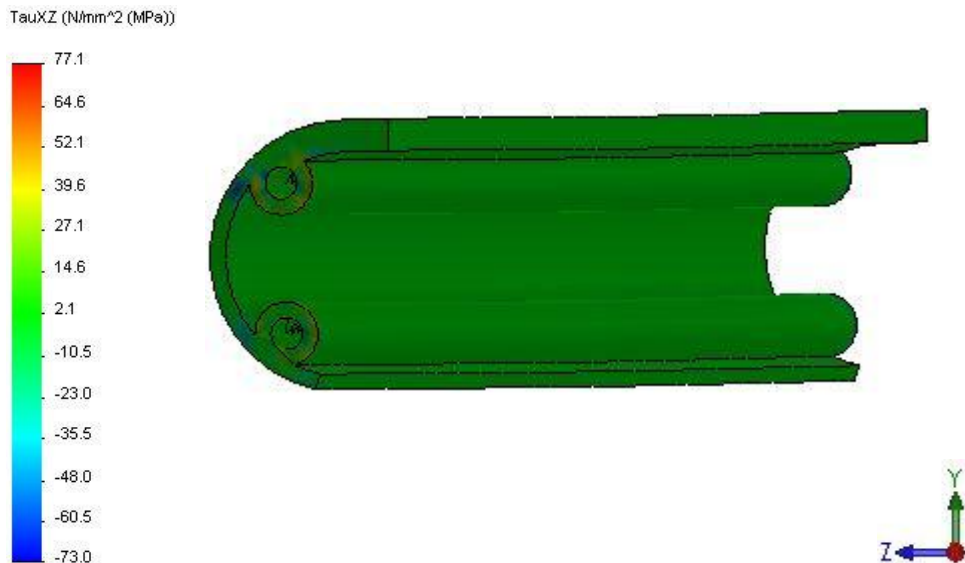
FIGUR 05.07 - SKJÆRSTRESS I Y RETNING PÅ YZ PLANET

Videre viser figur 05.08 resultatet av skjærstress i bakkbom/brystbom i Z retning på XZ planet. Maks skjær stress kommer på 26,7 MPa. Ved maks stramning.



FIGUR 05.08 - SKJÆRSTRESS I Z RETNING PÅ XZ PLANET

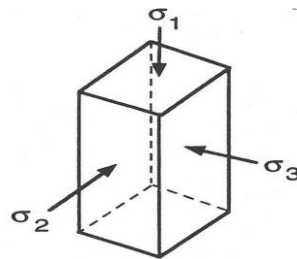
Tilslutt viser figur 05.09 skjærstress i Z retning på YZ planet. Maksimalt skjærstress kommer på 77,1 MPa, ved maksimal stramning.



FIGUR 05.09 - SKJÆRSTRESS I Z RETNING PÅ YZ PLANET

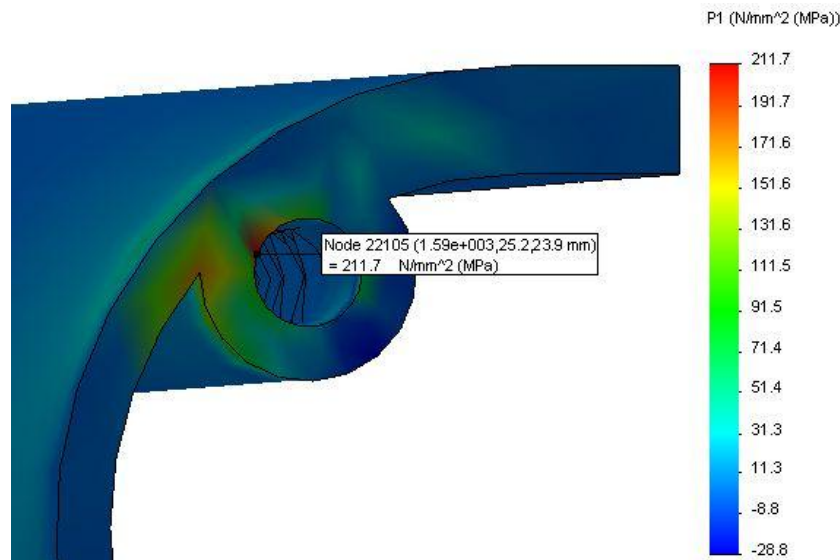
### 5.2.3 - PRINSIPIELL STRESS

På hvert element eller punkt i en stresset kropp er det minst tre planer, kalt prinsipielle planer [7]. I vårt tilfelle er de prinsipielle planene XY, XZ og YZ planet. Normale stresser som er vinkelrett på disse planene kalles prinsipiell stress. Se figur 05.10 for illustrasjon over dette.



FIGUR 05.10 - PRINSIPIELL STRESS

Det var viktig for oss å finne ut maksimal prinsipiell stress i punkter som er mest kritisk under maksimal belastning. I vårt tilfelle er dette området der bommene blir festet til veven. Maksimal prinsipiell stress vil være 211,7 MPa. En illustrasjon over dette er gitt i figur 05.11.

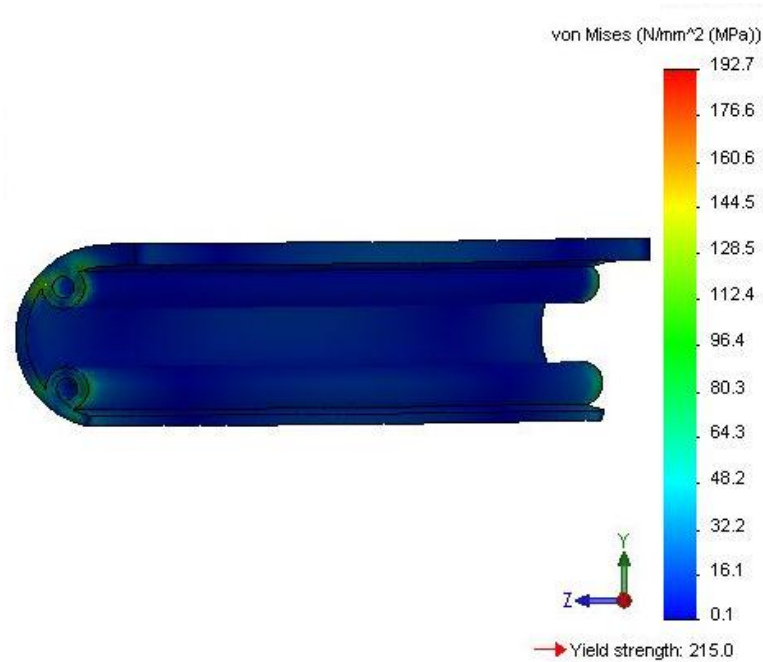


FIGUR 05.11 - MAKSIMAL PRINSIPELL STRESS

Dette resultatet regnes som kritisk ettersom flytegrensen til materialet er 215 MPa. Dette innebærer med andre ord at en påkjenning på 211,7 MPa. er 3,3 MPa fra å gjøre bommen varig deformert. I industrien vil ikke bommen regnes robust dersom konstruksjonen har en sikkerhetsfaktor på 2 [7], men merk at testene er statiske. Dette innebærer at det ikke vil være likt i virkeligheten. TC-2 blir ikke utsatt for en statisk påkjenning når den er i drift. Kraftene vil stadig endre seg. Påkjenningene er dynamiske, og påfører ikke så stor kraft at den resulterer i varig deformasjon i bommen.

#### 5.2.4 - VON MISES-STRESS

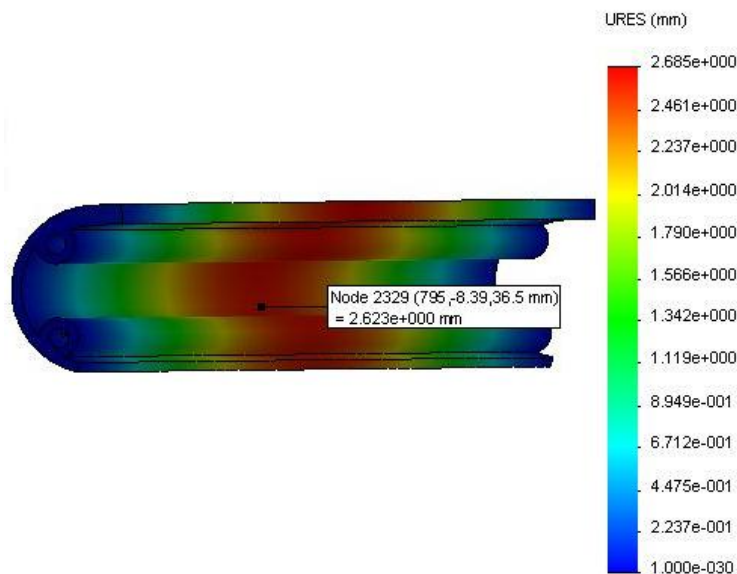
Materialer er generelt testet ved å strekke et stykke metall for å definere egenskapene til materialet. Mens bommene har mer kompliserte spenninger når maskinen er i drift enn bare en en-akset spenning. Med von Mises-stress kan vi sammenligne de kompliserte spenningene i bommen med de enkle verdier (enaksede spenning) som er nevnt i datablader [4]. Resultatene av FEM analysen viser at maksimal von Mises-stress er 192,7 MPa. Dette er illustrert i figur 05.12



FIGUR 05.12 - MAKSIMAL VON MISES-STRESS

### 5.2.5 - FORSKYVNINGSTEST

Denne testen er utført ved å benytte oss av analyseverktøyet FEM analyse, og ved å utsette bakbommen under maksimal belastning. Resultatene viser oss hvor i bommen maksimal tøyning skjer. Resultant Displacement i dialogboksen viser oss at maksimal tøyning kommer på 2,6 mm (se figur 05.13). Denne testen var avgjørende for oss når det gjaldt plassering av strekkklapper.



FIGUR 05.13 - FORSKYVNINGSTEST

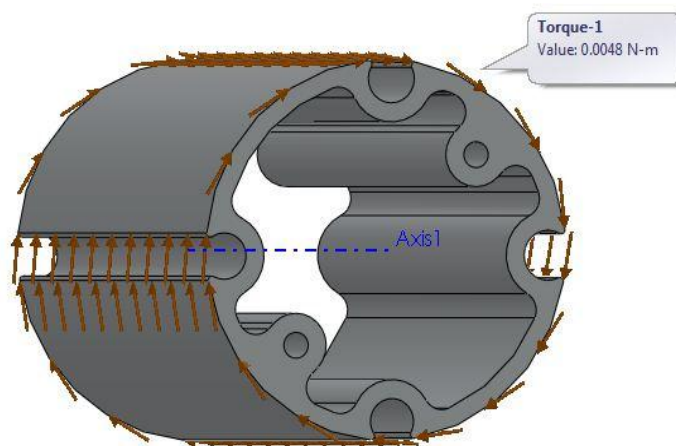


### 5.3 - RESULTATER FRA TESTING AV VAREBOM OG RENNINGSBOM

I dette delkapittelet vises resultatene fra testing av varebom og renningsbom etter at de er påført maksimal belastning. Resultatene viser at geometrien til bommene vi har kommet til i løsningen vår er optimale for maksimal belastning og lavest mulig vekt.

Varebom og renningsbom vil bli styrt med BLDC motor, det vil si at hastigheten er proporsjonal med spenning, samt at momentet er proporsjonalt med strømmen. For å finne ut momentet i de overnevnte bommene har vi regnet ut hvordan elektrisk moment blir omgjort til mekanisk. Ut fra beregningene som er vist i designdokumentet har vi funnet ut at momentet i varebommen vil være 0,0048 [Nm] ved maksimal stramning.

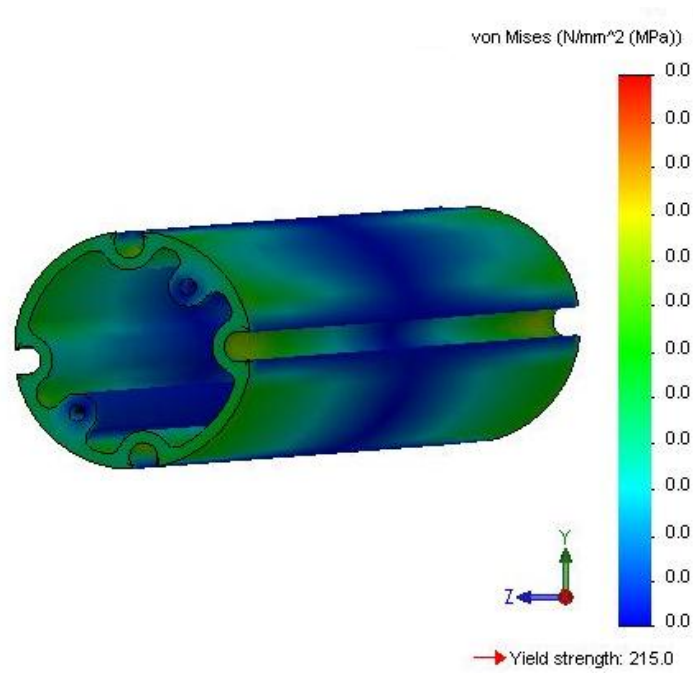
Retningen til momentet er vist i figur 05.14. Denne verdien er ikke så stor at den påvirker bommene i stor grad. For å bevise dette har vi testet bommene i FEM analyse og vi har fått følgende resultater:



FIGUR 05.14 - MOMENT RUNDT VAREBOM OG RENNINGSBOM

#### 5.3.1 - VON MISES STRESSTEST I VAREBOM OG RENNINGSBOM

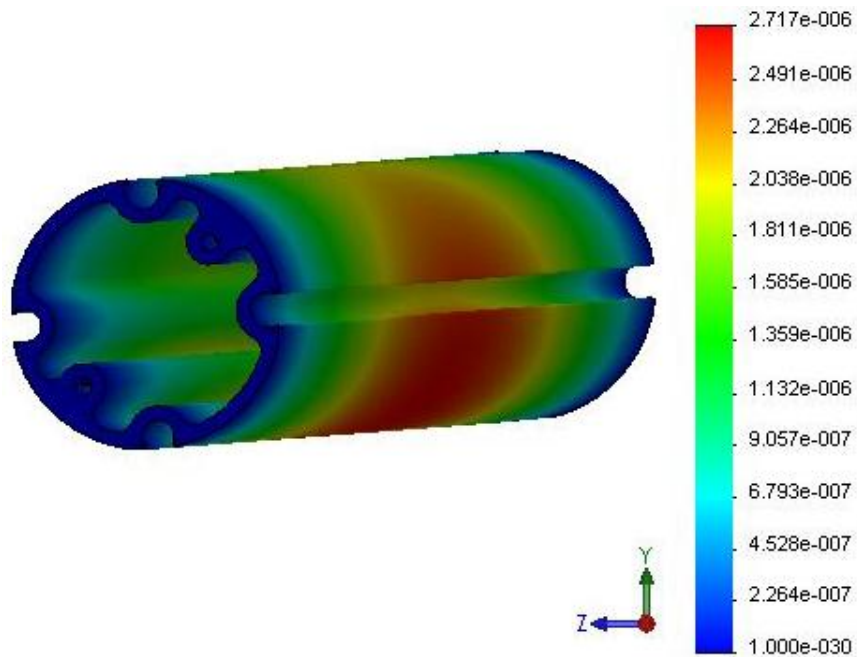
Figur 05.15 viser at momentet i bommene ikke vil resultere i noen stress i bommene. Påkjenningen er for liten noe som fører til at de blir registrert som en nullverdi over hele bommen.



FIGUR 05.15 - STRESS I VAREBOM OG RENNINGSBOM VED MAKS STRAMNING

### 5.3.2 - FORSKYVNINGSTEST I VAREBOM OG RENNINGSBOM

Figur 05.16 viser at maksimal tøyning i varebom og renningsbom ved maks stramning er  $2.717e-006$  mm. Denne verdien er så liten at den ikke påvirker reguleringsystemet for stramning av renningen.

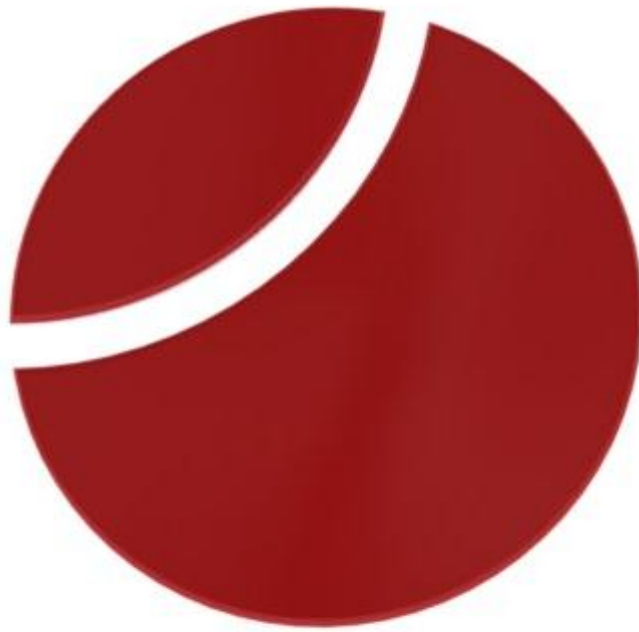


FIGUR 05.16 - FORSKYVNINGSTEST PÅ VAREBOM

## REFERANSER

- [1] Tittel: Prosjektgruppe 2011-10 – Skjev Aksel (Video)  
Webadresse: <http://www.youtube.com/watch?v=vw6IBwVfHzE>
- [2] Tittel: Prosjektgruppe 2011-10 – Testing av strekkklapper (Video)  
Webadresse: <http://www.youtube.com/watch?v=bF5gSC3kqSs>
- [3] Tittel: Prosjektgruppe 2011-10 – Testing av I<sup>2</sup>C-Buss (Video)  
Webadresse: <http://www.youtube.com/watch?v=IGft9wx20aU>
- [4] Tittel: Material properties, Solid Works datablad  
Forfatter: SolidWorks 2010
- [5] Tittel: Manufacturing Engineering and Technologies  
Forfatter: Serope Kalpakjian & Steven R. Schmid  
Forlag: Pearson Education Centre  
Kapittel: 15
- [6] Tittel: Statikk og fasthetslære  
Forfatter: Øistein Vollen  
Forlag: NKI forlaget  
Kapittel: 11
- [7] Tittel: Statics and Mechanics of Materials  
Forfatter: R.C. Hibbeler  
Forlag: SI Edition  
Kapittel: 8, 13 og 15





## *Thread Control System*

---

# ØKONOMIDOKUMENT

---

VERSJON	DATO	BESKRIVELSE
OD-01	26.05.11	Første Offisielle dokument

NAVN	SIGNATUR
LARS THORVALD LIE	
JAPRIT SINGH THAKKAR	
BABAR IQBAL	
REBAZ JAWHER	

## INNHOLDSFORTEGNELSE

DOKUMENTHISTORIE OG AKRONYMER	03
DOKUMENTHISTORIE	03
01 – REGNSKAP	04
1.1 – ADMINISTRATIVE KOSTNADER	04
1.2 – MATERIELL	04
1.3 – PRESENTASJONER	05
1.4 – TOTALE KOSTNADER	05

## INNHOLDSFORTEGNELSE FOR TABELLER

TABELL 00.01 - DOKUMENTHISTORIE	03
TABELL 01.01 – ADMINISTRATIVE KOSTNADER	04
TABELL 01.02 - MATERIELL	04
TABELL 01.03 - PRESENTASJONER	05
TABELL 01.04 – TOTALE KOSTNADER	05

## DOKUMENTHISTORIE OG AKRONYMER

### DOKUMENTHISTORIE

VERSJON	DATO	ENDRINGER
0.1	26.05.11	Satt sammen til et felles dokument
1.0	26.05.11	Første offisielle dokument

TABELL 00.01 - DOKUMENTHISTORIE

## KAPITTEL 1

### REGNSKAP

Dette kapittelet er ment for å gi en oversikt over økonomien til prosjektgruppen frem til innleveringsfristen 30.05.11. Med andre ord dekker ikke dette regnskapet kostnadene knyttet til hovedpresentasjonen som vil bli avholdt 07.06.11.

Oppdragsgiveren valgte å dekke alle kostandene tilknyttet innkjøp av komponenter til prototypen underveis. Derfor vil dette kapittelet kun presentere kostnadene som prosjektgruppen selv har lagt ut for.

#### 1.1 – ADMINISTRATIVE KOSTNADER

BESKRIVELSE	ANTALL	ENHETSPRIS	TOTALT
Litteratur	1	399,00	399,00
Prosjektplakat	1	185,00	188,00
Utskrift av hovedrapport	3	1130,00	3390,00
Perm	3	30,00	90,00
Skilleark	2	20,00	40,00
Diverse kontormateriell	1	35,00	35,00
<b>SUM</b>			<b>4142,00</b>

TABELL 01.01 – ADMINISTRATIVE KOSTNADER

#### 1.2 – MATERIELL

BESKRIVELSE	ANTALL	ENHETSPRIS	TOTALT
Treplate	1	90,00	90,00
Lerretsteip	1	30,00	30,00
Koblingsboks	2	17,00	34,00
Lekter og skruer	1	55,00	55,00
Wago tilkoblingsklemmer	2	29,00	58,00
Superlim	1	40,00	40,00
Tekstil til prototypen	1	99,00	99,00
<b>SUM</b>			<b>406,00</b>

TABELL 01.02 - MATERIELL



**1.3 – PRESENTASJONER**

BESKRIVELSE	ANTALL	ENHETSPRIS	TOTALT
Kjeks	2	20,00	40,00
Vannflasker	3	12,00	36,00
Kaffe	2	95,00	180,00
		<b>SUM</b>	<b>256,00</b>

TABELL 01.03 - PRESENTASJONER

**1.4 – TOTALE KOSTNADER**

BESKRIVELSE	TOTALT
Administrative kostnader	4142,00
Presentasjoner	256,00
Materiell	406,00
	<b>SUM</b>
	<b>4804,00</b>

TABELL 01.04 – TOTALE KOSTNADER





## *Thread Control System*

---

# ETTERANALYSE

---

VERSJON	DATO	BESKRIVELSE
OD-01	28.05.11	Første offisielle dokument

NAVN	SIGNATUR
LARS THORVALD LIE	
JAPRIT SINGH THAKKAR	
BABAR IQBAL	
REBAZ JAWHER	

## INNHOLDSFORTEGNELSE

01 – INNLEDNING	04
02 – ADMINISTRATIV VURDERING	05
2.1 – Prosjektoppgaven	05
2.2 – Prosjektstyring	05
2.3 – Tidsforbruk	05
2.4 – Samarbeid i gruppen	06
2.5 – Samarbeid med veiledere	06
2.6 – Forbedringsområder	06
03 – TEKNISK VURDERING	08
3.1 – Mekanikk	08
3.2 – Streklapper	08
3.3 – Algoritme for mastermikrokontroller	09
3.4 – Algoritme for slavemikrokontrollere	09
3.5 – Motorkontroller	10
04 – EGENVURDERING	11
4.1 – Lars	11
4.2 – Japrit	11
4.3 – Babar	12
4.1 – Rebaz	13

## DOKUMENTHISTORIE OG AKRONYMER

### DOKUMENTHISTORIE

VERSJON	DATO	ENDRINGER
0.0	28.05.11	Sammensatt til et felles dokument
0.1	29.05.11	Lagt til innholdsfortegnelse
1.0	29.05.11	Første Offisielle dokument

TABELL 00.01 - DOKUMENTHISTORIE

### AKRONYMER

AKRONYM	
TE	Tronrud Engineering
FEM	Finite Element Method

TABELL 00.02 - AKRONYMER

## KAPITTEL 1

### INNLEDNING

Prosjektgruppen vår har nå fullført et helt skoleår med prosjektarbeid. Vi har underveis i prosjektet tilegnet oss mye kunnskap, samt tilegnet oss erfaring innenfor flere områder som prosjektet har dekket. Hensikten med dette dokumentet er å gi en god helhetsvurdering av hovedprosjektet. Gruppedeltagerne vil her gi både en individuell og kollektiv vurdering knyttet til det administrative og tekniske aspektet av hovedprosjektet som har blitt utført.

I dette dokumentet vil vi både vektlegge det som gikk bra, samt tanker angående hva vi eventuelt kunne ha gjort bedre. Dokumentet summeres opp med en konklusjon som gir en overordnet beskrivelse av hvordan prosjektgruppen føler at prosjektet har gått.

## KAPITTEL 2

### ADMINISTRATIV VURDERING

Dette kapitlet vil kort ta for seg hvordan vi har opplevd de forskjellige delene av prosjektet.

#### 2.1 – PROSJEKTOPPGAVEN

Prosjektoppgaven i seg selv har vært veldig lærerik og utfordrende. Den har bestått av mange forskjellige deler, så det har vært spennende å se at man kan jobbe med forskjellige elementer, for så å sette de sammen og se at de kan jobbe som et helhetlig system.

Vi har vært heldig med å få en oppdragsgiver som TE, som har vært behjelpelige med å gi oss tips og tilbakemeldinger underveis i prosessen, slik at vi fikk til å gjøre det beste vi kunne.

#### 2.2 – PROSJEKTSTYRING

Siden denne delen av prosjektet har vært relativt nytt for alle medlemmene, så har nok dette vært en like krevende del som oppgaven. Vi har merket at HiBu har et langt større krav om dokumentasjon rundt den administrative delen av prosjektet enn det oppdragsgiveren vår hadde. TE har vært mer nøye på dokumentasjon rundt den tekniske delen av oppgaven.

Når det kommer til å følge en prosjektplan som vi har satt opp, så har vi merket at det er en vanskelig oppgave å estimere og følge et tenkt hendingsforløp.

Selv om det har vært mye dokumentasjon så forstår vi hvorfor skolen krever det, og at det er bra at vi må skrive rapportene. På denne måten er vi bedre rustet til hvordan arbeidslivet kommer til å bli, der man rapporterer og dokumenterer til prosjektleder eller avdelingsleder.

#### 2.3 – TIDSFORBRUK

Vi har benyttet oss av omtrent det som HiBu forventer at hver student bruker på prosjektet. HiBu har kommet med et estimat om at det burde brukes ca. 650 timer i løpet av hele prosjektet. Dette tilsvarer totalt 2600 timer fordelt på fire

gruppemedlemmer. Vi har omtrent brukt det anbefalte timeforbruket, noe vi ser på som positivt. Antall brukte timer viser også at alle på gruppemedlemmene har vært med på å bidra, og at ingen har sluntret unna.

#### **2.4 – SAMARBEID I GRUPPEN**

Samarbeidet innad i prosjektgruppen har fungert veldig bra. Alle gruppemedlemmene har vært flinke til å jobbe med løsninger på en saklig måte, ved hjelp av møter og diskusjoner. Alle har tatt ansvar og vi har oppført oss så profesjonelt som mulig gjennom våre fremgangsmetoder.

#### **2.5 – SAMARBEID MED VEILEDERE**

Som vi har opplevd det, så har vi hatt veldig gode forhold til veilederne våre, både fra TE og fra HiBu. Med vår interne veileder Sigmund har vi gjennomført ukentlige oppfølgingsmøter, slik at vi har hatt god kommunikasjon under hele prosjektperioden. På denne måten føler vi at vi har klart å holde han oppdatert på prosjektets status, slik at han har hatt mulighet til å veilede oss og komme med innspill underveis.

Med vår eksterne veileder og kontaktpersoner på TE, Bjørn, Geir Atle og Anders har vi hatt regelmessige møter. Vi har kanskje ikke hatt like mange møter med oppdragsgiver som vi burde, men dette har vært en vurderingssak hos gruppen, siden det tar mye tid og energi på å reise mellom Kongsberg og Hønefoss. Vi har derfor hatt veldig mye kontakt via e-post og telefon. Når det har dukket opp problemer eller saker vi lurer på så har vi prøvd å ta det opp fortløpende, så det ikke har blitt et videre problem. Så vi mener også her at vi har hatt et godt samarbeid med TE.

#### **2.6 - FORBEDRINGSOMRÅDER**

Det første som slår oss er at vi kanskje kunne ha klart å planlegge litt bedre. Ting som alltid kan forbedres er jo tidsforbruket vi har hatt på enkelte oppgaver. Dette viser også at det er vanskelig å forutsi hvor lang tid enkelte ting vil ta, spesielt når det er noe nytt som man skal sette seg inn i.

I ettertid, når vi ser tilbake på oppgaven og på det vi har fått utført, ser vi at vi kanskje undervurderte størrelsen på delene av oppgaven. Vi burde muligens valgt en litt mindre oppgave, slik at alle punkter i kravspesifikasjonen ville blitt gjennomført. Siden vi kun er fire, så kunne vi sett at vi var et medlem til. Med en elektrostudent til kunne vi nok ha utført flere av punktene i oppgaven, siden vi hadde hatt mer kapasitet.



Noen ganger har det sikkert vært litt for god stemning innad i gruppen. Dette er selvsagt en positiv ting i forbindelse med at ingen mistrives, men også at det noen ganger har gått ut over arbeidskonsentrasjonen.

## KAPITTEL 3

### TEKNISK VURDERING

Følgende kapittel beskriver hvordan de tekniske delene av prosjektoppgaven har blitt opplevd blant gruppe medlemmene.

#### 3.1 – MEKANIKK

Den mekaniske delen av oppgaven hadde en klar problemstilling og et klart mål. For å oppnå dette målet trengte vi et klart utgangspunkt, nemlig kreftene som bommene ble utsatt for. Størrelsen av disse kreftene er en viktig faktor ved design av en konstruksjon. Det har vært en utfordring for oss å finne den virkelige maksimale belastning som påvirker bommene, ettersom bommene ikke skulle ekstruderes i henhold til avtale med TE. Med andre ord fikk vi ikke testet løsningen vår fysisk.

Når det gjelder innfesting av bommene, samt det å vurdere styrken til området der skruene festes så følte vi at dette ikke var lett, grunnet at vi ikke kunne teste bommene fysisk. Ved å benytte FEM analyser fant vi prinsipiell stress i tre dimensjoner. For å overvåke området der skruene festes så vi på resultatene av prinsipiell testing fra FEM.

For å forsikre oss om at resultatene vi fikk i FEM var riktige trengte vi å regne ut det overnevnte stresset manuelt, men det var da en utfordring for oss å regne ut dette. Grunnlaget for dette er at vi ikke har lært hvordan en kan regne ut prinsipiell stress i to dimensjoner. Ettersom stresset var i tre dimensjoner, og det var noe vi ikke klarte å regne ut, valgte vi kun å dokumentere resultatene vi fikk frem av FEM-analysen.

Generelt var denne delen av oppgaven lærerik for alle prosjektmedlemmene, uansett studieretning, og dette har gitt oss et bedre inntrykk av en maskiningeniørs arbeid i bedriftssammenheng.

#### 3.2 – STREKKLAPPER

I begynnelsen undervurderte vi nok oppgaven om strekkklappene en smule. Det ble en del mer diskusjon og dokumentasjon når det kom til å velge type strekkklapper. Siden vi tidligere har vært bort i fire enkeltstrekkklapper, så vi på dette som et naturlig valg.

Ekstern veileder kom i denne sammenheng med mange gode spørsmål og ny informasjon vi måtte forholde oss til. Dette gav oss mer forståelse for hvor viktig god dokumentasjon og begrunnelse for de valgene vi gjør har å si i arbeidslivet. Vi har derfor brukt mye tid på diskusjon og møter for å avgjøre dette.

Bortsett fra dette har arbeidet med strekklappene vært greit. Vi opplevde noen problemer med forsterkningen av signalet. Siden signalet ut fra strekklappene er så lite, så fikk vi et ustabil signal nå vi forsterket opp signalet. Vi så en veldig variasjon i utgangssignalet, noe som ikke er ønsket. Videre fant vi ut at mye av denne støyen var på grunn av dårlige signalkabler, samt dekadeboksene. Når vi byttet ut dekadeboksene med faste motstander opplevde vi at mye av støyen ble borte og vi fikk et mye bedre signal vi kunne bruke videre.

### **3.3 – ALGORITME FOR MASTERMIKROKONTROLLER**

Ettersom vi hadde begrensede kunnskaper om Atmel og deres produkter fra før av, så har det vært noe krevende å utvikle algoritmen for mastemikrokontrolleren.

Vi startet tidlig med å sette oss inn i bruk av AVR Studio 4 med en GCC-kompilator, samt å lese igjennom forskjellige datablader og applikasjonsnotater. Dette ble gjort for å skape et bedre grunnlag for å løse problemene knyttet til prosjektoppgaven.

De tekniske utfordringene knyttet til denne delen av oppgaven har vært mange, samtidig som vi har lært noe om våre egne begrensninger når det kommer til programmering. Vi har hele tiden lagt vekt på at algoritmen skulle være enkel og oversiktlig, samtidig som den skulle oppfylte alle kravene som ble satt i kravspesifikasjonen.

Vi mener at vi har klart å utvikle en solid algoritme for mastermikrokontrolleren, men vi mener også at det finnes et forbedringspotensial. Sett med hensyn til våre forkunnskaper med C så mener vi at vi har gjort en god jobb med utvikling av algoritme for mastermikrokontrolleren.

### **3.4 – ALGORITME FOR SLAVEMIKROKONTROLLER**

Grunnet mangel på tid fikk ikke prosjektgruppen tid til å gjennomføre alle kravene TE hadde fremsatt med hensyn til algoritme for slavemikrokontrollerne. Grunnlaget for dette var tidspress under implementeringsfasen. Prosjektgruppen valgte derfor, etter avtale med TE, å legge vekt på å få gjennomført kommunikasjonen mellom mastermikrokontrolleren og slavemikrokontrolleren over I<sup>2</sup>C-grensesnittet.

I tillegg til å løse problemstillingene knyttet til kommunikasjonen så valgte vi å gi en grundigere beskrivelse av kodeutviklingen, noe som innebærer hvordan koden for slavemikrokontrollerne burde utvikles.

Grunnlaget for at vi ikke kom helt i mål med denne delen av oppgaven var at vi ikke hadde nok kunnskap til å løse oppgaven på forhånd. Det tok noe mer tid en ventet å lære seg de ulike ting som AVR studio, samt hvordan vi skulle utvikle selve koden for slavemikrokontrollerne.

Vi ser i ettertid at vi burde ha kommet i gang med utviklingen av koden noe tidligere, eller eventuelt bedt TE om en forkortelse av oppgaven med hensyn på slavemikrokontrollerne på forhånd når vi fikk tildelt oppgaven.

### **3.5 – MOTORKONTROLLER**

Utviklingen av motorkontrollerkretsen har vært en ganske utfordrende oppgave. Som gruppe har vi ikke jobbet med en slik type krets tidligere, så det har vært mange nye momenter som vi har blitt nødt til å sette oss inn i for å få en grundig nok forståelse.

Samtidig som vi har holdt på med prosjektet, har enkelte gruppemedlemmer også hatt undervisning og opplæring i elektronikkonstruksjon. Dette har ført til at vi har måttet bruke en god del tid til å sette oss inn i utviklingsverktøyet OrCAD både for å lage skjematiske tegninger av motorkontrolleren, og også i prosessen med å designe utlegget til kretskortet.

Siden det har gått med mye tid til dette faget, samtidig med andre hendelser med prosjektet, så har vi ikke klart å komme helt i mål med utlegget. Dette har nok litt med at vi har måttet prioritere andre deler av oppgaven, siden prosjektet nærmet seg slutten. Hadde vi planlagt litt annerledes så kan det nok hende at vi hadde klart og fått klart et utlegg for motorkontrolleren, slik at vi fysisk kunne ha testet den. Men igjen har dette vært en læringsprosess, og dette er noe vi kan ta med oss videre som en lærdom.

## KAPITTEL 4

### EGENVURDERING

Dette kapitlet gir en kort egenvurdering av prosjektet fra hvert av medlemmene i prosjektgruppen.

#### 4.1 - LARS THORVALD LIE

Hvis jeg måtte oppsummere hovedprosjektet med to ord, så ville det vært lærerikt og krevende. Lærerikt i den forstand at jeg har fått kunnskap på mange måter jeg ikke hadde forventet eller tenkt over på forhånd, slik som hvordan en BLDC-motor og seriellkommunikasjon fungerer.

Med krevende mener jeg at det har vært mye å gjøre i prosjektet når man i tillegg har andre fag og et sosialt liv. Dette har ført til at man har måttet gjøre en del prioriteringer, som at vi ikke klarte å gjennomføre alle delene av oppgaven som er beskrevet i kravspesifikasjonen.

Vi har fått en spennende oppgave av TE med ulike tekniske områder. I løpet av prosjektperioden har de andre og jeg møtt på mange utfordringer, noe som må forventes i et slikt prosjekt, særlig siden det er første gang gruppemedlemmene jobber med en såpass stor og langvarig oppgave i samtidig med andre fag.

Jeg har vært svært heldig med å komme på en prosjektgruppe med hyggelige, arbeidsomme og flinke medstudenter som har vært med på å drive prosjektet fremover og som har sørget for en positiv og hyggelig stemning underveis.

Alt i alt mener jeg personlig at prosjektet har vært vellykket, også når man ser på de resultatene vi har fått til i forhold til hva prosjektoppgaven tilsier.

#### 4.2 – JAPRIT SINGH THAKKAR

Prosjektoppgaven vi fikk tildelt av TE har vært spennende, krevende og utfordrende. Dette har igjen ført til at jeg har tilegnet meg mye nyttig kunnskap under prosjektprosessen.

Gjennom prosjektprosessen har jeg lært mye om det å jobbe med et stort prosjekt, samt hvordan det er å jobbe i et team. Mitt hovedansvarsområde i dette prosjektet har vært

dokumentasjonen. Ved siden av å være dokumentansvarlig har jeg også hatt ansvaret for å drifte prosjektgruppens webside.

Jeg syntes at prosjektgruppen har fungert godt. Innsatsen til gruppen har vært veldig bra, og jeg føler at alle gruppemedlemmene har bidratt likt. Vi har dessuten hatt en god tone innad i gruppen, noe som har ført til at gruppesamholdet har vært bra. Når vi har vært uenige om ting, har vi løst disse uenighetene ved å ha saklige diskusjoner, slik at vi har unngått større konflikter.

Videre vil jeg nevne at prosjektgruppen har hatt to svært gode veiledere. Både Sigmund Gudvangen (intern veileder) og Bjørn Liene Gundersen (ekstern veileder) har vært behjelpelige under utførelsen av prosjektet. Begge veilederne har hjulpet til med de problemstillingene vi har konfrontert de med på en rask og effektiv måte.

Når jeg ser tilbake på prosjektperioden ser jeg at vi burde ha planlagt tiden litt bedre. Grunnlaget for dette er at vi ikke kom helt i mål med oppgaven, og at vi opplevde et stort tidspress under implementeringsfasen.

Kort oppsummert syntes jeg at hovedprosjektet har vært en læringsrik prosess, som har gitt meg stort utbytte i form av lærdom. Jeg er fornøyd med prosjektet som helhet og min egen innsats.

### **4.3 – BABAR IQBAL**

I løpet av prosjektet har jeg fått et bedre inntrykk at hvordan man jobber som et team for å komme frem til et felles mål med planlegging, samarbeid og fordeling av oppgaver.

Jeg syntes at gruppen har klart seg veldig bra. Selv om vi hadde begrenset tid så har vi utarbeidet et produkt som vi er fornøyd med. Dette med tanke på at dette var en læringsprosess. Alle i gruppen har i større eller mindre grad opparbeidet seg kunnskaper på mange nye felter slik som bruk av mekaniske simuleringer. Dette er noe jeg ser på som relevant og attraktivt for eventuelle arbeidsgivere.

Jeg har også sett hvor viktig det er å ha et godt arbeidsmiljø og kunne trives på arbeidsplassen. Denne delen er jeg mest fornøyd med når det gjelder gruppemedlemmene. En trygg følelse var alltid der. Dette gjorde at arbeidsdagene gikk mye fortere. Prosjektoppgaven ble diskutert under frokost, lunsj og middag. Man blir mer motivert til å yte sitt maksimale, selv på lange dager.

Vi skrev timer vi hadde arbeidet hver dag på en ark i prosjekttrommet. Disse time ble ført inn i timelisten av meg ettersom jeg hadde ansvaret for det. Gruppen har også vært veldig flink når det gjelder å dele kostnaden som dukket opp underveis. Disse kostnadene ble ført og dokumentert av meg, ettersom jeg hadde ansvaret for denne delen.

Jeg mener at det hadde vært en fordel dersom vi hadde fått lov til å danne grupper og søke etter oppgaver i bedrifter etter at vi ble ferdig med andre året (mai 2010). På denne måten ville prosjektet ha gått mye bedre, med hensyn på tid.

Gruppen estimerte litt mindre tid til implementering og research. Jeg mener også at det hadde vært mer realistisk å fullføre dette prosjektet med en gruppe på fem studenter enn fire som vi var.

Prosjektet har vært utfordrende, men jeg svært fornøyd med min egen innsats. Jeg har jobbet hardt og mange hundre timer. Siden vi bare er fire prosjektmedlemmer så har det selvfølgelig vært utfordrende til tider.

Selv om vi har vært gjennom uenigheter og diskusjoner har vi fullført prosjektet på en god måte. Jeg synes selv jeg har bidratt til prosjektgjennomføringen på en positiv måte og bidratt med flere gode ideer til hvordan vi skal løse tekniske utfordringer og administrative utfordringer.

#### **4.4 – REBAZ JAWHER**

Prosjektgruppen vår var satt sammen av to studenter fra mekatronikk, en student fra kybernetikk og meg fra produktutvikling. Hver av gruppemedlemmene er flinke på hvert sitt område. Dette ga oss et godt utgangspunkt for bacheloroppgaven. Vi valgte oppgaven til TE på grunn av at vi syntes oppgaven var spennende og oppgaven passet vår bakgrunn, ettersom en fjerdedel av oppgaven handler om mekanikk, og tre fjerdedeler omhandler elektronikk.

Gruppemedlemmene har vært flinke til å samarbeide, flinke til å spørre både faglærerne og eksternveileder om diverse spørsmål relatert til prosjektet. Gruppemedlemmene har også vært flinke til å jobbe selvstendig og holde frister.

Jeg føler at mitt ansvarsområde var litt større enn det jeg hadde estimert. Den mekaniske delen av oppgaven så ved første blick ut til å være enklere enn den var. Til en

vis grad savnet jeg en annen student i gruppen med maskin bakgrunn. Selv om gruppemedlemmene alltid har vært flinke til å stille opp hvis jeg trengte hjelp, syntes jeg at det hadde vært bedre å diskutere med en maskin student når det gjaldt beslutninger enn å diskutere med studenter fra andre linjer. Det selvstendige arbeidet har utfordret meg til å bruke min egne tilegnede kunnskap, noe som ga meg mer selvtilgitt på mine egne evner til å jobbe både selvstendig og i team.

For å konkludere så vil jeg si at jeg har vært fornøyd med gruppen, intern veideler, og oppdragsgiveren. Det har vært et læringsrikt og spennende prosjekt. Jeg synes hver av gruppemedlemmene har lært mye av prosjektet. Dersom vi hadde fått muligheten til å gjøre en lignende oppgave i framtiden, så ville det ha gått mye bedre. Noen feilestimering som vi har blitt gjort i denne oppgaven ville sannsynligvis ikke ha skjedd neste gang. Med andre ord har vi lært av de feilene vi har gjort underveis.