



# Utvikling av styresystem, metoder og utstyr for testing av produkter til fritidsbåter

**Lars Løvland Solberg**

**Og**

**Truls Braathen**

## **Veileder**

Torstein Kurt Wroldsen (UiA)

Torgeir Bråtane (Inventas)

Geir Søraker (Ertec)

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

Universitetet i Agder, 2012

Fakultet for Teknologi og Forskning

Institutt for Teknologi

## Sammendrag

Ertec hadde tidligere fått en bachelorgruppe ved Universitetet i Agder til å lage en konstruksjon som skulle gjenskape sloshing i en bensintank på småbåter. Denne konstruksjonen ville Ertec gjøre endringer på slik at den istedenfor ville gjenskape, så nøyaktig som mulig, hvordan et båtskrog oppfører seg i vannet ved kjøring i grov sjø. Dette kommer som en følge av at småbåter kun blir brukt i sommerhalvåret, noe som gir begrenset feedback på hva som kan være forbedringspunkter ved Ertecs produkter.

Det ble innhentet data fra en Askeladden C62 crossover. Målingene ble utført en ettermiddag ute ved Oksøy fyr i Kristiansand på en dag der sjøen var krapp og utenfor det som ble ansett som komfortable kjøreforhold.

Det ble brukt et akselerometer framme i båten for å måle brå hastighetsendringer (slag, støt), samt en kombinasjon av en gyro og et inclinometer for å måle den aktuelle trimvinkelen. I tillegg ble det brukt GPS for hastighets- og posisjonslogging, samt et kamera for å gjøre tolkning av dataene lettere. Værdata ble hentet fra målestasjonen på Oksøy fyr via [www.yr.no](http://www.yr.no)

For å tolke disse målingene ble MATLAB brukt for å finne et kjøremønster jiggens måtte klare og som en følge av dette hvilke belastninger den måtte tåle. SolidWorks ble brukt for å styrkeberegne og finne ut om konstruksjonen oppfylt kravene som ble stilt. LabVIEW ble brukt sammen med en teensy++ 2.0 microcontroller-enhet for å styre jiggens 2 sylindere. Ved styrkeberegningene så man at kun ved å gjøre noen endringer på konstruksjonen og bytte ut sylinderakselen med et material med større flytegrense fører dette til at konstruksjonen er mer enn sterk nok til å klare påkjenningen fra en Askeladden C62 crossover. Ved å sammenlikne de målte resultatene fra kjøring sammen med målinger på konstruksjonen, ser man at jiggens klarer å gjenskape bevegelsen til en Askeladden C62 crossover ute på sjøen.

## Takk til

Denne rapporten inneholder resultatene fra et mastergrads prosjekt ved Universitetet i Agder. Oppgavebeskrivelsen er utformet i samarbeid mellom Ertec, Inventas og Universitetet i Agder, og er en del av kravet for å oppnå en mastergrad i Mekatronikk. Denne rapporten krever basis forståelse innen styrkeanalyse, hydraulikkberegning, programmering ved LabVIEW, SimulationX, MATLAB og c-kode. Oppgaveteksten til masterprosjektet er gitt i Vedlegg S.

For å ha kommet til en avslutning og presentasjon av resultatene i dette prosjektet, vil gruppa gjerne takke våre kontaktpersoner i Ertec ved Geir Søraker og Inventas ved Torgeir Bråtane for god veiledning og tilbakemeldinger gjennom prosjektet. Gruppa vil også takke veilederen vår på UiA ved Torstein Kurt Wroldsen for hjelp under prosjektet. Til sist vil gruppa takke øvrige lærerne og studenter ved fakultetet for teknologi og forskning for hjelp og veiledning gjennom prosjektet.

# Innholdsfortegnelse

Sammendrag .....	2
Takk til .....	3
1 Innledning.....	7
1.1 Bakgrunn og motivasjon.....	7
1.2 Problemformulering og avgrensninger .....	7
1.3 Sideoppbygging .....	7
2 Måledata fra Ertec.....	8
2.1 Filtrering .....	8
2.2 Akselerasjonsdata som lyd .....	11
2.3 LabVIEW-filtrering av data.....	12
3 Innhenting av nye måledata.....	14
3.1 Hardware .....	14
3.1.1 Akselerometer .....	14
3.1.2 Gyro .....	15
3.1.3 Inclinometer .....	16
3.1.4 Arduino .....	16
3.2 Software .....	18
3.2.1 Arduino og BMA180 .....	18
3.2.2 Arduino og gyro/inclinometer .....	20
3.2.3 Arduino og LabVIEW .....	20
3.2.4 Oppløsning på utstyret.....	23
3.2.5 Overføringshastighet mellom sensorer og LabVIEW.....	24
3.3 Utføring av målingene .....	25
3.3.1 Gjennomføring .....	25
3.3.2 Værobservasjoner .....	26
3.3.3 Logg .....	27
3.4 Resultater fra målingene .....	29
3.4.1 Akselerasjonsdata i lokal Z-retning.....	29
3.5 Utvikling av kjøreprofil .....	31
3.5.1 Båtens bevegelser til jiggens bevegelser.....	31
3.5.2 Sylinderplassering og kjøremønster .....	36
4 Sylinderhastighetsberegninger.....	39
4.1 Ventilresultater.....	39
4.2 Sylinderresultater .....	41
5 Styrkeanalyse og endringer på konstruksjonen .....	44
5.1 Generelt om SolidWorks og verdier i testene .....	45

5.2	Utførelsen av testene i SolidWorks simulation .....	45
5.3	Konklusjon for valg av forslag og styrkeanalyse .....	45
5.4	Forslag til endringer på sylindrefestene med styrketester .....	46
5.4.1	Forslag til endringer.....	47
5.4.2	Test 1 Styrketest for Slagramme .....	50
5.4.3	Test 2 Styrketest for sylindrefester på Slagrammen .....	57
5.4.4	Friksjon mellom stål akselen og aluminiums jigg .....	61
5.4.5	Test 3 Styrketest for sylindrefester på rullerammen .....	63
5.4.6	Test 4 Påvirkning fra slagrammen på rullerammen .....	68
5.4.7	Begrunnelse for å velge et annet material .....	71
5.5	Valg av posisjonssensorer .....	72
5.5.1	Virkemåten til en mikro puls transduser .....	73
5.5.2	Plassering av posisjonssensorene på jiggen .....	75
6	Kontrollsystem for jiggen .....	77
6.1	Bruk av USB 6008 .....	77
6.1.1	Generelt om kortet.....	77
6.1.2	USB 6008 og RealTime.....	78
6.2	Bruk av NI RIO-systemer.....	81
6.3	Bruk av AT90USB1286.....	82
6.4	Oppkobling mot jigg .....	82
6.4.1	Tilførselspenning .....	83
6.4.2	Fra Teensy++ til ventiler .....	84
6.4.3	Fra posisjongivere til Teensy++.....	86
6.4.4	Oppkobling .....	88
6.4.5	ADC og DAC responstest.....	90
6.5	Styreprogram.....	92
6.5.1	Arduinokode .....	92
6.5.2	LabVIEW-programmet.....	96
6.5.3	Testkjøring av Jiggen ved UiA .....	102
7	Konklusjon og videre arbeid .....	108
	Kildehenvisning .....	109
	Vedleggsliste.....	114
	Vedlegg A Bachelorprosjektet.....	114
	Vedlegg B Snittmålinger .....	114
	Vedlegg C Konvertering til wav .....	114
	Vedlegg D Eulers integrasjons script .....	114
	Vedlegg E1 ADXL345 MATLAB script.....	114

Vedlegg E2	ADXL345 LabVIEW program .....	114
Vedlegg F	Akselerometer Arduino kode .....	114
Vedlegg G	Inclinometer CXTLA datablad .....	114
Vedlegg H	Gyro kalibreringsbevis.....	114
Vedlegg I	Differansesjekk.....	114
Vedlegg J	Plassering av akslene og kjøreprofil script .....	114
Vedlegg K	Sylinderberegning .....	114
Vedlegg L	2D tegninger av endringene.....	114
Vedlegg M	Micropuls PF User Guide .....	114
Vedlegg N	LM317TL datablad.....	114
Vedlegg O	Current loop receiver .....	114
Vedlegg P	DC-DC converter.....	114
Vedlegg Q	EagleCad .....	114
Vedlegg R	Firmware .....	114
Vedlegg S	Oppgavebeskrivelse .....	114

# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn og motivasjon

Bakgrunnen for dette prosjektet er at Ertec i lengre tid har hatt begrenset mulighet til å se på hvilke belastninger og stresstilblivelse som inntreffer i sine produkter. Derfor ønsket Ertec et produkt som ga dem mulighet til å teste ut sine vindskjermer og takluker i et kontrollert miljø. Dette kommer av at småbåter blir mest brukt under sommerhalvåret, slik at tilbakemeldinger på utstyret de leverer er for det meste skader på produktet og ikke data som kan brukes til å forbedre produktet. Ertec ønsker derfor å ha en maskin som kan simulere en belastning som skylles bølger over lengre tid, dette for å kunne selv se hvordan produktene deres takler eventuelle belastninger ute på sjøen i noen spesifikke valgte båter.

Målet for dette prosjektet er å kunne levere en jiggen som gjensker bevegelsene fra måledataene som ble hentet inn for en Askeladden C62 crossover. Dataene ble hentet fra et akselerometer plassert under vindskjermen i båten samt gyro og inclinometer bak, deretter å kjøre båten gjennom forskjellige bølgetyper med forskjellig intensitet. Dette for å få et bredt spekter på hva slags bølger jiggen må utsettes for. Dette vil gi de mulighet til å se på påkjenning produktene deres tåler, slik at de kan avdekke ulyder, mekanisk brudd og svakheter.

## 1.2 Problemformulering og avgrensninger

Jiggen skal ferdigstilles, samt at det skal lages et kontrollsystem for denne jiggen. Det skal være mulig å etterlikne forskjellige bølgetyper for å simulere forskjellige båtens bevegelse i sjø. Disse bølgetypene blir definert ut ifra forskjellige måledata som blir tatt med måleutstyr plassert foran og bak i forskjellige båttypen. Dette vil si at jiggen skal klare hastighetene ved måling ved at jiggen roterer kun rundt pitch. Med pitch menes rotasjon rundt breddeaksen til konstruksjonen. Kontrollsystemet skal være oversiktlig og intuitivt for å styre mønsteret på bølgene og varighet på simuleringen.

Jiggen det er tatt hensyn til i denne rapporten er den tidligere lagde jiggen fra bacheloroppgaven "testjigg for sloshing" fra 2008[vedlegg A]. Det ble bestemt at programmet som skulle kjøre systemet var LabVIEW sammen med eventuelle andre nødvendige programmer for måleutstyret. Gruppen skulle gå ut ifra at båtene som skulle bli brukt var mellom 6-20m.

## 1.3 Sideoppbygging

Kapittel 1 forteller litt om bakgrunnen for prosjektet. I kapittel 2 tar gruppa for seg hvordan de gikk frem for å tolke de eksisterende måledataene fra Ertec. Kapittel 3 viser hvordan man gikk frem for å hente inn nye måledata i en Askeladden C62 crossover. Hastighetsberegninger for sylindere kommer i kapittel 4, mens styrkeanalysen for jiggen er i kapittel 5. Gruppa tar for seg oppbyggingen av kontrollsystemet og testkjøring på jiggen i kapittel 6, mens konklusjon og videre arbeid er fortalt om i kapittel 7.

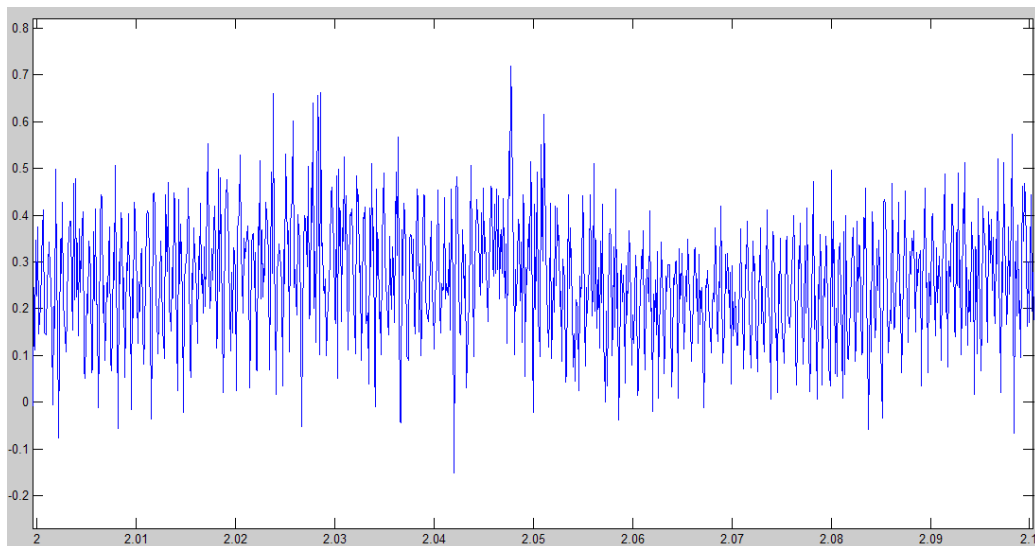
## 2 Måledata fra Ertec

Thomas Larsen hos CFD-marin hadde på forhånd målt akselerasjonene under vindskjermen og bak ved motoren i en Askeladden C62 crossover. Det ble i tillegg innhentet data fra et gyroskop. Båten ble kjørt i gradvis hardere sjø og dataene ble samlet ved 1kHz. Det ble totalt gjort 11 målinger. Dataene ble så filtrert ved 100Hz lavpass og 20Hz lavpass og lagt i separate filer.

### 2.1 Filtrering

Dataene ble så importert til MATLAB for videre behandling. 1kHz-målingene inneholdt veldig mye støy, mye arbeid ble derfor lagt ned i filtrering og tolkning av dataene. Diverse script ble laget for denne oppgaven.

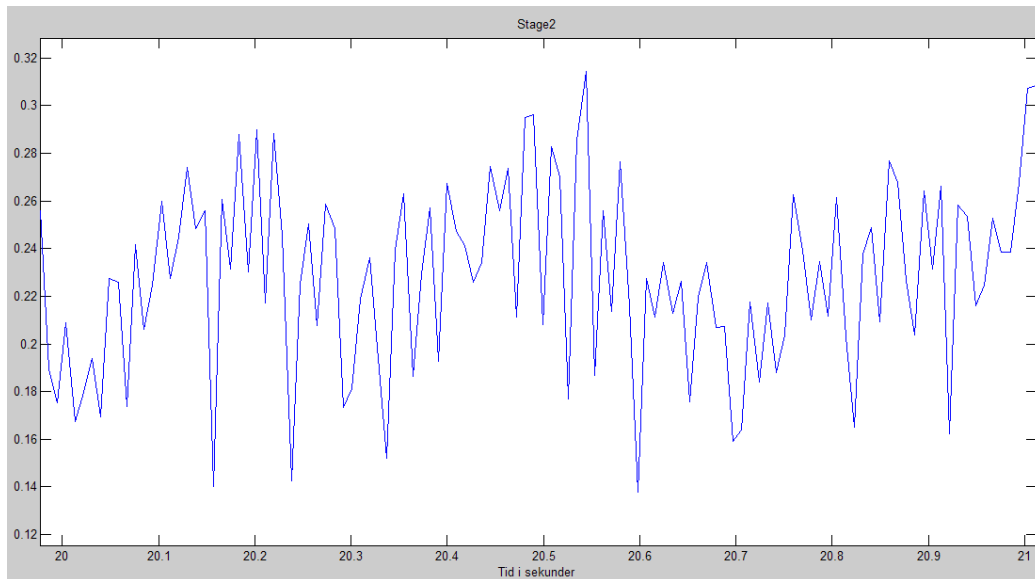
Første script tar 3 punkter fra 1kHz-målingene og slår dem sammen til ett punkt. Den tar så de neste tre punktene og slår dem sammen til et nytt punkt osv. Denne prosessen blir kalt stage1. Stage2 gjør samme prosess med dataene fra stage1 som Stage1 gjorde med rådataene. Scriptet går helt opp til stage7. Resultatet fra filtreringa kan sees på Figur 1. Hele scriptet kan sees i [Vedlegg B].



Figur 1 Rådata, 1s

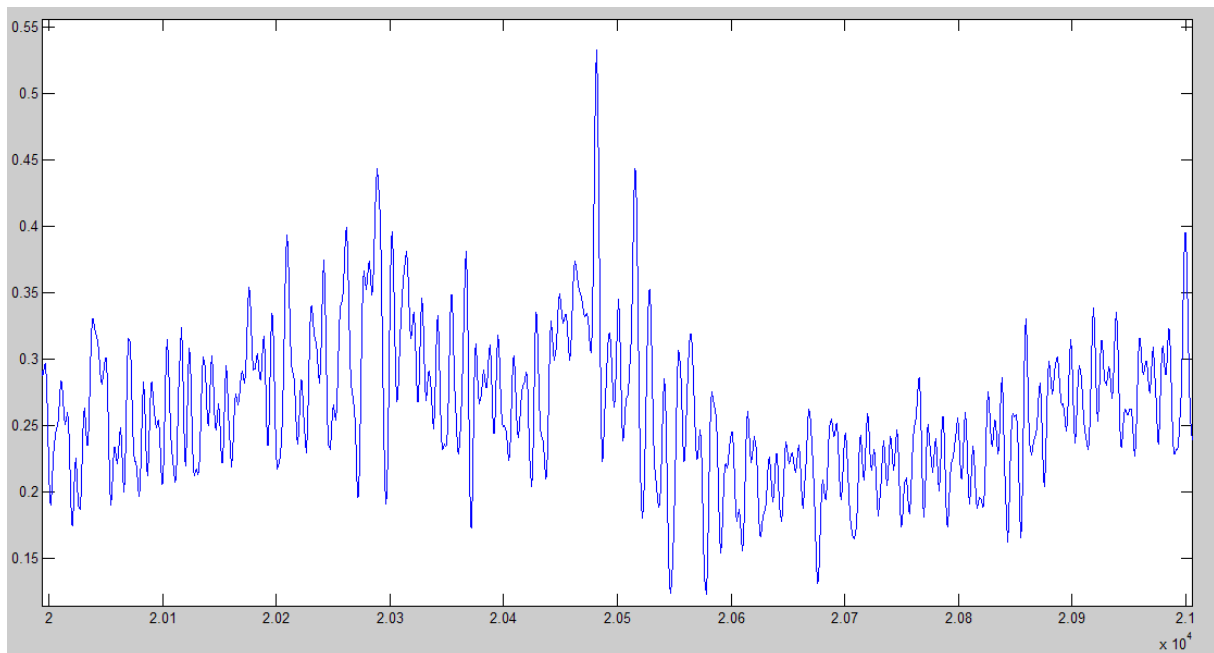
På Figur 2 vises stage2, altså data som har blitt filtrert to ganger. Dette skal i teorien tilsvare sampling lik originalfrekvens delt på  $3^2$  altså 1000/9Hz eller 111,1Hz.





**Figur 2 Stage2, 1s**

En tilsvarende filtrering var som tidligere nevnt også gjort på forhånd ved hjelp av LabVIEW. Her ble konturene bedre bevart, gruppens filterscript ble derfor forkastet. De nevnte målingene så ut som på Figur 3.



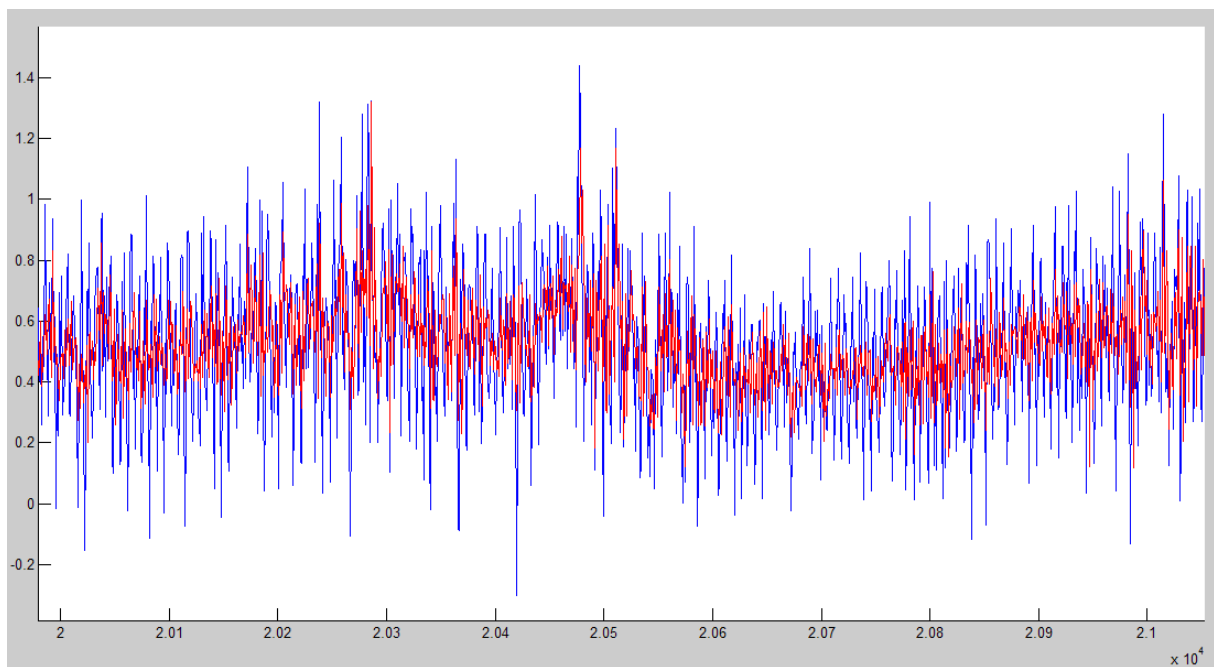
**Figur 3 LabVIEW-filtrert, 100Hz lowpass, 1s**

Dessverre var det fremdeles for mye støy på målingene til å få noe forståelig resultat. Som neste forsøk ble det derfor gjort en notch-filtrering. Dette kan gjøres enkelt ved å legge inn dataene med en forskyvelse vist på Figur 4.

	1	2	3	4	5
1	0.2413	0	0	0	0
2	0.3684	0.2413	0	0	0
3	0.2886	0.3684	0.2413	0	0
4	0.1813	0.2886	0.3684	0.2413	0
5	0.2670	0.1813	0.2886	0.3684	0.2413
6	0.2827	0.2670	0.1813	0.2886	0.3684
7	0.5536	0.2827	0.2670	0.1813	0.2886
8	0.2197	0.5536	0.2827	0.2670	0.1813
9	0.3536	0.2197	0.5536	0.2827	0.2670
10	0.2226	0.3536	0.2197	0.5536	0.2827

Figur 4 Forskjøvet data

Rådataene i kolonne 1 ble summert med dataene i de andre kolonnene hver for seg (1+2, 1+3, 1+4, 1+5), Dette for å kansellere ut evt. faste støyfrekvenser. Resultatet for 1kHz målingene ble da som vist på Figur 5.



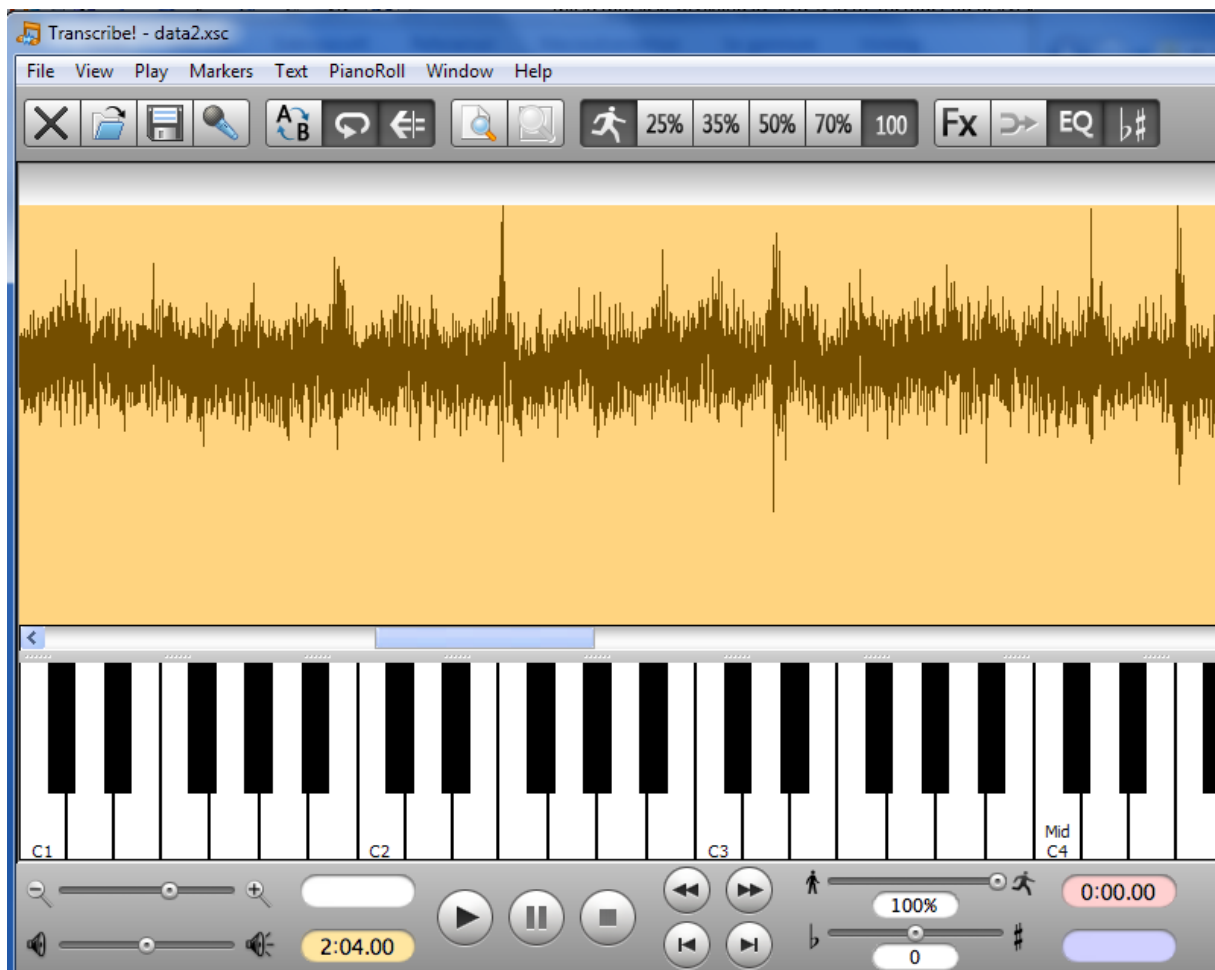
Figur 5 Notch-filtrering: Blå original, rød filtrert, 1s

Noe reduksjon m.a.o., men fortsatt vanskelig å tolke. Problemet var at støyen ikke har en fast frekvens, og notch-filtrering fjerner kun svingninger med en periodetid lik  $2 \cdot$  tidsforskyvningen.

Neste prosedyre var å prøve filtrering ved hjelp av et Fourierbasert filter. FFT-kommandoen i MATLAB ble forsøkt, Denne gir ut data direkte fra MATLAB's fast fourier algoritme. Dataene kommer her ikke ut som amplitude og frekvens, men på en måte gruppen ikke er kjent med. Etter flere forsøk på å lage script for å tolke MATLAB's verdier, ble FFT-funksjonen skrinlagt. Det viste seg at denne prosedyren var lettere å få til i LabVIEW, her ligger det ferdige FFT-baserte analyse- og filterblokker.

## 2.2 Akselerasjonsdata som lyd

I MATLAB finnes det en funksjon som heter wavwrite. Denne funksjonen har målinger og samplingsrate som input og vil ut fra dette lage wav-lydfile. På denne måten vil akselerometerne fungere som mikrofoner, noe som gjorde tolkningene av dataene lettere. Et script ble laget [vedlegg C] og det ble laget wav-filer av alle målingene. Dette avslørte at det lå mye motorstøy på målingene. For å lettere gjøre arbeidet videre ble en demo-versjon av musikkprogrammet Transcribe [1] brukt til å filtrere vekk motorlyden og plukke ut tidspunktene der båten traff bølger vist på Figur 6.



Figur 6 Screenshot fra Transcribe

Videre ble dataene ved de aktuelle tidspunktene plukket ut. Prosessen gjorde at gruppa fikk redusert antall målepunkter ganske kraftig. For eksempel så ble dataene fra første måling redusert fra 1 800 000 målinger til 11 097 målinger.

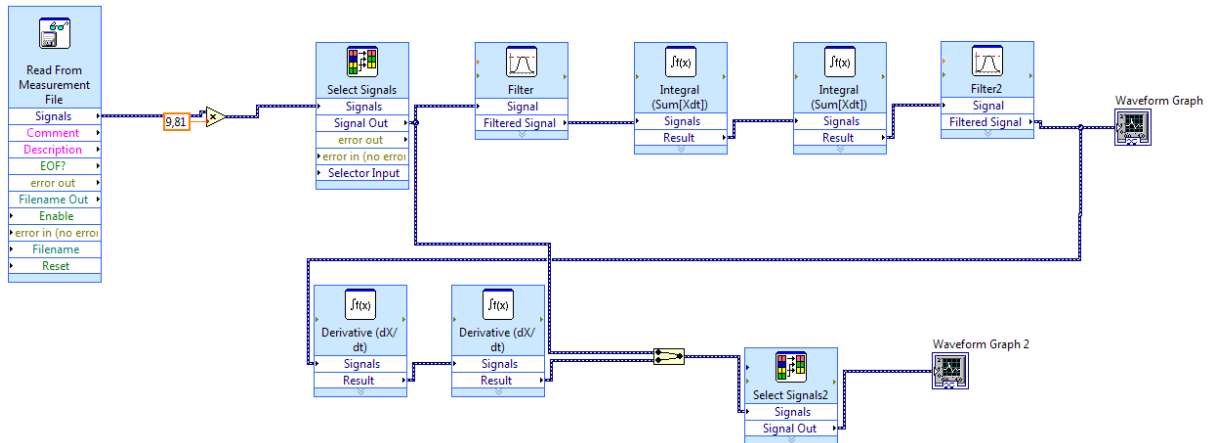
Neste forsøk var først å filtrere bølgeslagene ved hjelp av LabVIEW SignalExpress. Prosedyren var her å kopiere ut de isolerte bølgeslagene til en tekstfil. Denne fila ble så importert i SignalExpress og filtrert ved hjelp av et FFT-basert filter (FIR). Så ble de filtrerte dataene eksportert som tekstfil fra LabVIEW og importert tilbake i MATLAB. I denne prosedyren bør det merkes at LabVIEW bruker komma som desimaltegn og MATLAB bruker punktum. Denne utskiftingen ble gjort i Word.

Etter at dataene var importert, ble cftool (curve fitting tool) i MATLAB brukt for å lage en integrerbar funksjon av dataene. Gruppa prøvde med off-set justeringer på akselerasjonsdataene for å finne ut hvor null linjen til hastigheten lå, men endte opp med urimelige verdier. Et script for bruk av Euler-

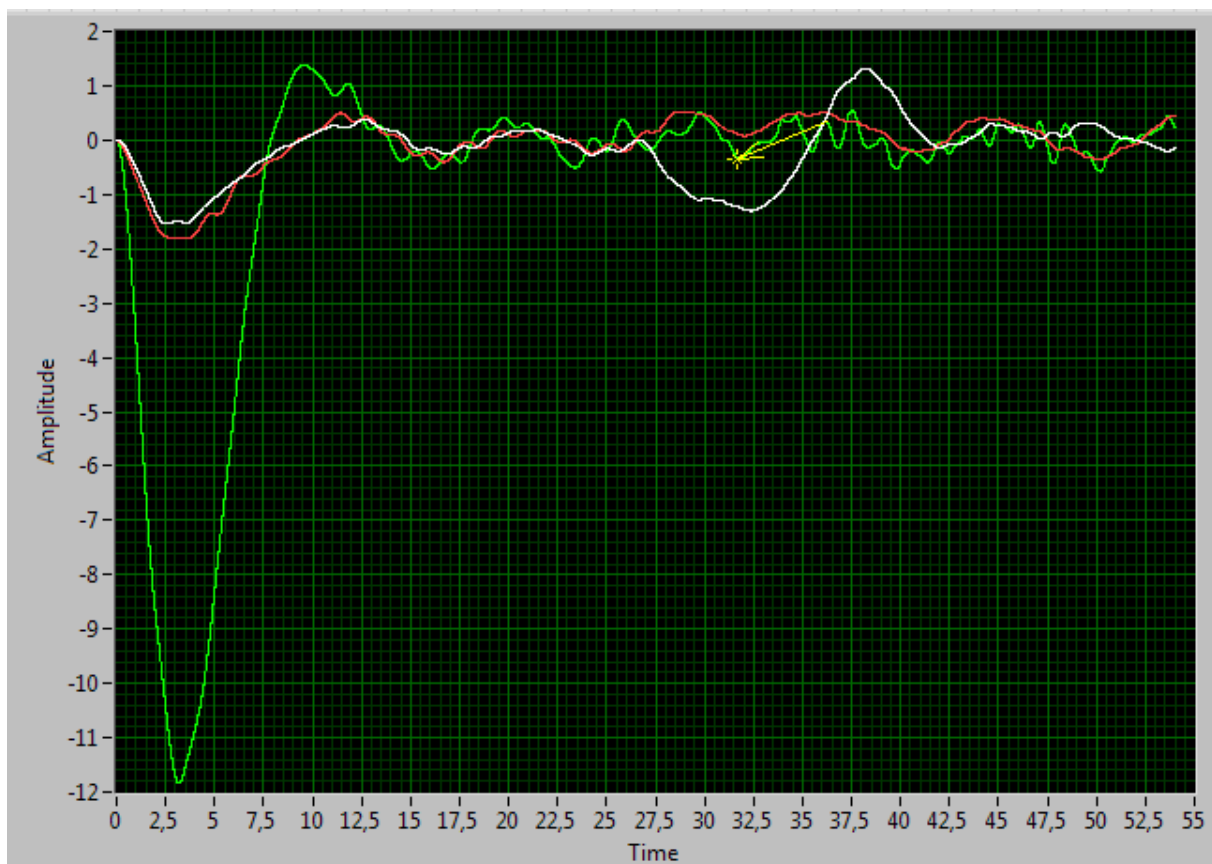
integrasjon med mulighet for å justere initialverdier ble også utviklet, men heller ikke dette ga gruppen realistiske tall [Vedlegg D].

### 2.3 LabVIEW-filtrering av data

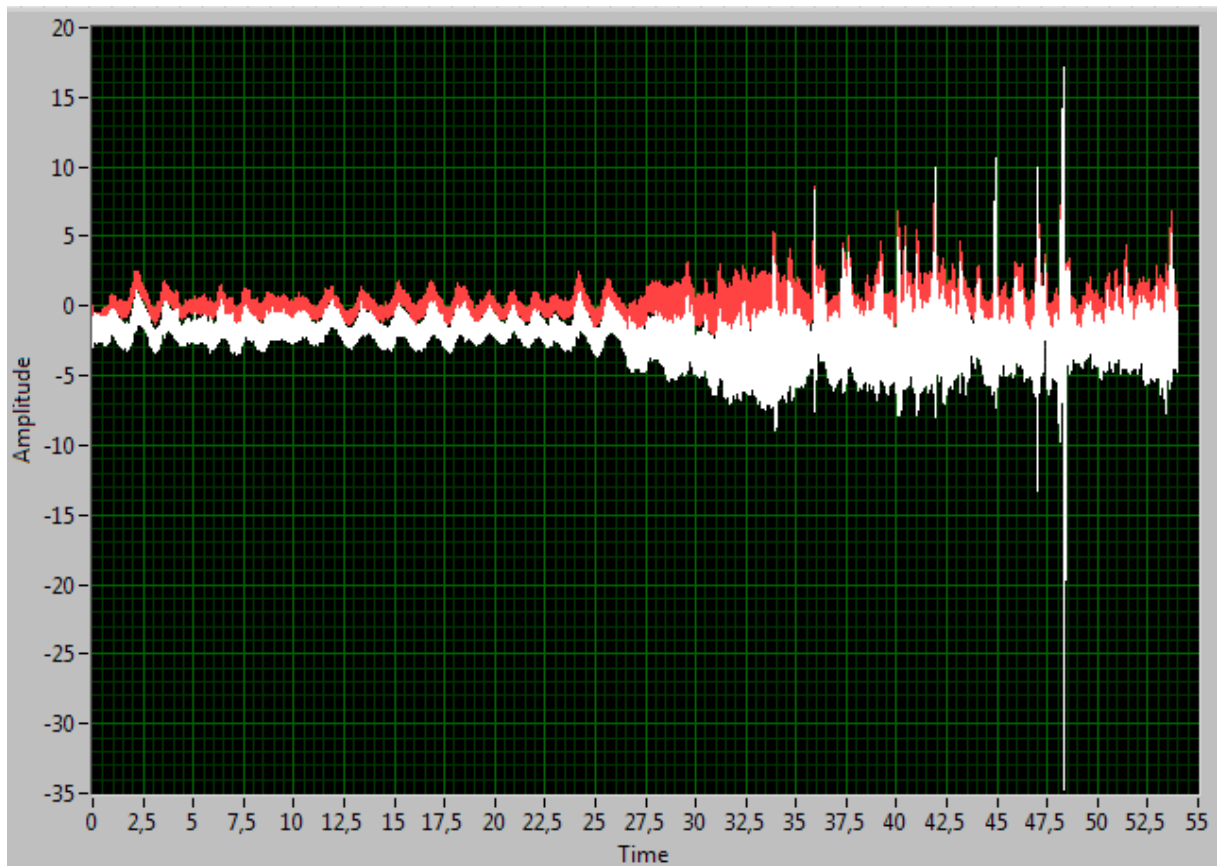
Etter å ha forklart situasjonen til Thomas Larsen hos CFD-marin lagde han et forslag til et LabVIEW-basert filter vist i Figur 7. Ideen her var å bruke et høypassfilter med meget lav frekvens for å fjerne den konstante offset'en. Et lavpassfilter ble også brukt for å fjerne støy (Figur 8). Dataene ble integrert opp og viste svingninger på ca  $\pm 0.5\text{m}$ , noe som virket mer realistisk. Etterpå ble de filtrerte og integrerte dataene derivert tilbake og sammenlignet med originaldataene (Figur 9).



Figur 7 Block diagram filter



Figur 8 Posisjonsplot



**Figur 9** Filtrert og ikke-filtrert akselerasjonsdata

I Figur 9 ble det brukt en situasjon der båten (slik gruppa tolket det ut fra de tidligere nevnte lydfilene) først lå i ro for så å øke farten og kjøre ut i grov sjø. Problemet igjen nå var at gruppa ikke viste hvor bevegelsene inntraff. Dette igjen gjorde at gruppa ikke viste hvor mye av akselerasjonene som skyldes gravitasjon og gravitasjonens endring ettersom vinkelen endret seg. Dette førte til at gruppa besluttet å utføre nye målinger.

### 3 Innhenting av nye måledata

Før gruppa reiste ut for å gjøre nye målinger ble det satt noen krav til hvordan målingene skulle bli utført. Gruppa ville fokusere på å gjøre oss godt kjent med akselerometer og gyro på forhånd for å gjøre tolkningene av dataene lettere. Gruppa ville også bruke GPS til å logge turen og et videokamera for å kunne se hva som faktisk skjedde under kjøringen.

#### 3.1 Hardware

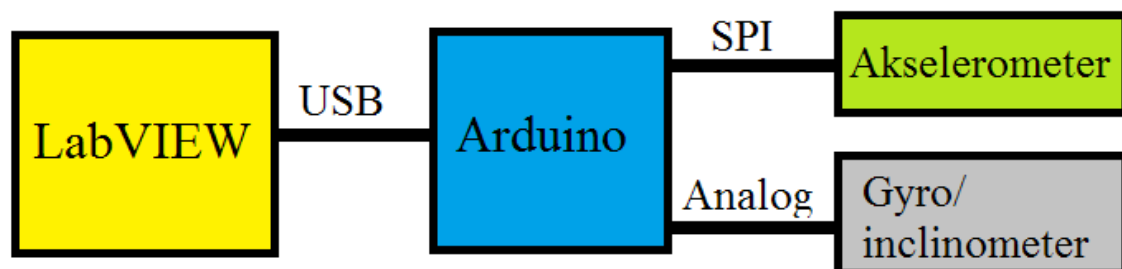
For innhenting av akselerasjonsdata ble det handlet inn følgende utstyr:

- Arduino Uno R3 microcontroller
- ADXL 345 accelerometer evaluation board
- BMA180 accelerometer breakout board

I tillegg fikk gruppa låne følgende utstyr

- Crossbow CXTLA analog tilt sensor (inclinometer) av CFD Maritim
- Summit 31207B analog triaxial gyro av Maritime control

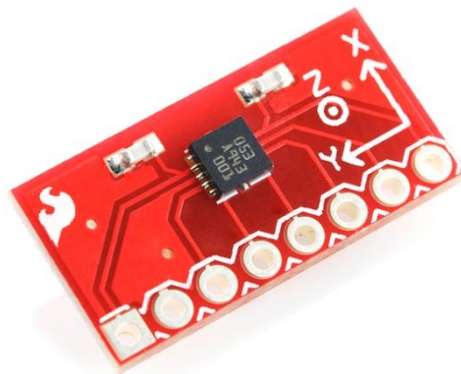
Systemet forenklet ble seende ut som på Figur 10



Figur 10 Datalogger

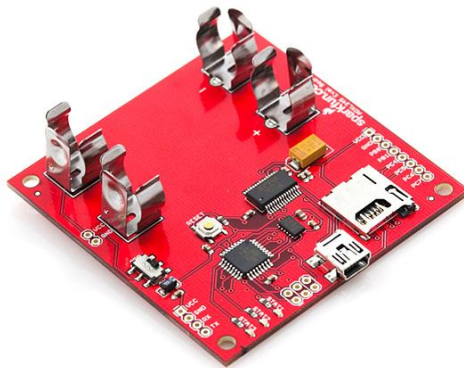
##### 3.1.1 Akselerometer

BMA180 [2] ble brukt til dataloggeren vår. Dette akselerometeret (Figur 11) måler akselerasjoner i 3 akser og skaleringen kan velges mellom 1g, 1.5g, 2g, 3g, 4g, 8g og 16g. Den har også 12 eller 14bits ADC og 10 innebygde filtre (8x lavpass, høypass og båndpass). Den var avhengig av en SPI- eller i2c-datamottaker samt 3.3V supply[3]. I gruppas tilfelle ble SPI brukt, det trengtes da 4 ledere i tillegg til 3.3V og jord. Mer om programmeringen av dette i avsnittet 3.1.4 om Arduinoen.



Figur 11 BMA180 Breakout

Det andre akselerometeret ADXL 345 Evaluation board [4] vist i Figur 12 trenger kun 2 batterier for enten kunne logge til en pc via USB eller til et minnekort. Dataene lagres på ASCII-format som heksadesimale verdier (tall fra 0 til F) og er på formen 2's komplement. Det betyr at isteden for å gi ut negative tall, begynner den på toppen av skalaen (en mindre enn 0000 er FFFF). Det ble derfor laget script i MATLAB [Vedlegg E1] for tolkning av data fra minnekortet og et program i LabVIEW [Vedlegg E2] for å tolke og logge data direkte. Problemet med dette akselerometeret var at brettet ikke inneholdt noen tidtaker. Samplingsraten var også varierende, slik at det ikke lot seg gjøre kun å notere starttidspunktet. Det visste seg at programvaren i kortet gjorde det vanskelig å justere filterverdien og g-skalaen i LabVIEW. Brettet ble derfor i hovedsak bruk til å gjøre seg kjent med emner som kalibrering og datatolkning.



Figur 12 ADXL 345 Evaluation board

### 3.1.2 Gyro

Gyroen gruppa fikk låne av CFD Marin het Summit 31207B [5] og er vist på Figur 13. Det er en analog gyro med 3 akser. Den måler rotasjonshastighet opp til  $\pm 1200$ grader/sekund. Rotasjonshastighetene til aksene blir representert av 3 spenninger mellom 0.25V og 4.75V. I gruppas tilfelle ble det kun brukt en akse siden jiggen kun kan simulere pitch-bevegelse. Grunnen til at gruppa valgte å ta med

en gyro i systemet og ikke bare basere seg på inclinometeret var fordi gyroer er lite følsomme for slag og støt. Problemet er at de drifter, dvs at de for eksempel sliter med å registrere at de står i ro. Gruppen var derfor avhengig av en vinkelmåler i tillegg for å få riktig måling av pitch-vinkelen til gyroen.



Figur 13 Summit 31207B

### 3.1.3 Inclinometer

Inclinometeret gruppa fikk låne av Maritime control het Crossbow CXTLA [6] og er vist i Figur 14. Det er et analogt inclinometer med en akse. Den måler vinkler mellom  $\pm 20$ grader. Vinkelen blir gitt ut med en spenning mellom 0- 5V. Målingene fra instrumentet var meget stabile ved ren rotasjon, men ettersom det ble utsatt for akselerasjoner ville dette gi mye støy. I gruppas system ble det derfor brukt til å korrigere gyroens drifting.

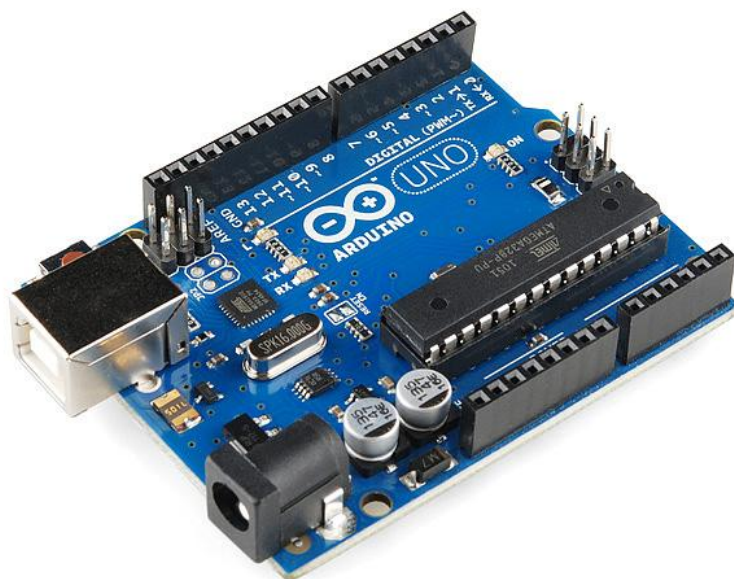


Figur 14 Crossbow CXTLA

### 3.1.4 Arduino

Arduino Uno R3 [7] er vist i Figur 15 og ble brukt som kommunikasjonsledd mellom sensorene og en pc med LabVIEW. Den er basert på en Atmel ATMEGA 328 microcontroller og er satt opp med Arduino's egne firmware. Kompilatoren inneholder mange ferdigproduserte funksjoner og programeksempler, samt at programmeringsspråket er noe lettere å forstå enn vanlig c-kode. I tillegg er det mye eksempelkode å finne på nettet. Brettet inneholder også rs232-converter slik at man kan overføre seriell data over USB.





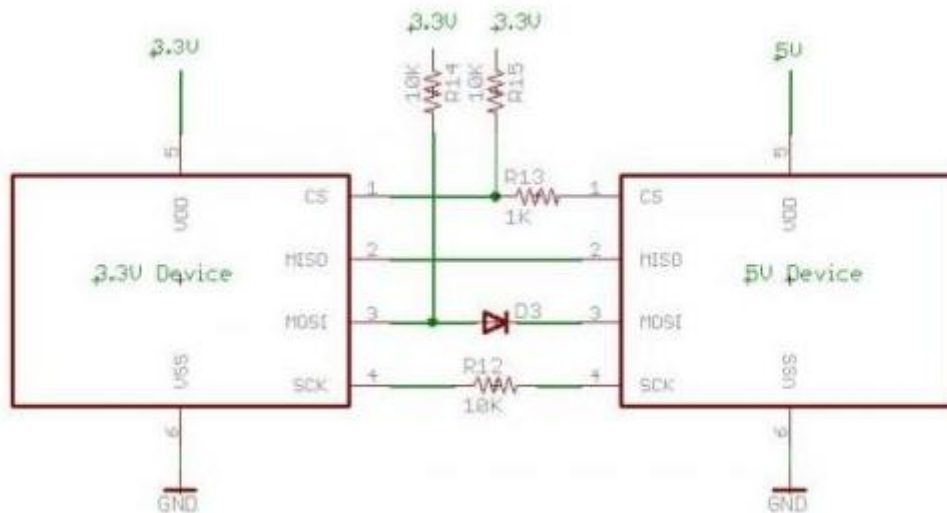
Figur 15 Arduino Uno R3

For å koble til akselerometeret ble følgende pinner brukt:

Arduino	BMA180
10	- CS (chip select) også kjent som SS (slave select).
11/MOSI	- SDI (serial data in)
12/MISO	- SDO (serial data out)
13/SCK	- SCK(serial clock)

Pinne 11, 12 og 13 ble valgt fordi dette passet med SPI-bibliotekene til Arduino. Pinne 10 ble da et naturlig valg for den siste pinnen.

Siden enhetene ikke har samme spenning (5V og 3.3V) ble følgende oppkobling brukt som vist på Figur 16 [8].



Figur 16 3.3V/5V sammenkobling

I tillegg ble jord koblet til felles jordpunkt og VIO og VDD koblet til 3.3V-utgangen på Arduinoen. Noe som bør noteres her var at regulatoren på Arduinoen krever at det trekkes mer strøm enn det BMA180 gjør for at spenningen skal legge seg på 3.3V. En motstand på 2,2kOhm ble derfor koblet inn mellom 3.3V og jord. Denne ble funnet eksperimentelt.

Inclinometer og gyro ble koblet inn på Arduinoens analoge innganger. De er forhåndsinnstilt til å motta 0-5V, det var derfor bare å koble til så fungerte det. Eneste som måtte endres var tilførselspenningen, denne skulle ligge mellom 8V og 30V for å forsyne begge. Løsningen på dette ble to 9v-batterier i serie. Ledninger ble loddet på en pol på hvert batteri, slutting av kretsen ble gjort ved å koble batteriene sammen. Det bør også nevnes at analoge instrumenter kan være noe følsomme ovenfor støy, dette ble løst ved å bruke skjermede kabler.

## 3.2 Software

### 3.2.1 Arduino og BMA180

Som firmware til Arduinoen, for oppsett mellom Arduino og akselerometer, ble koden i [Vedlegg F] brukt. Koden er basert på et foruminnlegg [9] for så å bli videreutviklet til bruk i gruppas system. Kommunikasjonsmetoden kalles SPI (Serial Peripheral Interface) og krever 4 ledere for data. Arduino har på forhånd laget biblioteker for SPI-kommunikasjon.

For å kunne bruke SPI trengs følgende data:

- SPI-datamodus
- SPI-frekvens

SPI-datamodus definerer logiske verdier og fase som skal tolkes for bit som mottas. Det er 4 varianter her, for gruppas del fant man ut at SPI-mode 3 fungerte [10]

SPI-frekvens avgjør hvor rask klokkefrekvens man kan kjøre på. Arduinoen kjører på 16MHz, BMA180 har en maxfrekvens på 10MHz[3]. Det ble derfor satt på en clock divider på 2, slik at man får en frekvens på 8Mhz.

Nå som systemet er klart for lesing og skrivning må akselerometeret initialiseres. Skrivning til registre gjøres på følgende måte:

- CS settes lav (i gruppas program: START)
- SPI.transfer(\*adressen det skal skrives til\*)
- SPI.transfer(\*registerverdier\*)
- CS settes høy (i gruppas program: STOP)

Lesing av registre gjøres på denne måten:

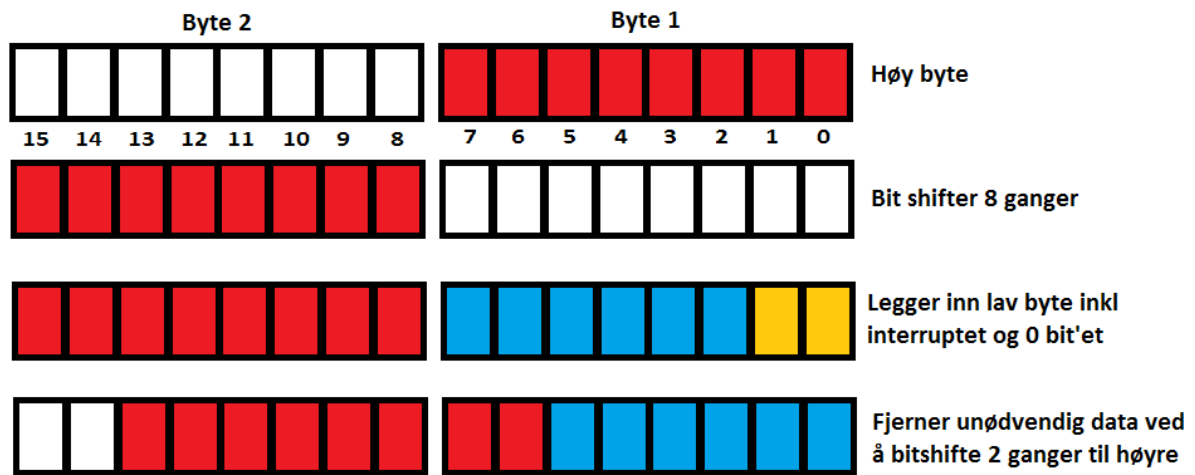
- CS settes lav
- Adressen til registre sendes med SPI.transfer. I tillegg til adressen må bit7 settes for å registrere at det skal leses fra slaven (akselerometeret)
- Data returneres ved å sende 8 høye bit (0xFF). Det returneres da 8bit med data (1 byte)
- CS settes høy
- I gruppas program ble det laget en funksjon. Man kan derfor skrive les(\*adresse\*)

Registre gruppa justerer i programmet:

- |                      |  |
|----------------------|--|
| - Soft reset         | - begynner med denne for å starte på blanke ark  |
| - EEPROM-write       | - settes for å kunne skrive til EEPROM   |
| - Dis_I2C            | - slår av I2C  |
| - Mode configuration | - Velger mode 0 som gir høy presisjon men høyt strømforbruk                                    |
| - Bandwith           | - Internt filter, her har gruppa prøvd litt forskjellige verdier                               |
| - Range              | - Velger måleområde, gruppa har brukt 4g og 16g  |
| - Latch_int          | - Slås av, dvs interrupt resettes automatisk etter det er lest                                 |
| - Int_type           | - interrupt type. Settes til new_data, dvs det genereres interrupt når alle akser er oppdatert |
| - Sample_skip        | - Reduserer interrupt til 2x båndbredden, settes   |
| - Shadow_dis         | - Blokkering av MSB intill LSB er lest av. Resettes  |

Data mottas på følgende måte:

- New\_data-interruptet sjekkes kontinuerlig. Når det er høyt, betyr dette at alle aksene er oppdatert med nye verdier. En if-setning setter da i gang lese-sekvensen.
- Dataene fra akselerometeret er på 14 bit per akse, det trengs derfor 2 overføring med en byte hver per akse.
- I denne sekvensen ble ikke les-funksjonen brukt, her ble det gjort manuelt. Dette fordi når man først sender over adressen det skal leses fra og setter bit7 vil adressen automatisk økes etter hvert som man leser av registrene
- Hver avleste akse legges inn i to variabler hver. En for den høye byten og en for den lave. De to kombineres til en verdi slik Figur 17 viser.



Figur 17 Lagring av aksedata

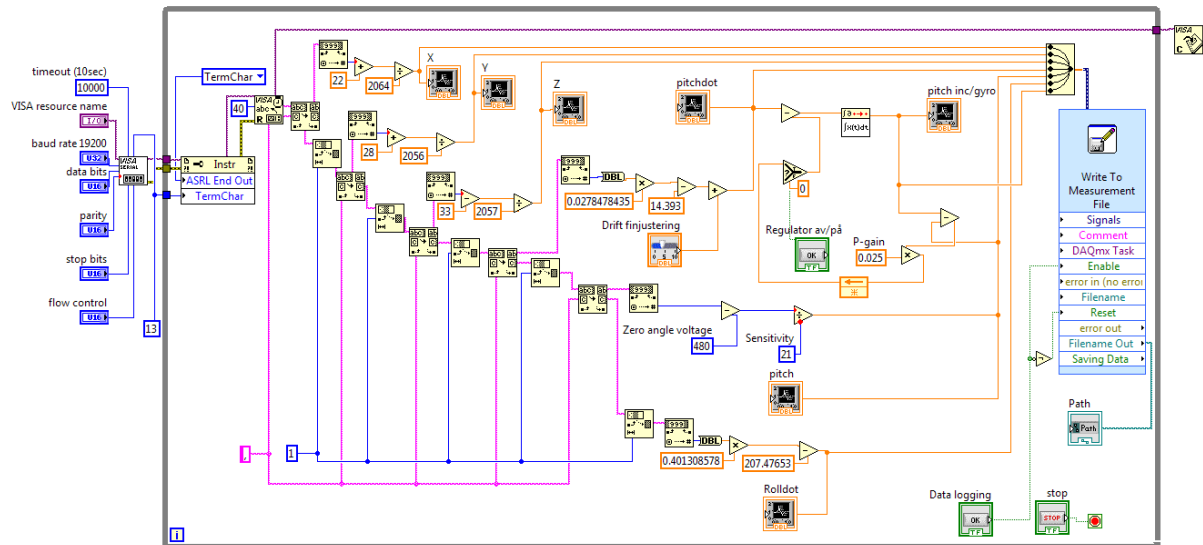
### 3.2.2 Arduino og gyro/inclinometer

Som tidligere nevnt gir begge sensorene ut signaler mellom 0-5V. Arduinoen har 5 analog-digital-convertere, hver av dem på 10bit, og alle definert for å ta i mot 0-5V som standard. For å lese av en verdi skriver man `analogRead(*pinnen sensoren er koblet til*)`.

### 3.2.3 Arduino og LabVIEW

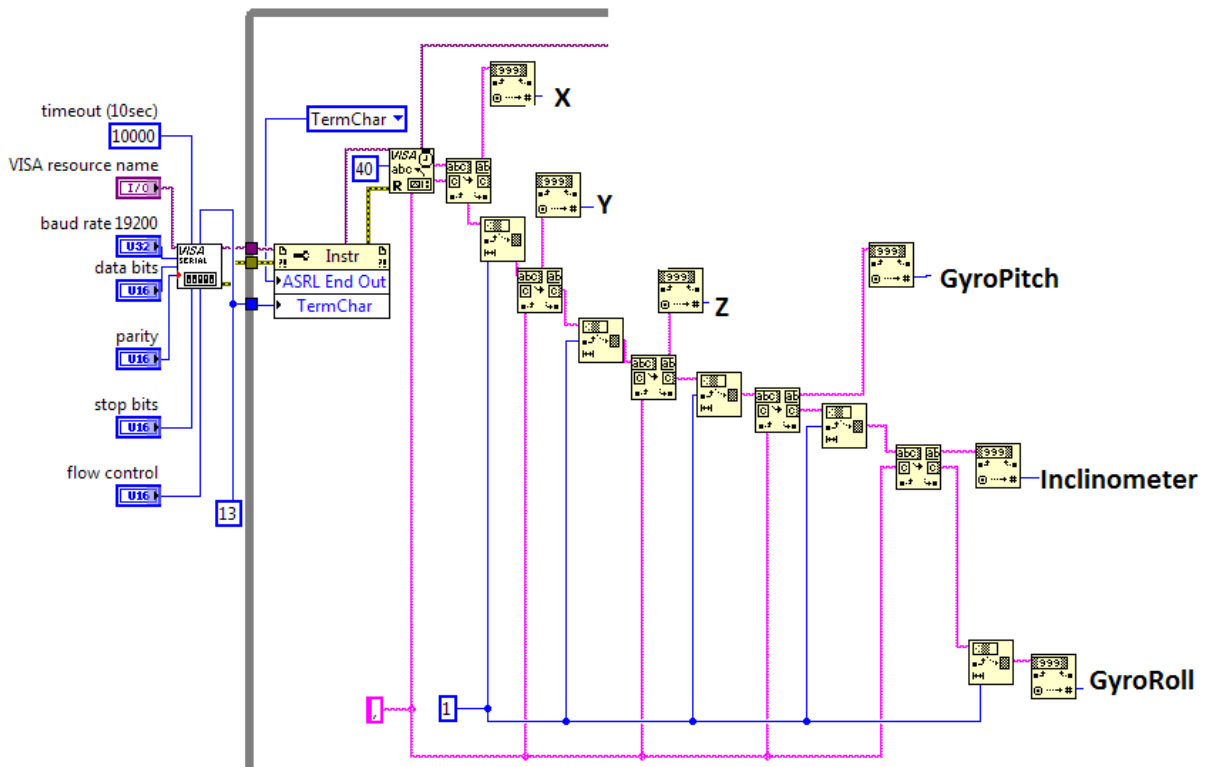
For å skrive fra Arduinoen til LabVIEW ble Arduinoens virtuelle serieport brukt. For å skrive ut på denne bruker man kommandoen `Serial.print(*variabel*, *datatype*)`. I gruppas tilfelle brukte gruppa datatypen DEC altså vanlige tall i 10-tallssystemet. Videre ble et komma brukt for å skille de forskjellige dataene og termineringskarakteren `/r` (carriage return) for å markere slutten på en overføring. Ved hjelp av dette kunne gruppa lett lese av data med et terminalprogram.

For å lage LabVIEW-programmet baserte gruppa seg på eksempelprogrammet "Basic Serial Write and Read". Dette programmet følger med i LabVIEW 2011. Delen av programmet som skriver til serieporten ble fjernet og det ble laget et program for å tolke den tidligere nevnte datapakke fra Arduinoen (Figur 18), samt sørge for lagring av måledataene til lmv-filer.



Figur 18 Komplet datamottaker

Som nevnt ble komma brukt for å skille målingene fra hverandre. I LabVIEW ble dette systemet brukt for å dele opp den mottatte datastrengen (Figur 19). Tilslutt gjøres strengen om fra en desimalstreng til et tall.



Figur 19 Datasplitter

Neste steg var å kalibrere opp sensorene.

### Akselerometer

På akselerometeret ble dette gjort ved først å velge den aktuelle gainen(verdien), 4g til å begynne med for gruppas del, for så å utsette aksene for  $\pm 1g$ . Dette gjøres ved å legge akselerometeret slik at aksene enten peker rett opp eller rett ned. Dette ble gjort for alle aksene og verdiene ble notert. På denne måten fant gruppa akselerometerets offset slik:

$$\text{Verdi for } 1g + (\text{Verdi for } -1g) = \text{offset}$$

Ved å justere offset'en(avviket) svingte aksene nå mellom to verdier. Ved å dele målesignalet på denne verdien endte gruppa opp med en skala i antall g.

### Inclinometer

For de analoge sensorene ble det gjort litt annerledes. For inclinometeret kan formelen (3.1) brukes fra [Vedlegg G]:

$$\frac{\text{Avlest verdi} - \text{verdi ved } 0^\circ}{\text{følsomhet}} \quad (3.1)$$

Ved hjelp av en vinkelmåler fant gruppa følgende data:

Verdi ved  $0^\circ$ : 480

Verdi ved  $20^\circ$ : 900

$$\text{følsomhet} = \frac{900 - 480}{20} = 21\text{pt}/^\circ$$

### Gyro

Gyroen ble levert med kalibreringsdata [Vedlegg H]. De ble forsøkt brukt, men ga ikke riktige resultater. Arduinoen har 10bit ADC med måleområde 0-5V, altså:

$$0v - 5v = 0 - 1023 \Rightarrow \frac{1023\text{pt}}{5V} = 204.6\text{pt}/V$$

Gyroen måler som nevnt vinkelhastighet. Avlest i ro måler Arduinoen verdier på 516 og 517. Dette skulle da gi oss:

$$\frac{516.5\text{pt}}{204.6\text{pt}/V} = 2.524437 \dots V$$

altså 2.52V. Måling med Tektronix TDS 2012B oscilloscope gir 2.56V mens et blackstar 3210 trueRMS gir 2.50-2.51V.

Gyro offset, fra kalibreringsbevis = +2.49799V [Vedlegg H]. Gruppa valgte derfor å tune manuelt isteden. Ved å integrere signalet for så å fintune til den integrerte grafen holdt seg så rett som mulig kunne gruppa derfor anslå en verdi for offset. Gruppa fant først en grovkalibrering og så ble de siste desimalene finkalibrert ved hjelp av en slider i LabVIEW. Denne slideren justerte i området -0.1 til 0.1, her var det vanskelig å justere noe mer nøyaktig grunnet gyroens drifting.

Gruppa brukte også integratoren til å finne en passende gain. Selv om gyroen driftet, var ikke denne driftingen så stor at det ikke gikk å måle vinkeldifferanser. Ved å sammenligne de integrerte verdiene med verdiene fra inclinometeret fant gruppa en passende gainverdi.

Når dette var gjort, lagde gruppa en regulator som justerte vekk driftinga til gyroen ved hjelp av data fra inclinometeret. Integratoren har låst timestep på 1. Slik at ved å bruke en skaleringsverdi kunne gruppen regne seg frem til riktig gain-verdi.

Metoden som nå ble brukt for å kalibrere andre gang var ved derivasjon av inclinometersignalet. Begge sensorene ble beveget med så ren rotasjonsbevegelse gruppa kunne få til for å unngå støy. Så ble det laget et skript i MATLAB [Vedlegg I] Det fungerer slik:

- Målingene hentes inn
- Inclinometeret deriveres med hensyn på timestep-tiden
- Inclinometerdataene lavpassfiltreres
- Det antas en gain for gyrodataene
- Følgende gjøres 20 000 ganger:
  - Differansen mellom absoluttverdien til alle målepunktene regnes ut
  - Alle differansene summeres
  - Den antatte gainen økes med 0.001
- Den gainen som gir minst differansesum skrives ut

### 3.2.4 Oppløsning på utstyret

For inclinometer gjelder følgende:

$$følsomhet = 21 \frac{pt}{\circ} \rightarrow \pm 0.0238^{\circ}$$

Databladet [Vedlegg G] oppgir usikkerheten til å være  $0.03^{\circ}$  rms, dette betyr at sensoren er den begrensende faktoren og ikke systemets ADC

For akselerometer gjelder følgende

Akselerometeret overfører data med en hastighet på 12 bit per akse. Slik at ved 16g skalering vil dette gi oppløsning på:

$$\frac{32}{2^{12}pt} = 0.0078 \frac{g}{pt}$$

Databladet [3] gir følsomhet på  $512 \pm 3.0\%$

For gyroen gjelder følgende

Gyroens [5] spenningsområde:

$$4.75V - 0.25V = 4.5V$$

ADC'en er 10bit og måler 0-5V, dette betyr:

$$\frac{1023pt}{5.000V} * 4.500V = 920.7pt$$

Gyroen måler  $\pm 1200^{\circ}/s$ , usikkerheten blir da:

$$\pm 0.500pt^{-1} * \frac{2400.0 \frac{\circ}{s}}{920.70pt} = \pm 1.303 \frac{\circ}{s}$$

### 3.2.5 Overføringshastighet mellom sensorer og LabVIEW

Det antas at den største flaskehalsen for systemets samplingsrate ligger i serieforbindelsen mellom Arduinoen og LabVIEW. Grappa vet på forhånd at SPI-frekvensen ligger på 8MHz. Analoginngangene oppgis på [11] til å ligge på omkring 10kHz

Overføringen mellom Arduinoen og LabVIEW ble basert på ASCII [12]. Dette gjorde dataoverføringen meget lett og forståelig, men veldig resurskrevende.

For hver akse overføres 14 bit. I vanlig 10-tallssystem blir det verdier i området:

$$14bit = 2^{14} = 16384 \Rightarrow \pm 8192$$

Dvs 5 karakterer pr akse.

Analogverdiene er på 10bit, det tilsvarer verdier i området:

$$10bit = 2^{10} = 1024$$

Dvs 4 karakterer pr avlesning.

I gruppas system overføres data fra 3 akser og 3 analoge avlesninger. Et komma brukes for å skille de. Termineringskarakteren /r (carriage return) brukes for å markere slutten på en overføring. Dette betyr at det overføres totalt

$$5 * 3(\text{akselerometer}) + 4 * 3(\text{analog}) + 5(\text{komma}) + 1(\text{termineringskarakter}) = 33\text{byte}$$

Hver karakter er 1 byte, det overføres derfor:

$$33\text{byte} = 33 * 8 = 264\text{bit}$$

Noe som er temmelig bortkasta i og med at datamengden kun er:

$$3 * 14 + 3 * 10 = 72\text{bit}$$

Etter litt prøving og feiling fant grappa ut at LabVIEW-programmet taklet en overføring på 19200baud, eller bit pr sekund. Samplingsfrekvensen til målesystemet vil derfor ligge på:

$$\frac{19200}{264} = 72\text{Hz}$$

Det bør nevnes at denne datamengden forutsetter at grappa overfører fullt utslag på alle akser. I våre forsøk observerte grappa en samplingsrate på rundt 90Hz

Dersom grappa klarte å overføre data som bit isteden, vil samplingsfrekvensen teoretisk kunne øke til:

$$\frac{19200}{14 * 3 + 10 * 3} = 266\text{Hz}$$

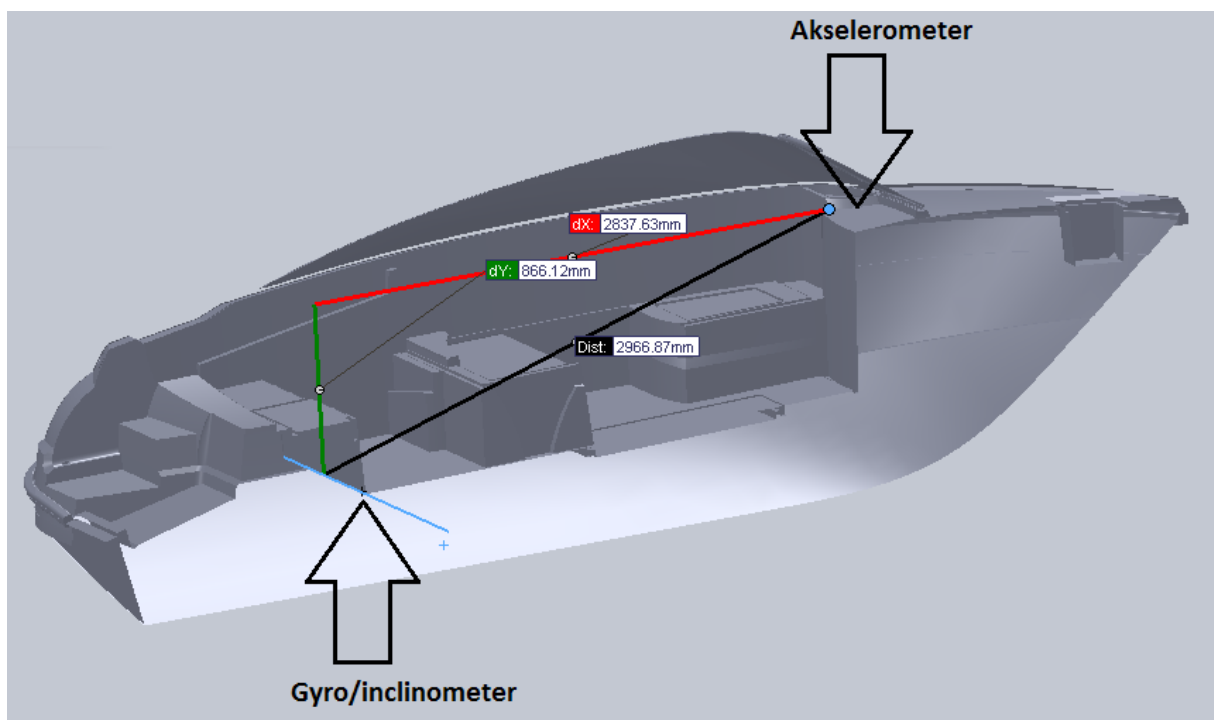


### 3.3 Utføring av målingene

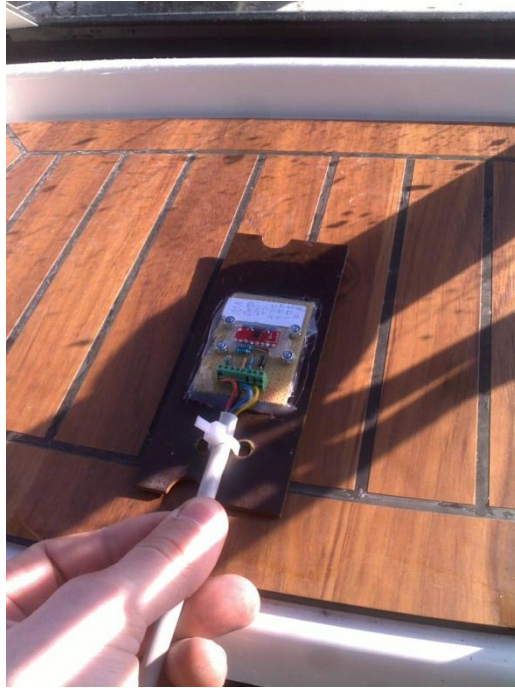
28 mars 2012 dro gruppen ut for å utføre nye målinger i en Askeladden C62 crossover.

#### 3.3.1 Gjennomføring

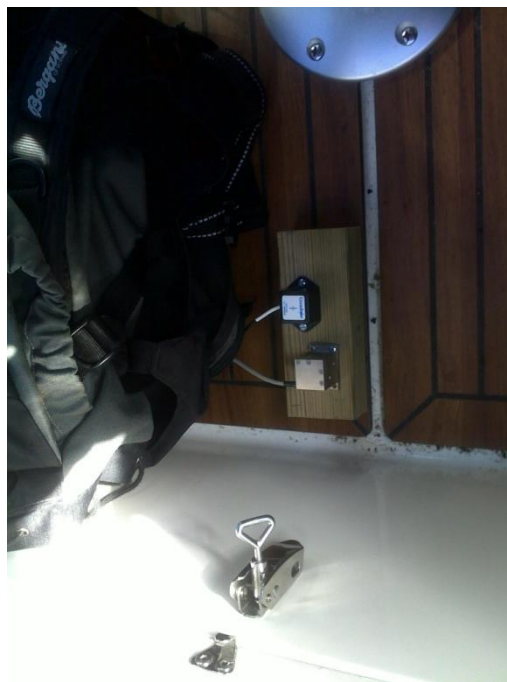
Under gruppens testing ble akselerometeret og gyro/inclinometeret plassert på samme plass som de tidligere målingene ved CFD Marine. Plasseringene er vist på Figur 20. Akselerometeret ble plassert på hylla midt under frontluka på vindskjermen vist på Figur 21. Gyroen og inclinometeret ble plassert inntil bakre benk som vist på Figur 22. Målet med dette var å få så lite slag og støt på inclinometeret og gyroen som mulig. I tillegg ble hele turen logget ved hjelp av en Garmin GPS. Den logger posisjon med litt varierende sampling, men noterer hele tiden tidspunktene basert på en GPS-styrt klokke. Den gir også ut hastighet og retning. For å få med litt ekstra info tok gruppa også med et kamera og filmet kjøringen



Figur 20 Sensorplassering






Figur 21 Plassering av akselerometer i Askeladden C62 crossover



Figur 22 plassering av gyro/inclinometer i Askeladden C62 crossover

### 3.3.2 Værobservasjoner

Vinden økte i perioden da gruppa var ute og foretok målinger, slik at målingene ble mer varierende. Observasjoner fra yr.no for Oksøy fyr sier følgende [13], dette er vist på Figur 23.

Tidsp.	Vær	Temperatur			Nedbør	Vind	
		Målt	Maks	Min		Middel	Kraftigste vindkast
onsdag kl 12	-	7,5°	8,7°	7,3°	-	 Liten kuling, 11 m/s fra vest	14 m/s
onsdag kl 13	-	11,0°	11,0°	7,4°	-	 Frisk bris, 10 m/s fra vest-nordvest	16 m/s
onsdag kl 14	-	12,4°	12,5°	11,1°	-	 Liten kuling, 11 m/s fra nordvest	18 m/s
onsdag kl 15	-	13,4°	13,4°	12,4°	-	 Frisk bris, 11 m/s fra nordvest	19 m/s
onsdag kl 16	-	13,5°	13,6°	13,3°	-	 Stiv kuling, 16 m/s fra nordvest	22 m/s

Figur 23 Værobservasjoner

Bølgehøyden ble anslått til å være omkring 60-70cm

### 3.3.3 Logg

Kjøringen startet kl 13:05, det ble holdt en snittfart på 20km/t, det ble kjørt totalt 33km og gruppa holdt på i totalt 1t og 43min. Ruten som ble kjørt er vist på Figur 24. Under denne turen logget gruppa fra instrumentene og fikk med målinger fra rolig sjø til bølger på omkring 60-70cm



Figur 24 GPS-logg

Målingene som ble utført er gitt i Tabell 1 med skalering for akselerometeret, hvilket filter som ble brukt og hvilken retning båten møtte bølgene. Det ble utført totalt 9 målinger men måling 1 ble forkastet grunnet datatrøbbel og måling 8 og 9 ble forkastet grunnet saltvann på akselerometeret.

Tabell 1 Målingene med skalering, Filtrering og båtens retning på sjøen

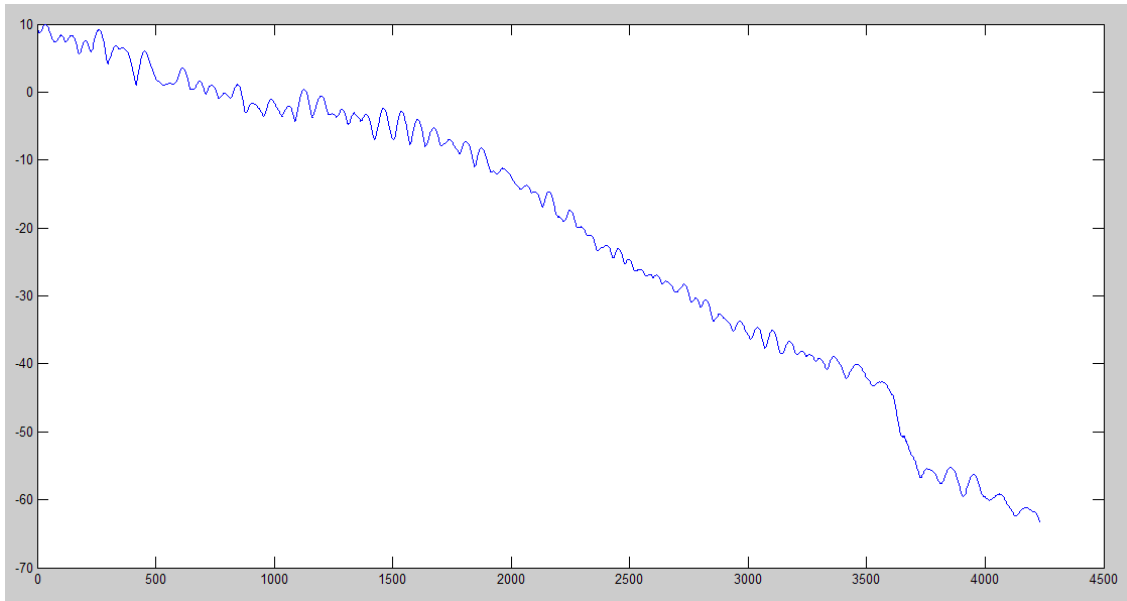
Måling	Skalering	Filtrering	Retning
2	4g	40Hz low-pass	Medsjø
3	4g	40Hz low-pass	Medsjø
4	4g	0.2-300Hz band-pass	Motsjø
5	4g	1Hz high-pass	Motsjø
6	4g	10Hz low-pass	Medsjø
7	16g	40Hz low-pass	Motsjø

## 3.4 Resultater fra målingene

### 3.4.1 Akselerasjonsdata i lokal Z-retning

Gruppen antok at akselerasjoner i lokal Z-retning ville være mest interessant å se på. Dette fordi det ble antatt at de største slagene ville opptre her. Det er også den eneste plassen man på enkelt vis kan modifisere jiggen til å oppnå høyere hastigheter uten å bytte sylindere.

Første steg var å finne trimvinkelen til båten. Rein integrasjon av gyroen gikk dårlig, denne driftet bare av gårde som vist på Figur 25.

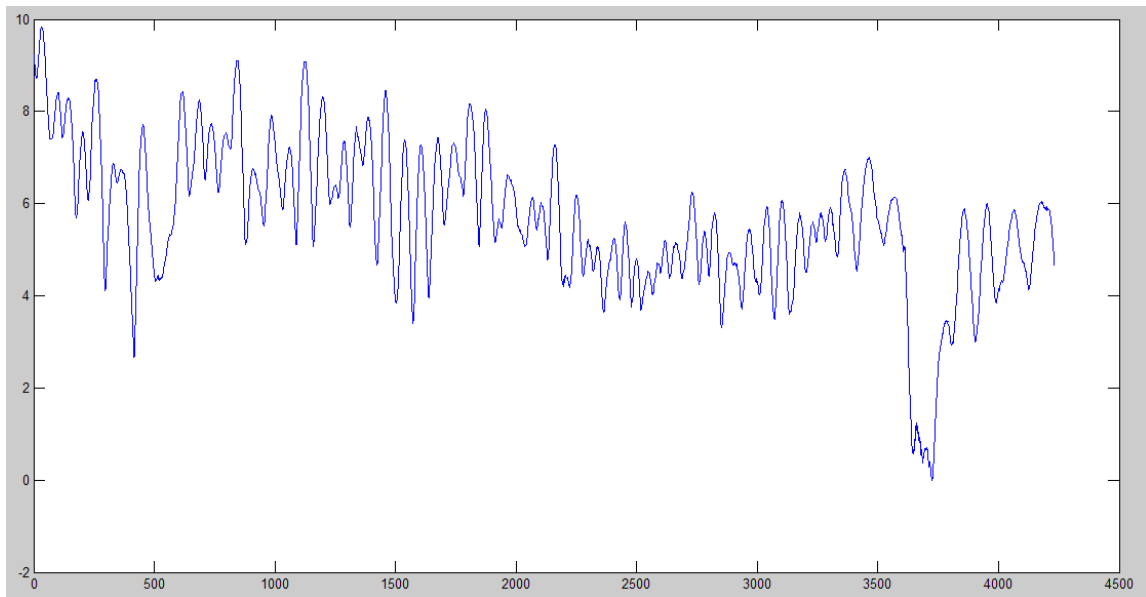


Figur 25 Gyro integrert

Løsningen på dette var å bruke et komplimentærfilter. Dette bruker info fra inclinometeret til å korrigere driftingen til gyroen. Koden for dette filteret er hentet fra [14] og ser slik ut i MATLAB:

```
for n=1:size(data,1)-1
    angle(n+1,1) = (0.99)*(angle(n,1) + (gyro(n+1,1) * dt(n,1))) +
    (0.01*inclinometer(n+1,1));
end
```

Gyroen står for 99% av signalet og inclinometeret for den resterende prosent. Resultatet sees på Figur 26.



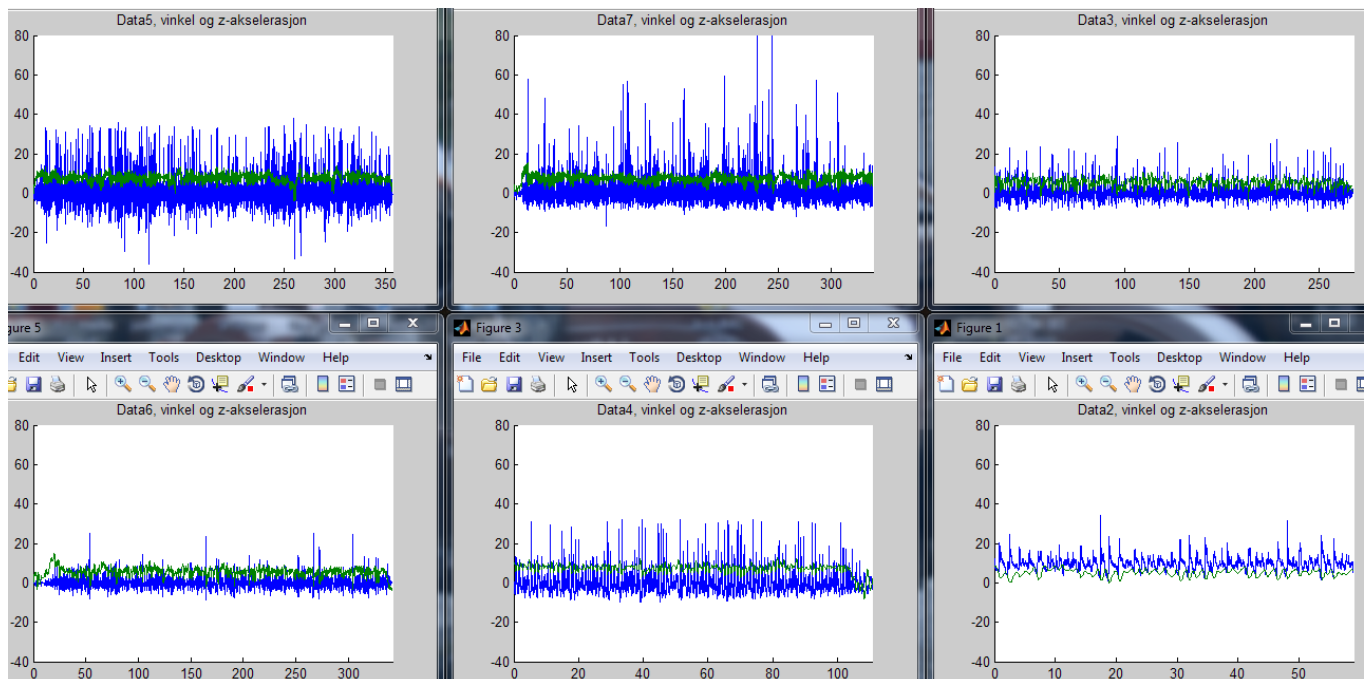
Figur 26 Gyro og inclinometeret med komplimentærfiltrert

Det som før var en drift på 70° fra Figur 25 er nå blitt borte på Figur 26.

Ved hjelp av vinkelmålingene kan man fjerne gravitasjonen fra akselerometerverdiene. Dette gjøres med formel (3.2).

$$\begin{aligned} Z_{uten\ g} &= Z_{med\ g} - \text{Cos}(trimvinkel) \\ X_{uten\ g} &= X_{med\ g} - \text{Sin}(trimvinkel) \end{aligned} \quad (3.2)$$

Basert på dette kunne alle målingene plottes og resultatene er vist på Figur 27.



Figur 27 Utslag i lokal Z-retning målingene nummerert fra venstre øverste linje 5,7,3 og nederst 6,4,2

Det var usikkert hvor raske eller hvor store akselerasjoner som ville opptre, det ble derfor gjort justeringer underveis. Det er viktig å merke seg at data 5 sannsynligvis ville vært høyere dersom gruppa hadde skalert akselerometeret riktig og brukt 16g på den. Høyeste verdier sees derfor i måling 7. Her sto akselerometeret på 16g-skalering og det ble målt høye slag. Gruppa valgte derfor å bruke verdiene fra disse slagene til videre dimensjonering av jiggen.

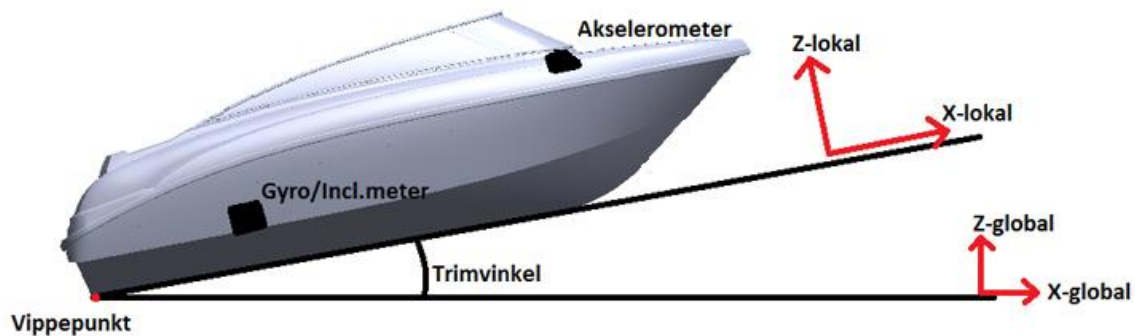
### 3.5 Utvikling av kjøreprofil

Ideen var å kunne bruke data fra målingene for å kunne lage en kjøreprofil som kan lastes opp til styresystemet. Kjøreprofilen skulle kunne gjenskape utvalgte belastningssituasjoner som opptrer under kjøring.

#### 3.5.1 Båtens bevegelser til jiggens bevegelser

##### Z-lokal

Fra båtturen ble akselerasjoner i Z-lokal og X-lokal (Figur 28) registrert ved hjelp av akselerometeret og trimvinkelen ble registrert med gyro/inclinometer.



Figur 28 Registrerte verdier

Siden gyroen og inclinometeret registrerer posisjon, og dermed ikke får store problemer med drifting, ville dataene herfra være tryggest å basere kjøremønsteret på for slagbevegelsen (Z-lokal). For å regne om fra trimvinkel til posisjon ved akselerometerets posisjon ble vinkelhastighet fra gyroen sammenlignet med integrerte z-verdier fra akselerometeret ved formel (3.3)

$$V = \text{Trimvinkelhastighet} * \text{avst. vippepunkt} \quad (3.3)$$

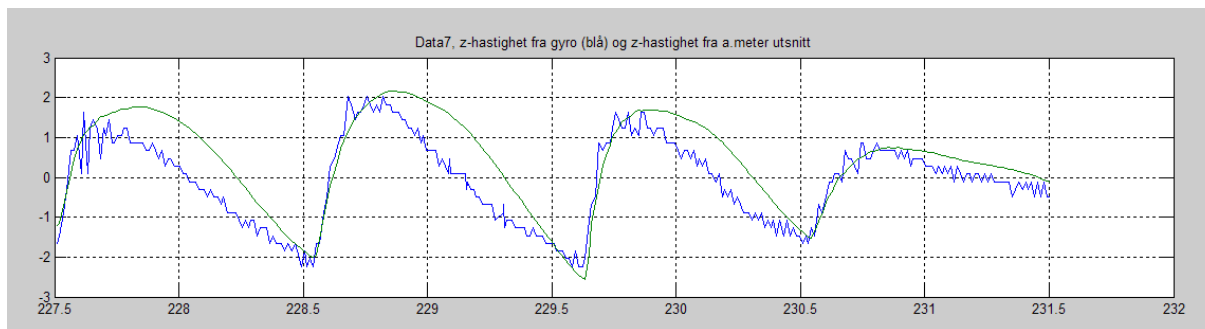
Hvor

Avst.vippepunkt = avstand til vippepunkt

V = hastighet, Z-lokal

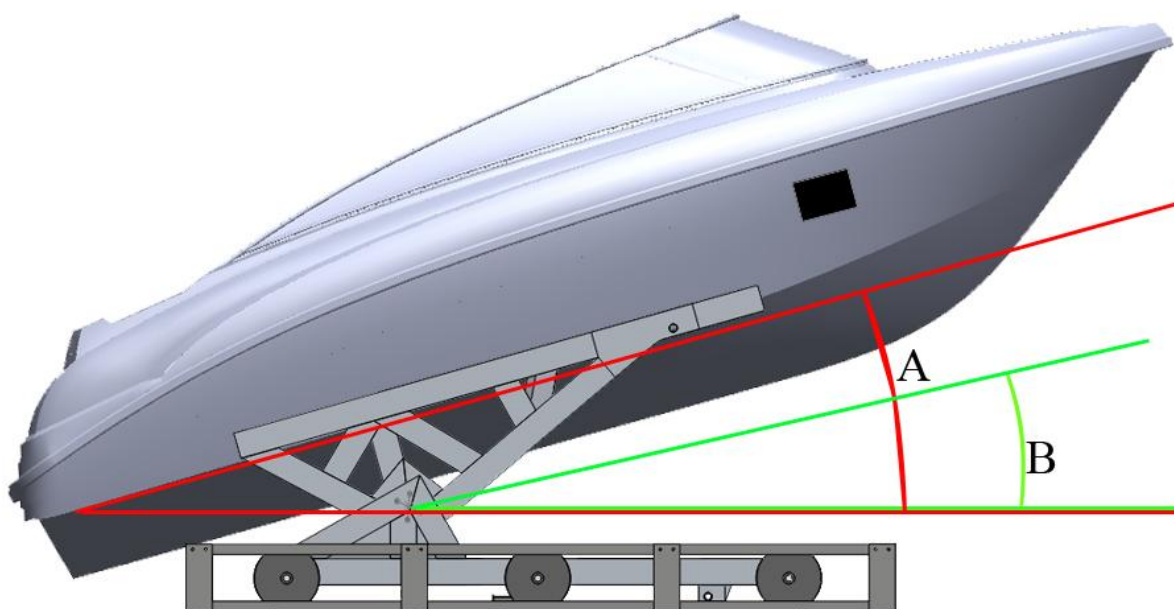
Trimvinkelhastighet = vinkelhastighet fra gyroen

Den ukjente variabelen her er da avstanden til vippepunktet, den ble funnet ved å sammenligne grafene og justere de til de fikk lik amplitude vist på Figur 29.



Figur 29 hastighet, Z-lokal

Nå som gruppa har forflytningen i lokal Z-retning kan dette bli overført til jigg, på det stedet gruppa ønsker å simulere bevegelsene som ble registrert under vindskjermen. Dette gjøres ved å definere buelengdene A og B på Figur 30.

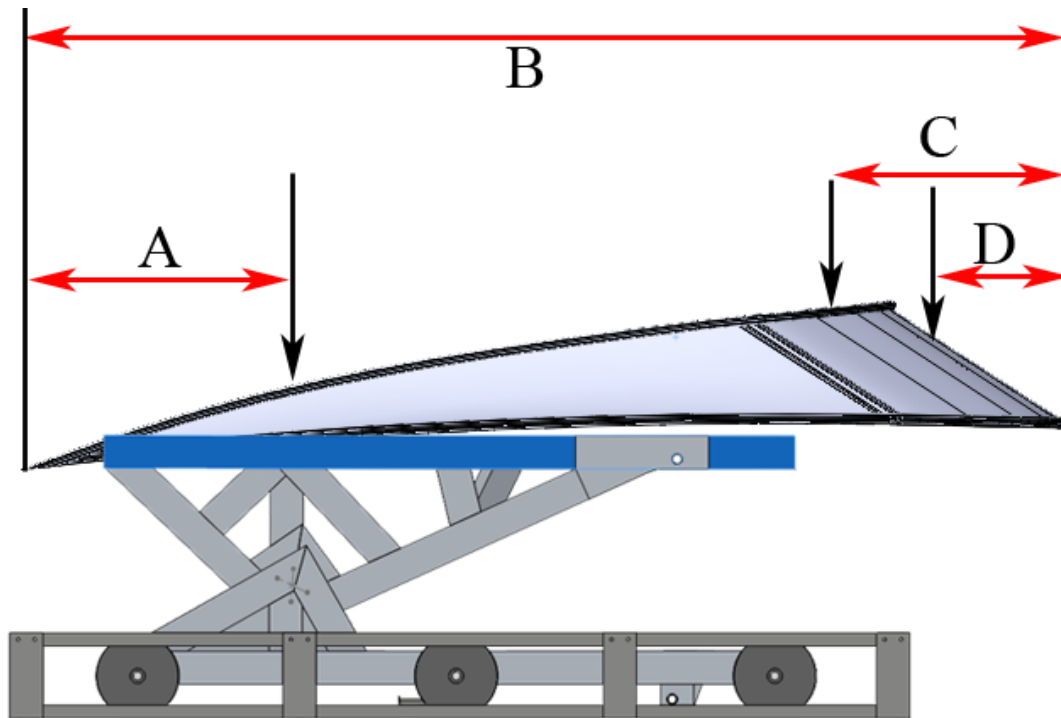


Figur 30 Vippepunkter for jigg og båt

Her sees det lett at Jiggens "trimvinkel" (A) vil bli større enn den reelle (B). Ideelt sett burde det vært laget en festemekanisme slik at det ble samme avstand fra vippepunkt til punktet der akselerometeret ble montert, men for å spare plass ble det valgt å legge punktet til det som grovt kan sees på som en planende båts tyngdepunkt. I samtale med CFD-Marin ved Hans Jørgen Bjelke Mørch ligger dette ca 1/3 av båtens lengde fra akterenden.

Mer presist ble jiggens dimensjonert for en plassering som vist på Figur 31.





Figur 31 Plassering av vindskjerm på jigg

Her er vindskjermen plassert slik at den vipper om det som er det antatte tyngdepunktet for båten. Dette gjorde at avstanden fra hengslingspunktet til akselerometermålepunktet ble kjent. Det gjør også at vindskjermens tyngdepunkt vil ligge noe utenfor jiggen, dette må tas hensyn til under innfestningen. Målene ble som følger:

A, fra enden av skjermen til jiggens vippepunkt	=	0.6m
B, vindskjermens totallengde	=	3.3m
C, fra fronten av skjermen til skjermens tyngdepunkt	=	1.0m
D, fra fronten av skjermen til akselerometermålepunkt	=	0.3m

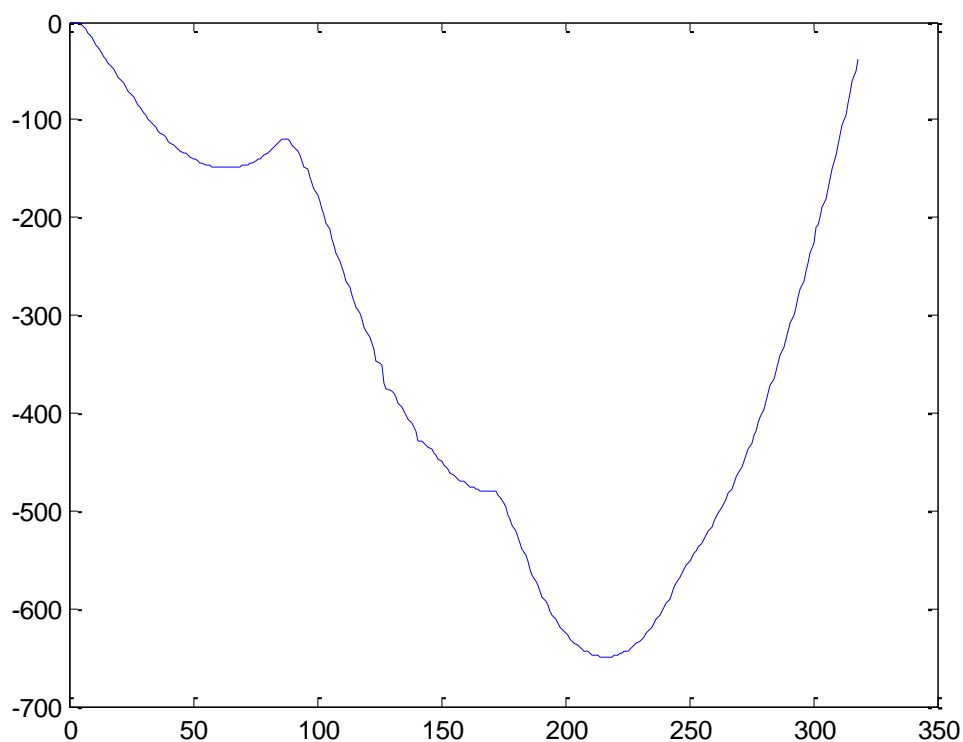
Basert på dette samt buelengdene fra Figur 30 ble jiggens hengselvinkel funnet med formel (3.4).

$$\theta = \frac{B - (A + D)}{\text{buelengde}} \quad (3.4)$$

På denne måten ble altså trimvinkelprofilen fra båten overført til en trimvinkelprofil i jiggen. Ved hjelp av denne profilen ble sylinderkjøremønsteret utviklet.

### X-global

For bevegelser i retning X-global ble dobbelintegrasjon av akselerometerdataene benyttet. Verdiene her er sterkt preget av drift som vist på Figur 32.

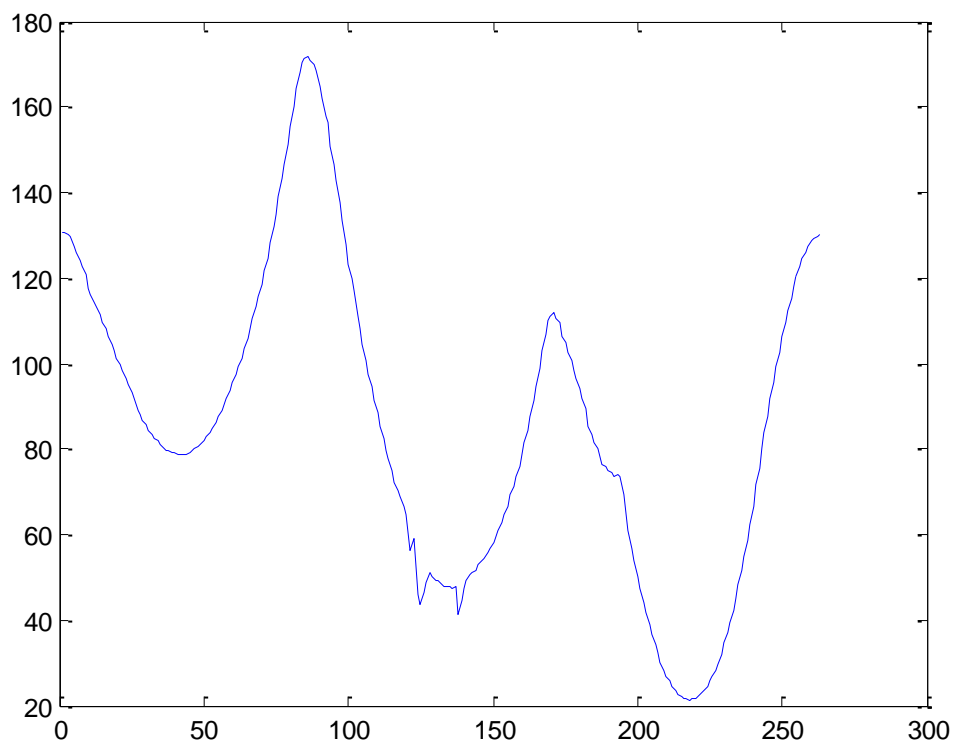


Figur 32 Kjøremønster, X-global, med drift

Løsningen på dette ble å fjerne drift manuelt ved å trekke fra funksjonen:

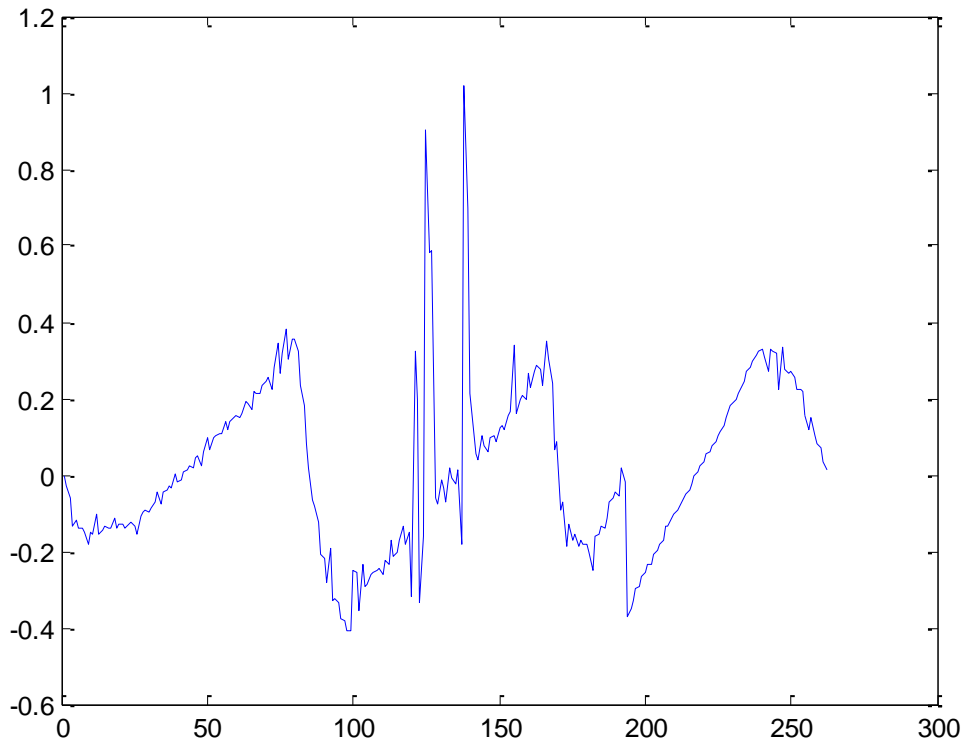
$$drift = gain * x$$

Denne ble brukt med forskjellige gain og med forskjellige startpunkter på kjøremønsteret. Hele tiden ble det forsøkt å beholde karakteristikken i grafen slik at slagene ikke ble tapt. Resultatet ble som vist på Figur 33.



**Figur 33 Kjøremønster X-global, driftkorrigert**

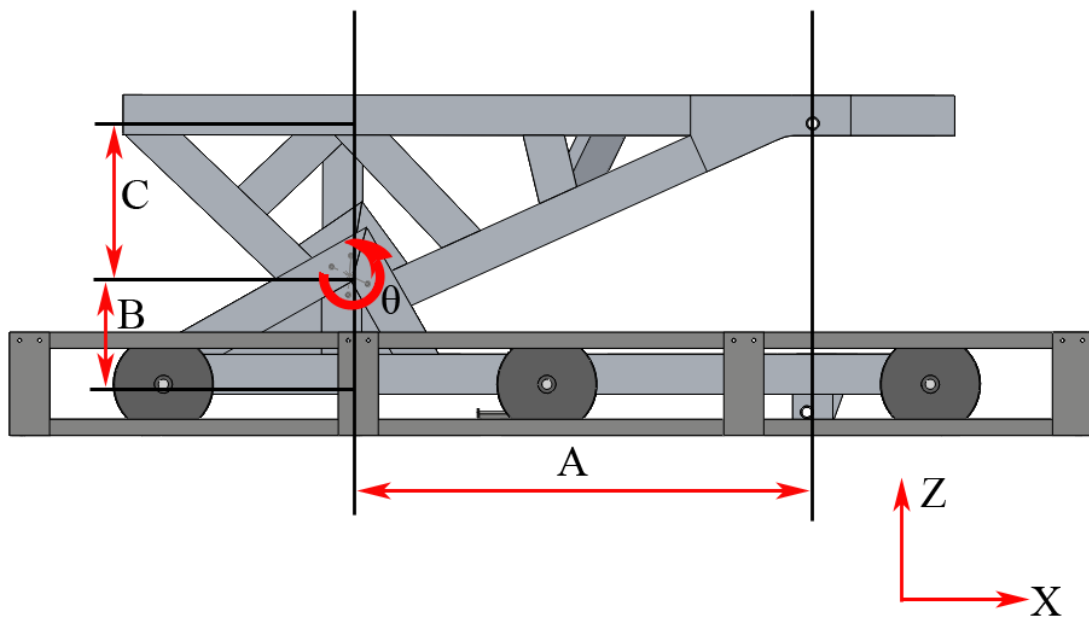
Hastighetsprofilen ble funnet ved å derivere signalet. Med unntak av to støypeaker er topphastigheten godt innenfor de hastighetene stemplene kan kjøre med en HPU på 100l/min. Dette er forklart i avsnitt 4. Profilen kan sees i Figur 34. Det sees to støysignaler mellom 100 og 150, de ble fjernet manuelt. Det ble også lagt på et kvart sinussignal på slutten, dette får signalet til å slutte på samme punkt som det startet slik at signalet kan repeteres kontinuerlig uten opphold.



Figur 34 Hastighetsprofil, X-global, sylinder 2

### 3.5.2 Sylinderplassering og kjøremønster

Kjøremønsteret i retning X-global var enkelt å få til som vist på Figur 33. For å få et kjøremønster for retningen Z-lokal måtte først aktuelle mål som vist på Figur 35 noteres.



Figur 35 Aktuelle mål for sylinderplassering,  $\theta=0$

Framoverkinematikken ble utledet etter fremgangsmåte fra [15]. For raskt og enkelt å kunne finne koblingen mellom hengselvinkel og sylinderbevegelse for Z-lokal ble en Denavit-Hartenberg-tabell brukt. Koblingen mellom nedre og øvre sylinderfeste som funksjon av hengselvinkelen ble da som følger:

Generell kobling mellom to koordinatsystemer:

$$T = RotX(\alpha) * TransX(X) * TransZ(Z) * RotZ(\theta)$$

hvor

$$RotX(\alpha) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) & 0 \\ 0 & \sin(\alpha) & \cos(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$TransX(X) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & X \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$TransZ(Z) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & Z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$RotZ(\theta) = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Jiggens koordinatsystemer:

T<sub>1</sub>: Fra nedre sylinderfeste til hengslen

T<sub>2</sub>: Hengslens rotasjon

T<sub>3</sub>: Fra rotert hengsel til øvre sylinderfeste

$$T_1 = RotX(0) * TransX(-A) * TransZ(B) * RotZ(0)$$

$$T_2 = RotX(90) * TransX(0) * TransZ(0) * RotZ(\theta)$$

$$T_3 = RotX(-90) * TransX(A) * TransZ(C) * RotZ(0)$$

Som gir en generell transformasjon mellom sylinderfestene lik:

$$T = T_1 * T_2 * T_3$$

$$T = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & 0 & -\sin(\theta) & -A + A * \cos(\theta) - C * \sin(\theta) \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) & B + C * \cos(\theta) + A * \sin(\theta) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

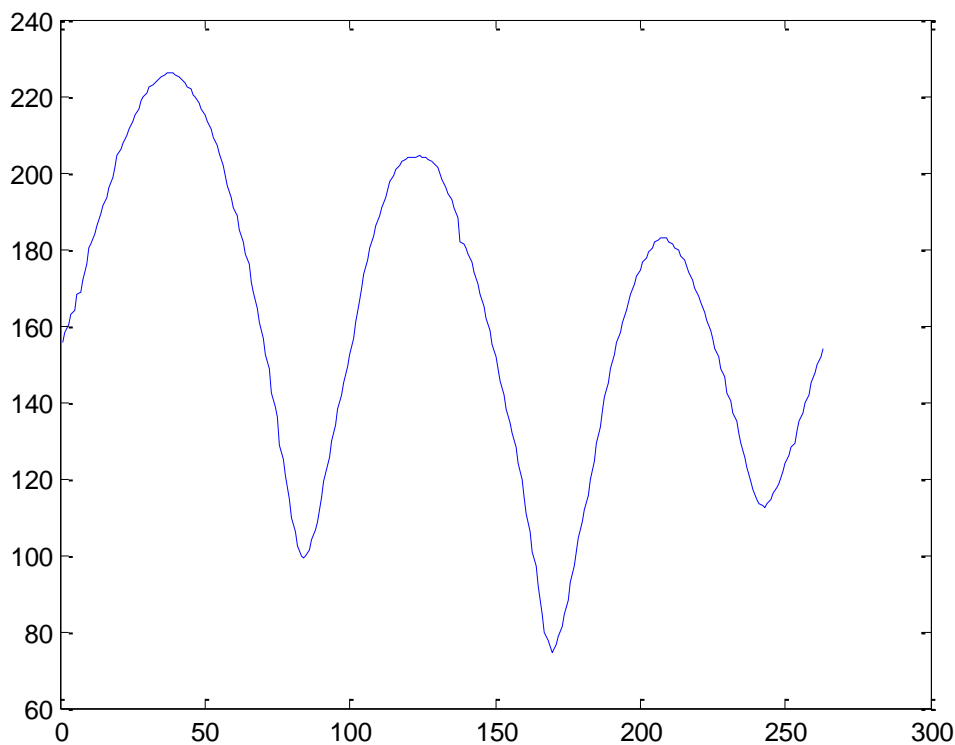
Dette gir oss da stempelposisjon lik:

$$S_{yl} = \sqrt{(-A + A * \cos(\theta) - C * \sin(\theta))^2 + (B + C * \cos(\theta) + A * \sin(\theta))^2}$$

Høyeste ønsket sylinderhastighet vil opptre ved  $\theta=0$ . Av Figur 29 ser gruppen at topphastigheten i punktet hvor akselerometeret er montert er litt over  $\pm 2\text{m/s}$ . Med 2 sylindere og 100l/min HPU ble sylindrens topphastighet ut på 0.42m/s fra kapittel 4 Figur 40, det måtte derfor velges en sylindreplassering som ville gi denne hastigheten i det nevnte punktet. Siden gruppa hadde nok informasjon til å finne vinkelhastigheten til jiggen, var det lett å bruke den tidligere nevnte framoverkinematikken til å finne en passende sylindreplassering. Kravene var:

- Kunne bevege seg i intervallet  $-2 < \theta < 18$
- Klare hastigheter i intervallet  $-2.5 < V_{Z_{\text{lokal}}} < 2.2$

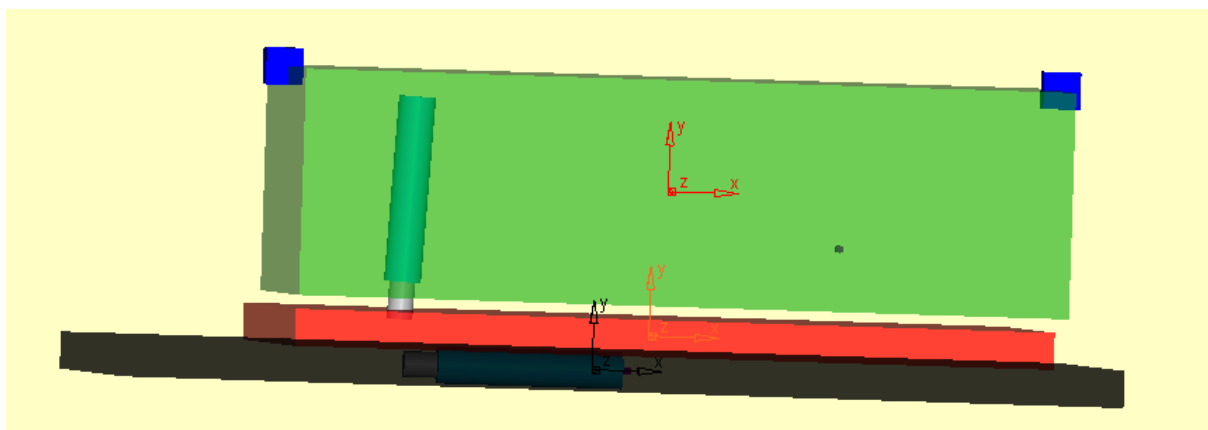
Justerbare parametere var B, C og A fra Figur 35. Et script ble laget i MATLAB [Vedlegg J], hastighetsprofiler ble studert, og for å unngå for store ombygninger ble det avgjort å plassere sylindren 400mm fra hengselen. Det ble ellers forsøkt å plassere sylindren på en slik måte at den i laveste posisjon fikk en så lav verdi for  $\theta$  som mulig, samtidig som det skulle være praktisk og styrkemessig forsvarlig å plassere den der. Styrkeberegning og plassering er vist i avsnitt 5. Kjøreprofilen i vertikal retning (z-retning) sees i Figur 36



Figur 36 Kjøreprofil, sylinder 1

## 4 Sylindrehastighetsberegninger

Ved å lage en god SimulationX modell av bachelor oppgaven (Figur 37) kunne man verifisere håndberegningene for hastighetene sylindrene kunne klare å påføre konstruksjonen, med forskjellige antall sylindere koblet til systemet for de tilgjengelige HPUene ved UiA. UiA har per 21.5.2012 en 23l/min og en 100l/min HPU tilgjengelig samtidig som det er totalt 3 sylindere tilgjengelig fra konstruksjonen. For å lage en nøyaktig modell var det nødvendig å overføre verdiene fra det mekaniske systemet funnet på solidWorks modellen fra bacheloroppgaven, sammen med ventil og sylinderverdiene fra vedlegg A til simulationX.



Figur 37 SimulationX modell av bachelorgruppens design

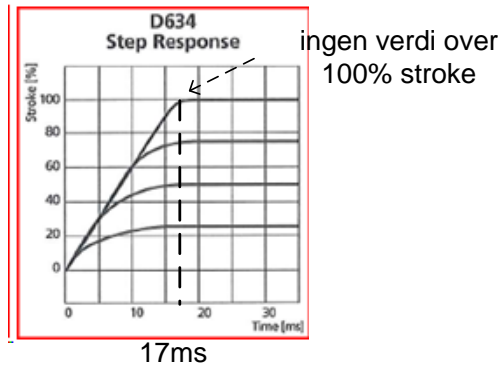
### Konklusjon for hydrauliske systemet

På bakgrunn av resultatene i 4.1 og 4.2 ble det laget et system for en HPU som kunne levere 100l/min olje til systemet. Dette ble ført mellom 2 sylindere, en for å føre jiggjen i horisontal retning (-x- retning) og en for å sende slagrammen i vertikal retning (y-retning). Siden 1 sylindere ikke ville oppfylt bevegelsen og 3 ville bruke for mye olje tilgjengelig fra HPUene ble ikke disse prioritert videre. Dette for mest mulig å gjenskape at båten kjører fremover (-x-retning) og høyden på bølgen (y-retning). Bevegelsene for en Askeladden båt er nærmere forklart i avsnitt 3. Kraften som trengs for bevegelsen på sylindrene ble også opplyst ved å velge de allerede eksisterende sylindrene som kunne generere en kraft ut på ca 49000N og inn på 25000N(Figur 40). Dette er da mer enn nok siden sylindren kun trenger å kunne flytte ca 22000N funnet i kapittel 5.

### 4.1 Ventilresultater

Det var ønskelig å finne egenfrekvensen [16] til ventilen for å være klar over og slik klare å unngå at den bidrar til å skade jiggjen under utførelse av bevegelsen. Dette er for det meste relevant for repeterende bevegelse noe konstruksjonen vår ikke har siden mønsteret forandrer seg gjennom hele gjennomføringen.

For å finne egenfrekvensen og dempeforholdet i ventilen ble "Step Responsen" til ventilen brukt (Figur 38) fra [vedlegg A]. Det antas et dempeforhold på 1 siden det ikke er noe overslag ved 100 % stroke. Den skal også være fullt åpen etter 17ms.



Figur 38 Step responsen til ventilene

Egenfrekvensen til systemet ble funnet ved å lage et forenklet system med kun et fast signal inn på verdi 1 og en transfer funksjon som inneholder egenfrekvensformelen (4.1) i SimulationX.

$$\frac{\omega_n^2}{s^2 + 2 * \xi * \omega_n * s + \omega_n^2} \quad (4.1)$$

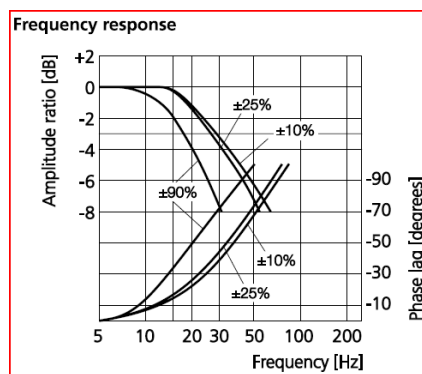
Hvor

$\omega_n = 2 * \pi * f_n$  egenfrekvensen til ventilen i rad/s

$f_n =$  frekvensen til ventilen i hz

$\xi =$  demping

Det ble startet med en frekvens på 10Hz som ble økt frem til responsen og tiden samsvarte med 100 % stroke grafen i Figur 38. Dette ble oppfylt ved en egenfrekvens på 70Hz. Når man ser på Figur 39 er dette utenfor område for 90 % utnyttelse av ventilen, men for å regne konservativt antas det en egenfrekvens på 50Hz. Denne er meget høy sammen med at signalet ikke er repeterende så er sannsynligheten for å treffe denne meget lav. 100l/min HPUen er i stand til å levere oljemengden med et trykk på 250bar. Ved å bruke "rated flow" fra ventil databladet[17] kommer det frem at over ventilene vil det være et trykktap på 70bar total. Dvs 35bar inn og 35bar ut av ventilen, ved en gjennomstrømning på 60l/min som ventilen kan klare.



Figur 39 Frekvens responsen til ventilen



## 4.2 Sylindresultater

Siden bachelor gruppen hadde dimensjonert jiggen med 3 sylindere ville gruppa finne ut hvor mange sylindere det var behov for ved de nye hastighetene. Det ble derfor gjort kalkulasjoner på henholdsvis 1, 2 og 3 sylindere av merket "NH30-SD-50/35 X 300-S-(TV)" [Vedlegg A]. Dette vil si et stempel på Ø50mm, stempelstang på Ø35mm og en slaglengde på 300mm. I tillegg ville gruppen se på om det var noen andre sylinderprodukter som ville tilfredstille de nye hastighetskravene til jiggen. Dette var for å forsikre seg om at det var en annen mulighet hvis hastighetene på de eksisterende sylindere ikke var høy nok. Sylindere som ble sett på i håndberegningene var av typen "NH30-SD-25/16 X 300-S-(TV)" Dette vil si et stempel på Ø25mm, stempelstang på Ø16mm og en slaglengde på 300mm. Denne hadde samme slaglengde på 300mm men mindre diameter som ville gjøre den raskere.

Det ble også sett på om det var mulig å bruke trykkluftsyndere istedenfor oljesylindere, men det ble bestemt at de plutselige oppbremsingene som kom av bølgene ikke ville bli gjensvart godt nok med trykkluftsyndere. Så denne løsningen ble sett bort ifra. Dette fordi viskositeten til luft er på 0.000018Pas ved 27 grader [18], og ville derfor sannsynligvis være for lite til å kunne etterligne båtenes oppbremsing. Siden viskositeten til olje som er brukt i pumpen er en ISO 46 og har da en SAE20<sup>1</sup> grad gir dette en viskositet på 0.14-0.42Pas [19] vil olje være mye bedre til å holde igjen bevegelsen enn luft. Viskositeten til et stoff sier noe om motstanden stoffet har til å flyte vekk ved utsatt for en kraft.

Håndberegningene for sylindere [20] blir forklart generelt under sammen med resultatene. Alle utregninger med verdier kan finnes i Vedlegg K.

Arealet under stempel er 1963.5mm<sup>2</sup> og funnet ved formel (4.2)

$$A_{\text{under stempel}} = \left(\frac{D}{2}\right)^2 * \pi \quad (4.2)$$

Hvor

D = 50mm sylinderdiameter

Areal over stempel er 1001.38mm<sup>2</sup> og funnet ved formel (4.3)

$$A_{\text{over stempel}} = \left(\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2\right) * \pi \quad (4.3)$$

Hvor

D= 50mm sylinderdiameter

d= 35mm stempelstang diameter

Hastighetene for de 3 forskjellige tilfellene med 1, 2 og 3 sylindere av begge størrelsene på samme HPU er vist i Figur 40. Disse blir funnet ved å ta HPU kapasitetene 23l/min (liten HPU) og 100l/min

---

<sup>1</sup> SAE = Society of Automotive Engineers

(stor HPU) og gjort om til 0.00038 m<sup>3</sup>/s og 0.00167m<sup>3</sup>/s ved å gange med en omregningsfaktor på 1.667\*10<sup>-5</sup> [21]

Formelen for hastighet inn og ut fra sylindere er vist i (4.4)

$$H = \frac{Q}{A_{\text{over/under stempel}}} \quad (4.4)$$

Hvor

H = hastigheten for sylindere [m/s]

Q = gjennomstrømning fra HPU omgjort med faktoren 1,667\*10<sup>-5</sup> [m<sup>3</sup>/s]

A= Areal over og under stempel (avhengig av om inn eller ut hastighet er ønsket) [m<sup>2</sup>]

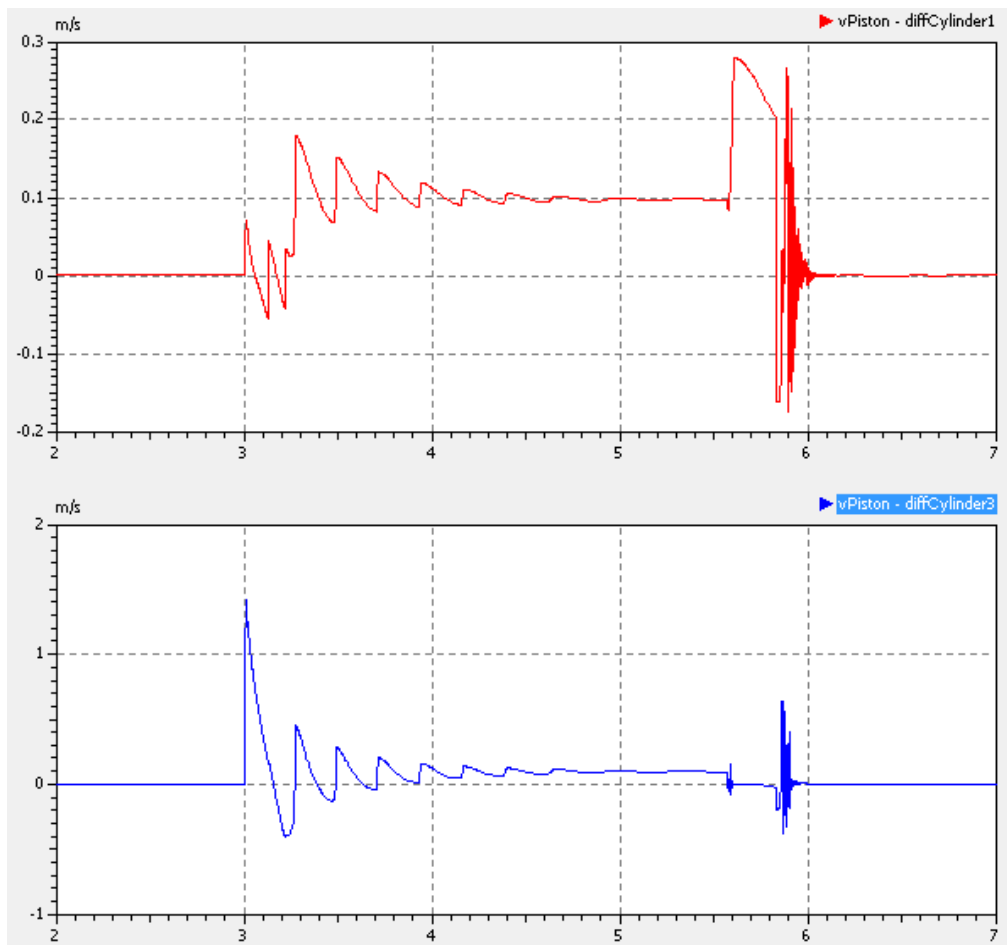
På Figur 40 blir resultatene gitt for håndberegningene for de 2 sylindere merkene samt antall sylindere og hvilken pumpe som blir brukt for det ønskede resultatet.

		Liten HPU		Stor HPU	
NH30-SD-50/35 X 300-S-(TV)					
		<b>For 1 sylinder:</b>		<b>For 1 sylinder:</b>	
		Hastighet ut	0,20 m/s	Hastighet ut	0,85 m/s
		Hastighet inn	0,38 m/s	Hastighet inn	1,66 m/s
		<b>For 2 sylindere</b>		<b>For 2 sylindere</b>	
resultat for test	→	Hastighet ut	0,10 m/s	Hastighet ut	0,42 m/s
		Hastighet inn	0,19 m/s	Hastighet inn	0,83 m/s
		<b>For 3 sylindere</b>		<b>For 3 sylindere</b>	
		Hastighet ut	0,07 m/s	Hastighet ut	0,28 m/s
		Hastighet inn	0,13 m/s	Hastighet inn	0,55 m/s
NH30-SD-25/16 X 300-S-(TV)					
		<b>For 1 sylinder:</b>		<b>For 1 sylinder:</b>	
		Hastighet ut	0,78 m/s	Hastighet ut	3,40 m/s
		Hastighet inn	1,32 m/s	Hastighet inn	5,75 m/s
		<b>For 2 sylindere</b>		<b>For 2 sylindere</b>	
		Hastighet ut	0,39 m/s	Hastighet ut	1,70 m/s
		Hastighet inn	0,66 m/s	Hastighet inn	2,88 m/s
		<b>For 3 sylindere</b>		<b>For 3 sylindere</b>	
		Hastighet ut	0,26 m/s	Hastighet ut	1,13 m/s
		Hastighet inn	0,44 m/s	Hastighet inn	1,92 m/s
		maks kraft per sylinder		maks kraft per sylinder	
		maks ut	49087,39 N	maks ut	5497,79 N
		maks inn	25034,57 N	maks inn	3245,89 N

Figur 40 Hastighetsresultater for 1,2 og 3 sylindere med en liten HPU som gir 23[l/min] og en stor HPU som gir 100[l/min] og kreftene 1 sylinder kan generere

Disse utregningene ble dobbelsjekket med SimulationX modellen. Det ble implementert et signal som gikk fra 0 til -1 ved t = 3s for å sende all olje gjennom systemet og inn på den ene siden av sylindere. Dette for å se hvilke hastigheter sylindere kunne klare å generere. Ved å hente ut hastighetsresultatene fra simuleringen (Figur 41) for 2 sylindere og en HPU med 23l/min ser man at den horisontale (røde) og den vertikale (blå) bevegelsen ligger på ca 0.1m/s når den har stabilisert seg ved 5s kjørt og før den går til endestopp ved ca 6s. Endestopp betyr at slaglengden til sylindere

har gått ut og grensen som ble satt i programmet som stopper sylindren fra å bevege seg videre. Dette er samme resultat funnet ved håndberegninger for 2 sylindere med en HPU på 231/min fra Figur 40.



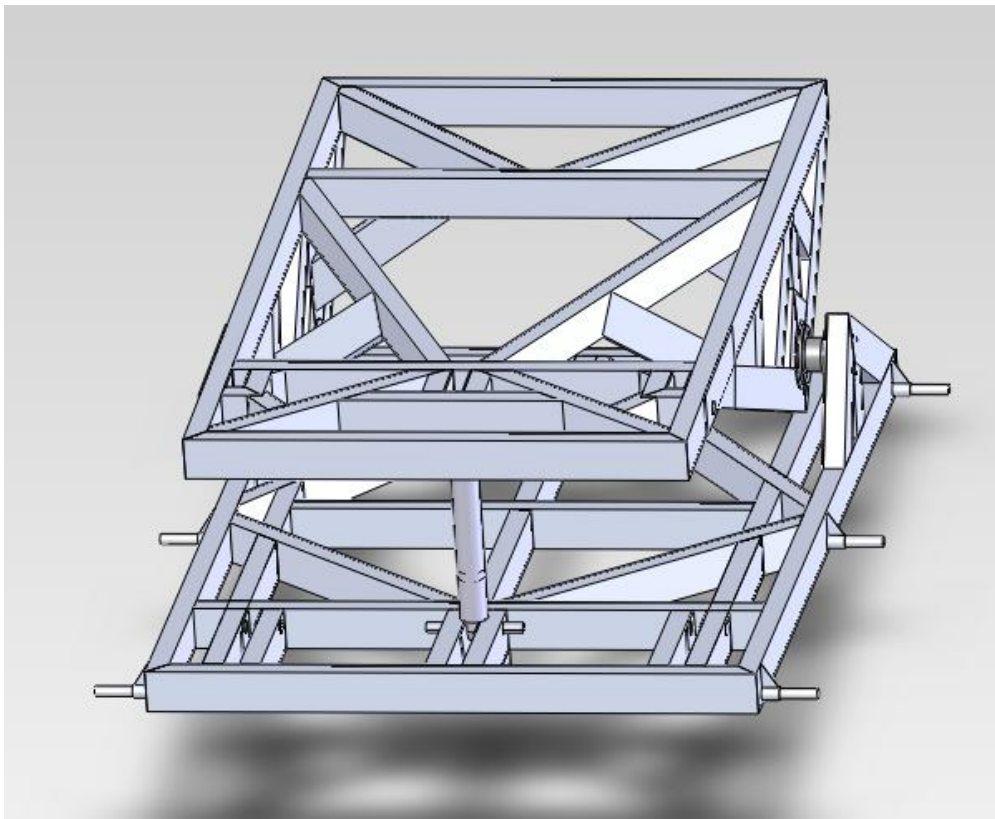
Figur 41 Hastighetsresultatene fra SimulationX. Rød er sylindere 1 i X-retning. Blå er sylindere 2 i Y-retning.

Den samme testen ble utført tilkoblet både 1 og 3 sylindere med samme resultater som håndberegningene. Siden 1 sylindere ikke klarer å gjenskape bevegelsen uansett og 3 sylindere ville brukt for mye olje valgte gruppen å fokusere på å kjøre bevegelsen med 2 sylindere.

## 5 Styrkeanalyse og endringer på konstruksjonen

Gjennom dette kapitlet vil gruppen foreslå 2 forslag til endringer på jiggen, og velge en løsning som gjør det mulig for jiggen å gjenskape mest mulig av hastighetene, funnet ved målinger tatt på en Askeladden C62 crossover den 28.3.2012. Det vil også bli gjort nye styrkeanalyser på jiggen for å vise at endringene som ble gjort vil gjøre den i stand til å takle de nye påkjenningene.

Det var nødvendig å lage en god modell i SolidWorks for å verifisere påkjenningene hastighetene ville påføre jiggen under dens bevegelsesmønster. Den gamle modellen (Figur 42) fra "testjigg for sloshing" ble brukt som et fundament for videre endringer på jiggen. Disse endringene kom av at jiggen var først modellert for å gjenskape sloshing noe som ikke krever høye hastigheter, mens den etter endringene skulle klare å gjenskape hastighetene fra målingene den 28.3.2012. En god modell i SolidWorks gjør det mulig å gjøre endringer og styrkeberegninger på jiggen for å se hvordan eventuelle endringer påvirker jiggen.



Figur 42 Modellen fra "Testjigg for sloshing"

## 5.1 Generelt om SolidWorks og verdier i testene

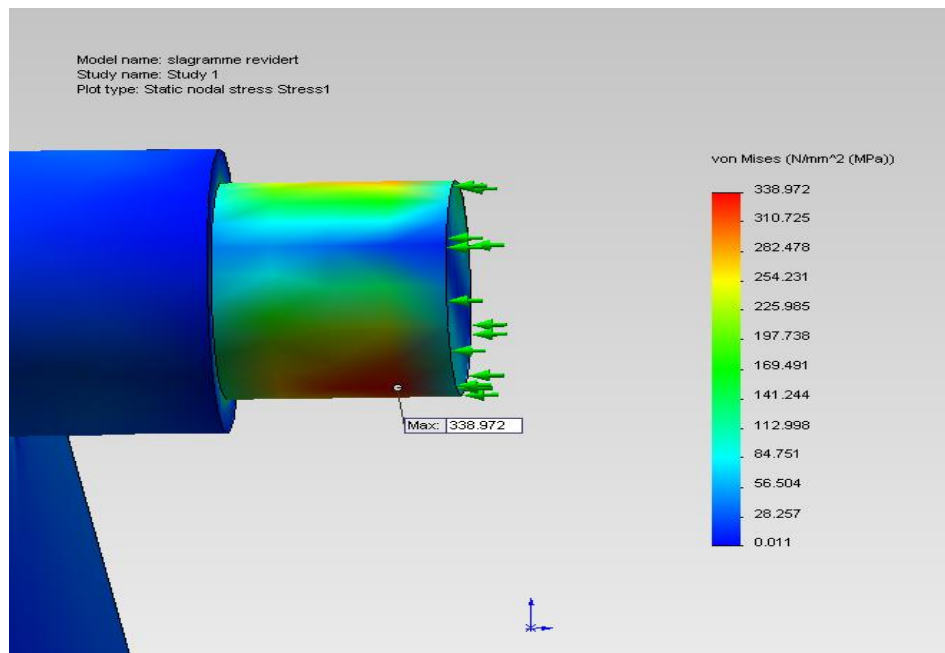
SolidWorks Simulation er et program som kan beregne spenninger, nedbøying og mer med høy nøyaktighet. I denne oppgaven er SolidWorks simulation brukt for å kontrollere flytespenningene samt nedbøying for jiggen, for å se at resultatene er innenfor grensene på materialene. Jiggen vil bli utvidet til 4 statiske tester, og volumelement av andre grad er blitt valgt for å få en høy nøyaktighet. Disse elementene ble definert som fine elementer i simuleringene for et bedre resultat. Materialenes egenskap ble definert med e-modul, flytegrense og bruddgrense i simulation, og ble funnet i vedlegg A. Under testene blir det brukt et aluminiumsmaterial EN-AW 6082-T6 med e-modul på 70GPa. Flytegrense på 210MPa og bruddgrensen til materialet er på 310MPa siden gruppas aluminiumsprofil har en tykkelse under 16mm. Sylinderakslene består av materialet St-52 som er et vanlig strukturstål med e-modul på 210GPa, flytegrense på 355 og bruddgrense på 510MPa. Det ble i tillegg tilført krefter og avgrensninger på hver enkel test som ble utført sammen med håndberegninger for å se om svaret ble som forventet.

## 5.2 Utførelsen av testene i SolidWorks simulation

Det ble utført 4 tester for styrkeanalysen sammen med håndberegninger for å verifisere at jiggen var sterk nok og resultatene ble som forventet. Fra målingene ble den største påkjenningen som jiggen ville oppleve under bevegelsesmønsteret funnet. Denne ville være en kombinert påkjenning av translatoriske krefter som påvirket vekten av båten og vindskjermen. Sterkeste registrert påkjenning ble funnet når båten var på en bølgetopp og falt ned i en bølgedal. Målingene visste at båten hadde blitt utsatt for en vertikal akselerasjon på hele 9g samtidig som den hadde blitt kjørt fremover med en horisontal akselerasjon på 1g. Testene er utformet for å vise hva som skjer på jiggen under dette tilfellet. Test 1 tar utgangspunkt i slagrammen som blir utsatt for massen av slagrammen sammen med vindskjermen, forenklet plassert på jiggen, hvor disse blir utsatt for krefter som samsvarer med massen ganget med de målte translatoriske akselerasjonene. Test 2 og 3 ser kun på påkjenningen fra slagrammen for endringene som er blitt gjort på jiggen. I test 4 blir påkjenningen fra slagrammen overført til de aktuelle plassene på rullerammen for å verifisere at rullerammen kan takle påkjenningen. Det ble også sjekket om friksjonen til skruene som holder hengslene fast til både slagrammen og rullerammen var sterk nok til å holde den nye påkjenningen som oppsto fra måleresultatene.

## 5.3 Konklusjon for valg av forslag og styrkeanalyse

Ut ifra testene 1 til 4 som er utført på jiggen samt friksjonsregning som blir gjort i dette kapittelet ser man at forslag 2, oppfyller kravene som blir stilt til jiggen, med tanke på materialeegenskaper og opptredende krefter fra målingene for akselerasjonene. 2D tegningene for løsningen blir gitt i Vedlegg L, Den største flytespenningen som opptrer er på undersiden av sylinderakselen på slagrammen som blir funnet til å være 339MPa (Figur 43).



Figur 43 Spenningen i sylinderakselen på slagrammen, viser maks spenning på 339MPa for akselen

Løsningen for å få ned denne spenningen var å skifte ut sylinderakselen med et annet material som har en høyere flytegrense. Materialet kan skiftes ut hvis forholdet  $\frac{d\sigma}{d\varepsilon}$  er samme som det tidligere materialet, utledet i kapittel 5.4.7 . I rapporten er testene gjort med St-52 aksler siden disse akslene var tilgjengelige ved testkjøring av programmet. Kraftene som fungerer på jiggen forholder seg for det meste godt under flytespenningene gitt av materialegenskapene og kan ses på test 1 slagrammen og test 4 rullerammen. Fra SolidWorks simulation Figur 43 så man at den største opptredende flytespenningen skjer på undersiden av sylinderakselen på slagrammen. Ved å sammenlikne endringene i verdi fra håndberegningene med endringen i simuleringresultater ser man at avviket for opptredende spenninger ligger innenfor 3% forskjell. Forskjellen i spenningene ved sylinderakslene skyldes i stor grunn forskjellen i avstanden til aluminiumsgodset rundt sylinderakslene. Spenningene som er funnet ved håndberegninger er kun fokusert på stålets spenning og det blir da ikke tatt hensyn til alt det ekstra godset som SolidWorks tar hensyn til. Derfor det store avviket mellom håndberegning og simulert. Den totale prosent endringen mellom slagrammen og rullerammen ble funnet ved formel (5.20) og ble relativt likt. Ser at flytespenningen som opptrer i rullerammen er 77 % av spenningen i slagrammen. Dette er ca den samme endringen som skjer mellom håndberegning for spenningen mellom test 2 og test 3 på 75 % med formel (5.16). Slik at man ser at når en ting inntreffer på slagrammen så blir det en prosentvis redusering på rullerammen. Nedbøyingen forplanter seg også nedover i strukturen fra maks 0.56mm på slagrammen til 2.26mm på rullerammen. Basert på disse resultatene mener gruppa at jiggen skal være sterk nok til å klare å tilnærme seg de ønskede hastighetene fra målingene tatt med bakgrunn i en Askeladden C62 Crossover. Resultatene er også innenfor forventet verdier når man sammenlikner med håndberegningene.

#### 5.4 Forslag til endringer på sylindrefestene med styrketester

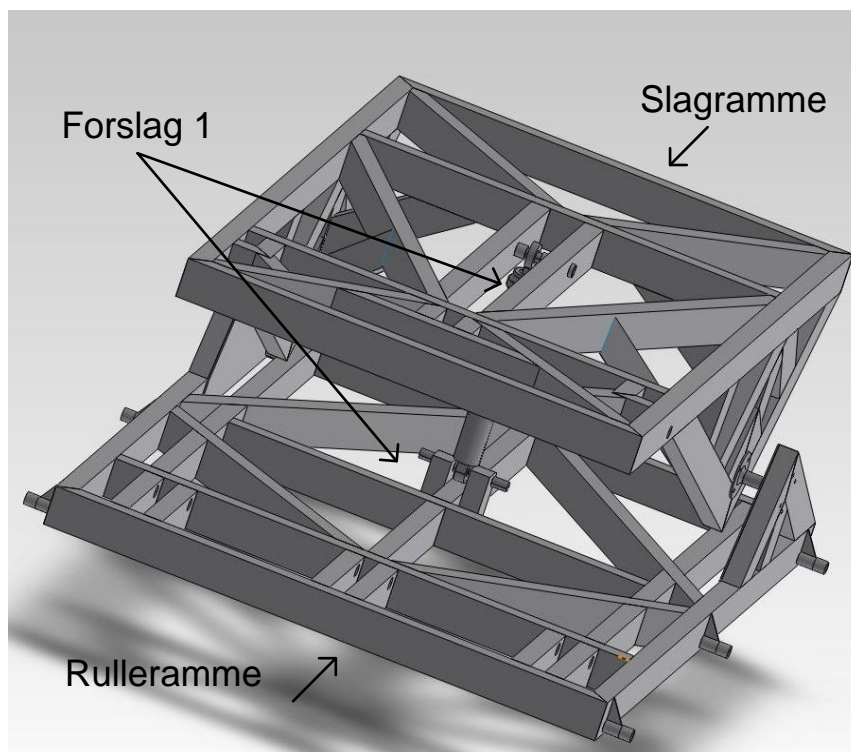
Det var nødvendig å gjøre endringer på jiggen siden tidligere analyser av strukturen tilsa at plasseringene til sylindrene slik de var plassert før ikke klarte å utvinne høye nok hastigheter som krevdes fra målingene. Det ble derfor brukt trigonometri fra underkapittel 3.5.2 for å finne avstanden fra rotasjonspunktet (hengslene) til plasseringen av de nye sylindrefestene for å utvikle ønsket

hastighet. Med den nye avstanden fra trigonometrien ble det også nødvendig å lage nye fester til sylindere sammen med styrketester for å forsikre seg om at disse klarte den nye belastningen.

#### 5.4.1 Forslag til endringer

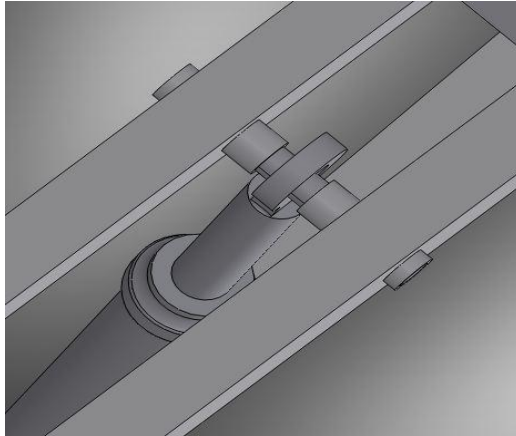
Her presenteres 2 forslag til endringer på jiggen. Ett for å beholde rullerammen slik den var, men å tilføre ører for sylindrefeste sammen med endringer på slagrammen (Figur 44) og et forslag for å gjøre om på den eksisterende rullerammen sammen med endringer på slagrammen (Figur 47).

Forslag 1 gikk ut på å lage ører for akselen på rullerammen sammen med nye tverrsover bjelker og sylindrefester på slagrammen (Figur 44). Dette førte til at sylinderkraften virket nærmere hengslene og hastigheten jiggen kunne utvinne ble større.



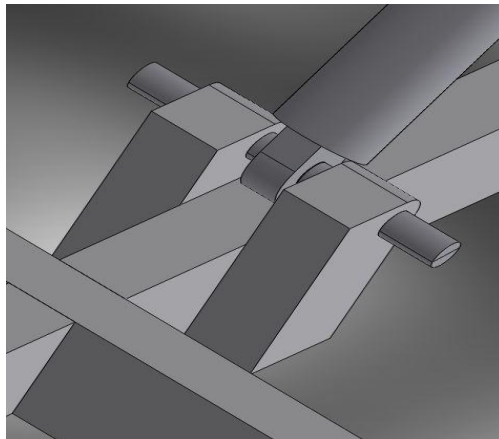
Figur 44 Forslag 1 med endringene på jiggen

Endringen på slagrammen (Figur 45) endte opp med å være 2 nye bjelker som gikk langs rullerammen og konstruere hull på ønsket plassering for plasseringen av sylindereaksen. Dette hullet ble konstruert til å være 33mm i diameter for slik å ha plass til å plassere et rør med tykkelse på 8mm som skulle bidra med støttestruktur mellom sylindereakselen og jiggen.



**Figur 45 Forslag 1 slagrammen**

Endringen på rullerammen (Figur 46) var å konstruere 2 ører som skulle klare å holde sylinderakselen plassert rett over bjelken ved rullerammen, for slik å gjøre minimale endringer på jiggen. Denne endringen på rullerammen endte opp med å påføre en høydeøkning på sylinderplasseringen med over 70mm fra sin tidligere posisjon.

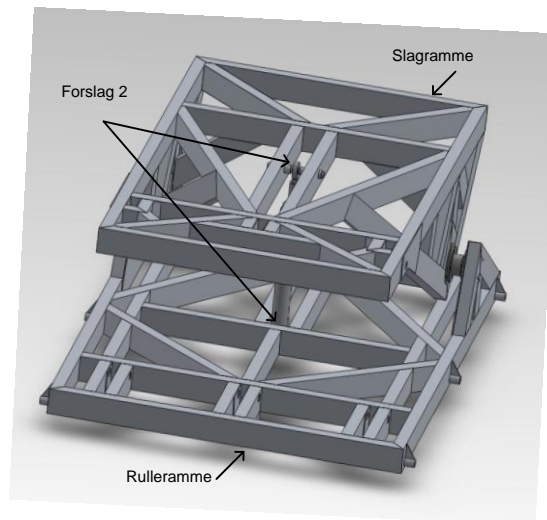


**Figur 46 Forslag 1 rullerammen**

Dette forslaget endte med å bli forkastet etter å ha blitt implementert inn i modellen. Dette skyldes at når sylinderen var på maks utslag førte det til at enden på slagrammen ble slått ned i rullerammen, noe som skaper slag og ødeleggelse av jiggen.

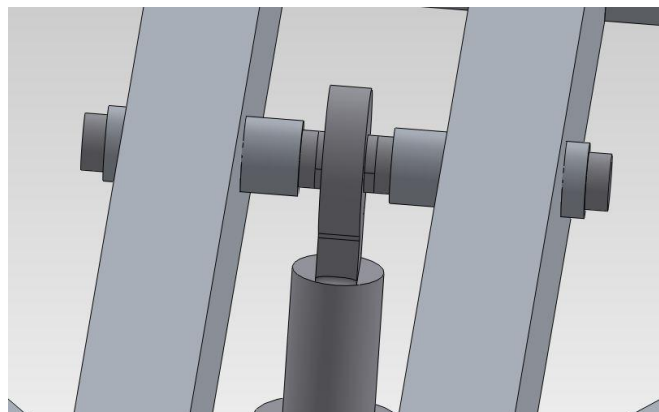
For forslag 2 endte gruppa opp med å overføre løsningen på slagrammen fra forslag 1 ned på rullerammen (Figur 47). Dette for å fjerne forhøyningen som ble skapt av rulleramme løsningen og slik fjerne den ekstra høyden som gjorde at slagrammen slo ned i rullerammen.





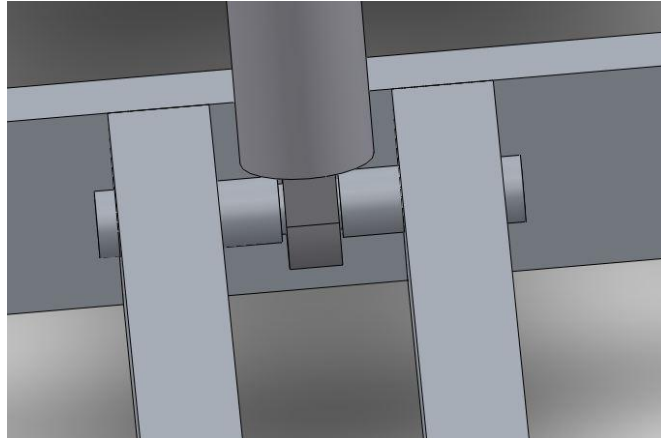
**Figur 47 Forslag 2 med endringer på jiggen**

Endringen på forslag 2 endte opp med å være den samme som for forslag 1. Ved å kunne bestemme plasseringen på hullet kunne gruppen velge hvor høyt opp slagrammen skulle kunne bevege seg på i forhold til rullerammen. Fra vedlegg A er det gitt at profilet som er brukt på jiggen er 100mm høyt. Dette fører da til at hullene kan plasseres hvor som helst langs denne høyden så lenge kreftene ikke overskrider materialegenskapene og festene klarer påkjenningen.



**Figur 48 Forslag 2 slagramme**

Ved å flytte løsningen på slagrammen ned på rullerammen (Figur 49) gir dette gruppa mulighet til å bestemme høyden slik som i forslag 2 for slagrammen.



Figur 49 Forslag 2 rulleramme

Ved å implementere forslag 2 inn i modellen så gruppa at dette var en god løsning, fordi det førte til at plasseringen av sylindrefestene kunne bli plassert og enkelt endret i SolidWorks modellen. Noe som gjorde at modellen hurtig kunne bli endret på etter behov.

#### 5.4.2 Test 1 Styrketest for Slagramme

På test 1 ville man vise hvilke påkjenninger slagrammen ble utsatt for og hvilke konsekvenser dette får på strukturen. Ut ifra målingene tatt ved kjøring 28.3.2012 [Vedlegg J] ble det funnet at noen slag tilførte hele 9g i vertikal retning samtidig som de tilførte 1g i horisontal retning på slagrammen. Dette ble da valgt som tilfellet med mest påkjenning og de videre testene ble utformet med denne belastningen. Dette vil si at kreftene som slagrammen opplevde var massen til slagrammen og vindskjermen ganget 9 ganger med gravitasjon i vertikal retning (satt som z), og 1 gange gravitasjon i horisontal (satt som x) retning. Akselen skulle rotere inne i aluminiumsrøret men den skulle ikke kunne gå inn i materialet. Rotasjonen av stålakselen blir holdt i ro av en stoppepinne som blir festet mellom akselen og aluminiumsrøret på utsiden av bjelken. Slagrammen ble låst til kun å ha roterende bevegelse rundt hengsleleddene, dette skyldes at slagrammen er fast innspent mot rullerammen men med roterende ledd. På modellen ble kreftene som påvirker slagrammen halvert, siden halve modellen ble brukt ved simuleringen. Kraftene tilført slagrammen så ut ved regning som på (5.1) og er vist ved gravitasjon på slagrammen med røde piler og kreftene fra vindskjermen med lilla piler på Figur 50.

Kreftene fra halve slagrammen og vindskjermen	Resultat	
$\frac{Slagramme\ i\ y * 9 * g}{2}$	3399.15N	(5.1)
$\frac{Slagramme\ i\ z * g}{2}$	377.7N	
$\frac{vindskjerm\ i\ y * 9 * g}{2}$	1765.8N	
$\frac{vindskjerm\ i\ y * g}{2}$	196.2N	

Hvor  
 Slagramme = 77Kg  
 vindskjerm = 40Kg  
 g = 9.81m/s<sup>2</sup>

Kreftene som er påført fra vindskjermen er forenklet plassert på tuppen av slagrammen. Dette for å gjøre simuleringen mer konservativ. Siden vindskjermen i virkeligheten ville ligge rundt kanten av jiggen og kraften ville fordelt seg mer utover langs toppen av slagrammen. Strukturen settes som symmetrisk rundt midten av strukturen illustrert med grønne piler på Figur 50. Materialene som er brukt er St-52 i sylindereakselen og hengslene og resten av strukturen er av aluminiumet EN-AW 6082-T6.

Krefter som virker på slagrammen (Figur 50)

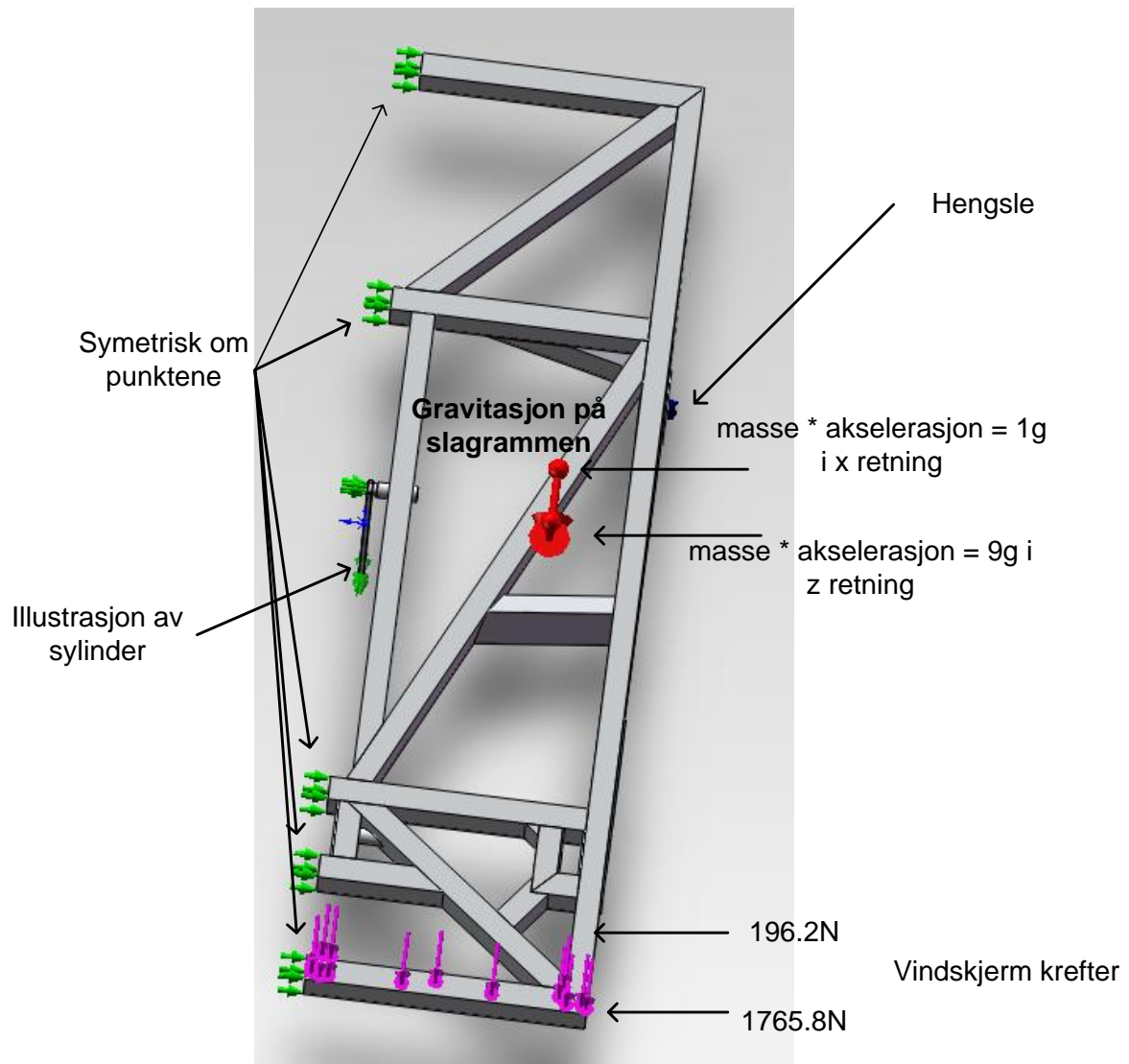
- Kraften mot rullerammen er satt til halvparten av slagrammes masse ganget med 9 ganger gravitasjon (3399.15N)
- Kraften fremover er satt til halvparten av slagrammens masse ganget med 1 gange gravitasjon (377.7N)
- Kraften fra vindskjermen mot slagrammen ble satt til 1765.8N
- Kraften fremover fra vindskjermen ble satt til 196.2N

Sperrene som ble tatt for test 1 var at

- Området mellom sylindrefeste og slagrammen blir satt til at materialene kan rotere mellom hverandre, men ikke gå inn i hverandre.
- Endene av bjelkene som vist med grønne piler (Figur 50) skal være symmetriske. Dette gjør at simulatoren tolker innfestingen som at det hadde vært hele strukturen der og ikke halve. Dette er gjort for å minske simuleringstiden.
- Illustrasjonen av sylinderen er også låst fra å gå i høyde og sideretning og kan bare gå fremover som skyldes kreftene som beveger den fremover.

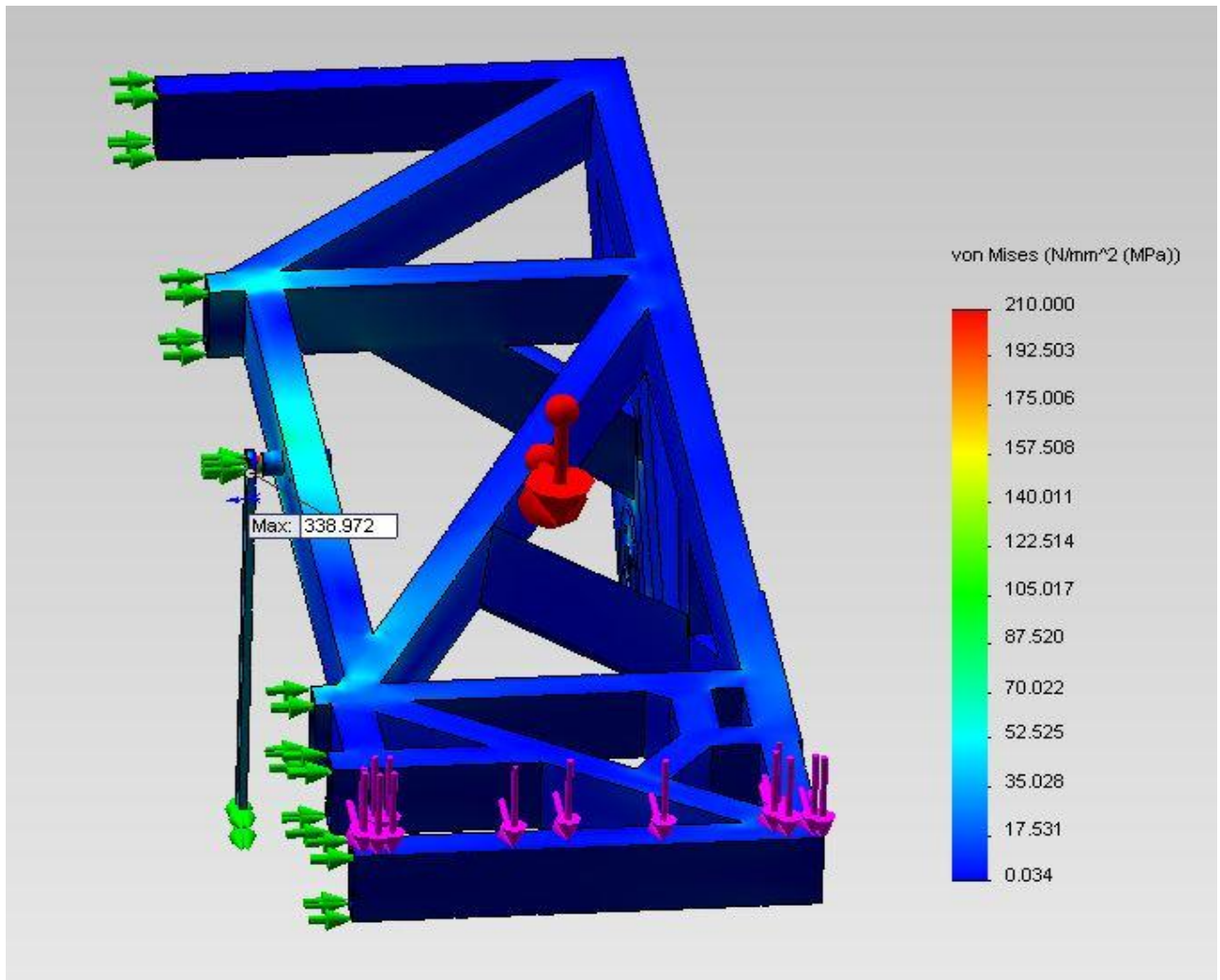
Materialegenskapene for simuleringen var

- Aluminium 6082-T6
  - e-modul = 70GPa
  - Flytegrense = 210MPa
  - Bruddgrense = 340MPa
- Stål St-52
  - e- modul = 210GPa
  - Flytegrense = 355MPa
  - Bruddgrense = 510MPa



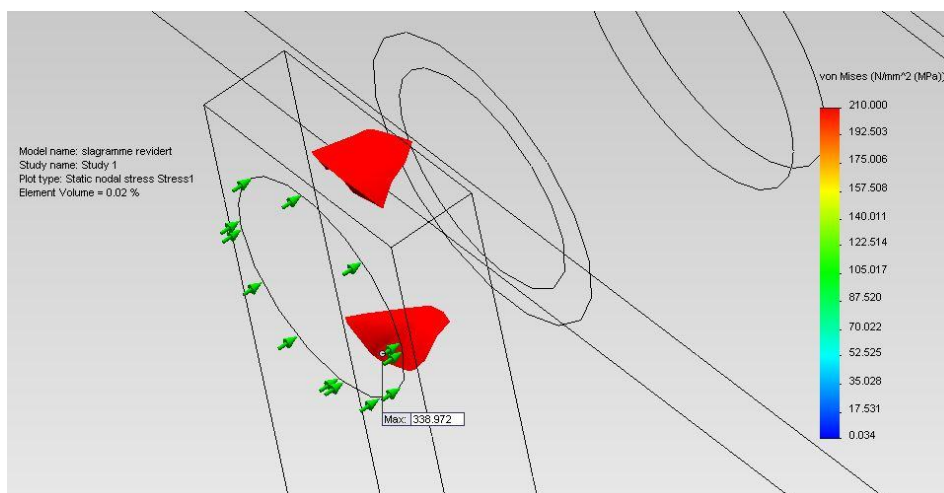
Figur 50 Test 1 med antagelser

Etter simuleringen kunne man i SolidWorks se på kreftene som virket i de aktuelle punktene på slagrammen. Det interessante å se på var kreftene i hengsleleddet, sylindrefeste, flytgrensen og nedbøying. Disse var interessante fordi de sier noe om hvilke krefter som skal bli overført ned på rullerammen. Ved å se på Figur 51 ser man at maks flytgrense som opptrer på slagrammen ligger i stål akselen som holder sylindere. Denne flytespenningen er på 339MPa samtidig som maks grensen St-52 stålet er 355MPa. Dette er innenfor tillatte grenser for materialet



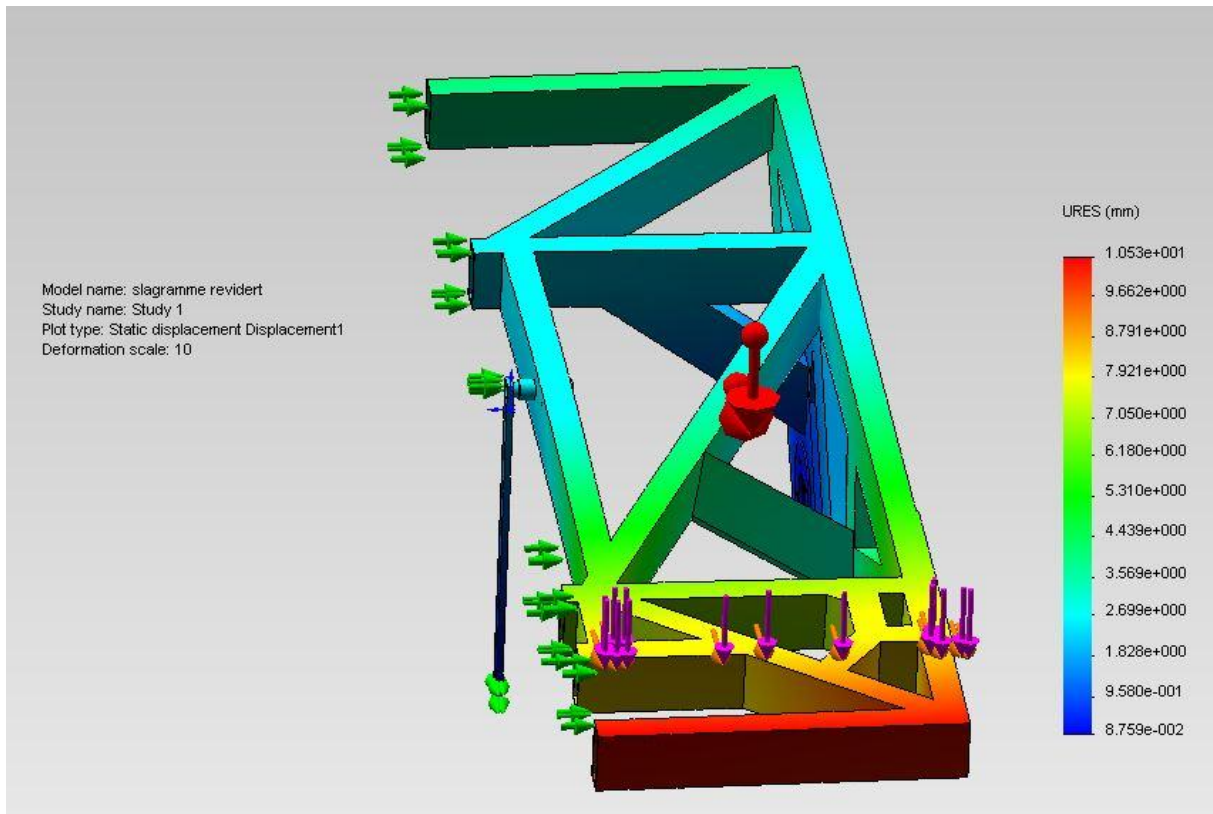
Figur 51 flyt i slagrammen med maks påkjenning på 339MPa

Det er tatt et utdrag (Figur 52) over hvor stort område på akselen som overskrider 300MPa. Dette ligger i grenseland på hva som hadde vært ønskelig for St-52. Derfor blir det i konklusjonen valgt et annet material med høyere flytespenning for å flytte dette området vekk fra maks flytespenning i materialet.



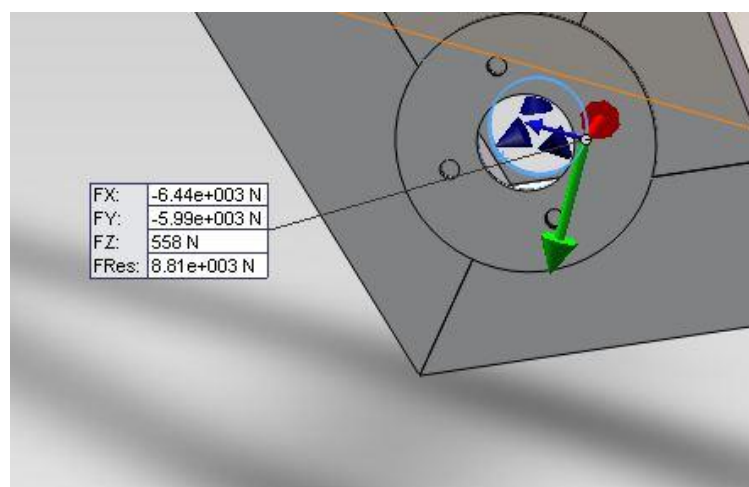
Figur 52 test 1 med over 300MPa flytegrense

Resultatet for nedbøyingen på slagrammen blir vist i Figur 53. Denne blir vist til å være på totalt 10mm noe som ikke er mye med tanke på at strukturen er over 2m og 1m bred. Denne nedbøyingen vil også kun opptre i små øyeblikk når slagrammen opplever den største påkjenningen. Materialene er så stive så denne nedbøyingen går tilbake til opprinnelig stilling når jiggen ikke beveger seg like hardt.



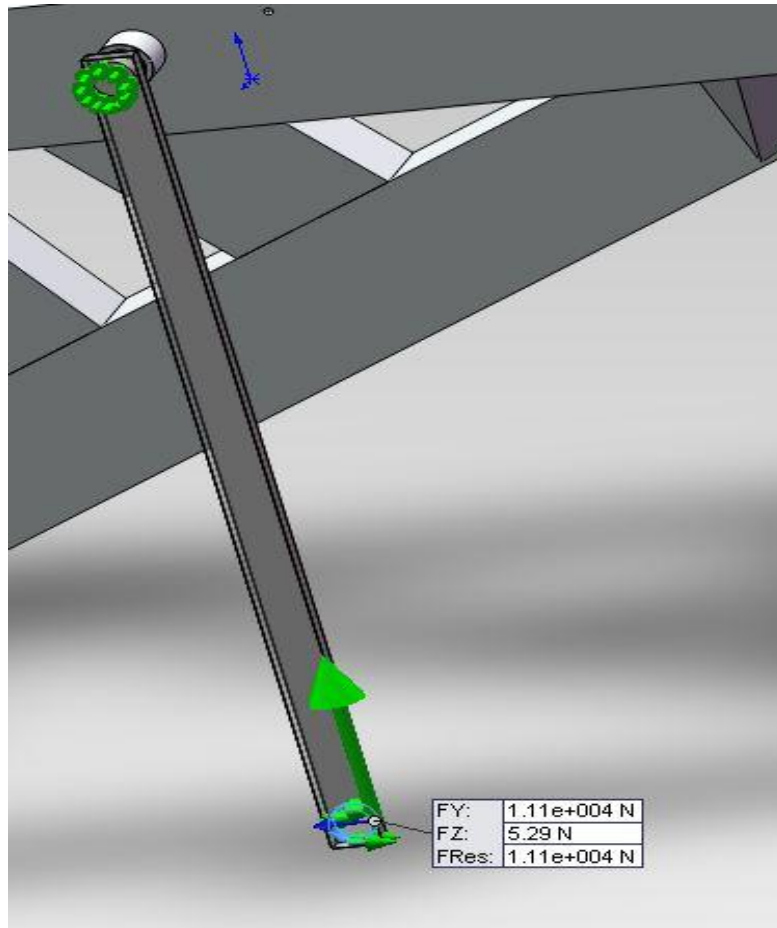
Figur 53 forflytning på slagrammen på 10mm

Ved å se på resulterende krefter i simulatoren for hengselen ble de funnet til å være 5985.6N for FY og kan ses på Figur 54. Dette vil si at det vil virke en kraft på 5985.6N ned på hengslefestene på rullerammen.



Figur 54 hengsleresultat fra slagrammen mot rullerammen(grønn) viser 5985.6N

Med resulterende krefter i simulatoren kunne man også finne halve sylinderkraften som var opptredende i sylindrefestene. Denne ble avlest til å være 11054N fra Figur 55 for FY. Denne kraften må igjen dobles for å få totalkraften som virker på akslene fra sylindere som holder igjen kreftene fra slagrammen. Den totale kraften som virker mellom akselen og sylindere blir da 22108N fra simuleringen.



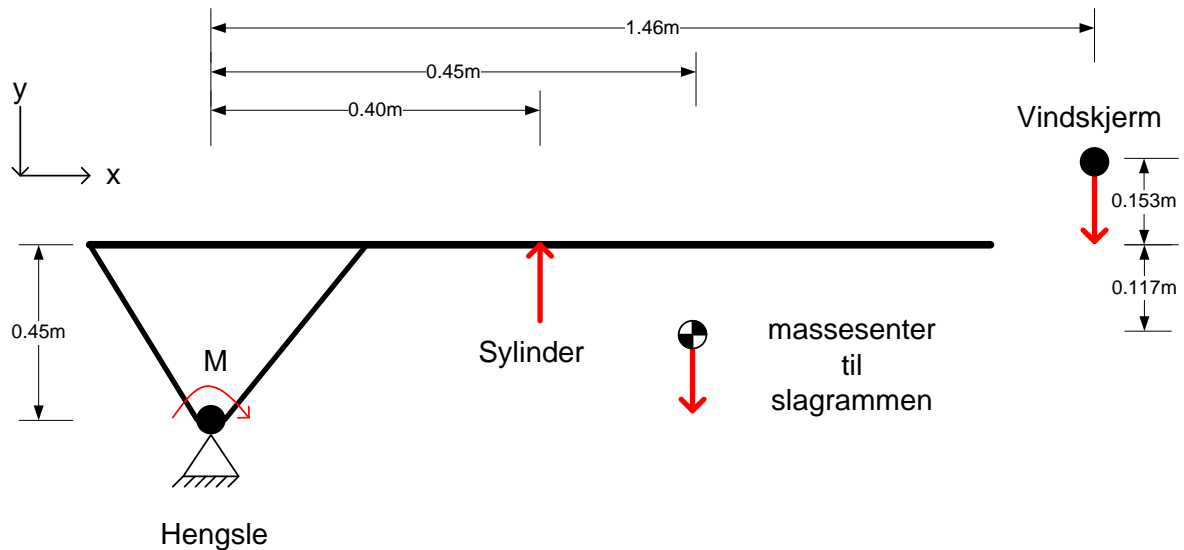
Figur 55 Sylindere resultat fra slagrammen mot rullerammen (grønn) viser 11054N

For å verifisere simuleringresultatene ble en forenklet kraftanalyse vist under. Ved å bruke en forenklet modell av slagrammen (Figur 56) ble det utført en kraftanalyse med håndberegninger. Kraftene som virket på slagrammen skyldes vekten av slagrammen og vindskjermen og ble funnet fra de ferdige modellene i SolidWorks sammen med akselerasjonene funnet fra målingene. Slik at kreftene som virker på jiggeren er gitt i formel (5.2).

Totalkreftene fra slagrammen og vindskjermen	Resultat	
$Slagramme\ i\ y * 9 * g$	6798.3N	(5.2)
$Slagramme\ i\ z * g$	755.4N	
$vindskjerm\ i\ y * 9 * g$	3531.6N	
$vindskjerm\ i\ z * g$	392.4N	

Hvor  
 Slagramme = 77Kg  
 vindskjerm = 40Kg  
 $g = 9.81m/s^2$

Med måleverktøy i SolidWorks fant man avstandene som var nødvendige for massesenteret og vindskjermens plassering på slagrammen (Figur 56).



Figur 56 forenklet modell for visning av masse senter og krefter på slagrammen

For den forenklete modellen ble det brukt momentbetraktning og kraft analyse for å finne kreftene som virket på sylinderfeste og de 2 hengslene.

Momentet om z for hengselen vist med rød pil og M rundt hengselen på Figur 56 gir kreftene som virker på Sylinderen med formel (5.3)

$$Sylinder = \frac{Slagramme\ i\ y * 0.45 + Slagramme\ i\ z * 0.33 + Vindskjerm\ i\ y * 1.46 + vindskjerm\ i\ z * 0.603}{0.4} \quad (5.3)$$

Hvor

Slagramme i y = 6798.3N

Slagramme i z = 755.4N

Vindskjerm i y = 3531.6N

Vindskjerm i z = 392.4N

Kraften som virker på sylinderen er 21753N. Dette kan brukes sammen med kraftanalyse i y retning og sette opp uttrykket for Hengslekraften med formel (5.4).

$$Hengsle = Slagramme - Sylinder + Vindskjerm \quad (5.4)$$

Hvor

Slagramme = 6798.3N

Sylinder = 21753N

Vindskjerm = 3531.6N



Kraften som hengslene må klare å holde var 5711.6N hver, siden strukturen har 1 på hver side som holder slagrammen. Dette medførte at strukturen som holder sylindere måtte være i stand til å tåle belastningen på 21753N alene samt at hele rullerammen måtte tåle en belastning som tilsvarte sylindrekraften og begge hengslene uten å overskride materialenes egenskaper. Hvis man sammenlikner kreftene som inntreffer i sylindere ved simulering mot håndberegninger ser man at avviket er på

$$22108\text{N} - 21753\text{N} = 355\text{N}$$

eller ca 2% noe som er rimelig å forventet siden avstander ved håndberegning kan være noe feil, og SolidWorks bruker flere variabler for å komme frem til sitt resultat. Kreftene som inntreffer i hengslene har et avvik på

$$5985.6\text{N} - 5711.6\text{N} = 274\text{N}$$

eller ca 5%. Verdiene ligger innenfor forventet resultat med det største avviket på ca 5% for hengslene.

#### 5.4.3 Test 2 Styrketest for sylindrefester på Slagrammen

Test 2 ville vise at forslag 2 for sylindrefestene er sterke nok til å tåle belastningen som kommer fra slagrammen. Ved å lage en forenklet modell i Solid Works av aksselfestet på slagrammen kunne man finne ved simulering hvilke spenninger som oppstod på modellen. Kraften på 22108N er funnet i test 1 for kraften som virket på sylindere. Denne ble påført som trykk med formel (5.5) over et effektivt areal som tilsvarte flaten mellom sylindrefeste og akselen på slagrammen.

$$P = \frac{\text{Sylinder}}{A} \quad (5.5)$$

Hvor

P = trykk (MPa)

Sylinder = 22108N sylindrekraft funnet i test 1

A = 20\*25mm<sup>2</sup> (funnet i solid Works modellen)

Trykket ble på 44.216MPa og ble påført på kontaktflaten mellom sylindere og akselen symbolisert med røde piler på Figur 57. Dette var kraften som ble funnet i test 1 fra slagrammen på sylindere. Akselen skulle kunne rotere inne i aluminiumsrøret men den skulle ikke kunne gå inn i materialet. Rotasjonen av stålakselen blir holdt i ro av en stoppepinne som blir festet mellom akselen og støttematerialet på utsiden av løsningen. Modellen ble også simulert låst for områdene som skulle være festet til resten av strukturen, dette for å anta konservativ simulering vist med grønne piler på Figur 57. Materialene som er brukt er St-52 i sylindereakselen og resten av strukturen er av aluminiumet EN-AW 6082-T6

Antagelser for test 2 blir forenklet gjengitt under.

Krefter som virker på aksselfestene

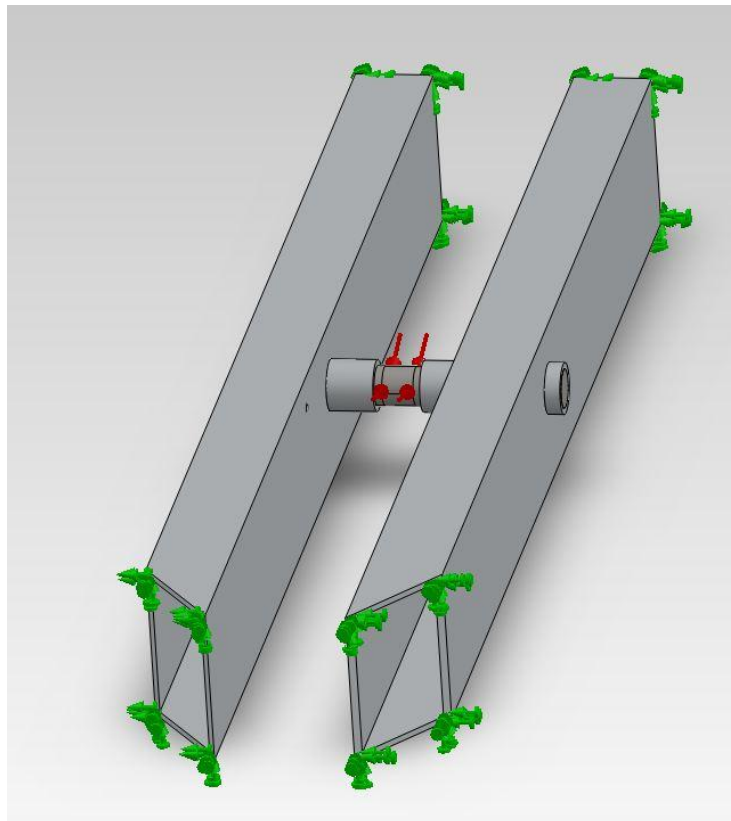
- Trykk på 44.216MPa blir satt på kontaktområdet til sylindere, gjengitt på Figur 57 med røde piler.

Sperrene for test 2 var at

- Området mellom sylindrefeste og slagrammen ble satt til at materialene kunne rotere mellom hverandre, men ikke gå inn i hverandre.
- Endene av bjelkene som vist med grønne piler (Figur 57) skal være fast ansente for å vise at den satt fast til resten av strukturen på rullerammen.

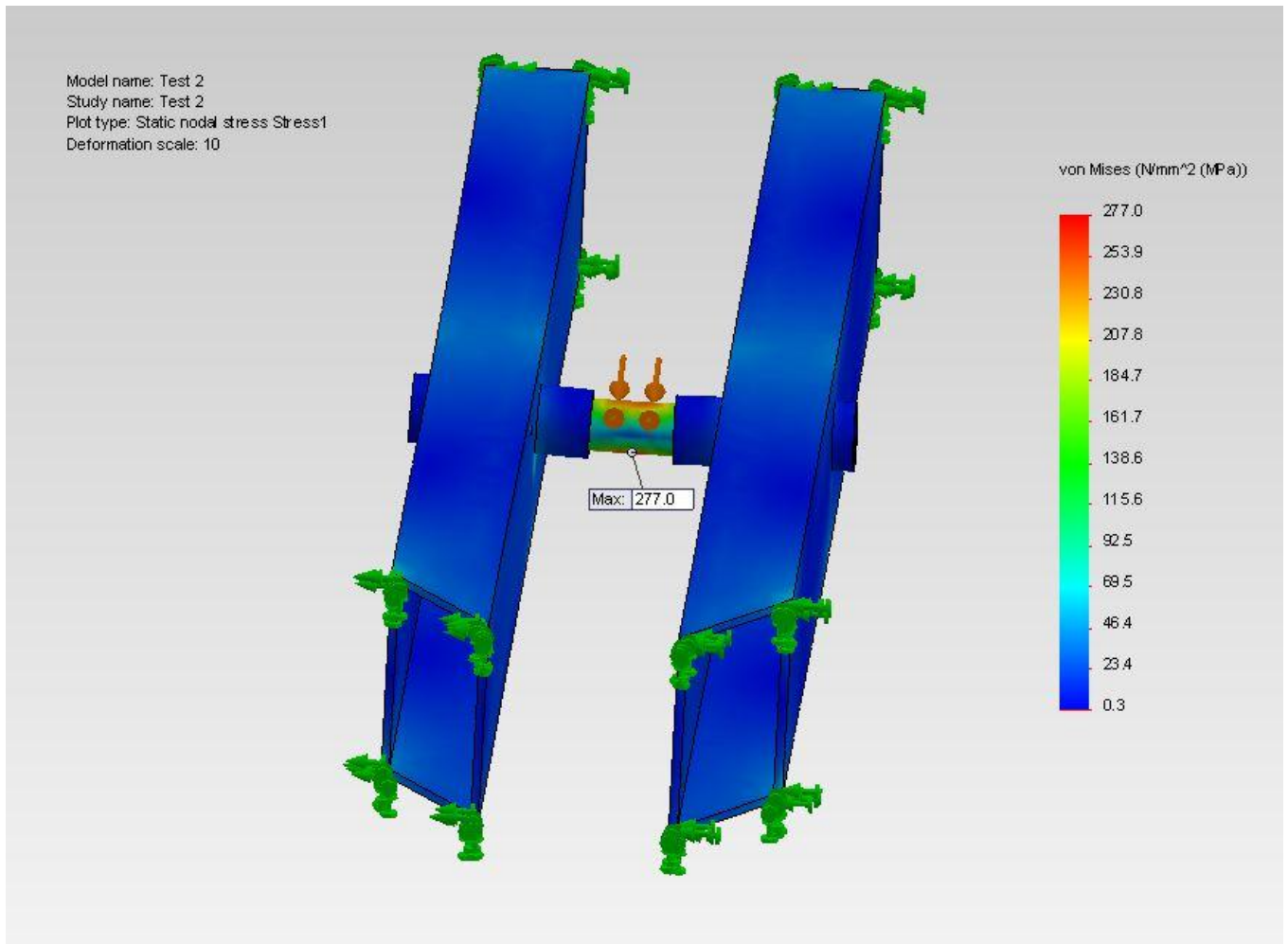
Materialeegenskapene for simuleringen var

- Aluminium 6082-T6
  - e- modul = 70GPa
  - Flytegrense = 210MPa
  - Bruddgrense = 340MPa
- Stål St-52
  - e- modul = 210GPa
  - Flytegrense = 355MPa
  - Bruddgrense = 510MPa



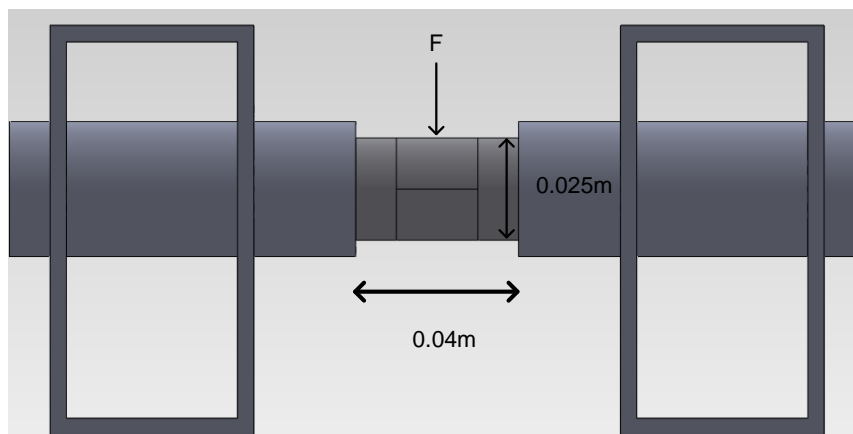
Figur 57 Styrketest for slagrammen

Ved å kjøre denne simuleringen kunne man etterpå se hvor stor flytespenning og nedbøying som oppstod for den konservative modellen i SolidWorks. Ved å se på Figur 58 ser man at den største flytespenningen som inntreffer på den forenklete modellen er 277MPa. Denne spenningen opptrer kun i et lite område på akselen som er av materialet St-52 med en maks flytespenning på 355MPa. Denne har da en god sikkerhet mot flyt i seg selv. Resultatet var lavt i forhold til resultatet som ble funnet i test 1 på 339MPa. Dette kan skyldes forskjell i størrelse på modellene sammen med mengde materialer.



Figur 58 flytespenningen for test 2 på 277MPa

Ved å se på den opptredende spenningen og nedbøyingen som kun skjer i stålet for armen som stopper hvor støttematerialet begynner å virke (Figur 59), kan man ved å bruke formel (5.6) [22] på test 2 og test 3 for å finne en prosentendring i resultatene som da kan sammenliknes med de registrerte resultatene fra simuleringene. Lengden for test 2 ble da avstanden mellom punktene hvor stålet går inn i røret festet til aluminiumbjelken, altså 0.04m vist på Figur 59 og kraften F ble satt til 22108N.



Figur 59 akslingsavstanden på stålet

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W} = \frac{\left(\frac{F * L}{4}\right)}{\left(\frac{\pi * d^3}{32}\right)} \quad (5.6)$$

Hvor

$\sigma_b$  = Bøyepening (Pa)

$M_b$  = Bøyemoment [Nm]

W = Motstandsmoment ved bøyning ( $m^3$ )

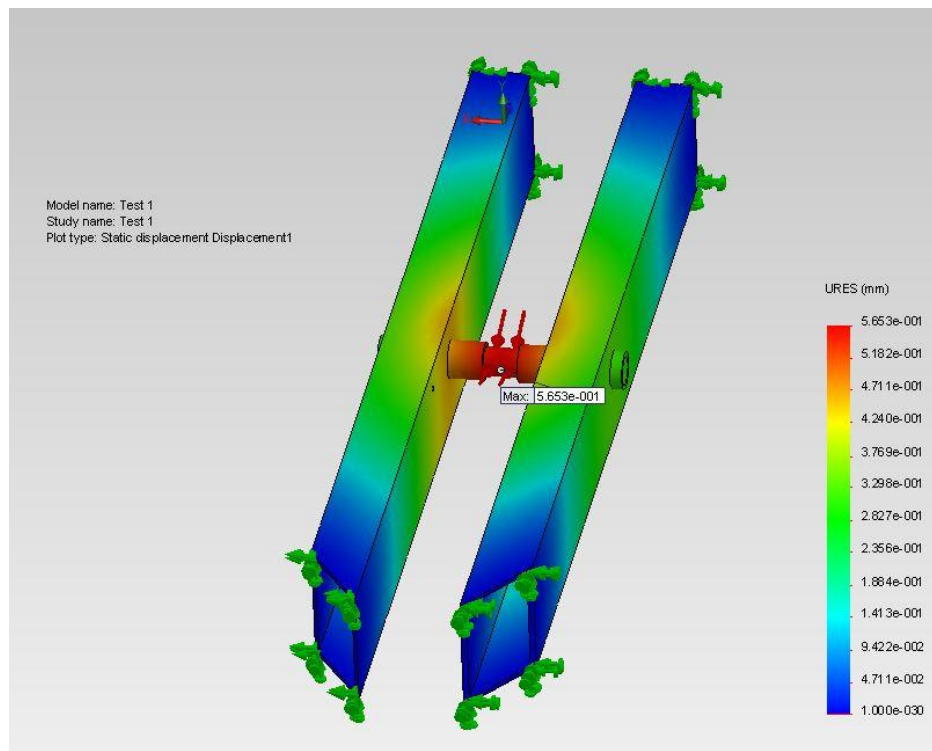
F = 22108N kraften fra sylindren

L = 0,04m avstanden mellom senter av profilene

d = 0,025m diameteren til sylinderakselen

Ved håndberegning opptrer en bøyepening på 144MPa. Dette resultatet er langt under resultatet funnet i SolidWorks. Grunnen til dette er at formelen ved håndberegning kun tar hensyn til stål avstanden som er på 0.04m, mens SolidWorks modellen tar hensyn til alt aluminiumsmaterialet på utsiden av akselen sammen med en lengre arm. Denne håndberegningen ble sammenliknet med flytespenningen fra håndberegning i test 3 for å finne prosentendringen mellom resultatene for så å bli sammenliknet med den samme prosentendringen fra simuleringsresultatene. Dette blir diskutert i slutten av test 3.

Resultatet for nedbøyning i Solidworks på forenklet akselfeste på slagrammen blir vist i Figur 60. Denne ble vist til å være på 0.56mm noe som er godkjent siden lengden mellom de nærmeste veggene er 90mm og diameteren på akselen er 25mm. Denne nedbøyingen vil også kun opptre i små øyeblikk når kreftene på slagrammen opplever de største kreftene. Materialstivheten er høy og spenningen er under flytespenningen slik at strukturen vil gå tilbake til sin originale posisjon når jigger ikke kastes like hardt.



Figur 60 nedbøyingen for test 2 ble på 0.56mm

Nedbøyningen ved håndberegninger ble også regnet ut med utgangspunkt i kun det synlige akselstålet slik at avstanden det blir sett på er 0.04m, sammen med punktlasten på 22108N. Denne ble evaluert ved regning ut fra formel (5.7) for punkt last med opplagring i begge sidene

$$\frac{F * L^3}{48 * e * I} \quad (5.7)$$

Hvor

F = 22108N

L = 0.04m

e -modul=  $2.1 * 10^{11}$ Pa

I = Treghetsmoment

Treghetsmomentet for en hel rund sirkel er funnet ved (5.8)

$$I = \frac{\pi * d^4}{64} \quad (5.8)$$

Hvor

d = 0.025m<sup>4</sup> (diametere til akselen)

Dette gav en nedbøyning ved regning på 0.0073mm som er forventet med tanke på at det er stål gruppa regner med og nesten ingen arm som kan bli bøyd. Etter å ha funnet ut at slagrammen med utbedringer tålte påkjenningen ble det sett på om friksjonskraften til skruene som holder hengslene sammen med jigggen var sterke nok til å tåle påkjenningen. Dette er utregnet og forklart under i 5.4.4

#### 5.4.4 Friksjon mellom stål akselen og aluminiums jigg

Skruene som holder Slagrammen fast til akselen er av type "6KT-SKR 4017 8.8E M10x80". Dette betyr at skruene som blir brukt er en M10 skruer som er 80mm lang og har en strekkfasthet på 800MPa. Utregningene under tar utgangspunkt i størst påkjenning hvor all vekt på jigggen legger seg over en av akselstøtten på slagrammen, slik at den totale kraften virker på 4 skruer. Vekten på jigggen blir regnet konservativt og det blir antatt en masse på slagrammen og vindskjermen på 400kg. Dette er dobbelt så mye som SolidWorks modellene gir for slagrammen og vindskjermen.

Det ble brukt en momentnøkkel for å se når tiltrekningsmomentet ble for stort og deformasjon av materialet begynte. Denne grensen ble avlest til 5kgm på momentnøkkelen, slik at man får et tiltrekningsmoment ved å bruke formel (5.9) som ved regning gav 49.05Nm. Hvor ca 10 % går til forspenningskraft (strek) i skruen. Ca 40 % går til gjengefriksjonen og 50 % til friksjonen mellom mutter og underlag[23].

$$M_T = v * g \quad (5.9)$$

Hvor:

$M_T$  = Tiltrekningsmoment

v= 5kgm vekt avlest på momentnøkkel

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Ved å se på informasjonen for en M10 metrisk gjenge [24] har den et spenningsareal på  $58 \text{ mm}^2$ . Spenningsarealet blir regnet som halvparten av midtdiameteren lagt sammen med den nye lille diameteren. Slik at diameteren for spenningsarealet blir  $8.59 \text{ mm}$  funnet ved formel (5.10).

$$d_s = \sqrt{\frac{4 * A_s}{\pi}} \quad (5.10)$$

Hvor:

$d_s$  = Diameter for Spenningsarealet mm

$A_s = 58 \text{ mm}^2$  Spenningsarealet for en M10 skrue

Diameteren settes sammen med tiltrekningsmomentet i formel (5.11) for å finne forspenningen som blir påført en skrue.

$$F_0 = \frac{M_T}{K * d_s} \quad (5.11)$$

Hvor:

$F_0$  = Forspenningen til skruen N

$M_T = 49,050 \text{ Nm} = 49050 \text{ Nmm}$

$d_s = 8.59 \text{ mm}$

$K = 0.2$

$K$  er en eksperimentell faktor [23] og er  $0.2$  for de vanligste tilfellene. Denne faktoren er først og fremst avhengig av friksjonsforholdet mellom gjengene og underlaget, material, overflatebehandling, smøring m.m. Ved å sette inn tiltrekningsmomentet og diameteren for spenningsarealet finner man forspenningen for en skrue. Dette gir en forspenning på  $28550 \text{ N}$  for en skrue. Total friksjonskraft som blir laget av hengsleskruene blir da funnet ved formel (5.12)

$$F_{\text{friksjon}} = \mu * F_0 * a_{\text{skruer}} \quad (5.12)$$

Hvor:

$F_{\text{friksjon}}$  = Kraften som trengs for å overvinne friksjonen mellom jigg og aksel

$\mu = 0.61$  Friksjonsfaktoren mellom aluminium og stål [25]

$F_0$  = Forspenninga

$a_{\text{skruer}} = 4$  antall skruer

Ved å bruke resultatene om forspenningen og friksjonsfaktoren finner man at friksjonskraften som må påføres for elementene begynner å skli på hverandre er  $69.662 \text{ kN}$ . Ved å se på kraften som blir generert fra den konservative påkjenning får gruppa  $35.3 \text{ kN}$  ved formel (5.13). Dette gir en sikkerhetsfaktor på nesten  $2$  på at friksjonen ikke vil rykke mellom akselen og aluminiums vegg.

$$\text{Konservative påkjenningen} = \text{vekt} * 9 * g \quad (5.13)$$

Hvor

Vekt = 400Kg

$g = 9.81\text{m/s}^2$

#### 5.4.5 Test 3 Styrketest for sylindrefester på rullerammen

Test 3 ville vise at forslag 2 for sylindrefestene var sterke nok til å tåle belastningen som går via sylinderen ned på rullerammen. Ved å lage en forenklet modell i Solid Works av akselfestet på rullerammen kunne man finne ved simulering hvilke spenninger som oppstod i modellen på rulleramme forslaget. Det ble påført en kraft på 22108N som var funnet i test 1 for kraften som virket fra sylinderen. Denne kraften ble påført som trykk med formel (5.14) over et effektivt areal som tilsvarte flaten mellom sylindrefeste og sylindereksele på rullerammen.

$$P = \frac{\text{Sylinder}}{A} \quad (5.14)$$

Hvor

P = trykk (MPa)

Sylinder = 22108N sylinderekraft funnet i test 1

$A = 20 \cdot 25\text{mm}^2$

Det ble satt et trykk på 44.216MPa på et effektivt areal som skal være festet mellom akselen og sylinderen, vist med røde piler på Figur 61. Akselen skulle kunne rotere inne i aluminiumsrøret men den skulle ikke kunne gå inn i materialet. Rotasjonen av stål akselen ble holdt i ro av en stoppepinne som blir festet mellom akselen og støttematerialet på utsiden av løsningen. Endene av bjelkene skulle regnes som faste siden dette skulle gjenspeile at områdene er festet i resten av strukturen, det er vist med grønne piler på Figur 61. Materialene som er brukt er St-52 i sylindereksele og resten av strukturen er av aluminiumet EN-AW 6082-T6.

Antagelser for test 3 blir gjengitt forenklet under.

Krefter som virker på akselfestene

- Trykk på 44.216MPa blir satt på kontaktområdet til sylinderen, gjengitt på Figur 61 med røde piler.

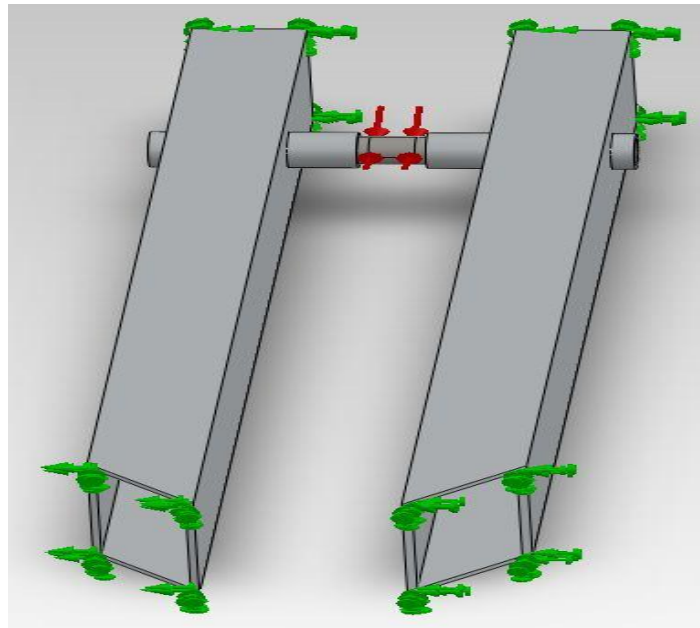
Sperrene for test 3 var at

- Området mellom sylindrefeste og slagrammen blir satt til at materialene kunne rotere mellom hverandre, men ikke gå inn i hverandre.
- Endene av bjelkene som vist med grønne piler (Figur 61) skal være fast anspente for å vise at den sitter fast til resten av strukturen på rullerammen.

Materialeegenskapene for simuleringen var

- Aluminium 6082-T6
  - e- modul = 70GPa
  - Flytegrense = 210MPa
  - Bruddgrense = 340MPa
- Stål St-52
  - e- modul = 210GPa
  - Flytegrense = 355MPa

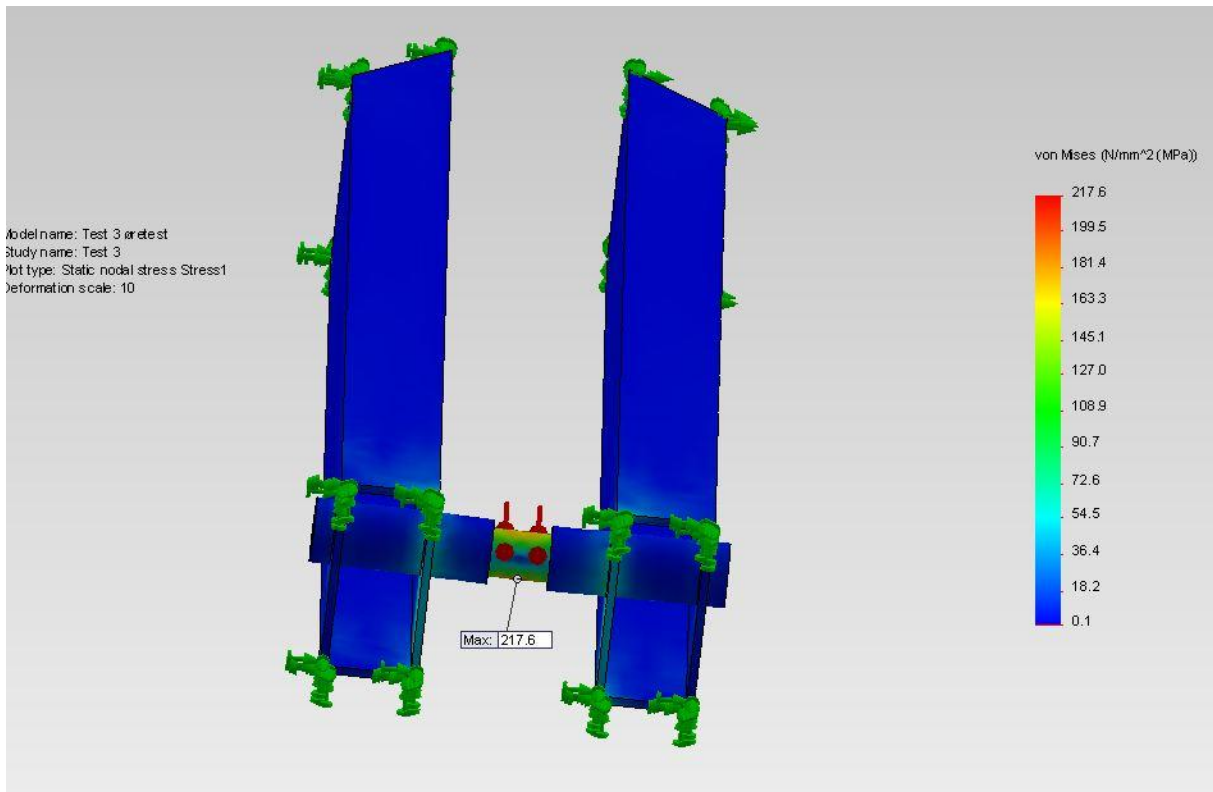
- Bruddgrense = 510MPa



Figur 61 Styrketest for rullerammen

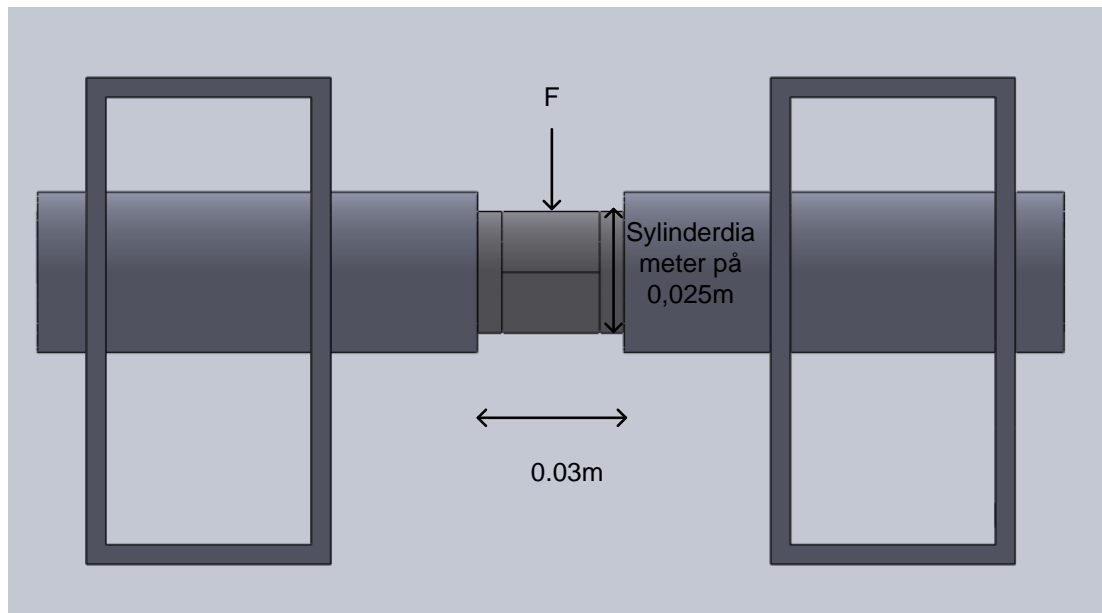
Ved å kjøre denne simuleringen kunne man etterpå se hvor store flytespenninger og nedbøyinger som oppstod på den konservative modellen i SolidWorks. Ved å se på Figur 62 ser man at den største flytespenningen som inntreffer på den forenklete modellen er 217.6MPa. Denne spenningen opptrer kun i et lite område på akselen som er av materialet St-52 med en maks flytespenning på 355MPa. Denne har da en god sikkerhet mot flyt sammenliknet med den maksimale flytespenningen materialet tåler. Dette kan skyldes at område kraften blir fordelt ut over blir større sammenliknet med samme løsning på slagramme ved test 2. Kraften som virker i Test 3 ligger også nærmere flere bjelker på jiggen enn test 2 noe som hjelper til med å stive opp området.





Figur 62 Flyt spenningresultatet for test 3 på 217.6MPa

Ved å se på den opptredende spenningen og nedbøyingen som kun skjer i stålet for armen hvor støttematerialet begynner å virke (Figur 63). Kan man ved å bruke formel (5.15) på test 2 og test 3 for å finne en prosentendring i resultatene som da kan sammenliknes med de registrerte resultatene fra simuleringene. Lengden for test 3 ble da avstanden mellom punktene hvor stålet går inn i aluminiumsrøret på bjelken, altså 0.03m sammen med kraften  $F$  som ble satt til 22108N på Figur 63.



Figur 63 Akselavstanden på stål for rullerammen

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W} = \frac{\left(\frac{F * L}{4}\right)}{\left(\frac{\pi * d^3}{32}\right)} \quad (5.15)$$

Hvor

$\sigma_b$  = Bøyepening (Pa)

$M_b$  = Bøyemoment (Nm)

W = Motstandsmoment ved bøyning ( $m^3$ )

F = 22108N kraften fra sylindere

L = 0.03m avstanden mellom senter av profilene

d = 0.025m diameteren til sylinderakselen

Ved håndberegning opptrer en bøyepening på 108MPa. Denne ble sammenliknet med bøyepening fra håndberegning test 2 for å finne prosentendringen mellom resultatene får så å sammenlikne med de samme resultatene fra simuleringen.

Endringen av bøyepening på håndberegningene ble da 75 % fra forslaget på rullerammen til slagrammen med formel (5.16).

$$\frac{\sigma_{b\_Rullerammen}}{\sigma_{b\_Slagrammen}} * 100 \quad (5.16)$$

Hvor

$$\sigma_{b\_Rullerammen} = 108MPa$$

$$\sigma_{b\_Slagrammen} = 144MPa$$

Ved å se på det samme tilfellet for de simulerte resultatene på test 2 og 3 får gruppa en endringsprosent på 78.5 % fra rullerammen til slagrammen ved formel (5.17).

$$\frac{\sigma_{b\_Rullerammen}}{\sigma_{b\_Slagrammen}} * 100 \quad (5.17)$$

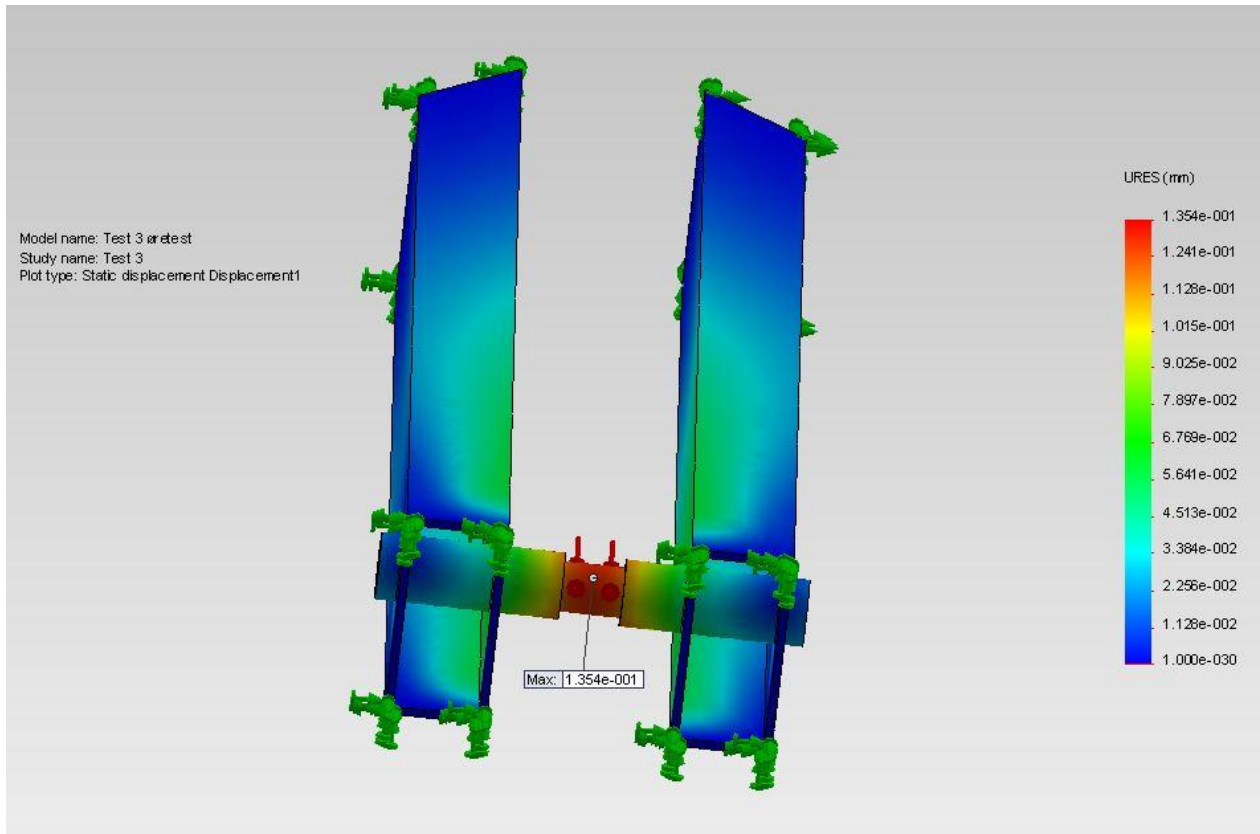
Hvor

$$\sigma_{b\_Rullerammen} = 217.6MPa$$

$$\sigma_{b\_Slagrammen} = 277MPa$$

Denne endringsprosenten er under 5 % forskjellig mellom håndberegningene og de simulerte verdiene, noe som sier at resultatene som er funnet ved simulering er som forventet. Den avvikende endringsprosenten kan komme av at ved håndberegninger er det brukt en mye mindre arm for kraften som virker på akselen, samtidig som det er sett bort ifra det ekstra materialet som det blir regnet med i simuleringen.

Resultatet for nedbøyningen i SolidWorks på forenklet aksselfeste på rullerammen blir vist i Figur 64. Denne ble vist til å være på 0.13mm noe som er godkjent siden avstanden mellom de nærmeste veggene er 90mm og diameteren på akselen er 25mm. Denne nedbøyning er en del mindre enn den som ble funnet i test 2 på slagrammen. Dette kommer av at avstanden mot resten av jiggen er forskjellig i de 2 tilfellene. Materialstivheten er så høy og den er under flytespenningen slik at den vil gå tilbake til sin originale posisjon når jiggen står stille.



Figur 64 Forflytning for test 3 på 0.13mm

Nedbøyingen ved håndberegninger ble også regnet ut med utgangspunkt i kun det synlige akselstålet slik at avstanden det ble sett på er 0.03mm, sammen med en punktlast på 22108N. Denne ble evaluert ved regning ut fra formel (5.18) for punkt last med opplagring i begge sidene.

$$\frac{F * L^3}{48 * e * I} \quad (5.18)$$

Hvor

F= 22108N

L = 0.03m er lengden mellom sentrum av profilene

e-modul=  $2.1 * 10^{11}$ Pa

I = Treghetsmoment

Treghetsmomentet er funnet ved (5.19)

$$I = \frac{\pi * d^4}{64} \quad (5.19)$$

Hvor

d =  $0.025m^4$  (diametere til akselen)

Dette gav en nedbøyning ved regning på 0.003mm som er forventet med tanke på at det er stål gruppa regner med og nesten ingen arm som kan bli bøyd. Resultatet fra simuleringen tilsier at rullerammen konsentrert vil oppleve en nedbøyning på 0.13mm noe som vil gå tilbake til original

stilling når bevegelsen slutter siden det ikke vil bli noe deformasjon på aksselfeste som opplever den største flytespenningen i testen.

#### 5.4.6 Test 4 Påvirkning fra slagrammen på rullerammen

Resultatene i test 3 viser at festene til sylindere tåler påkjenningen den blir laget for. Så neste steg var å teste hele rullerammen for å se hvordan den blir påvirket av kreftene som blir overført fra slagrammen, via sylindere og hengslene. Fra test 1 ble kreftene som virket på hengslene og sylindere funnet. Disse var henholdsvis 5985.6N på hver hengsle og 22108N på sylinderefestet. Ved å lage en utvidet modell for rullerammen ble det gjort en del antagelser. Kreftene som ble overført fra slagrammen ble omgjort til trykk med formel (5.5). Disse ble på henholdsvis 44.216MPa på sylindere og 4.866MPa på hver av hengslene ved sine effektive områder vist med røde piler på Figur 65. Rullerammen ble også tilført en kraft som er massen til rullerammen ganget med 1 gange gravitasjonen horisontal retning for å være kraften som driver jiggen fremover. Akselen skulle kunne rotere inne i aluminiumsrøret, men den skulle ikke kunne gå inn i materialet. Rotasjonen av stål akselen blir holdt i ro av en stoppepinne som blir festet mellom akselen og støttematerialet på utsiden av løsningen. Hjulfestene blir låst i alle utenom roterende retning for å simulere at den sto på hjul, disse festene er merket med grønne piler på Figur 65. Materialene som er brukt er St-52 i sylindereakselen og hengslene og resten av strukturen er av aluminiumet EN-AW 6082-T6

Krefter som virker på aksselfestene i test 4 er

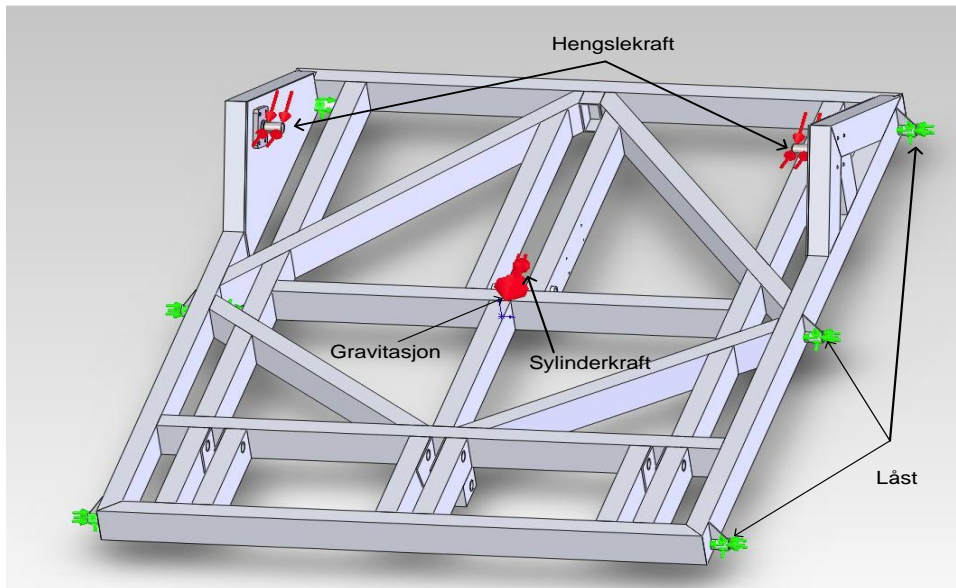
- Trykk på 44.216MPa ble satt på kontaktområdet til sylindere, Figur 65 ved Sylinderekraft
- Trykk på 4.866MPa ble satt på kontaktområdet til hengslene, Figur 65 ved Hengslekraft

Antagelsene som ble tatt for test 4 var at

- Området mellom sylinderefeste og slagrammen ble satt til at materialene kunne rotere mellom hverandre, men ikke gå inn i hverandre.
- Endene av bjelkene som vist med grønne piler (Figur 65) skal være fast ansente i translatorisk bevegelse, men de kan utføre roterende bevegelse for å symbolisere fastspent til hjul.

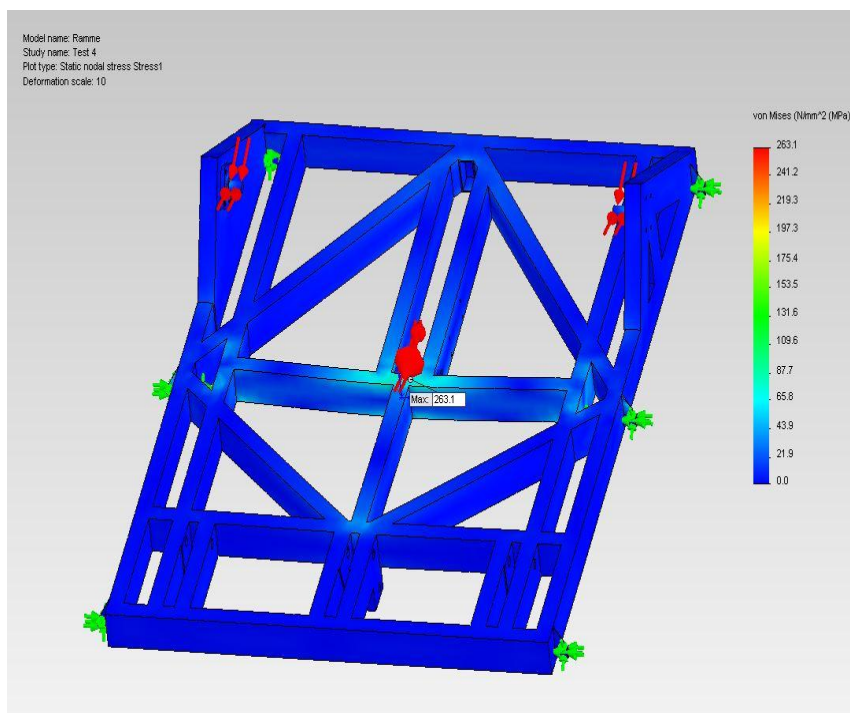
Materialens egenskapene for simuleringen var

- Aluminium 6082-T6
  - e- modul = 70GPa
  - Flytegrense = 210MPa
  - Bruddgrense = 340MPa
- Stål St-52
  - e- modul = 210GPa
  - Flytegrense = 355MPa
  - Bruddgrense = 510MPa



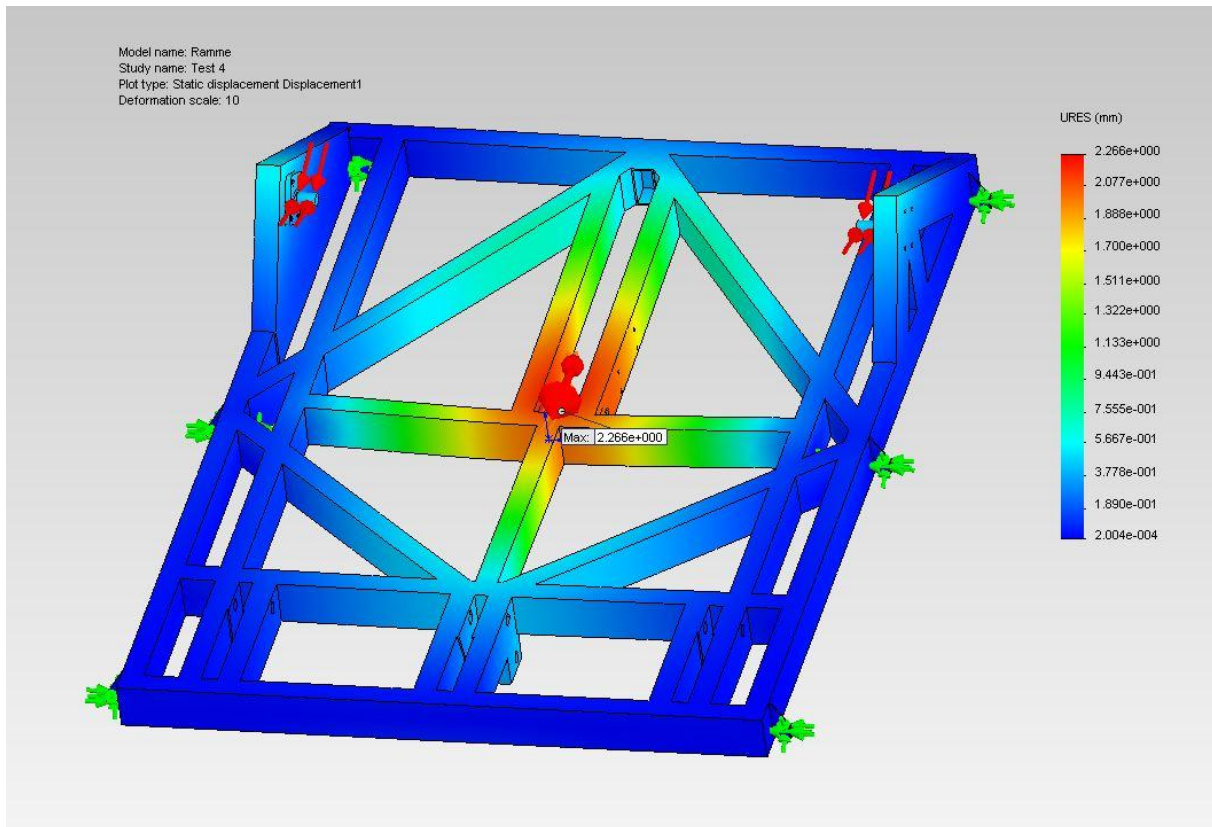
Figur 65 Plassering av krefter og anker punkter på rullerammen

Etter simuleringen kunne man i SolidWorks se på hvordan kreftene fra slagrammen påvirket strukturen på rullerammen. De interessante områdene var hengselefestene, sylindrefeste, flytespenningen og nedbøyingen. Disse var interessante siden de ville si noe om hvordan kreftene fra slagrammen ville påvirke rullerammen. Ved å se på Figur 66 ser man at flytespenningen øker med 45.5MPa ved å utvide jiggen til å omfatte hele rullerammen og ikke bare den forenklete modellen i test 3. Denne flytespenningen stiger da til 263.1MPa noe som er godt innenfor maks flytespenning på 355MPa for akselen, hvor spenningen legger seg. Siden gruppen øker område kreftene virker på samtidig med at kreftene på rullerammen øker fra test 3 vil det være forventet at resultatene stiger på simulatoren. Dette er innenfor tillatte grenser for materialet.



Figur 66 flyt resultatene for test 4 med 263.1MPa

Resultatet for nedbøyingen på rullerammen blir vist i Figur 67. Denne ble målt fra SolidWorks til å være på totalt 2.26mm noe som ikke er mye når man i test 4 ser på hele rullerammen. Mulige grunner til at nedbøyingen øker fra 0.13mm på test 3 til 2.26mm på test 4 kan være at festepunktene på rullerammen blir forskjøvet lenger vekk fra stedet hvor kreftene presser ned. Dette fører da til at armene har lettere for å bøye seg.



Figur 67 nedbøying for test 4 på 2.26mm

Ved å se på disse testene som er blitt utført for jiggeren ser man at forslag 2 som ble valgt tilfredsstillende kravene til plassering av sylindrefester for hastigheter krevd av målingene, flytespenninger og nedbøying resultater er innenfor maks tillatt verdier for materialene. Disse resultatene er også i samsvar med håndberegninger slik at designet fungerer for formålet det er blitt laget for.

Etter at forslag 2 viste seg å være sterkt nok til å klare påkjenningene ut fra simuleringene og håndberegningene ble den ferdige jiggeren med endringer tegnet inn i SolidWorks og vises på Figur 68. Totale prosentendringen i flytegrenser mellom slagrammen og rulleramme er gitt i (5.20)

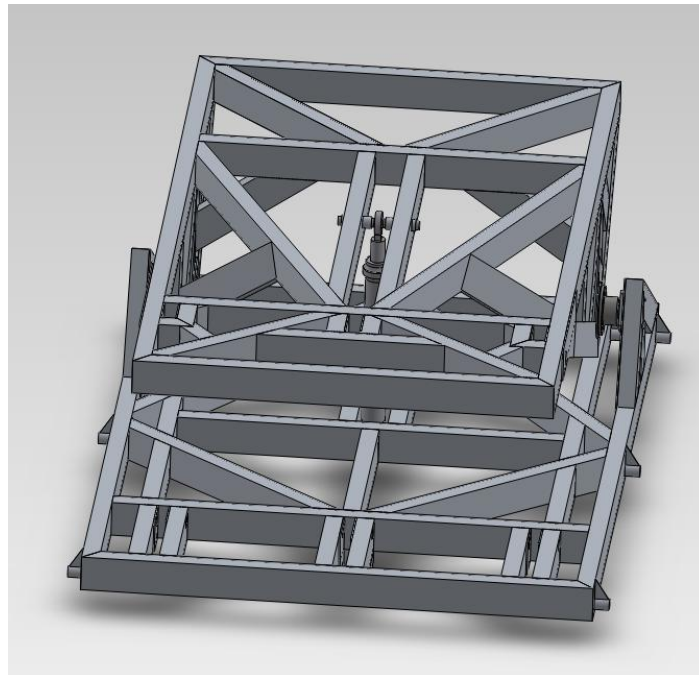
$$\frac{\sigma_{b\_Rullerammen}}{\sigma_{b\_Slagrammen}} * 100 \quad (5.20)$$

Hvor

$$\sigma_{b\_Rullerammen} = 263.1\text{MPa}$$

$$\sigma_{b\_Slagrammen} = 339\text{MPa}$$

Ser at rullerammen er 77% av slagrammen ved flytespenningen fra formel (5.20).



Figur 68 Jiggen med forbedringene

#### 5.4.7 Begrunnelse for å velge et annet material

Ved å bruke "Hook's law" fra Formel (5.21) [26] som gjelder i det lineære området [A B] på Figur 69 for St-52. Kan man vise at flytespenningen til et material er avhengig av forholdet mellom stress og strain.

$$\{\sigma\} = [D] * \{\varepsilon\} \quad (5.21)$$

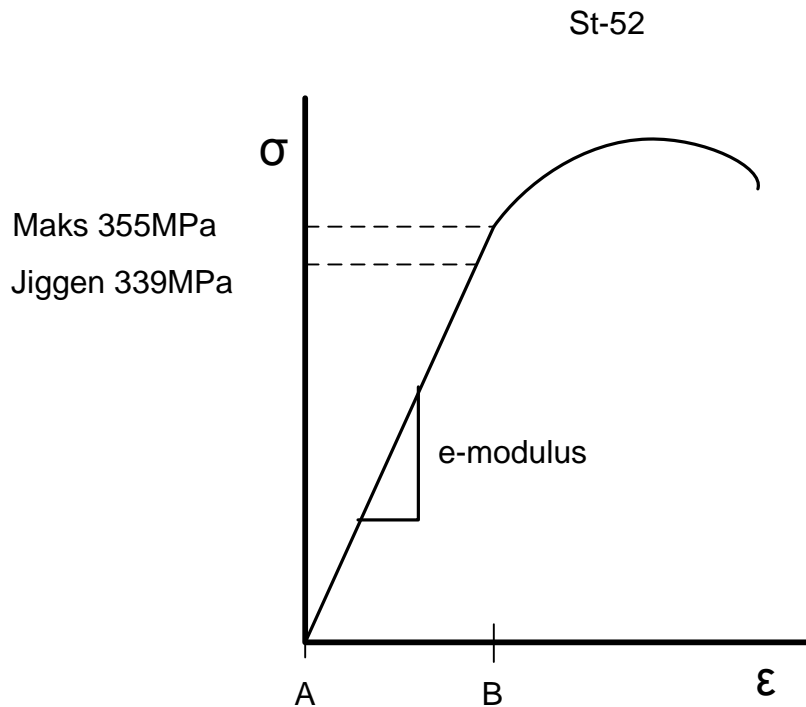
Hvor

$\sigma$  = Stress

D = stress/strain matrise

$\varepsilon$  = strain

Ut ifra målingene fra testene ser vi at høyeste spenningen som inntreffer ved testene er 339MPa, ST-52 stålet har maks grense på 355MPa. Denne er veldig nær varig deformasjon, derfor ønsker gruppen å skifte ut materialet til et med høyere flytegrense. Dette vil gi en bedre sikkerhet mot varig deformasjon i materialet.



Figur 69 Stress/Strain diagram for ST-52

Materialet kan byttes hvis forholdet  $\frac{d\sigma}{d\varepsilon}$  er det samme for begge materialene. Dette forholdet er avhengig av poissons forhold og e-modul fra formel (5.22).

$$[D] = \frac{e}{1-\nu^2} * \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix} \quad (5.22)$$

$e$  = e-modul motstandsevnen til materialet mot elastisk deformasjon

$\nu$  = poissons forhold er forholdstallet mellom strekking i en akse og krymping vinkelrett på aksene

## 5.5 Valg av posisjonssensorer

Det ble sett på mulige posisjonssensorer som mikro pulse transduser, LVDT<sup>2</sup> og RVDT<sup>3</sup> fra forskjellige produsenter for å kunne måle bevegelsene til sylindrene [27, 28]. Disse ble sett på fordi de er nesten upåvirket av omgivelsene slik at avstandsmålingen blir veldig nøyaktig. De er også lett tilgjengelige og kan måle forflytning fra noen milliondeler av en mm og opp. Det ble sett på produkter fra

- Primatec
- RS-online
- Metric industrial AS
- RDP-group
- Farnell
- STI Technology

<sup>2</sup> Lineær variabel differensial transformer

<sup>3</sup> Roterende variabel differensial transformer



- AST Macro System
- Positek.

Posisjonssensoren som ble valgt til jiggen var en mikro puls transduser av type "BTL6-E500-M0350-PF-S115" sammen med en magnet av typen "BTL5-F-2814-1S" og en bevegelig stang av typen "BTL2-G510-0350" fra Primatecs underleverandør Balluff med spesifikasjoner [29]. Delene som er valgt og satt sammen er vist på Figur 70.



Figur 70 Mikro puls transduser fra Baluff

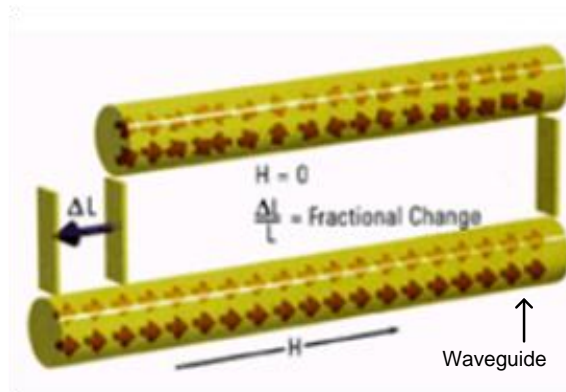
Denne ble valgt fordi bevegelsen den gjør kan regnes som slitasjeløs slik at levetiden er meget lang og den er ikke sårbar for støt og vibrasjoner. Posisjonssensoren kan måle avstander opp til 350mm, noe som gir en sikkerhetsavstand på gruppas maks målelengde på 300mm. Info finnes i referansene om lengder [30] og datablad [31] finnes.

Oppløsningen til posisjonssensoren er større enn  $5\mu\text{m}$  [Vedlegg M]

### 5.5.1 Virkemåten til en mikro puls transduser

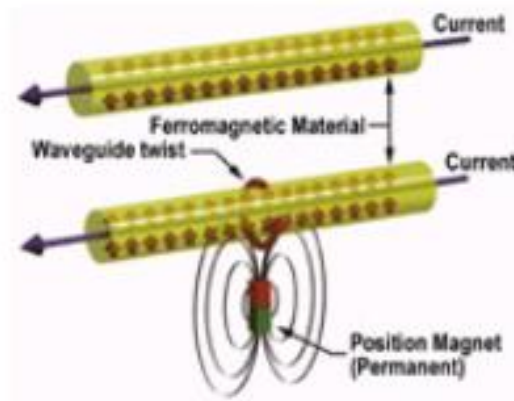
En Mikro [32] puls transduser (Figur 73) er bygd opp av et rør med nikkelstål legering (waveguide) og en kobberledning (som har en diamagnetisme<sup>4</sup> [33] egenskap) trukket gjennom. Ved å sette en strøm puls på røret fører dette til at waveguiden som er ferromagnetisk [34] lager et magnetisk felt som roterer rundt lengden av røret. Dette vil si at når materialet blir tilført et magnetisk felt i form av for eksempel en strøm vil et magnetisk felt bli laget i materialet som holdes en stund etter at den eksterne påvirkningen er avsluttet. Ved å se på materialet som en mengde piler ser man øverst på Figur 71 at de ligger spredd utover uten et magnetisk felt, mens ved å innføre et magnetisk felt nederst på Figur 71 ser man at de samme elementene er ordnet langs aksen.

<sup>4</sup> Diamagnetisme gjør at når et material blir utsatt for et magnetfelt vil det internt i materialet lages et motsatt rettet magnetfelt som minsker magnetfeltet i materialet



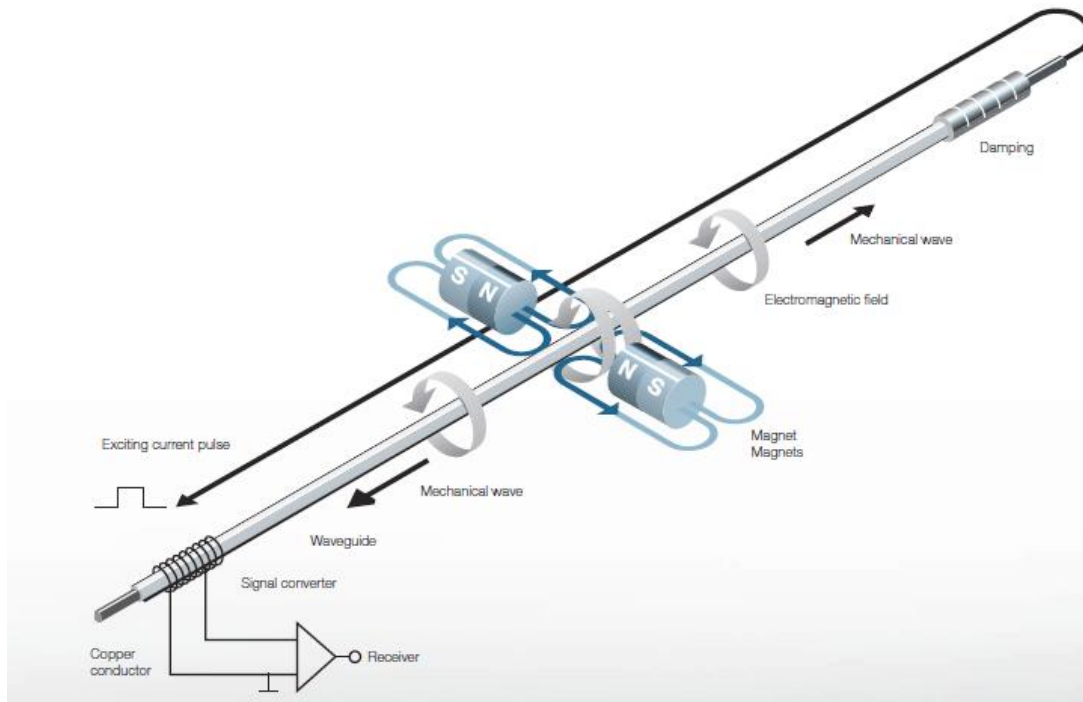
Figur 71 Ferromagnetisk material med og uten et magnetisk felt

Utenfor dette røret er det festet en permanent magnet som beveger seg i samsvar med strukturen som skal bli målt. Mikro puls transduseren fungerer ved å tilføre en kort strøm puls til waveguiden som svarer med å lage et sirkulært magnetisk felt. Når det magnetiske feltet fra den permanente magneten står vinkelrett på det magnetiske feltet til waveguiden oppstår det en magnetostrictiv effekt som fører til vridning (i mikroområdet) og stress i materialet som forandrer de fysiske egenskapene i materialet som størrelse og form (nederst Figur 71).



Figur 72 vridning fra en magnet vinkelrett på en ferromagnetisk ledning

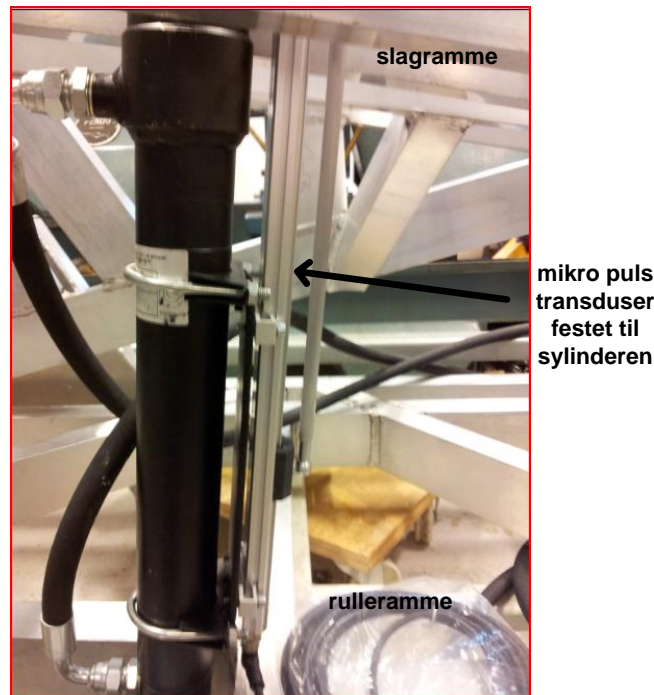
Denne vridningen kommer av samhandlingen mellom det vinkelrette magnetfeltet til magneten og magnetfeltet rundt waveguiden. Når vridningen skjer oppstår det en elastisk deformasjon på ledningen som sender en mekanisk bølge (lyd bølge Figur 73) i begge retningene av waveguiden. Denne bølgen går videre opp til en demper som sørger for at dette signalet ikke forstyrrer det returnerende signalet. Bølgen går også tilbake til signal omformeren som bruker inverse magnetostrictiv effekt for å gjøre om bølgen til et elektrisk signal. Inne i omformeren blir bølgen utsatt for et magnetisk felt rundt en spole slik at når bølgen kommer, forandres den magnetiske fluks tettheten i materialet, slik at en puls blir generert fra spolen. Denne pulsen blir oppdaget av de elektriske kretsene og bestemt til det ønskede utsignalet. Ved å ta tiden på hvor lenge bølgen bruker på å gå fra magneten til signal omformeren kan man regne ut distansen fra signal omformeren til magneten, ved å vite at bølgen som går i waveguiden har en hastighet på 2830m/s.



Figur 73 Virkemåten til mikro puls transduser

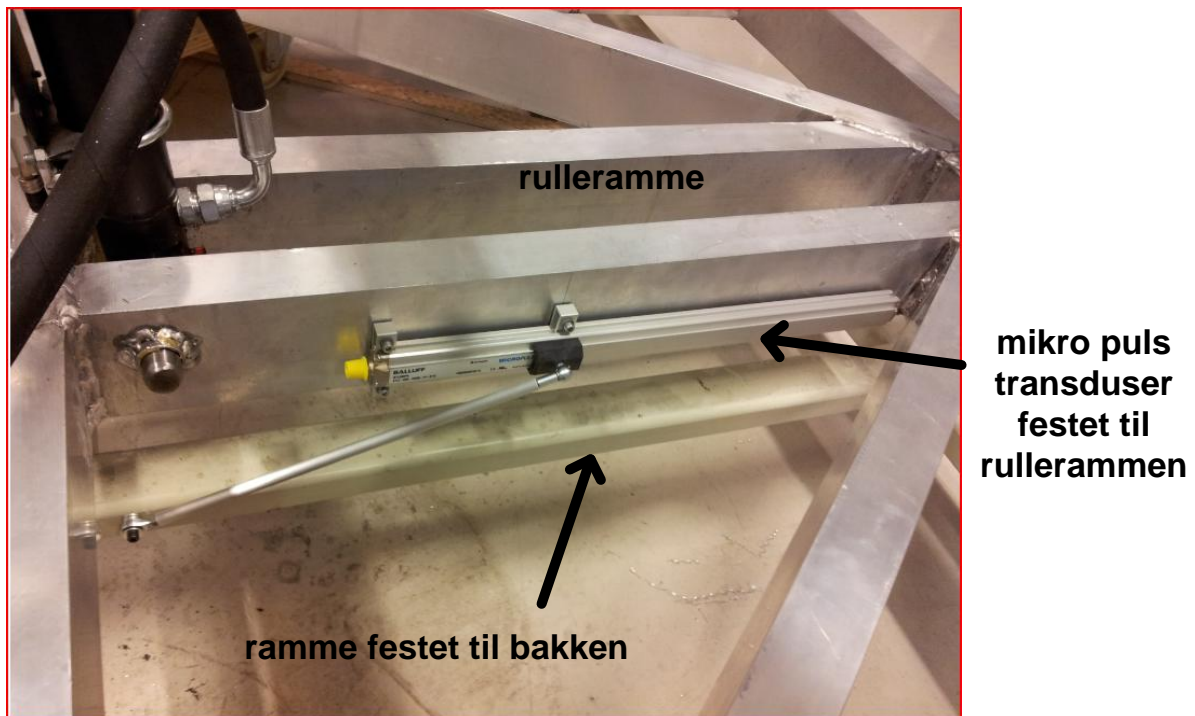
### 5.5.2 Plassering av posisjonssensorene på jiggen

For Mikro puls transduseren som skulle måle posisjonen til slagrammen ble det konstruert en støtteramme som kunne stå rundt sylindere (Figur 74). Den ble plassert på sylindere for å få med vinkelendringen som opptrer når sylindere kjører etter bevegelsesmønsteret. Toppfeste ble festet til den bevegelige delen for å få minst forstyrrelse på mikro puls transduseren.



Figur 74 Mikro puls transduseren på slagrammen

For slagrammen ble mikro puls transduseren montert langs den ene akselen på rullerammen for å få med bevegelsen, samtidig som det øvre feste er montert på rammen som skal være skrudd fast til bakken og vil være stasjonært(Figur 75). Bevegelsen til rullerammen er kun i horisontal retning altså langs med rammen.



Figur 75 Mikro puls transduser på rullerammen

Ut fra plasseringene på mikro puls transduserne klarer gruppen og se posisjonsendringene til jiggen i de ønskede retningene som kommer av bølgemålingene. Dette er da henholdsvis horisontal og vertikal retning. Ingen bevegelse til sidene siden jiggen slik den er konstruert nå, ikke har mulighet til sidebevegelse.

## 6 Kontrollsystem for jiggen

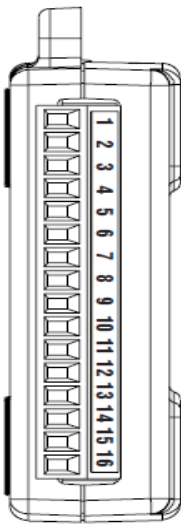
Som en del av oppgavebeskrivelsen ble det bestemt at LabVIEW skulle brukes. Ideen i den tidligere bacheloroppgaven [Vedlegg A] var å bruke et NI USB 6008 I/O-kort. Forklaring samt test av NI USB 6008 er blitt utført i kapittel 6.1 for å se om denne var stabil nok for gruppas bruk. Dette viste seg å være for tidsmessig ustabil. Neste alternativ var å bruke et NI RIO-system for kontrollsystemet som blir forklart i kapittel 6.2. Ved å forhøre oss med National instrument fant gruppen ut at dette ville bli for dyrt. Slik at løsningen ble en microcontroller av typen Teensy++ 2.0 kombinert med LabVIEW funnet i kapittel 6.3.

### 6.1 Bruk av USB 6008

#### 6.1.1 Generelt om kortet

En NI USB 6008 [35] er en flerfunksjonell innretning som kan sende og motta analoge og digitale signaler. De analoge signalene blir sendt gjennom en analog til digital omformer (ADC), som gjør om den analoge spenning til en digital kode som maskinen mottar.

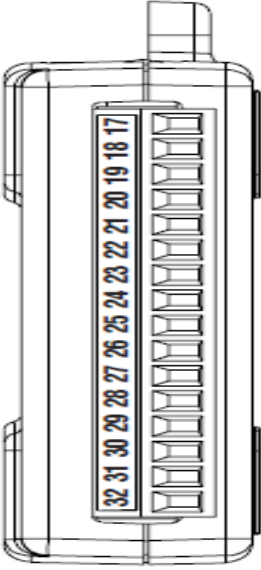
Den analoge siden består av 8 analoge innganger og 2 analoge utganger. Disse kan ta målinger i forhold til jord eller differensielle målinger. Dette vil si at hvert par (Figur 76) med AI kan måle opp til  $\pm 20V$  totalt. AI0 og AI4 er et slikt par. Dette vil da si at hvis AI0 måler 10V kan AI4 måle ned til -10V for å bruke hele grensen til paret, men hver enkel inngang kan ikke registrere mer enn  $\pm 10V$ . De analoge utportene AO0 og AO1 kan generere 0-5V ut, men tiden av hver gang det blir sendt et signal er styrt av programmet og ikke fast av klokkefrekvensen.



Module	Terminal	Signal, Single-Ended Mode	Signal, Differential Mode
	1	GND	GND
	2	AI 0	AI 0+
	3	AI 4	AI 0-
	4	GND	GND
	5	AI 1	AI 1+
	6	AI 5	AI 1-
	7	GND	GND
	8	AI 2	AI 2+
	9	AI 6	AI 2-
	10	GND	GND
	11	AI 3	AI 3+
	12	AI 7	AI 3-
	13	GND	GND
	14	AO 0	AO 0
	15	AO 1	AO 1
	16	GND	GND

Figur 76 Analog side av en USB 6008

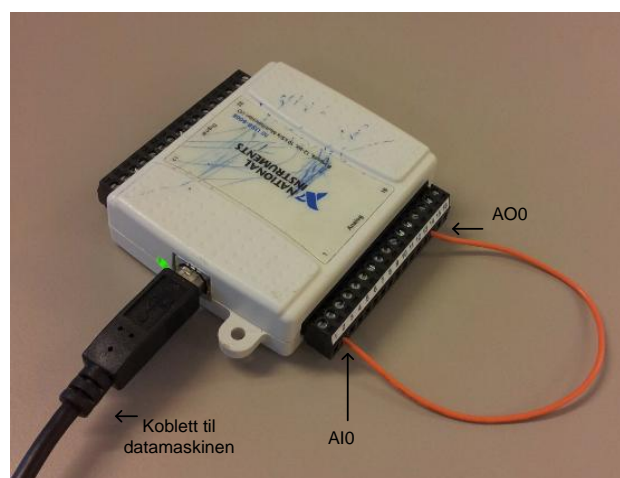
NI USB 6008 har også en digital side med 12 digitale porter P0.<0..7> og P1.<0..3> (Figur 77). Disse terminalene kan bli programmert til å være inn eller ut porter. De digitale portene sender ut digitale verdier som er kompatible med datamaskinens prosesser og instrumenter. Denne siden vil ikke bli tatt med i testen siden kun den analoge siden vil bli brukt. All veiledning med tanke på bruk og program spesifikasjoner er gitt i [35]

Module	Terminal	Signal
	17	P0.0
	18	P0.1
	19	P0.2
	20	P0.3
	21	P0.4
	22	P0.5
	23	P0.6
	24	P0.7
	25	P1.0
	26	P1.1
	27	P1.2
	28	P1.3
	29	PFI 0
	30	+2.5 V
	31	+5 V
	32	GND

Figur 77 Digitale siden av en USB 6008

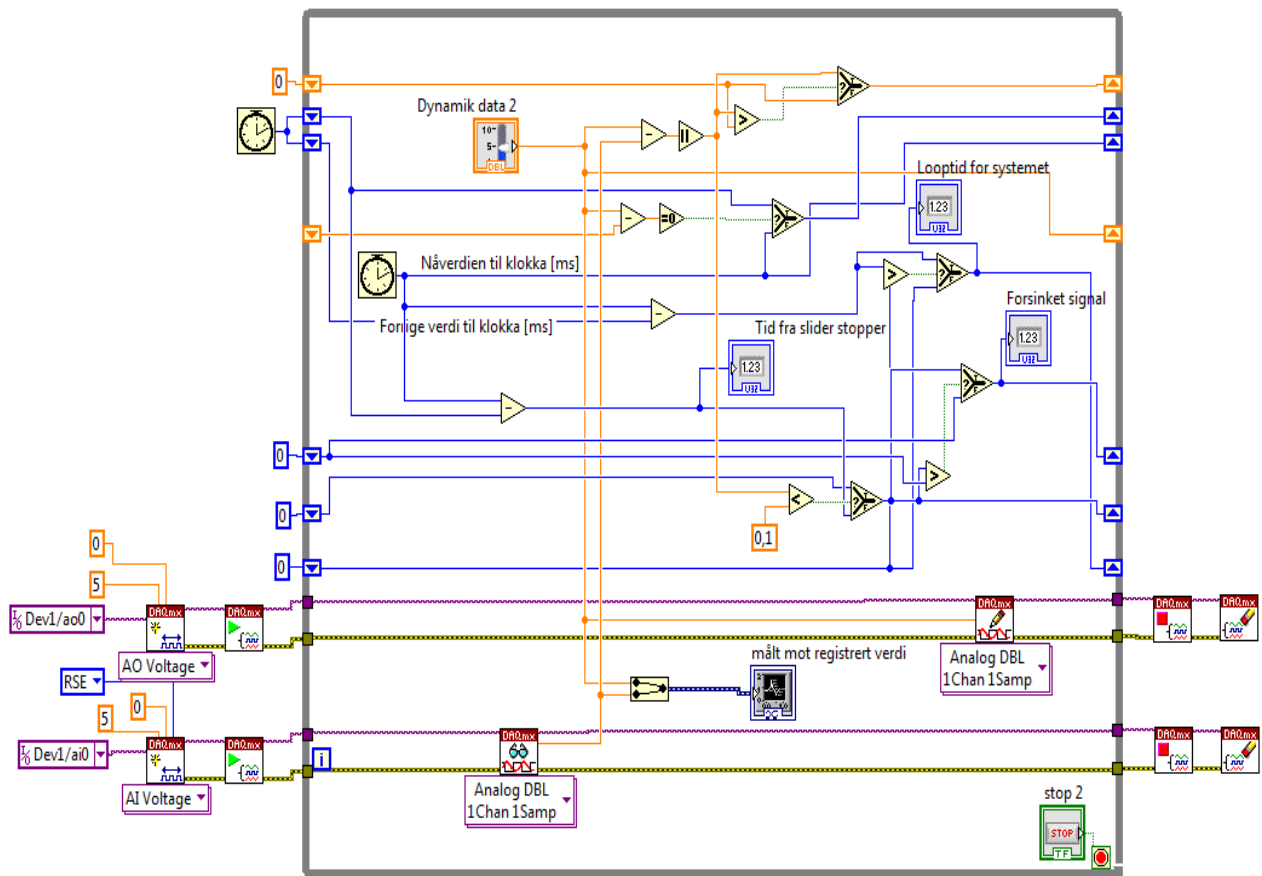
### 6.1.2 USB 6008 og RealTime

Testprogrammet er blitt utarbeidet med bakgrunn i [36] med utvidelser for å kunne se sløyfetiden for systemet sammen med hvor lang tid det sendte signalet bruker på å innhente referansesignalet. Siden NI USB 6008 opererer ved å få tildelt resurser fra datamaskinen for å kjøre en sløyfe vil dette føre til forsinkelse på signalet. Dette betyr at jo mer datamaskinen har kjørende i bakgrunnen jo mindre resurser blir prioritert til LabVIEW og dermed til hastigheten på sløyfen. Det ble bestemt å kjøre en tilbakekobling på USB 6008 for å se hvor lang tid LabVIEW trengte for å komme opp til en eventuell referanseverdi. Dette oppsettet vil sammenlikne referanseverdi med virkelig verdi og slik vise overføringsfeil og forsinkelser. Utportene kan bare overføre et datapunkt av gangen, slik at man bare kan gi en enkel verdi til ut porten for prosessering og utsending fra porten. Det ble koblet en ledning fra AO0 (ut port) til AI1 (inn port) Figur 78.



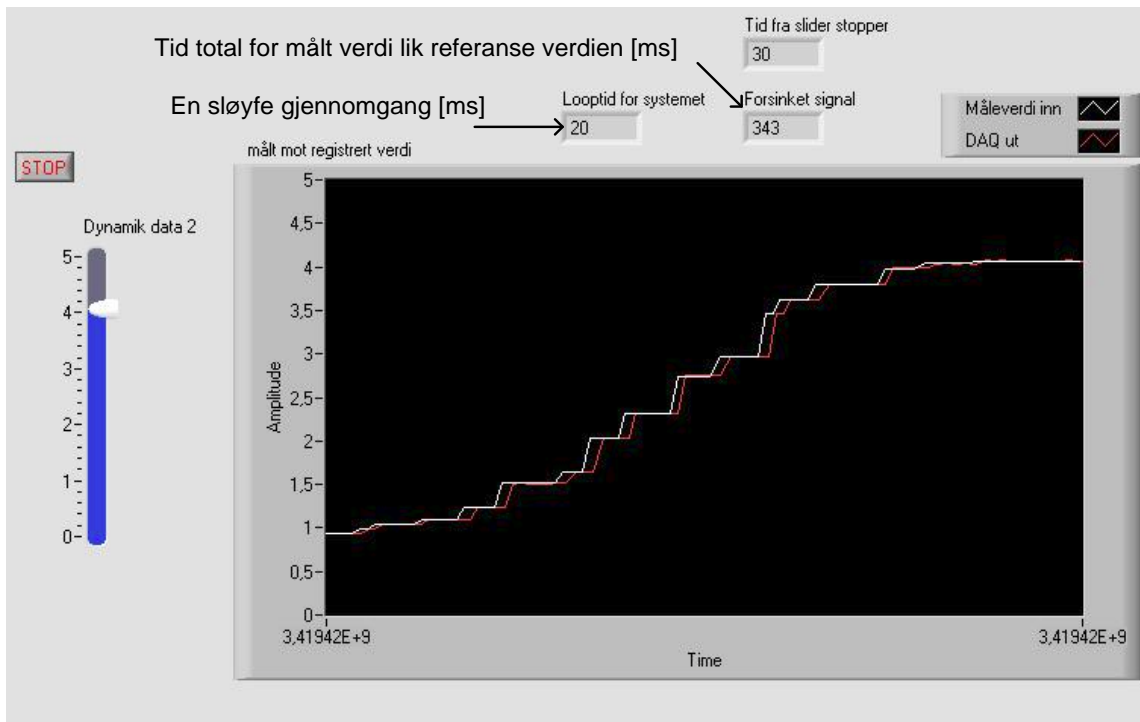
Figur 78 NI USB 6008 koblet opp

En numerisk kontroller tillater at AO0 sender ut 0-5V som en enkel dataverdi. Denne blir registrert på AI1 ved hjelp av programmet LabVIEW. For å kunne kjøre dette kontinuerlig blir systemet puttet inn i en while-løkke i LabVIEW. Det komplette programmet kan sees på Figur 79.



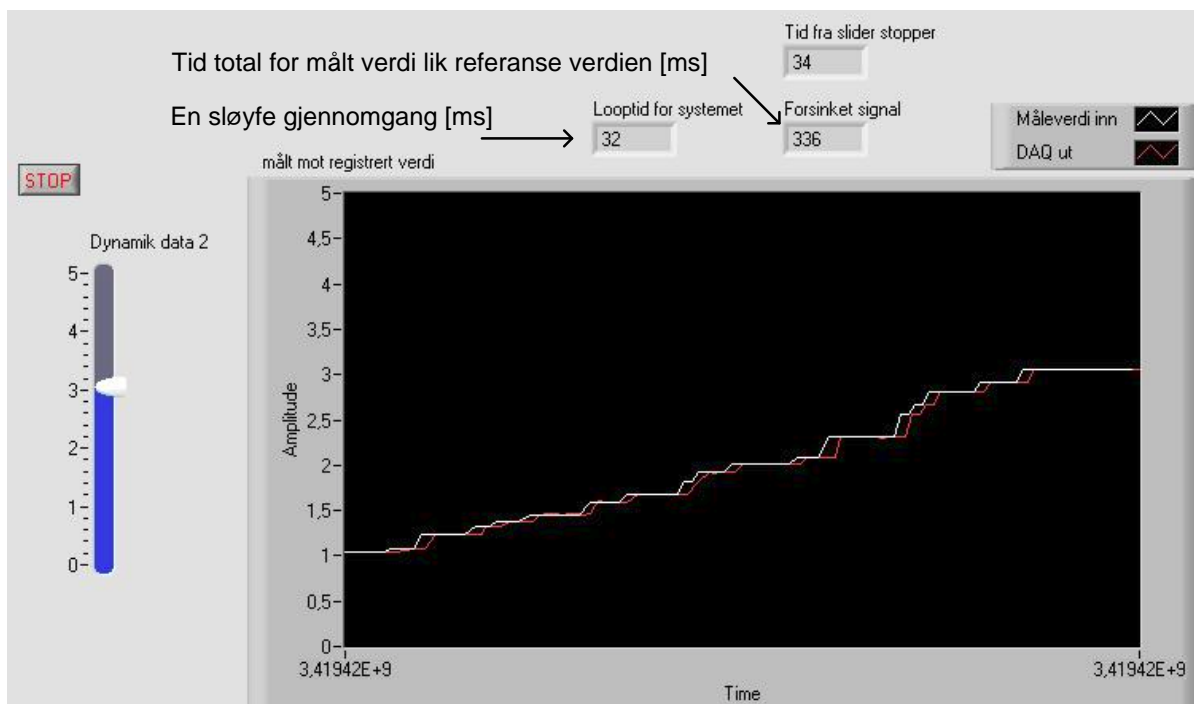
Figur 79 USB 6008 signal forsinkelse bakrom

Programmet ble kjørt først med kun LabVIEW oppe for å ha en referansetid for systemet. Programmet ble deretter kjørt på nytt med nettleseren firefox åpen ved siden av for å se hvilke forsinkelser dette ga til målingene. Dette siden NI USB 6008 sender et signal hver gang programmet har fullført en løkke og ikke til faste tider. Figur 80 viser resultatene fra å kjøre med kun LabVIEW. Testen viser at programmet bruker 20 ms på å kjøre løkken, mens signalet bruker hele 343ms på å innhente referansesignalet når man skifter signalet på AO0 til 0-4V. Den hvite linjen er referansesignalet og det røde er signalet som blir sendt ut fra AO0 og inn AI0.



Figur 80 Testen kjørt kun med LabVIEW

Figur 81 viser resultatet med å ha firefox kjørende i bakgrunnen blir en større del av datakraften prioritert vekk fra å kjøre LabVIEW. Dette ga en kjøretid på 32 ms, men signalet brukte totalt 336ms på å innhente referansesignalet når man varierer A00 mellom 0-3V. Den hvite linjen er referansesignalet, og den røde linjen er signalet som blir sendt ut fra A00 og inn A10.



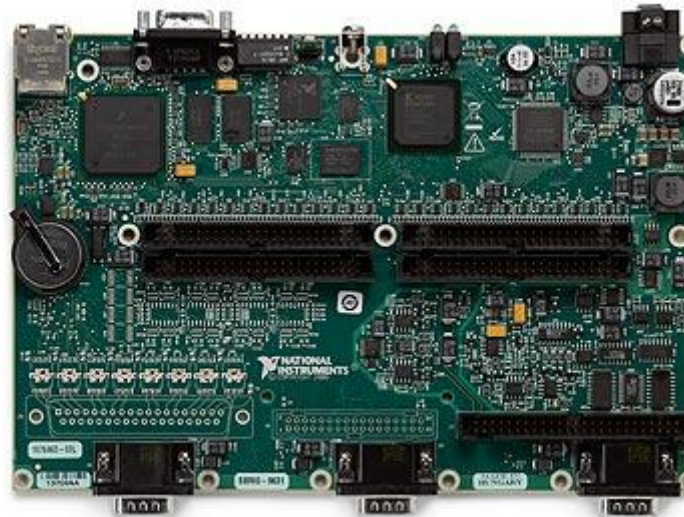
Figur 81 Testen kjørt med Firefox i tillegg



Grappa kan med dette konkludere med at systemet ikke kjører på noen fast tidsløkke, siden pc'ens CPU ikke er reservert til USB-kortet og LabVIEW. Løsningen må derfor være å bruke et system med en ekstern prosessor.

## 6.2 Bruk av NI RIO-systemer

National Instruments har egne systemer for RealTime-kjøring. Etter samtaler med salgssingeniør Einar Sørå, kom grappa fram til at den billigste løsningen for et slikt system ville være et SingleBoardRIO-kort som vist på Figur 82 [37].



Figur 82 NI sbRIO-9632/9632XT

Dette kortet har blant annet 400MHz prosessor, 32x16bit analog inn og 4x16bit analog ut. Testjiggen har kun 2 sensorer og 2 ventiler, så dette skulle være nok i massevis.

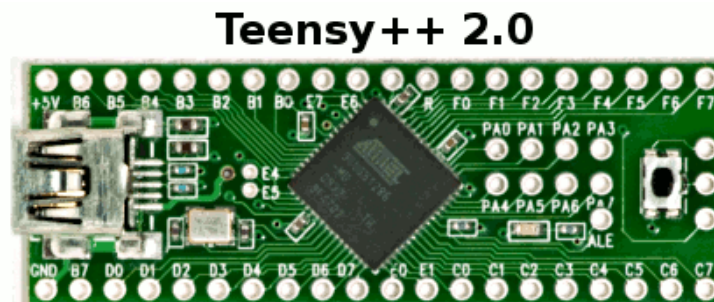
Men så fikk grappa prisforslaget fra National Instrument. Følgende trengs for å kunne bruke og programmere et RIO-system:

sbRIO 9632 400MHz	20999.00kr
LabVIEW Full Development systems	23499.00kr
LabVIEW RealTime Module	21899.00kr
LabVIEW FPGA Module	21899.00kr
Frakt	138.20kr
Moms	22108.55kr
<u>Sum</u>	<u>110542.75kr</u>

Det ble med andre ord ikke aktuelt å bruke et slikt system.

### 6.3 Bruk av AT90USB1286

Etter samtaler med veileder ble det besluttet å bruke en AT90USB1286-microcontroller[38]. Denne brikken er montert på et kort vist på Figur 83 [39] som leveres av firmaet PJRC



Figur 83 Teensy++ 2.0

Dette kortet har 46x digital I/O hvorav 8stk kan brukes som 10bit analoge innganger. CPU'en kjører på 16MHz.

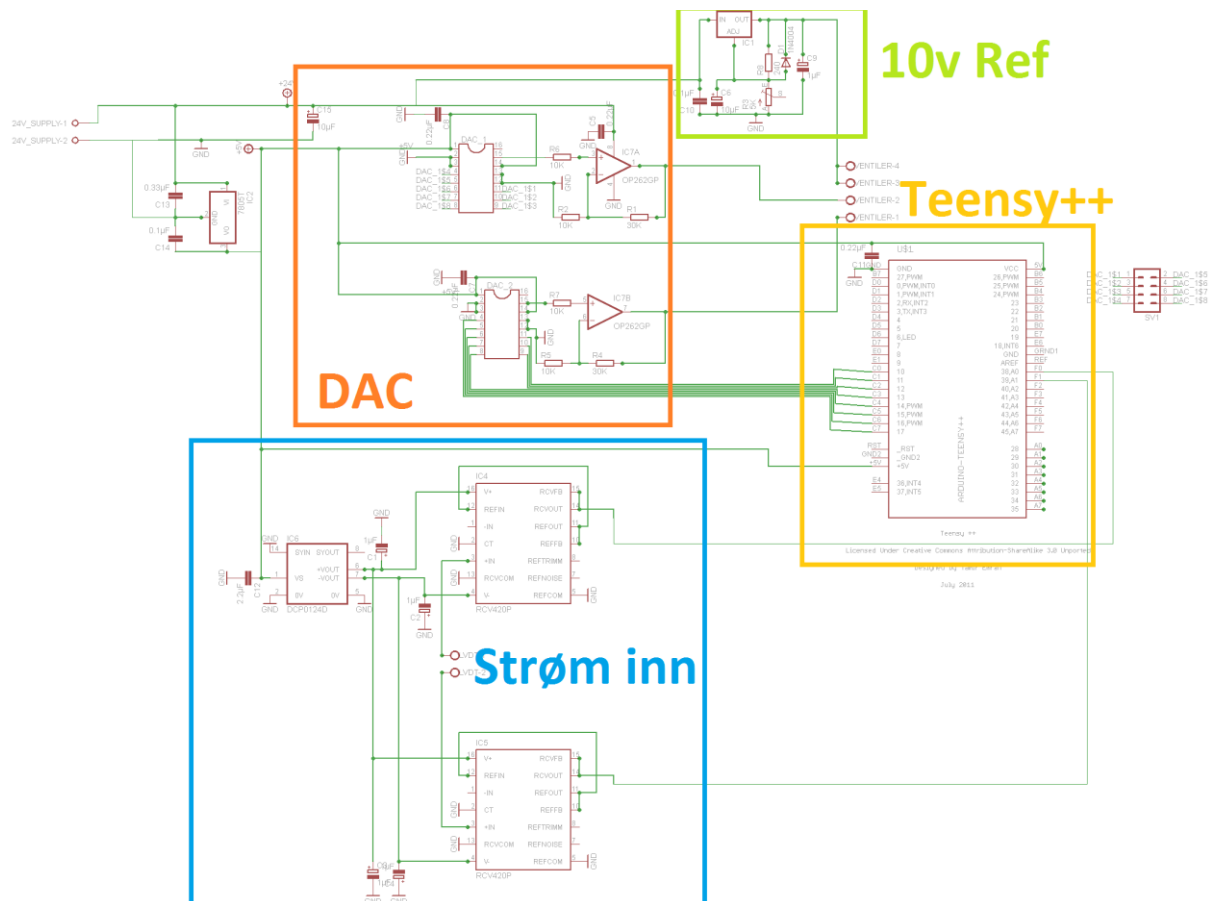
Pris: ca 144kr + frakt

### 6.4 Oppkobling mot jigg

Fra databladene [Vedlegg M, Vedlegg A,[38]] ble følgende krav stilt til oppkoblingen:

- Posisjonsgivere:
  - o Samme nullpunkt for supply og signal
  - o Supply :10-30V
  - o Utsignal :4-20mA
- Ventiler:
  - o Supply :19-32V
  - o Styresignal :  $U_{D-E} = \pm 10V$
- Teensy++
  - o Supply : 5V
  - o Utgang : digital
  - o Inngang : 0-5V, 10bit ADC

Komplett koblingskjema sees i Figur 84.

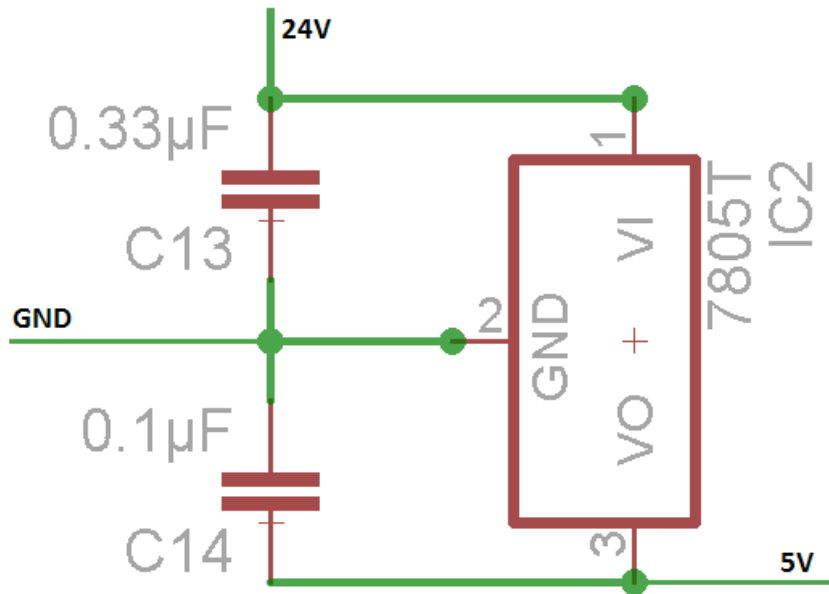


Figur 84 Koblingskjema, oversikt

### 6.4.1 Tilførselspenning

Hovedtilførselen er 24V fra egen PSU. For mer info om denne henvises det til [Vedlegg A]

I tillegg trenger systemet 5V til microcontroller og DC-DC-converter. Dette gjøres ved hjelp av en L7800 5V spenningsregulator. Grunnet det store spenningspranget og strømmen som skal leveres, ble det i samtaler med veileder avgjort å montere kjøleribber på den. Oppkoblingen ble som vist i Figur 85.



Figur 85 5V Spenningsregulator

#### 6.4.2 Fra Teensy++ til ventiler

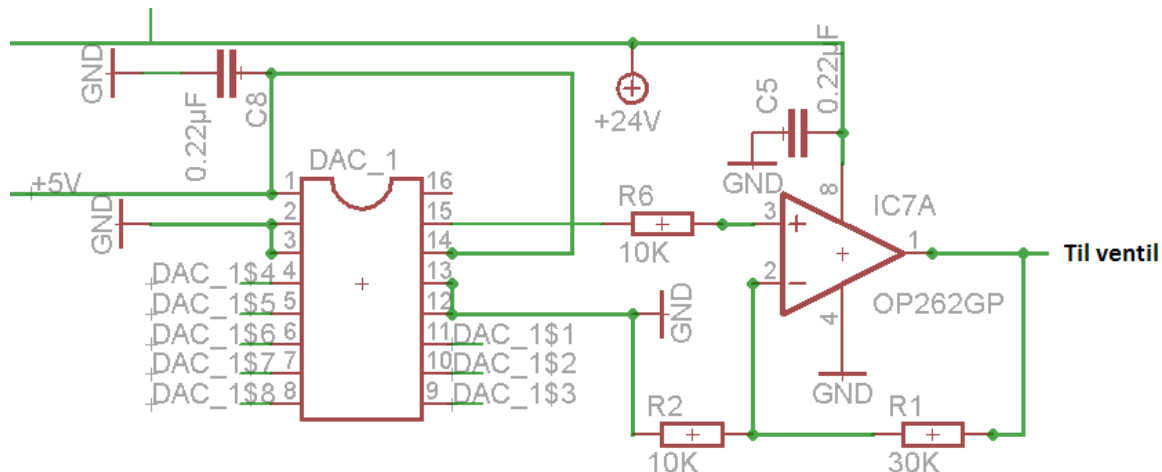
*Ideen her var å lage en 10V referanse og la signalet fra microcontrolleren gå fra 0-20V*

Det ble valgt en DAC av typen TLC7524CN [40]. Dette er en seriell tilkoblet 8bit DAC, noe som i praksis betyr 8 ledninger kun for styresignal pr DAC, men meget enkel programmering. Hver DAC gir ut 0-5V.

Ved bruk av en ikke-inverterende OP-amp krets ble signalet skalert til 0-20V, dette betyr en gain på 5. Gainen til OP-amp'en er:

$$gain = 1 + \frac{R1}{R2}$$

I gruppas system ble en MC3458 OP-amp benyttet (Figur 86). Det er en dobbel, single supply OP-amp som tåler inntil 36V på inngangen.



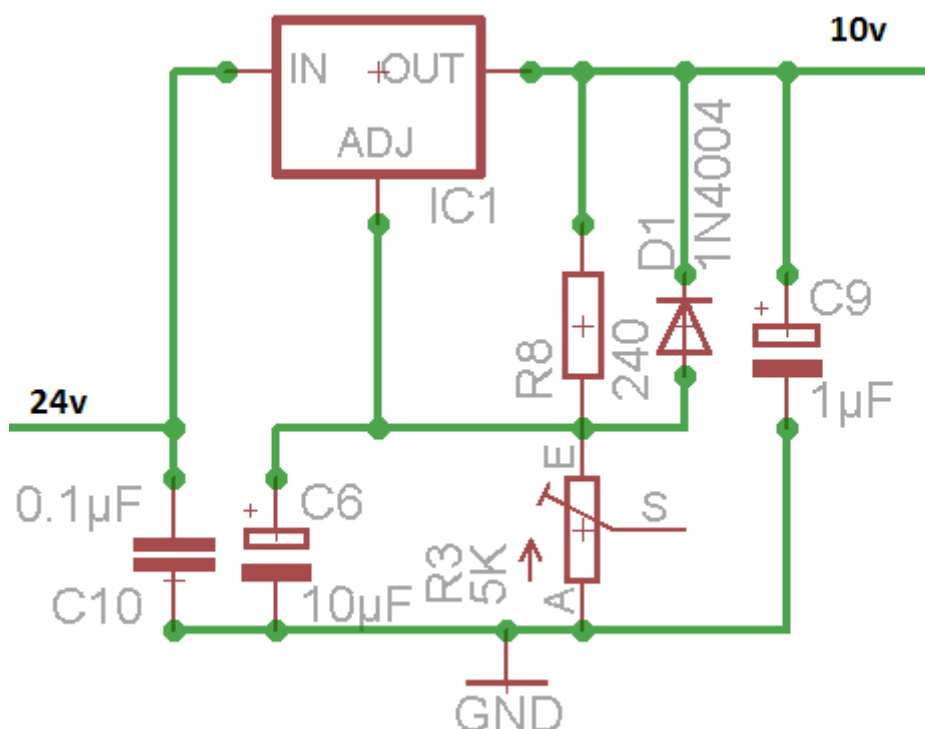
Figur 86 DAC og OP-amp

Kommentarer til Figur 86

- DAC\_1\$1 – DAC\_1\$8 er hentet fra Port A på teensy++ via ledninger.
- R1 ble byttet ut med 2stk 10k og en trimpot (10K) i serie, dette for å kunne finjustere gainen

### 10v referanse

For å oppnå  $\pm 10V$  på ventilen ble det laget en 10V referanse. Til dette ble det brukt en LM317TL. Denne ble koblet opp som vist på Figur 87. Oppsettet er hentet fra databladet. [Vedlegg N]



Figur 87 10V referansespenning

### Resultat

Resultatet ble et 8 bit ventilstyresignal, dvs. 127 pådragspunkter i hver retning.

### 6.4.3 Fra posisjonsgivere til Teensy++

Signalet fra posisjonsgiverne er 4-20mA. Dette kan lett gjøres om til et spenningsignal ved å koble inn en motstand mellom signalutgang og jord. Ved bruk av for eksempel 250Ω får man et signal lik 1-5V. Problemet her er at måleområdet reduseres med 1V og man er avhengig av en presis motstand som ikke er temperaturfølsom. For å løse dette enklere ble det heller benyttet en RCV420KP [41] strøm til spenningskonverter som er laget til dette formålet. Den mottar 4-20mA og sender ut 0-5V.

Microcontrolleren har 10bit ADC. Presisjonsgevinsten blir da som følger:

Antall målepunkter er:

$$2^{10} = 1024 \rightarrow 0 - 1023$$

Presisjonsmessig vil 1V reduksjon tilsvare:

$$\frac{1023}{5.00} * 4.00 = 818.4 \approx 818$$

Måleområdet til gruppa er fra 0-350:

$$\frac{350mm}{818pt^{-1}} = 0.428mm * pt$$

Mot fullskala:

$$\frac{350mm}{1023pt^{-1}} = 0.342mm * pt$$

På jiggens ytterste punkt vil dette gi en presisjon som følger:

$$presisjon = \pm 0.500pt^{-1} * \frac{avst. hengsel \rightarrow ytterste pt.}{avst. hengsel \rightarrow pos. sensor} * oppløsning$$

Med motstand:

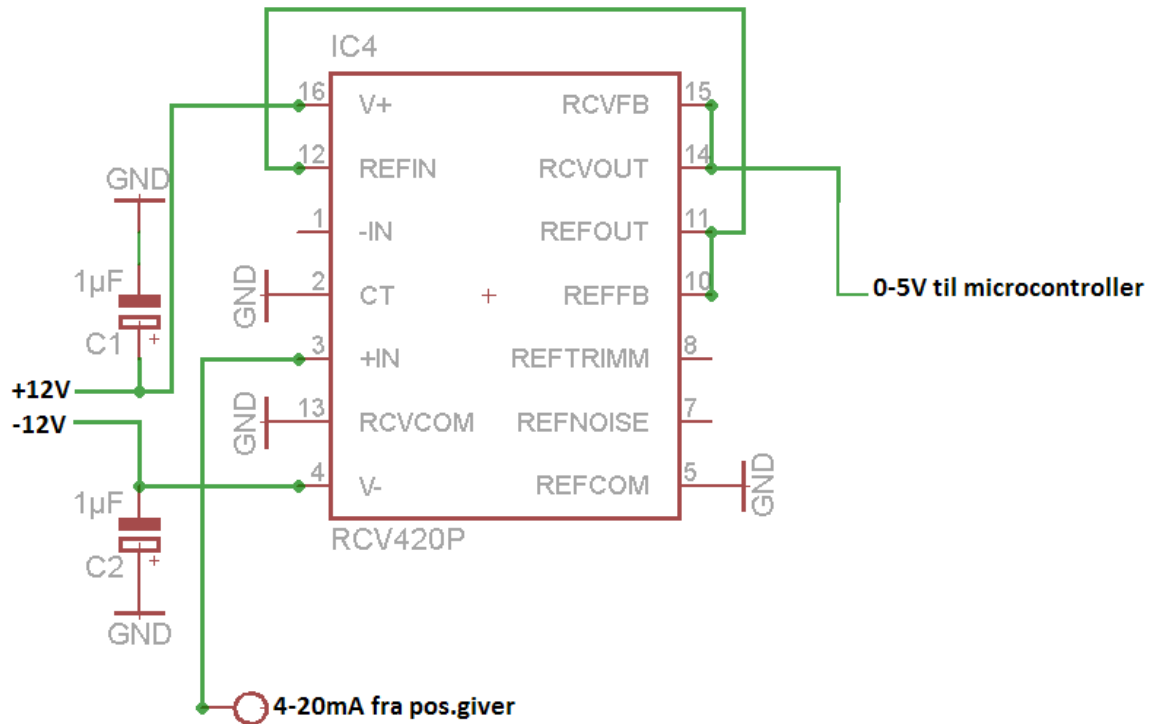
$$\pm 0.500pt^{-1} * \frac{400mm}{1530mm} * 0.428mm * pt = \pm 0.819mm$$

Med RCV420KP:

$$\pm 0.500pt^{-1} * \frac{400mm}{1530mm} * 0.342mm/pt = \pm 0.654mm$$

Den øvrige presisjonen til mottakeren er på 0.1% altså det samme som en presisjonsmotstand. For informasjon om selve sensorens oppløsning vises det til [vedlegg M]

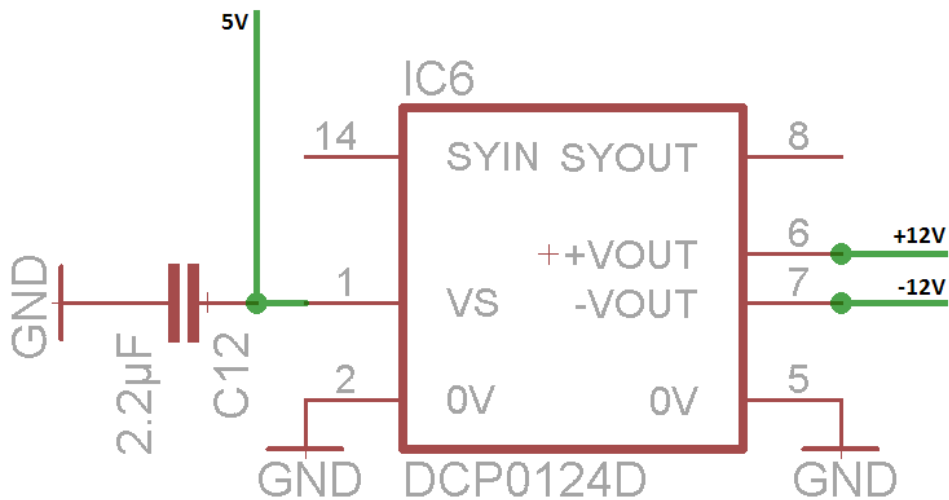
Oppkoblingen av mottakeren ble gjort i henhold til databladet [Vedlegg O] og vises på Figur 88. Merk at det i følge databladet skal benyttes tantalumkondensatorer på C1 og C2.



Figur 88 Strøm til spenningsomformer

### Tilførselspenning

Problemet med RCV420KP var at den trenger  $\pm 12V$ . Siden de øvrige systemkravene gjør at jordpunktet ikke kan heves ble en DC-DC-converter av typen dcp010512db [Vedlegg P] benyttet. Den omformer 5v til  $\pm 12V$ . Oppkoblingen ble som vist på Figur 89.



Figur 89 DC-DC-converter

### Resultat

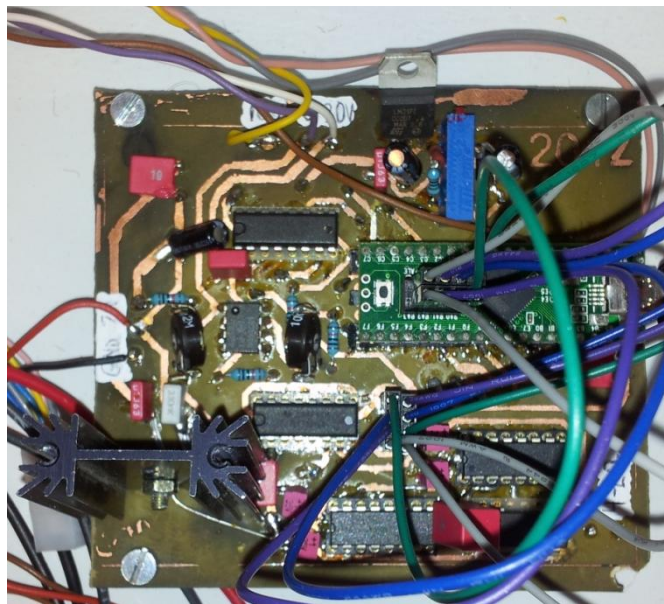
Dersom det skal lages en ny versjon av oppkoblingsbrettet vil nok en presisjonsmotstand anbefales fremfor en RCV420KP. Dersom høyere presisjon er ønsket kan det heller benyttes en ekstern DAC med høyere oppløsning.

## 6.4.4 Oppkobling

### Mønsterkort

Komponentene ble koblet sammen ved hjelp av et mønsterkort (Figur 90) utviklet i EagleCAD [Vedlegg Q] og produsert etter toner transfer metoden. Man bruker en laserprinter eller kopimaskin til å skrive mønsteret ut på et glossy-ark, så overfører man mønsteret til kobberlaget ved å legge det med toneren mot kortet og så varme opp arket med et strykejern. Papiret fra glossyarket fjernes så ved å legge kortet i vann. Kobberbanene som skal spares er nå dekket av toner.

Selve etsingen ble utført etter tips fra Magne Arild Haglund ved UiA. Ved å benytte saltsyre (HCl), med hydrogenperoksid ( $H_2O_2$ ) som katalysator, går det eksponerte kobberet over til kobberklorid ( $CuCl_2$ ). Etsningen blir unnagjort på litt over ett minutt. Kobberbanene blir da stående igjen på kortet. Saltsyre ble skaffet hos Jernia og hydrogenperoksid 30 % på apotek. Resultatet er vist på Figur 90.

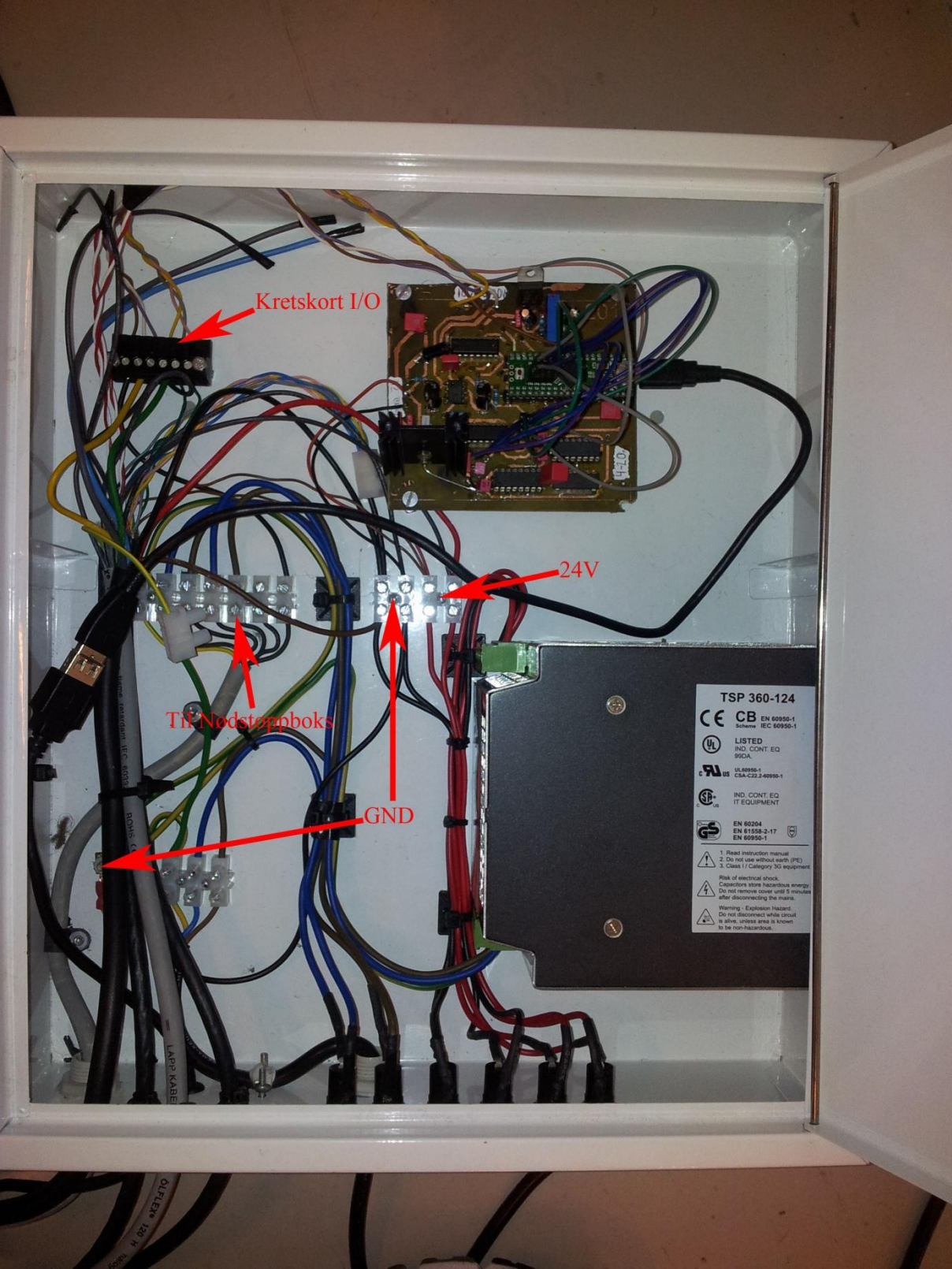


Figur 90 Mønsterkort



# Kontrollskap

Oppsett av kontrollskap sees på Figur 91 Styreskap



Figur 91 Styreskap

Ledninger på "kretskort I/O" i Figur 91 fra venstre

- Manuell/auto ut. Koblet til jord=auto
- Sylinder 1 0-20V
- Sylinder 2 0-20V
- 10V referanse til begge ventiler
- Posisjonssensor 1
- Posisjonssensor 2

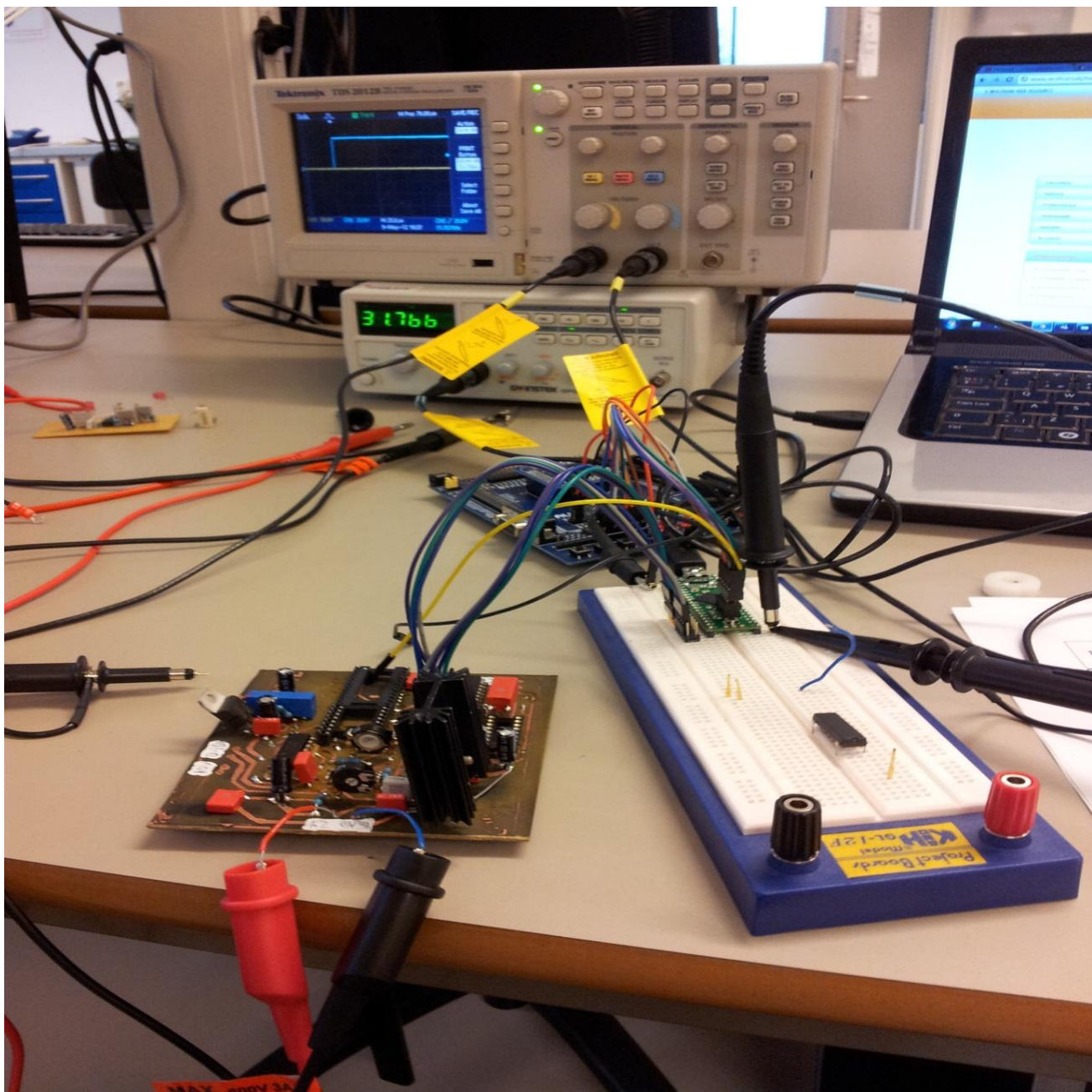
Ledninger på "til nødstopboks" (kontrollboks) i Figur 91 fra venstre

- GND
- 220V inn, fase 1
- 220V inn, fase 2
- 220V ut, fase 1
- 220Vut, fase 2
- Ikke i bruk
- Manuell/auto inn

Når nødstoppen trykkes, brytes 220V-tilførselen.

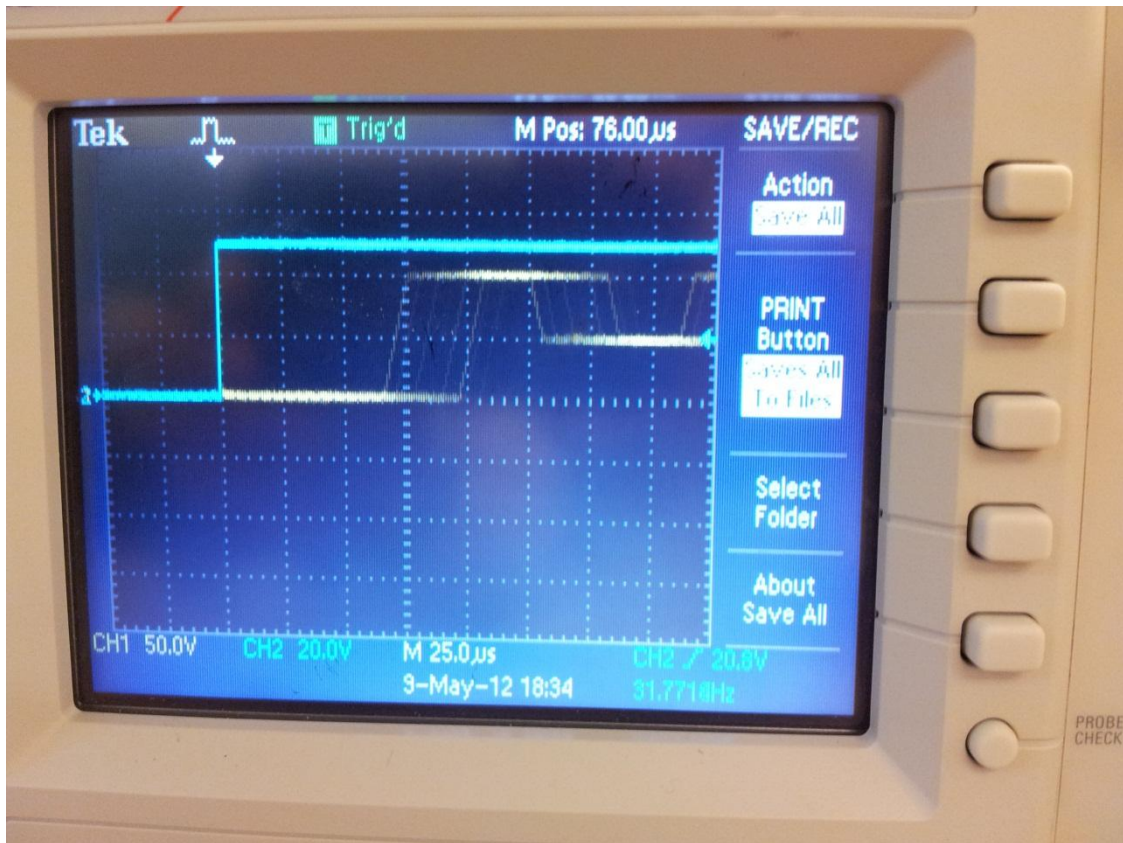
#### 6.4.5 ADC og DAC responstest

Før ventiler og posisjonssensorer ble koblet til ble systemet testet med en signalgenerator og et oscilloskop. En firkantpuls på 0-5V ble sendt inn på den analoge inngangen på microcontrolleren. Oscilloskopet ble koblet til utgangen på DAC'en og microcontrolleren ble programmert til å sende innsignalet ut. Oppsettet sees på Figur 92 Oppkobling



Figur 92 Oppkobling av responstest

Resultatet av testen viser at det tar systemet  $76\mu\text{s}$  å skrive ut en avlest verdi. Se Figur 93 Resultat



Figur 93 Resultat av responstest

## 6.5 Styreprogram

Styresystemet er todelt. En del er programmert i Arduino (forenklet c++ kode), dette kan sees på som firmware til jiggens. Den andre delen er programmert i LabVIEW, her gis det kommandoer til systemet. I tillegg velges det mellom manuell og automatisk kjøring på en ekstern bryter

Software som brukes er:

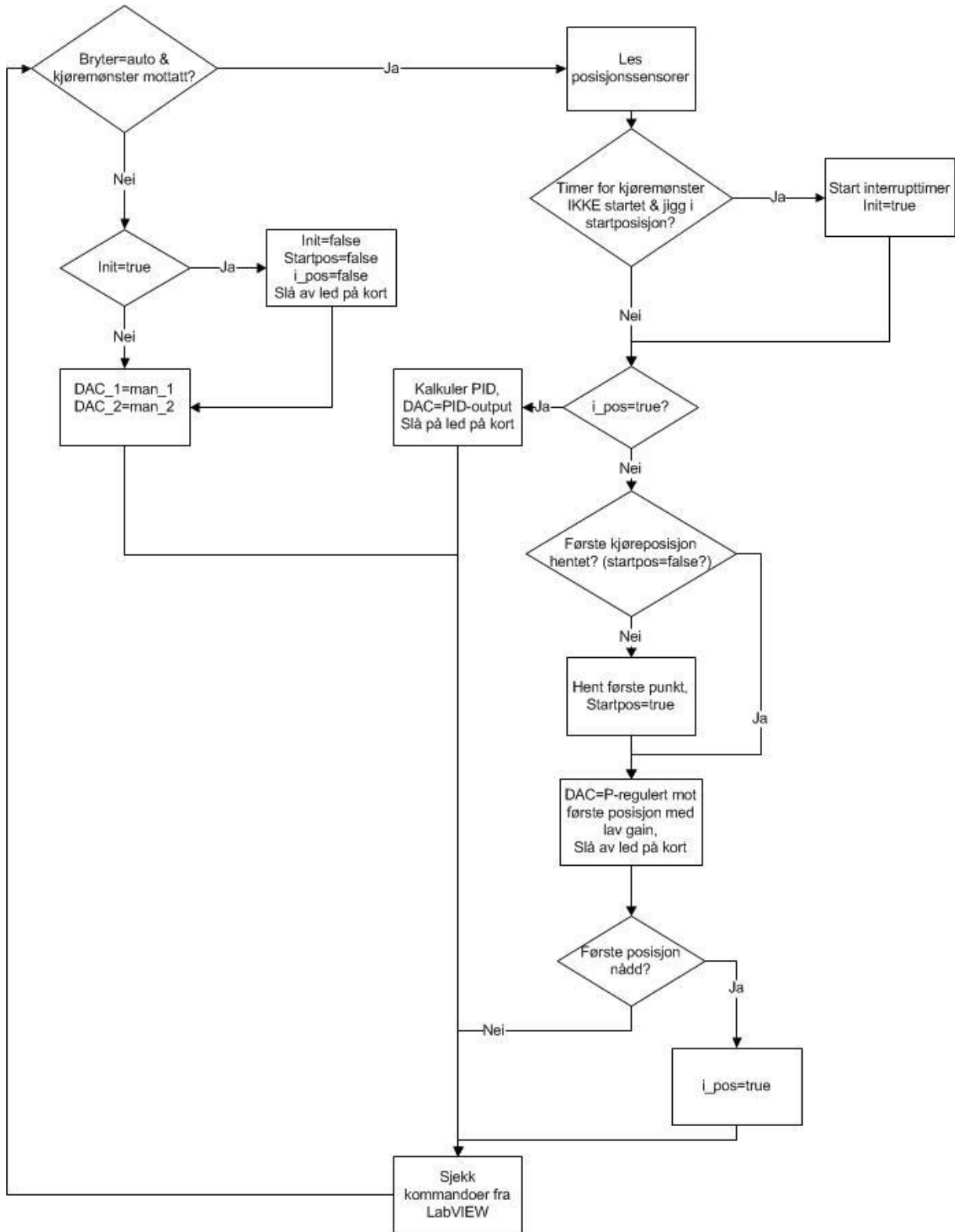
- Arduino 1.0 [42]
- teensyduino [43].
- teensy loader fra [44].
- LabVIEW basic 11.0
- "NI LabVIEW Interface for Arduino Toolkit" [45].

### 6.5.1 Arduinokode

Først må nyeste versjon av arduino's software lastes ned fra [42]. Så må teensyduino lastes ned fra [43]. For å få microcontrolleren til å kommunisere med LabVIEW må det lastes opp et program som følger med i "NI LabVIEW Interface for Arduino Toolkit"-pakken. Dette programmet er skrevet for Arduino-brettene. Teensy-versjonen av dette programmet ble lastet ned fra [46], jiggens firmware ble basert på dette programmet. Hele koden kan sees i [Vedlegg R]

## Hovedsløyfa

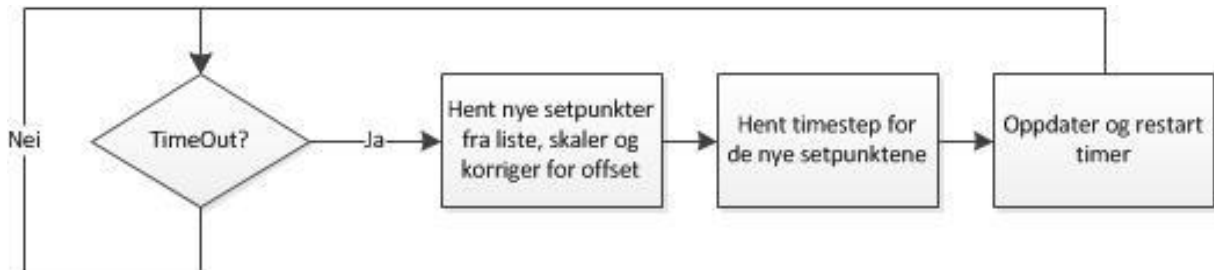
Flytskjemaet for hovedsløyfa i programmet sees på Figur 94.



Figur 94 Hovedsløyfe Arduino

## Oppdatering av referanser

Regulatorene må hele tiden gis nye referanser i form av et kjøremønster. Kjøremønsteret består av en tidskolonne som sier hvor lang tid jiggen har på å nå referansen samt to punkter som angir posisjonen til de to sylindrene. For å skape interrupt ble funksjonen "FlexiTimer2" brukt, denne er en del av Arduinoprogrammet. Inndata er tid til TimeOut, tidsskalering (sekund, millisekund osv) og funksjonen som skal kalles opp. Flytskjema for interruptet sees i Figur 95.



Figur 95 Oppdatering av kjøremønster

## Regulatoren

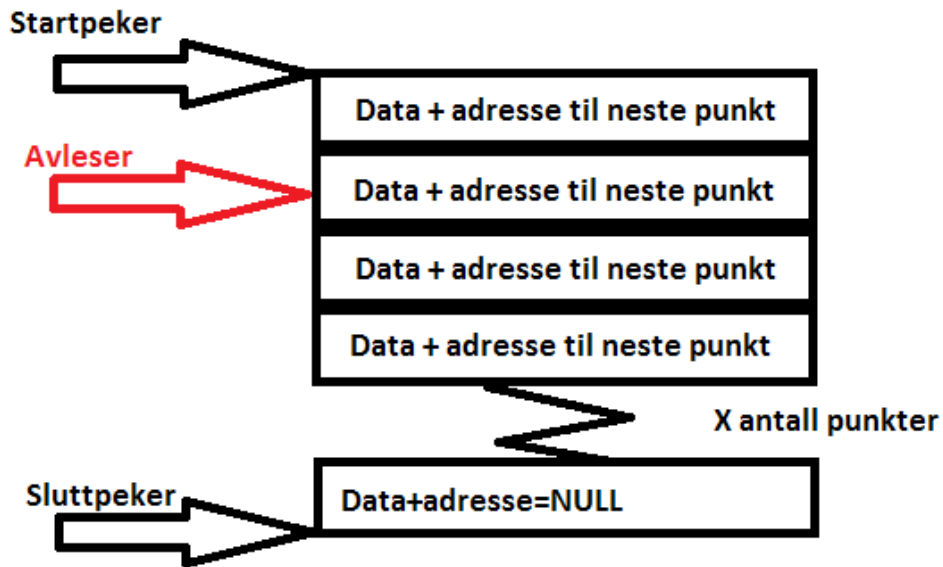
Selve PID-regulatoren ble hentet fra [47]. Nå skulle det under testkjøringen vise seg at p-regulering ga meget gode resultater. Det er derfor ønsket å lage en enkel p-regulator i en eventuell oppdatering av programvaren. Den vil se slik ut:

$$p\ddot{a}drag = (\ddot{o}nsket\ posisjon - faktisk\ posisjon) * gain$$

Slik programmet er satt opp nå, kalkuleres PID-regulatorene hver gang sløyfa kjøres. Dette ble forsøkt unngått ved å velge interruptstyrt PID-kalkulering. Grunnet liten tid ble det heller valgt kun å bruke p-leddet og la regulatoren oppdatere seg kontinuerlig.

## Kjøremønsterlister

For å kunne laste opp lister og legge de i microcontrollerens RAM ble et bibliotek for en FIFO-liste[48] benyttet. Funksjonen het QueueList og ble lastet ned fra [49]. Listen er satt opp som en enkel-lenket liste. Den ble i tillegg modifisert slik at den kunne leses flere ganger. Grafisk kan den fremstilles som på Figur 96.



Figur 96 QueueListEvo

Funksjonen "QueueList" fungerer slik at punkter legges inn på bunnen av listen ved hjelp av kommandoen "push". For å lese av brukes kommandoen "pop": Da leses det av punktet startpekeren peker på, adresse til neste punkt legges i startpekeren, punktet slettes og startpekeren peker nå på neste punkt. Slik fortsetter den til lista er tom.

Det var ønskelig med en funksjon som kunne lese av lista flere ganger slik at den ikke trengte å lastes opp for hver gang den skulle kjøres. Funksjonen "QueueListEvo" ble laget, denne inneholder kommandoen "les" i tillegg. Denne pekeren er en kopi av startpekeren, men når kommandoen "les" gis, returneres data fra punkt 1 og pekeren flytter seg til punkt 2 uten å slette punkt 1. Når pekeren blir lik sluttpekeren, kopierer den adressa fra startpekeren slik at den begynner på toppen av lista igjen.

Dersom det forsøkes å lese fra en tom liste eller det ikke er nok minne til lista, vil systemet gå i alarmmodus og dioden på microcontrolleren vil blinke. For å gå ut av alarmmodus må systemet restartes.

Slik programmet er nå, legges det inn 3 lister: en for tid og en for hver av sylindene. Ved en senere optimalisering anbefales det å bruke 1 liste til de 3 variablene.

## Tilgjengelig RAM

En optelling av deklarete variabler i hovedprogram:

- Int/Unsigned int: 56x2byte
- Double/float: 13x4byte
- Sum 164byte

Dette er kun deklarete variabler. I tillegg kommer minnebruk fra funksjoner og utregninger.

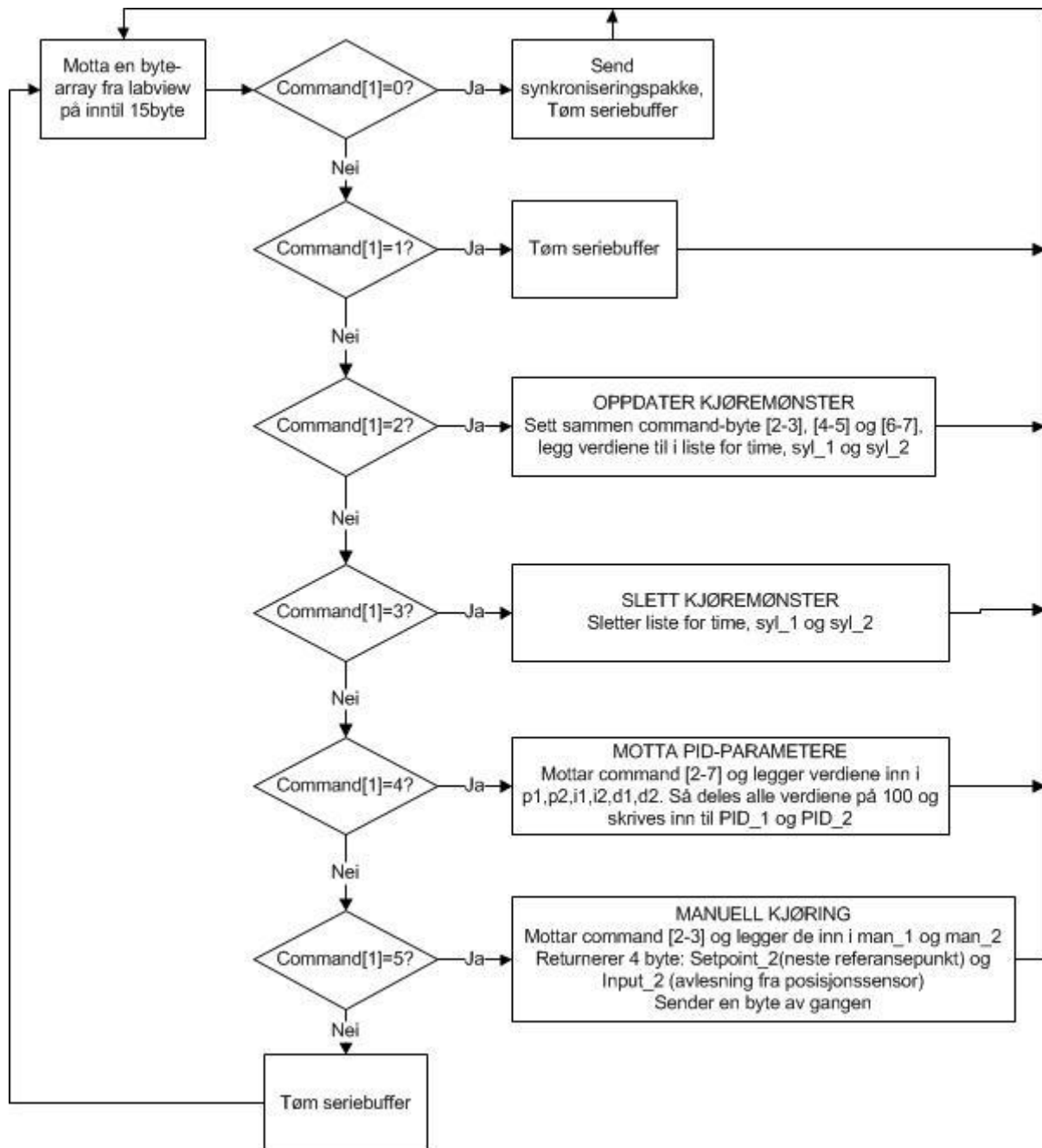
Testkjøremønsteret tar

$$306pt * 3rader * 2 \frac{byte}{pt} = 1836byte$$

Microcontrolleren har 8192byte RAM tilgjengelig, dette skulle være rikelig.

## Sende/motta fra LabVIEW

Blokken "Sjekk kommandoer fra LabVIEW" kaller opp en annen del av programmet. Den sørger for selve kommunikasjonen mellom microcontrolleren og LabVIEW. Her sendes og mottas det kommandoer via seriedriverne i LabVIEW og skrive/lesefunksjonene i microcontrolleren. Dataene sendes som byte. Et flytskjema for programmet sees i Figur 97.

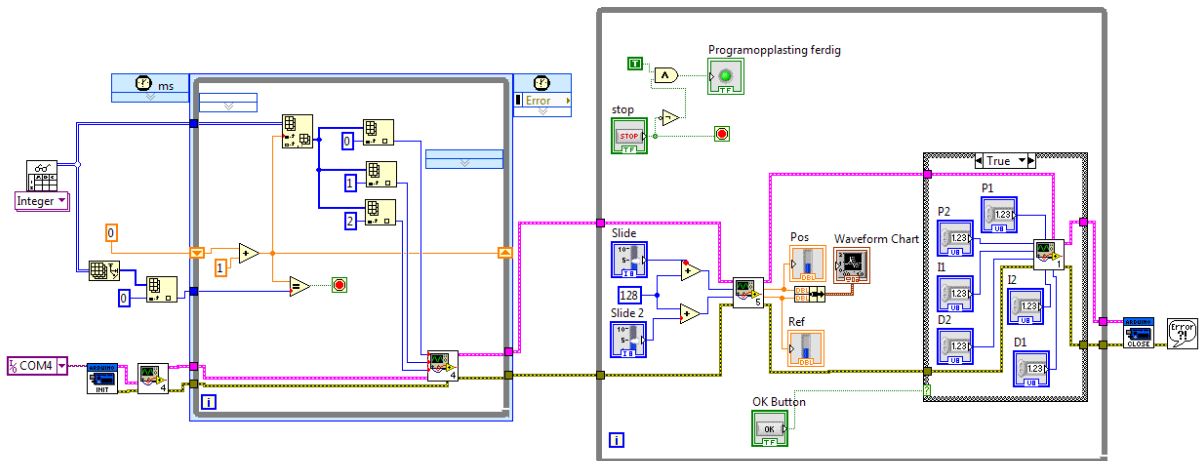


Figur 97 Sende og motta fra LabVIEW

### 6.5.2 LabVIEW-programmet

Opgaven til LabVIEW-programmet var å laste opp kjøremønstre og reguleringsparametere til microcontrolleren. Det skulle også ha muligheten til å monitorere parametere hos systemet samt styre jigggen manuelt. Programmet sees på Figur 98.

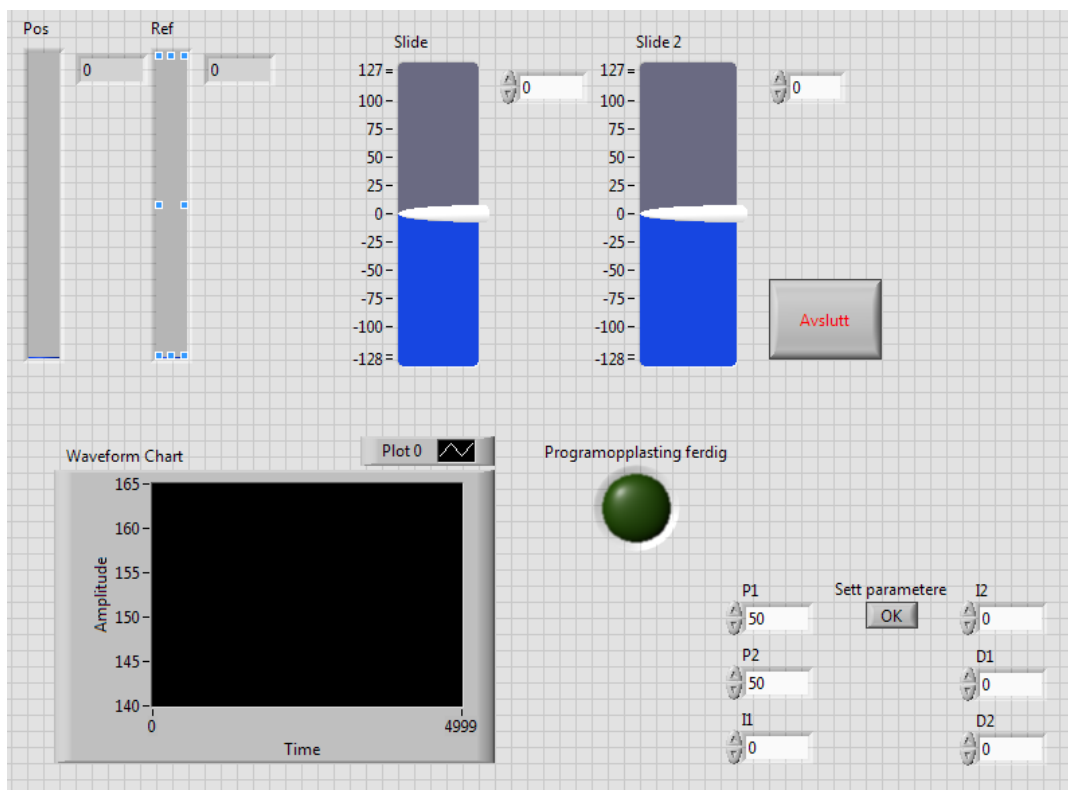




Figur 98 LabVIEW-hovedprogram

På Figur 99 sees frontpanelet til programmet. Det fungerer slik:

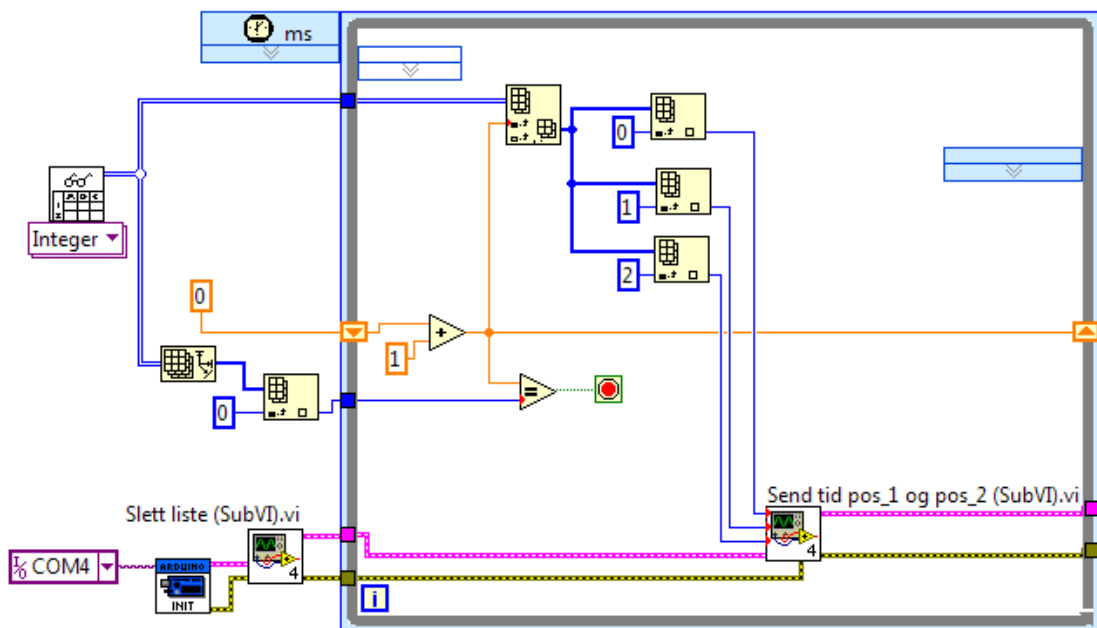
- Sliderne styrer ventilpådraget når systemet er i manuell modus
- "Avslutt" knappen avslutter programmet og frigjør COM-porten. Programmet MÅ avsluttes med denne knappen for å unngå full omstart av LabVIEW
- Når programmet startes, blir brukeren spurt om hvilket kjøremønster som skal lastes opp. Det ønskede kjøremønsteret mp da velges fra fil.
- PID-parametere justeres ved å skrive inn tall eller bruke pilene. De blir ikke satt før "OK" trykkes.
- Pos viser aktuell posisjon, Ref viser aktuell referanse, Waveform Chart viser begge



Figur 99 Frontpanel hovedprogram

## Initialisering og opplasting av kjøremønster

Programmet for opplasting av kjøremønstre vises på Figur 100.

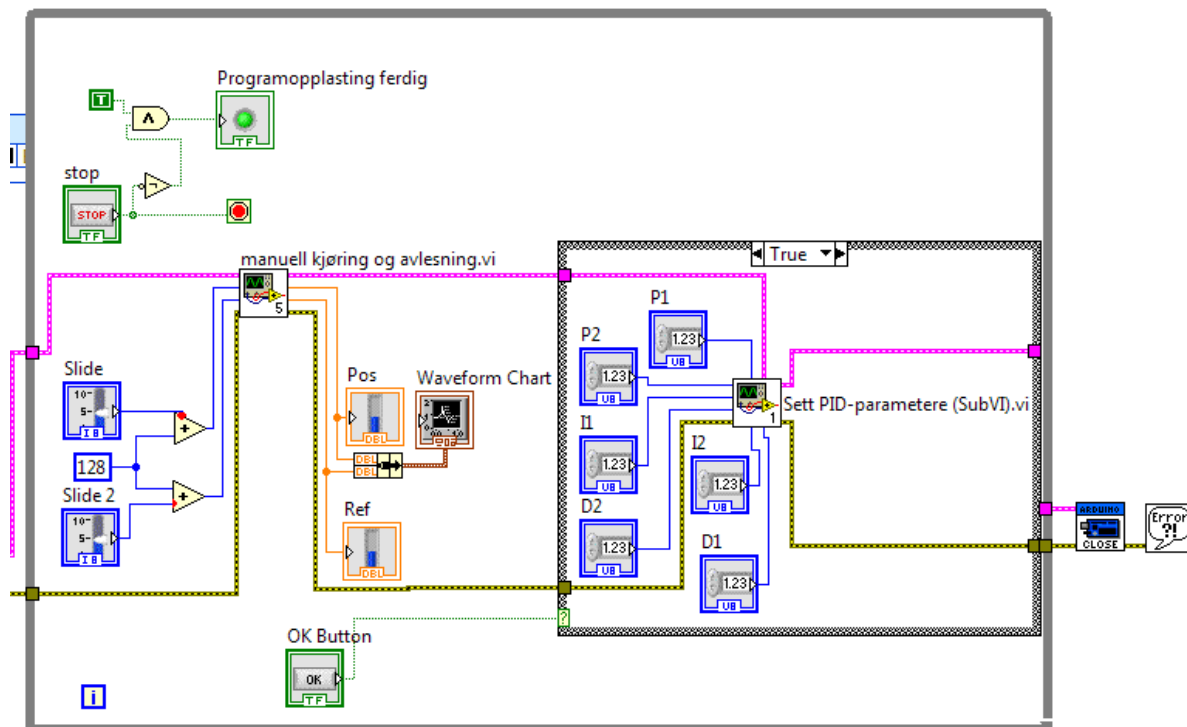


Figur 100 Initialisering og opplasting

- Blokken "integer" henter listen med kjørepunkter.
- Porten microcontrolleren er koblet til blir definert i blokken "init". Denne trenger vanligvis kun å settes første gang man bruker systemet på en ny pc. COM-porten kobles til LabVIEW
- SubVI "Slett liste" sletter eventuelle tidligere lister
- While-løkken sender en og en rad fra listen inn til SubVI "Send tid pos\_1 og pos\_2", når siste rad er nådd, avsluttes løkken. Hver pakke som overføres kan ikke være større enn definert i INIT-funksjonen og microcontroller-firmwaren. Som standard er dette satt til å være 15byte

## Kjørestate

Straks "Initialisering og opplasting" av kjøremønster er ferdig går programmet videre til neste tilstand som er kjørestate. Programmet sees på Figur 101.



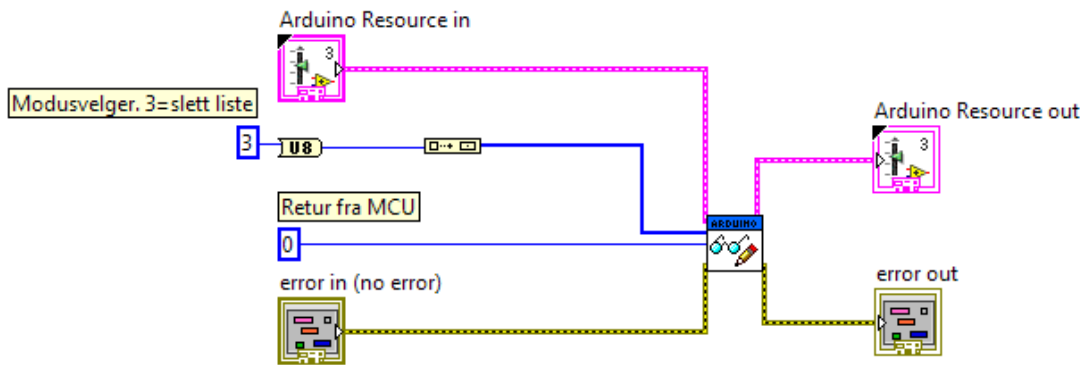
Figur 101 Kjørestate

Kjørestate fungerer ved at

- Straks sløyfen startes, slås indikatoren "programopplasting ferdig" på
- SubVI "manuell kjøring og avlesning" henter inn et signed 8-bit integer og summerer det med 128. Dette sendes til microcontrolleren. I retur får gruppa 2 double, dette er referanse og posisjon til sylinder 2 (Z-lokal)
- Dersom OK-bryteren opereres, startes en egen while-løkke inne i while-løkkka. Denne løkka inneholder ønskede verdier for begge PID-regulatorene. Verdiene blir satt ved hjelp av slidere i LabVIEW
- Dersom "Stop" (Avslutt) opereres, avsluttes løkka og indikatoren "programopplasting ferdig" slås av. Funksjonen "close" frigir COM-porten

## SubVI Slett liste

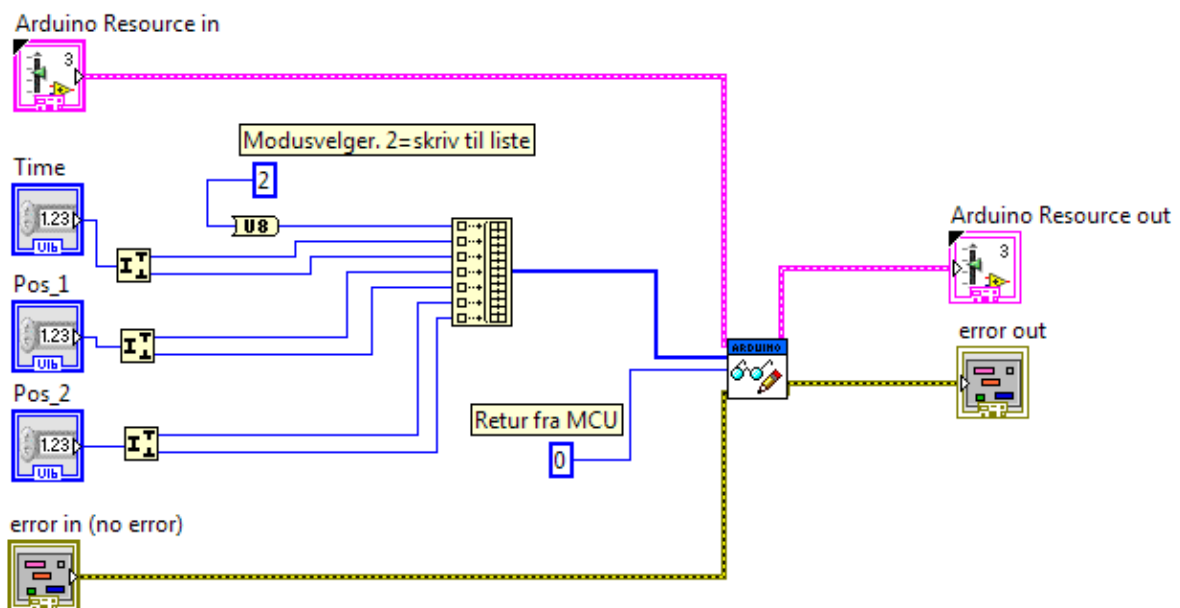
Programmet vises i Figur 102. Modusvelger er tallet som blir mottatt som `command[1]` i microcontrolleren. Ved å sette denne til 3 slettes lista. Det returneres ikke noe fra denne funksjonen.



Figur 102 Slett liste

### SubVI Send tid, pos\_1 og pos\_2

Programmet vises på Figur 103 ved at Modusvelgeren ble satt til 2. Dette for å si til microcontrolleren at det skal mottas nye data til listene

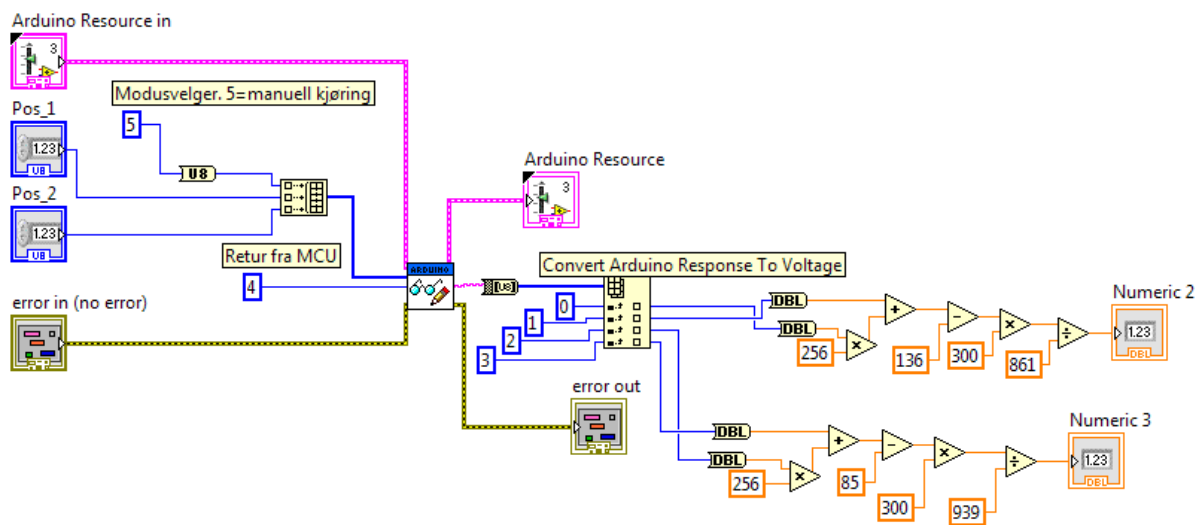


Figur 103 Send tid, pos\_1 og pos\_2

Hver sylinder har en slaglengde på 300mm. Siden referansesignalet (pos\_1 og pos\_2) da vil variere mellom 0 og 300, vil ikke 8bit data være tilstrekkelig. Dette fordi 8bit tilsvarer verdier mellom 0 og 255. Signalene blir derfor hentet inn som 16bit og så delt opp i to 8bit verdier. Totalt blir det da overført 56bit, eller 7byte. Noe som er trygt under grensa på 15byte per overføring. Det returneres ikke noe fra denne funksjonen

### SubVI Manuell kjøring og avlesning

Programmet sees i Figur 104 hvor modusvelgeren er satt til 5 for å velge manuell kjøring.



Figur 104 Manuell kjøring og avlesning

Verdier fra LabVIEW blir overført og lagt til variablene man\_1 og man\_2. Dersom bryteren på jiggjen står på manuell, vil verdiene herfra styre pådraget på ventilene. Merk at det overføres 8bit unsigned. Verdiene fra sliderene er -128 til 127, eller 8bit signed. Ved å legge til 128 vil microcontrolleren motta 128 når slideren står på 0. Denne verdien tilsvarer nullpunktet på ventilene.

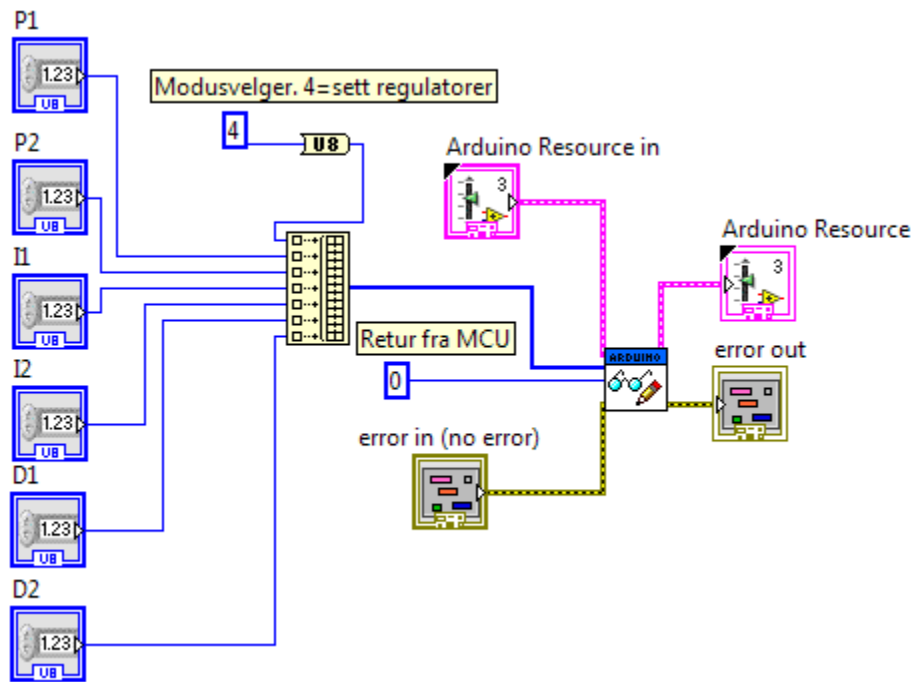
Det sendes 4byte i retur, dette er referansesignal og posisjonssignal fra den lokale Z-aksen (sylinder 2). Dataene er på 2x 2byte, men blir delt opp i 4x 1byte. Sammenslåingen skjer i summeringen etterpå:

$$verdi = lavt\ byte + 256 * høyt\ byte$$

Den resterende kalkuleringen er for å kompensere for offset og for å få riktig skalering.

## SubVI Sett PID-parametere

Programmet sees i Figur 105 hvor modusvelgeren står på 4 for å motta PID-parametere.



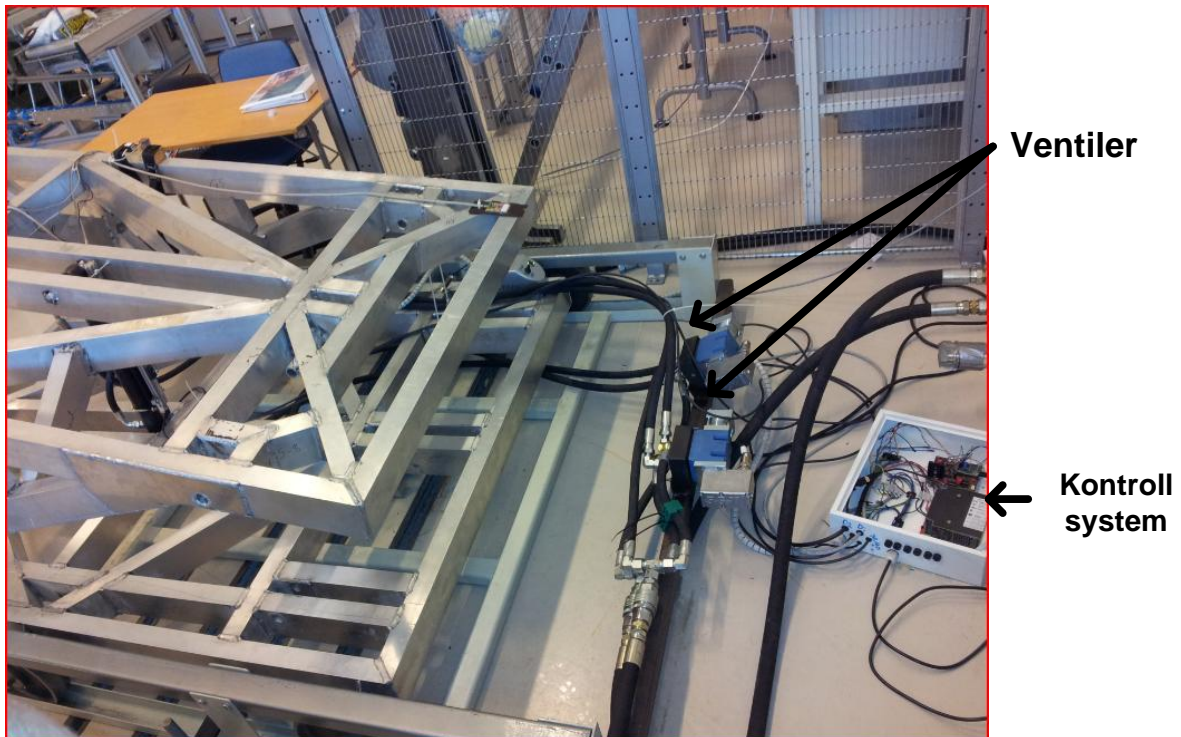
Figur 105 Sett PID-parametere

Her mottas det 6x 1byte unsigned (0-255) fra LabVIEW-programmet. I microcontrolleren blir verdiene delt på 100 før de legges inn i regulatoren

Det returneres ikke noe fra denne funksjonen

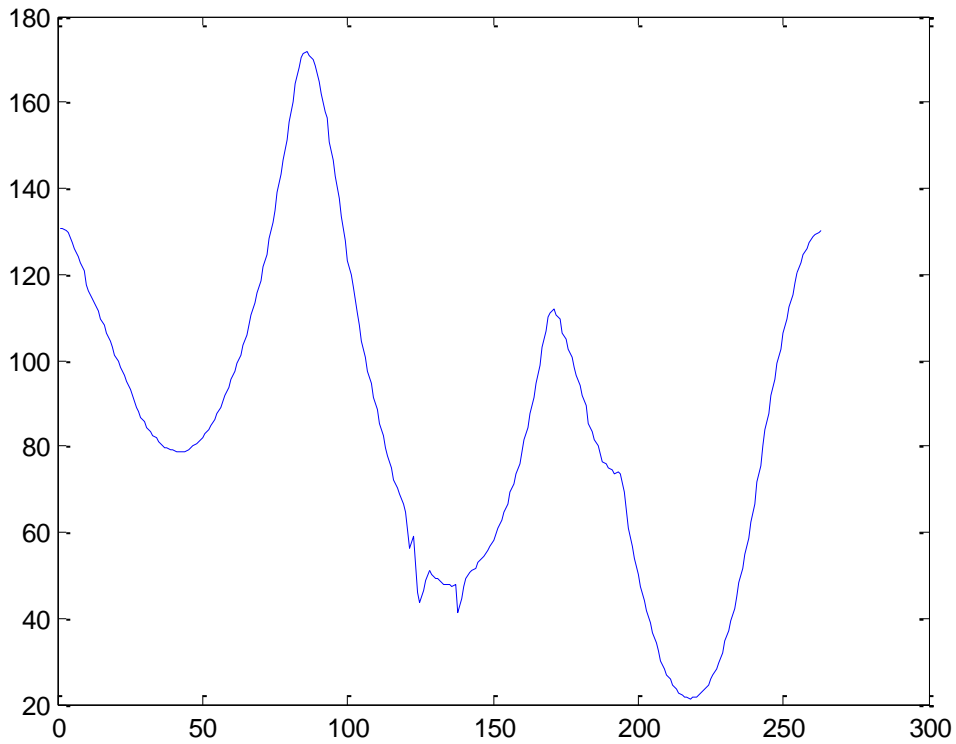
### 6.5.3 Testkjøring av Jiggen ved UiA

Jiggen ble koblet opp på UiA etter at kontrollsystemet var ferdig produsert og testet. Gruppen koblet opp jiggen til 100l/min HPUen som var nødvendig med tanke på hastigheter krevd for de raskeste bevegelsene. Jiggen ble koblet opp til det hydrauliske systemet gjennom ventilene inn til kontrollsystemet som igjen blir ført med en USB tilgang inn på en pc som laster opp kjøremønstret. Etter at kontrollsystemet er startet virker det uten behov for pc ved å repetere mønstret som er blitt lastet opp. Koblet opp vil det se ut som på Figur 106. I kontrollprogrammet i LabVIEW ble det implementert et proporsjonal ledd for hver av sylindersignalene for å kunne styre hvor stort pådraget skulle være i forhold til avviket mellom målt og registrert signal. Systemet ble kjørt med en proporsjonalverdi på 50 i LabVIEW, noe som tilsvarer 0.5 i microcontrolleren, for begge sylindrene for gruppas kjøring.



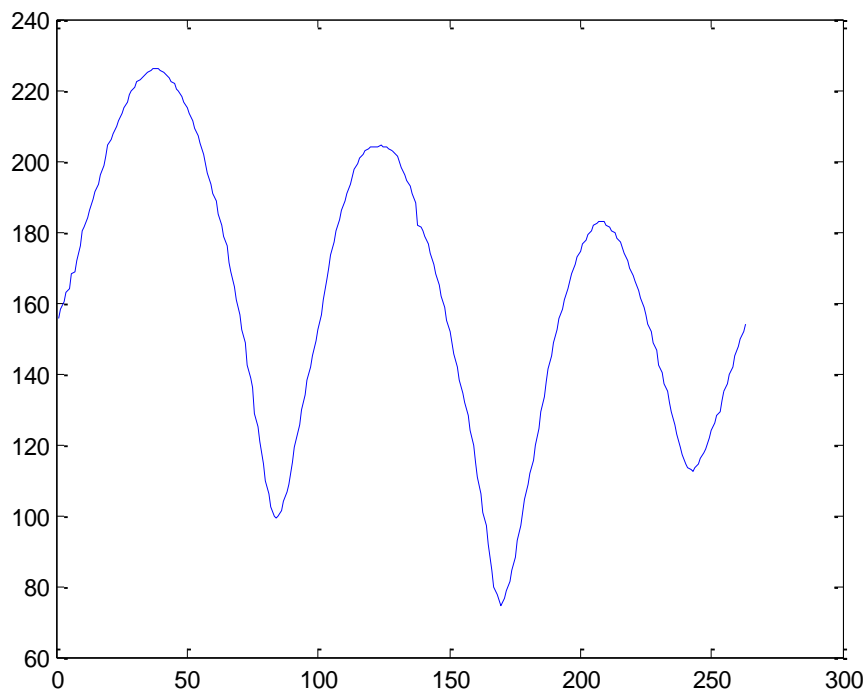
Figur 106 jiggen koblet opp med kontrollsystem

Fra kapittel 3 ble kjøremønstrene som posisjonspunkter mot målte punkter funnet for horisontal (Figur 107) og vertikal (Figur 108) bevegelse. Begge posisjonsplottene har 306 punkter fordelt utover en periodetid på 3.4s. Siden det var ønskelig med et repeterende mønster for å loggføre påkjenningen på vindskjermen over lengre tid, ble posisjonsprofilene endret for å gi et mønster som ender på samme punkt som det starter. Det ble i tillegg lagt inn en forsinkelse på 0.1s på starten for å gi jiggen tid til å ta igjen eventuelle avvik før den startet på mønsteret igjen. Figur 107 gir posisjonssignalet til den horisontale sylinderbevegelsen ved at start og sluttverdiene er tilnærmet like. Endring av dette kjøremønstret ble forklart i kapittel 3.5.1.



**Figur 107** Posisjonsreferanse for horisontal sylinder, med posisjonen i mm oppover og målte punkter bortover. Punktene bortover tilsvarer 4s periodetid

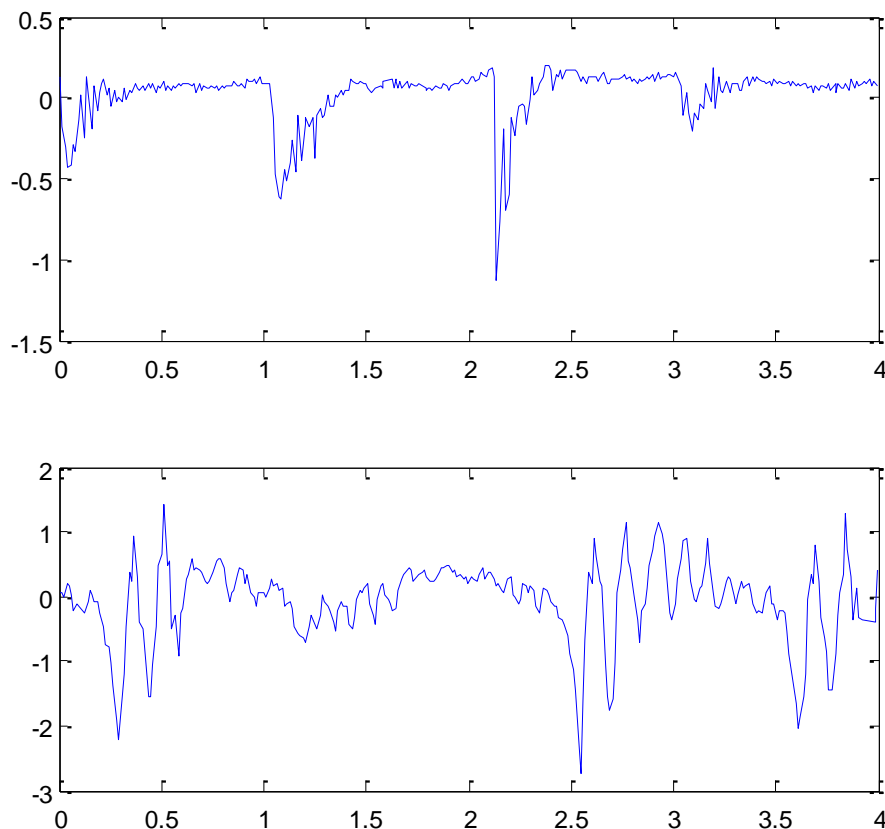
Posisjonsreferansen fra målingen for den vertikale sylindren på Figur 108 ble endret for å gi en god periodisk start og sluttverdi for å kunne brukes som et repeterende signal, forklart i kapittel 3.5.2.



**Figur 108** Posisjonsreferanse for vertikal sylinder, med posisjonen i mm oppover og målte punkter bortover. Punktene bortover tilsvarer 4s periodetid



Horisontalt kjøremønster på en Askeladden C62 crossover samt et utdrag av verdiene tatt ved kjøring av jigg i horisontal retning blir gitt i Figur 109. Øverst på Figur 109 ser man de målte akselerasjonene, mens nederst på Figur 109 ser man et utdrag av de horisontale akselerasjonene på jigg målt med akselerometer. De vertikale aksene i Figur 109 gir akselerasjoner i antall g som båten og jiggjen opplever, mens de horisontale aksene er varighet gitt i sekund for utdraget skalert ned til samme tid for mer oversiktelige bilder. Ut ifra Figur 109 kan man se at akselerasjonene som blir registrert på jiggjen for de horisontale akselerasjonene er større med gruppens regulering enn hva som er forventet for akselerasjon fra målingene. Ved å bruke en finere regulering samt justere kjøreprofilene kan dette avviket bli mindre. Man ser at på både Figur 109 og Figur 110 at det er mer forstyrrelse på det registrerte signalet enn på de målte verdiene. Begge signalene er blitt kjørt gjennom med de samme filtrene, men mulige grunner for denne forstyrrelsen kan være at ventilene skifter mellom 2 verdier slik at oljen ikke stopper helt opp, eller at de ekstra akselerasjonsslagene blir skapt av jiggens vibrasjon etter å plutselig stoppe opp ved en signaltopp.



**Figur 109 akselerasjonsplot for horisontal sylinder. Øverst målt akselerasjon i båt, nederst registrert akselerasjon på jigg**

Verdiene for det vertikale kjøremønsteret samt et utdrag av verdiene ved vertikal kjøring av jigg er gitt i Figur 110. Øverst i Figur 110 er de målte akselerasjonene ved kjøring av Askeladden C62 crossover, mens nederst er et utdrag av de vertikale akselerasjonene på jiggjen målt med akselerometer. De vertikale aksene i Figur 110 gir akselerasjoner i antall g som båten og jiggjen opplever, mens på den horisontale aksene er varigheten gitt i sekund for utdraget skalert ned til samme tid for mer oversiktelige bilder. Man ser at verdiene ved kjøring ikke ble like høye som ved måling, men plasseringen av akselerometeret på jiggjen er nærmere hengselen enn akselerometeret var under målingene. Derfor ved å bruke formel (6.1) kan man regne seg ut til de største aktuelle akselerasjonene som jiggjen gir ut ved den aktuelle lengden. Det høyeste målte slaget er vist i foremel (6.1) med verdier.

$$\frac{\text{Målt akselerasjon}}{\text{avstand til hengsle}} * \text{avstand til plassering på båt} \quad (6.1)$$

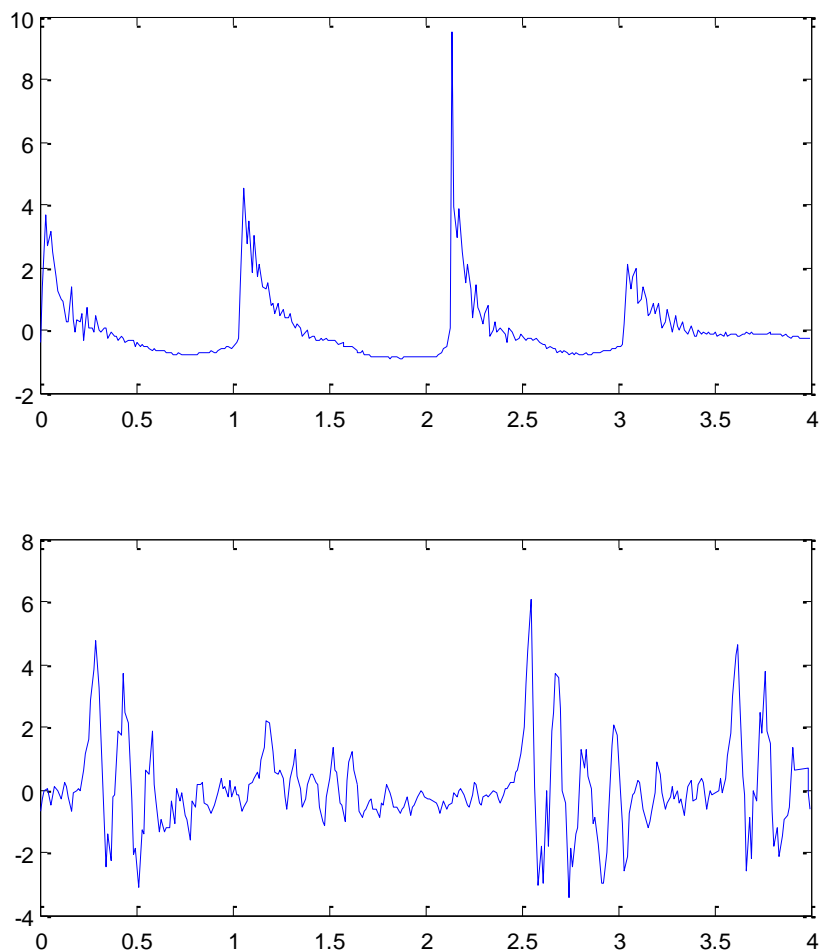
Hvor

Målt akselerasjon = 6g

Avstand til hengslene = 1.53m

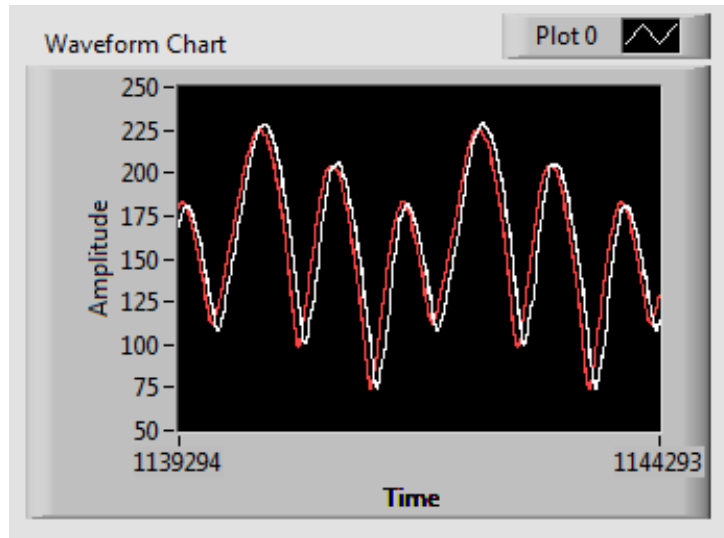
Avstand til plassering på båt = 2.4m

Den største akselerasjonen målt på jiggen er på 6g og kan ses nederst på Figur 110, dermed fra formel (6.1) får man en akselerasjon på 9.4g noe som stemmer godt med målt maks verdi fra målingene avlest øverste på Figur 110. Men også her som for de horisontale akselerasjonene ser man at jiggen ligger etter det målte signalet sammen med at signalet gir flere akselerasjonsslag enn målingene. Ved finere regulering og justering av kjøremønsteret kan dette avviket forbedres. Systemet bruker lengre tid på å komme opp til den aktuelle akselerasjonen, hvis man hadde derivert signalet og sett på jerken ville denne verdien vært høyere for de målte signalene enn de jiggen ville gitt ut. Med jerk menes endringen til akselerasjonen.



Figur 110 akselerasjonsplot for vertikal sylinder. Øverst målt akselerasjon i båt, nederst registrert akselerasjon på jigg

Figur 111 viser resultatet mellom det vertikale posisjonssignalet og de registrerte verdiene ved kjøring av jigg. Hvor den røde strekken er referanse signalet som ble funnet ved målinger i en Askeladden C62 crossover, og den hvite er den virkelige posisjonen gitt av posisjonsgiveren på jigg. Man ser da at virkelige verdien følger så godt som referansesignalet utenom en liten forsinkelse.



Figur 111 resultatet fra kjøremønsteret på jigg. Rød er referansesignalet og hvit er jiggens posisjon

Gruppen har kjørt en grovtest av systemet ved kun å definere et proporsjonalledd for regulering av systemet. Dette er gjort for å vise at alt fra kontrollsystemet til oppkoblingen av det hydrauliske systemet virker som det skal, det vil bli regulert for bedre resultater ved en senere anledning. Man ser at ved denne grove reguleringen at jigg klarer å gjenspeile det målte signalet meget godt.

## 7 Konklusjon og videre arbeid

Formålet med denne oppgaven var å gjøre endringer på det eksisterende produktet fra bachelorprosjektet "Testjigg mot sloshing" utført i 2008, slik at den kan etterlikne best mulig akselerasjonen som opptrer i båtstrukturen. Dette for å gjøre det mulig for Ertec å gjøre tester på sine vindskjermer og takluker med tanke på skader, for deretter å forbedre produktene.

Akselerasjonen ble funnet ved målinger på en Askeladden C62 crossover med akselerometer og en kombinasjon av gyro og inclinometer. Resultatene ble deretter registrert og lagret ved hjelp av LabVIEW. Disse resultatene ble tolket og største påkjenning ble brukt på konstruksjonen. Ved å gjøre styrketester på endringene samt hele konstruksjonen, så man at kun ved å skifte ut materialet som sylinderakslene bestod av til et material med høyere flytegrense vil konstruksjonen klare påkjenningen fra akselerasjonene med en større sikkerhet. Ved å lage 2 aksler med et material med flytegrense på rundt 650MPa vil sikkerheten på akslene øke til rundt 2. Når man viste at strukturen var sterk nok var det nødvendig å se om sylindrerne og styresystemet klarte å gjenskape så like som mulige hastigheter som funnet ved måling. Ved å sammenlikne de målte resultatene opp mot de registrerte resultatene på konstruksjonen, så man at disse lå veldig nærme hverandre. Basert på resultatene fra denne rapporten har gruppa klart å gjøre endringer som tilfredstiller i stor grad kravene som ble bestemt i oppgavebeskrivelsen.

For å kunne kjøre kontrollsystemet som er blitt laget trenger Ertec å kjøpe en LabVIEW-pakke som heter LabVIEW basic samt en HPU som klarer å levere 100l/min ved et trykk på 250bar. Det skal også la seg gjøre å bruke en mindre HPU i kombinasjon med en akkumulator. Gruppen foreslår som videre arbeid å kjøre målinger og styrkeanalyser på flere båter for å kunne drive produkttesting på flere produkter. Dette for å øke mulighetene og utnyttelsesområde Ertec vil få av konstruksjonen. Det burde bli sett på løsninger for standardisering av festeanordninger for produktene som skal brukes til testing på konstruksjonen. Grunnet liten tid og problemer i oppgavetiden er ikke dette blitt gjort i denne rapporten. Som videre optimalisering av styresystemet kunne man sett på hvordan det ville være å kjøre programmet uten LabVIEW og heller ha kjøremønsteret som en liste på forskjellige minnepenner/minnekort og bruke et LCD-display for å vise brukerinformasjon.

## Kildehenvisning

1. *Transcribe*. <http://www.seventhstring.com/> 31.05.2012.
2. *Triple Axis Accelerometer Breakout - BMA180*.  
<http://www.sparkfun.com/products/9723> 26.05.2012.
3. *BMA180 datablad*.  
[http://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Sensors/Accelerometer/s/BST-BMA180-DS000-07\\_2.pdf](http://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Sensors/Accelerometer/s/BST-BMA180-DS000-07_2.pdf) 30.05.2012.
4. *Evaluation Board - ADXL345*. <http://www.sparkfun.com/products/9814> 26.05.2012.
5. *Omni instruments*.  
<http://www.omniinstruments.co.uk/products/product/moredetails/modelid121.html> 26.05.2012.
6. *Crossbow*.  
<http://bullseye.xbow.com:81/Products/productdetails.aspx?sid=237> 26.05.2012.
7. *Arduino Uno - R3* <http://www.sparkfun.com/products/11021> 26.05.2012.
8. *Sensor Interfacing* <http://www.sparkfun.com/tutorials/65> 26.05.2012.
9. *ChipKit*. <http://www.chipkit.org/forum/viewtopic.php?f=7&t=334> 26.05.2012.
10. *SPI library*. <http://arduino.cc/en/Reference/SPI> 26.05.2012.
11. *analogRead()*. <http://arduino.cc/en/Reference/analogRead> 26.05.2012.
12. *ASCII*. <http://no.wikipedia.org/wiki/ASCII> 29.05.2012.
13. *Yr.no*. [http://www.yr.no/sted/Norge/Vest-Agder/Kristiansand/Oks%C3%B8y\\_fyr\\_m%C3%A5lestasjon/almanakk.html?dato=2012-03-28](http://www.yr.no/sted/Norge/Vest-Agder/Kristiansand/Oks%C3%B8y_fyr_m%C3%A5lestasjon/almanakk.html?dato=2012-03-28) 26.05.2012.
14. *The balance filter*. <http://web.mit.edu/scolton/www/filter.pdf> 26.05.2012.
15. Craig, H.J., *Introduction to Robotics Mechanics and control*. Vol. third edition. 2005.
16. Nise, N.S., *Control Systems Engineering*. 2008(5th Edition).
17. *D634 datablad for ventilene*.  
[http://www.moog.com.br/pdf/D633\\_D634.pdf](http://www.moog.com.br/pdf/D633_D634.pdf) 01.02.2012.
18. *viskositet* <http://snl.no/viskositet> 21.05.2012.
19. *SAE20 viskositet*. [http://www.vp-scientific.com/Viscosity\\_Tables.htm](http://www.vp-scientific.com/Viscosity_Tables.htm) 21.05.2012.
20. Hansen, M.R. and T.O. Andersen, *Hydraulic Components and Systems*, 2009.
21. *Basic of flow measurement*.  
[http://www.epluse.com/fileadmin/data/miscellaneous/principles\\_of\\_flow\\_measurement.pdf](http://www.epluse.com/fileadmin/data/miscellaneous/principles_of_flow_measurement.pdf) 21.05.2012.
22. Pedersen, S.E., et al., *Teknisk formelsamling med tabeller*. 7.utgave 1998.
23. Robbersmyr, K.G., *Maskindeler* Trondheim 1996.
24. Hartvig hartvigsen, R.L., Knut Michelsen, Sverre Seljevoll, *Verksted Håndboka*. 2006. **6. utgave**.
25. *Friction*. <http://en.wikipedia.org/wiki/Friction> 10.04.2012.
26. Logan, D.L., *finite element method*. Vol. 4th edition. 2011.

27. *LVDT basics.* [http://www.macrosensors.com/lvdt\\_tutorial.html](http://www.macrosensors.com/lvdt_tutorial.html) 09.02.2012.
28. *How it works-LVDT.* <http://www.rdpe.com/ex/hiw-lvdt.htm> 09.02.2012.
29. *LVDT Spesifikasjoner.* [http://www.balluff.com/NR/rdonlyres/AB2B1F72-870A-49E1-A143-D7061E553A3B/0/822987\\_BTL\\_02\\_1003\\_en.pdf](http://www.balluff.com/NR/rdonlyres/AB2B1F72-870A-49E1-A143-D7061E553A3B/0/822987_BTL_02_1003_en.pdf) 12.04.2012.
30. *Micropuls transdusere BTL.* [http://www.balluff.com/NR/rdonlyres/CA922565-3451-4D20-94E4-972BA8B585C0/0/822987\\_BTL\\_01\\_1003\\_en.pdf](http://www.balluff.com/NR/rdonlyres/CA922565-3451-4D20-94E4-972BA8B585C0/0/822987_BTL_01_1003_en.pdf) 24.05.2012.
31. *Datablad for micro puls transduser.* [http://www.balluff.com/NR/rdonlyres/8DF690D2-9438-4786-A14A-E2D81480EE68/0/210292\\_MicropulsePFupdated\\_WEB.pdf](http://www.balluff.com/NR/rdonlyres/8DF690D2-9438-4786-A14A-E2D81480EE68/0/210292_MicropulsePFupdated_WEB.pdf) 24.05.2012.
32. *mikro puls transduser.* <http://www.sensorland.com/HowPage024.html> 24.05.2012.
33. *Diamagnetisme.* <http://no.wikipedia.org/wiki/Diamagnetisme> 27.05.2012.
34. *Ferromagnetisk.* <http://no.wikipedia.org/wiki/Ferromagnetisk> 27.05.2012.
35. *NI USB 6008.* [http://www.tau.ac.il/~electro/pdf\\_files/computer/ni\\_6008\\_ADC\\_manual.pdf](http://www.tau.ac.il/~electro/pdf_files/computer/ni_6008_ADC_manual.pdf) 27.05.2012.
36. *Testprogramm for en USB 6008.* [http://www.nunoalves.com/classes/spring\\_2012\\_engr110/DAQ\\_notes.pdf](http://www.nunoalves.com/classes/spring_2012_engr110/DAQ_notes.pdf) 27.05.2012.
37. *NI sbRIO-9632/9632XT* [http://sine.ni.com/images/products/us/sbrio-9631\\_l.jpg](http://sine.ni.com/images/products/us/sbrio-9631_l.jpg) 27.05.2012.
38. *Teensy++ 2.0.* <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/313140/ATMEL/AT90USB1286.html> 30.05.2012.
39. *Teensy 2++.* <http://www.pjrc.com/teensy/features.gif> 27.05.2012.
40. *TLC7524CN datasheet.* <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/28932/TI/TLC7524CN.html> 21.05.2012.
41. *Burr Brown.* <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/56857/BURR-BROWN/RCV420KP.html> 29.05.2012.
42. *Arduino 1.0.* [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc) 29.05.2012.
43. *teensyduino.* [http://pjrc.com/teensy/td\\_download.html](http://pjrc.com/teensy/td_download.html) 29.05.2012.
44. *teensy loader.* <http://pjrc.com/teensy/loader.html> 29.05.2012.
45. *NI LabVIEW interface for Arduino Toolkit.* <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/209835> 29.05.2012.
46. *teensy kommuniserer med LabVIEW.* <http://www.pjrc.com/teensy/languages.html> 29.05.2012.
47. *Arduino PID reglator.* <http://arduino.cc/playground/Code/PIDLibrary> 29.05.2012.
48. *FIFO.* <http://en.wikipedia.org/wiki/FIFO> 29.05.2012.
49. *Arduino QueueList.* <http://arduino.cc/playground/Code/QueueList> 29.05.2012.

## Figurliste

Figur 1 Rådata, 1s .....	8
Figur 2 Stage2, 1s.....	9
Figur 3 LabVIEW-filtrert, 100Hz lowpass, 1s .....	9
Figur 4 Forskjøvet data .....	10
Figur 5 Notch-filtrering: Blå original, rød filtrert, 1s.....	10
Figur 6 Screenshot fra Transcribe.....	11
Figur 7 Block diagram filter .....	12
Figur 8 Posisjonsplot.....	12
Figur 9 Filtrert og ikke-filtrert akselerasjonsdata .....	13
Figur 10 Datalogger .....	14
Figur 11 BMA180 Breakout .....	15
Figur 12 ADXL 345 Evaluation board .....	15
Figur 13 Summit 31207B .....	16
Figur 14 Crossbow CXTLA .....	16
Figur 15 Arduino Uno R3 .....	17
Figur 16 3.3V/5V sammenkobling .....	18
Figur 17 Lagring av aksedata .....	20
Figur 18 Komplette datamottaker.....	21
Figur 19 Datasplitter .....	21
Figur 20 Sensorplassering.....	25
Figur 21 Plassering av akselerometer i Askeladden C62 crossover.....	26
Figur 22 plassering av gyro/inclinometer i Askeladden C62 crossover .....	26
Figur 23 Værobservasjoner .....	27
Figur 24 GPS-logg.....	28
Figur 25 Gyro integrert.....	29
Figur 26 Gyro og inclinometeret med komplementærfiltrert.....	30
Figur 27 Utslag i lokal Z-retning målingene nummerert fra venstre øverste linje 5,7,3 og nederst 6,4,2 .....	30
Figur 28 Registrerte verdier.....	31
Figur 29 hastighet, Z-lokal .....	32
Figur 30 Vippepunkter for jigg og båt.....	32
Figur 31 Plassering av vindskjerm på jigg.....	33
Figur 32 Kjøremønster, X-global, med drift.....	34
Figur 33 Kjøremønster X-global, driftkorrigert.....	35
Figur 34 Hastighetsprofil, X-global, sylinter 2.....	36
Figur 35 Aktuelle mål for sylinterplassering, $\theta=0$ .....	36
Figur 36 Kjøreprofil, sylinter 1 .....	38
Figur 37 SimulationX modell av bachelorgruppens design .....	39
Figur 38 Step responsen til ventilene.....	40
Figur 39 Frekvens responsen til ventilen.....	40
Figur 40 Hastighetsresultater for 1,2 og 3 sylindere med en liten HPU som gir 23[l/min] og en stor HPU som gir 100[l/min] og kreftene 1 sylindere kan generere.....	42
Figur 41 Hastighetsresultatene fra SimulationX. Rød er sylinter 1 i X-retning. Blå er sylinter 2 i Y-retning. ....	43
Figur 42 Modellen fra "Testjigg for sloshing" .....	44
Figur 43 Spenningen i sylindereakselen på slagrammen, viser maks spenning på 339MPa for akselen .....	46
Figur 44 Forslag 1 med endringene på jiggen .....	47
Figur 45 Forslag 1 slagrammen.....	48

Figur 46 Forslag 1 rullerammen .....	48
Figur 47 Forslag 2 med endringer på jiggen .....	49
Figur 48 Forslag 2 slagramme.....	49
Figur 49 Forslag 2 rulleramme.....	50
Figur 50 Test 1 med antagelser .....	52
Figur 51 flyt i slagrammen med maks påkjenning på 339MPa .....	53
Figur 52 test 1 med over 300MPa flytegrense .....	53
Figur 53 forflytning på slagrammen på 10mm .....	54
Figur 54 hengsleresultat fra slagrammen mot rullerammen(grønn) viser 5985.6N .....	54
Figur 55 Sylinder resultat fra slagrammen mot rullerammen (grønn) viser 11054N.....	55
Figur 56 forenklet modell for visning av masse senter og krefter på slagrammen.....	56
Figur 57 Styrketest for slagrammen .....	58
Figur 58 flytespenningen for test 2 på 277MPa .....	59
Figur 59 akslingsavstanden på stålet.....	59
Figur 60 nedbøyingen for test 2 ble på 0.56mm .....	60
Figur 61 Styrketest for rullerammen .....	64
Figur 62 Flyt spenningresultatet for test 3 på 217.6MPa.....	65
Figur 63 Akselavstanden på stål for rullerammen .....	65
Figur 64 Forflytning for test 3 på 0.13mm .....	67
Figur 65 Plassering av krefter og anker punkter på rullerammen.....	69
Figur 66 flyt resultatene for test 4 med 263.1MPa .....	69
Figur 67 nedbøying for test 4 på 2.26mm .....	70
Figur 68 Jiggen med forbedringene.....	71
Figur 69 Stress/Strain diagram for ST-52.....	72
Figur 70 Mikro puls transduser fra Baluff.....	73
Figur 71 Ferromagnetisk material med og uten et magnetisk felt.....	74
Figur 72 vridning fra en magnet vinkelrett på en ferromagnetisk ledning .....	74
Figur 73 Virkemåten til mikro puls transduser .....	75
Figur 74 Mikro puls transduseren på slagrammen.....	75
Figur 75 Mikro puls transduser på rullerammen.....	76
Figur 76 Analog side av en USB 6008 .....	77
Figur 77 Digitale siden av en USB 6008 .....	78
Figur 78 NI USB 6008 koblet opp.....	78
Figur 79 USB 6008 signal forsinkelse bakrom .....	79
Figur 80 Testen kjørt kun med LabVIEW .....	80
Figur 81 Testen kjørt med Firefox i tillegg.....	80
Figur 82 NI sbRIO-9632/9632XT .....	81
Figur 83 Teensy++ 2.0.....	82
Figur 84 Koblingsskjema, oversikt .....	83
Figur 85 5V Spenningsregulator .....	84
Figur 86 DAC og OP-amp .....	85
Figur 87 10V referansespenning .....	85
Figur 88 Strøm til spenningsomformer .....	87
Figur 89 DC-DC-converter.....	87
Figur 90 Mønsterkort .....	88
Figur 91 Styreskap .....	89
Figur 92 Oppkobling av responstest.....	91
Figur 93 Resultat av responstest .....	92
Figur 94 Hovedsløyfe Arduino .....	93
Figur 95 Oppdatering av kjøremønster .....	94
Figur 96 QueueListEvo.....	95
Figur 97 Sende og motta fra LabVIEW.....	96




Figur 98 LabVIEW-hovedprogram .....	97
Figur 99 Frontpanel hovedprogram .....	97
Figur 100 Initialisering og opplasting .....	98
Figur 101 Kjørestate .....	99
Figur 102 Slett liste .....	100
Figur 103 Send tid, pos_1 og pos_2 .....	100
Figur 104 Manuell kjøring og avlesning.....	101
Figur 105 Sett PID-parametere.....	102
Figur 106 jiggjen koblet opp med kontrollsystem.....	103
Figur 107 Posisjonsreferanse for horisontal sylinder, med posisjonen i mm oppover og målte punkter bortover. Punktene bortover tilsvarer 4s periodetid.....	104
Figur 108 Posisjonsreferanse for vertikal sylinder, med posisjonen i mm oppover og målte punkter bortover. Punktene bortover tilsvarer 4s periodetid.....	104
Figur 109 akselerasjonsplot for horisontal sylinder. Øverst målt akselrasjon i båt, nederst registrert akselerasjon på jigg .....	105
Figur 110 akselerasjonsplot for vertikal sylinder. Øverst målt akselerasjon i båt, nederst registrert akselerasjon på jigg .....	106
Figur 111 resultatet fra kjøremønsteret på jiggjen. Rød er referansesignalet og hvit er jiggens posisjon .....	107

## Vedleggsliste

Vedlegg A	Bachelorprosjektet
Vedlegg B	Snittmålinger
Vedlegg C	Konvertering til wav
Vedlegg D	Eulers integrasjons script
Vedlegg E1	ADXL345 MATLAB script
Vedlegg E2	ADXL345 LabVIEW program
Vedlegg F	Akselerometer Arduino kode
Vedlegg G	Inclinometer CXTLA datablad
Vedlegg H	Gyro kalibreringsbevis
Vedlegg I	Differansesjekk
Vedlegg J	Plassering av akslene og kjøreprofil script
Vedlegg K	Sylinderberegning
Vedlegg L	2D tegninger av endringene
Vedlegg M	Micropuls PF User Guide
Vedlegg N	LM317TL datablad
Vedlegg O	Current loop receiver
Vedlegg P	DC-DC converter
Vedlegg Q	EagleCad
Vedlegg R	Firmware
Vedlegg S	Oppgavebeskrivelse

## Vedlegg A Bachelorprosjektet

<b>Miniprojekt: Testjigg for sloshing</b>  <b>for ingeniørutdanningen</b>  <b>Faøultet for teønologi, Grimstad</b>		  <b>Universitetet i Agder</b>
<b>Tittel: Bygging av testjigg for analyse av sloshing i drivstofftank for hurtiggående fartøy</b>		<b>Rapport nr.: Oppgave 14</b>  <b>Fagområde: Maskin</b>  <b>Antall sider: 196</b>
<b>Oppdragsgiver: Ertec AS</b>		<b>Dato: 2/6-2008</b>
<b>Forfattere:</b> <b>Gruppe 14</b> <b>Kim André Bertmand</b> <b>Joachim Hytten</b> <b>Ove Johan Kalsnes</b>		<b>Veileder:</b> <b>Hans Jørgen Bjelke Mørch</b>
<b>Emneord: TESTJIGG STYRKEANALYSE HYDRAULIKK LABVIEW</b>		
<b>Synopsis:</b>  Det vites lite om hvilke massekrefter som oppstår i drivstofftanker på hurtiggående båter når de kjøres i grov sjø. Det er også svært få regler som omhandler dimensjonering og innfestning av disse tankene.  Prosjektrapporten omhandler byggeprosessen av en testjigg for testing av slike drivstofftanker. Rapporten beskriver prosessen fra konsept til produkt. Testjiggen er dimensjonert etter visse krav og analysert deretter. Labview styrer to servoventiler og som videre driver 3 hydraulikksylindere.		
<b>Telefon: +47 37 25 30 00</b>	<b>Grooseveien 36, N-4876 Grimstad</b>	<b>Telefaks: +47 37 25 30 01</b>

## Forord

Rapporten inneholder dokumentasjon til hovedprosjektet ”Testjigg for Sloshing i Tank”. Den presenterer resultatet fra bachelor hovedoppgave gitt av Universitetet i Agder, fakultetet for teknologi i samarbeid med firmaet Ertec AS. Ertec er en ledende leverandør av tilbehør til fritidsbåter, med fokus på vindskjermer og drivstofftanker.

Dokumentet er utformet som en teknisk rapport hvor vi har dokumentert prosessen som vi har vært gjennom på en måte som gjør produktet reproducerbart. Alle komponenter og deres formål er dokumentert.

Hovedprosjektet er en videreføring av miniprojektet. Rapporten til dette hovedprosjektet følger en utviklingsprosess der valgte fremgangsmåter og løsninger begrunnes. Hovedprosjektet omfatter arbeidet etter denne utviklingsprosessen i miniprojektet.

Gruppen vil gjerne takke veileder Hans Jørgen Bjelke Mørch, Ertec AS ved Jan Erik Gledje og Morten Ottestad for hjelp og veiledning. En takk rettes også til Jan Henriksen og Frank Graversen for hjelp med styrkeanalysen. Gruppen vil også takke de ansatte ved maskinlaben på UiA for god hjelp under prosjektet.

Grimstad 2/6-2008



Kim André Bertmand



Joachim Hytten




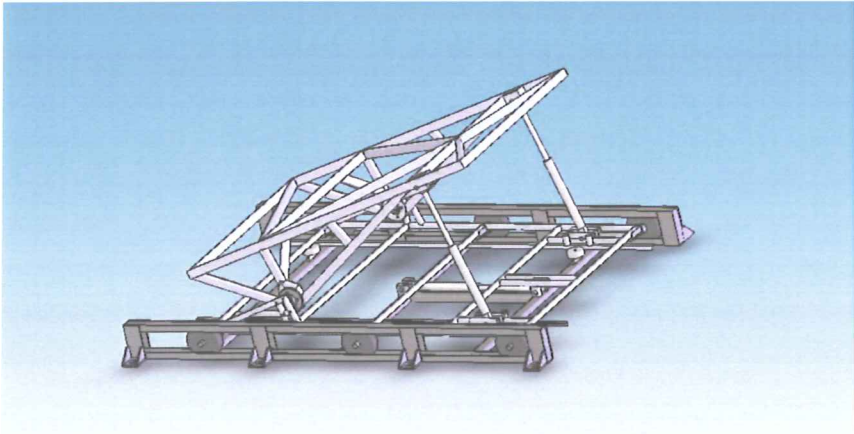
Ove Johan Kalsnes

# Innholdsfortegnelse

<b>Forord</b>	<b>2</b>
<b>Innholdsfortegnelse</b>	<b>3</b>
<b>1.0</b>	<b>5</b>
<b>1.0 Oppgaveteksten</b>	<b>5</b>
HOVEDPROSJEKT V08.	5
<b>2.0 Forprosjektet</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Problemstilling</b>	<b>7</b>
<b>2.2 Bakgrunn for testing av tank</b>	<b>8</b>
<b>3.0 Endelig design</b>	<b>9</b>
<b>3.1 Sammenstillingen</b>	<b>9</b>
<b>3.2 Bunnrammen</b>	<b>10</b>
<b>3.3 Rullerammen</b>	<b>11</b>
<b>3.4 Slagrammen</b>	<b>12</b>
<b>3.4 Mindre komponenter</b>	<b>13</b>
<b>3.5 Fabrikasjon og montasje</b>	<b>14</b>
<b>4.0 Styrkeanalyse</b>	<b>15</b>
<b>4.1 Systembeskrivelse og Lastbeskrivelse</b>	<b>15</b>
<b>4.2 Analysen</b>	<b>15</b>
<b>4.3 Materialer</b>	<b>16</b>
<b>4.4 Bunnrammen</b>	<b>18</b>
4.4.1 Konklusjon	19
<b>4.5 Rullerammen</b>	<b>20</b>
4.5.1 Tilfelle 1	20
4.5.2 Tilfelle 2	22
4.5.3 Tilfelle 3	24
4.5.4 Konklusjon	26
<b>4.6 Slagrammen</b>	<b>26</b>
4.6.1 Tilfelle 1	26
4.6.2 Tilfelle 2	27
4.6.3 Tilfelle 3	29
4.6.4 Konklusjon	30
<b>4.7 Forslag til endringer</b>	<b>31</b>
<b>5.0 Hydraulikk</b>	<b>32</b>
<b>5.1 Hydraulikkaggregat</b>	<b>32</b>
<b>5.2 Servoventiler</b>	<b>33</b>
<b>5.3 Sylindre</b>	<b>35</b>
<b>5.3 Generell oppkobling for hydraulikk</b>	<b>36</b>
<b>6.0 Styresystem</b>	<b>37</b>
<b>6.1 Programmet</b>	<b>37</b>
<b>6.2 Kretskort</b>	<b>40</b>
<b>7.0 Bygging og montering</b>	<b>44</b>

<b>8.0 Videre arbeid</b>	<b>45</b>
<b>9.0 Økonomi</b>	<b>45</b>
<b>10.0 Konklusjon</b>	<b>46</b>
<b>11.0 Litteraturliste</b>	<b>47</b>
<b>12.0 Vedlegg</b>	<b>48</b>

## 1.0 Oppgaveteksten

<b>Universitetet i Agder</b> <b>Fakultet for teknologi</b> <b>Avdeling for mekatronikk</b>	HOVEDPROSJEKT V08.	
<b>Prosjektets tittel</b> <b>BYGGING AV TESTJIGG FOR SLOSHING I TANK</b>		
<b>Oppdragsgiver: :</b> Universitetet i Agder Ertec AS.	<b>For studentene:</b> Joachim Hytten, Kim André Bertmand, Ove Johan Kalsnes	
<b>Kontaktperson/veileder (UiA):</b> Hans Jørgen Bjelke Mørch(UiA) og Jan Erik Gledje(Ertec)	<b>Innleverings frist : 2/6-2008</b> <b>Presentasjon (Konfidensiell/Åpen):</b> Åpen	
<b><u>Oppgavens bakgrunn:</u></b> <p>Ertec er en av de største aktørene innen tank, vindsjermer og tilbehør til båtindustrien. For å effektivt kunne designe en drivstofftank til hurtiggående båter, er det viktig å vite hva slags designhensyn man må ta hensyn til. Flere selskaper innenfor denne industrien har etterspurt kunnskap for denne problemstillingen. For å hente inn denne kunnskapen så er det vanligste å montere sensorer og måleutstyr i en ferdig båt. Da er den allerede designet og man kan ikke nøyaktig forutsi om designen fungerer, og for å få gode målinger må både båten og tanken modifiseres noe som både er dyrt og tidkrevende. For å effektivisere hele denne prosessen ville det vært fordelaktig å kunne finne et design av en tank som fungerer bra innenfor den bruk båten er konstruert for, og ut fra kreftene man oppnår ved testing av tanken kan finne beste posisjon i båten og kunne lage riktig dimensjonerte innfestninger. En løsning på dette vil være å konstruere en testjigg for å studere de dynamiske krefter en tank blir utsatt for ombord i en båt.</p> 		



### **Problemformulering:**

Følgende problemstillinger må løses:

1. Lage arbeidstegninger for rammer som lages av Ertec.
2. Kvalitetssikre at rammene vil tåle aktuell belastning, SW/Cosmos/FeMap
3. Velge og bestille hydrauliske komponenter
4. Velge og bestille styring/elektriske komponenter
5. Velge og bestille mekaniske komponenter
6. Utvikle styresystem med valgte elektriske/styre-elementer med utgangspunkt i I/O kort og LabView
7. Montere/teste/justere og overlevere produktet til Ertec

### **Oppgaven bør bestå av følgende deloppgaver:**

1. Identifisere og lære nødvendig programvare for løse oppgaven.
2. Utvikle kravspesifikasjon for jiggen.
3. Utvikling av konsepter for løsning av problemet
4. Identifisere mulige løsninger som tilfredstiller kravspesifikasjon. Løsningene skal beskrives og det skal godtgjøres at de tilfredstiller kravspesifikasjon.
5. Valg av løsning. Den best egnede løsning skal verifiseres enten gjennom teknisk analyse, fysisk test eller en kombinasjon av begge. Ved fysisk uttesting skal testbeskrivelse utvikles.
6. Konstruere testjiggen, og levere testjiggen
7. Rapportering og konklusjon

Miniprojektet har omfattet oppgave 1 til 3. Miniprojektet var lagt opp til å videreføres som hovedoppgave våren 2007. Hovedprosjektet omfatter oppgave 5 – 7

Ertec AS vil stille ressurser til rådighet for hovedoppgaven. Eventuelle kostnader forbundet med prosjektet skal avtales med, evt. godkjennes og dekkes av Ertec.

Besvarelsen leveres i to eksemplarer: ett innbundet på papir og ett eksemplar på CD. Ved utarbeidelse av teksten skal kandidatene legge vekt på å gjøre teksten oversiktlig og velskrevet. Oppgaveteksten skal vedlegges foran i rapporten.

Besvarelsen skal leveres til veileder senest mandag 2. juni 2008.

## 2.0 Forprosjektet

### 2.1 Ertecs problemstilling

Ertec AS fremstiller i dag et sortiment av drivstofftanker. Disse produseres i serier og er alle spesialtilpasset til den spesifikke båten de produseres til. Denne måten å produsere tanker gjør at det finnes ”ingen” lik design på tanker. I dag er produksjon og design gjort på basis av lang erfaring med hva som ”fungerer”. Ertec sitt problem er at båtene blir stadig mer høyteknologiske, hastigheten til båtene øker for hvert år og designet til tankene gjør at man ikke har mer plass til hverken innfestninger eller selve tanken enn det man absolutt trenger.

Kreftene som produseres i en tank er det lite kunnskap om. Man vet lite om hvilken design på tank som faktisk fungerer best med hensyn til krefter som sloshing skaper på innfestninger. I forprosjektet gjennomførte gruppen en analyse av oppgaven. Gruppen gjennomførte en produktutviklingsprosess (Vedlegg 1) hvor konseptet til hovedprosjektet ble utviklet.

## 2.2 Bakgrunn for testing av tank

Når et fartøy beveger seg kan det ha maksimalt seks frihetsgrader (Fig. 2.1):

- Hiv forflytning vertikalt (langs med z-aksen)
- Svai forflytning sideveis (langs med y-aksen)
- Jag forflytning i fartøyets lengderetning (langs med x-aksen)
  
- Rullrotasjon om x-akse (lengderetningen)
- Stamp rotasjon om y-akse
- Gir rotasjon om z-akse (vertikal akse)

De tre øverste er translasjonsbevegelser og de resterende er rotasjonsbevegelser om aksene. Ut fra måledata (Vedlegg 2) fra Hans Jørgen Bjelke Mørch viste det seg at de mest signifikante verdiene oppsto ved Hiv, Stamp og Jag.

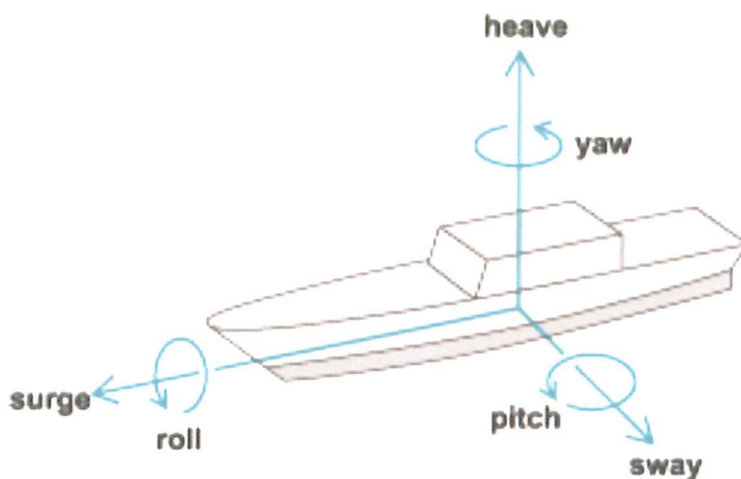


Fig. 2.1 Illustrasjon av frihetsgrader.

## 3.0 Endelig design

Designet består av tre hovedkomponenter: Bunnramme (Vedlegg 3), rulleramme (Vedlegg 4) og slagramme (Vedlegg 5) (Fig. 3.1). Disse tre har hver et unikt design for å kunne jobbe sammen om å simulere et fartøys bevegelse. Rullerammen ruller på til sammen seks hjul i to skinner på bunnrammen og slagrammen heves og senkes over rullerammen. Alle bevegelser er hydraulisk opererte. Ertec ønsket å lage mest mulig i aluminium, dermed ble aluminium et designkriterie.

### 3.1 Sammenstillingen

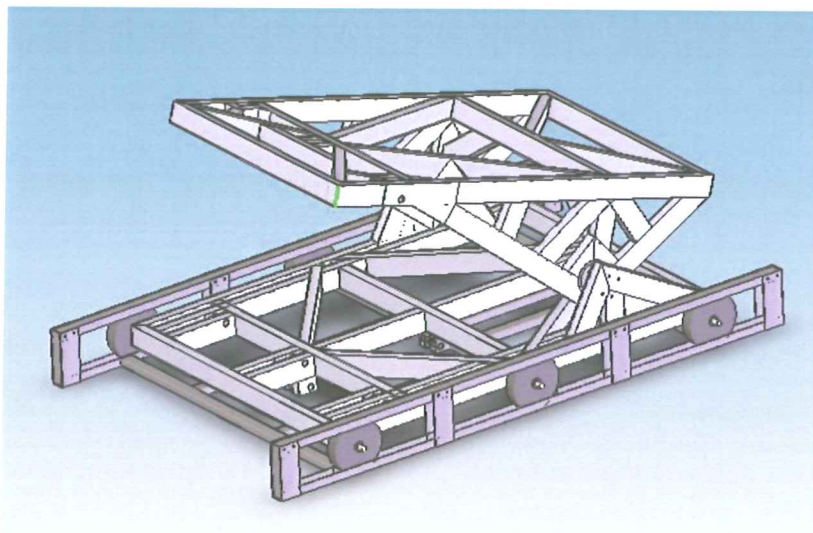


Fig. 3.1 Endelige design uten hydraulikk påmontert.

Under følger hver komponentene med konstruksjonsbeskrivelse og virkemåte i detalj.

### 3.2 Bunnrammen

Bunnrammen (Fig. 3.2) er satt sammen av St-52 60x40x4 rektangulære rør, 4 mm plate og 4 spesiallagde skinner. Stål ble valgt fordi aluminium lettere slites og komprimeres ved stort trykk. For at hjulene skulle rulle riktig måtte det spesialbestilles skinner som hadde de korrekte indre dimensjoner i forhold til hjulene. I bunnen av de to nedre skinnene er det boret hull bak hver festeplate til gulvet slik at jiggeren kan kunne skrues fast til underlaget. Dette sikrer at rammen ikke beveger seg under kjøring. Toppskinnen ligger med en 2-3 mm klaring til hjulenes toppflate. Toppskinnen er montert for å sikre at jiggeren ikke skal kunne kaste seg selv ut fra skinnen og for at den skal kunne gli rett. Det er allikevel ikke for stor avstand mellom skinnene til at "slageffekten" skal bli for stor hvis hjulet letter fra bunnskinnen. Toppskinnene og platene som holder toppskinnen har to gjennomgående hull pr. Plate. Slik kan skinnen skrus av og på for montering og vedlikehold. Innfestningen til sylindren er senterplassert med 32x3,5 rørforsterkninger i akselhull. I disse hullene ligger det en 25 mm aksel.

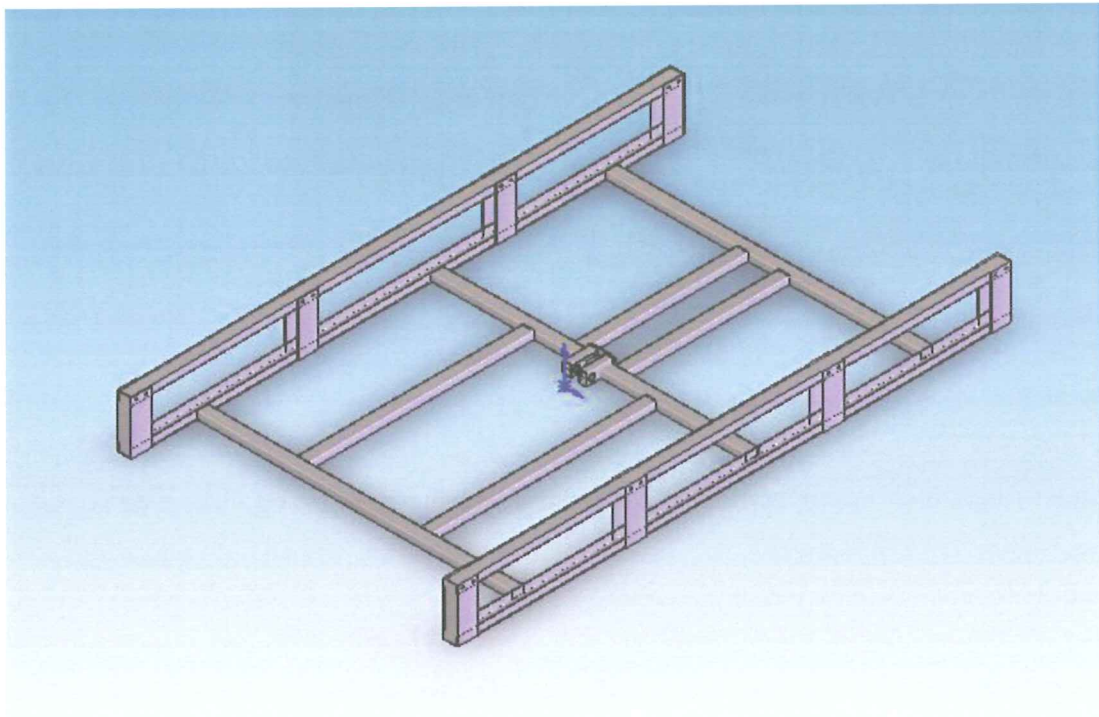


Fig. 3.2 Bunnrammen.

### 3.3 Rullerammen

Rullerammen (Fig. 3.3) simulerer jag – langsgående forflytning. Den er produsert i rektangulære aluminiumsrør type EN-AW 6082 T6, noe som er en meget sterk legering. Denne rammen skal rulle inni bunnrammen og er møtepunktet for all hydraulikkinnfestning. I front er det montert inn tre sylindrefester i samme plan. Jiggen skal i hovedsak kjøres med 2 sylindere, men hvis belastningen minskes kan man drive den med en sentermontert sylinder. Dette kan øke hastigheten, samtidig som den senker kravene til hydraulikkaggregatets avgitte oljemengde. Det er montert inn akselrør der hjulakslingene skal inn. Hjulakslingene er i stål. På hver side av rullerammen står det en sideramme som gir feste til lager og slagramme.

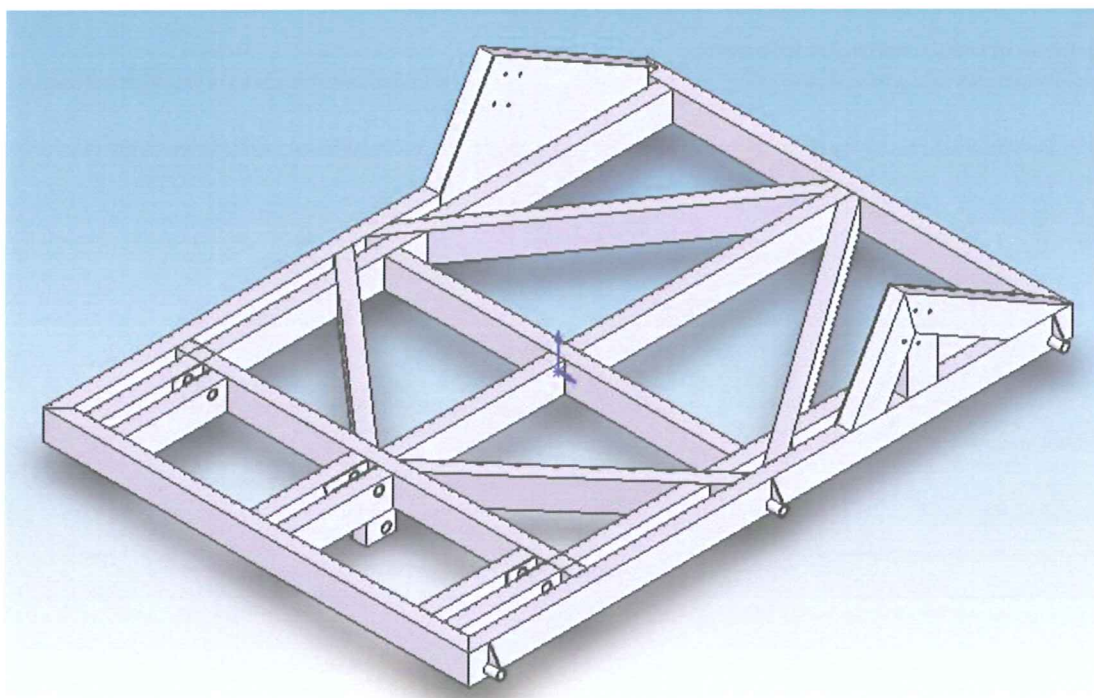


Fig. 3.3 Rullerammen.

### 3.4 Slagrammen

Slagrammen (Fig. 3.4) er designet for å simulere en kombinasjon av hiv – vertikal forflytning og stamp – rotasjon om y-akse. Dette er rammen der den aktuelle tanken skal festes. Det er ikke montert noen festeordninger på rammen fordi hver tank er forskjellig. Hver tank har forskjellig innfestning og forskjellige dimensjoner, noe som fører til at en generell innfestsingsmetode ville hatt store begrensninger. Ertec ønsket derfor på dette grunnlaget selv å lage en ”jigg” for hver enkelt tanktype. Dette fører til at man ikke bare får testet tanken, men også innfestningene til den.

Lagerinnfestningen som korresponderer med lageret som er festet på rullerammen er plassert på det nederste punktet på rammen, ca. 1/6 bakover fra senter. Ved å flytte rotasjonspunktet hit får man mest mulig stampbevegelse samtidig som hivbevegelsen i front er størst mulig. Denne rammen har også tre sylindrinnefestninger i front av samme grunn som rullerammen.

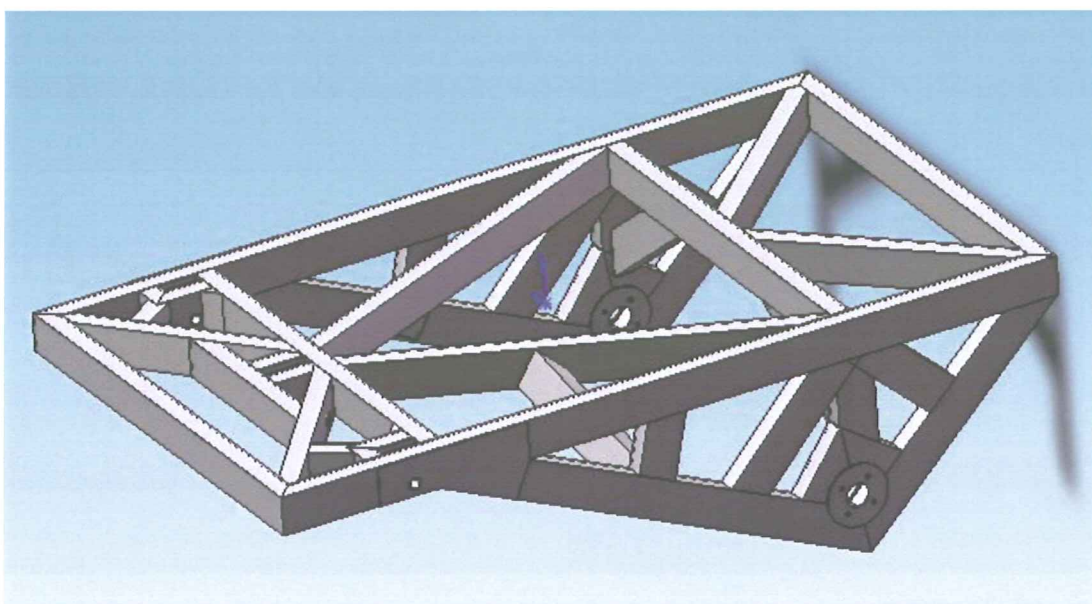


Fig. 3.4 Slagrammen.

### 3.4 Mindre komponenter

Jiggen består av en rekke mindre komponenter som er nødvendige for rammene (Fig. 3.5). Skruene fester toppskinnen av bunnrammen til festeplatene. Hylsemutteren sørger for en flat og praktisk festemetode. Det finnes ingen utstikkende ender som kan feste seg og kan føre til farlige situasjoner. Mellom hylsemutterne er det pinneskruer som sørger for konstant strekk mellom mutterne. Pinneskruene er skrudd sammen med gjengelåsningsmiddel for å sikre at de ikke løsner når jiggen vibrerer.

Slagrammen er hengslet til rullerammen med hjullagre fra en Volvo 400 serie. Lagrene består av tre deler: en spindel, et lager med nav samt en mutter med presskive. Kulelageret er støvtett og kulenes diameter gjør at en kule ikke sliter på samme sted på lagerflaten. Mutteren har en oval låsering av stål som ikke fortæres av lagerfett. Bak mutteren sitter det en presskive for å holde kulelagrene på plass. Akslingene som er bruk til både hjulaksler og som innfestning til sylindrene er av akselstål SS 2172.



Fig. 3.5 Nødvendige komponenter til jiggen.

Hjul er levert av Revvo (Vedlegg 6) via norske Svako. Etter en konferering med Svako ble det konkludert at et støpejernshjul, med nålelager, ville være det beste alternativet med tanke på belastningen hjulene skal tåle. Hjulet er av typen 250CI1H og går inn under materialspesifikasjonene BS EN 1561. Hjulene har også stor motstandskraft mot temperatur, slitasje og slag, da dette kunne oppstå under bruk.



Hele bunnrammen er rustbeskyttet med Hempel Light Primer 45551. Dette er en epoxybasert tokomponent forsegling. Rammen ble først behandlet med en uttynnet blanding med 20 % Hempel Tynner 08450, og etter tre og en halv time ble det påført et heldekkende strøk uten tynner. Dette dekket godt og ga en helt tett overflate. Ytterlig så er toppskinnene belagt med et strøk hammerlakk for å kunne øke slitastyrken. Dette er gjort med tanke på at den kan bli brukt som et trinn ved innspenning av tank, og bare et lag beskyttelse ville lett kunne slites ned av sko o.l.

### 3.5 Fabrikasjon og montasje

Hele bunnrammen samt alt av stålarbeid er fabrikkert av Gruppe 14 på UiAs maskinlab. Dette ble gjort fordi bunnrammen var av stål og Ertec ønsket helst å slippe å fabrikere stålrammen siden deres spesialitet er aluminium. Rullerammen og slagrammen blir laget i Tvedestrand av Ertec AS siden rammene er i aluminium. Montering finner sted på UiAs maskinlab.

## 4.0 Styrkeanalyse

### 4.1 Systembeskrivelse og Lastbeskrivelse

Komponentene som ble analyserte i Femap NX Nastran består av tre hoveddeler; Bunnrammen, rullerammen og slagrammen. Komponentene ble analysert hver for seg. Ettersom massekreftene som vil oppstå når væsken i testtanken beveges er ukjent, må analysen være konservativ. Bunnrammen er ikke kritisk, men rullerammen og slagrammen må tåle en testtank på opptil 500 l. En tank på 500 l vil kunne maks veie 500 kg + egenvekt. I testsammenheng blir tanken ikke fylt helt opp, ellers vil det ikke oppstå sloshing. Ved akselerasjoner gitt av hydraulikksylindrene vil belastningen øke. I verste fall oppnås en akselerasjon på 4g. Dette vil sannsynligvis skje når slagrammen er i vannrett stilling. Belastning blir da:  $500 \cdot 9.81 \cdot 4 = 19620\text{N}$ . Det tilsvarer en belastning på 2000 kg på toppen av slagrammen. Dette vil dekke verste lasttilfelle samt egenvekten av rammen med god margin. I lengderetning vil jiggen maks oppnå en akselerasjon på 1 g. Belastningen på riggen blir da  $500 \cdot 9,81 = 4905\text{N}$ .

### 4.2 Analysen

For å beregne DAK modellene ble de tegnet i SolidWorks på nytt hvor man bare benyttet flatelement. Dette gjøres for senere å legge på materialtykkelse og materialegenskaper i Femap og at det slik er enklere for datamaskinen å gjennomføre beregningene. Beregningsmodellene er tilnærmet like DAK tegningene. Halvparten av modellen ble tegnet og beregningsmodellene er forenklet på enkelte områder for å forenkle beregningene. Det vil resultere i en svakere beregningsmodell enn den virkelige modellen. Alt i alt resulterer dette i en konservativ beregning. At halvparten av modellen kun ble tegnet forringer ikke analysen siden det blir lagt inn en symmetrirelasjon i Femap. Det er utført en statisk lineær analyse per lasttilfelle på hver ramme.

### 4.3 Materialer

Det er brukt to typer metall i selve hovedkonstruksjonene av jiggen: Stål og aluminium.

Stålet (Fig. 4.1) er av typen St-52 med følgende data (Vedlegg 9):

E-modul: 210 GPa

Flytegrense: 355 MPa

Bruddgrense: 510 MPa

For stålet ønsket vi en sikkerhetsfaktor på rundt 2,5 da vi mente at dette var fornuftig med tanke på hvilke belastninger som kunne oppstå. Dette er jo også en konstruksjon som skal stå boltet fast til underlaget med liten sjanse for forflytning, noe som øker grensen for hva rammen tåler.

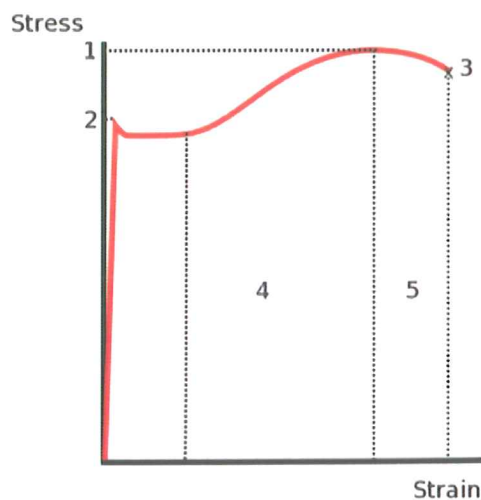


Fig. 4.1 Typisk kurve for stål under strekkprøve.

Bildeforklaringer:

1. Bruddstyrke
2. Her begynner deformasjon, flyt
3. Bruddpunkt
4. Herding av materialet grunnet bevegelse av "oppbyggings grid"
5. Plastisk deformasjon før brudd

Aluminiumen (Fig. 4.2) er av typen EN-AW 6082-T6 med følgende data (Vedlegg 10):

E-modul: 70 GPa

Flytegrense: 210 MPa

Bruddgrense: 340 MPa

Dette er en aluminium som er varmebehandlet og deretter kunstig herdet, noe som gjør metallet meget sterkt. Her ønsket vi en sikkerhetsfaktor tilsvarende bunnrammen eller høyere. Denne rammen har såpass mange innfestningspunkter at brudd mellom dem p.g.a. stress fant vi lite sannsynlig. Det som kan forekomme er utmatningsbrudd, men det er svært vanskelig å beregne da det ikke finnes noen konkret modell for hvordan de viskøse kreftene fra tanken kan påvirke konstruksjonen.

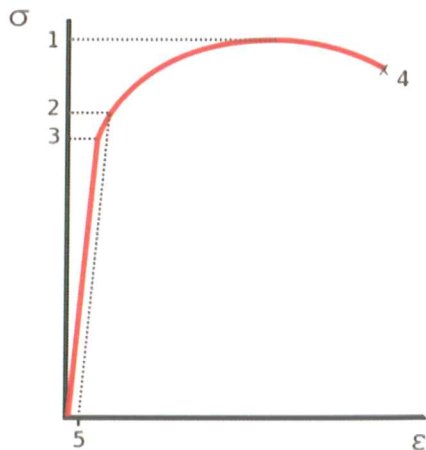


Fig. 4.2 Typisk kurve for aluminium under strekkprøve.

Bildeforklaringer:

1. Bruddstyrke
2. Flytegrense
3. Max forlengelse av materiale (det punktet der kurven går fra lineær til ikke-lineær)
4. Bruddpunkt

## 4.4 Bunnrammen

Bunnrammen er skrudd fast til underlaget. Sylindren som driver rullerammen er festet i midten. I Femap ble bunnrammen opplagret ved å låse undersiden i x, y, og z-retning. Rammen ble så belastet i sylindrefestet med 4905 i z-retning. Belastningen fra hjulene ble satt som en jevnt fordelt last på 9810N rett ned i y-retning. Bunnrammen er laget i stål. Koordinatsystem er definert i figur (Fig. 4.3).

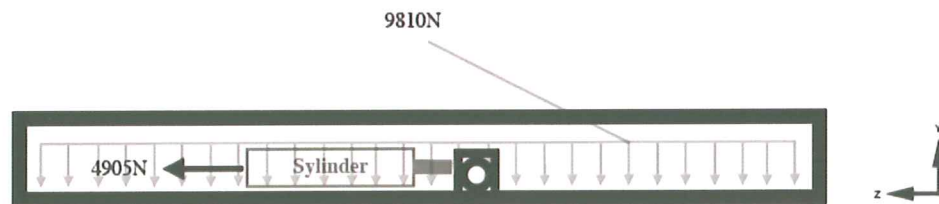


Fig. 4.3 Lasttilfelle for bunnrammen.

Resultat: Bildet fra Femap (Fig. 4.4) viser at det generelt sett er lave spenninger i hele rammen bortsett fra noen enkelte punkt hvor det lokalt kommer opp i spenninger på 128 MPa (Fig. 4.5).

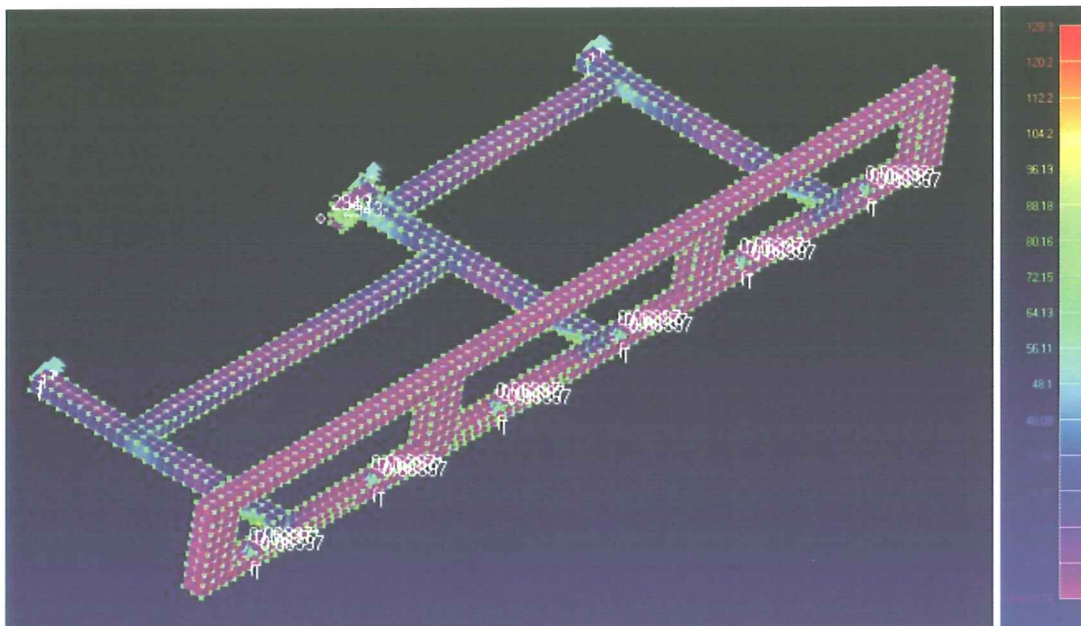


Fig. 4.4 Resultat av styrkeanalysen med skala (t.h.).

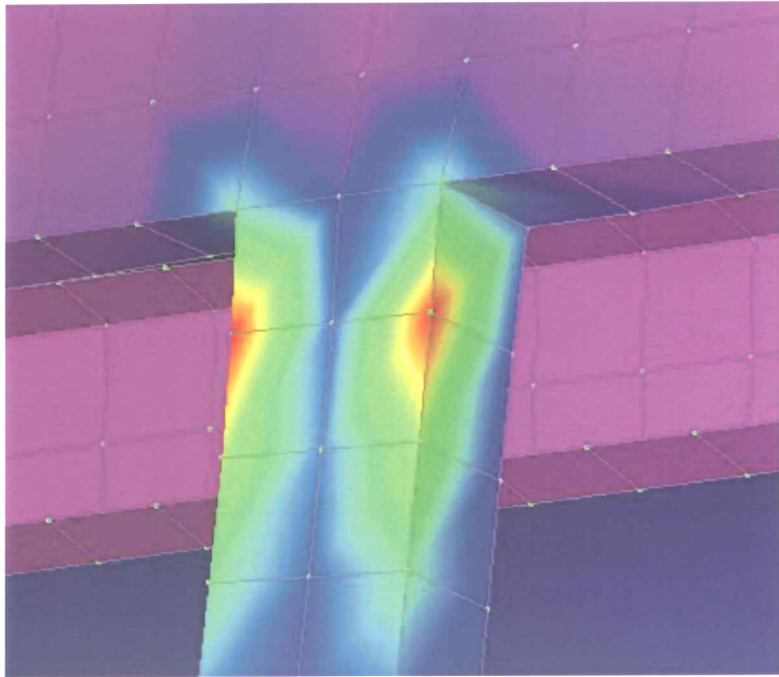


Fig. 4.5 Lokalt oppstår det høye spenninger.

#### 4.4.1 Konklusjon

Styrkeanalysen for bunnrammen viser at maksverdien på spenningene er godt innefor flytegrensen på 355 MPa. Dette gir en sikkerhetsfaktor på 2,7 mot flyt.

## 4.5 Rullerammen

Rullerammen triller på seks hjul og blir skjøvet frem og tilbake av den horisontale sylinderen. I Femap ble rammen opplagret på samme måte. Hjulakslingene ble låst i y-retning og sylindrefestet til den horisontale sylinderen ble låst i z-retning. Rullerammen ble beregnet i tre tilfeller.

### 4.5.1 Tilfelle 1

Lasten ble satt til 4905 N i negativ y-retning både på sylindrefestet til de vertikale sylindrene og til opplagringspunktet for slagrammen (Fig. 4.6).

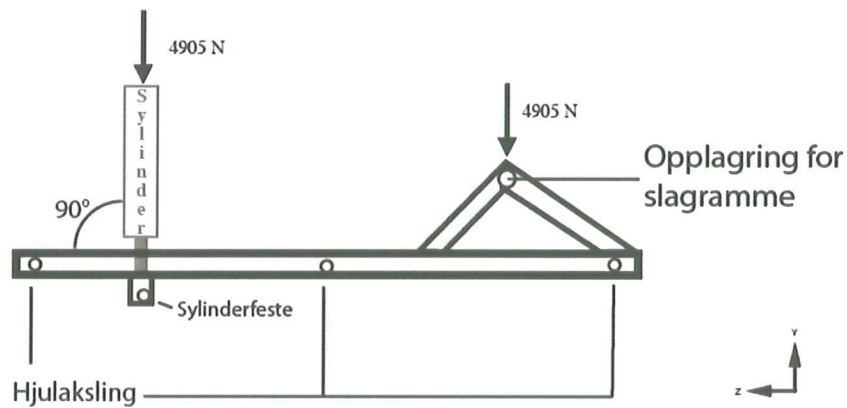


Fig. 4.6 Lasttilfelle 1 for rullerammen.

Resultat: En ser at spenningene ligger stort sett under 50 MPa, men i to punkt oppstår det ganske høye spenninger (Fig. 4.7) (Fig. 4.8).

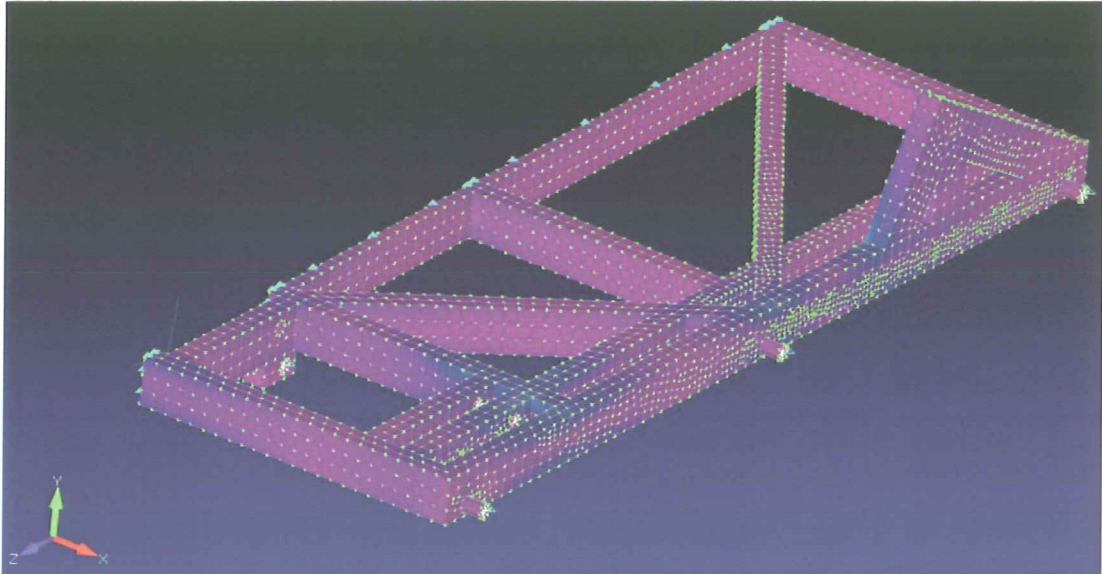


Fig. 4.7 Resultat av analysen. Lasttilfelle 1.

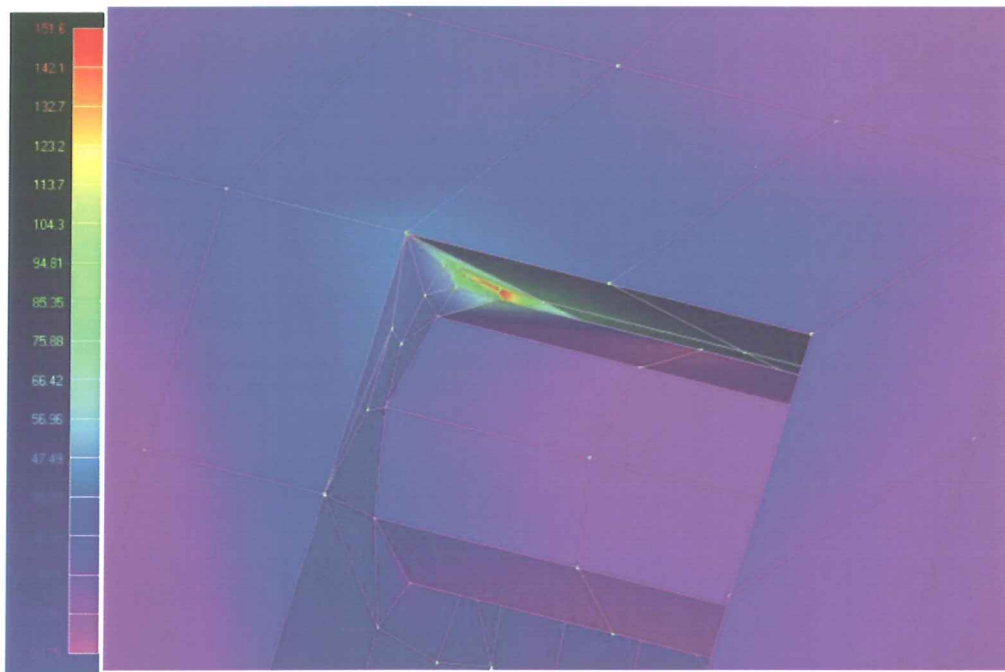


Fig. 4.8 Lokalt oppstår det høye spenninger (t.h.). Skala (t.v.)



#### 4.5.2 Tilfelle 2

Lasttilfellet er det samme som i tilfelle 1. I tillegg er det lagt til 4905 N i z-retning på opplagringspunktet til slagrammen (Fig. 4.9).

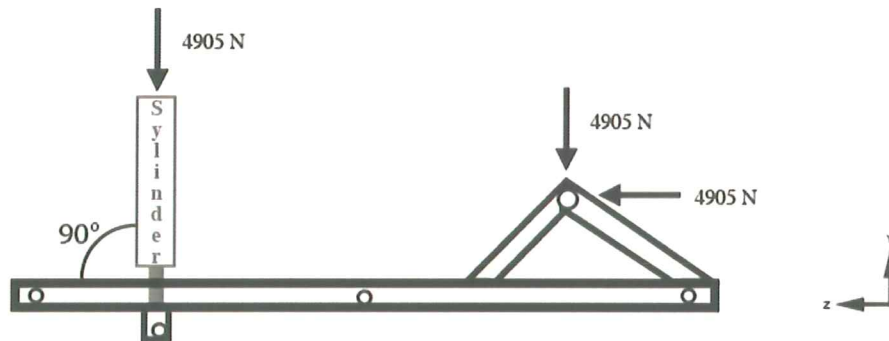


Fig. 4.9 Lasttilfelle 2.

Resultat: En ser at spenningene ligger stort sett under 50 MPa (Fig. 4.10) men i to punkt oppstår det høyere spenninger (Fig. 4.11).

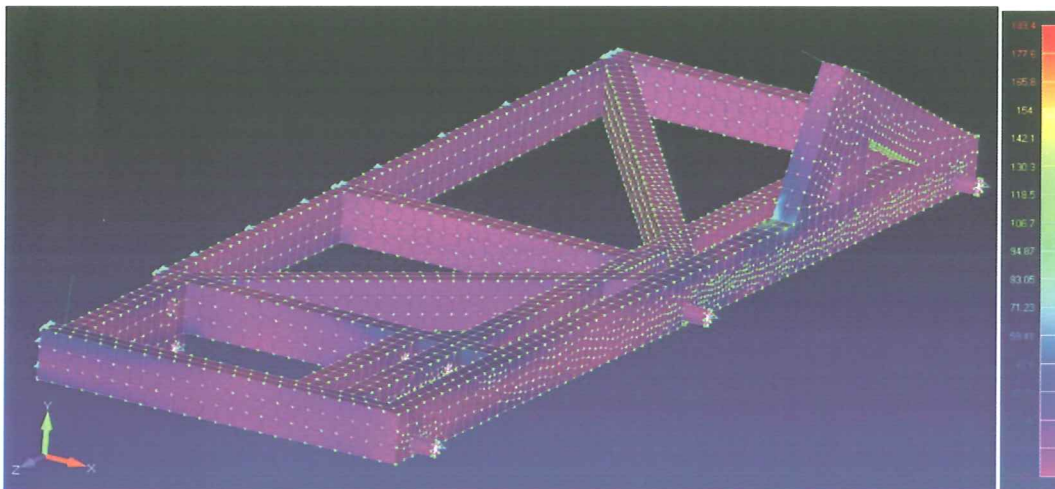


Fig. 4.10 Resultat av lasttilfelle 2 (t.v.). Skala til høyre.

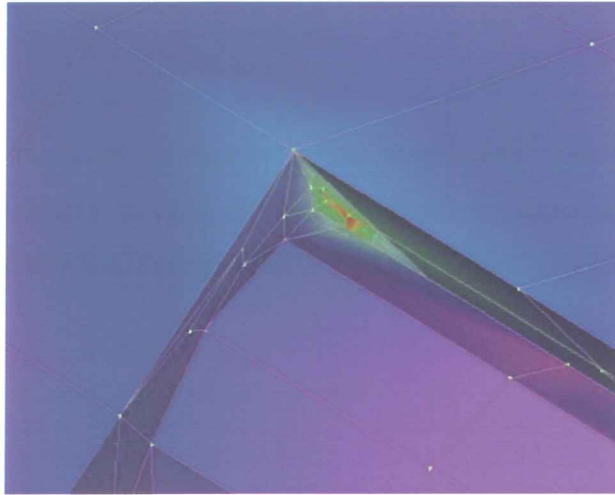


Fig. 4.11 I to hjørner oppstår det høye spenninger.

### 4.5.3 Tilfelle 3

Dette lasttilfellet tilsvarer slagrammen i høyeste posisjon. Kraften på 4906 N fra den vertikale sylinderen er tiltet noe tilbake (Fig. 4.12). Videre er opplagringspunktet belastet med 4905 N i negativ y-retning og 4905 N i negativ z-retning.

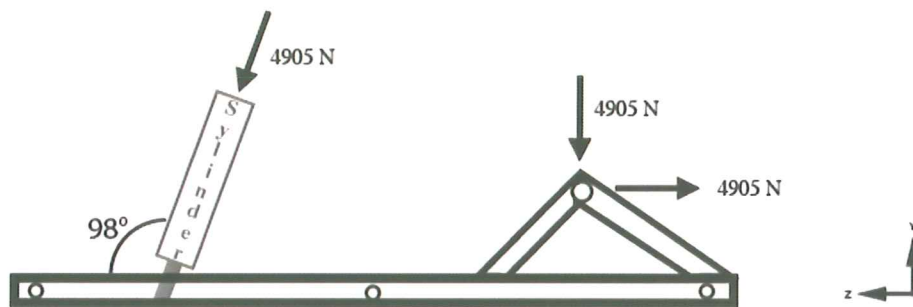


Fig. 4.12 Lasttilfelle 3.

Resultat: bildet (Fig. 4.13) viser at det for det meste er lave spenninger. Noen steder som i skarpe hjørner er det spenninger opp mot 70 MPa (Fig. 4.14). I to punkter oppstår svært høye spenninger (Fig. 4.15), de blir forsterket.

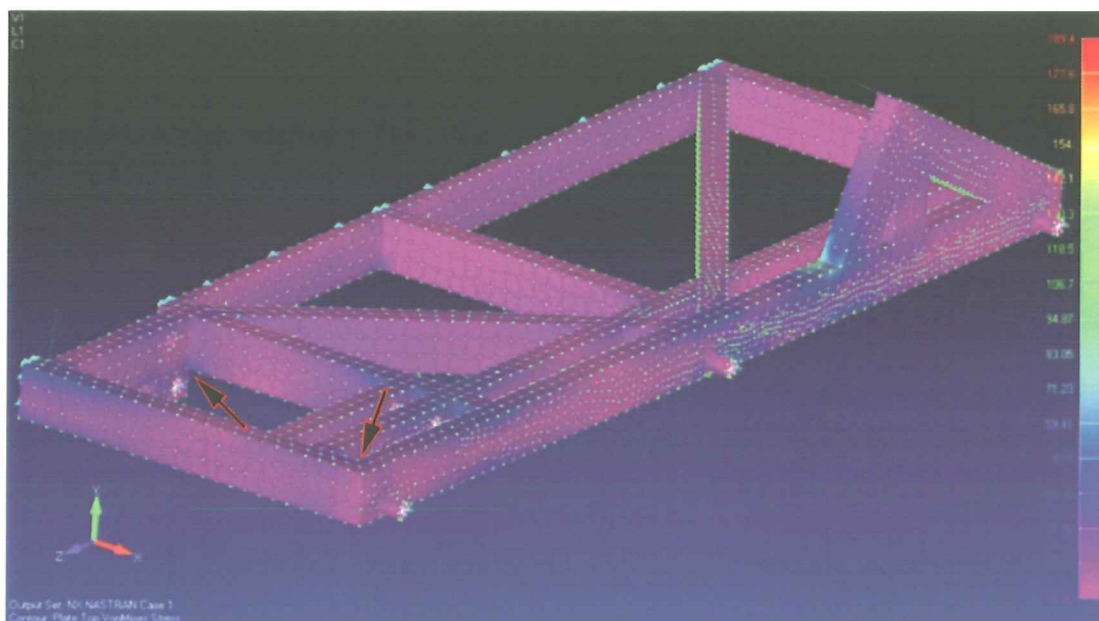


Fig. 4.13 Resultat lasttilfelle 3.

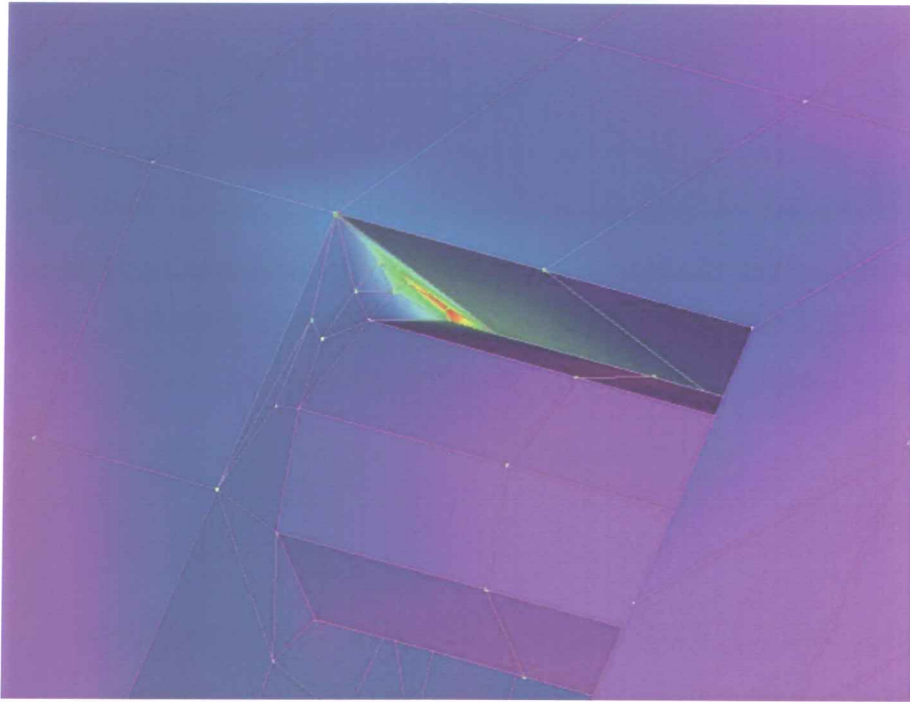


Fig. 4.14 Problemområdet er tydelig synlig.

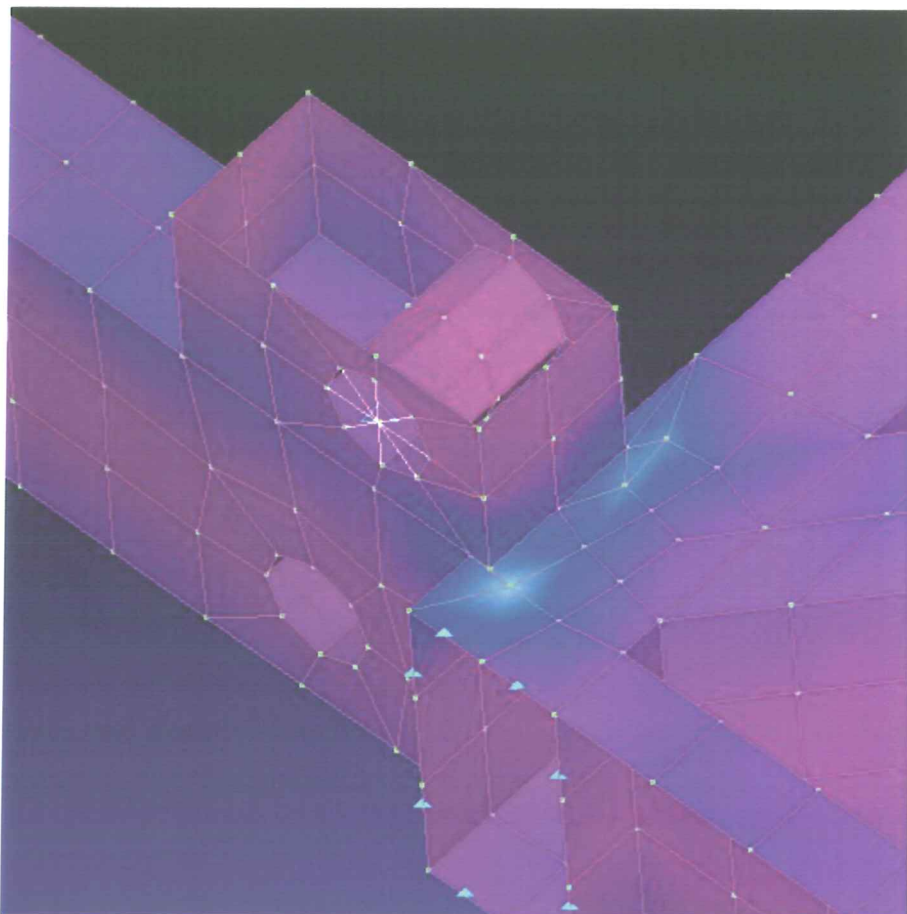


Fig. 4.15 Lokalt høyere spenninger bak sylindrefestet.

#### 4.5.4 Konklusjon

Styrkeanalysen viser at selv om det lokalt oppstår høye spenninger blir de reelle spenningene lavere, ettersom rammen i virkeligheten er laget sterkere enn modellen for styrkeanalyse. Ved å se bort fra de to høyeste spenningene viser bildene at spenningene ikke overstiger 70 MPa. Det gir en sikkerhetsfaktor på 3 mot flyt.

#### 4.6 Slagrammen

Bak er slagrammen festet til rullerammen via to hjullager på hvert sitt ben. Foran sitter de vertikale sylindrene som skyver slagrammen opp og ned. I Femap ble slagrammen opplagret på samme måte. Innfestningen til hjullageret ble låst i z-y-retning. Sylinderfestet ble låst i y-retning.

##### 4.6.1 Tilfelle 1

Lasttilfellet her er en jevnt fordelt last på 19620 N på toppen av rammen (Fig. 4.16).

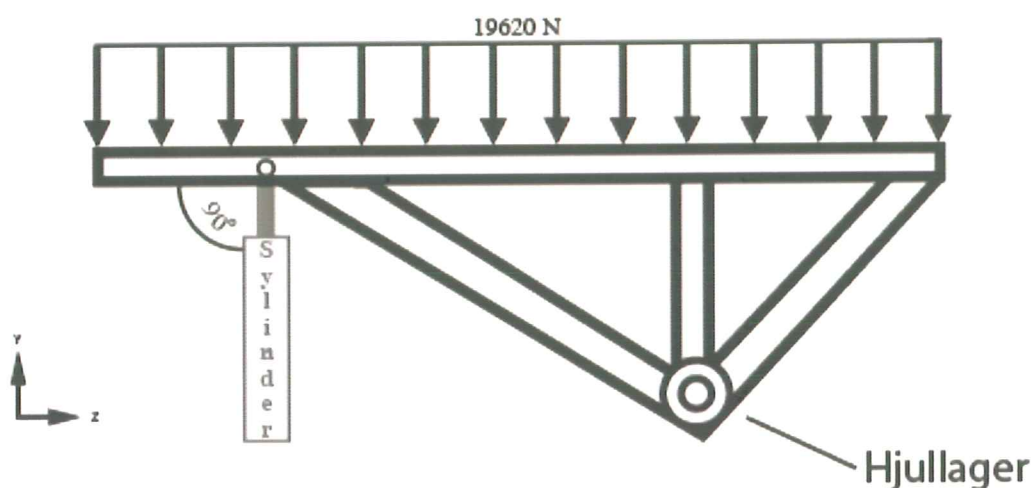


Fig. 4.16 Lasttilfelle 1 for slagrammen.

Resultat: Vi ser her på bildet (Fig. 4.17) at maks spenning i rammen er på 56 MPa, noe som er godt innenfor de grensene som materialet har.

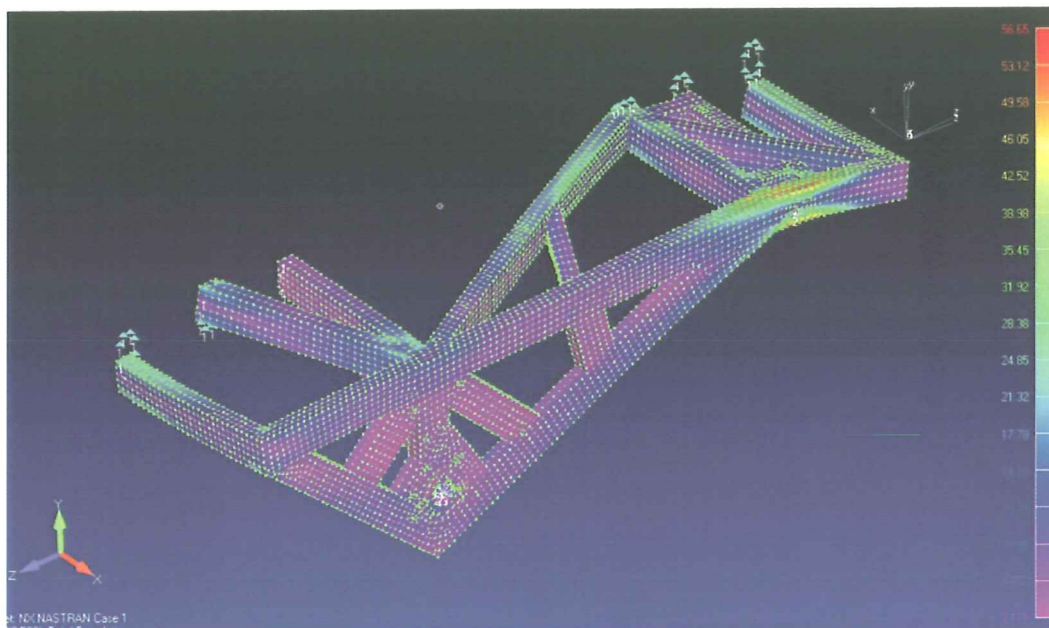


Fig. 4.17 Her ser man spenningene som oppstår i lasttilfelle 1.

#### 4.6.2 Tilfelle 2

Dette tilfellet svarer til riggen i laveste posisjon med en tenkt akselerasjon fremover. Lastfordelingen ble da en jevnt fordelt last på 4905 N på toppen av rammen og en kraft på 4905 i z-retning. Opplagringen i sylindrefestet ble tiltet til  $88^\circ$  på Fig. 4.18).

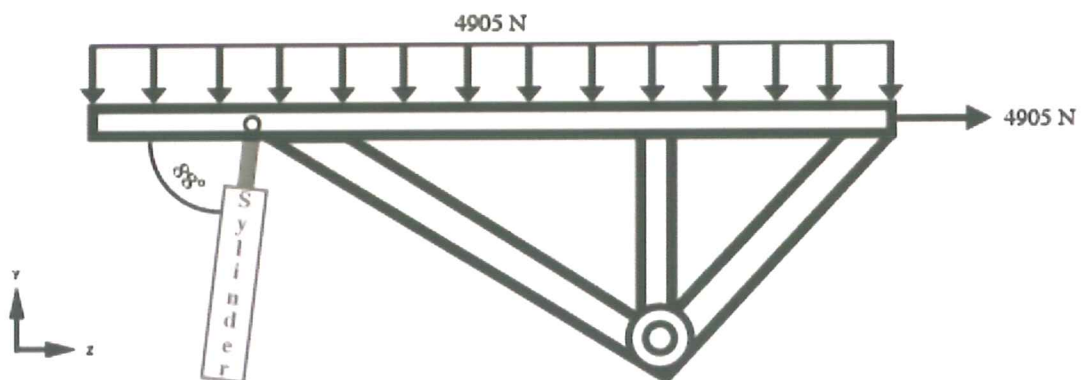


Fig. 4.18 Lasttilfelle 2 hvor rammen senkes.

Resultat: På bildet fra Femap ser vi at spenningene for det meste ligger opp mot 65 MPa (Fig. 4.19), men i et hjørne får vi høye spenninger på 130 MPa (Fig. 4.20).

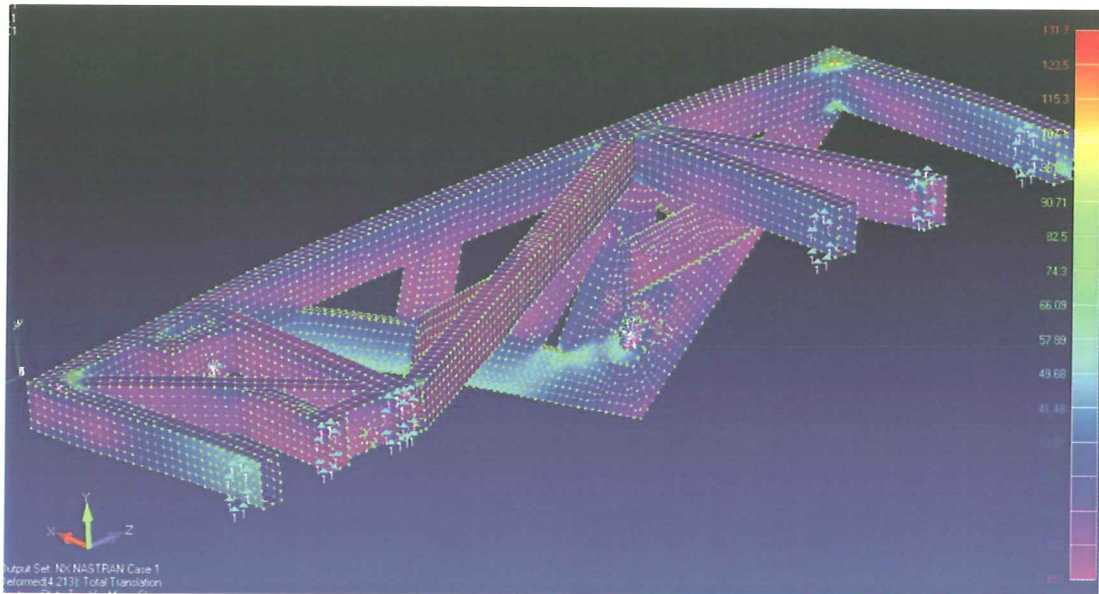


Fig. 4.19 Generelt er spenningene akseptable.

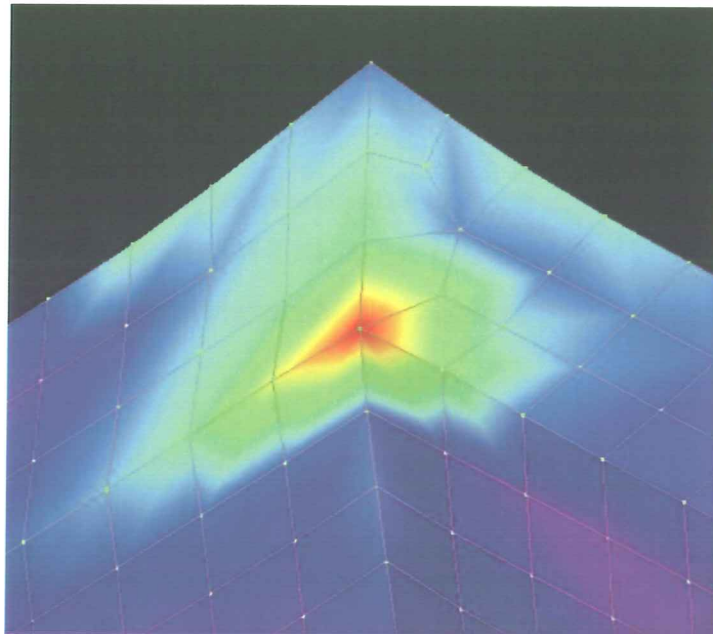


Fig. 4.20 I ett hjørne utsettes materialet 130 MPa.

### 4.6.3 Tilfelle 3

Her representerer tilfellet slagrammen i øverste posisjon. Riggen er belastet med 4905 N jevnt fordelt på toppen av rammen. En kraft på 4905 N i negativ z-retning representerer en akselerasjon bakover. Den vertikale sylinderen er tiltet  $95^\circ$  på rammen (Fig. 4.21).

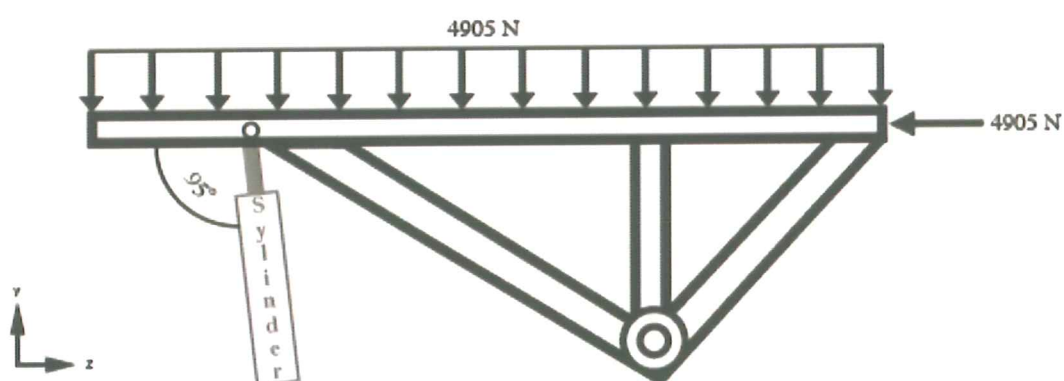


Fig. 4.21 Lasttilfelle 3.



Resultat: Dette tilfellet er rimelig likt tilfelle 2. Generelt ligger spenningene på 65 MPa. Som i tidligere tilfeller er det et hjørne som skiller seg ut med spenning på 120MPa (Fig. 4.22).

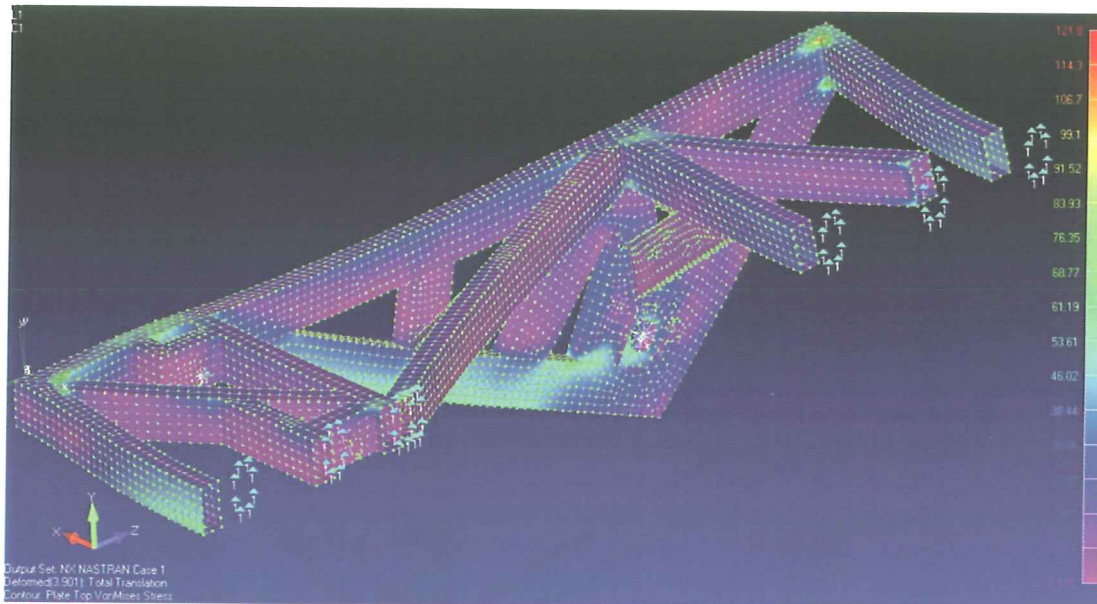


Fig. 4.22 Resultat av lasttilfelle 3.

#### 4.6.4 Konklusjon

På samme måte som for rullerammen ser man at det oppstår lokalt høye spenninger. De reelle spenningene blir allikevel lavere ettersom rammen i virkeligheten er laget sterkere enn modellen for styrkeanalyse. Ved å se bort fra de to høyeste spenningene viser bildene at spenningene ikke overstiger 70 MPa. Det gir en sikkerhetsfaktor på 3 mot flyt.

## 4.7 Forslag til endringer

På både rullerammen og slagrammen finner man punkt med for høye spenninger. Styrkeanalysen gir et konservativt resultat med tanke på at lastene er overdimensjonert og DAK modellene mangler små forsterkninger. I hjørnene hvor spenningene er for høye vil kjervfaktoren være lavere enn i styrkeanalysen siden rammene sveises og pusses. Hjørnene kan forsterkes ytterligere for å sikre rammen mot brudd.

## 5.0 Hydraulikk

Det hydrauliske systemet som er valgt til jiggen er basert på to servoventiler, tre sylindere og et hydraulikkaggregat. Hydraulikken ble ansett som meget viktig med hensyn til presisjon, og ikke minst hastighet og kraft for å kunne få frem de kreftene riggen blir satt til å fremprovosere.

### 5.1 Hydraulikkaggregat

Hydraulikkaggregatet er av merke Sperry Vickers (Vedlegg 11). Det er et forholdsvis lite aggregat for systemet da det ikke evner å levere mer enn ca 10 l/min ved maks trykk på 210 bar. Prosjektgruppen har sammen med Ertec kommet fram til at dette skal brukes til testing og kjøring i starten. Aggregatet brukes for å teste funksjonene og se til at jiggen fungerer etter hensikten. Ertec kan skifte det ut senere, evt. supplere med et større aggregat hvis de mener det er hensiktsmessig. For å kunne kjøre jiggen på et kontinuerlig raskt nivå trenger man store mengder olje pr. tidsenhet. Hver sylinder har et fortrenningsvolum på til sammen to liter (A+B siden). Det betyr at aggregatet må kunne levere det tredobbelte av fortrenningsvolumet ganget med antall ganger hver sylinder skal kjøres ut og inn.

Aggregatet har Ertec hatt stående uten å bli brukt eller vedlikeholdt. Det medfører at aggregatet ikke kan brukes direkte uten å ta visse hensyn. Oljen som er i reservoaret er av ukjent merke, kvalitet og egenskaper. Derfor er det viktig at ny hydraulikkolje blir kjøpt og den gamle oljen skiftet ut før aggregatet blir koplet til testjiggen. Oljen må være innenfor visse krav til både viskositet og smøreevne. På grunn av at servoventilene er veldig sårbare for smuss i det hydrauliske systemet ble også filteret til aggregatet byttet ut med et nytt. Servoventiler er meget sensitive produkter med tanke på urenheter i den hydrauliske væsken. For å unngå at servoventilene skal havarere vil systemet måtte flushes slik at ren olje er kjørt gjennom hele systemet.

Betydningen for prosjektet at man ikke har tilgang til verken maks trykk eller stor nok mengde med olje pr. tidsenhet vil gi store utslag i hvilke krefter jiggen vil kunne produsere. Det er et forholdsvis stort kompromiss ved at jiggen ikke vil kunne klare å gjøre bevegelsene raskt nok og heller ikke klare flere raske frekvenser med maks belastning. I en tidlig fase med testing og instrumentering av jiggen er dette et kompromiss som er akseptabelt og ikke utgjør noen veldig stor ulempe.

## 5.2 Servoventiler

Servoventiler er valgt som styringsenhet for hydraulikken. Etter samtaler med leverandører og anbefalinger fra Morten Ottestad ble det besluttet å bestille servoventiler av merke Moog D634 (Vedlegg 12) (Fig. 5.1). Disse har et stort bruksområde og er populære ventiler i industrien på grunn av at de er meget robuste, har lang levetid, er pålitelige og raske. Disse ventilene er særlig godt egnet i systemer med høy dynamisk respons.

Funksjonen til en servoventil er at den får et styringssignal fra I/O kort, i vårt tilfelle er dette signalet fra -10V til +10V. Signalet blir forsterket i elektronikkmodulen til ventilen. Dette forsterkede signalet styrer en magnet-aktuator som i sin tur kontrollerer åpningen på ventilen.

Servoventilene er de viktigste komponentene på jiggen siden de kontrollerer både hastigheten og retningene som sylindrene skal kjøres i. Virkemåten til magnetaktuatoren er at signalet styrer åpningen til to dyser. Dysen som platen går mot vil bli strupet, dette øker motstanden, samtidig som motsatt dyse får mindre motstand noe som gir en trykkforskjell. Avhengig av trykkforskjellen vil en sleide bevege seg. Når sleiden flytter seg i en retning vil den åpne den ene utgangen, og lukke for motsatt. Oljemengde gjennom ventilen avhenger av hvor mye denne sleiden åpner. Sleiden vil alltid åpne innløpet tilsvarende utløpet på ventilen slik at tilført olje er lik returnert oljemengde.

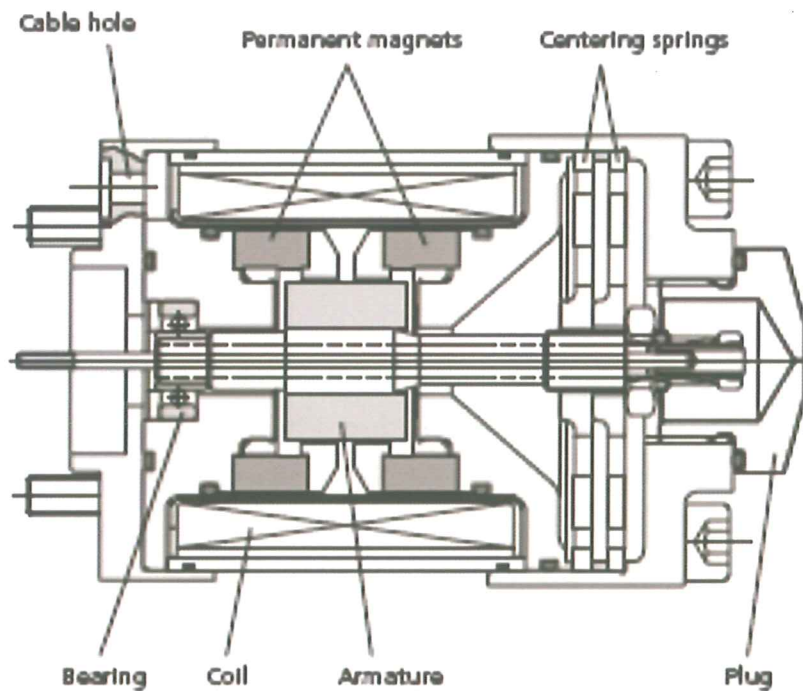


Fig. 5.1 Snittbilde av servovalven

Responstiden (Fig. 5.2) for disse servovalvene fra 0% til 100% åpning er 0,2ms og kan operere med et makstrykk på 350bar. Nominell strømnig gjennom ventilen er oppgitt til 40l/min, men kan klemmes opptil 100l/min ved et trykkfall på 70bar over ventilen.

**Step response**

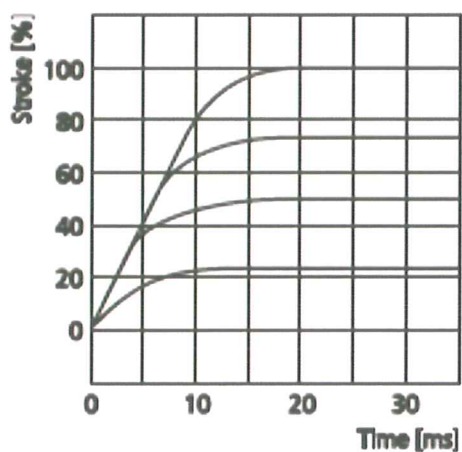


Fig. 5.2 Responstiden til servovalven.

### 5.3 Sylindre

Sylindrene som ble valgt som pådragsorgan til testjiggen er også levert av Servi. De er produsert av Lind Jensens Maskinfabrik A/S i Danmark, også kjent som LJM. Modellen er av type NH30 (Vedlegg 13). Disse er kjent for å være kompakte, fleksible og medium robuste sylindre av høy kvalitet. Disse er dobbeltvirkende og har sfærisk øye i begge ender. Sylindrene har en diameter på 50mm og en stempelstang med diameter på 35mm. Slaglengden er 300mm. Alle sylindrene har samme spesifikasjoner og kommer levert med spesialpakninger for å bevare levetiden selv ved høye hastigheter. Det er demping på både A og B-siden av sylindrene.

Beregninger:

Max skyvekraft:  $F=P \times A_{s1}$

$$P=25 \text{ MPa} \quad A_{s1}=\pi \times 0,025^2= 1,96349 \times 10^{-3}$$

$$F=49087 \text{ N}$$

Max trekkraft:  $F=P \times A_{s2}$

$$A=\pi \times (0,025^2 - 0,0175^2)= 1,001382 \times 10^{-3}$$

$$F=25039 \text{ N}$$

## 5.4 Generell oppkobling for hydraulikk

Hydraulikken på ble lagt opp til som Fig. 5.3 viser. Servoventil 1 styrer sylinder 1, servoventil 2 styrer sylinder 2 og 3. Hydraulikkaggregatet står ved siden av jiggen og leverer olje til jiggen via slanger.

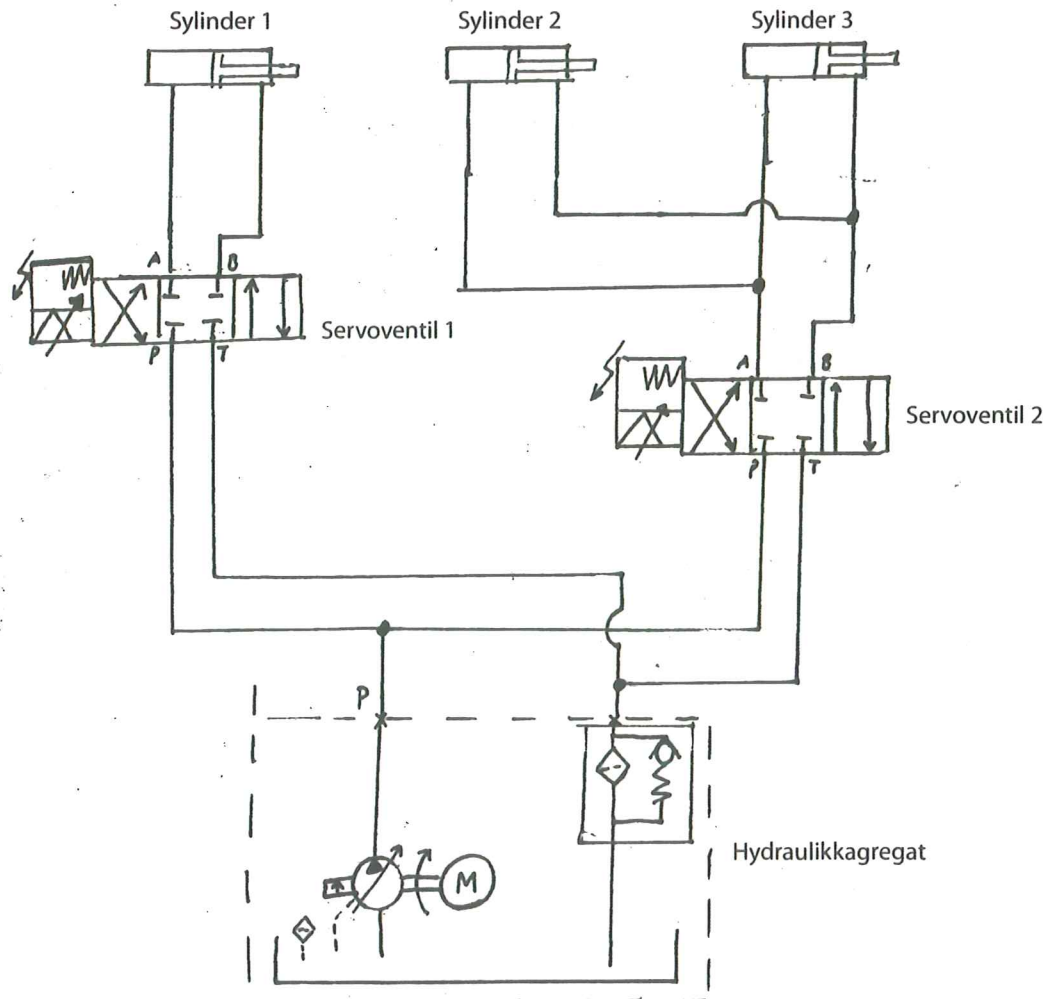


Fig. 5.3 Koblingskjema for hydraulikken.

## 6.0 Styresystem

Ut i fra kravene Ertec la frem ble styringssystemet basert på Labview med et I/O kort (Vedlegg 14). Dermed er det enkelt å videreutvikle styringssystemet og legge inn f.eks. tilbakemelding fra instrumenter på riggen. I/O kortet som er brukt heter NI USB-6008. I/O kortet kan gi 0-5 V. Hydraulikk ventilene styres av et spenningssignal på  $\pm 10$  V. Dermed kreves det en elektrisk krets som forsterker og regulerer signalet lineært fra 0-5 V til -10 til +10 V.

### 6.1 Programmet

Programmet er laget i Labview og kjøres på en vanlig PC. I/O kortet er koblet til PC-en via USB kabel. Sylinderne styres hver for seg og det er to måter å styre riggen på: manuell og automatisk. Manuell styring gir muligheten til å styre spenningen direkte fra brukergrensesnittet i Labview (Fig. 6.1). Ved å skrive inn eller stille inn ønsket spenning mellom 0 og 5V på den aktuelle ventilen vil man styre sylindren direkte. Automatisk styring gir brukeren muligheten til å stille frekvens og amplitude på hver sylinder (Fig. 6.2). Programmet vil generere styringssignal til ventilene automatisk. Programmet kjører automatisk til man trykker på stopp knappen. Stoppknappen setter ventilene i nøytral posisjon uten å få brå sprang på sylinderne.



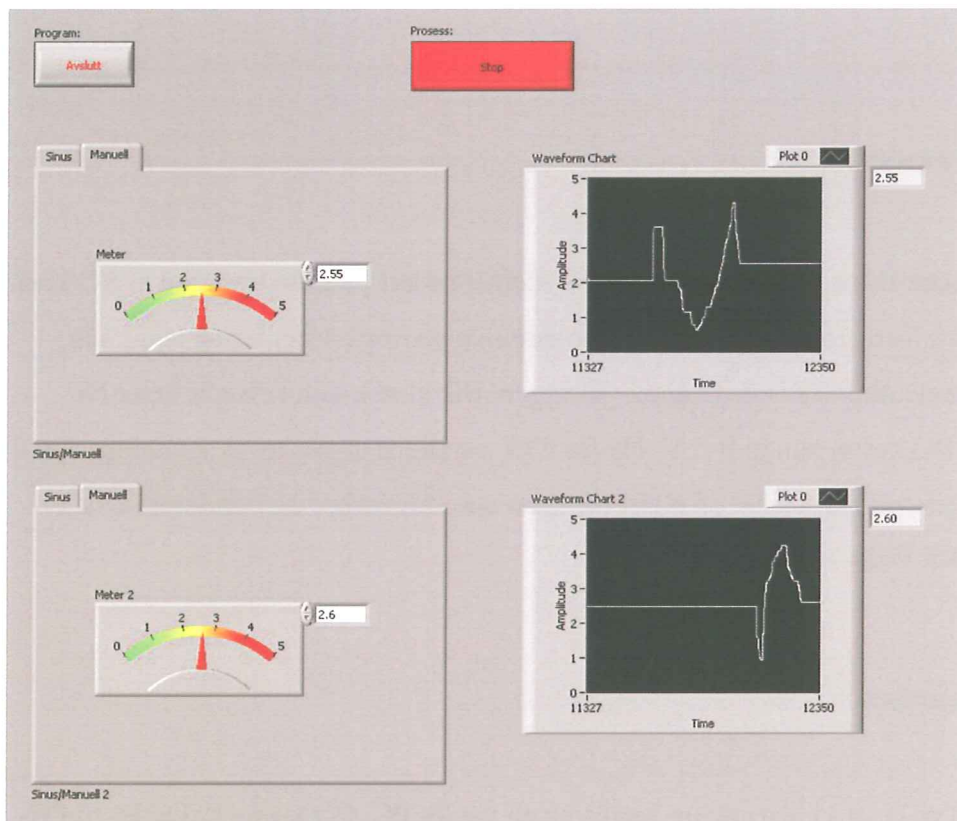


Fig. 6.1 Manuell styring av programmet.

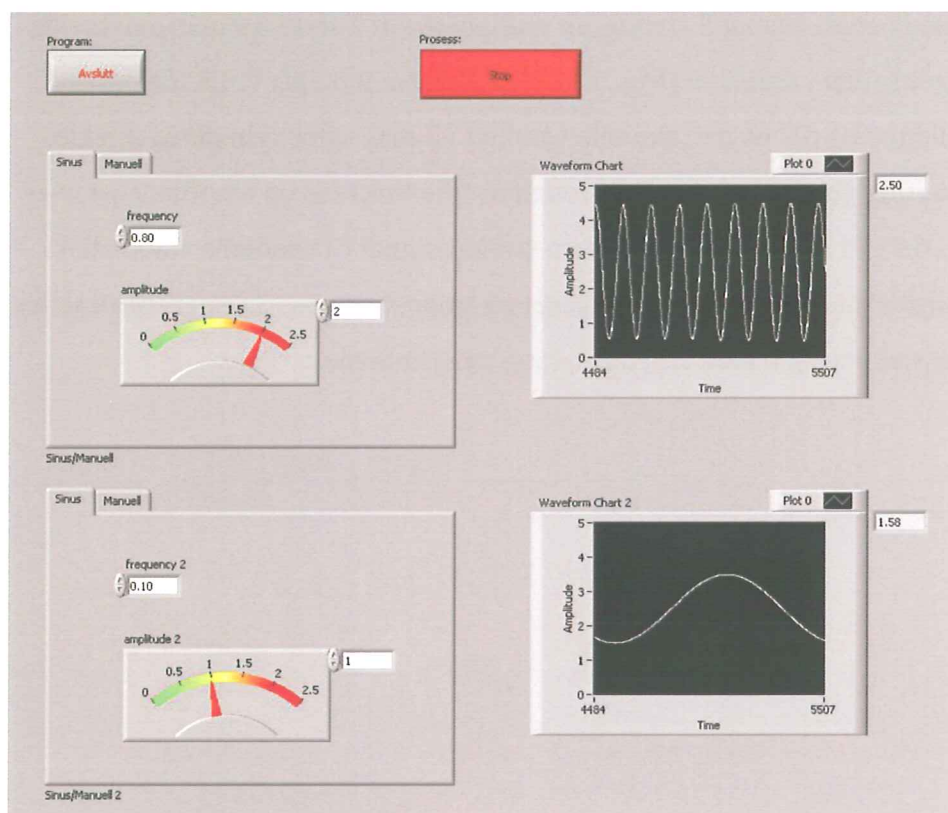


Fig. 6.2 Automatisk styring av programmet.

Programmet (Fig. 6.3) består av en bølgegenerator, while-looper, signalgeneratorer og en timer. Nødvendige kontrollere er lagt inn og I/O kortet er konfigurert.

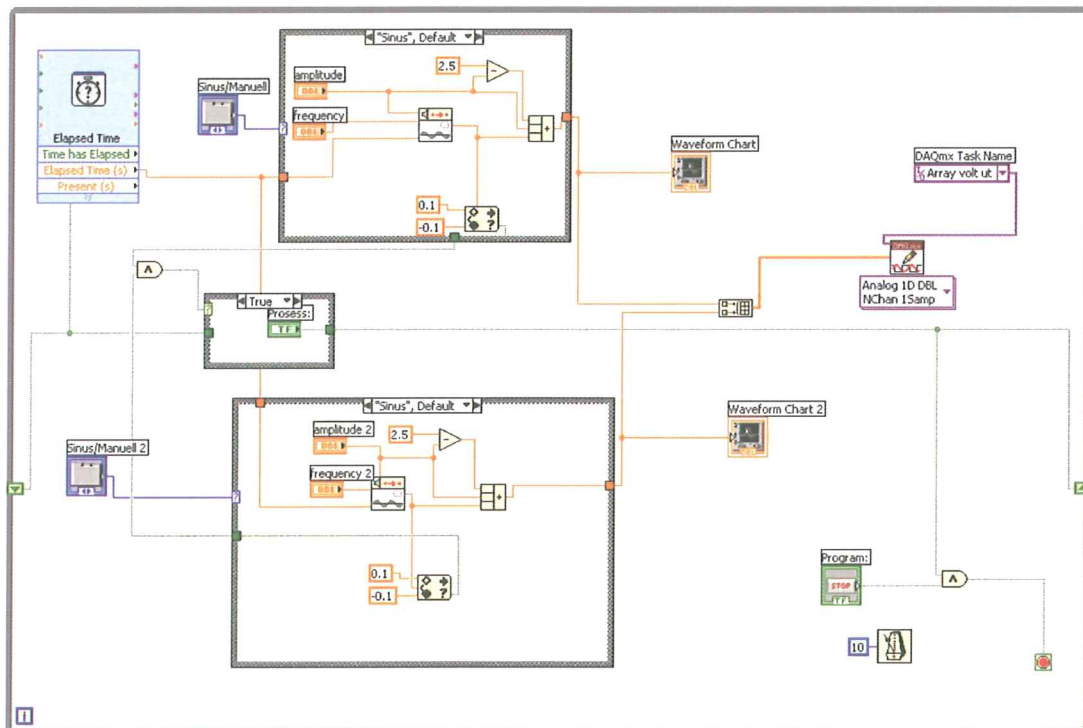


Fig. 6.3 Labview programmet.

## 6.2 Kretskort

Kretskortet (Fig. 6.4) er satt opp i flere trinn (Komponentliste i vedlegg 15). Det første trinnet består av et par operasjon forsterkere som er satt opp i en adderende konfigurasjon (MC1458P1) (Vedlegg 16). De sitter parallelt på kortet for å behandle de to signalene individuelt. På hver inngang er det to spenninger som legges sammen. Den første spenningen kommer fra I/O kortet. Den andre er en justerbar spenningsreferanse (LM317) (Vedlegg 17). Denne spenningsreferansen er justert til ca. 9.5 volt med et potensiometer (Vedlegg 19). Spenningen som kommer ut fra det første paret med operasjonsforsterkere er 9.5 til 14.5 volt. Dette signalet går inn i neste paret med operasjonsforsterkere (MC1458P1). De er satt opp som inverterende differensialforsterkere med en teoretisk forsterkning på 6. Pluss-inngangen på disse er tilkoblet en spenningsreferanse på 12 volt (L7812C) (Vedlegg 18). Denne differansen fra 12 volt vil bli forsterket 6 ganger. Utgangen på operasjonsforsterkerene går videre ut til ventilenes styre inngang. Ventilene har også en egen differensial forsterker som er innebygget. For å få 0 volts referanse brukes 12 volts spenningsregulatoren(L7812C).

Det er lagt på to motstand på kortet for å konvertere den strømlineære feedbacken til spenningslineært signal på 0-5 volt. Den kan man bruke til eventuell tilkobling av Analog til digital konverter på et I/O kortet.

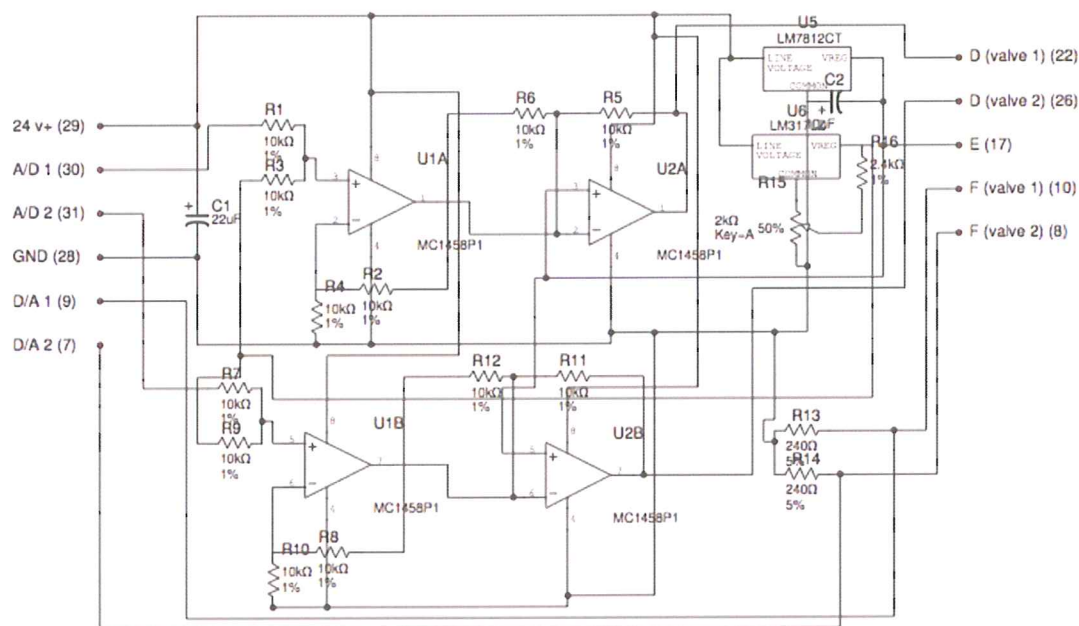


Fig. 6.4 Skjema for kretskort.

Ved videreutvikling av kretsen kan det integreres ett par opto koplere for å forhindre eventuelle spenningsforskjeler mellom I/O kortet og spenningstilpassningens strømforsyning. I testfasen må det tilkobles en skilletrafo.

### 6.3 Koblingssskap

Koblingssskap (Fig. 6.5) ble bygget for å samle all elektronikken og strømtilførselen (Vedlegg 20). Skapet er opprinnelig et medisinskap der innholdet er blitt forkastet og erstattet av festeanordninger for kabler (Vedlegg 21), elektronikk og en DIN-skinne til strømforsyning. Alle kabler har gummigjennomføringer for støvtetthet og slitasje på gjennomføringspunkt. Nettilførselskabelen og kabelen til kontrollboksen er festet med strekkavlastende gjennomføringer siden dette er kabler som kan oppleve bevegelse og strekk. Det er også montert sikringer til transformator og servoventiler med utvendig tilgang. Det tomme feltet i skapet er plasseringen til styrekretsen.

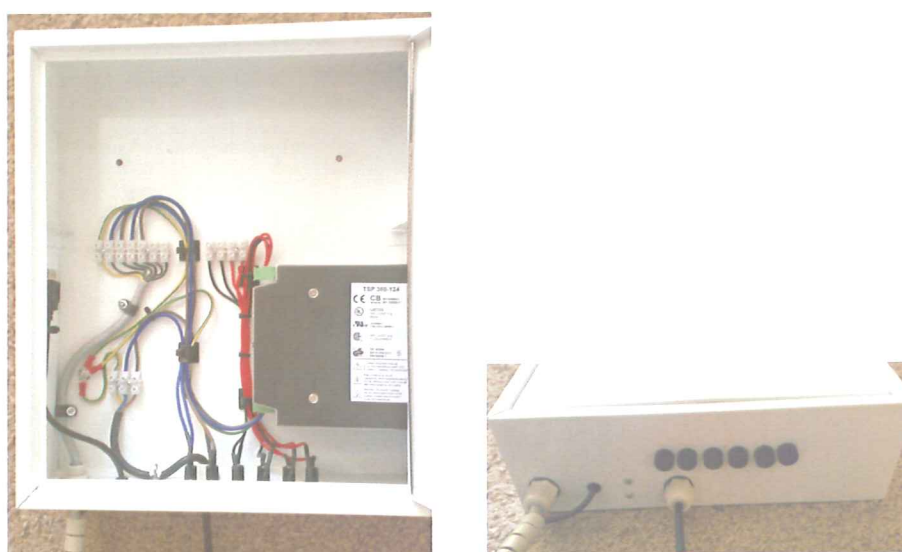


Fig. 6.5 Koblingssskap uten el-krets og I/O kort.

## 6.4 Kontrollboks

Kontrollboksens (Fig. 6.6) funksjon er at man kan stå på en avstand å kontrollere jiggen. Boksen er en RP-modell (Rapid Prototyping) som er printet ut på maskinlaben til UiA. Boksen har alle funksjoner som behøves for å operere jiggen. Den har en av/på bryter som styrer all strøm til servoventiler og styringssystem samt statuslampe. Nødstoppen er sentralt plassert og vil ved aktivering sørge for at alt av styringssystemer blir koplet ut og legger samtidig ventilenes inngangssignal til 0V, noe som sammen med ventilenes nullstillingsfunksjon gjør at de vil gå til utgangsposisjonen og sperre for all bevegelse av jiggen. En USB-terminal er montert bak boksen slik at den kan kobles direkte til PC-en. Grunnet signaltap over USB er det satt en maks avstand fra kopleingsskap til kontrollboks på 5 meter.

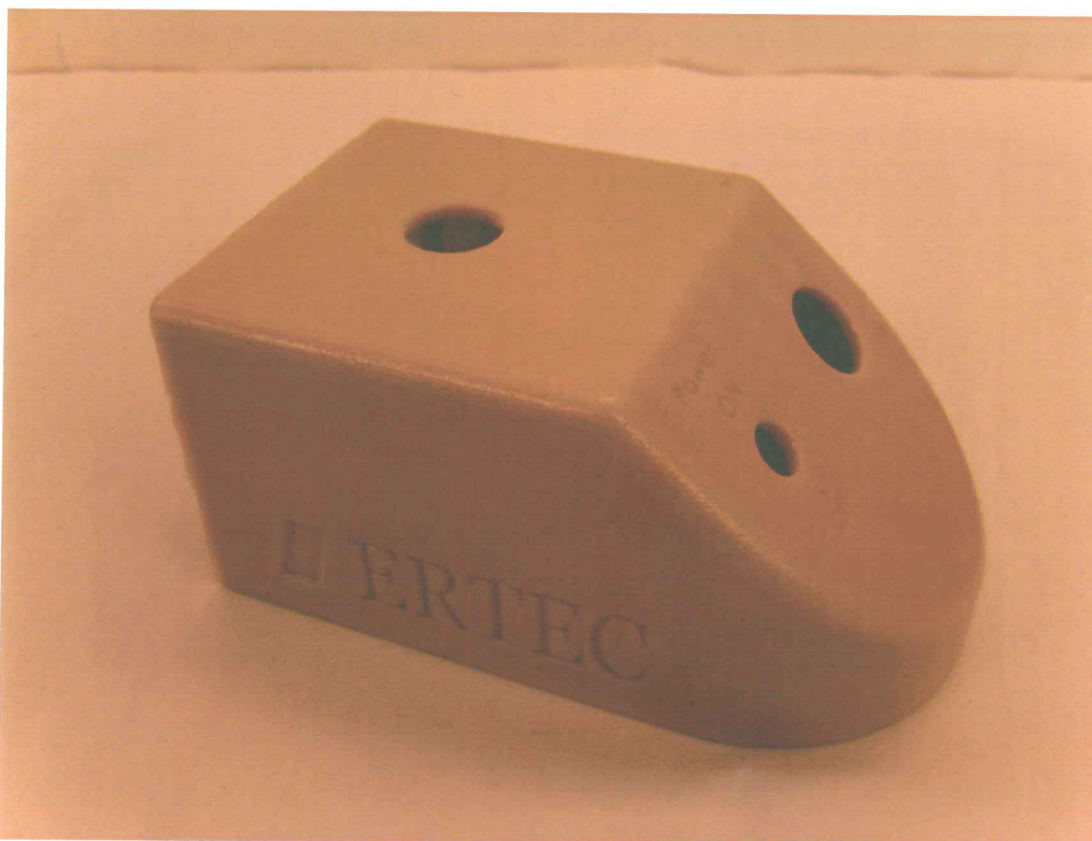


Fig. 6.6 Ferdig kontrollboks.

## 6.5 Koblingskjema for jiggen

Det generelle koblingskjemaet (Fig. 6.7) for jiggen viser hvordan ledningene til jiggen skal kobles sammen med resten av komponentene.

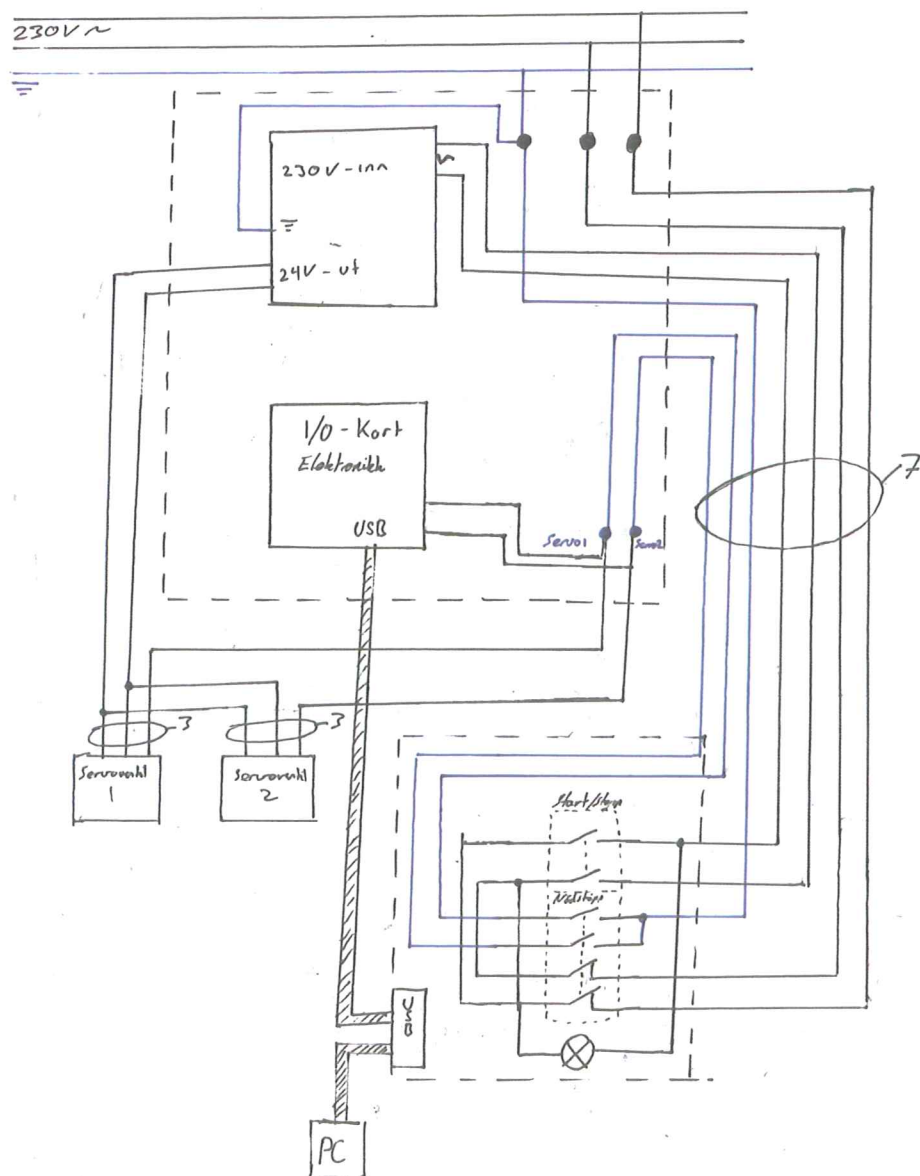


Fig. 6.7 Koblingskjema for jiggen.

## 7.0 Bygging og montering

Pr. dags dato er ikke alle komponentene til produktet levert. Gruppen mangler slagrammen fra Ertec og samtlige hydraulikk komponentene er ikke levert fra Servi. Gruppen har på tross dette montert de mindre komponentene og kommet langt på testingen av kretskortet. Gruppen har også tatt konsekvensen av de høyeste spenningene i styrkeanalysen. Rammene har blitt tilvirket med tanke på at man må unngå skarpe hjørner hvor de høyeste spenningene vil oppstå (Fig. 7.1).



Fig. 7.1 Sveis i et hjørne brukes for å forsterke et lite men svakt punkt.

## 8.0 Videre arbeid

I tiden etter prosjektet er slutt må jiggen transporteres til Ertec for endelig installasjon. Senere kan Ertec videreutvikle styresystemet med tilbakemelding til programmet. Det er tilrettelagt for at Ertec kan utvikle jiggen som de vil.

## 9.0 Økonomi

Ertec har finansiert komponentene til prosjektet. Innkjøp (Vedlegg 24) er blitt gjort med samtykke fra Jan Erik Gledje.



## 10.0 Konklusjon

Vi har i løpet av dette hovedprosjektet vært gjennom en utviklingsprosess der vi har gått fra idé til produkt. Vi har brukt mye tid på å tilegne oss nødvendig kunnskap for å kunne dokumentere og utvikle et produkt. Vi har erfart at bestillingstid er avgjørende for spesialkomponenter med lang leveringstid. Dette fører til at den type komponenter må bestilles i en tidlig fase av utviklingsprosessen. For sen levering er noe vi burde tatt mer høyde for siden komponentene ikke er lagervare. Fabrikasjons tid er også en faktor som vi kunne tatt mer hensyn til, ettersom uforutsette hendelser forsinket leveringen fra bedriften.

Vi har oppdaget nye måter å anvende kunnskapen vi har tilegnet oss. Prosjektarbeidet vårt har vist oss verdien av en godt planlagt utviklingsprosess og den store betydningen det har. Det er viktig i alle prosjektarbeid.

I løpet av prosessen har vi klart å dekke hovedpunktene som er gitt i oppgaven. Vi har et komplett tegningsgrunnlag som er blitt analysert og forbedret. Jiggen er en eksperimentell løsning for et forskningsarbeide som er i startfasen. Noen små problemer står fremdeles uløst. Det er noen feil i Labview programmet som må rettes for at jiggen skal kjøre av seg selv. Ellers har vi løst problemer som har oppstått underveis slik at jiggen er i henhold til kravspesifikasjon. Sett i en større sammenheng har riggen sine begrensninger i forhold til kompleksiteten og økonomiske hensyn i dette prosjektet.

Vi konkluderer med at løsningen tilfredsstillende de mål oppgaven setter.

## 11.0 Litteraturliste

### Internett:

(Alle adresser fungerer pr. 2/6-2008.)


- [www.moog.com](http://www.moog.com)
- [www.servi.no](http://www.servi.no)
- [www.ljm.dk](http://www.ljm.dk)
- [http://en.wikipedia.org/?title=Tensile\\_strength](http://en.wikipedia.org/?title=Tensile_strength)
- <http://www.answers.com/topic/ship-powering-maneuvering-and-seakeeping?cat=technology>
- <http://ertec.no/ertec-start.htm>

### Skriftlige kilder:

- Geir Fulgerud, Kompendium for marin teknikk, 3.utgave, 2003.
- Ulrich, Karl T. and Eppinger, Steven D.: "Product design and development", 3.ed. McGraw-Hill, 2003.

## 12.0 Vedlegg

- Vedlegg 1 Miniprojekt: Testjigg for sloshing i drivstofftank
- Vedlegg 2 Utdrag av målinger utført av Hans Jørgen Bjelke Mørch
- Vedlegg 3 Konstruksjonstegninger for Bunnrammen
- Vedlegg 4 Konstruksjonstegninger for Rullerammen
- Vedlegg 5 Konstruksjonstegninger for Slagrammen
- Vedlegg 6 Hjul
- Vedlegg 7 Stål ST-52 datablad (Utdrag)
- Vedlegg 8 Aluminium 6082 T6 datablad
- Vedlegg 9 Hydraulikkaggregat datablad
- Vedlegg 10 Servoventil datablad
- Vedlegg 11 Sylinder datablad (Utdrag)
- Vedlegg 12 I/O kort datablad
- Vedlegg 13 Komponentliste
- Vedlegg 14 MC14 datablad
- Vedlegg 15 LM317 datablad (Utdrag)
- Vedlegg 16 L7800 datablad (Utdrag)
- Vedlegg 17 Model 64 datablad
- Vedlegg 18 Trafo datablad
- Vedlegg 19 Kabel datablad
- Vedlegg 20 Kostnadsoverslag

<b>Miniprojekt: Testjigg for sloshing</b> for ingeniørutdanningen Fakultet for teknologi, Grimstad		 Universitetet i Agder
<b>Tittel: Bygging av testjigg for analyse av sloshing i drivstofftank for hurtiggående fartøy</b>		<b>Rapportnr.: Oppgave 14</b>  <b>Fagområde: Maskin</b>  <b>Antall sider: 38</b>
<b>Oppdragsgiver: Universitetet i Agder</b>		<b>Dato: 29.02.08</b>
<b>Forfattere:</b> <b>Gruppe 14</b> <b>Kim André Bertmand</b> <b>Joachim Hytten</b> <b>Ove Johan Kalsnes</b>		<b>Veileder:</b> <b>Hans Jørgen Bjelke Mørch</b>
<b>Emneord:</b>		
<b>Sammendrag:</b>  I miniprojektet har vi analysert oppgaven og vi har hatt kontakt med firmaet Ertec i Tvedestrand. Vi har på grunnlag av oppgaven, Ertecs ønsker og våre idéer kommet frem til noen konsepter som vi kan bygge. Vi har drøftet og silt ut de konseptene som ikke er egnet for hovedprosjektet. Vi har fulgt en produktutviklingsprosess fra kundeintervju til benchmarking.		
Telefon: +47 37 25 30 00	Grooseveien 36, N-4876 Grimstad	Telefaks: +47 37 25 30 01

## Forord

Det vites lite om krefter som oppstår i forbindelse med sloshing i en tank. Det er en interessant problemstilling som også er meget viktig. Sloshing er kraftige bølger som oppstår i tanker som blir utsatt for bølgebevegelser. Det gjøres etterhvert en del forsøk med sloshing og krefter på tanker. LNG industrien står for en stor del av forskningen og det meste av forskningen gjøres i mindre skala.

Sloshing i drivstofftanker på fritidsbåter er et problem som ikke er så kjent. Det er ikke så store mengder drivstoff det dreier seg om, men det er allikevel nok til å ødelegge en tank. Vår veileder Hans Jørgen Bjelke Mørch har gitt oss en del data i forbindelse med slik testing og det er vår oppgave å lage en jigg for å teste tanker. Det er en omfattende oppgave, og med på veien har vi fått hjelp av firmaet Ertec i Tvedestrand som lager tanker for raske og store fritidsbåter.

Vi å ønsker takke Hans Jørgen Bjelke Mørch, Morten Ottestad ved Universitetet i Agder og Ertec for hjelpen vi har fått på dette prosjektet.

For gruppe 14, 3/3-08:

Kim André Bertmand

Joachim Hytten

Ove Johan Kalsnes

---

---

---

## Innhold

Forord	2
Innhold	3
1.0 Oppgaven	4
1.1 Oppgaveformulering	4
1.2 Oppgavens bakgrunn	4
1.3 Oppgavens mål	4
2.0 Besøk hos Ertec 24/1-08	6
3.0 Kartlegging av kundebehov	7
Kundebehovstabell	7
Definisjon av vurderingsskala	7
4.0 List of metrics	8
List of metrics	8
Behov – metrics matrise	9
5.0 Konseptgenerering	10
5.1 Konseptforslag	10
5.2 Vurdering av konsepter	11
5.3 Valg av konsept	11
5.4 Benchmarking	12
6.0 Økonomi og produksjon	12
6.1 Produktutviklingsøkonomi	12
6.2 Produksjonsvennlighet	12
7.0 Funksjon	13
7.1 Design	13
7.2 Hjul	13
7.3 Skinner	14
8.0 Hydraulikk	14
8.2 Servo/proposjonalventiler	16
8.3 Hydraulikkaggregat	17
8.4 Hydraulikkslanger og koplinger	17
9.0 Kontroll og styring	18
9.1 Bruk av testjiggen	18
9.2 Eksperimentell testing	18
10.0 Kilder	19
11.0 Vedlegg	20
11.1 Konsepter	20
Konsept 3:	21
Konsept 4:	21
Konsept 5:	22
Konsept 6:	22
11.2 Vedlegg Servi Moog d634	23

## 1.0 Oppgaven

Oppgaven går ut på å bygge testjiggen og lage et fornuftig styresystem i henhold til kundebehov og oppgaveteksten. Visse begrensninger må imidlertid legges inn for at prosjektet skal lykkes innenfor den gitte tidsrammen.

### 1.1 Oppgaveformulering

**Konstruksjon av en testjigg for analyse av sloshing i drivstofftank for hurtiggående fartøy.**

Oppdragsgiver: Intern Prosjekt UiA

Kontaktperson: Hans Jørgen Bjelke Mørch

Grupped medlemmer: Kim André Bertmand, Joachim Hytten og Ove Johan Kalsnes

### 1.2 Oppgavens bakgrunn

For å effektivt kunne designe en drivstofftank til hurtiggående båter, er det viktig å vite hva slags designhensyn man må ta. Flere selskaper innenfor denne industrien har etterspurt kunnskap for denne problemstillingen. For å hente inn denne kunnskapen så er det vanligste å montere sensorer og måleutstyr i en ferdig båt. Da er den allerede designet og man kan ikke nøyaktig forutsi om designen fungerer, og for å få gode målinger må både båten og tanken modifiseres noe som både er dyrt og tidkrevende. For å effektivisere hele denne prosessen ville det vært fordelaktig å kunne finne et design av en tank som fungerer bra innenfor den bruk båten er konstruert for, og ut fra kreftene man oppnår ved testing av tanken kan finne beste posisjon i båten og kunne lage riktig dimensjonerte innfestninger. En løsning på dette vil være å konstruere en testjigg for testing og analyse av en drivstofftank.

### 1.3 Oppgavens mål

Det overordnede målet med oppgaven er å lage en fungerende testjigg som skal kunne fungere som en erstatning for måling og analyse som vanligvis foregår i en ferdig konstruert båt. En test i båt vil foregå med kjøring i bølger og framprovosering av vanskelige situasjoner som man tror medfører de største belastningene. Ved kjøring i sjø har båten bevegelser som blir direkte overført til tanken avhengig av dens posisjon. Disse bevegelsene må kunne gjenskapes i testjiggen. Dette medfører en lineær akselrasjon i en angitt x-retning, rask bevegelse i y-retning og bevegelse i z-retning. Disse bevegelsene skal kunne samkjøres og kjøres uavhengig av hverandre slik at bevegelsen vil stemme overens med gitt sjøsituasjon.

Ved tidligere forsøk har det kommet fram at krefter på opptil ca 5G [<sup>1</sup>] har funnet sted ved flere anledninger. Tankstørrelse som er vanlig i hurtiggående fartøy varierer gjerne fra 20 liter og opp. Vi må av hensyn til konstruksjonen og prosjektets omfang begrense størrelsen på tank som kan kjøres i testjiggen. Jiggen skal kunne teste en tank med 50 liters innhold, og siden dette er en veldig beskjeden størrelse så må en vanlig fast tank konstrueres i en passende skala som kommer inn under dette kravet. En vanlig størrelse i en hurtiggående daycruiser er rundt 220 liter noe som vil medføre at den må skaleres til 1:5 noe som vil resultere i en 40 liters tank. Dette vil alene vil medføre en kraft i y-retning på ca 240kg ut fra opplysninger fra tidligere målinger. Det vil være viktig at jiggen faktisk klarer å framprovosere slike krefter, men at samtidig ikke blir selvdestruktiv.

Bruk og styring av jiggen er ansett som den største utfordringen. Jiggen skal etterlikne en gitt situasjon i sjø, denne skal formidles gjennom styring/kontroll til tanken som blir fastmontert på jiggens testramme. Styringen er tenkt til å bli kontrollert ved bruk av en PLS eller eventuelt Labview. Dette er noe som blir fastbestemt etter nærmere analyse av problemet. Actuatorer vil være hydrauliske sylindere og dempere. For å kunne lage så store krefter vil man kunne trenge veldig hurtige sylindere, men de må samtidig ha evnen til å løfte den gjeldene lasten. Dette setter store krav til utstyret som brukes.

Designet av testjiggen vil bli gjort hovedsakelig i Solidworks. Det skal være en ramme med basis i en stålkonstruksjon som vil ligne rammen på et bord. Denne rammen må kunne boltes forsvarlig fast til underlaget med tanke på hvilke krefter som kan oppstå. En modul med innfesting for tank og sylindere vil bli montert oppå den første, denne skal være bevegelig i alle aktuelle retninger ved hjelp av de hydrauliske sylindrene og demperne.

---

<sup>1</sup> Hans Jørgen Bjelke Mørch



## 2.0 Besøk hos Ertec 24/1-08

Gruppen var på besøk hos Ertec i Tvedestrand. Ertec utvikler og produserer vindskjermer og drivstofftanker til fritidsbåter. De ønsker å utarbeide en metode for testing av drivstofftanker slik at de har mer data til rådighet når de utvikler et produkt. Tankene tilpasses til den enkelte båttype. Tankene skal tåle mye belastning ettersom båtskroget beveger seg i fart og tankene som er i aluminium vil kunne ta skade eller løsne fra innfestningen til båtskroget. Utviklingen av drivstofftankene foregår på eksperimentell basis. Ertec har to standarder å forholde seg til, men de sier lite om hvordan tankene skal konstrueres. Tankene blir i dag bygget i aluminium, hver seksjon i tanken skal ikke overstige 200 liter og tankene blir testet med lufttrykk tilsvarende en tre meter høy vannsøyle.

Vi snakket om en del krefter som kunne oppstå, veileder Hans Jørgen Bjelke Mørch la frem målingsdata fra en tidligere testtur han hadde foretatt. Sideveis akselerasjoner på 1,5G, hiv- og stampakselerasjoner på opp mot 5G i tankens posisjon ble målt da testen ble foretatt. Hiv og stampbevegelsen til båten ble diskutert og vi kom frem til at testjiggen bør ha disse frihetsgradene. Et sentralt punkt under møtet var hvorvidt vi skulle lage en testjigg for en skalatank eller om vi skulle bygge jiggen for en fullsize tank. Vi kom frem til at fullsize tank er den beste løsningen selv om det vil gjøre jiggen større og tyngre. Vi bestemte oss for å bygge en jigg som kan belastes med en 400 liters tank. Før omvisningen på fabrikken fikk vi spørsmål om å kunne "pulskjøre" tanken på testjiggen. Vi konkluderte med at det var mulig, men vi gjorde det ikke til en del av oppgaven vår.

## 4.0 List of metrics

I denne listen spesifiserer vi våre ønsker og behov for denne testjiggen. Vi vil at den skal tåle de belastninger som den påføres og en skal kunne gjennomføre tester med lang varighet. Jiggen skal stå støtt og ikke velte. Den må være rask og pålitelig. Jiggen bør også tåle litt vann ettersom man skal eksperimentere med vann. Transport er også et tema, men ikke på langt nær så viktig som styresystemet. Jiggen må kontrolleres ved hjelp av en PC og Labview.

### List of metrics

Tabell 3: Tabellen viser gruppas ønsker til produktet

Metric nr.	Behov nr.	Metric	Viktighet	Enhet
1	9	Strukturell styrke	5	mPa
2	9, 11	Slitesterk	4	-
3	2, 9	Sikker	5	-
4	6, 7, 8	Rask	4	M/s
5	14	Vann tett elektronikk	3	Bar
6	13	Løftemulighet	2	Kg
7	10	PC styrt	3	Bin
8	3, 4, 5	Hydraulikk	5	Bar
9	3, 4, 5,	Utslag	3	Grader
10	1, 12, 13	Størrelse	2	M
11	2	Innfestning av tank	5	-

### 3.0 Kartlegging av kundebehov

Ertec ønsker at testjiggen kan teste både sloshing og innfestninger på tanken. Det løses ved at man lager egne innfestninger for tankene som testes. Tanken bør være størst mulig og den bør minst testes i hiv- og i stampretning. Rollbevegelse er ønskelig hvis mulig. Jiggen bør kunne takle lignende akselerasjoner som fremlagt i Hans Jørgen B. Mørchs testdata.

#### Kundebehovstabell

Tabell 1: Kundebehovene med karakter etter prioritet

Nr.		Behov	Viktighet
1	Testjigg	Skala på tank (størrelse)	3
2	Testjigg	Innfesninger for tanker	2
3	Testjigg	Testing i hivretning	5
4	Testjigg	Testing i stampretning	4
5	Testjigg	Testing i rollretning	2
6	Testjigg	Hurtighet i hivretning	4
7	Testjigg	Hurtighet i stampretning	3
8	Testjigg	Hurtighet i rollretning	2
9	Testjigg	Jiggens strukturelle styrke	5
10	Testjigg	Styresystem	5
11	Testjigg	Lett vedlikehold	3
12	Testjigg	Kostnad	3
13	Testjigg	Transportabel	1
14	Testjigg	Vanntett	2
15	Testjigg	Testing i jagretning	4

#### Definisjon av vurderingsskala

Tabell 2: Tabellen definerer vurderingsskalaen

Viktighetskarakter	Definisjon
1	Mindre viktig
2	Noe grad av viktighet
3	Middels grad av viktighet
4	Stor grad av viktighet
5	Essensielt for produktet

## Behov – metrics matrise

Tabell 4: I denne tabellen er behovs- og metricstabellen satt sammen og sammenlignet

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		Strukturell styrke	Slitesterk	Sikker	Rask	Vanntett elektronikk	Løftemulighet	PC styrt	Hydraulikk	Utslag	Størrelse	Innfestning av tank
1	Skala på tank (størrelse)										*	
2	Innfesninger for tanker			*								*
3	Testing i hivretning								*	*		
4	Testing i stampretning								*	*		
5	Testing i rollretning								*	*		
6	Hurtighet i hivretning				*							
7	Hurtighet i stampretning				*							
8	Hurtighet i rollretning				*							
9	Jiggens strukturelle styrke	*	*	*								
10	Styresystem							*				
11	Lett vedlikehold		*									
12	Kostnad										*	
13	Transportabel						*				*	
14	Vanntett					*						
15	Testing i jagretning				*							

## 5.0 Konseptgenerering

Gruppen hadde idémyldring ved oppstarten av prosjektet.

Ved første idémyldring var utgangspunktet en skalamodell av tank som skulle testes.

Konseptforslag for dette ble deretter produsert, men da det i møte med Ertech i Tvedestrand ble framsatt et sterkt ønske om å få en jigg som kunne teste vanlige produksjonstanker ble disse tilsidesatt. Nye løsninger ble produsert.

### 5.1 Konseptforslag

Her er de forslagene som er kommet i sammenheng med prosjektet:

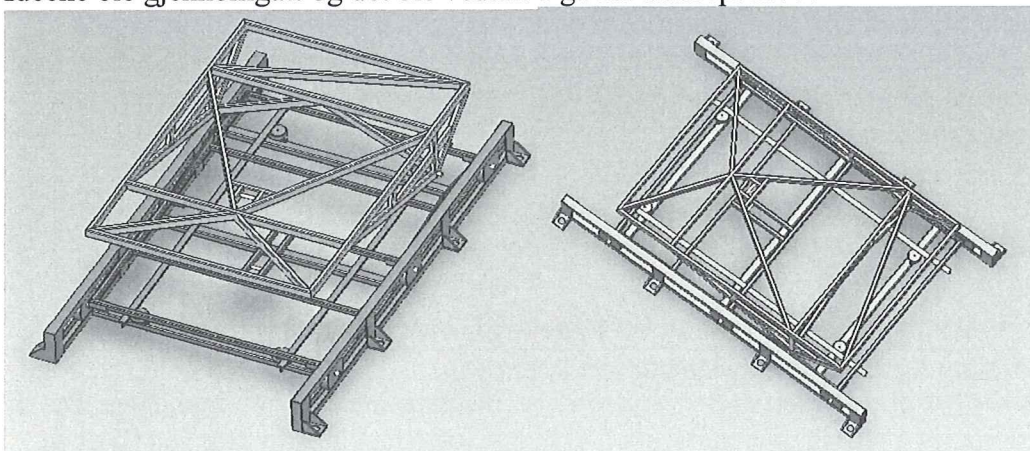
1. Sylinderbasert bevegelse: Ramme montert på en sylinder der slaglengden og hastigheten sørger for lineær bevegelse. Rotering rundt stempelaksen vil være bevegelse for rull. Selve sylinderen blir festet inn på en passende ramme. Se 11.1 Konsept 1.
2. Ramme med rull, slag og lineær bevegelse: En plattform sammensatt av tre rammer. Lineær bevegelse på hjul som går i skinner, rullbevegelsen er en egen ramme med en påmontert slagfunksjon. Kan utvikle alle de mest relevante bevegelsene for krefter, men kan ikke følge en "kurve" eller bølge. Se 11.1 Konsept 2.
3. Ramme med rull, slag og lineær bevegelse. Samme som nr. 2 men med et annet omdreingspunkt. Punktet er flyttet fram slik at man kan få en "rullende" bevegelse i samme retning som den lineære. Ramme med rull, slag og lineær bevegelse: En plattform sammensatt av tre deler. Lineær bevegelse på hjul som går i skinner, rullbevegelsen er en egen ramme med en påmontert slagfunksjon. Se 11.1 Konsept 3.
4. Vippefunksjon: Tanken er plassert på en ramme som er festet til en aksling som den kan rotere rundt. Vil ikke kunne få de største kreftene og begrense seg til analyse av sloshing. Se 11.1 Konsept 4.
5. Ramme som kan teste alle langsskipbevegelser: Samme bunnramme som nr. 2 men som har fjernet rullfunksjonen. Omdreingspunktet for toppramma er flyttet tilsvarende frem som i konsept 3. Kan følge en kurve/bølgebevegelse. Se 11.1 Konsept 5.
6. Jigg for skalamodell av tank: Ramme som står oppå et kuleledd. To aktuatorer som lager bevegelsene. Tanken får da et omdreingspunkt i senter. En egen sylinder lager en hivbevegelse. Se 11.1 Konsept 6.

## 5.2 Vurdering av konsepter

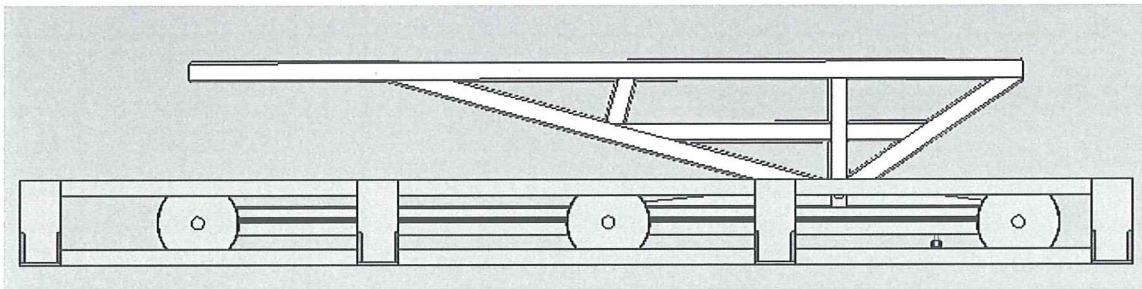
Grovsiling: Det ble intern diskusjon i gruppa om hvilke krefter som er viktigst å kunne fremprovosere. Dette ble vurdert opp mot kostnader og utførbarhet. Konseptene som ble bestemt å vurdere videre var nr. 2 og nr 5 som ble ansett som mest realistiske i forhold til utførbarhet og de kreftene man vil kunne oppnå.

## 5.3 Valg av konsept

Ideene ble gjennomgått og det ble vedtatt å gå for konsept nr. 5.



Bilde 1 (t.v.) og bilde 2 (t.h.): Konsept 5



Bilde 3: Konsept 5

Selv om rull generer viktige krefter som er aktuelle, vil denne funksjonen øke kostnadsnivået og kompleksiteten i konstruksjonen. Konsept nr 2 vil trenge en egen ramme, denne må tåle belastningen fra både tank og sin egen vekt. Denne rammen vil kreve mesteparten av fabrikkeringen og kreve aktuator og servoventil for styring. Dette vil øke kostnadene betydelig. Konsept nr.5 vil fremprovosere de viktigste kreftene i langsskipsretning og er vesentlig billigere enn alternativet.

## **5.4 Benchmarking**

Selv om det finnes flere som har rigger som kan gjenskape bølger, så er det meget få som har rigger som skal gjenskape akselerasjonene til en hurtiggående fritidsbåt. De fleste andre riggner tester skalamodeller av f.eks. en LNG tank. Vi mener vår løsning er tilpasset kundebehovet til Ertec og det samsvarer med oppgaven.

## **6.0 Økonomi og produksjon**

Det er ganske likt med fabrikasjon på alle konseptforslagene. Prisen for å lage en slik type testjigg avhenger mest av hydrauliske komponenter som må kjøpes inn. Styring, I/O kort og lisens på programvare er også betydelige utgifter sammen med materialer som blir brukt i konstruksjonen.

### **6.1 Produktutviklingsøkonomi**

Utvikling av en slik jigg kan potensielt bli meget dyrt. Men ved konseptutvikling og valg tatt i denne fasen kan produksjonskostnadene begrenses.

Funksjonalitet har blitt vurdert opp mot verdien av informasjon som kan innhentes. Det er fullt teknisk mulig å lage et mer funksjonelt konsept, men det vil ha lite for seg fordi de kreftene man kan innhente fra flere bevegelser har mindre innvirkning og vil øke "handlelisten" betraktelig.

### **6.2 Produksjonsvennlighet**

Materialvalg, montering og fabrikasjon er viktige momenter. Materialvalget er viktig for utseende, kostnad og levetid. De øvre delene blir produsert i aluminium. Dette ble valgt på grunn av tilgang og kunnskap om materialet hos Ertech, som også vil stå for fabrikasjonen av alle aluminiumskomponenter. Bunndelen vil være en stålkonstruksjon. Stålrammen i bunnen vil bli fabrikkert ved UiA. At topprammene blir produsert i aluminium er en stor fordel med hensyn til egenvekt. Men det setter også egne begrensinger med tanke på sylinderrinnfestninger og strukturell styrke.

## 7.0 Funksjon

Jiggen skal kunne beveges fram og tilbake, denne bevegelsen er blitt loggført til å kunne utvikle 1,5g i retardasjon. Akselrasjonen er vesentlig mindre på grunn av at de største kreftene som i hovedsak virker i denne retningen vil være skyvet man får fra propellen. Retardasjonskreftene er resultat av båtskroget som treffer bølger og dermed bremser båten. 1,5g som utvikles her er mye krefter, da man kan sammenligne bremsene i en normal bil som vanligvis utvikler 0,6 til 1g avhengig av veigrep og hjul.

Det er retardasjonskreftene som vil være mest interessant i forhold til å se virkningene av skvalpeskjold som står i tanken.

En tank er som oftest delt inn i kammer på ca 150-250l avhengig av den totale størrelsen på tanken. En hivbevegelse/slag vil kunne lage viskøse krefter i disse rommene. En moderne båt i dag kan bli utsatt for ca 4-6g i røff sjø. Topprammen har oppgaven med å kunne fremstille disse kreftene.

### 7.1 Design

Det ble bestemt at topprammen skulle beveges ved hjelp av to sylindere for å fordele lasten. Bunnrammen i stål er designet for å kunne boltes fast. Den har kun til oppgave å holde jiggen innenfor de retningene den skal beveges.

Testjiggens nedre del er en løsning med hjul. Det er flere alternativer for å kunne akselerere jiggen fram og tilbake, men hjul ble valgt på grunn av kostnader og vedlikehold.

### 7.2 Hjul

Hjulene blir levert av Biltema og er enkle og holdbare. Det er nylonbaserte hjul med kulelager som vil rulle på en konstruksjonsskinne av stål. Grunnen til valg av nylonbaserte hjul er at de er myke i forhold til skinnen, dermed påføres den mindre belastning og slitasje. Det vil også redusere støynivå i forhold til alternativer som å bruke et lager som hjul. Disse hjulene vil bli utsatt for relativt store og raskt varierende krefter og må anses som slitasjedel som vil måtte byttes ut regelmessig avhengig av bruk. Hjulene er montert på en firkantramme av aluminium. Denne rammen bærer vekten til tanken og A-rammen som er montert oppå den. Denne vekten blir fordelt på seks hjul som alle er likt dimensjonert.



### **7.3 Skinner**

Hjulene som bærer den bevegelige konstruksjonen vil kunne bli utsatt for krefter i alle retninger. Fra et sikkerhetsperspektiv er dette negativt. Det har derfor blitt designet dype skinner av stål som vil sørge for at de kun kan gå lineært fram og tilbake. En tilsvarende skinne er boltet fast over hjulene. Dette er kun for å unngå at topprammen kan utvikle et løft på mer enn den marginen som er mellom hjul og den øvre skinnen.

Den øvre skinnen kan enkelt fjernes hvis det skulle bli behov for vedlikehold.

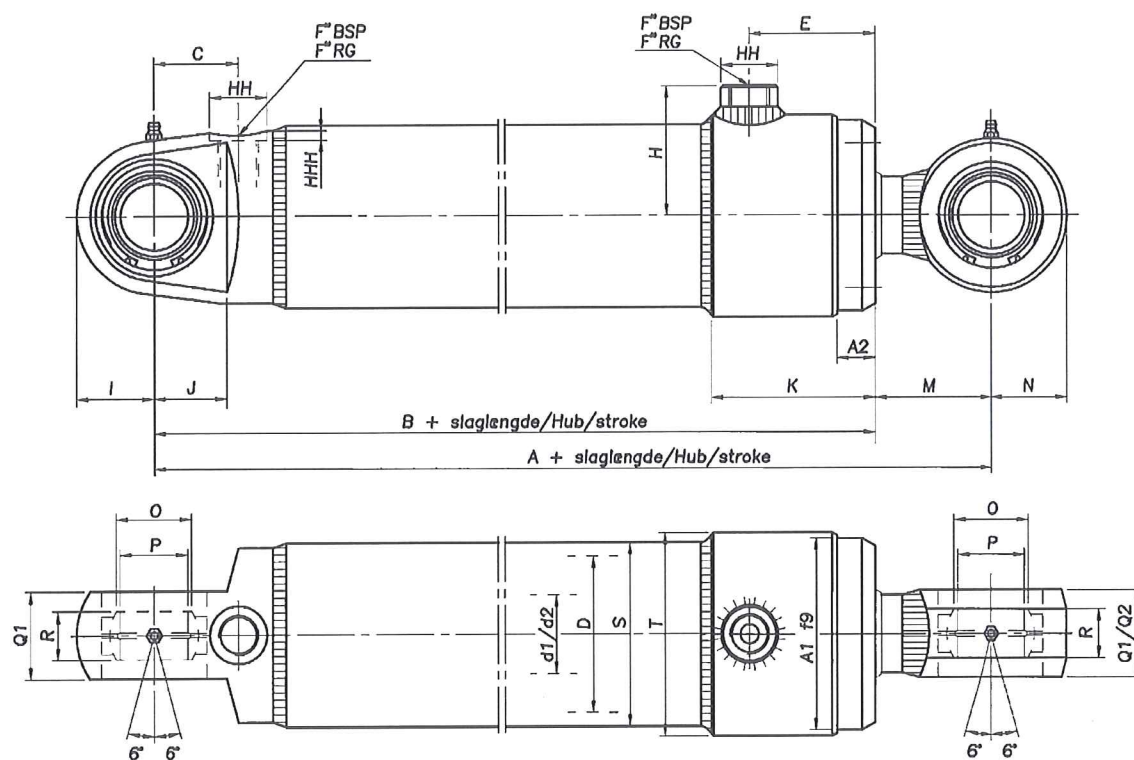
## **8.0 Hydraulikk**

Hydraulikk er et emne som hører til fluidmekanikken. Hydraulikk er ofte forbundet med pumper, sylindere, rør/slanger og andre fluidmekaniske innretninger. Bruksområdet er som oftest styring av sylindere til f. eks. gravemaskiner og roboter, kraftoverføring som for eksempel girkasser i kjøretøy, og fjernstyring av undervannsventiler. Bevegelsene til testjiggen er alle styrt ved hjelp av hydraulikk. Valget falt på hydraulikk på grunn av at det er enkelt å overføre store krefter ved hjelp av fluiden og at det er den enkleste måten å kunne produsere en lineær bevegelse.

## 8.1 Sylindere

Testjiggen er designet for å bli drevet av tre aktuatorer. Disse vil bli levert av Servi og er av typen dobbeltvirkende sylindere, det vil si at de kan både skyve og trekke lasten. Valg av sylindere gjøres ut fra lasten som vi har beregnet at de skal arbeide med. Det har blitt tatt utgangspunkt på en slaglengde på 200mm for sylindrene som skal bidra med ”slag/hiv”. Lasten som de må tåle er vi kommet fram til ved hjelp av enkle beregninger:

$$500\text{kg} \cdot 10\text{ms/s}^2 \cdot 5\text{g} = 25\text{kN}$$



Bilde 4: Prinsipiell skisse av sylindere vi skal bruke med lik innfestning, men et demperledd kommer i tillegg

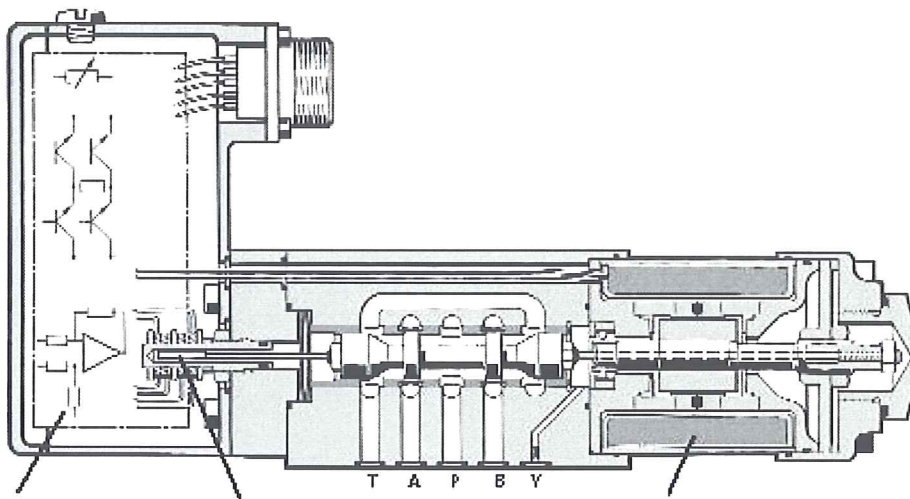
Lasten blir fordelt på to stk sylindere og 2 innfestninger på hver ramme.

Sylinderen som skal akselerere og retardere lasten i lengderetning er en tregere sylindere enn de andre på grunn av at det ikke er tilsvarende krefter, og ikke trenger samme hurtighet som de andre. Men sylinderen har en lengre slaglengde og det er viktig at den trekker lasten raskt og effektivt tilsvarende som den skyver.

For denne oppgaven vil det bli brukt en sylindere med 300mm slaglengde. Denne slaglengden gjør at man har god margin med tanke på lengden til skinnene som den skal transportere lasten på.

## 8.2 Servo/proposjonalventiler

Ventiler brukes for å regulere og kontrollere en krets. For å kunne få en tilfredsstillende kontroll av jiggen har vi valgt styring ved hjelp av servoventiler. Disse vil bli styrt gjennom et program utviklet i Labview som igjen er lastet over på en I/O modul levert av National Instrument beregnet for industriell prosessstyring. Dette sender signaler til servoventilene som bearbeider signalet omgjør det til et "hydraulisk signal" og styrer sylindrene. Servoventilene er av merke Moog og levert av Servi. For å kunne få riktig bevegelse er servoventiler meget viktige komponenter i systemet. Det er store krav til at de må være robuste, presise og raske, derfor falt valget på Moog-ventiler, som er kjent for nettopp disse egenskapene.



Bilde 5: Servoventil

Virkemåten til servoventiler er kort forklart at en magnetaktuator blir styrt av et strømsignal. Dette gjør at en plate inne i ventilen flytter seg i retningen til en av to dyser. Dysen som blir truffet blir strupet samtidig som den andre dysen åpner, det oppstår en trykkforskjell som gjør at ventilsleiden beveger seg til ønsket posisjon som igjen gjør at fluiden går videre til aktuatoren.

Ventilen vi har valgt til oppgaven er Moog D634. Disse finnes i flere varianter ettersom hvilket behov man har. Nærmere spesifikasjoner på ventilene vil bli bestemt når sylindrene er valgt.

### **8.3 Hydraulikkaggregat**

For å drive det hydrauliske systemet som jiggen er designet for, trengs det høyt trykk og mye "flow". Hydraulikkaggregatet må kunne levere olje til tre sylindere, derav to som er meget raske og en mer regulær sylinder. Dette tilsier at aggregatet må kunne levere mye olje på kort tid under høyt trykk. For å hjelpe aggregatet vil det være aktuelt med akkumulator. Denne vil da bli ladet opp mens det er lite aktivitet i systemet og når det trengs store mengder olje under trykk vil akkumulatoren lade seg ut. Dermed blir hydraulikkaggregatet avlastet for de største belastningene. Valg av aggregat vil bli gjort sammen med Ertech når endelige spesifikasjoner på det hydrauliske anlegget foreligger. Hydraulikkaggregatet har også til oppgave å filtrere og kjøle oljen. Dessuten er det utstyrt med en trykkbegrensningsventil slik at man ikke risikerer å få for høye trykkdannelser i systemet.

### **8.4 Hydraulikkslanger og koplinger**

Slanger og koplinger blir levert av Tess i Arendal. Valget av slanger er basert på hvilket trykk de må tåle og hvilken bøyning de må kunne tåle. Det blir brukt slanger og ikke rør på grunn av at bevegelsene vil kunne føre til store vibrasjoner og dermed vil rørene bli utsatt for stor belastning og være lite hensiktsmessig.

## 9.0 Kontroll og styring

For å kunne få til en bevegelse av tanken som er i samsvar med en bevegelse som kunne tenkes å oppstå i en virkelig sjøsituasjon, eventuelt gjenskape belastningen på tanken, har det blitt tatt utgangspunkt i bruk av Labview; der vil også alle måleresultatene bli logget. Det vil være et kontrollpanel der operatøren kan justere parametere for slaglengde og hastighet for sylindrene/rammemodulene. Der det må to sylindere til for å drive bevegelsen vil de kjøres parallelt og mest sannsynlig i en closed loop. For å måle belastningen på sylindrene vil vi ha en trykksensor til hver sylinder som forteller oss hvilket trykk som oppstår under last. Dette trykket ganger trykkarealet er da kraften som oppstår under last. Skulle en hatt et alternativ slik som belastningsceller, ville det ved en overbelastning ryke og måtte erstattes. Grunnen for valget av trykksensorer er at det gir oss et nøyaktig nok måleresultat; det er ikke et "selvdestruktivt" oppsett og det er langt billigere enn alternativet. Dette kan også settes opp som en PI(D) regulator, men det må vurderes med tanke på hvilken måte vi skal implementere data for bevegelse. Det blir tatt utgangspunkt i tall som er hentet fra målinger utført av Hans Jørgen Bjelke Mørch, som sammen indikerer hvilke krefter og bevegelser som virker på tanken og dens innhold.

### 9.1 Bruk av testjiggen

Aktuelle målinger vil kreve montasje av trykkløpere og sensorer på forskjellige steder på tanken for å måle trykkforskjeller og utbøyning. Strekkklapper for målinger på innfestningene til tanken. 3-akset akselerometer for å måle de faktiske bevegelsene til tanken under en gitt testsituasjon. Det vil være muligheter for både enkle bevegelser og kjøring av sekvenser med ulikt oppsett m.h.p. tank og mulige belastninger. Muligheten for å kjøre utmatningsforsøk på tank og innfestning kan også være aktuelt.

### 9.2 Eksperimentell testing

Ertech ytret ønske om å utføre målinger på en tank med plexiglass på den ene siden. Man vil da selv kunne se hvordan strømmingene virker mellom skvalpeskott og observere de viskøse kreftene, men da vil det jo være begrensningene i materialene som bestemmer størrelsen på tanken. Det vil også være et mål å lage designet slik at man har muligheter til videre utbygging hvis annen type av testing skulle defineres som et kriterium.

## 10.0 Kilder

[www.servi.no](http://www.servi.no)

<http://servi.no/beregn1.aspx>

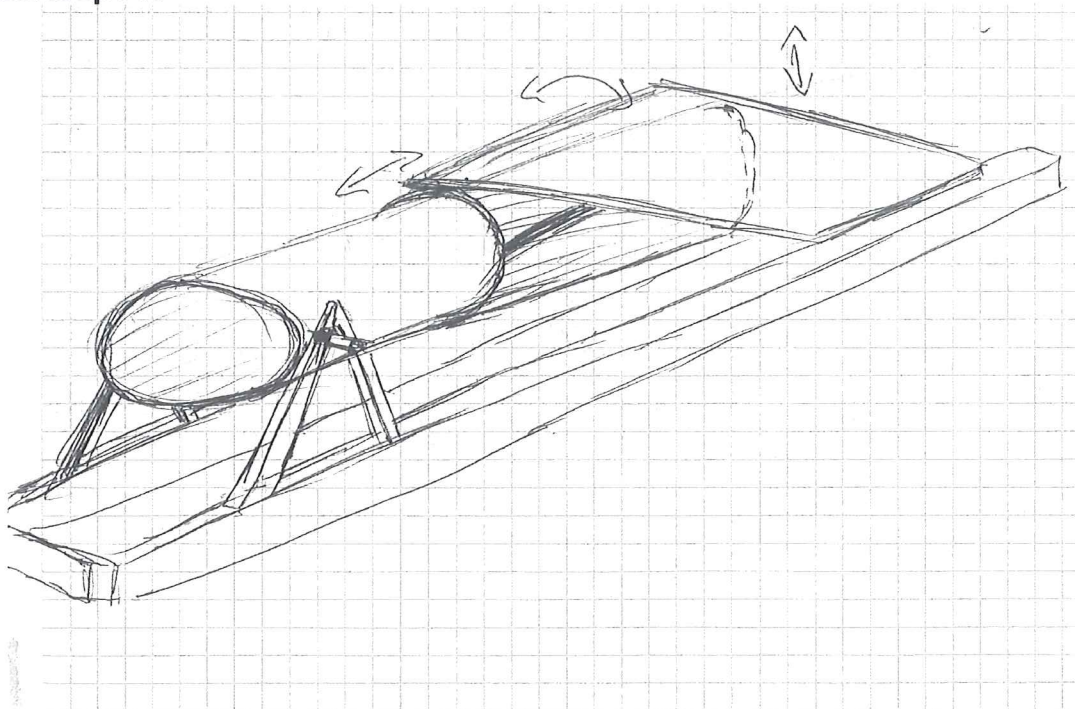
[http://www.servi.no/webview\\_arkiv/images/pdf/131004-2-1-1.pdf](http://www.servi.no/webview_arkiv/images/pdf/131004-2-1-1.pdf)

Ulrich, Karl T. and Eppinger, Steven D.: "*Product design and development*", 3.ed.  
McGraw-Hill, 2003.

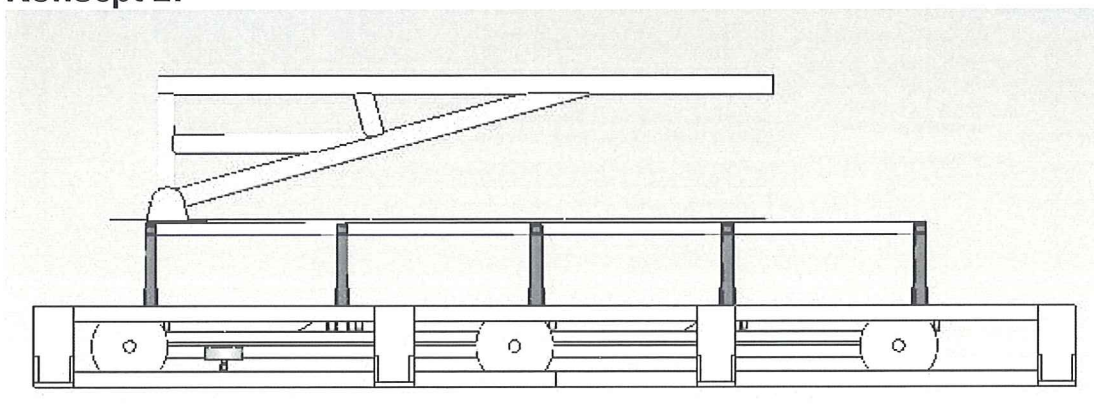
## 11.0 Vedlegg

### 11.1 Konsepter

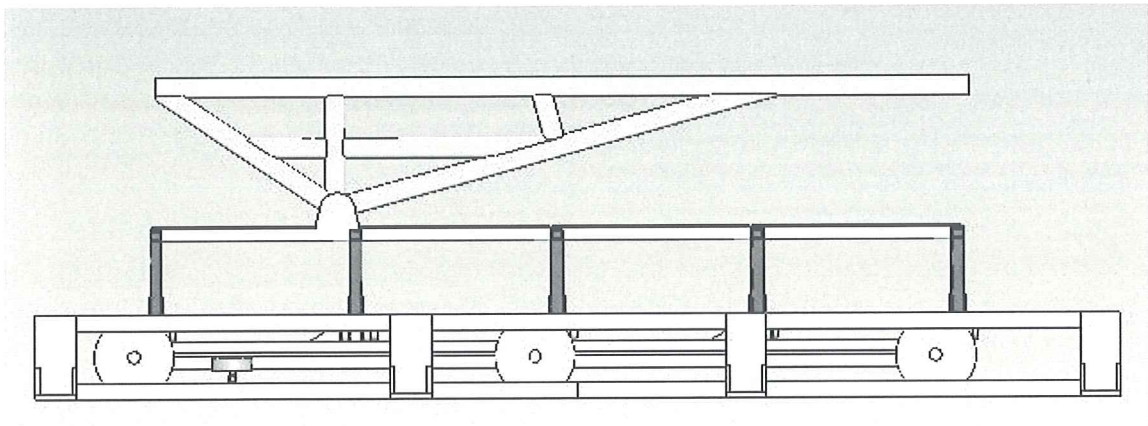
#### Konsept 1:



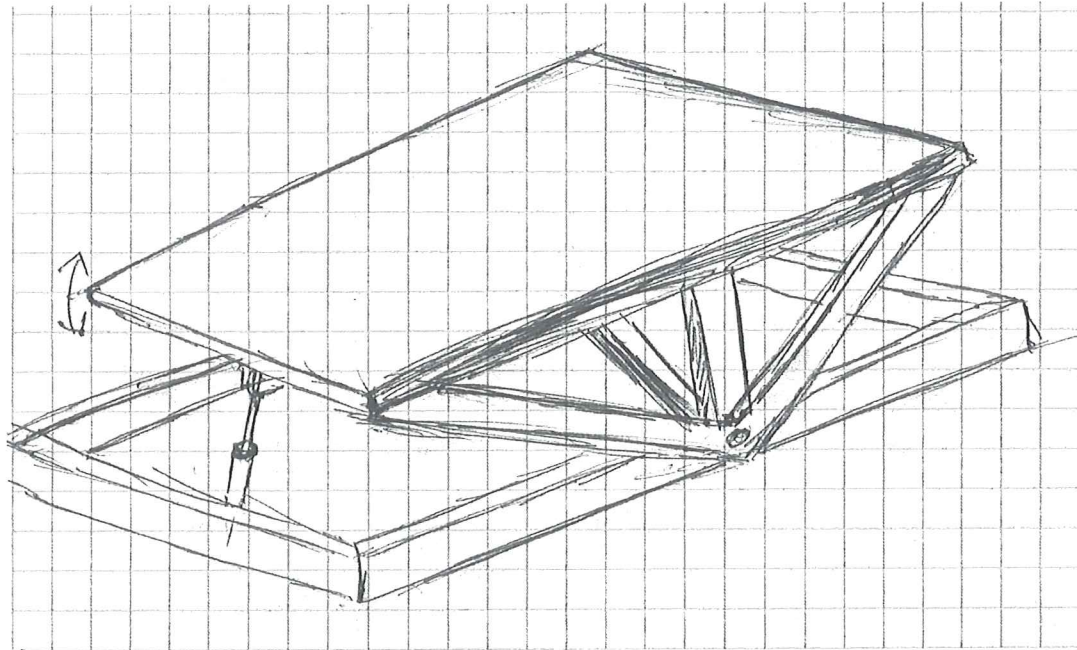
#### Konsept 2:



### Konsept 3:

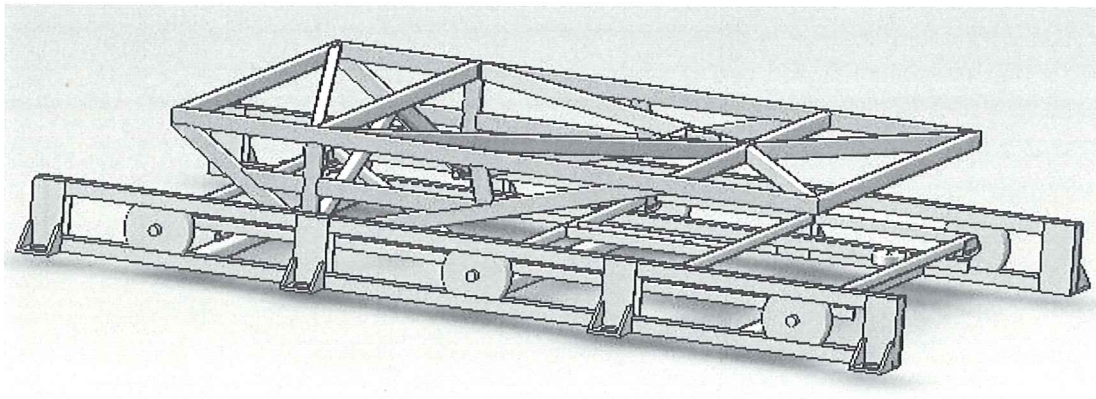


### Konsept 4:

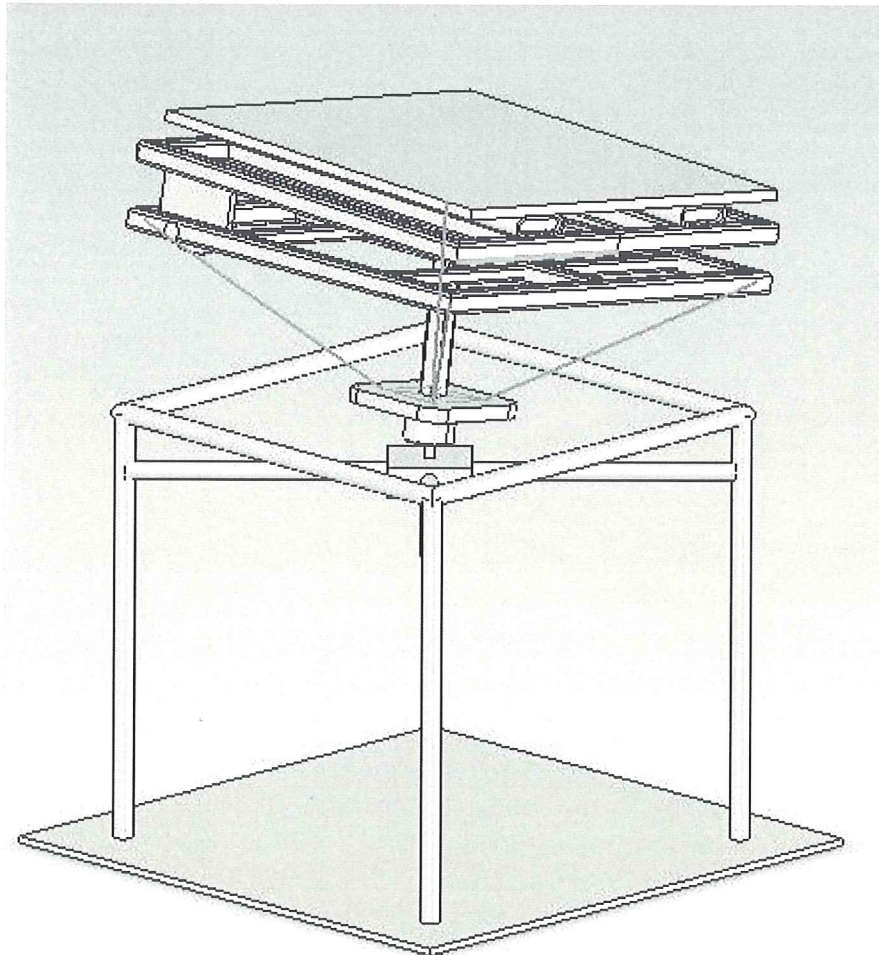




**Konsept 5:**



**Konsept 6:**



## Utdrag av målinger utført av Hans Jørgen Bjelke Mørch

DASYLab - V 5.60.00

WORKSHEET : ertec\_READ

Recording Date : 21.01.2008, 16:14:23

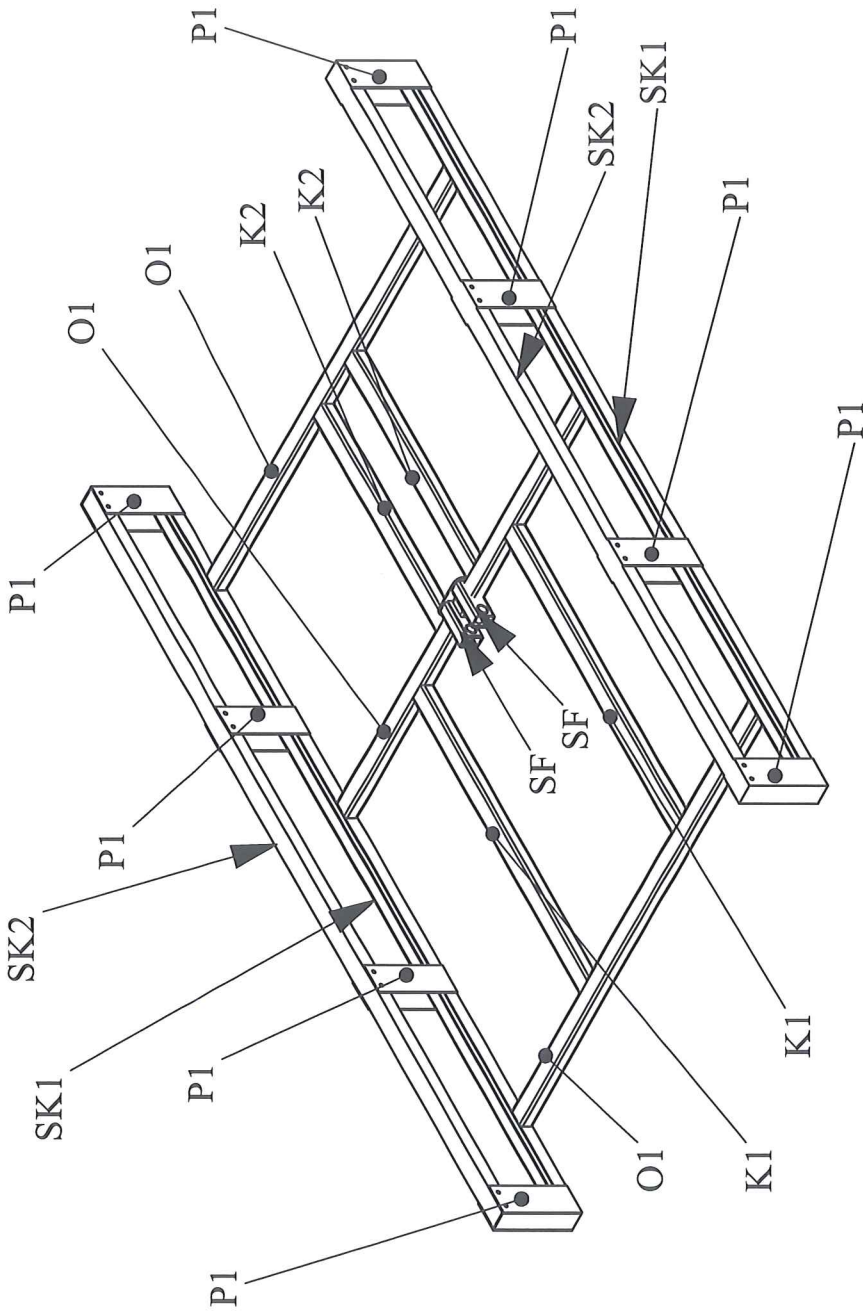
Block Length : 1024

Delta : 0.00499875 sec.

Number of Channels : 6

Elapsed Time[hh:mm:ss] 317 long [g] 318 lat [g] 319 vert [g] 7451 long [g] 7452 lat [g] 7453 vert [g]

00:01:57,90001780	0,0022	0,1827	1,3199	0,0452	0,2236	1,4410
00:01:57,90501655	-0,0093	0,1835	1,3803	0,0418	0,2262	1,4558
00:01:57,91001530	-0,0253	0,1800	1,4295	0,0364	0,2243	1,4902
00:01:57,91501405	-0,0375	0,1683	1,4516	0,0311	0,2117	1,5253
00:01:57,92001280	-0,0430	0,1604	1,4366	0,0236	0,1977	1,5328
00:01:57,92501155	-0,0418	0,1627	1,3999	0,0159	0,1905	1,5159
00:01:57,93001030	-0,0396	0,1728	1,3688	0,0110	0,1900	1,4913
00:01:57,93500905	-0,0414	0,1807	1,3683	0,0110	0,1896	1,4828
00:01:57,94000780	-0,0501	0,1805	1,4019	0,0141	0,1836	1,4912
00:01:57,94500655	-0,0628	0,1760	1,4585	0,0168	0,1753	1,4901
00:01:57,95000530	-0,0706	0,1678	1,5082	0,0176	0,1700	1,4640
00:01:57,95500405	-0,0682	0,1506	1,5156	0,0180	0,1636	1,4349
00:01:57,96000280	-0,0563	0,1276	1,4666	0,0203	0,1544	1,4137
00:01:57,96500155	-0,0378	0,1070	1,3809	0,0249	0,1450	1,3922
00:01:57,97000030	-0,0193	0,0947	1,2843	0,0299	0,1368	1,3607
00:01:57,97499905	-0,0058	0,0892	1,2022	0,0346	0,1268	1,3176
00:01:57,97999780	-0,0029	0,0951	1,1492	0,0360	0,1193	1,2667
00:01:57,98499655	-0,0079	0,1054	1,1280	0,0338	0,1161	1,2135
00:01:57,98999530	-0,0162	0,1083	1,1308	0,0294	0,1139	1,1588
00:01:57,99499405	-0,0224	0,1034	1,1386	0,0267	0,1137	1,1090
00:01:57,99999280	-0,0239	0,0984	1,1331	0,0288	0,1170	1,0729
00:01:58,00499155	-0,0194	0,0937	1,1053	0,0356	0,1195	1,0511
00:01:58,00999030	-0,0098	0,0852	1,0644	0,0456	0,1141	1,0387
00:01:58,01498905	0,0019	0,0737	1,0277	0,0541	0,1026	1,0314
00:01:58,01998780	0,0095	0,0686	1,0030	0,0583	0,0928	1,0284
00:01:58,02498655	0,0142	0,0674	0,9889	0,0600	0,0854	1,0273
00:01:58,02998530	0,0182	0,0663	0,9862	0,0612	0,0790	1,0265
00:01:58,03498405	0,0200	0,0687	0,9926	0,0606	0,0773	1,0223
00:01:58,03998280	0,0168	0,0751	1,0060	0,0559	0,0795	1,0086
00:01:58,04498155	0,0119	0,0807	1,0184	0,0486	0,0850	0,9833
00:01:58,04998030	0,0100	0,0806	1,0261	0,0421	0,0932	0,9542
00:01:58,05497905	0,0117	0,0792	1,0264	0,0394	0,1055	0,9305
00:01:58,05997780	0,0153	0,0798	1,0154	0,0427	0,1186	0,9174
00:01:58,06497655	0,0205	0,0797	0,9920	0,0514	0,1270	0,9128
00:01:58,06997530	0,0272	0,0771	0,9620	0,0616	0,1282	0,9141
00:01:58,07497405	0,0334	0,0740	0,9322	0,0679	0,1245	0,9146
00:01:58,07997280	0,0380	0,0690	0,9102	0,0681	0,1174	0,9116
00:01:58,08497155	0,0413	0,0629	0,9006	0,0639	0,1107	0,9022
00:01:58,08997030	0,0440	0,0572	0,9053	0,0585	0,1065	0,8914
00:01:58,09496905	0,0429	0,0610	0,9177	0,0534	0,1088	0,8834



NAME	DATE
DRAWN	
CHECKED	
ENG. APPR.	
MFG. APPR.	
Q.A.	
COMPANY	

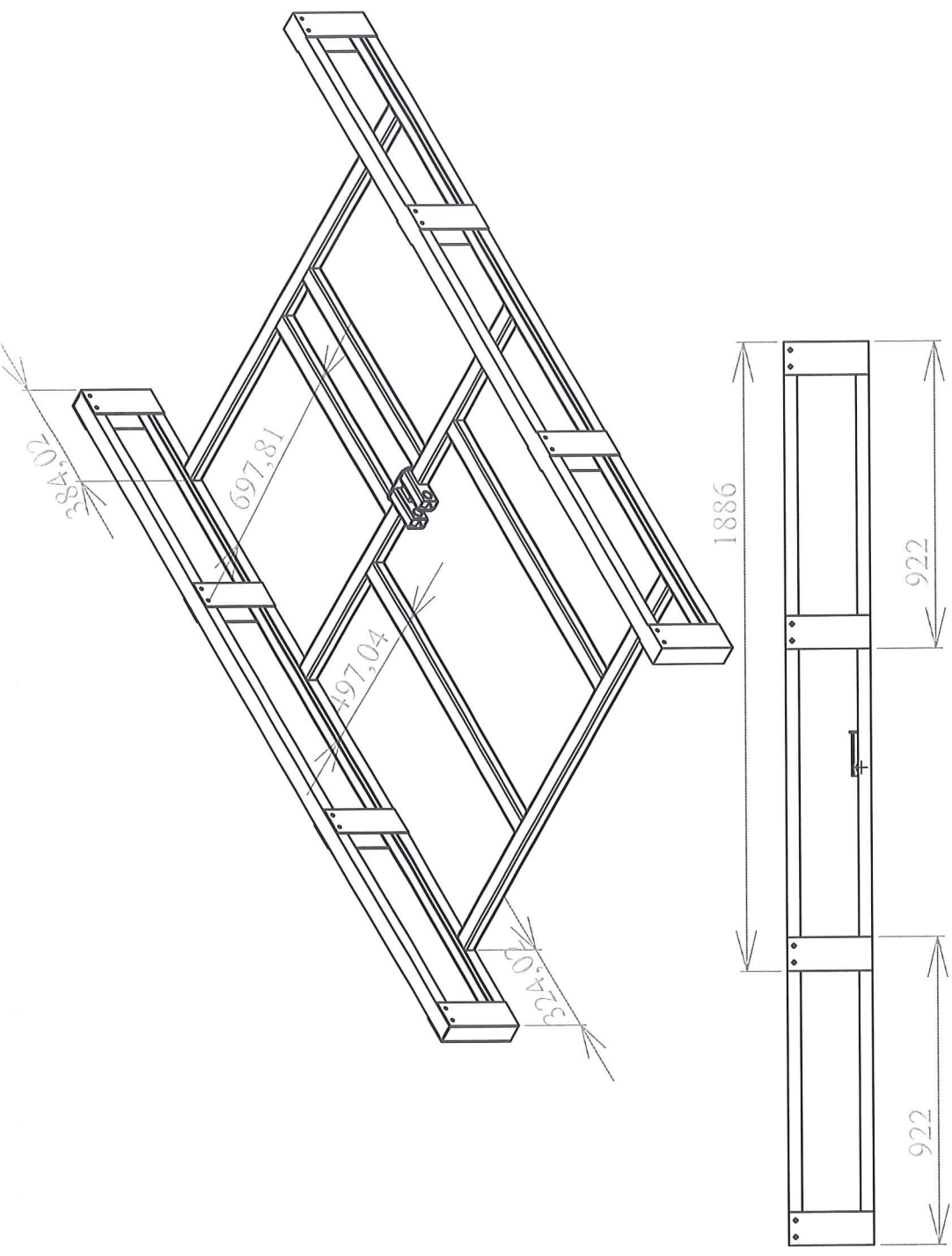


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 DIMENSIONS ARE IN mm  
 TOLERANCES: ± 2mm

INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER: MATERIAL FINISH

APPLICATION	USED ON	FINISH	MATERIAL	INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:
NEXT ASSY				

PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF Ertec and Uia.



UNIVERSITETET I AGDER

TITLE:  
 SIZE DWG. NO. REV  
**Bunnrammemål**  
 SCALE: 1:50 WEIGHT: SHEET 1 OF 1

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:	NAME	DATE
DRAWN		
CHECKED		
ENG APPR.		
MFG APPR.		
G.A.		
COMPANY	<b>ERTEC</b>	

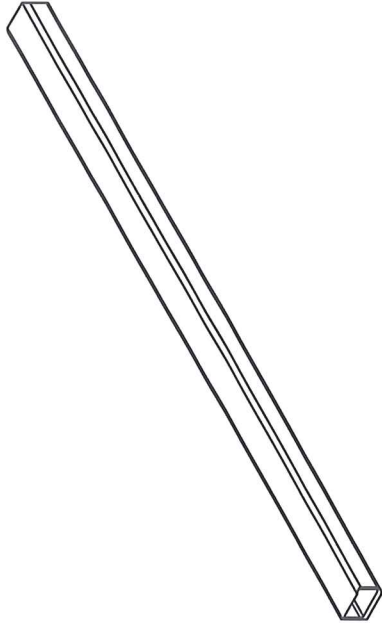
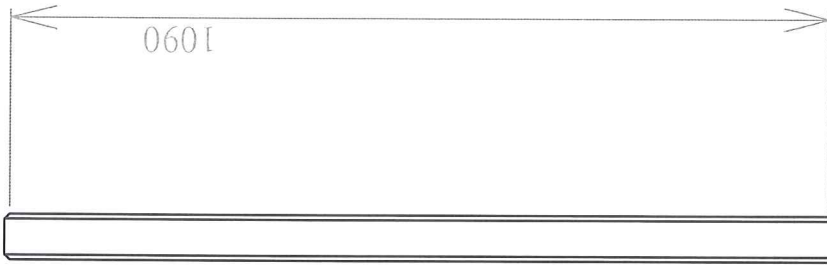
DIMENSIONS ARE IN mm  
 TOLERANCES: ± 2mm

INTERPRET GEOMETRIC  
 TOLERANCING PER:  
 MATERIAL

FINISH

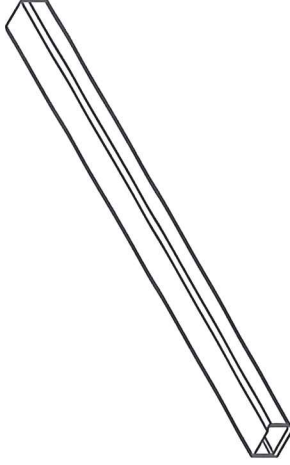
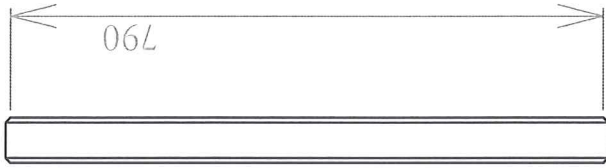
APPLICATION	USED ON	FINISH
NEXT ASSY		


PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
 DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
 Ertec and UJA.



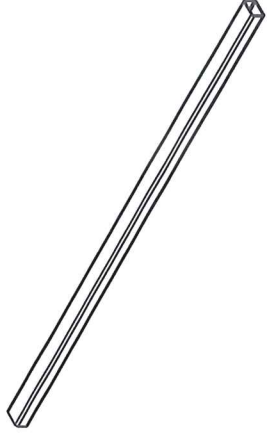
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
 DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
 Ertec and U/A.

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER
DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm		DRAWN		
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER: MATERIAL		CHECKED		TITLE:
FINISH		ENG APPR.		SIZE DWG. NO. <b>A K1</b>
NEXT ASSY		MFG APPR.		SCALE: 1:10 WEIGHT: SHEET 1 OF 1
USED ON		Q.A.		
APPLICATION		COMPANY		
		<b>ERTEC</b>		



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm		DRAWN	NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER
		CHECKED			
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER: MATERIAL		ENG APPR.			TITLE:
		MFG APPR.			
FINISH		Q.A.			SIZE DWG. NO. REV
		COMPANY			
NEXT ASSY					SCALE: 1:10 WEIGHT: SHEET 1 OF 1
USED ON					
APPLICATION					

PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
Ertec and Uia.



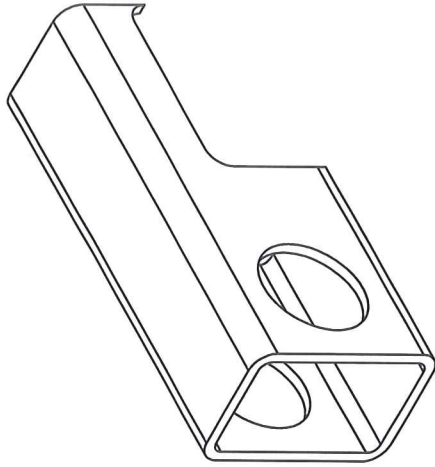
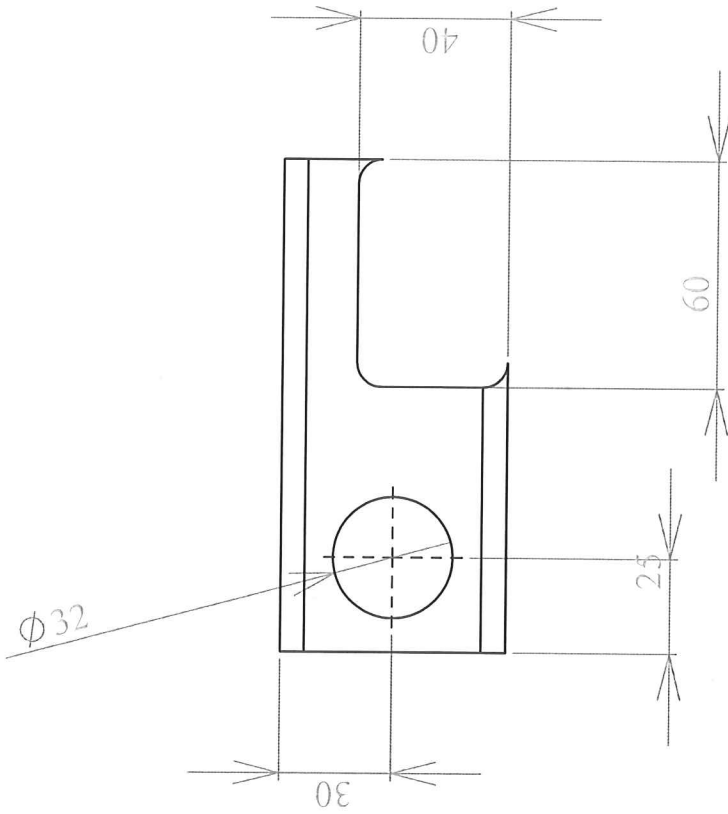
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
 DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
 Ertec and UJA.

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER
DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm		DRAWN		
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER: MATERIAL		CHECKED		TITLE:
FINISH		ENG. APPR.		SIZE DWG. NO. REV
NEXT ASSY		MFG APPR.		A O1 REV
USED ON		Q.A.		SCALE: 1:20 WEIGHT: SHEET 1 OF 1
APPLICATION		COMPANY		
		<b>ERTEC</b>		





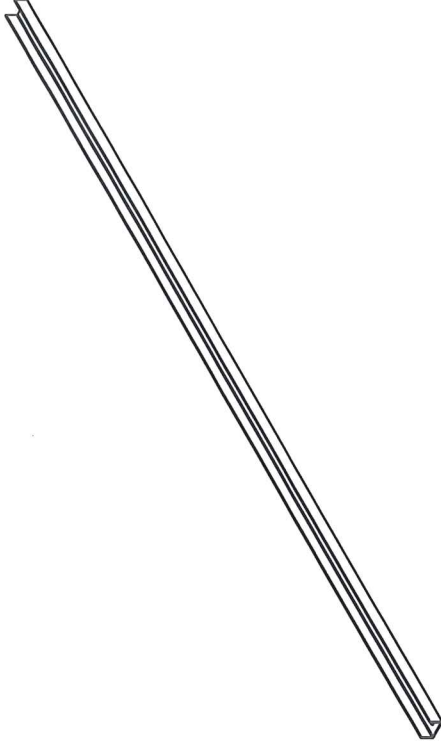
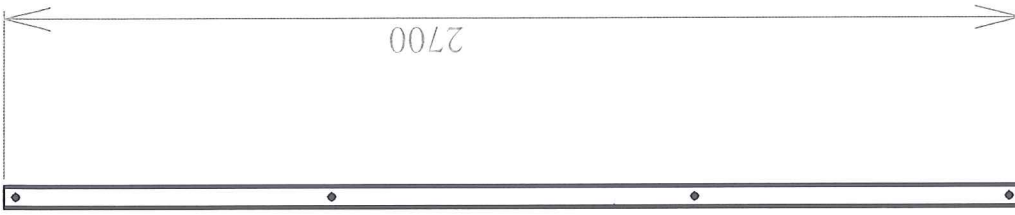
HULL SKAL HA RØRFORINGER  
ETTER AVTALT DIMENSJON




UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER	
DIMENSIONS ARE IN mm		DRAWN		TITLE:	
TOLERANCES: $\pm 2\text{mm}$		CHECKED			
		ENG. APPR.			
		MFG. APPR.			
		Q.A.			
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:		COMPANY		SIZE	DWG. NO.
MATERIAL				A	SF
FINISH				REV	
NEXT ASSY	USED ON			SCALE: 1:2	WEIGHT:
APPLICATION					SHEET 1 OF 1

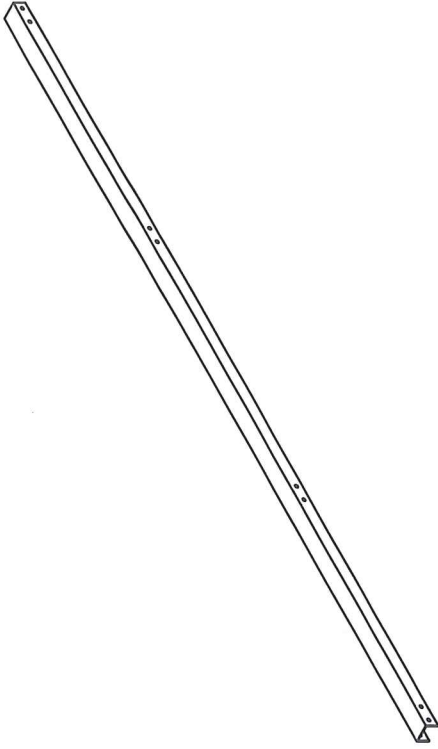
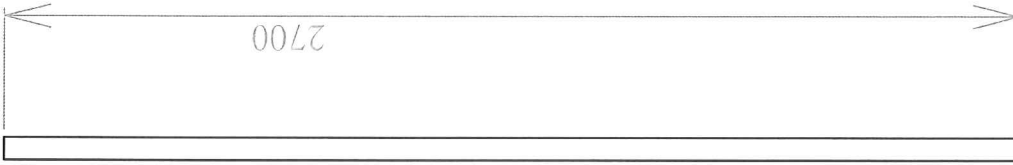
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
Eretec and Uia.

HULL BORES  
 BAK HVER PLATE  
 Ø=12MM



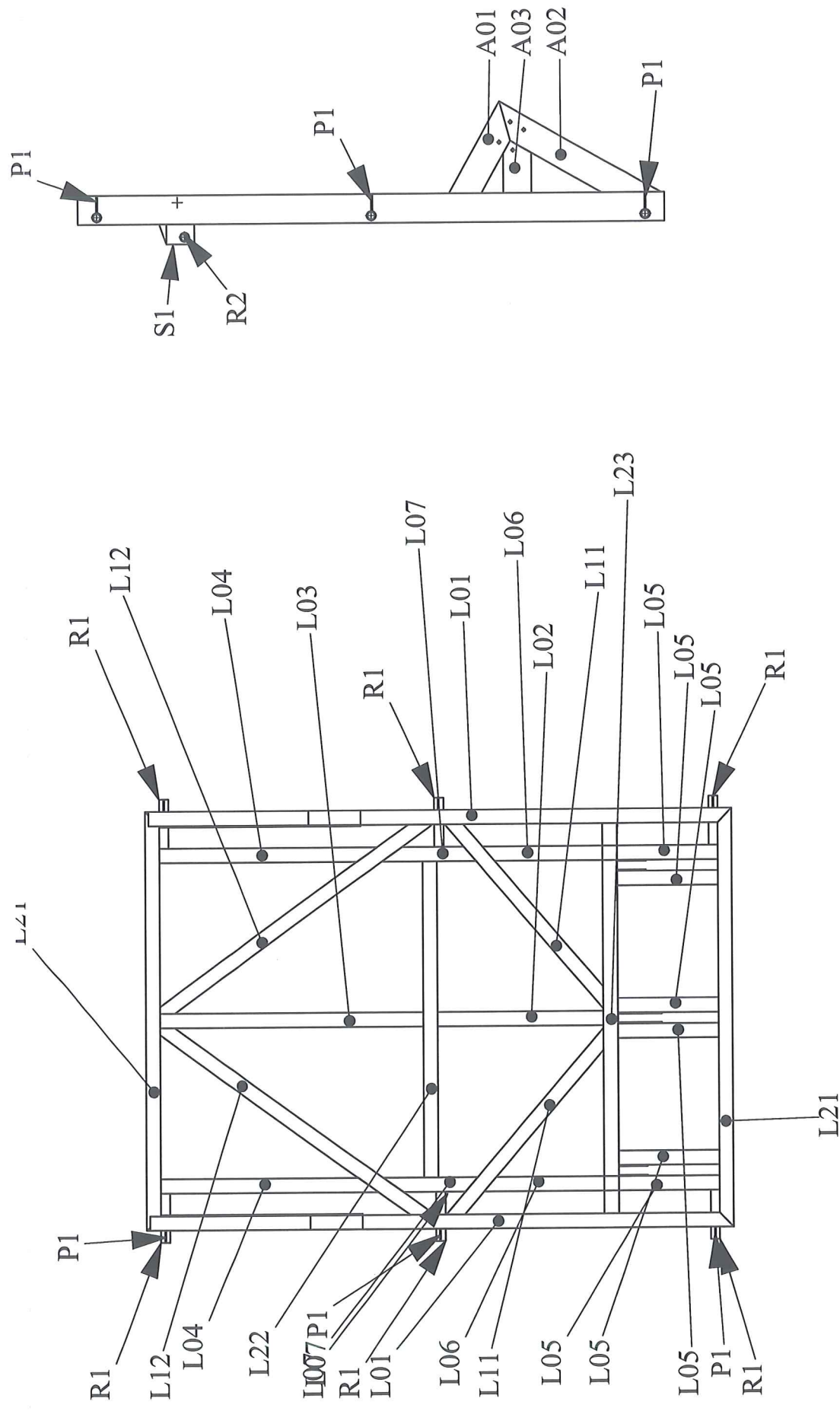
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF Ertec and UIA.		UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm		DRAWN CHECKED ENG APPR. MFG APPR. Q.A. COMPANY	NAME DATE	 UNIVERSITETET I AGDER
		INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER: MATERIAL FINISH	ERTEC	TITLE:		
NEXT ASSY	USED ON	SIZE DWG. NO.	A SK1	REV	SCALE: 1:50 WEIGHT:	SHEET 1 OF 1
APPLICATION	APPLICATION	5	3	2	1	1

HULL BORES I FØLGE FESTEPLATER P1  
SKAL VÆRE GJENNOMGÅENDE



PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
Ertec and UJA.

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER
DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm		DRAWN		
		CHECKED		TITLE:
		ENG APPR.		
		MFG APPR.		
		Q.A.		
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:		COMPANY		SIZE DWG. NO.
MATERIAL		ERTEC		A SK2
FINISH				REV
NEXT ASSY	USED ON	SCALE: 1:50 WEIGHT: SHEET 1 OF 1		
APPLICATION		2 1		



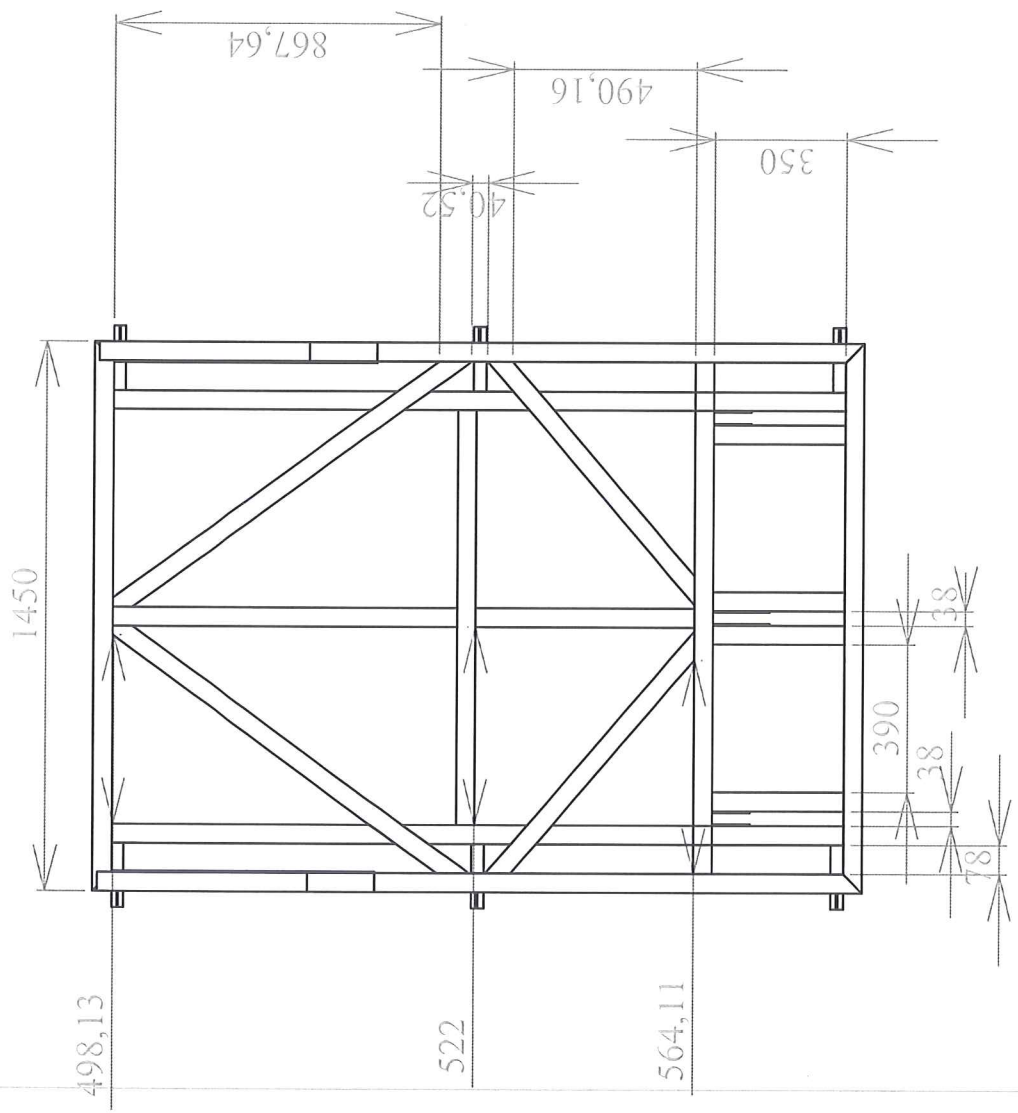
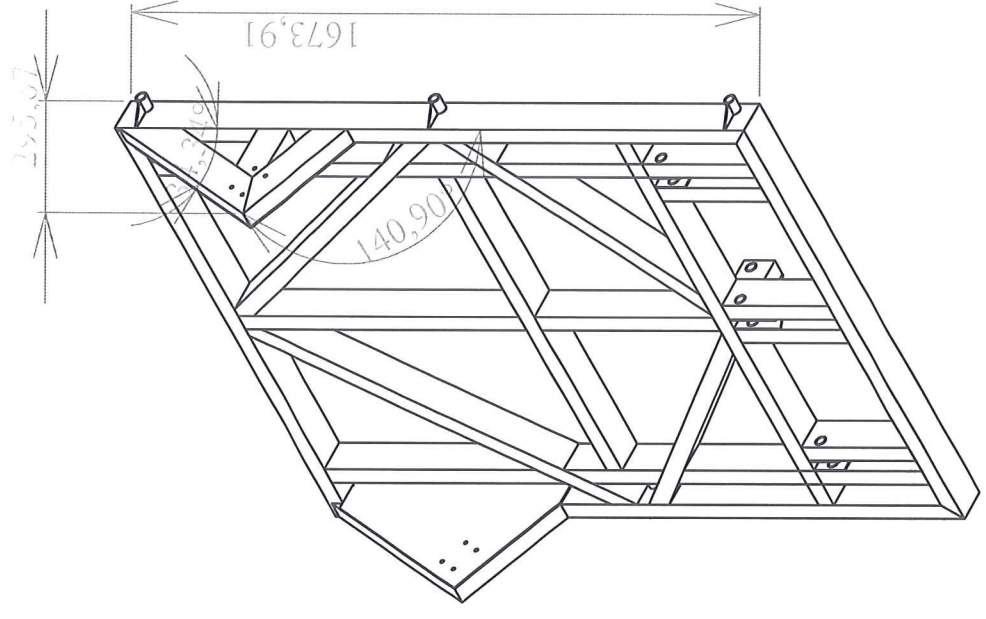
UNIVERSITETET I AGDER		NAME	DATE
TITLE:			
DRAWN			
CHECKED			
ENG APPR.			
MFG APPR.			
Q.A.			
COMPANY			
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:			
DIMENSIONS ARE IN mm			
TOLERANCES: ± 2mm			
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:			
MATERIAL			
FINISH			
NEXT ASSY		USED ON	
APPLICATION			

PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
 DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
 Ertec and U/A.

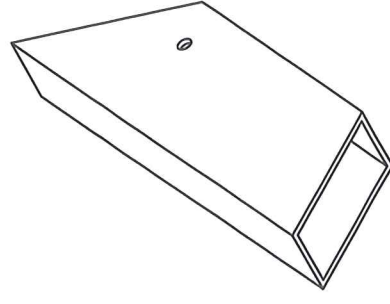
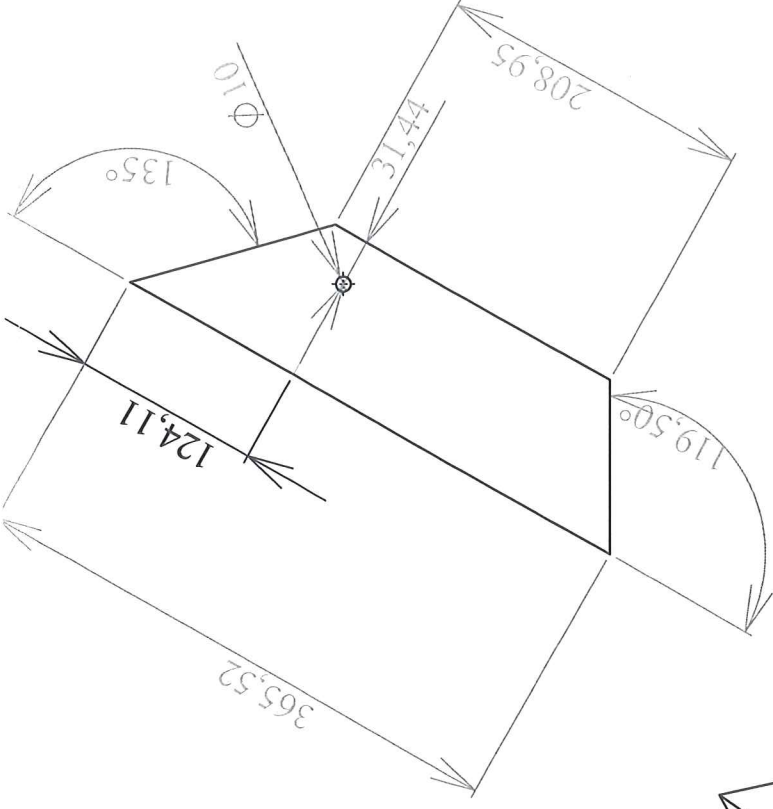
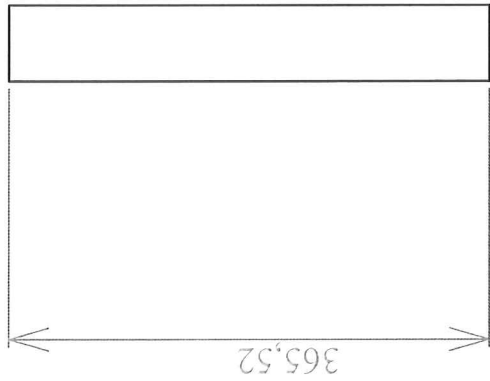
ERTEC **Ravnene** navn på deler

SIZE DWG. NO. REV

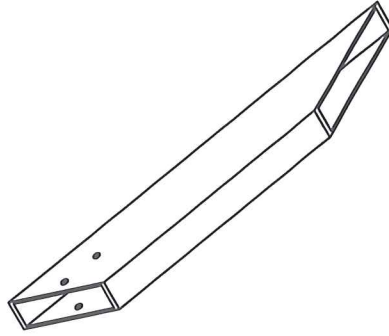
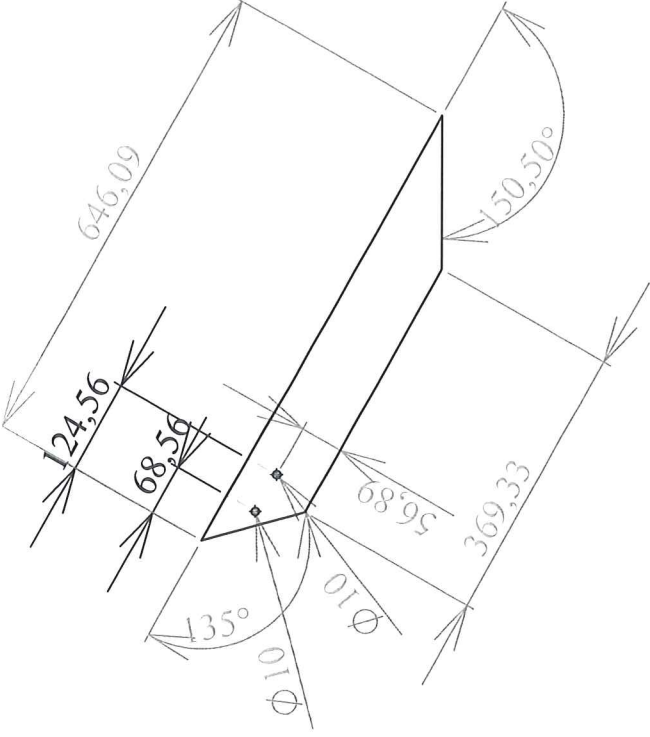
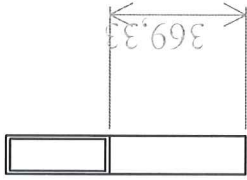
SCALE: 1:50 WEIGHT: SHEET 1 OF 1



UNIVERSITETET I AGDER		NAME	DATE	SIZE	DWG. NO.	REV
TITLE:		DRAWN		A		
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		CHECKED		SCALE: 1:50 WEIGHT: SHEET 1 OF 1		
DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm		ENG APPR.		MFG APPR.		
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER: MATERIAL		Q.A.		COMPANY		
FINISH		ERTEC				
NEXT ASSY	USED ON					
APPLICATION						
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF Ertec and U/A.						

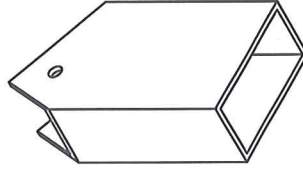
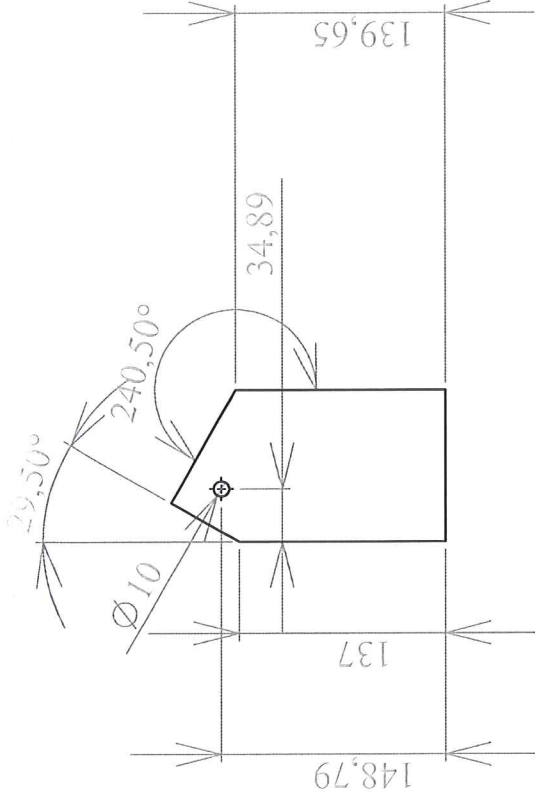
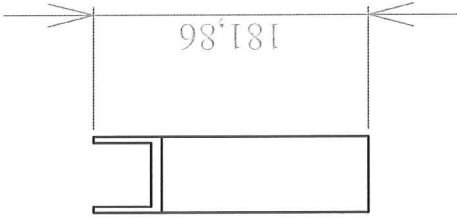


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm		NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:		DRAWN		
MATERIAL		CHECKED		
FINISH		ENG APPR.		
NEXT ASSY		MFG APPR.		
USED ON		Q.A.		
APPLICATION		COMPANY		
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF Ertec and Uia.				SIZE DWG. NO. REV <b>A A01</b>
		SCALE: 1:5		WEIGHT: SHEET 1 OF 1



PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
 DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
 Ertec and U/A.

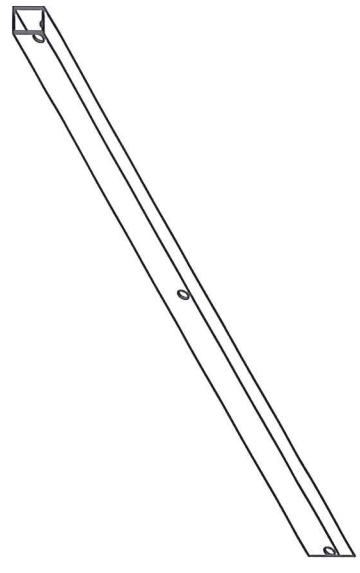
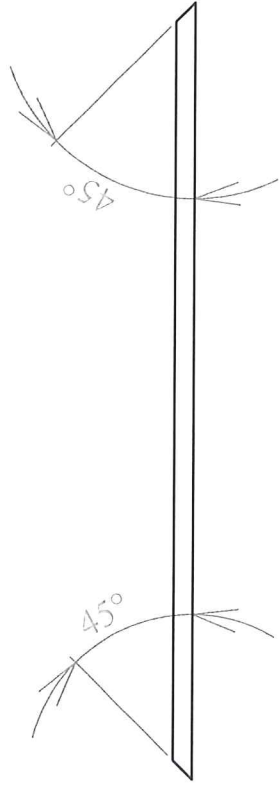
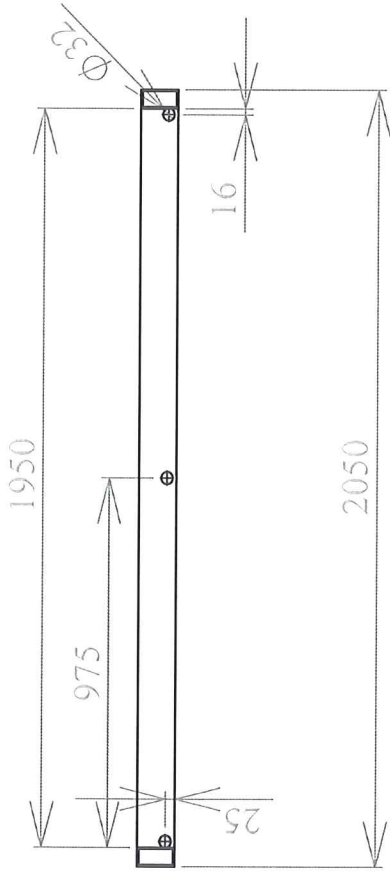
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER	
DIMENSIONS ARE IN mm		DRAWN		TITLE:	
TOLERANCES: $\pm 2$ mm		CHECKED		SIZE DWG. NO. A A02	
		ENG APPR.		SCALE: 1:10 WEIGHT: SHEET 1 OF 1	
		MFG APPR.		REV	
		Q.A.			
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:		ERTEC			
MATERIAL					
FINISH					
NEXT ASSY		USED ON			
APPLICATION					



PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
 DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
 Ertec and UIA.

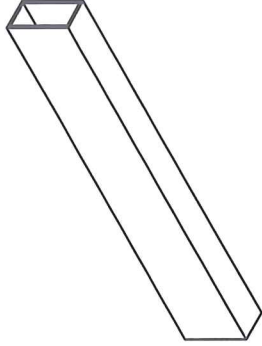
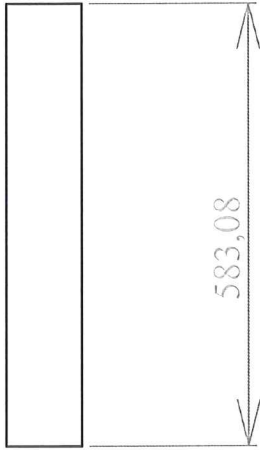
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER
DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm		DRAWN		
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:		CHECKED		TITLE:
MATERIAL		ENG APPR.		SIZE DWG. NO. A A03
FINISH		MFG APPR.		SCALE: 1:5 WEIGHT: SHEET 1 OF 1
USED ON		Q.A.		REV
NEXT ASSY		COMPANY		
APPLICATION				




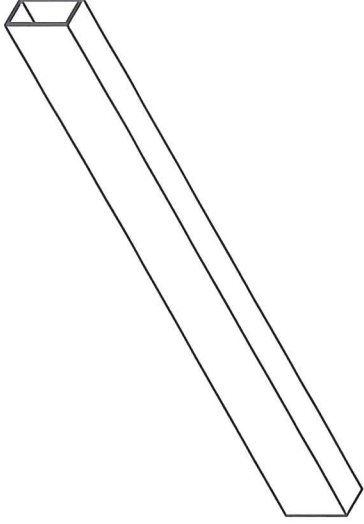
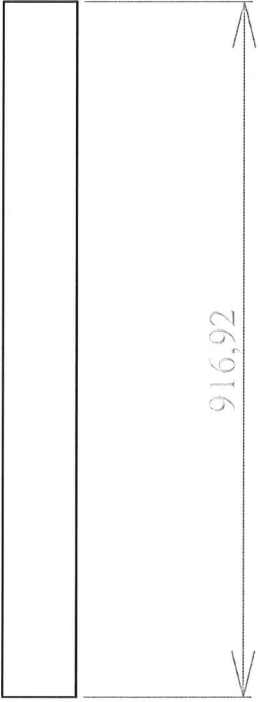


PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
 DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
 Ertec and Uia.

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER
DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: $\pm 2\text{mm}$		DRAWN		
		CHECKED		
		ENG. APPR.		
		MFG. APPR.		
		Q.A.		
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER: MATERIAL		ERTEC		SIZE DWG. NO. L01
FINISH				REV
NEXT ASSY	USED ON			SCALE: 1:20 WEIGHT: SHEET 1 OF 1
APPLICATION				

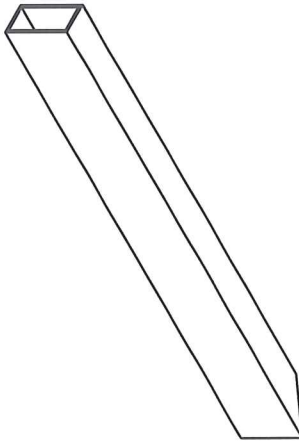
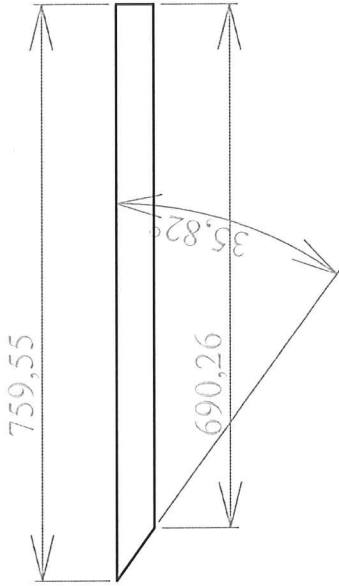
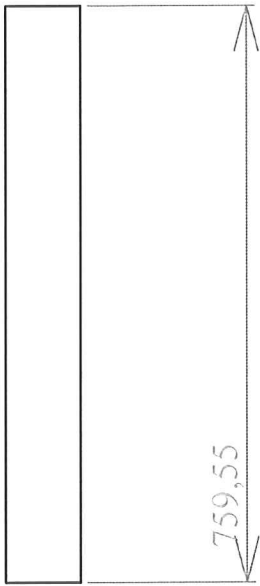


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm		DRAWN	NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER
		CHECKED			
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER: MATERIAL		ENG. APPR.			TITLE:
		MFG. APPR.			
FINISH		Q.A.			SIZE DWG. NO. REV
		COMPANY			
NEXT ASSY					A L02
USED ON					
APPLICATION					SCALE: 1:10 WEIGHT: SHEET 1 OF 1
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF Ertec and Uia.					



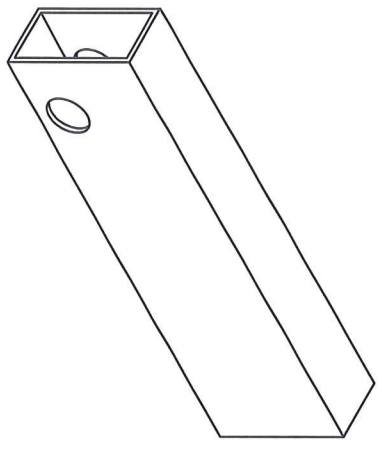
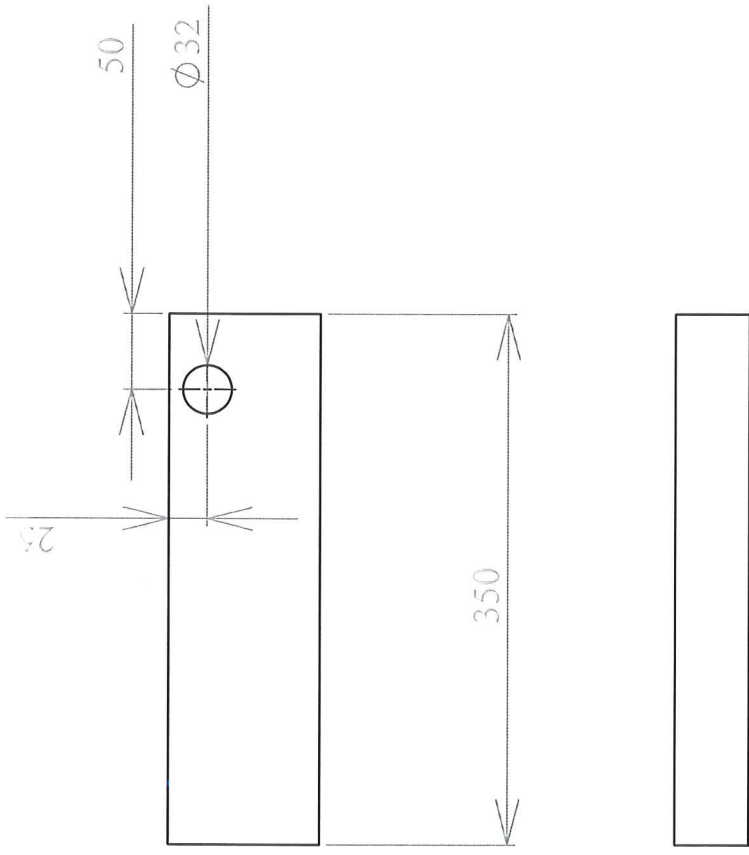
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
 DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
 Ertec and U/A.

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER
DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm		DRAWN		
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:		CHECKED		TITLE:
MATERIAL		ENG APPR.		SIZE DWG. NO. <b>A L03</b>
FINISH		MFG APPR.		SCALE: 1:10 WEIGHT: SHEET 1 OF 1
NEXT ASSY		Q.A.		REV
USED ON		COMPANY		
APPLICATION		<b>ERTEC</b>		

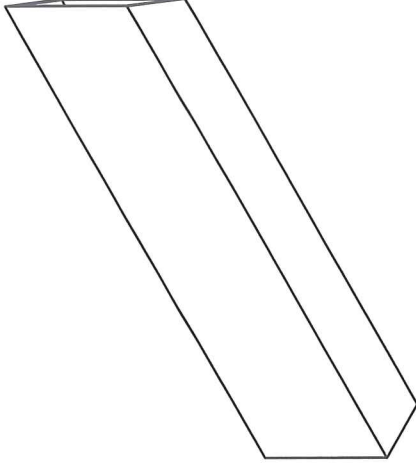
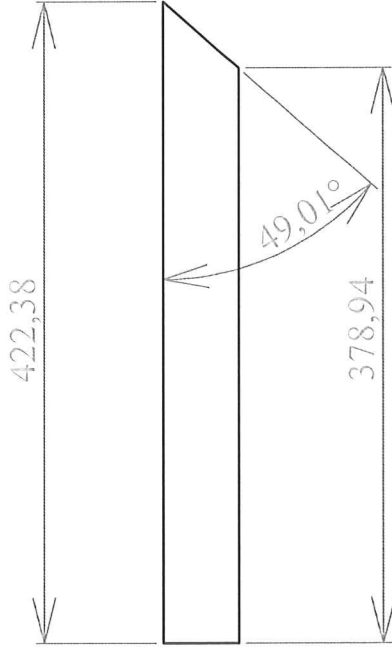
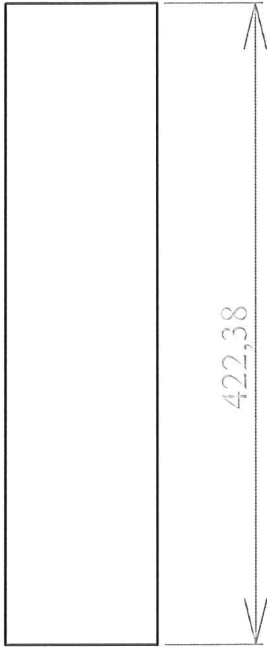


PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
 DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
 Erec and UIA.

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER
DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm		DRAWN		
		CHECKED		
		ENG APPR.		SIZE DWG. NO. REV
		MFG APPR.		
		Q.A.		SCALE: 1:10 WEIGHT: SHEET 1 OF 1
		COMPANY		
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:				
MATERIAL				
FINISH				
NEXT ASSY	USED ON			
APPLICATION				

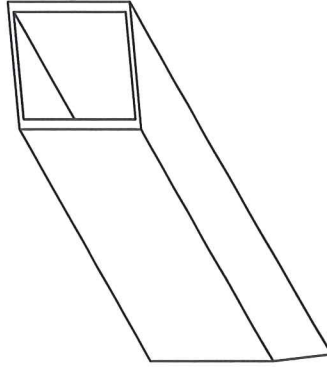
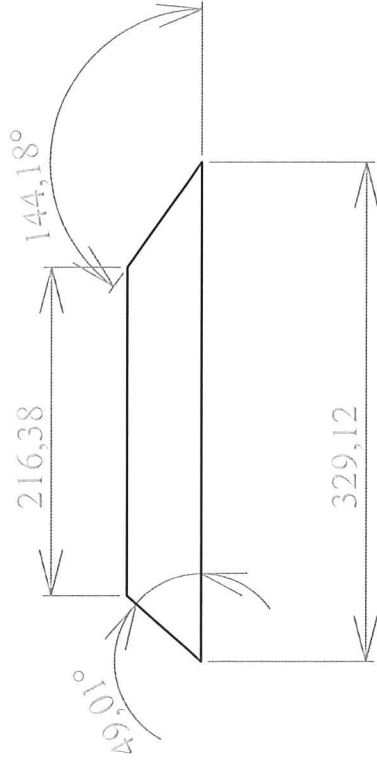
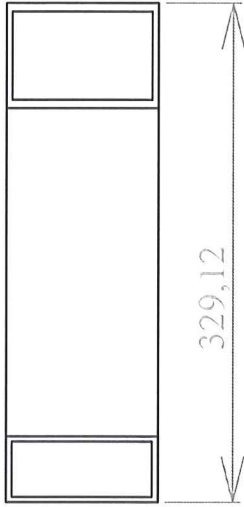




UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER
DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm		DRAWN		
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER: MATERIAL		CHECKED		TITLE:
FINISH		ENG APPR.		SIZE DWG. NO.
NEXT ASSY		MFG APPR.		A L05
USED ON		Q.A.		REV
APPLICATION		COMPANY		SCALE: 1:5 WEIGHT:
		<b>ERTEC</b>		SHEET 1 OF 1
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF Ertec and Uia.				1

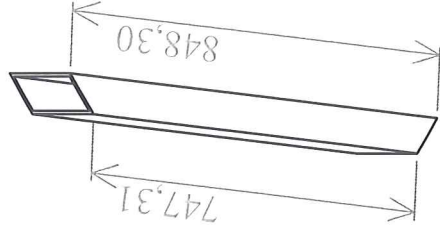
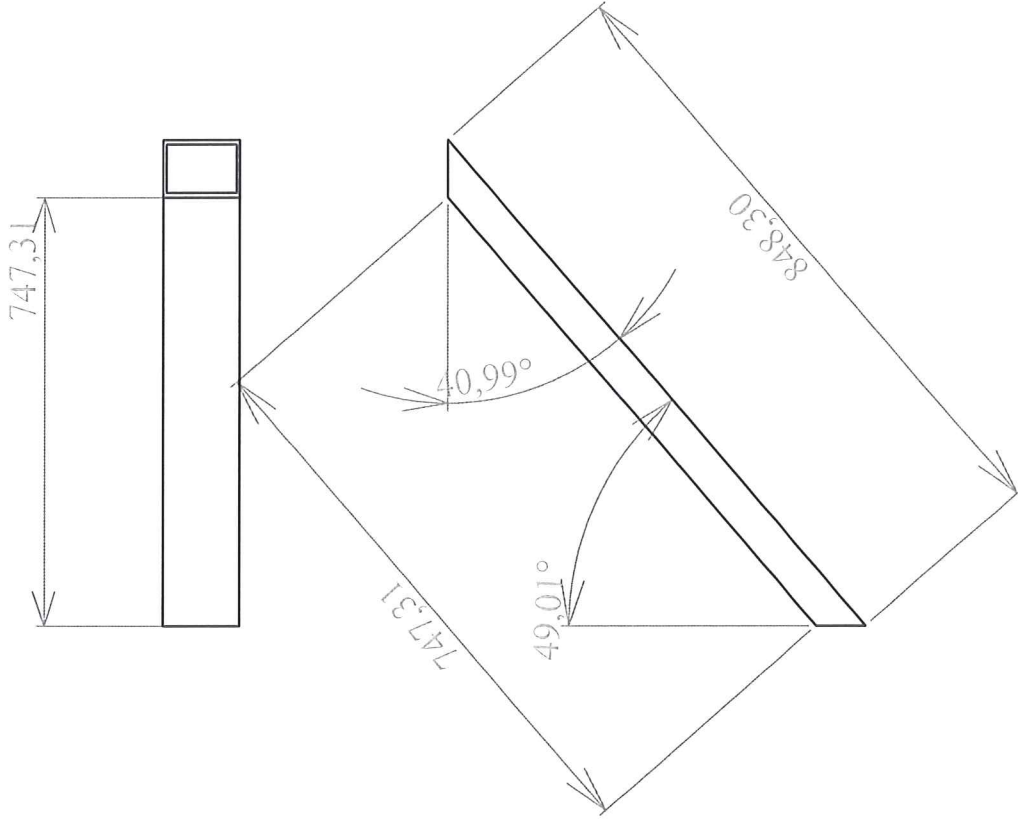


PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
 DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
 Ertec and UIA.

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER
DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm		DRAWN		
		CHECKED		
		ENG APPR.		SIZE DWG. NO. REV
		MFG APPR.		
		Q.A.		SCALE: 1:5 WEIGHT: SHEET 1 OF 1
		COMPANY		
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:		ERTEC		
MATERIAL				
FINISH				
NEXT ASSY		USED ON		
APPLICATION				



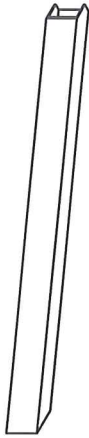
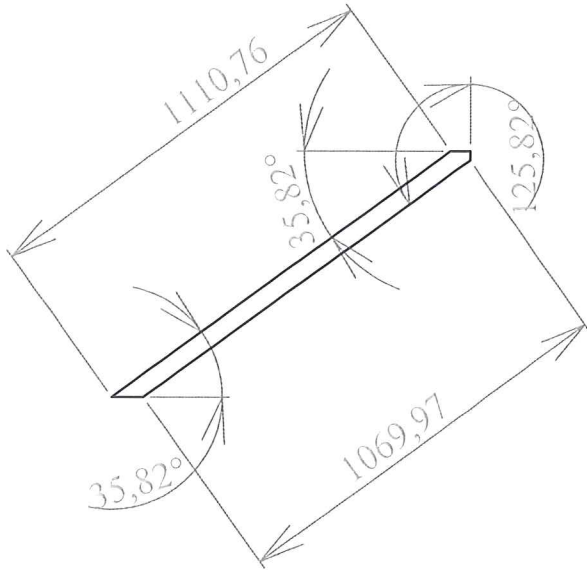
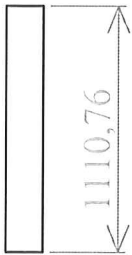
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm		NAME	DATE	 <b>UNIVERSITETET I AGDER</b>
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER: MATERIAL		DRAWN		
FINISH		CHECKED		TITLE:
NEXT ASSY		ENG APPR.		SIZE DWG. NO. <b>A L07</b>
USED ON		MFG APPR.		REV
APPLICATION		Q.A.		SCALE: 1:5 WEIGHT: SHEET 1 OF 1
		COMPANY		
				
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF Ertec and Uia.				



PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
 DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
 Ertec and Uia.

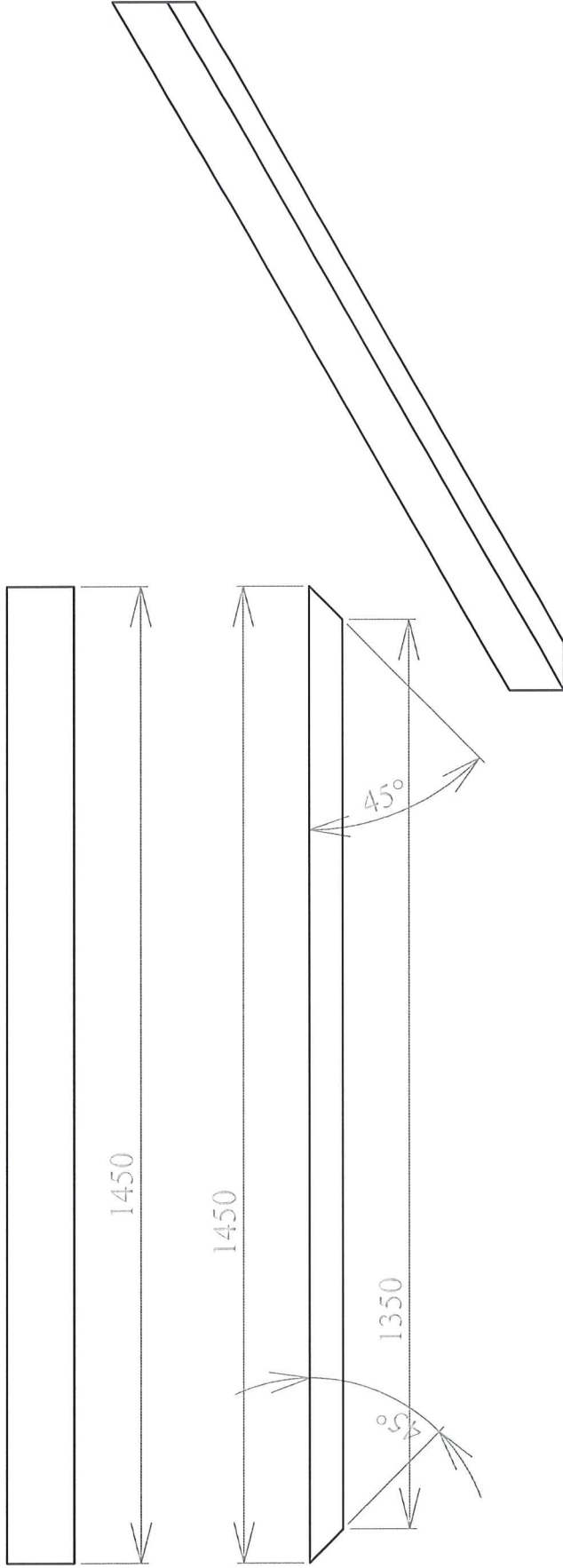
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm		NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER: MATERIAL		DRAWN		
FINISH		CHECKED		TITLE:
NEXT ASSY		ENG APPR.		SIZE DWG. NO. L11
USED ON		MFG APPR.		REV
APPLICATION		Q.A.		SCALE: 1:10 WEIGHT:
		COMPANY		SHEET 1 OF 1
		<b>ERTEC</b>		





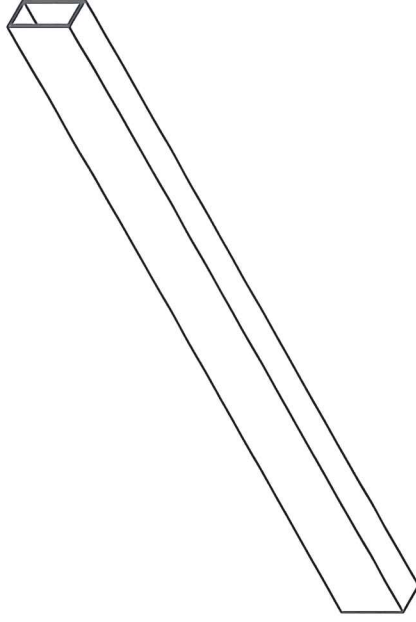
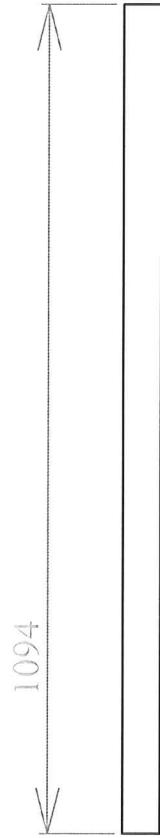
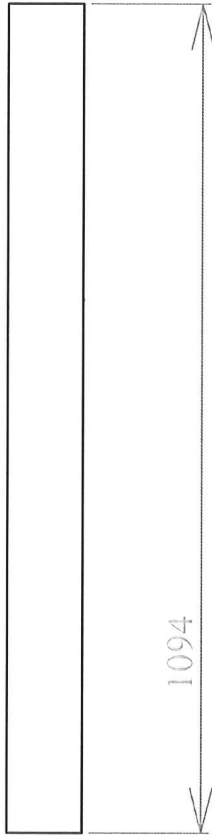
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm		DRAWN	NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER: MATERIAL		ENG APPR.	SIZE DWG. NO.		REV
FINISH		MFG APPR.	A L12		
NEXT ASSY		Q.A.	SCALE: 1:20		WEIGHT:
USED ON		COMPANY	ERTEC		SHEET 1 OF 1
APPLICATION					1

PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
Ertec and Uia.



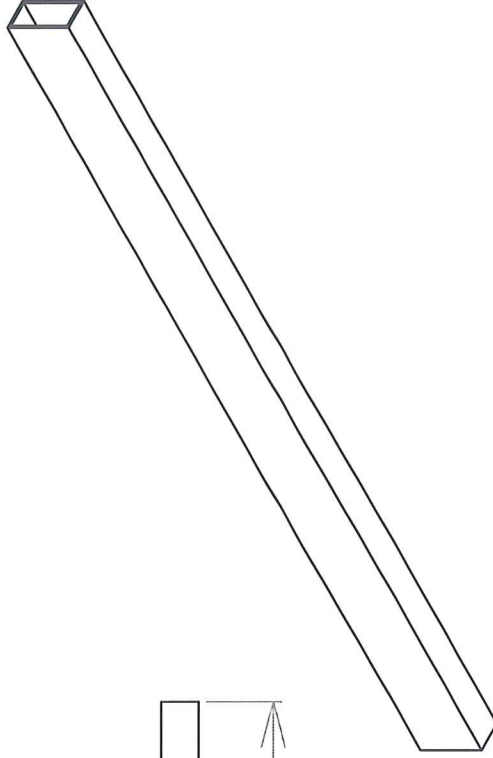
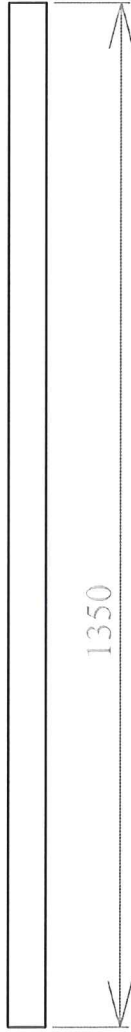
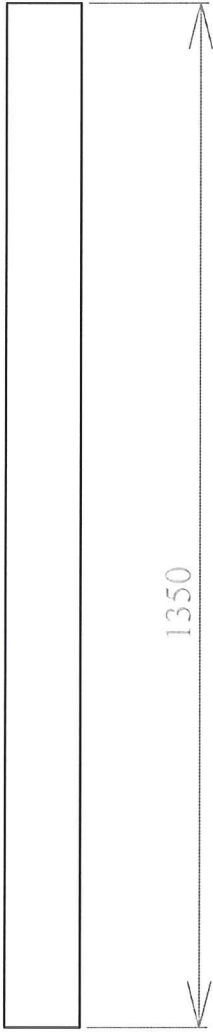
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
 DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
 Ertec and UJA.

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER
DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm		DRAWN		
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:		CHECKED		TITLE:
MATERIAL		ENG APPR.		SIZE DWG. NO. REV
FINISH		MFG APPR.		A L21
USED ON		Q.A.		SCALE: 1:10 WEIGHT: SHEET 1 OF 1
APPLICATION		COMPANY		
		<b>ERTEC</b>		



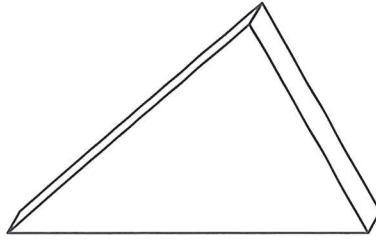
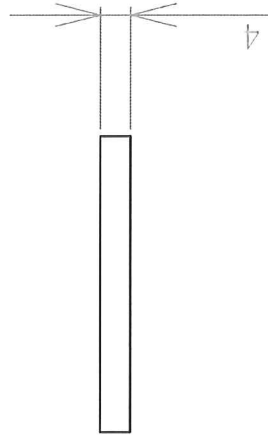
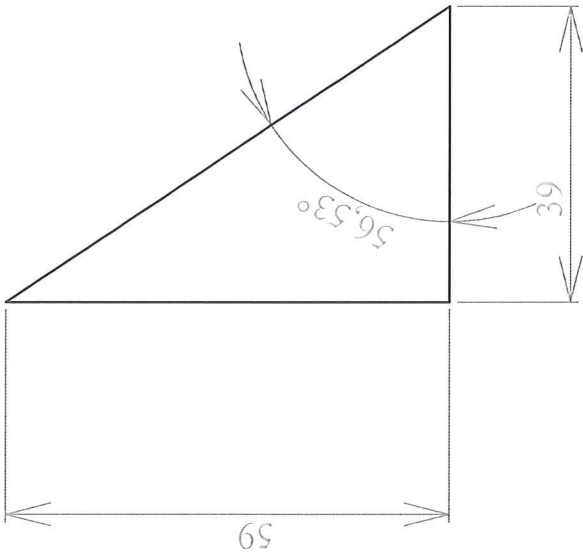
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
 DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
 Ertec and U/A.

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER
DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm		DRAWN		
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:		CHECKED		TITLE:
MATERIAL		ENG APPR.		SIZE DWG. NO. REV
FINISH		MFG APPR.		A L22 REV
USED ON		Q.A.		SCALE: 1:10 WEIGHT: SHEET 1 OF 1
NEXT ASSY	APPLICATION	COMPANY		
		<b>ERTEC</b>		



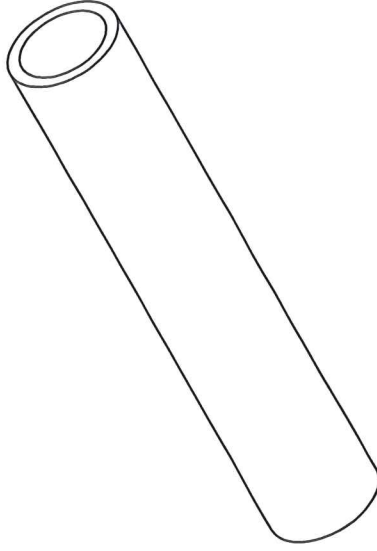
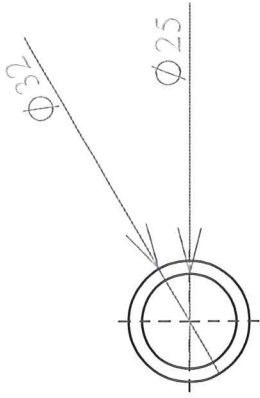
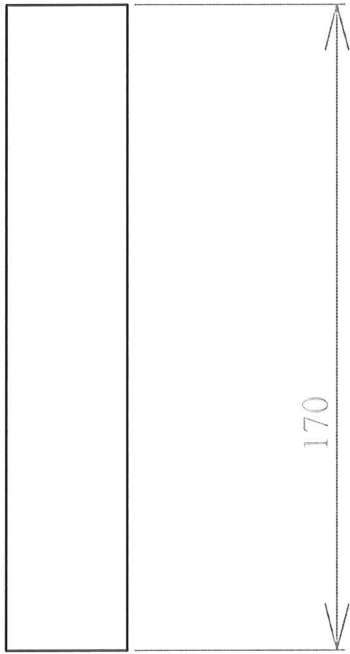
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
 DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
 Ertec and Uia.

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER
DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm		DRAWN		
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:		CHECKED		TITLE:
MATERIAL		ENG APPR.		SIZE DWG. NO. <b>A L23</b>
FINISH		MFG APPR.		REV
NEXT ASSY		Q.A.		SCALE: 1:10 WEIGHT: SHEET 1 OF 1
USED ON		COMPANY		
APPLICATION		<b>ERTEC</b>		

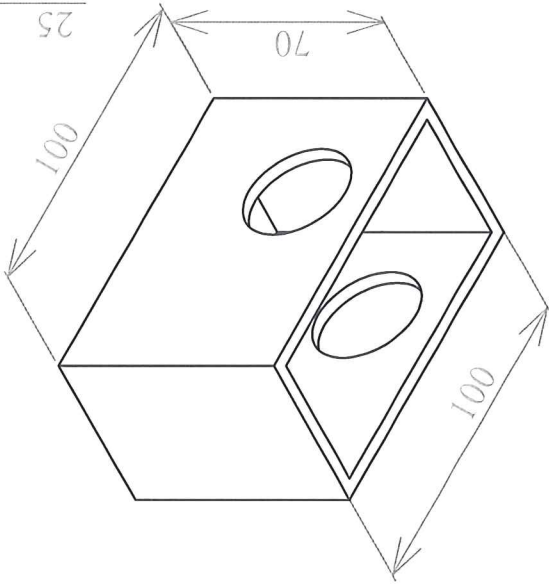
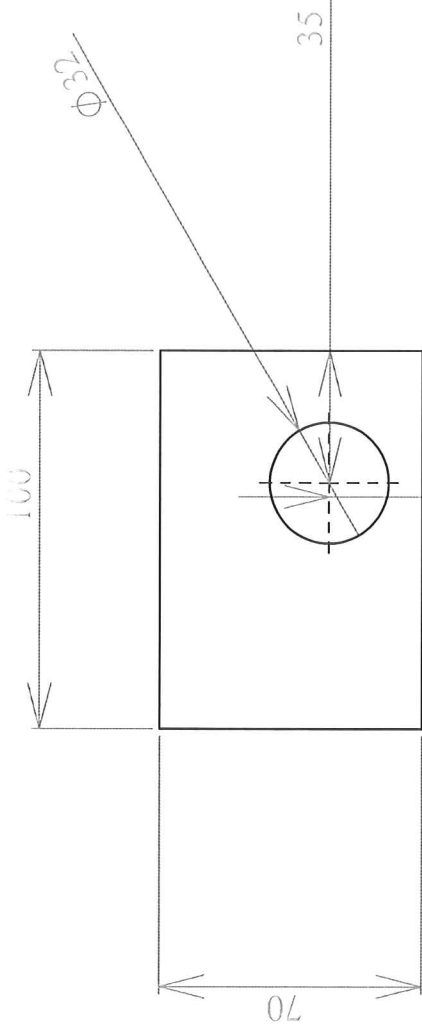


PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
 DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
 Ertec and UJA.

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER
DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm		DRAWN		
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:		CHECKED		SIZE DWG. NO. P1
MATERIAL		ENG APPR.		SCALE: 1:1
FINISH		MFG APPR.		WEIGHT:
NEXT ASSY		Q.A.		REV
USED ON		COMPANY		
APPLICATION		<b>ERTEC</b>		
				SHEET 1 OF 1

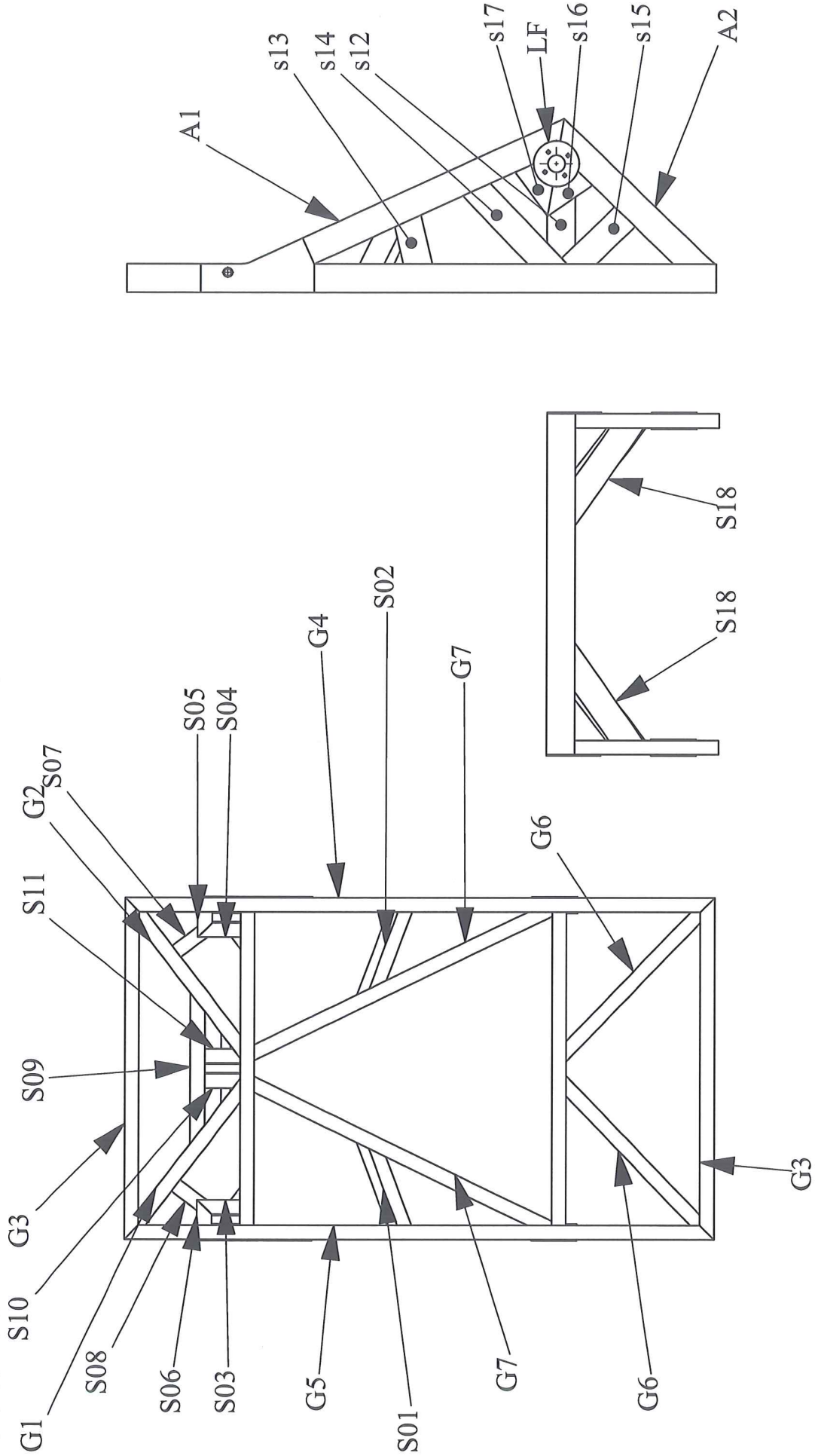


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: $\pm 2$ mm		DRAWN	NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER		
		CHECKED					
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER: MATERIAL		ENG APPR.			TITLE:		
		MFG APPR.					
NEXT ASSY		Q.A.			SIZE		
		COMPANY			DWG. NO.		
APPLICATION		FINISH					A
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF Ertec and Uia.		USED ON			SCALE: 1:2	WEIGHT:	SHEET 1 OF 1
							1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER
DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: $\pm 2\text{mm}$		DRAWN		
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:		CHECKED		TITLE:
MATERIAL		ENG APPR.		
FINISH		MFG APPR.		
USED ON		Q.A.		
APPLICATION		COMPANY		
NEXT ASSY		SIZE DWG. NO. <b>A S01</b> REV		
		SCALE: 1:2 WEIGHT: SHEET 1 OF 1		

PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
Ertec and Uia.



UNIVERSITETET I AGDER		NAME	DATE
DRAWN			
CHECKED			
ENG. APPR.			
MFG APPR.			
Q.A.			
COMPANY			
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:			
DIMENSIONS ARE IN mm			
TOLERANCES: ± 2mm			
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:			
MATERIAL			
FINISH			
NEXT ASSY	USED ON		
APPLICATION			

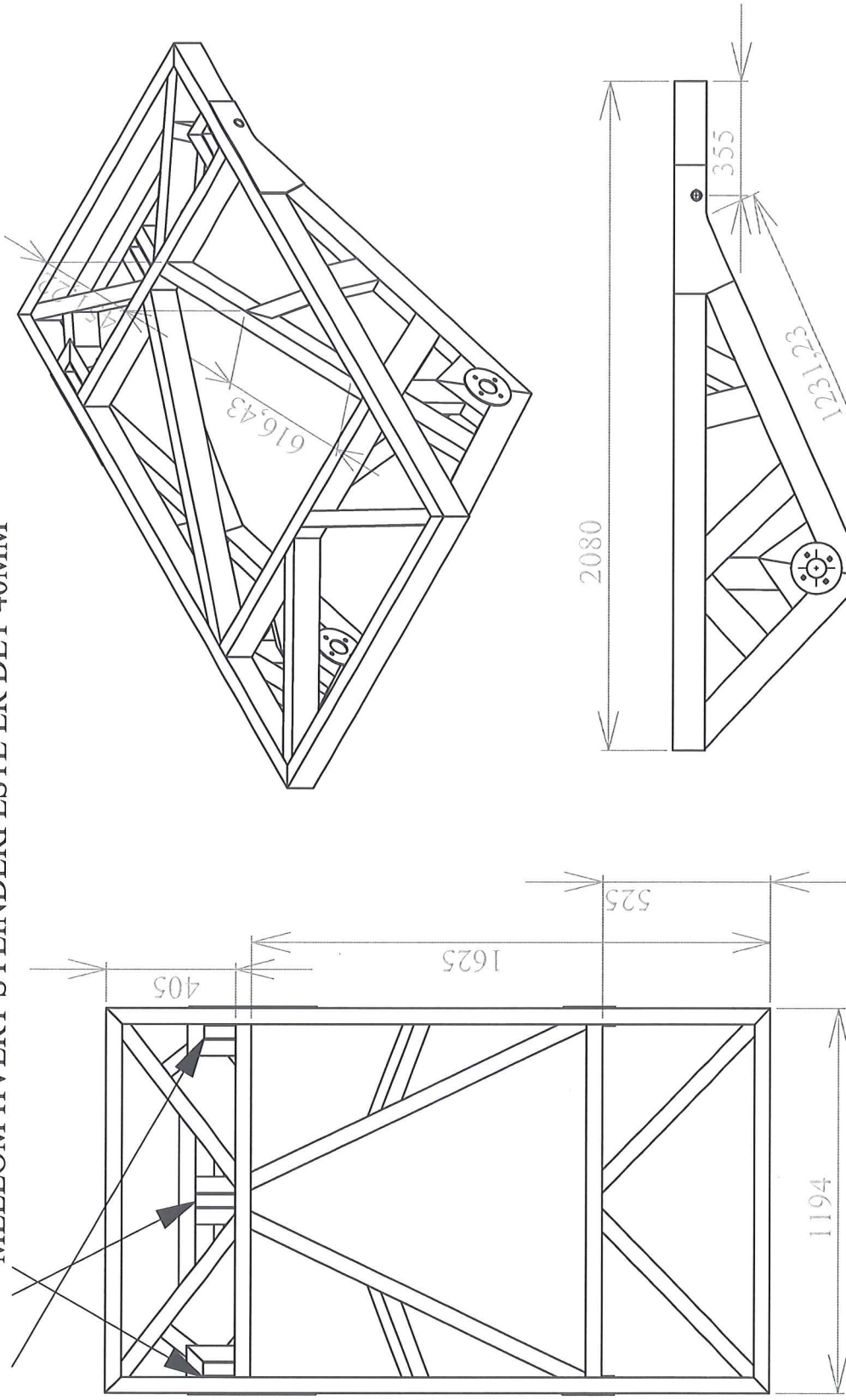
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
 DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
 Ericc and Uia.

**Slaggrame**  
 Slaggrame navn på deler

SIZE DWG. NO. REV  
 SCALE: 1:50 WEIGHT: SHEET 1 OF 1



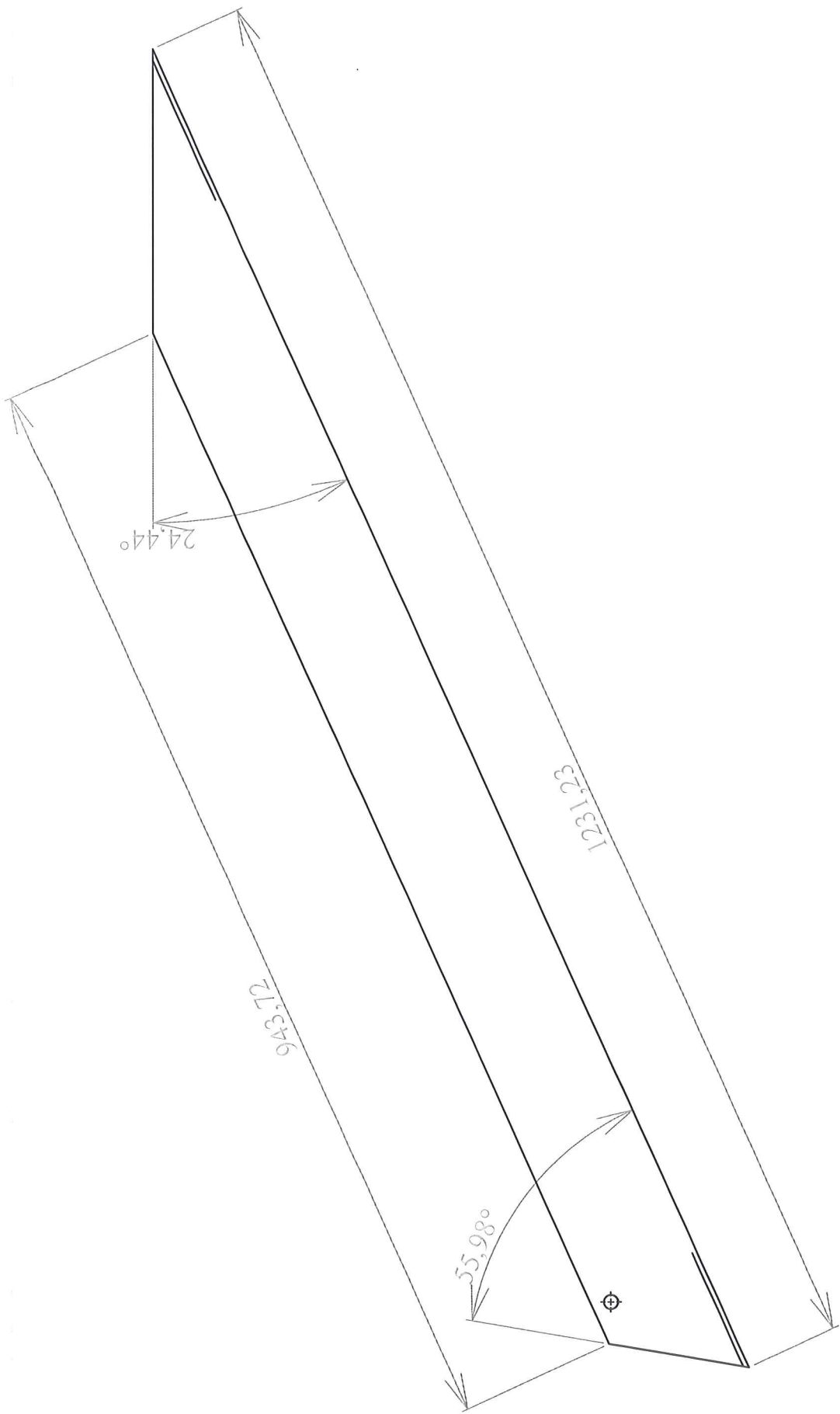
MELLOM HVERT SYLINDERFESTE ER DET 40MM



HENVISER TIL MODELL  
MED TANKE PÅ PLATER  
DA DISSE LAGES SLIK  
DET MÅTTE PASSE INN

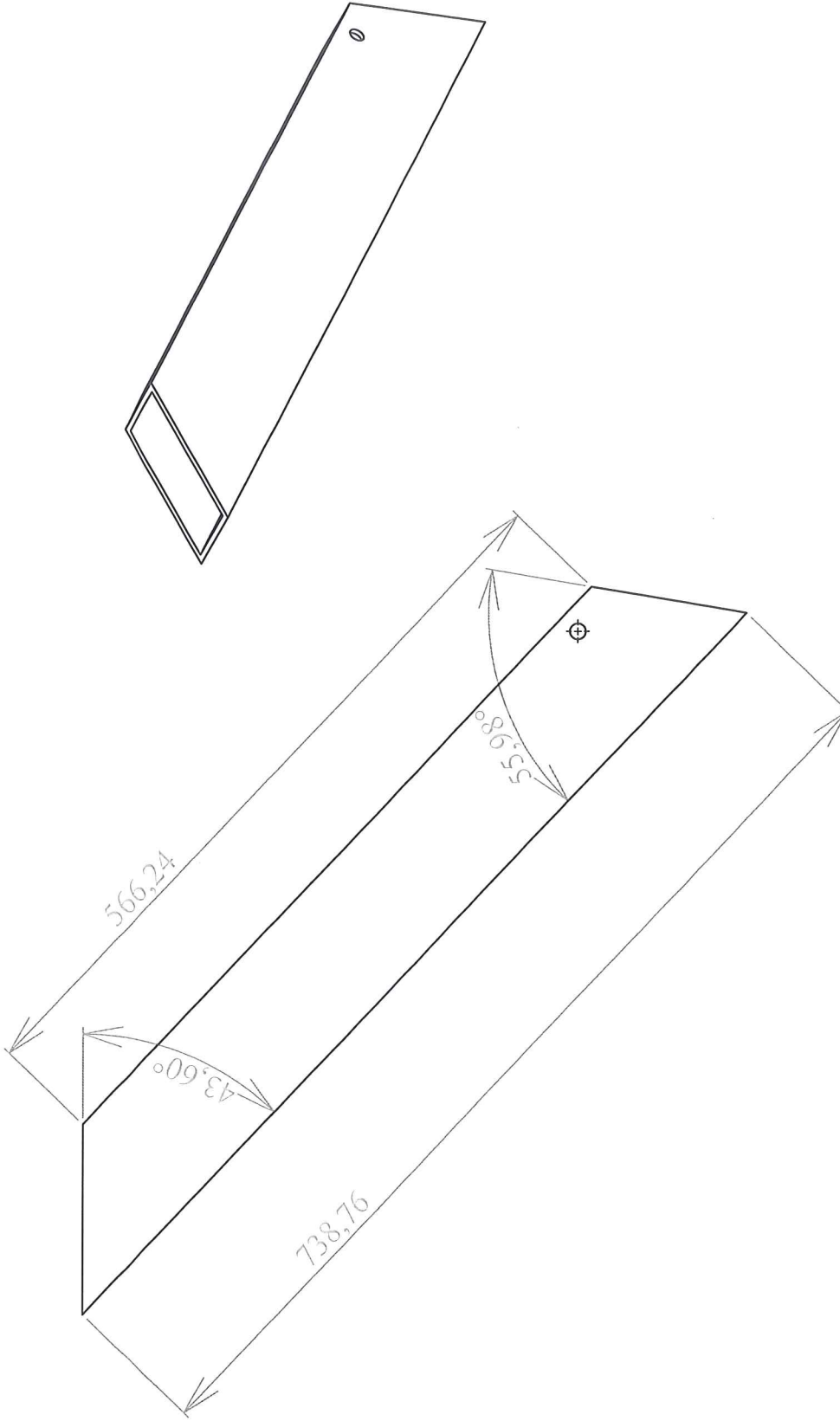
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
Ertec and Uia.

UNIVERSITETET I AGDER		NAME	DATE
DRAWN			
CHECKED			
ENG APPR.			
MFG APPR.			
Q.A.			
COMPANY			
ERTEC			
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm			
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER: MATERIAL			
FINISH			
NEXT ASSY	USED ON		
APPLICATION			
SIZE	DWG. NO.	REV	
	<b>A Slagramme</b>		
SCALE:	1:50	WEIGHT:	SHEET 1 OF 1



UNIVERSITETET I AGDER		NAME	DATE
TITLE:		DRAWN	
		CHECKED	
		ENG APPR.	
		MFG APPR.	
		Q.A.	
		COMPANY	
ERTEC			
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:			
DIMENSIONS ARE IN mm			
TOLERANCES: ± 2mm			
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:			
MATERIAL			
FINISH			
NEXT ASSY	USED ON		
APPLICATION			
5	4	3	2
SCALE: 1:20		WEIGHT:	
SIZE	DWG. NO.	REV	
A	A1		
SHEET 1 OF 1		1	

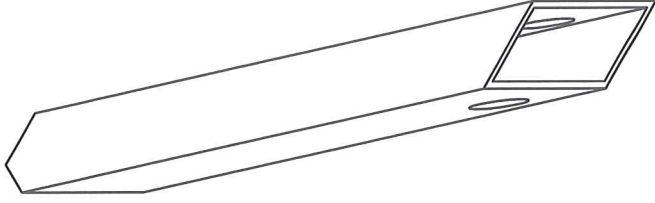
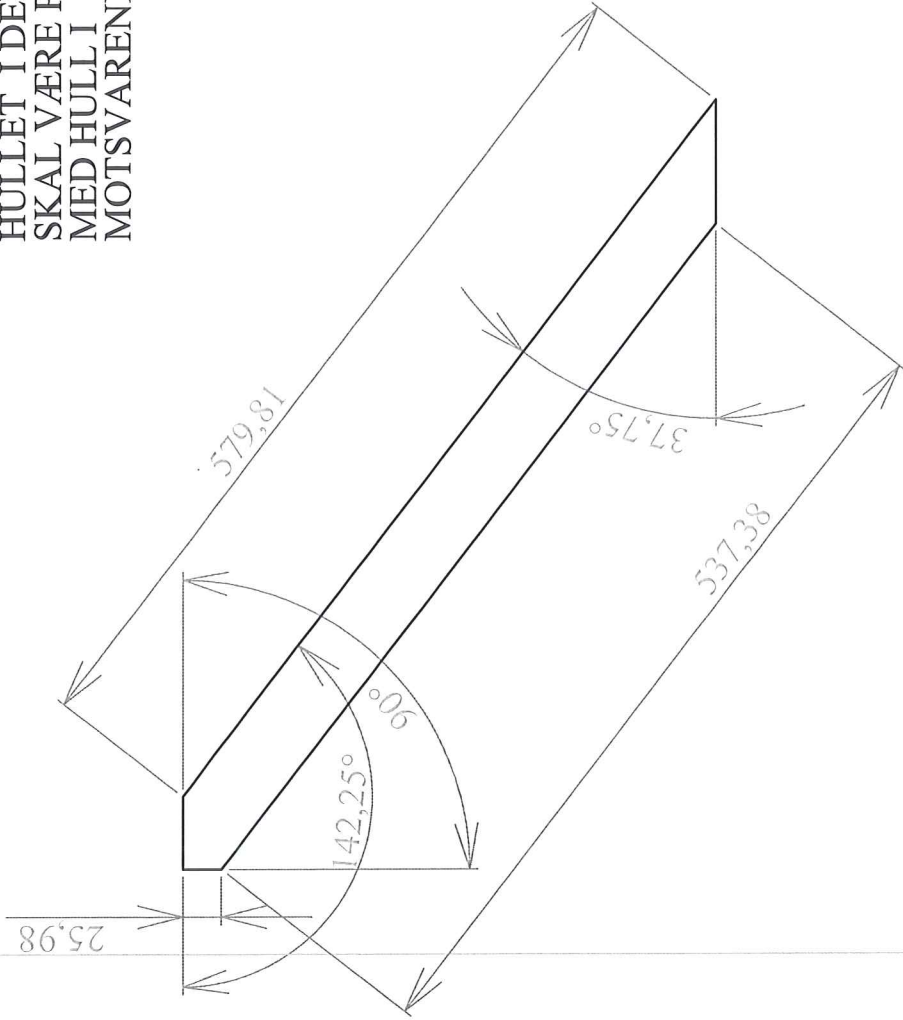
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
 DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
 Ertec and UIA.



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER
DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm		DRAWN		
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:		CHECKED		TITLE:
MATERIAL		ENG APPR.		
FINISH		MFG APPR.		
USED ON		Q.A.		
APPLICATION		COMPANY		SIZE DWG. NO. A A2
NEXT ASSY		ERTEC		REV
				SCALE: 1:10 WEIGHT: SHEET 1 OF 1

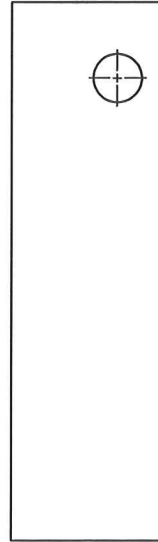
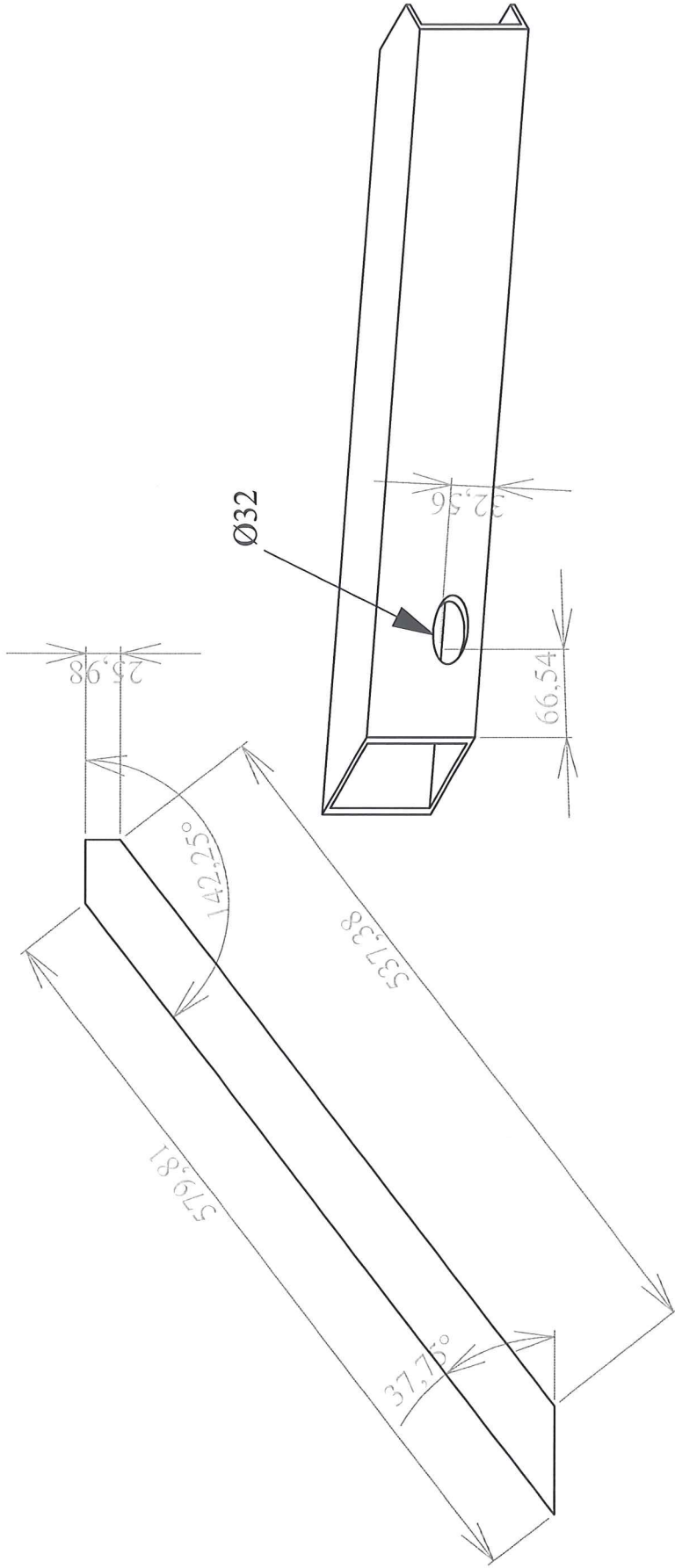
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
Ertec and UJA.

HULLET I DENNE  
SKAL VÆRE PÅ LINJE  
MED HULL I  
MOTSVARENDE DEL. (G2)



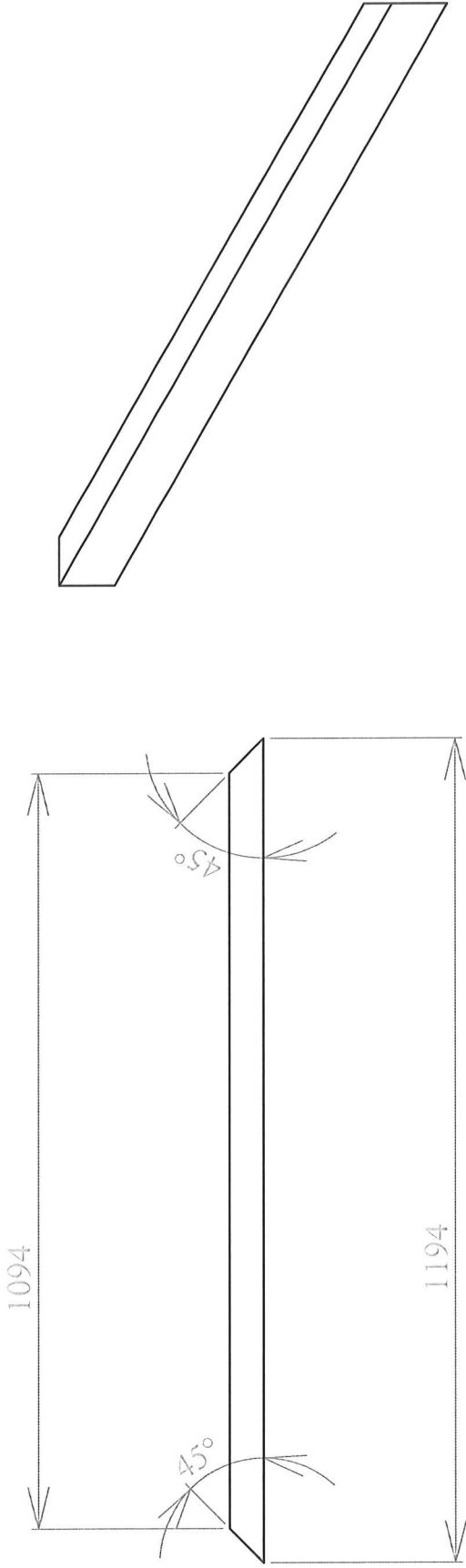
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER
DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm		DRAWN		
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:		CHECKED		TITLE:
MATERIAL		ENG APPR.		SIZE DWG. NO. <b>A G1</b>
FINISH		MFG APPR.		SCALE: 1:10 WEIGHT: <b>REV</b>
NEXT ASSY		Q.A.		SIZE DWG. NO. <b>A G1</b>
USED ON		COMPANY		SCALE: 1:10 WEIGHT: <b>REV</b>
APPLICATION		<b>ERTEC</b>		SCALE: 1:10 WEIGHT: <b>REV</b>
APPLICATION				SCALE: 1:10 WEIGHT: <b>REV</b>
APPLICATION				SCALE: 1:10 WEIGHT: <b>REV</b>
APPLICATION				SCALE: 1:10 WEIGHT: <b>REV</b>
APPLICATION				SCALE: 1:10 WEIGHT: <b>REV</b>

PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
Ertec and UIA.



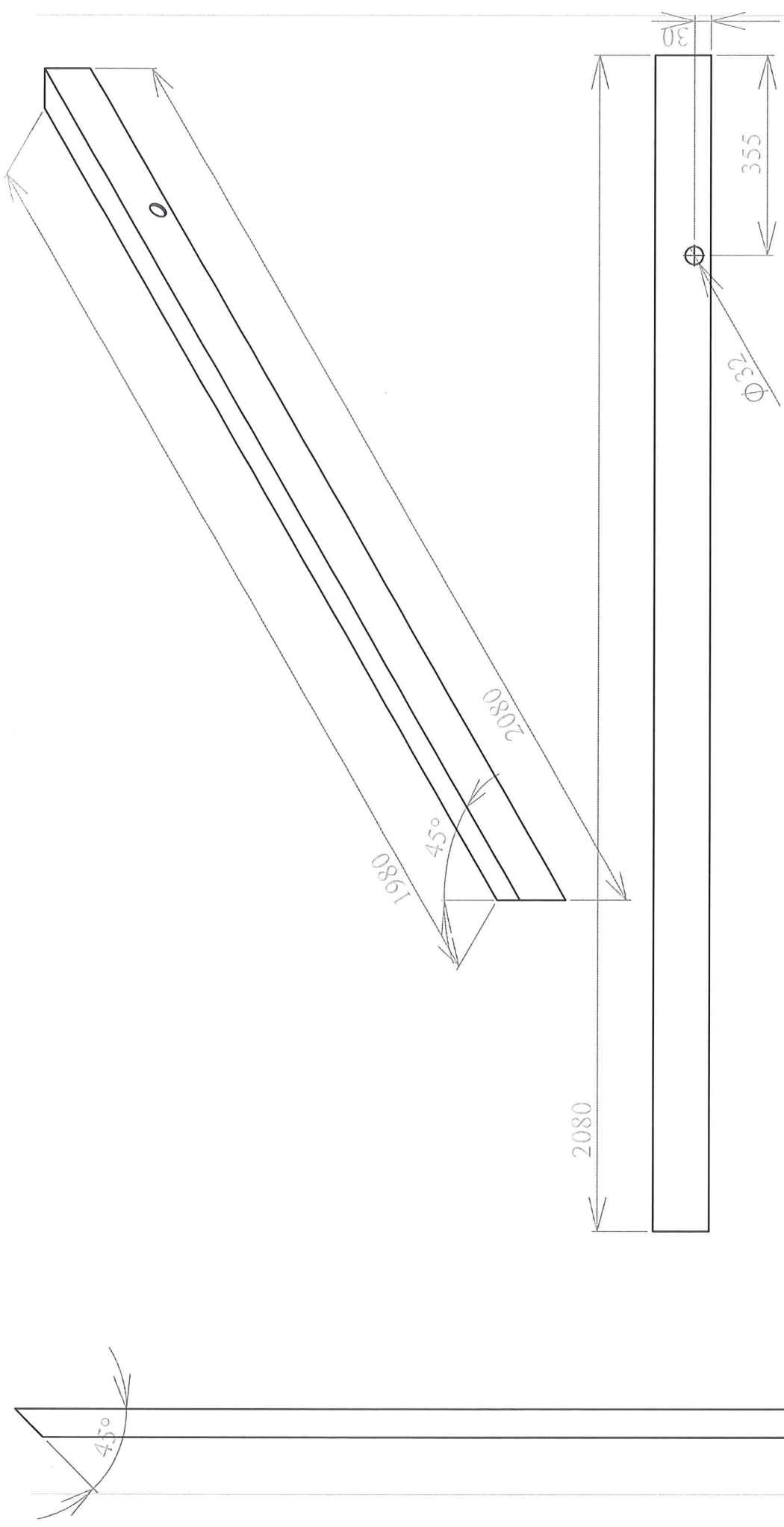
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER	
DIMENSIONS ARE IN mm		DRAWN		TITLE:	
TOLERANCES: ± 2mm		CHECKED			
		ENG APPR.			
		MFG APPR.			
		Q.A.			
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:		COMPANY		SIZE	DWG. NO.
MATERIAL		ERTEC		A	G2
FINISH					REV
NEXT ASSY	USED ON				
APPLICATION				SCALE: 1:10	WEIGHT:
				SHEET 1 OF 1	

PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
Ertec and UJA.



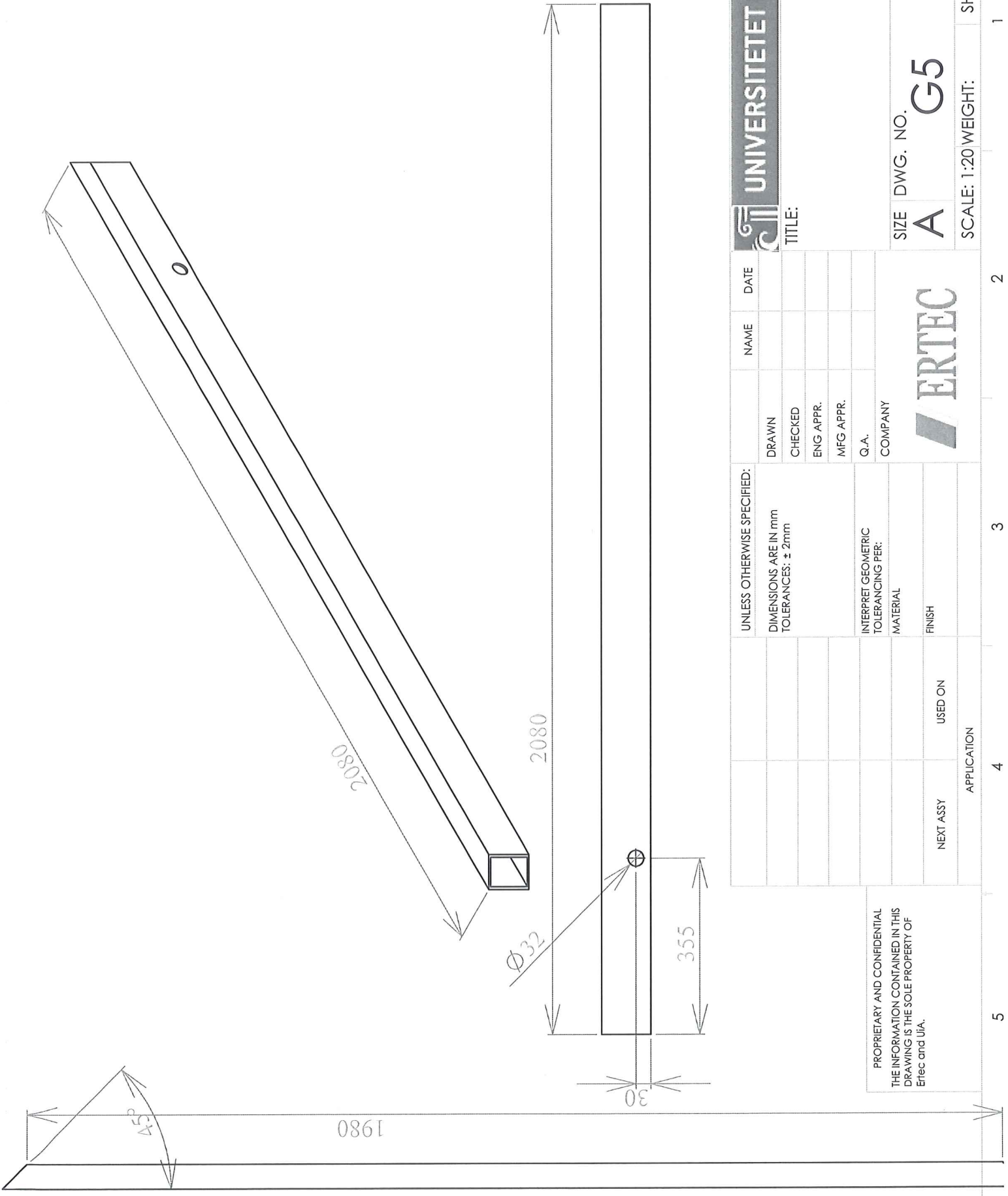
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
 DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
 Erec and UJA.

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER
DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm		DRAWN		
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:		CHECKED		TITLE:
MATERIAL		ENG APPR.		SIZE DWG. NO. <b>A G3</b>
FINISH		MFG APPR.		REV
NEXT ASSY		Q.A.		SCALE: 1:10 WEIGHT: SHEET 1 OF 1
USED ON		COMPANY		
APPLICATION		<b>ERTEC</b>		



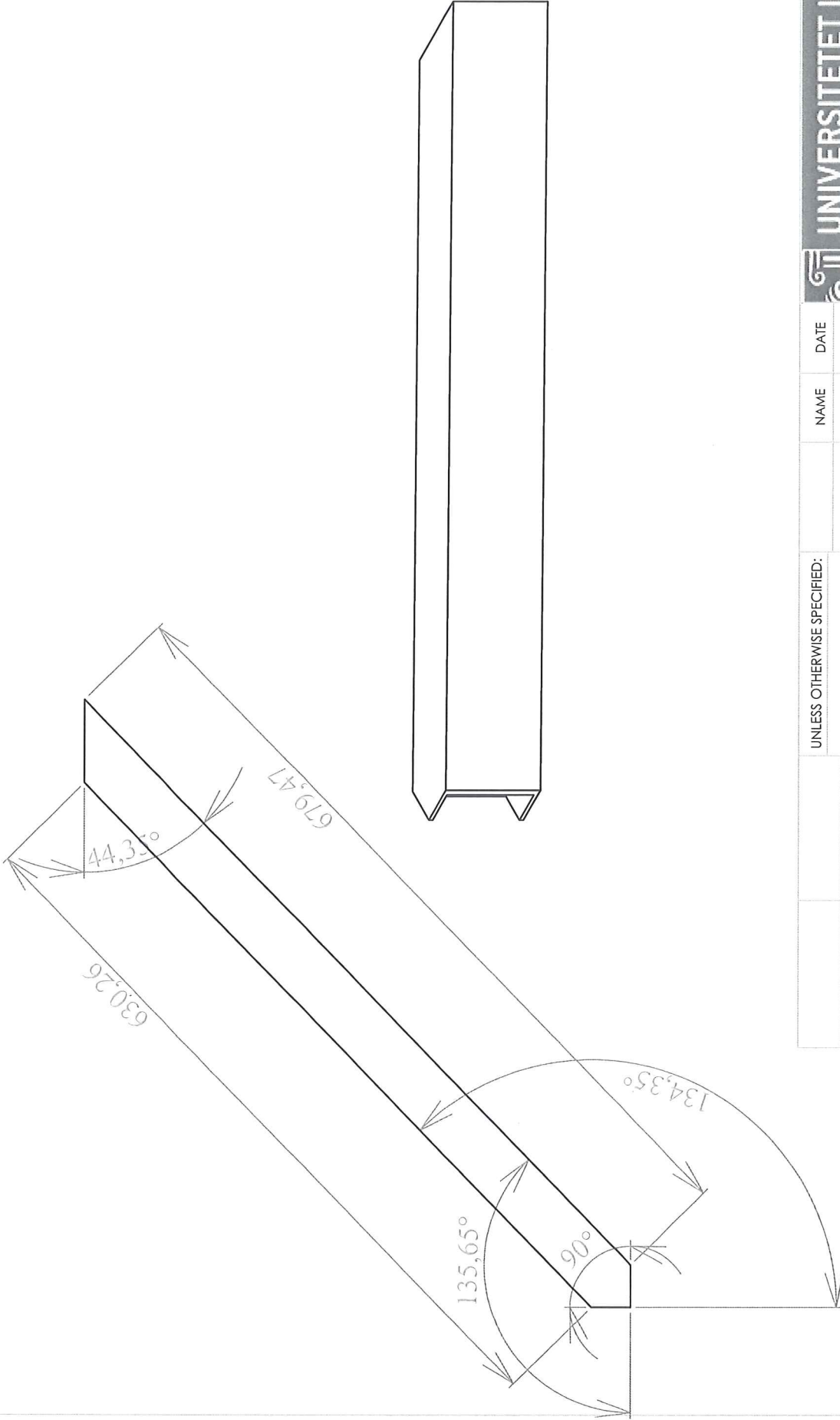
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
 DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
 Ertec and U/A.

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER
DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: $\pm 2\text{mm}$		DRAWN		
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:		CHECKED		SIZE DWG. NO. REV
MATERIAL		ENG APPR.		
FINISH		MFG APPR.		SCALE: 1:20 WEIGHT: SHEET 1 OF 1
USED ON		Q.A.		
APPLICATION		COMPANY		



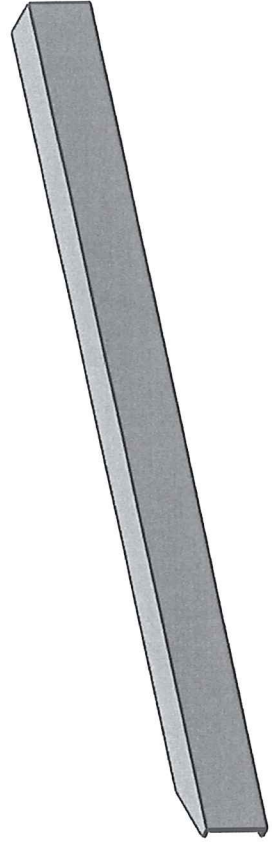
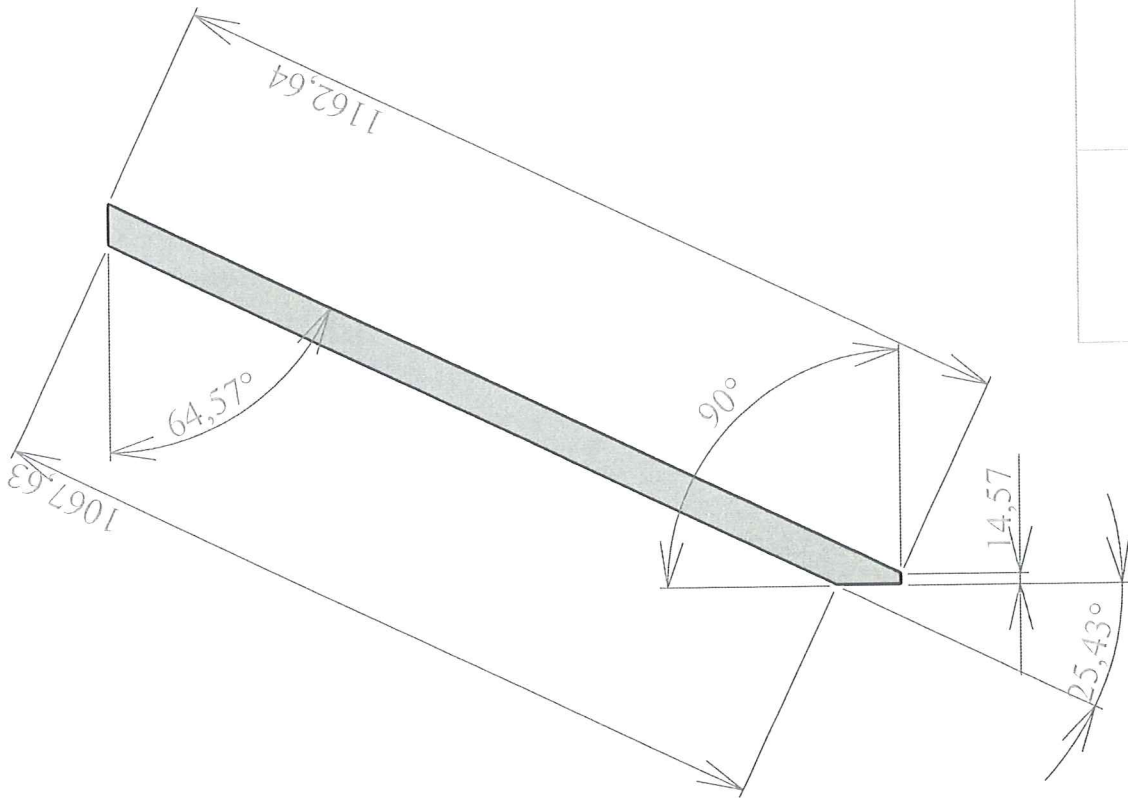
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm		DRAWN	NAME	DATE	
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:		CHECKED			
MATERIAL		ENG APPR.			
FINISH		MFG APPR.			
USED ON		Q.A.			
APPLICATION		COMPANY			SIZE DWG. NO. <b>A G5</b> SCALE: 1:20 WEIGHT: SHEET 1 OF 1
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF Ertec and UIA.		NEXT ASSY		REVISIONS REV	






UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER
DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm		DRAWN		
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:		CHECKED		TITLE:
MATERIAL		ENG APPR.		
FINISH		MFG APPR.		
NEXT ASSY		Q.A.		
USED ON		COMPANY		
APPLICATION				SIZE DWG. NO. <b>A G6</b>
				SCALE: 1:10 WEIGHT: SHEET 1 OF 1

PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
Ertec and Uia.



PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
 DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
 Ertec and U/A.

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE
DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm		DRAWN	
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:		CHECKED	
MATERIAL		ENG APPR.	
FINISH		MFG APPR.	
		Q.A.	
		COMPANY	
APPLICATION			
NEXT ASSY	USED ON		

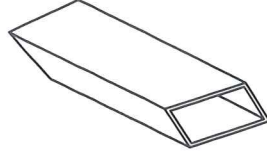
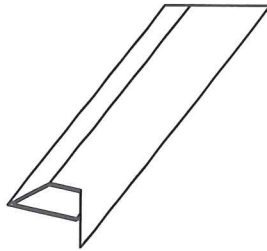
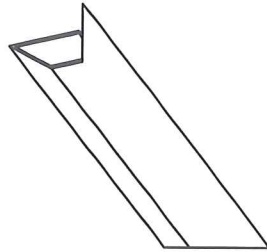
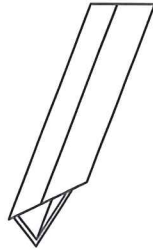
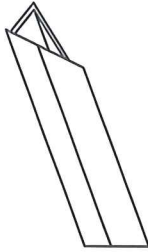
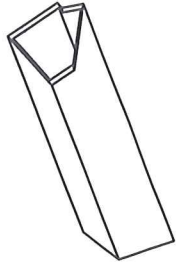
UNIVERSITETET I AGDER

TITLE:

SIZE DWG. NO. **A G7** REV

SCALE: 1:20 WEIGHT: SHEET 1 OF 1

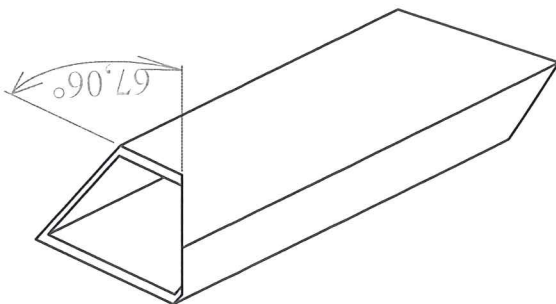
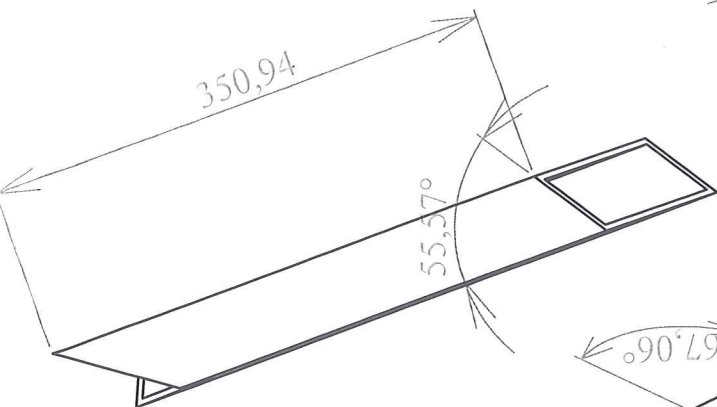
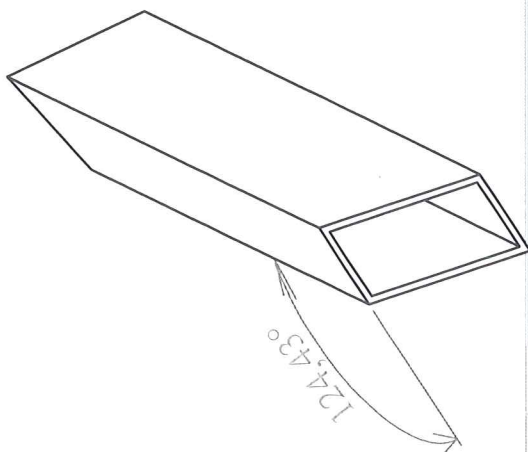
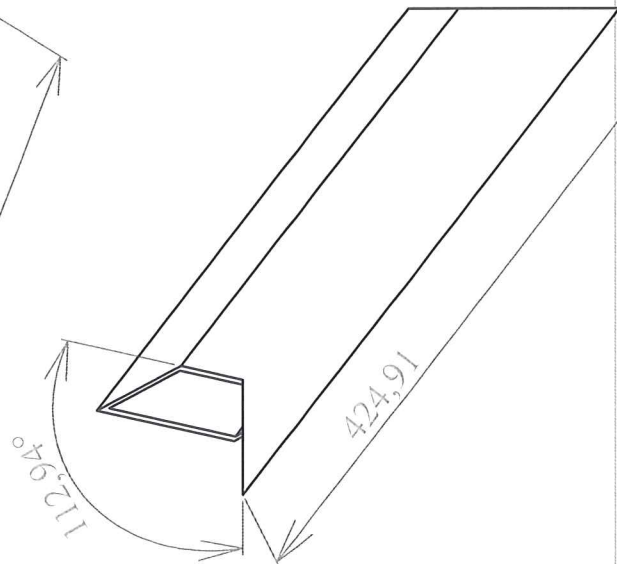
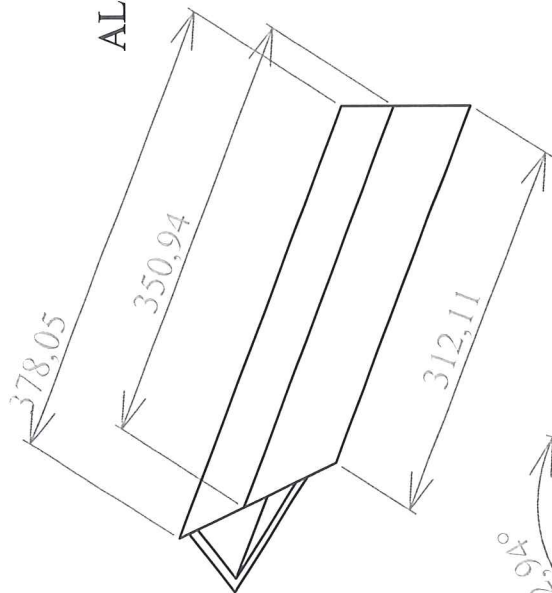
DA DENNE DELEN ER MEGET KOMPLEKS  
 VIL DET VÆRE HENSIKTSMESSIG Å BARE  
 MÅLENE SOM EN VEILEDNING.  
 SMÅ AVVIK KAN HA STORE KONSEKVENSER.  
 NESTE MODELL, S02, HAR NOEN VEILEDENE MÅL  
 DEN SKAL DET OGSÅ LAGES EN SPEIL VENDT BJELKE AV



PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
 DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
 Ertec and Uia.

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER	
DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm		DRAWN		TITLE:	
		CHECKED			
		ENG APPR.			
		MFG APPR.			
		Q.A.			
		COMPANY			
				SIZE	REV
				A	S01
				SCALE: 1:10 WEIGHT: SHEET 1 OF 1	
NEXT ASSY	USED ON				
APPLICATION					

ALLE MÅL ER KUN VEILENDENE



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE
DIMENSIONS ARE IN mm			
TOLERANCES: ± 2mm			
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:			
MATERIAL			
FINISH			
USED ON			
APPLICATION			
NEXT ASSY			

TITLE:

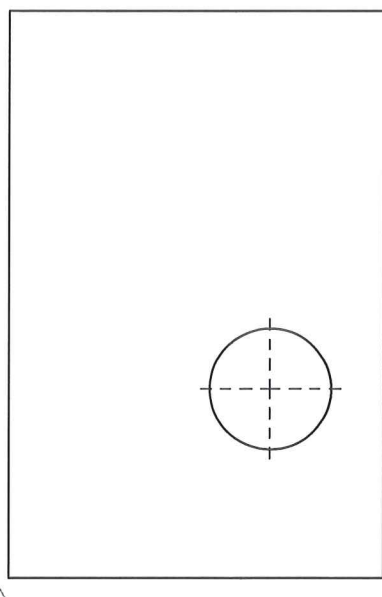
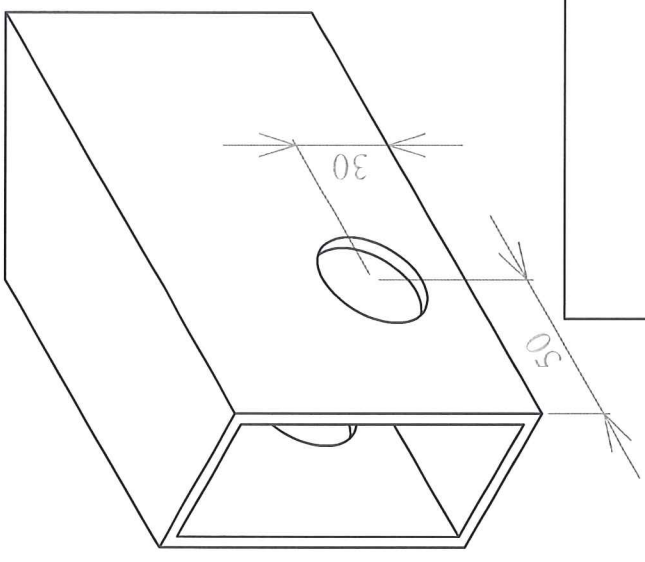
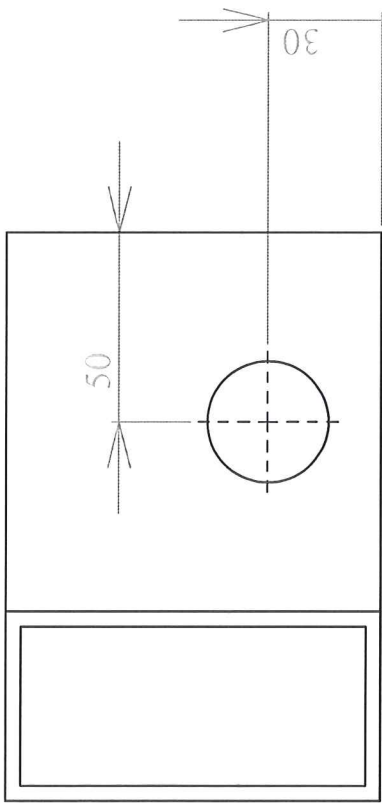
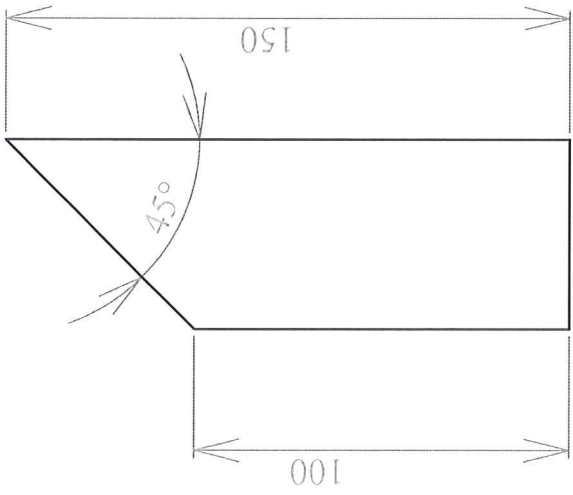


UNIVERSITETET I AGDER

PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
Ertec and UJA.

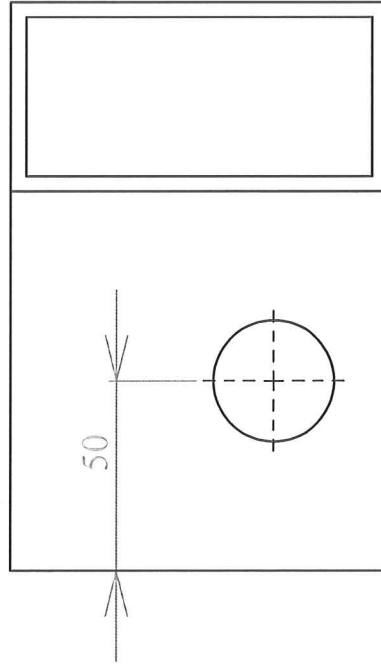
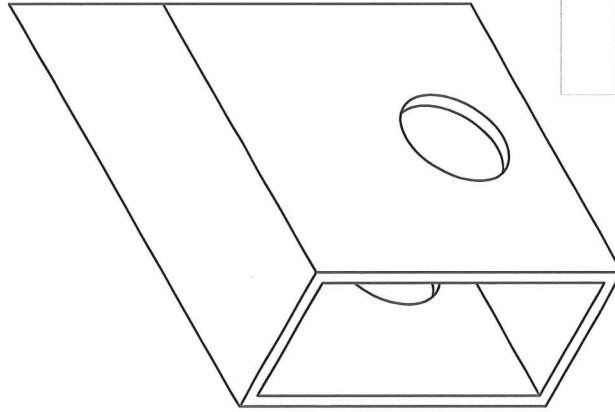
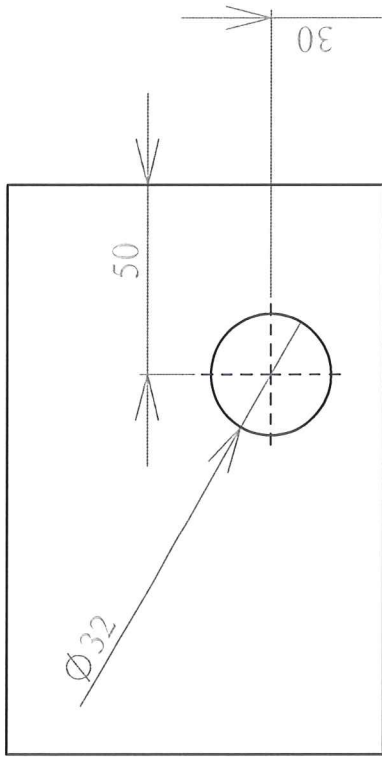
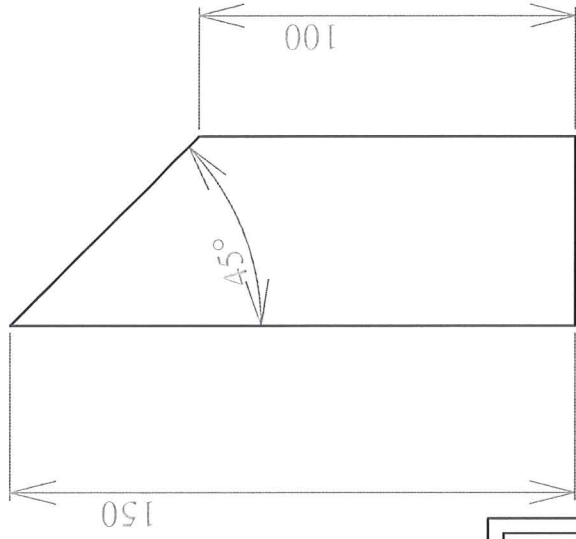


SIZE	DWG. NO.	REV
A	S02	
SCALE: 1:5	WEIGHT:	SHEET 1 OF 1



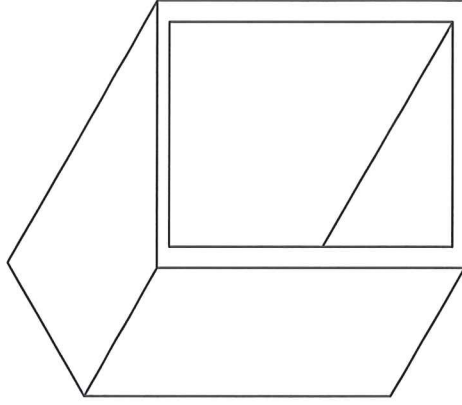
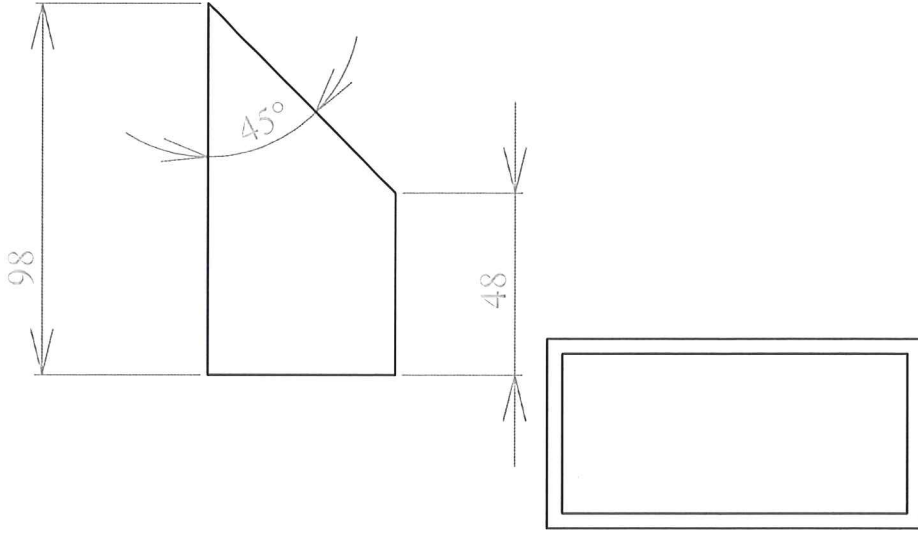
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER
DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm		DRAWN		
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:		CHECKED		TITLE:
MATERIAL		ENG APPR.		
FINISH		MFG APPR.		
NEXT ASSY		Q.A.		
USED ON		COMPANY		SIZE DWG. NO. REV
APPLICATION				A S03
				SCALE: 1:5 WEIGHT: SHEET 1 OF 1

PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
Ertec and UJA.



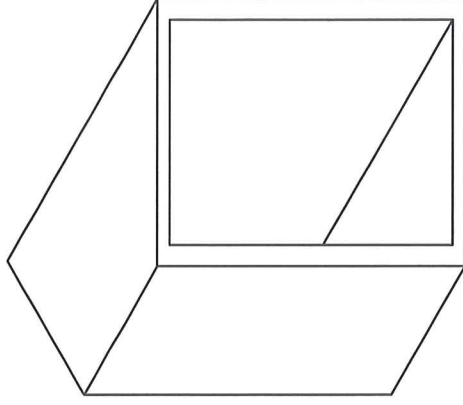
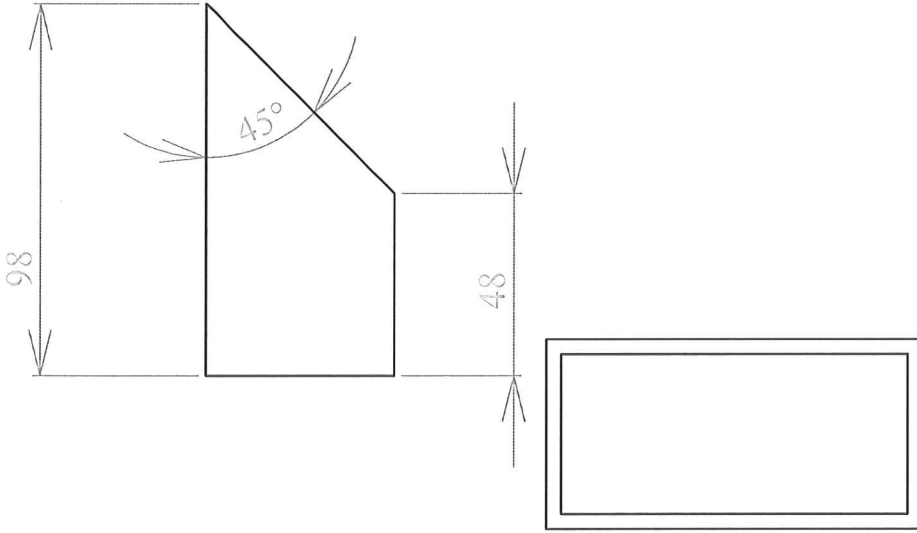
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER
DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm		DRAWN		
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:		CHECKED		TITLE:
MATERIAL		ENG APPR.		
FINISH		MFG APPR.		
USED ON		Q.A.		
NEXT ASSY		COMPANY		
APPLICATION				SIZE DWG. NO.
				A S04
				REV
				SCALE: 1:5 WEIGHT:
				SHEET 1 OF 1

PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
Ertec and UIA.



PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
 DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
 Ertec and U/A.

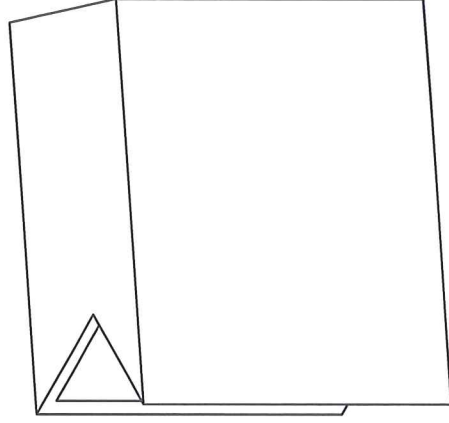
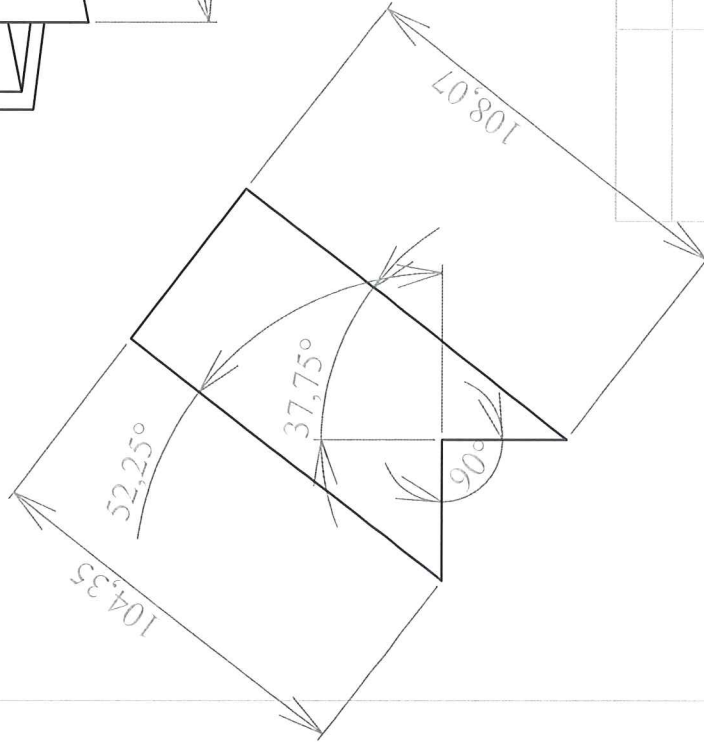
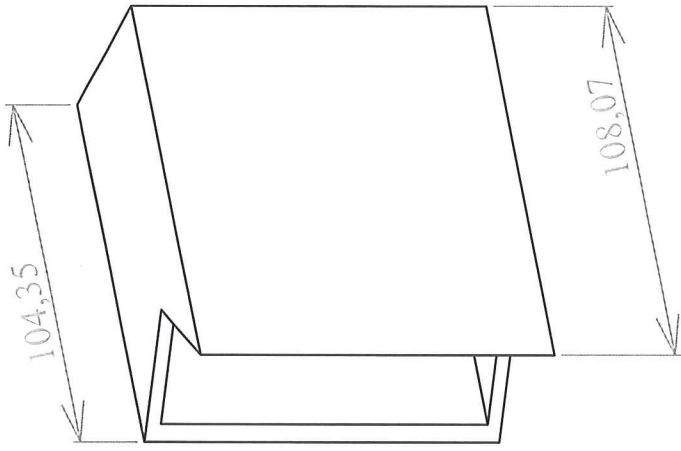
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		DRAWN	NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER		
DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm							
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER: MATERIAL		CHECKED			TITLE:		
FINISH		ENG. APPR.					
NEXT ASSY		MFG APPR.					
USED ON		Q.A.					
APPLICATION		COMPANY					
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF Ertec and U/A.					SIZE	DWG. NO.	REV
					A	S06	
					SCALE: 1:2	WEIGHT:	SHEET 1 OF 1
					2	1	1



PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
 DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
 Ertec and UJA.

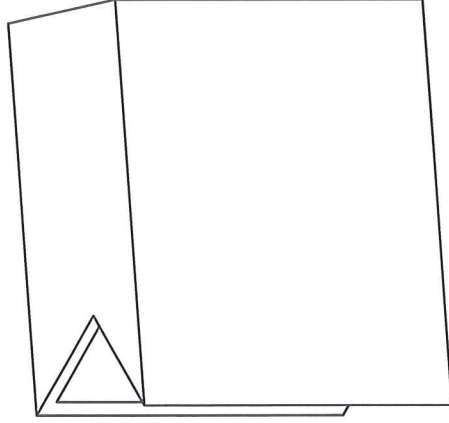
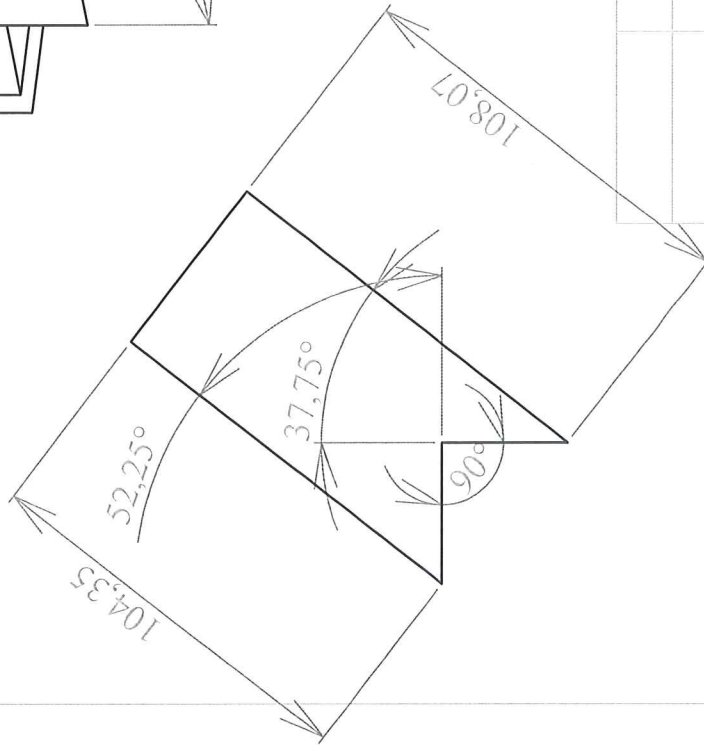
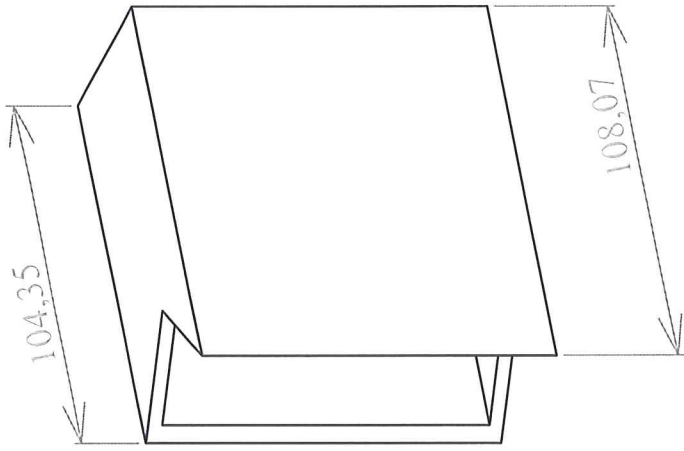
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER
DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm		DRAWN		
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:		CHECKED		A S06
MATERIAL		ENG APPR.		
FINISH		MFG APPR.		SCALE: 1:2
NEXT ASSY		Q.A.		WEIGHT:
USED ON		COMPANY		SHEET 1 OF 1
APPLICATION				REV





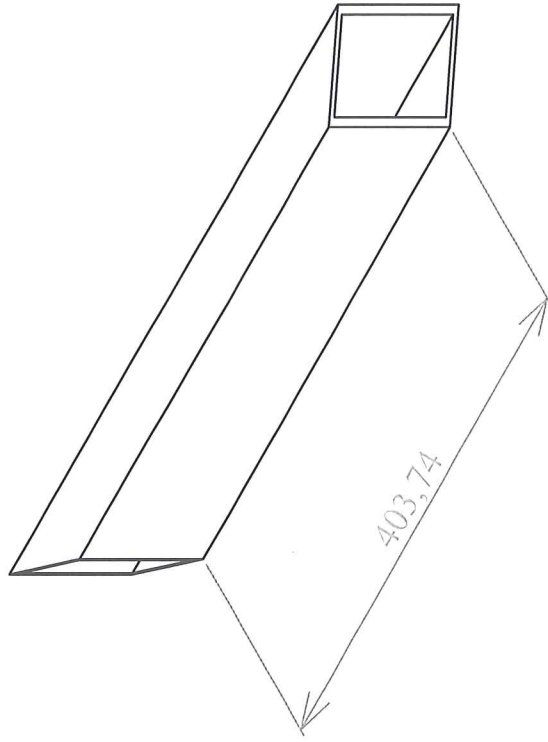
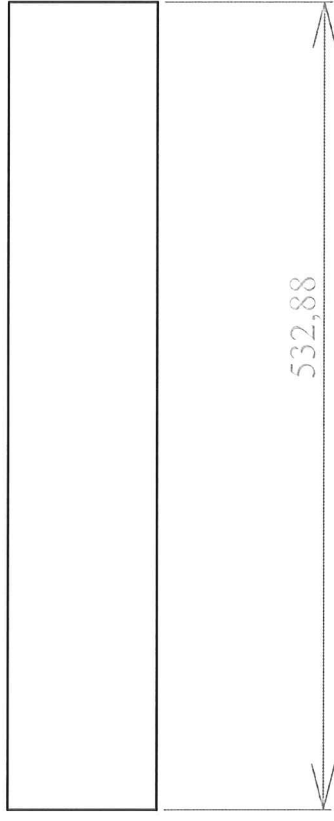
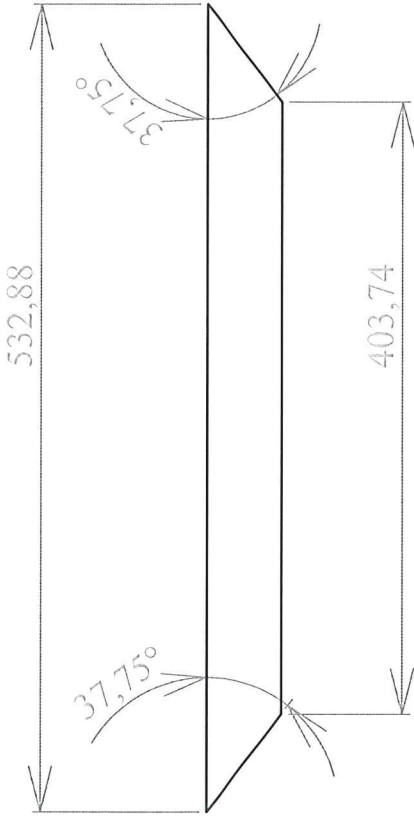
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
 DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
 Ertec and Uia.

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER
DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm		DRAWN		
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER: MATERIAL		CHECKED		TITLE:
FINISH		ENG APPR.		SIZE DWG. NO.
NEXT ASSY		MFG APPR.		A S08
USED ON		Q.A.		SCALE: 1:2
APPLICATION		COMPANY		WEIGHT:
		<b>ERTEC</b>		REV
				SHEET 1 OF 1



PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
 DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
 Ertec and UFA.

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER
DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm		DRAWN		
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER: MATERIAL		CHECKED		TITLE:
FINISH		ENG. APPR.		SIZE DWG. NO. <b>A S08</b>
NEXT ASSY		MFG APPR.		SCALE: 1:2 WEIGHT:
USED ON		Q.A.		REV
APPLICATION		COMPANY		
		<b>ERTEC</b>		



532,88

403,74

37,75°

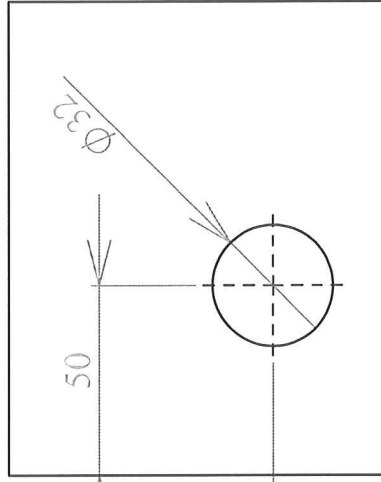
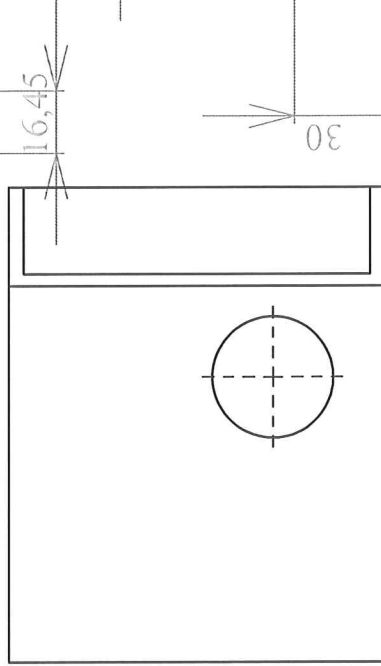
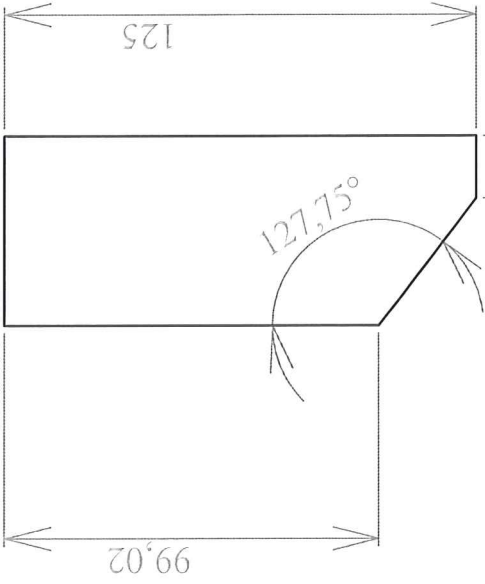
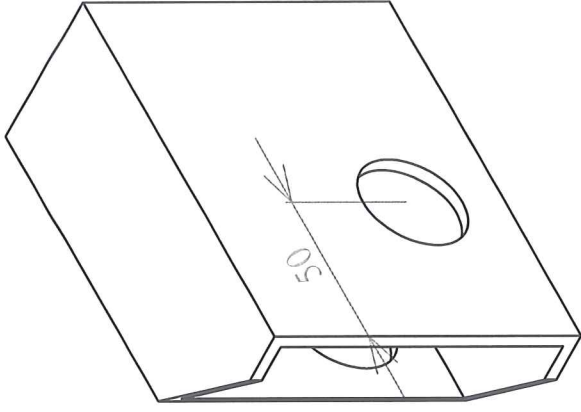
37,75°

403,74

532,88

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER
DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm		DRAWN		
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:		CHECKED		TITLE:
MATERIAL		ENG APPR.		SIZE DWG. NO. <b>A S09</b>
FINISH		MFG APPR.		SCALE: 1:5 WEIGHT:
NEXT ASSY		Q.A.		REV
USED ON		COMPANY		SHEET 1 OF 1
APPLICATION		<b>ERTEC</b>		1
				2
				3
				4
				5

PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
Ertec and UJA.



**UNIVERSITETET I AGDER**

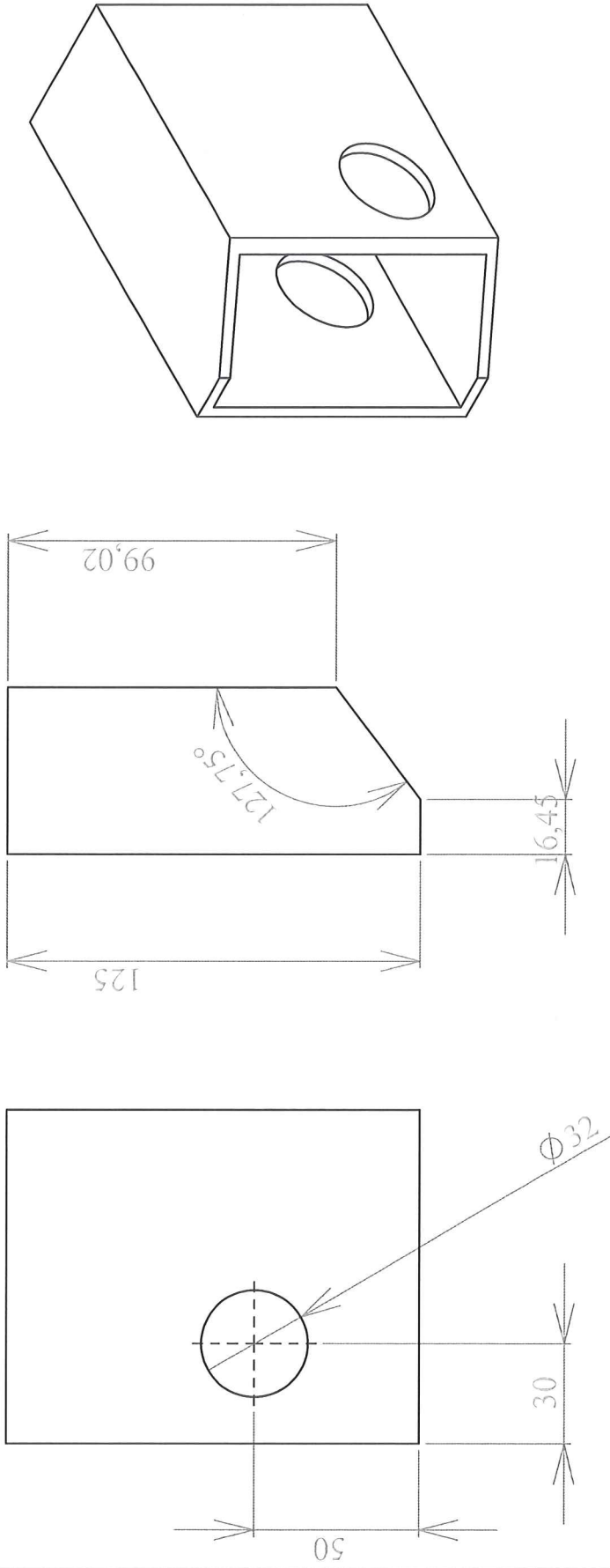
TITLE:

SIZE DWG. NO. **A S10** REV

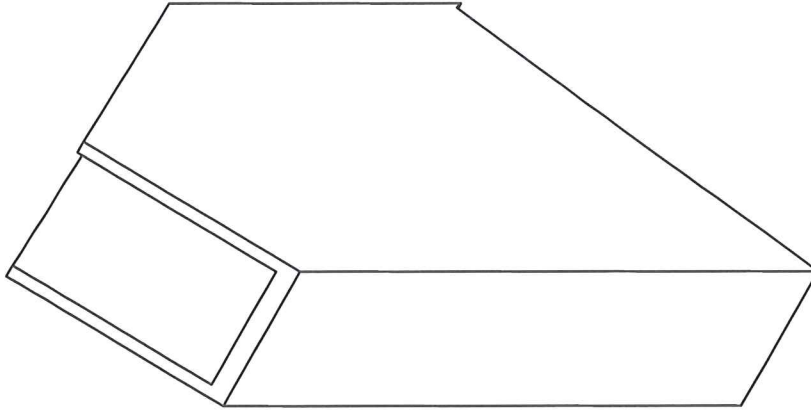
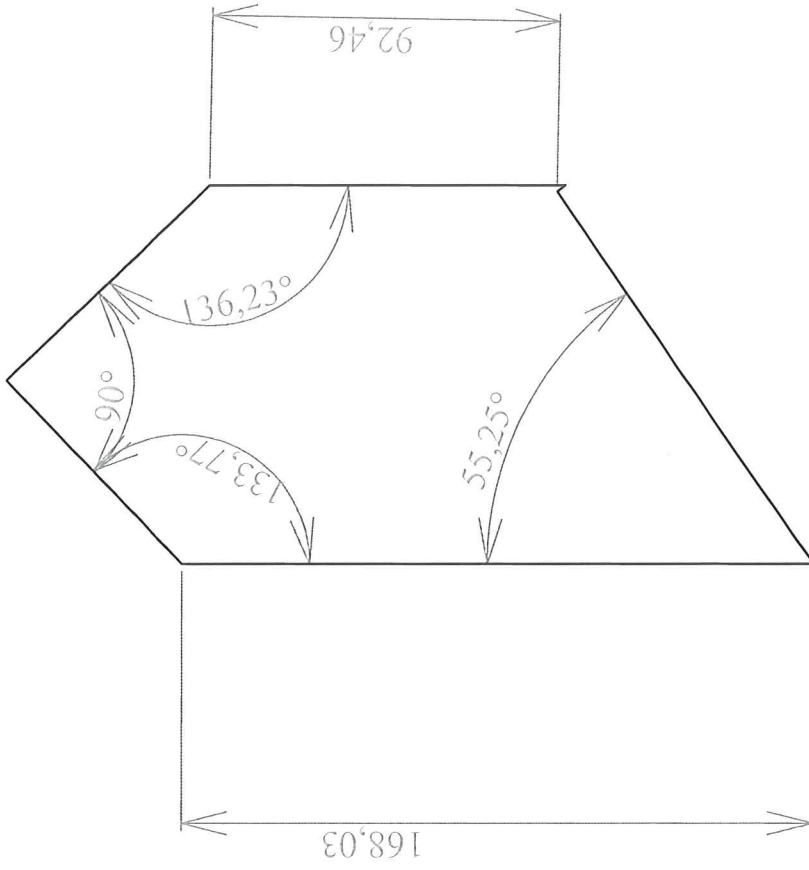
SCALE: 1:2 WEIGHT: SHEET 1 OF 1

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:	NAME	DATE
DIMENSIONS ARE IN mm	DRAWN	
TOLERANCES: ± 2mm	CHECKED	
	ENG APPR.	
	MFG APPR.	
	Q.A.	
	COMPANY	
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:	<b>ERTEC</b>	
MATERIAL		
FINISH		
USED ON		
NEXT ASSY		
APPLICATION		

PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
Ertec and UJA.

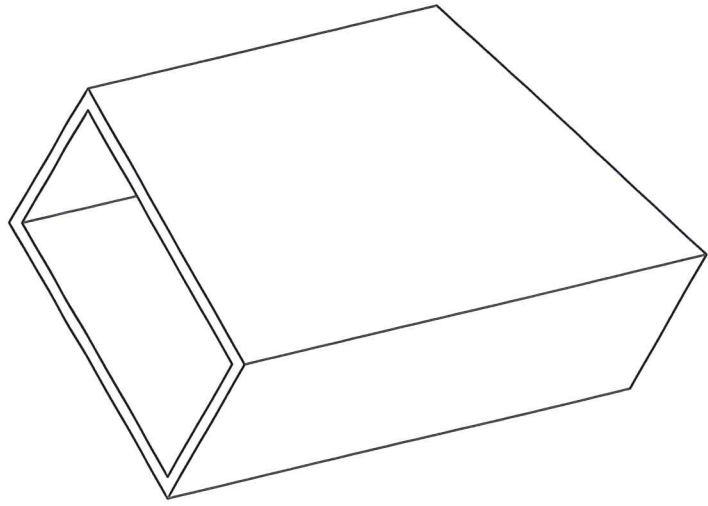
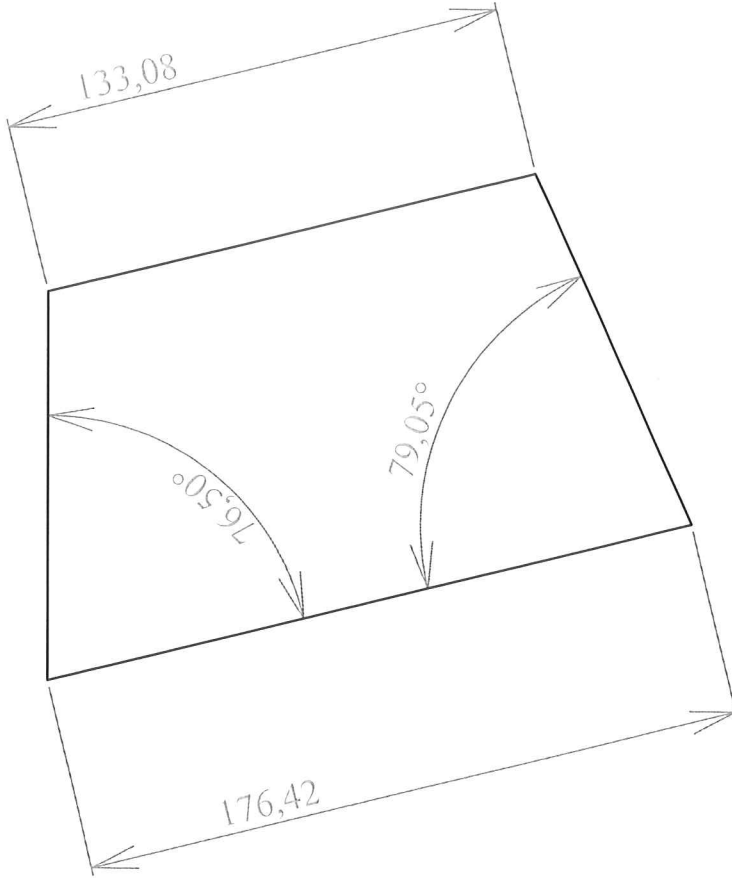


UNIVERSITETET I AGDER		NAME	DATE	TITLE:	SIZE	DWG. NO.	REV	
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		DRAWN						A
DIMENSIONS ARE IN mm		CHECKED		ERTEC	SCALE: 1:2	WEIGHT:	SHEET 1 OF 1	
TOLERANCES: ± 2mm		ENG APPR.						2
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER: MATERIAL		MFG APPR.		Q.A.	COMPANY			
FINISH								
NEXT ASSY		USED ON	APPLICATION					
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF Ertec and U/A.								5



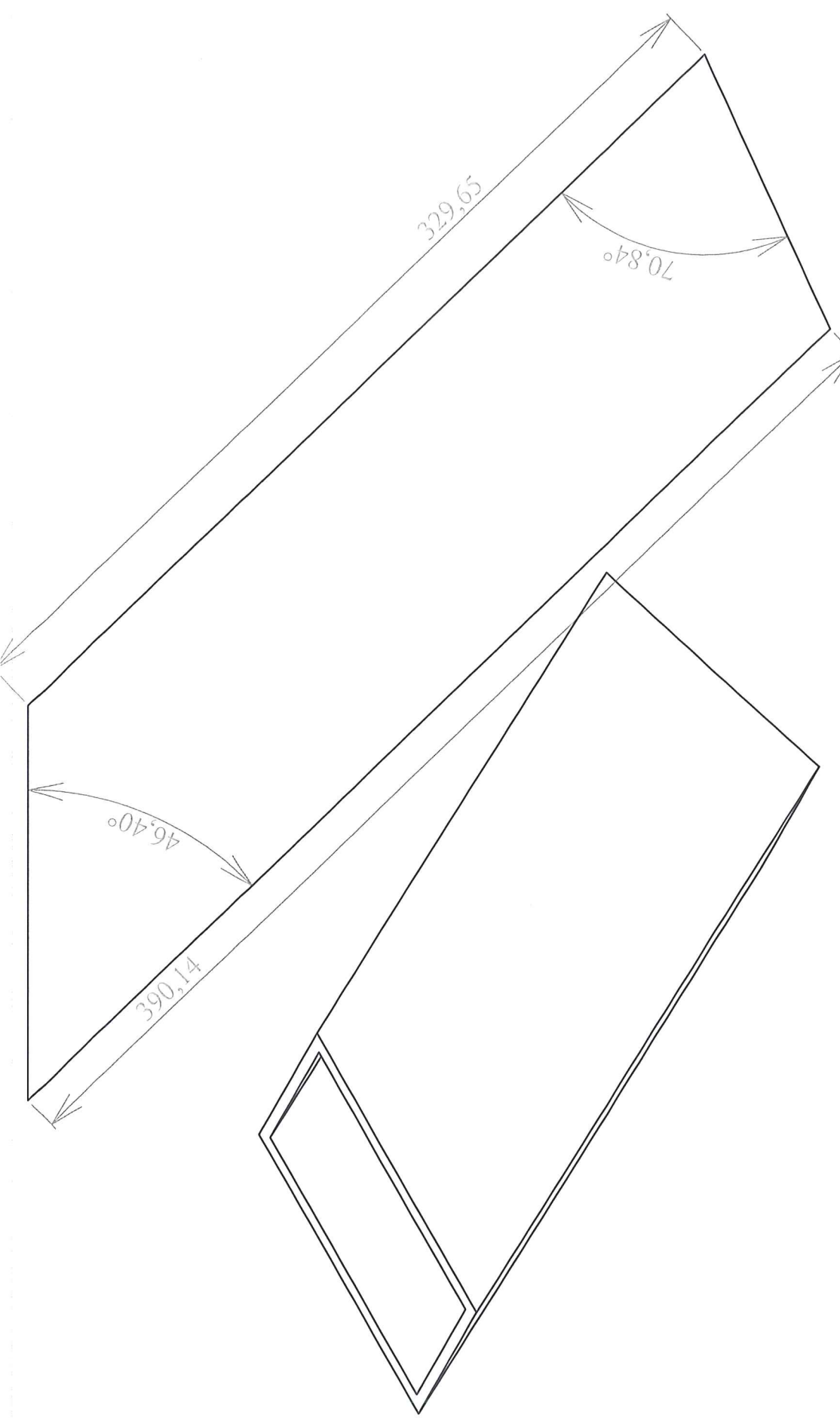
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER	
DIMENSIONS ARE IN mm		DRAWN		TITLE:	
TOLERANCES: ± 2mm		CHECKED			
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:		ENG APPR.			
MATERIAL		MFG APPR.			
FINISH		Q.A.		SIZE DWG. NO. <b>A S12</b>	
NEXT ASSY		COMPANY		SCALE: 1:5 WEIGHT: SHEET 1 OF 1	
USED ON				REV	
APPLICATION				1	

PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
 DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
 Ertec and UIA.



PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
 DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
 Ertec and UFA.

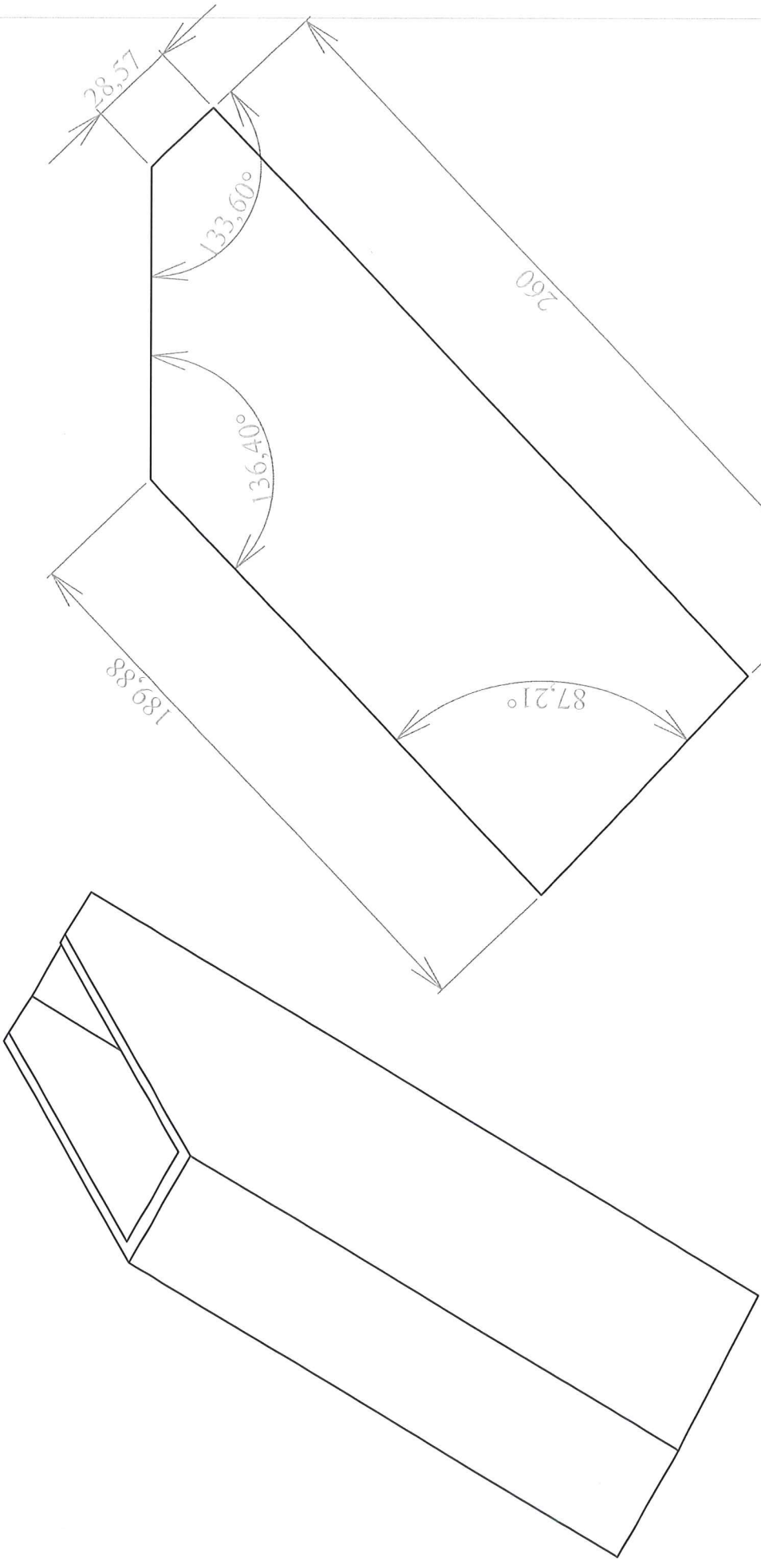
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER
DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm		DRAWN		
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:		CHECKED		TITLE:
MATERIAL		ENG. APPR.		
FINISH		MFG APPR.		
NEXT ASSY		Q.A.		SIZE DWG. NO. <b>A S13</b>
USED ON		COMPANY		REV
APPLICATION				SCALE: 1:5 WEIGHT:
				SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER
DIMENSIONS ARE IN mm TOLERANCES: ± 2mm		DRAWN		
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:		CHECKED		TITLE:
MATERIAL		ENG APPR.		SIZE DWG. NO. <b>A S14</b>
FINISH		MFG APPR.		SCALE: 1:10 WEIGHT: SHEET 1 OF 1
USED ON		Q.A.		REV
NEXT ASSY		COMPANY		
APPLICATION				

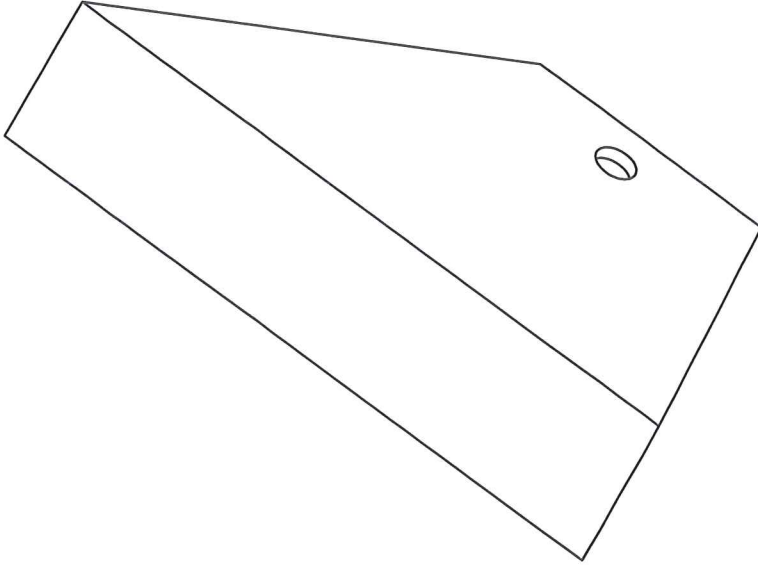
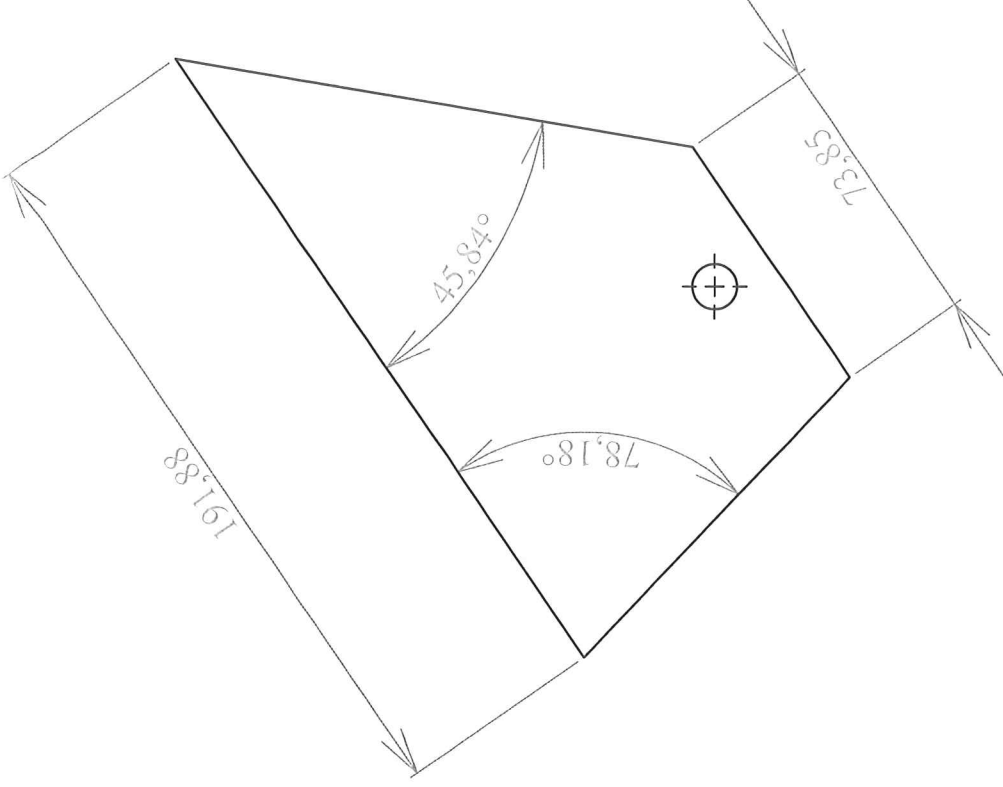
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
Ertec and U/A.



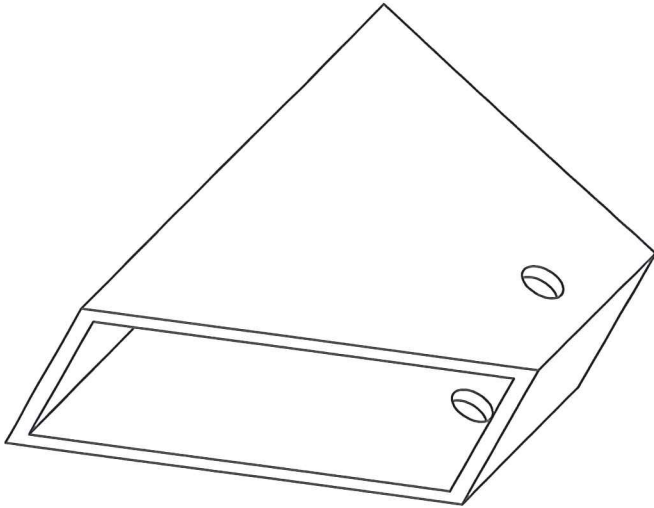
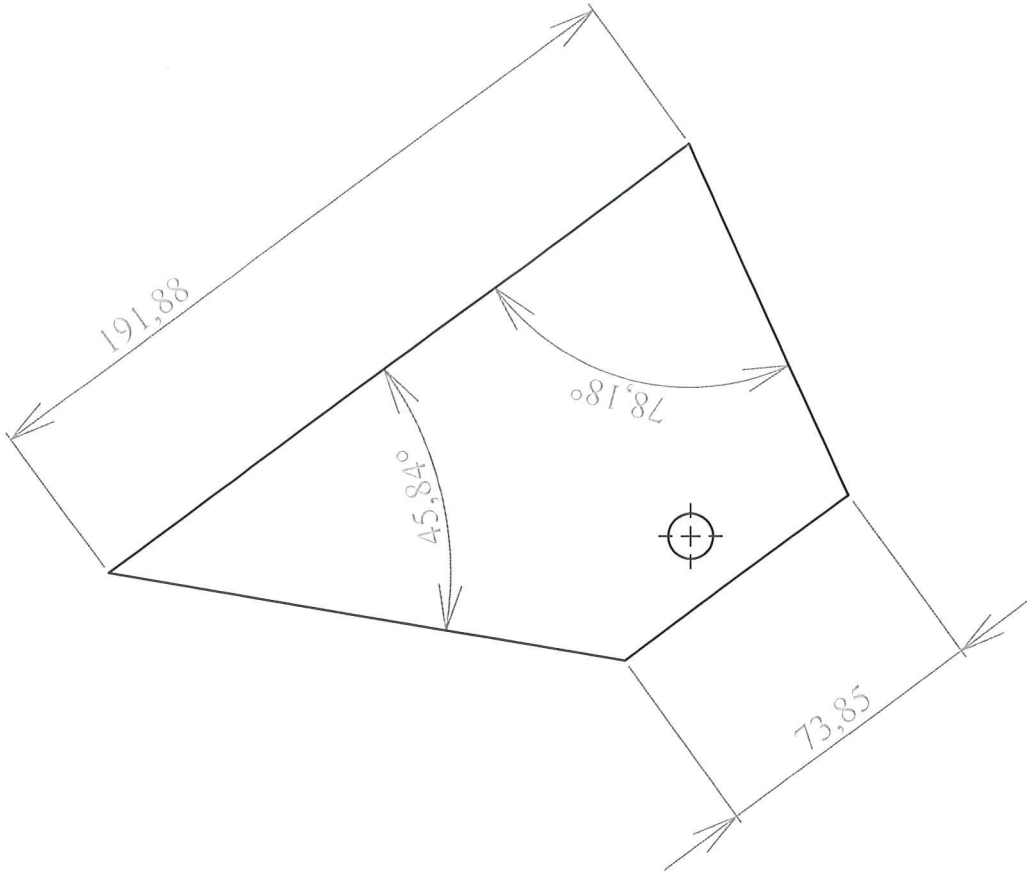


UNIVERSITETET I AGDER		NAME	DATE
TITLE:		DRAWN	
		CHECKED	
		ENG APPR.	
		MFG APPR.	
		Q.A.	
		COMPANY	
ERTEC			
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:			
DIMENSIONS ARE IN mm			
TOLERANCES: ± 2mm			
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:			
MATERIAL			
FINISH			
NEXT ASSY	USED ON		
APPLICATION			
5	4	3	2
SCALE: 1:5		WEIGHT:	SHEET 1 OF 1
SIZE DWG. NO.	A	S15	REV

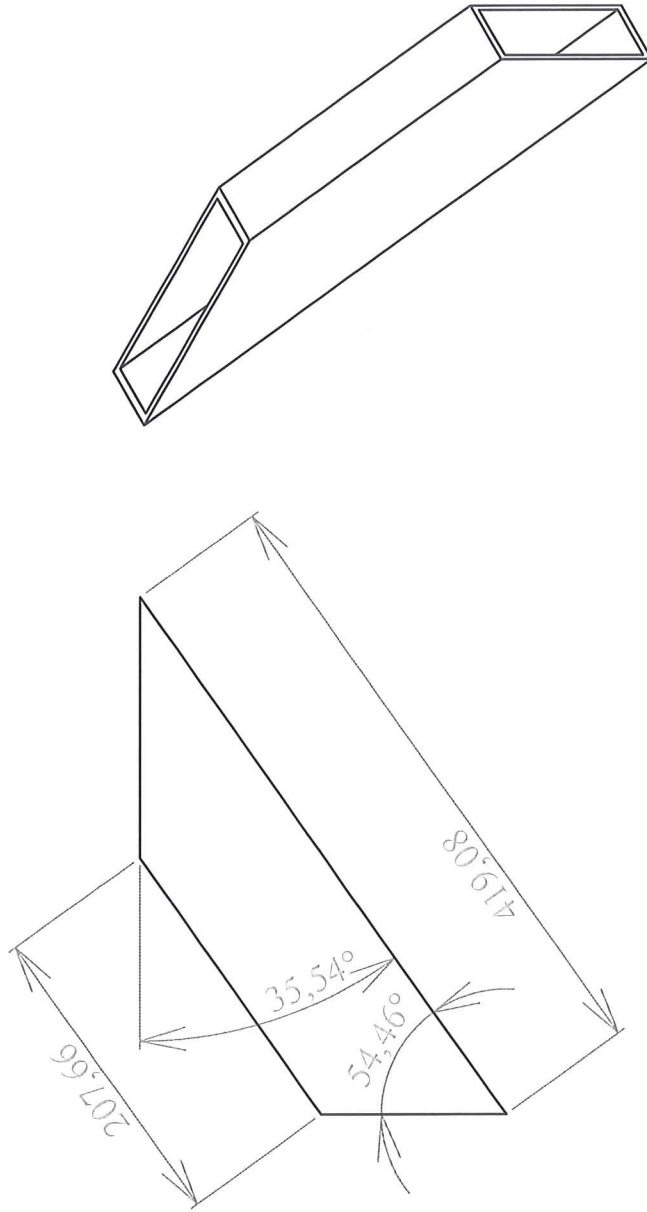
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
 DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
 Ertec and Uia.



UNIVERSITETET I AGDER		NAME	DATE	TITLE:	
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		DRAWN			
DIMENSIONS ARE IN mm		CHECKED			
TOLERANCES: ± 2mm		ENG APPR.			
		MFG APPR.			
		Q.A.			
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:		COMPANY			
MATERIAL		ERTEC			
FINISH					
NEXT ASSY	USED ON				
APPLICATION					
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF Ertec and UIA.		SIZE	DWG. NO.	REV	
		A	S16		
		SCALE: 1:5	WEIGHT:	SHEET 1 OF 1	



UNIVERSITETET I AGDER		NAME	DATE	TITLE:	
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		DRAWN			
DIMENSIONS ARE IN mm		CHECKED			
TOLERANCES: ± 2mm		ENG APPR.			
		MFG APPR.			
		Q.A.			
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:		COMPANY	ERTEC		
MATERIAL					
FINISH					
NEXT ASSY	USED ON				
APPLICATION					
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF Ertec and Uia.		SCALE: 1:5		WEIGHT:	SHEET 1 OF 1
		SIZE	DWG. NO.	REV	
		A	S17		



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	UNIVERSITETET I AGDER	
DIMENSIONS ARE IN mm		DRAWN		TITLE:	
TOLERANCES: ± 2mm		CHECKED		SIZE	DWG. NO.
		ENG APPR.		A	S18
		MFG APPR.		SCALE: 1:5	WEIGHT:
		Q.A.		REV	
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:		ERTEC			
MATERIAL					
FINISH					
NEXT ASSY		USED ON			
APPLICATION					
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF Ertec and UIA.					

# CI series

Cast iron

**Standard finish:** Clear lacquer

**Effective temperature range:** Most extremes, dependant upon bearing choice, please ask for details

### Wheel Characteristics

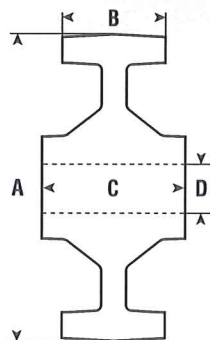
Cast iron wheels combine strength and shock resistance with long life and economy. They have a very low tractive resistance and are a first choice where ease of movement is required.

Being metallic, they will withstand extremes of temperature that would destroy plastic or tyred wheels.

Revo only supply heavy close grained castings of grey iron material sometimes described as 'semi-steel'. Our standard material specification is to BS EN 1561

Cast Iron wheels, however, can cause floor wear and noise. Although painted, like all ferrous metals, they will eventually rust.

Cast iron is a good and economical choice as a basic wheel for use primarily where rough service conditions prevail.



	A	B	C	D			Catalogue reference	
2 1/2" 63		25	30	10	130		063 CI03	0.28
3" 75		25	30	10	135		075 CI03	0.38
		34	45	12	190		075 CI04	0.59
		34	45	12	190		075 CI14	0.76
4" 100		38	45	12	250		100 CI04	0.87
		38	45	12	250		100 CI14	1.02
		45	60	20	320		100 CI0G	1.65
		45	60	20	320		100 CI1H	1.68
		45	49	20	320		100 CI2H	1.69
5" 125		38	45	12	500		125 CI04	1.23
		38	45	12	295		125 CI14	1.42
		45	60	20	630		125 CI0G	1.71
		45	60	20	630		125 CI1H	1.25
		45	49	20	630		125 CI2H	2.04
6" 150		45	60	20	1000		150 CI05	2.13
		45	60	20	1000		150 CI15	2.61
		45	49	20	1000		150 CI2H	2.54
		45	60	25	1000		150 CI1A	3.47
		45	60	20	730		200 CI05	3.23
8" 200		45	60	20	1150		200 CI15	4.13
		45	60	25	1150		200 CI1A	4.93
		45	49	20	1150		200 CI2H	4.13
		63	70	38.1	2270		200 CIPT	8.00
10"250		54	60	25	1240		250 CI1H	7.00
		54	57	25	1240		250 CI2H	7.20
		63	70	38.1	2270		250 CIPT	10.00

# Carbon Steel

## 1. Chemical composition and mechanical properties

Shown below, for each grade of carbon steel provided for by EN 10210-1, are the chemical analyses and mechanical properties.

### Option

If agreed upon at the time of ordering, a declaration of conformity to law N°1086/1971 and Ministerial Decree 9.1.96 relevant for grade S355J2H (ex Fe 510 D Uni 7806) for wall thicknesses of from 3 to 35mm inclusive can be issued.

If agreed upon at time of ordering, a declaration of Ü Mark (TÜV) relevant to grades S235JRH, S355J0H, S355J2H, for wall thicknesses of from 2.3 to 100mm inclusive can be issued.

### CHEMICAL ANALYSIS %

GRADE	C		Si	Mn	P	S	N
	Norm. W.T. mm						
	≤ 40	> 40 ≤ 65					
S235JRH	≤ 0,17	≤ 0,20	-	≤ 1,40	≤ 0,045	≤ 0,045	≤ 0,009
S275J0H	≤ 0,20	≤ 0,22	-	≤ 1,50	≤ 0,040	≤ 0,040	≤ 0,009
S275J2H	≤ 0,20	≤ 0,22	-	≤ 1,50	≤ 0,035	≤ 0,035	-
S355J0H	≤ 0,22	≤ 0,22	≤ 0,55	≤ 1,60	≤ 0,040	≤ 0,040	≤ 0,009
S355J2H	≤ 0,22	≤ 0,22	≤ 0,55	≤ 1,60	≤ 0,035	≤ 0,035	-

### CARBON EQUIVALENT (CEV)% \*

GRADE	Nominal W.T.		
	≤ 16	>16 ≤ 40	>40 ≤ 65
S235JRH	≤ 0,37	≤ 0,39	≤ 0,41
S275J0H	≤ 0,41	≤ 0,43	≤ 0,45
S275J2H	≤ 0,41	≤ 0,43	≤ 0,45
S355J0H	≤ 0,45	≤ 0,47	≤ 0,50
S355J2H	≤ 0,45	≤ 0,47	≤ 0,50

\* Indicated in test mill report if agreed upon at the time of ordering

### MECHANICAL PROPERTIES

GRADE	Min. Yield Strength (R <sub>eH</sub> ) N/mm <sup>2</sup>			Tensile Strength (R <sub>m</sub> ) N/mm <sup>2</sup>		Elongation % Minimum				Impact Strength*	
	Nominal W.T. mm			Nominal W.T. mm		Nominal W.T. mm				T°C	J
	0 ≤ 16	>16 ≤ 40	> 40 ≤ 65	≤ 3	> 3 ≤ 65	Long.		Transv.			
						≤ 40	> 40 ≤ 65	≤ 40	> 40 ≤ 65		
S235JRH	235	225	215	380 – 510	340 – 470	25	25	24	23	20	≥ 27
S275J0H	275	255	255	430 – 580	410 – 550	22	21	20	19	0	≥ 27
S275J2H	275	265	255	430 – 580	410 – 550	22	21	20	19	- 20	≥ 27
S355J0H	355	345	335	510 – 680	490 – 630	22	21	20	19	0	≥ 27
S355J2H	355	345	335	510 – 680	490 – 630	22	21	20	19	- 20	≥ 27

If agreed upon at the time of ordering, a declaration of conformity to law N°1086/1971 and Ministerial Decree 9.1.96 relevant for grade S355J2H (ex Fe 510 D Uni 7806) for wall thicknesses of from 3 to 35mm inclusive can be issued.

If agreed upon at time of ordering, a declaration of Ü Mark (TÜV) relevant to grades S235JRH, S355J0H, S355J2H, for wall thicknesses of from 2.3 to 100mm inclusive can be issued.

\*The impact test values indicated are meant to be calculated as the average of the three samples of width W = 10 mm. One individual value may be below the minimum, but not less than 70% of that value.

The certificate reports the dimension of the sample and the values measured in the test in J. If the sample width W is less than 10 mm, the minimum requested KV<sub>10</sub> values are reduced in the new KV<sub>W</sub> value according to the formula: KV<sub>W</sub>=KV<sub>10</sub> x (W/10)

# Fine grain steel

## 1. Fine grain steel – chemical composition and mechanical properties

Shown below, for each grade of fine grain steel provided for by EN 10210-1, are the chemical analyses and mechanical properties.

### Option

If agreed upon at time of ordering, a declaration of Ü Mark (TÜV) relevant to grade S355NH, for wall thicknesses of from 2.3 to 100 mm inclusive can be issued.

### CHEMICAL ANALYSIS %

GRADE	C	Si	Mn	P	S	Nb	V	Al tot.	Ti	Cr	Ni	Mo	Cu	N
S275NH	≤ 0,20	≤ 0,40	0,50 1,40	≤ 0,035	≤ 0,030	≤ 0,050	≤ 0,05	≥ 0,020	≤ 0,03	≤ 0,30	≤ 0,30	≤ 0,10	≤ 0,35	≤ 0,015
S355NH	≤ 0,20	≤ 0,50	0,90 1,65	≤ 0,035	≤ 0,030	≤ 0,050	≤ 0,12	≥ 0,020	≤ 0,03	≤ 0,30	≤ 0,50	≤ 0,10	≤ 0,35	≤ 0,015
S460NH	≤ 0,20	≤ 0,60	1,00 1,70	≤ 0,035	≤ 0,030	≤ 0,050	≤ 0,20	≥ 0,020	≤ 0,03	≤ 0,30	≤ 0,80	≤ 0,10	≤ 0,70	≤ 0,015

### CARBON EQUIVALENT (CEV)% (long formula)

GRADE	Maximum Carbon Equivalent (CEV) value by nominal W.T. mm	
	≤16	>16 ≤ 65
S275NH	0,40	0,40
S355NH	0,43	0,45
S460NH	-	-

### MECHANICAL PROPERTIES

GRADE	Min. Yield Strength (R <sub>eH</sub> ) N/mm <sup>2</sup>			Tensile Strength (R <sub>m</sub> ) N/mm <sup>2</sup>	Elongation % Minimum		Impact Strength*	
	Nominal W.T. mm			Nominal W.T. mm	Nominal W.T. mm		T °C	J
	≤16	>16 ≤ 40	> 40 ≤ 65		Long.	Transv.		
S275NH	275	265	255	370 + 540	24	22	- 20	≥ 40
S355NH	355	345	335	470 + 630	22	20	- 20	≥ 40
S460NH	460	440	430	550 + 720	17	15	- 20	≥ 40

If agreed upon at the time of ordering, a declaration of conformity to law N°1036/1971 and Ministerial Decree 9.1.96 relevant for grade S355J2H (ex Fe 510 D Uni 7806) for wall thicknesses of from 3 to 35mm inclusive can be issued.

If agreed upon at time of ordering, a declaration of Ü Mark (TÜV) relevant to grades S235JRH, S355J0H, S355J2H, for wall thicknesses of from 2.3 to 100mm inclusive can be issued.

\*The impact test values indicated are meant to be calculated as the average of the three samples of width W = 10 mm. One individual value may be below the minimum, but not less than 70% of that value.

The certificate reports the dimension of the sample and the values measured in the test in J. If the sample width W is less than 10 mm, the minimum requested KV<sub>10</sub> values are reduced in the new KV<sub>W</sub> value according to the formula: KV<sub>W</sub>=KV<sub>10</sub> x (W/10)

## 1. Dimensions and Tolerances

The dimensions and tolerances comply with EN 10210 part 2 and are shown in the table on p. 7.

## 2. Length

The standard lengths supplied are from 5 to 12 m inclusive. The lengths supplied vary with the dimension; for each dimension the range is 2m.

### Service Center

The Service Center can supply tubes cut in fixed lengths with tolerances of  $-0 + 5$  mm.

## 3. Checks and tests

The product is subjected to the following checks:

- Cast analysis
- Tensile test
- Impact strength test
- Electromagnetic test (not required by EN 10210)
- Visual and dimensional check

### Options

*Fixed or multiple lengths can be agreed upon at time of ordering*

## 4. Surfaces

The product is supplied in hot rolled condition.

## 5. Certification

The product comes with a 3.1.B inspection certificate, in conformity with EN 10204.

Tenaris employs complete product traceability; with the cast number indicated on each tube.

### Options

*If established when placing the order, a declaration of conformity in accordance with law no.1086/1971 and Ministerial Decree 9.L.96 can be issued for grade S355J2H (ex Fe 510 D Uni 7806) for WT. from 3 to 35 mm inclusive. If agreed on at time of ordering, a declaration of conformity to UMark (TÜV)*

*for grades S235JRH, S355J0H, S355J2H and S355NH can be issued, for WT. from 2.3 to 100 mm inclusive. 3.1.C or 3.2 certification can be agreed upon when placing the order.*

*In case 3.2 certification is requested, the customer has to notify the organisation or individual responsible for conducting the inspection at the time of ordering.*

## 6. Identification and marking

The structural tubes are identified as follows:

### Dye stamping

- Manufacturer's trademark
- Steel grade
- S (production process)
- Plant inspector

### Painted (in continuous)

- Manufacture's trademark
- Dimensions (OD x WT)
- Steel grade
- Production standards
- Cast no.

## 7. Minimum order

The minimum quantity supplied varies based upon the dimensions and additional requirements (option) and have to be agreed upon when ordering.

The tolerance on quantity is  $\pm 10\%$  for each lot

## 8. Packaging

Diameters greater than 200 mm: loose.

Diameters less than or equal to 200 mm: in bundles.

## 9. Technical assistance

Tenaris offers technical advice for the use of its products, including grades superior to those considered in this catalogue.



# Aluminium Alloy 6082

Aluminium alloy 6082 is a medium strength alloy with excellent corrosion resistance. It has the highest strength of the 6000 series alloys. Alloy 6082 is known as a structural alloy. In plate form, 6082 is the alloy most commonly used for machining. As a relatively new alloy, the higher strength of 6082 has seen it replace 6061 in many applications. The addition of a large amount of manganese controls the grain structure which in turn results in a stronger alloy.

It is difficult to produce thin walled, complicated extrusion shapes in alloy 6082. The extruded surface finish is not as smooth as other similar strength alloys in the 6000 series.

In the T6 and T651 temper, alloy 6082 machines well and produces tight coils of swarf when chip breakers are used.

## Applications

6082 is typically used in:

- ◆ High stress applications
- ◆ Trusses
- ◆ Bridges
- ◆ Cranes
- ◆ Transport applications
- ◆ Ore skips
- ◆ Beer barrels
- ◆ Milk churns

## Chemical Composition

Element	% Present
Si	0.7 to 1.3%
Fe	0.5%
Cu	0.1%
Mn	0.4 to 1.0%
Mg	0.6 to 1.2%
Zn	0.2%
Ti	0.1%
Cr	0.25%
Al	Balance

## Mechanical Properties

Temper	O	T4	T6/T651
Proof Stress 0.2% (MPa)	60	170	310
Tensile Strength (MPa)	130	260	340
Shear Strength (MPa)	85	170	210
Elongation A5 (%)	27	19	11
Hardness Vickers (HV)	35	75	100

## Physical Properties

Property	Value
Density	2.70 g/cm <sup>3</sup>
Melting Point	555°C
Modulus of Elasticity	70 GPa
Electrical Resistivity	0.038x10 <sup>-6</sup> Ω.m
Thermal Conductivity	180 W/m.K
Thermal Expansion	24x10 <sup>-6</sup> /K

## Alloy Designations

Aluminium alloy 6082 also corresponds to the following standard designations and specifications:

AA6082	HE30
DIN 3.2315	EN AW-6082
ISO: Al Si1MgMn	A96082



Aalco is a registered trademark of Aalco Metals Ltd

© Copyright: Aalco Metals Ltd, The Hershams Centre, Hershams Green, Hershams, Surrey KT12 4HP

All Data is indicative only and must not be seen as a substitute for the full specification from which it is drawn. In particular, the mechanical property requirements vary widely with temper, product form and product dimensions. For more complete details please refer to the relevant specification - The BS EN Specifications for aluminium are listed on a separate Datasheet.

## Welding

6082 has very good weldability but strength is lowered in the weld zone. When welded to itself, alloy 4043 wire is recommended. If welding 6082 to 7005, then the wire used should be alloy 5356.

## Temper

The most common tempers for 6082 aluminium are:

- ◆ O – annealed wrought alloy
- ◆ T4 – Solution heat treated and naturally aged
- ◆ T6 – Solution heat treated and artificially aged
- ◆ T651 – Solution heat treated, stress relieved by stretching and then artificially aged

## Fabrication

Process	Rating
Workability - Cold	Good
Machinability	Good
Weldability – Gas	Good
Weldability – Arc	Good
Weldability – Resistance	Good
Brazability	Good
Solderability	Good

## Supplied Forms

6082 aluminium is available from Aalco in the following forms with a T6 temper:

- ◆ Square bar
- ◆ Square box section
- ◆ Rectangular box section
- ◆ Channel
- ◆ Tee section
- ◆ Equal angle
- ◆ Unequal angle
- ◆ Flat bar
- ◆ Tube
- ◆ Sheet

Plate and shate can also be supplied as 6082-T651.

*This information is based on our present knowledge and is given in good faith. However, no liability will be accepted by the Company in respect of any action taken by any third party in reliance thereon. As the products detailed may be used for a wide variety of purposes and as the Company has no control over their use; the Company specifically excludes all conditions or warranties expressed or implied by statute or otherwise as to dimensions, properties and/or fitness for any particular purpose. Any advice given by the Company to any third party is given for that party's assistance only and without liability on the part of the Company.*

*Any contract between the Company and a customer will be subject to the Company's Conditions of Sale. The extent of the Company's liabilities to any customer is clearly set out in those Conditions; a copy of which is available on request.*



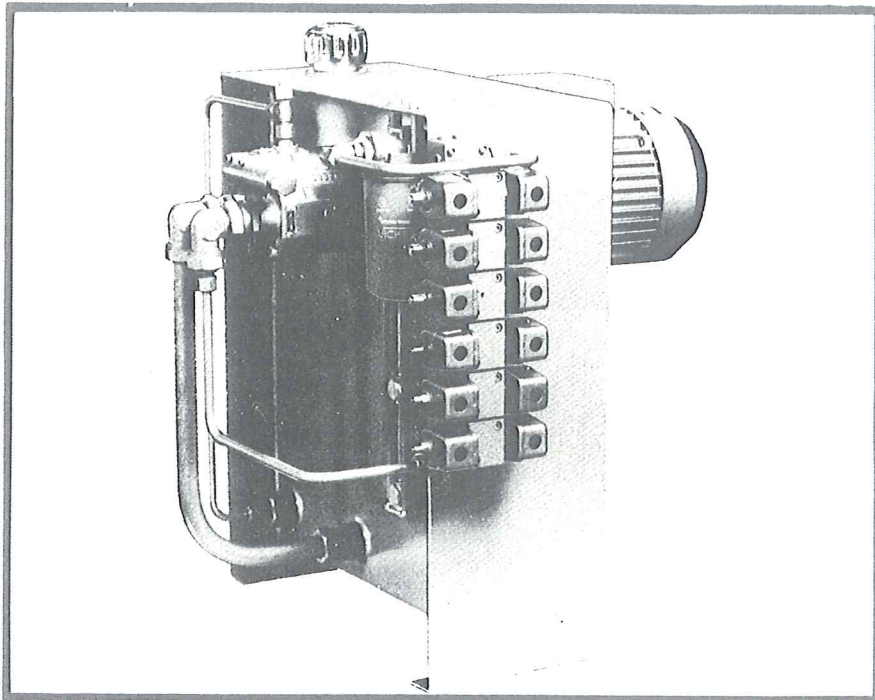
**Aalco is a registered trademark of Aalco Metals Ltd**

© Copyright: Aalco Metals Ltd, The Hersham Centre, Hersham Green, Hersham, Surrey KT12 4HP

*All Data is indicative only and must not be seen as a substitute for the full specification from which it is drawn. In particular, the mechanical property requirements vary widely with temper, product form and product dimensions. For more complete details please refer to the relevant specification – The BS EN Specifications for aluminium are listed on a separate Datasheet.*

# SPEERRY VICKERS

## PM-10, Pumpeaggregat



■ Kompakt enhet  
med tilgjengelig  
plass for ventilmontasje

■ Variabel stempelpumpe  
Fast stempelpumpe  
Vingepumpe

■ 30 liters tank

# SPEERRY VICKERS

## I SKANDINAVIA

**DANMARK**  
København  
Østmarken 6,  
DK-2860 Søborg  
tel: 01-691422, telex 15659

**FINLAND**  
Veromishenkyla  
Virkatie, Box 26  
01510 Helsingin Pitaja  
tel: 0: 826011, telex: 12-3127

**NORGE**  
Oslo  
Postboks 130, 1401 Ski  
tel: 02: 870260, telex: 11939

**Bergen**  
Storetveitvn. 86  
5032 Minde  
tel: 05: 282166  
05: 282777

**SVERIGE**  
Stockholm  
Box 20095, 16120 Bromma 20  
tel: 08-980 400  
telex: 10050

**Göteborg**  
Box 2050, 42102 Västra Frölunda 2  
tel: 031-490 750, telex: 20906

**Malmö**  
Upplandsgatan 16  
21429 Malmö  
tel: 040-192580, 192590

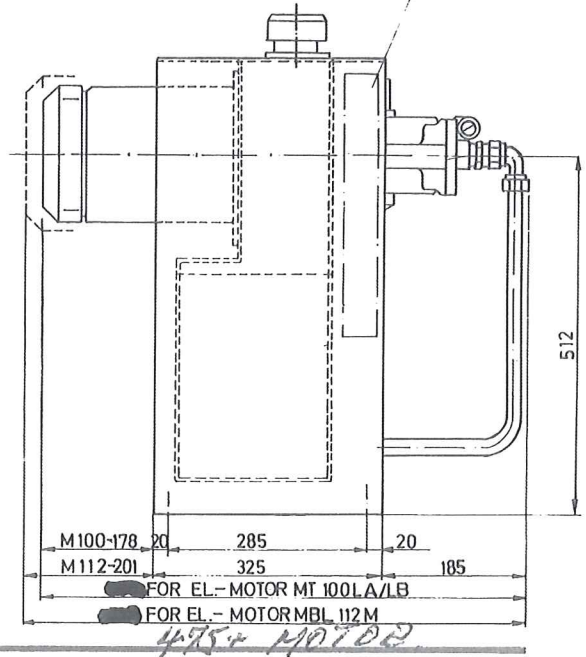
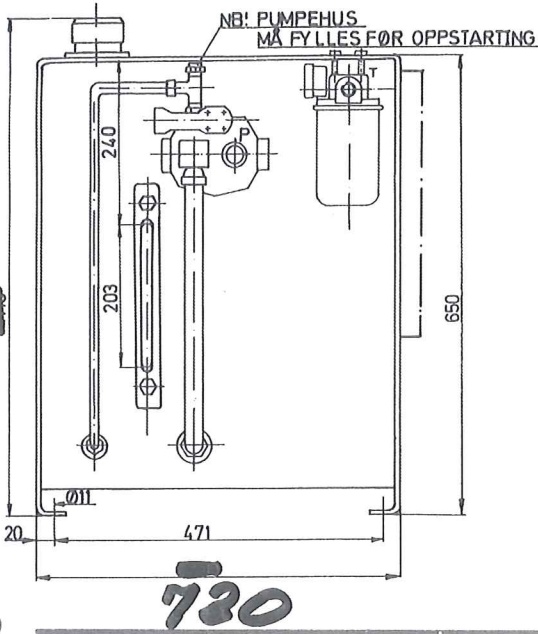
**Borlänge**  
Buskäker  
780 20 Stora Tuna  
tel: 0243-390 20  
telex: 7604

**Örnsköldsvik**  
Svanvägen 4, 890 28 Gullänget  
tel: 0660-177 85

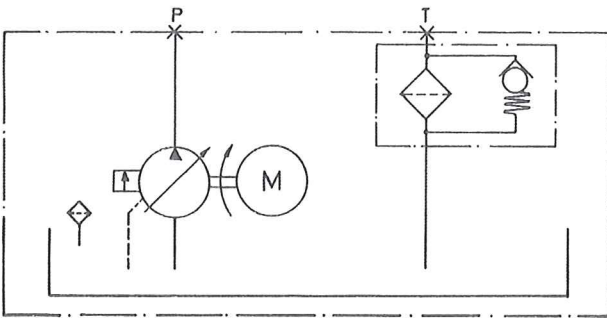
5/4  
1/4  
22  
48

Målskisse: PM-03-\*\*-B

FOR MONTASJE AV VENTILER SE FØRSIDEN



Hydraulisk skjema

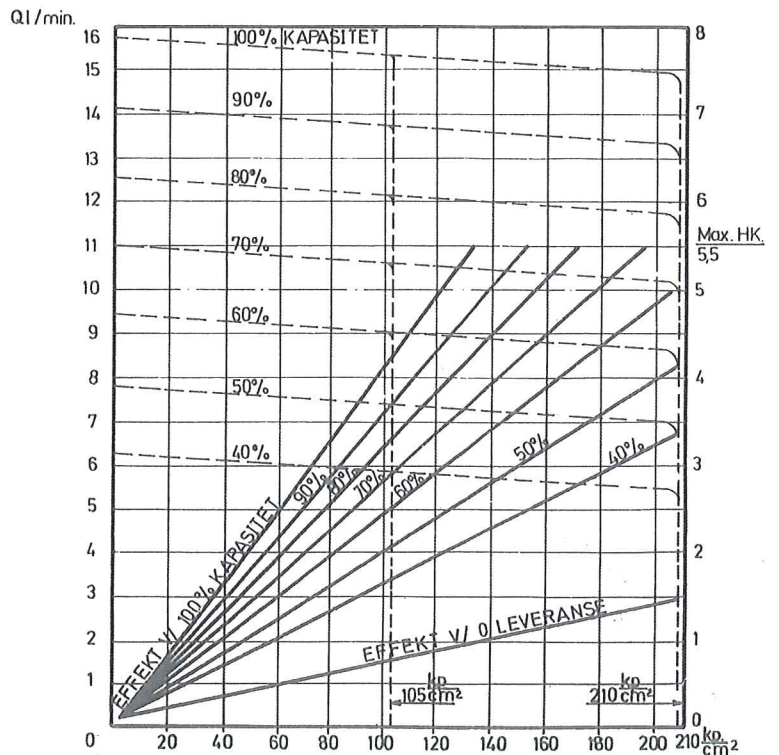


Standard rørtilslutning

P: 16 mm UTV. DIAM.  
T: 18 mm UTV. DIAM.

Fittings for andre rørdimensjoner monteres på forespørsel

Kurve for oljemengde og effekt ved oljeviskositet 3°E - 21 cSt



Pumpe PVB5, 1500 o/min.

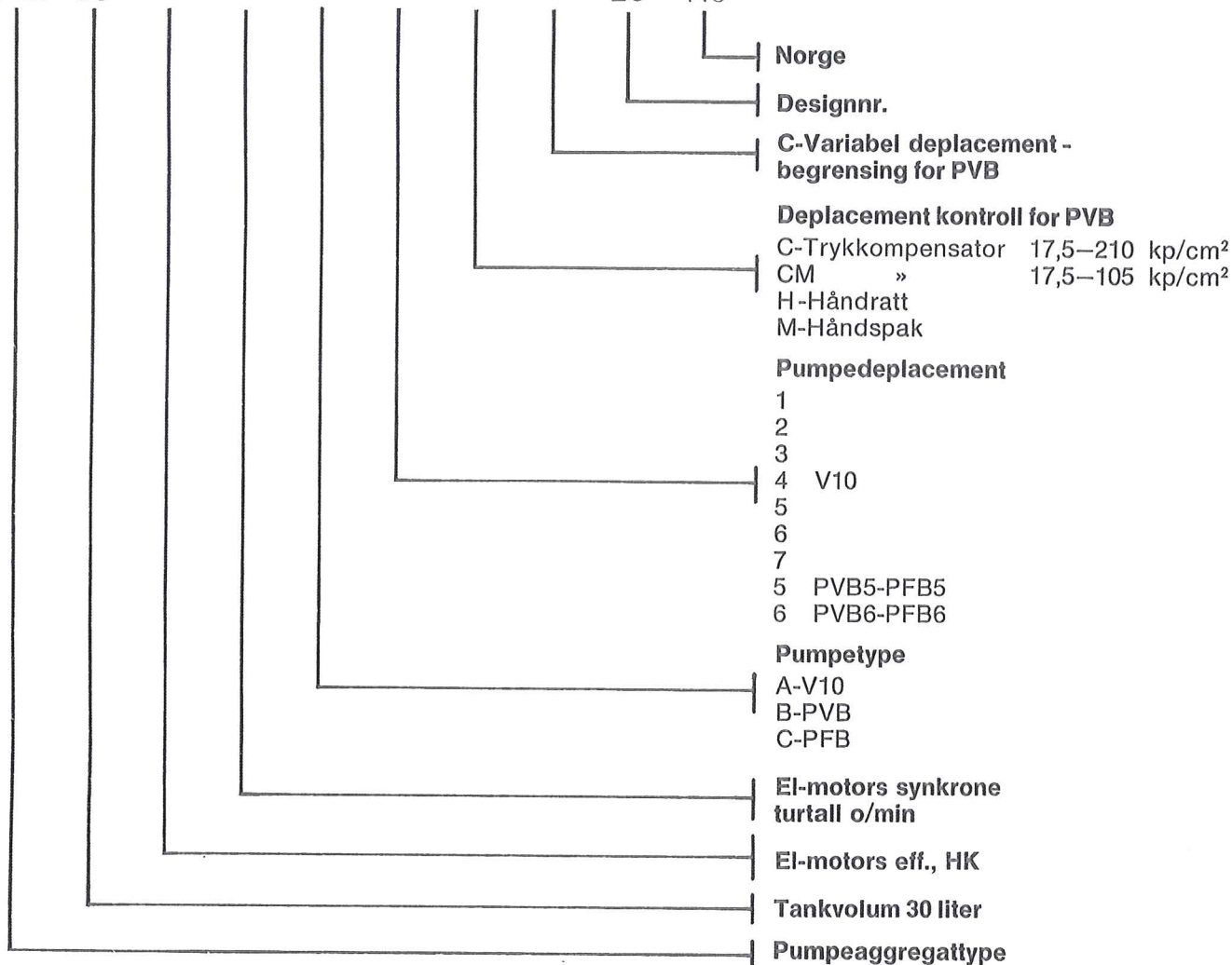
SYMBOLER -- OLJEMENGD  
— EFFEKT

Eksempel

Hvor mange l/min kan tas ut ved 140 kp/cm<sup>2</sup> når max motoreffekt er 4 hk? Gå rett opp fra 140 kp/cm<sup>2</sup> og rett ut fra 4 hk, kryssingspunktet ligger på effektkurven for 70% kapasitet. Gå rett opp fra 140 kp/cm<sup>2</sup> til kryssingspunktet med oljemengdekurven for 70%. Les av oljemengden 10,5 l/min.

Modellkode

PM 03 \* \*\*\*\* \* \* \*\* \* 20 No



Tanken er innvendig og utvendig malt med oljebestandig maling.

NETTO TANKVOLUM 30 ltr.  
 NYTTEVOLUM 18 ltr.  
 VEKT EKSKL. OLJE OG EL. MOTOR CA. 50 kg.

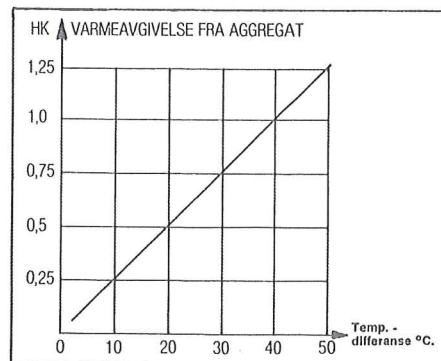
RETURFILTER TYPE UC-MS-1518-101  
 KAPASITET NOM. 45 l/min  
 FILTRERINGSGRAD 10 MIKRON NOM  
 ÅPNINGSTRYKK FOR BY-PASS 2,1 kp/cm<sup>2</sup>

FØLGENDE ELLER TILSVARENDE OLJETYPER BENYTTES  
 DRIFTSTEMP.: +25° TIL +65°C.  
 BP ENERGOL HL 65  
 CASTROL HYPIN AWS 32  
 ESSO NUTO H 44  
 GULF HARMONY 43AW  
 MOBIL DTE 24  
 SHELL TELLUS OIL 27  
 TEXACO RANDO OIL HDA

EFFEKTABELL FOR EL.MOTORER 220/380V-50Hz

O/MIN	MOTORTYPE – IEC-NORM	EFFEKT	NETTOVEKT
	ASEA-DISP 214B.	HK	KG
1000	MT 100L-28-F215-6	2	21
	MBL 112M-28-F215-6	3	32
1500	MT 100LA-28-F215-4	3	20,5
	MT 100LB-28-F215-4	4	23,5
	MBL 112M-28-F215-4	5,5	32

OVENSTÅENDE MOTORER LEVERES SOM STANDARD.  
 ANDRE FABRIKATER, SPENNINGER, FREKVENSER OG  
 OMDREININGSTALL KAN LEVERES.



Golar Metall  
K/S Munkenes A/S & Co.  
Postboks 70  
4901 TVEDESTRAND.

## Ordrebekreftelse

Deres bestilling **Nr. 22052**      Deres ref. **Herr Peder Thorbjørnsen**      Leveringstid **Uke 717**  
 Vår ordre nr. **77/1.153**      Vår ref. **NSJ**      ~~SKK~~ **Bergen, 5.4.1977**  
 Forsendelses-  
 adresse **Tvedestrand**      Forsendelses-  
 måte **Linjegods**  
 Merke **Ordre nr. 22052.**      Betaling **Netto pr. 30 dg**

Vi har med takk mottatt Deres nedenfor nevnte bestilling.

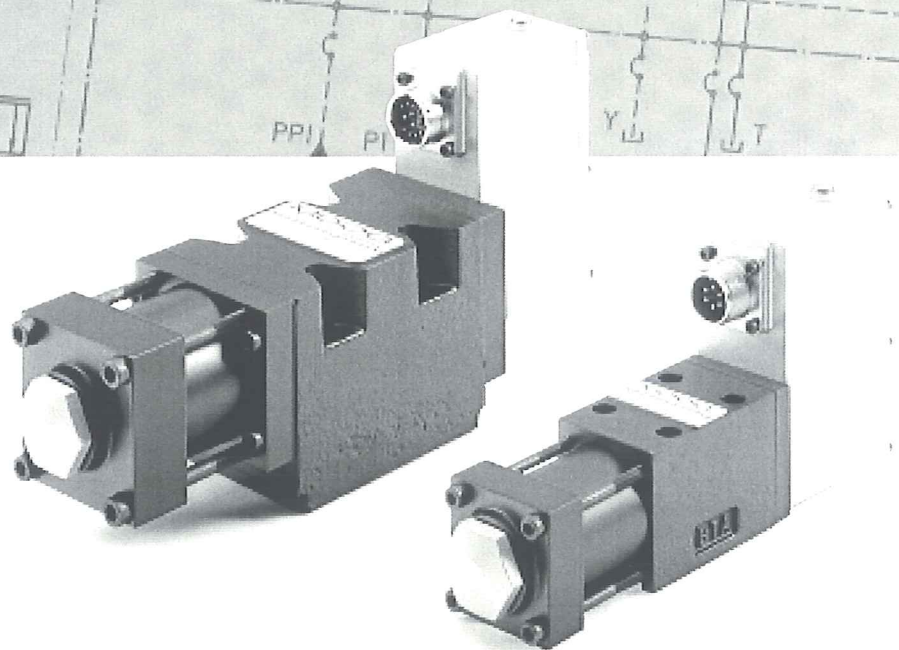
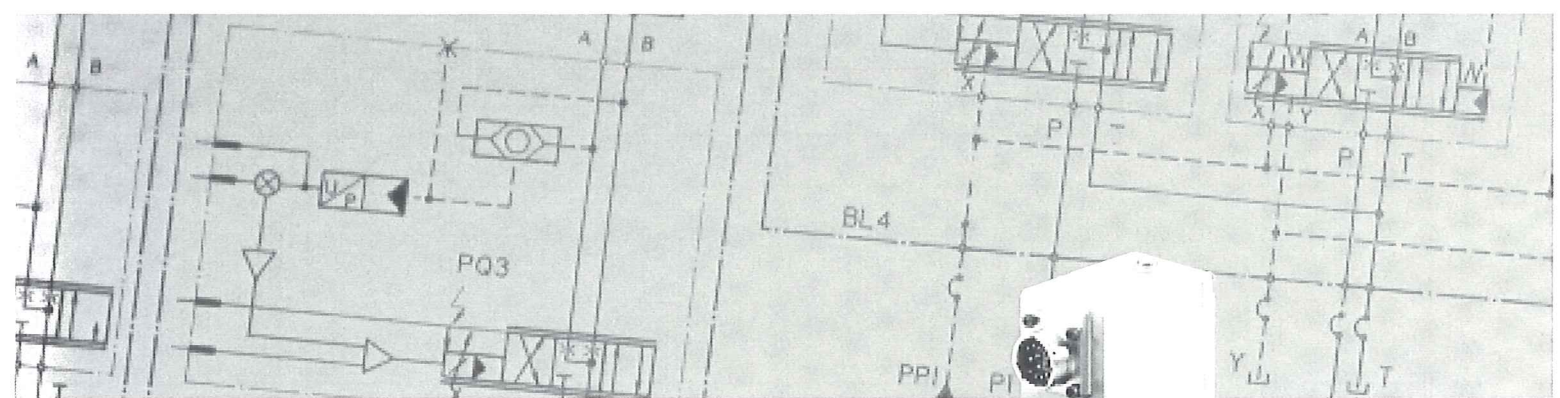
Pos.	Under- konto	Spesifikasjon	Pris	Beløp
		Pumpeenhet Vickers type PM10-10-1500-B-C-10-NO bestående av:		
1		1 stk. Oljetank PM10 komplett med påfyllingsplugg, oljestandsglass og returfilter UC-MS-1518-101.		
2		1 stk. Elastisk kobling type UC-DC-42-M24-PB.		
3		1 stk. Trykk-kompensert stempelpumpe Vickers type PVB10-RSY-30-C-10.		
4		1 stk. El.motor ASEA type MBL 132M-38F. 10 HK v/1430 rpm, disp. 214B. 3 x 220/380V 50Hz.		
5		1 stk. Trykkfilter Pall type HH 9000-C16-UPRBS, inkl. elektrisk kontakt. 3 my abs.		
		Enheten utvennlig grunnet med dekkstrøk grå hammerlakk. Prøvekjørt.		
		Samlet pris:		kr. 11.525,00
		Videre leveres som løse komponenter:		
6		2 stk. Trykk-kompensert flow-control med bakkventil Vickers type FCG-02-1500-40-UG.		
		Samlet pris:		kr. 1.940,00
			Transp.	kr. 13.465,00

SPERRY VICKERS ER EN AVDELING AV SPERRY RAND NORGE A/S

Med vennlig hilsen

# MOOG

**D633 and D634 Series  
Proportional Control Valves  
with Integrated 24 Volt Electronics  
ISO 4401 Size 03 and 05**



# OVERVIEW

Section	Page
Overview	2-3
Technical Data	4-5
Electronics	6-7
Performance Specs	8-11
Ordering Information	12

## MOOG SERVO-PROPORTIONAL CONTROL VALVES

For over 25 years Moog has manufactured proportional control valves with integrated electronics. During this time more than 150,000 valves have been delivered. These proportional control valves have been proven to provide reliable control of injection and blow molding equipment, die casting machines, presses, heavy industry equipment, paper and lumber processing and other applications.

## D633/D634 SERVO-PROPORTIONAL CONTROL VALVES

The D633 and D634 Series are Direct Drive Valves (DDV) with electric closed loop spool position control. These valves are throttle valves for 3-, 4-, and 2x2-way applications. They are suitable for electrohydraulic position, velocity, pressure or force control systems, including those with high dynamic response requirements.

The spool drive device is a permanent magnet linear force motor, which can actively stroke the spool from its spring-centered position in both directions, as compared with most proportional solenoids with one force direction only.

Our DDV Servo-Proportional Control Valves have 24V DC onboard, closed loop spool position and drive electronics. This integrated electronic features SMD technology and is pulse width modulated (PWM).

### Important

Before installation of the valve into the system, the complete hydraulic system must be flushed.

Please read the notes in section "Electronics", page 6.



Our quality management system is certified in accordance with DIN EN ISO 9001.



The valve series described in this catalog have successfully passed EMC tests required by EC Directive. Please refer to the respective references in the electronics section.



Valves available with explosion protection to EN 50018 and 55019, class II 2G EExde B+H2 T4, DMT 00 ATEX E 037, 0470 at D633 series and II 2G EExde B+H2 T3, DMT 00 ATEX E 037, 0470 at D634 series.

Note: Installation dimensions and electric connection altered. Special data sheet on request.

Meets EN60529 class IP65 requirement.

This catalog is for users with technical knowledge. To ensure that all necessary characteristics for function and safety of the system are given, the user has to check the suitability of the products described herein. In case of doubt, please contact Moog.



## FEATURES & BENEFITS

### High Dynamics for Faster Step Response

The high natural frequency of the Direct Drive Valve (300 Hz  $\pm$  10%) results in one of the highest dynamic servo-proportional valves on the market.

### High Pressure Gain of Direct Drive Pilot Valve for Reliable Operation

The valve's high-pressure gain offers improved spool position control even in situations with high internal flow forces and contaminated fluids.

### Direct Drive Pilot Valve for Dynamic Performance Independent of System Pressure

The electro-mechanical design of the Direct Drive Valve results in dynamic performance of the valve that is independent of system pressure.

### Improved Resistance to Contamination Reduces Down Time

The DDV Series Valves have high spool driving forces offering greater chip shearing forces, making the valve more tolerant to contamination.

### Flexible Design Elements Optimize the Valve to Your Application

The DDV Series Valves offer a variety of flow characteristics such as linear, dual-gain, and curvilinear in flow ranges from 1.5 to 26 gpm (5 to 40 lpm).

### Fail-Safe Versions for Defined Spool Position at Loss of Power

The spring offers automatic centering of the spool at loss of power, without passing a load move position. In addition, a trim adjustment can be set to a customer's requirement.

### Low Current Consumption Saves Energy

The linear force motor allows for low current consumption in normal operation and near hydraulic null, saving energy especially in multiple valve applications.

### Monitoring Signal for Evaluating System Integrity

6+PE pole connector allows access to a standardized spool positioning monitoring signal with low residual ripple.

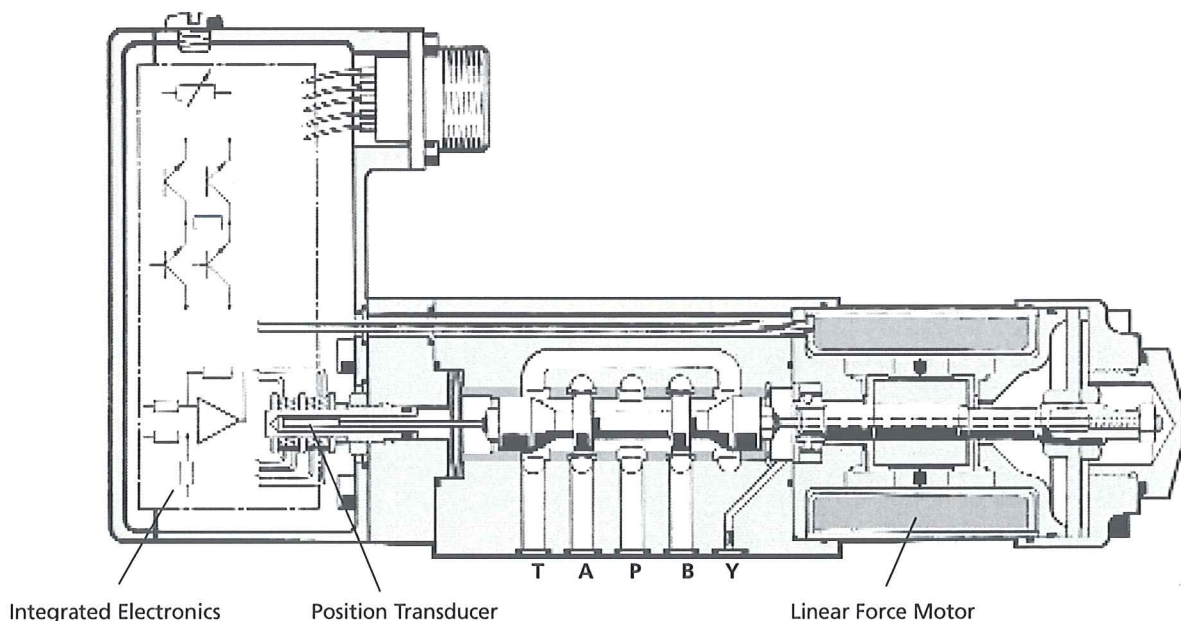
### High Flow Capability for High Velocity Applications

The D03 and D05 (NG6 and NG10) DDV Series valves offer high flow per body size.

### Low Hysteresis and Low Threshold for Better Control

The linear force motor combined with a spool and bushing design offers better overall system control.

D633 Single Stage Proportional Control Valve

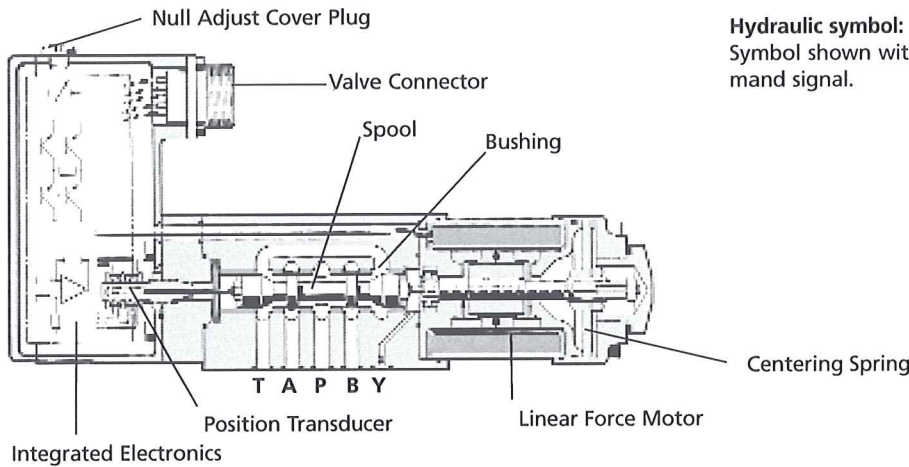


# TECHNICAL DATA

## OPERATING PRINCIPLES OF THE DIRECT DRIVE VALVES (DDV)

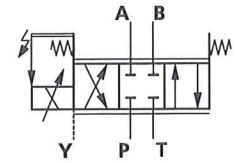
The position control loop for the spool with position transducer and linear force motor is closed by the integrated electronics. An electric signal corresponding to the desired spool position is applied to the integrated electronics and produces a pulse width modulated (PWM) current to drive the linear force motor. An oscillator excites the spool position transducer (LVDT) producing an electric signal proportional to spool position.

The demodulated spool position signal is compared with the command signal and the resulting spool position error causes current in the force motor coil until the spool has moved to its commanded position, and the spool position error is reduced to zero. The resulting spool position is thus proportional to the command signal.



### Hydraulic symbol:

Symbol shown with pilot pressure and electric supply on and zero command signal.



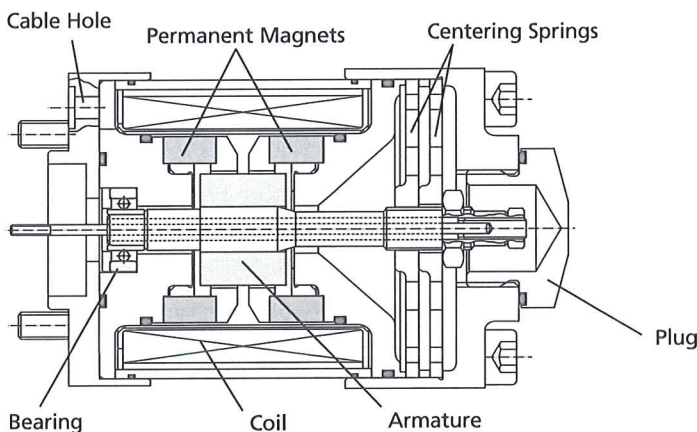
## OPERATING PRINCIPLES OF THE PERMANENT LINEAR FORCE MOTOR

The linear force motor is a permanent magnet differential motor. The permanent magnets provide part of the required magnetic force. For the linear force motor the current needed is considerably lower than would be required for a comparable proportional solenoid. The linear force motor has a neutral mid-position from which it generates force and stroke in both directions. Force and stroke are proportional to current.

stroking to centre position the spring force adds to the motor force and provides additional spool driving force which makes the valve very less contamination sensitive. The linear force motor needs very low current in the spring centered position.

High spring stiffness and resulting centering force plus external forces (i.e. flow forces, friction forces due to contamination) must be overcome during out-stroking. During back-

Proportional solenoid systems require for the same function two solenoids with more cabling. Another solution uses a single solenoid, working against a spring. In case of current loss in the solenoid, the spring drives the spool to the end position by passing through a fully open position. This can lead to uncontrolled load movements.



# TECHNICAL DATA

## PERFORMANCE SPECIFICATIONS FOR STANDARD MODELS

### Operating Pressure Range

Port P, A and B up to 5,000 psi [350 bar]  
 Port T see data of individual series

### Temperature Range

Ambient -4°F to +140°F [-20°C to +60°C]  
 Fluid -4°F to +176°F [-20°C to +80°C]

### Seal Material

NBR, FPM and others on request

### Operating Fluid

mineral oil based hydraulic fluid (DIN 51524, part 1 to 3), other fluids on request

### Viscosity

Recommended 15 to 100 mm<sup>2</sup>/s  
 Allowable 5 to 400 mm<sup>2</sup>/s

### System Filtration

High pressure filter (without bypass, but with dirt alarm) mounted in the main flow and if possible directly upstream of the valve.

### Class of Cleanliness

The cleanliness of the hydraulic fluid greatly effects the performance (spool positioning, high resolution) and wear (metering edges, pressure gain, leakage) of the valve.

### Recommended Cleanliness Class

For normal operation: ISO 4406 < 15/12  
 For longer life: ISO 4406 < 14/11

### Filter Rating recommended

For normal operation: β<sub>10</sub> ≥ 75 (10 μm absolute)  
 For longer life (wear): β<sub>5</sub> ≥ 75 (6 μm absolute)

### Installation Options

any position, fixed or movable

### Vibration

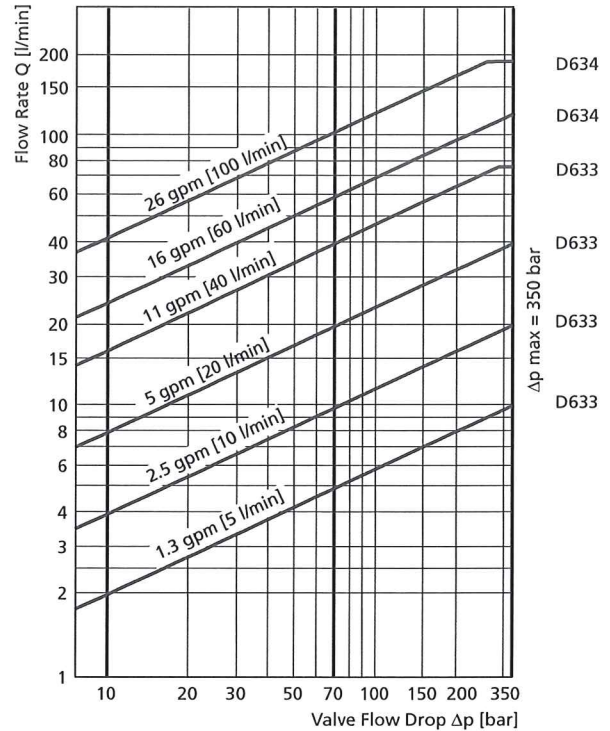
30 g, 3 axes

### Degree of Protection

EN60529 class IP 65, with mating connector mounted

### Shipping Plate

Delivered with an oil sealed shipping plate under the mounting surface.



### Valve Flow Diagram

Valve flow for maximum valve opening (100% command signal) as a function of the valve pressure drop

## VALVE FLOW CALCULATIONS

A valve's flow is dependent on the spool position and the pressure drop across the spool lands.

At 100% command signal (i.e. +10 VDC = 100% valve opening) the valve flow at rated pressure drop  $Dp_N = 35$  bar per metering land is the rated flow  $Q_N$ . For other than rated pressure drop the valve flow changes at constant command signal according to the square root function for sharp edged orifices.

$$Q = Q_N \sqrt{\frac{\Delta p}{\Delta p_N}}$$

Q [gpm] = calculated flow

$Q_N$  [gpm] = rated flow

$\Delta p$  [psi] = actual valve pressure drop

$\Delta p_N$  [psi] = rated valve pressure drop

The valve flow Q calculated in this way should result in an average flow velocity in ports P, A, B or T of less than 30 m/s.

## GENERAL REQUIREMENTS FOR VALVE ELECTRONICS

- Supply 24 VDC, min. 19 VDC, max. 32 VDC
  - Current consumption  $I_{Amax}$ 

for D633	1,2 A
for D634	2,2 A
  - External fuse per valve

for D633	1,6 A (slow)
for D634	2,5 A (slow)
- All signal lines, also those of external transducers, shielded.
- Shielding connected radially to ^ (0 V), power supply side, and connected to the mating connector housing (EMC).
- **EMC:** Meets the requirements of EN 55011:1998, class B, EN 50082-2:1995, performance criterion class A.
- Minimum cross-section of all leads  $\approx 0,75 \text{ mm}^2$ .  
Consider voltage losses between cabinet and valve.
- **Note:** When making electric connections to the valve (shield, protective earth) appropriate measures must be taken to ensure that locally different earth potentials do not result in excessive ground currents. See also Moog Application Note AM353E.

## VALVE ELECTRONICS WITH SUPPLY VOLTAGE 24 VOLT AND 6+PE POLE CONNECTOR

### Command signal 0 to ±10 mA floating, Valves with current command input

The spool stroke of the valve is proportional to  $I_D = -I_E$ .  
100% valve opening P → A and B → T is achieved at  $I_D = +10$  mA.  
At 0 mA command the spool is in centered position. The input pins D and E are inverting. Either pin D or E is used according to the required operating direction. The other pin is connected to signal ground at cabinet side.

### Command signal 0 to ±10 V, Valves with voltage command input

The spool stroke of the valve is proportional to  $(U_D - U_E)$ .  
100% valve opening P → A and B → T is achieved at  $(U_D - U_E) = +10$  V. At 0 V command the spool is in centered position. The input stage is a differential amplifier. If only one command signal is available, pin D or E is connected to signal ground at cabinet side, according to the required operating direction.

### Actual value 4 to 20 mA

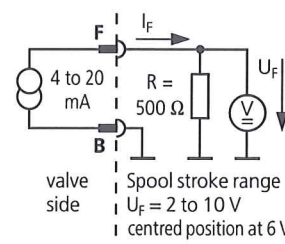
The actual spool position value can be measured at pin F (see diagram below). This signal can be used for monitoring and fault detection purposes. The spool stroke range corresponds to 4 to 20 mA.

The centered position is at 12 mA. 20 mA corresponds to 100% valve opening P → A and B → T. The position signal output 4 to 20 mA allows to detect a cable break when  $I_F = 0$  mA.

For failure detection purposes it is advised to connect pin F of the mating connector and route this signal to the control cabinet.

## CIRCUIT DIAGRAM

### Circuit diagram for measurement of actual $I_F$ (position of main spool) for valves with 6+PE pole connector



#### Note: Enable input

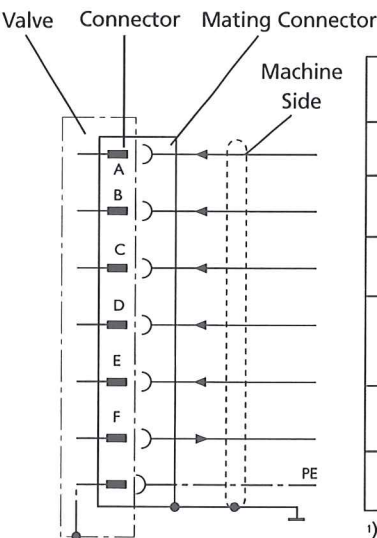
With enable signal off, the main spool will move to a safe position.

- a) Centered position (unbiased pilot valve function code A')
- b) End position (biased pilot valve function code B')

) see type designation

## CONNECTOR WIRING

Wiring for valves with 6+PE pole connector to EN 175201 Part 804<sup>3)</sup>, and mating connector (type R and S, metal shell) with leading protective earth connection ⊕.



Function	Voltage Command 0 to ±10 VDC	Current Command 0 to ±10 mA	Current Command + 4 ... +20 mA
Supply	24 VDC (19 to 32 VDC) (D633 only 22 to 28 VDC)*		
Supply / Signal Ground	⊥ (0 V)		
Not Used			
Input Rated Command (Differential)	$U_{D,E} = 0$ to ±10 V $R_e = 10$ kΩ Input Voltage $U_{D,E}$ and $U_{E,B}$	Input Command Input Command (Inverted)	$I_D = -I_E: 0$ to ±10 mA ( $R_e = 200$ ) $I_E = -I_D: 0$ to ±10 mA for both signal types is limited to min. -15V, max. +24V
Output Actual Spool Position	$I_{F,B} = 4$ to 20mA. At 12 mA spool is centered position $R_L = 300$ to 500 Ω.		
Protective Earth			

) formerly DIN 43563, \*before 01.01.2001

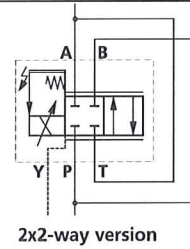
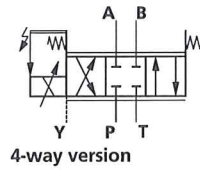
# TECHNICAL DATA

## PERFORMANCE SPECIFICATIONS FOR STANDARD MODELS

	English [Metric]	D633
Mounting Pattern (with or without leakage port Y*)		ISO 4401 - 03 - 03 - 0 - 94
Port Diameter	in [mm]	0.31 [7.9]
Valve Body Version		Single stage, spool in bushing 3-way, 4-way, 2x2-way directly, with permanent magnet linear force motor
Pilot Stage		
Pilot Connection		
Mass	lb [kg]	5.5 [2.5]
Rated Flow ( $\pm 10\%$ ) at $\Delta p_N = 500$ psi [35 bar] per land	gpm [l/min]	1.3 [5] / 2.6 [10] / 5.3 [20] / 10.6 [40]
Max. Valve Flow	gpm [l/min]	19.8 [75]
Operating Pressure max.		
Ports P, A, B	psi [bar]	5,075 [350]
Port T without Y	psi [bar]	725 [50]
port T with Y	psi [bar]	5,075 [350]
Port Y	psi [bar]	directly to tank
Response Time* for 0 to 100% stroke	[ms]	$\leq 12$
Threshold*	[%]	0.10
Hysteresis*	[%]	0.20
Null Shift* with $\Delta T = 55K$	[%]	1.5
Null Leakage Flow** total max. (~ critical lap)	gpm [l/min]	0.04 [0.15] / 0.08 [0.30] / 0.16 [0.60] / 0.32 [1.2]
Pilot Leakage Flow**	gpm [l/min]	
Pilot Flow** max., for 100% step input	gpm [l/min]	
Main Spool Stroke	in [mm]	
Spool Drive Area	in <sup>2</sup> [cm <sup>2</sup> ]	

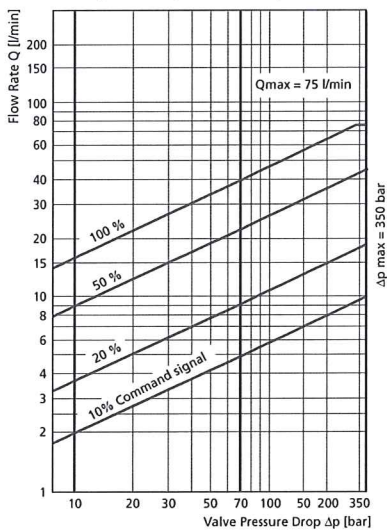
\* Leakage port Y must be used; with 3- and 4-way function and  $p_T > 725$  psi [50 bar]; with 2x2-way function

\*\* measured at 3,000 psi [210 bar] pilot or operating pressure, respectively, fluid viscosity of 32 mm<sup>2</sup>/s and fluid temperature of 104°F [40°C]



## PERFORMANCE SPECIFICATIONS FOR STANDARD MODELS

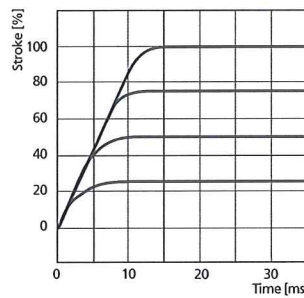
Flow vs. Signal Curve  
at  $\Delta p_N = 75$  psi [5 bar] per land



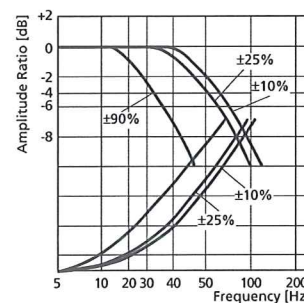
Spool version A: ~critical lap, linear characteristic (21)  
Spool version D: 10% overlap, linear characteristic  
Spool version Y: ~critical lap, curvilinear characteristic (21)

Typical characteristic curves measured at 3,000 psi [210 bar] pilot or operating pressure, fluid viscosity of 32 mm<sup>2</sup>/s and fluid temperature of 104°F [40°C]

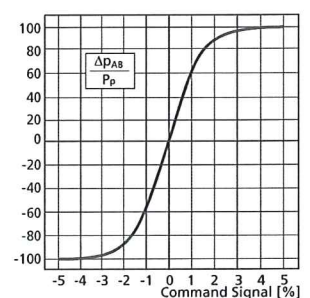
D633  
Step Response



Frequency Response

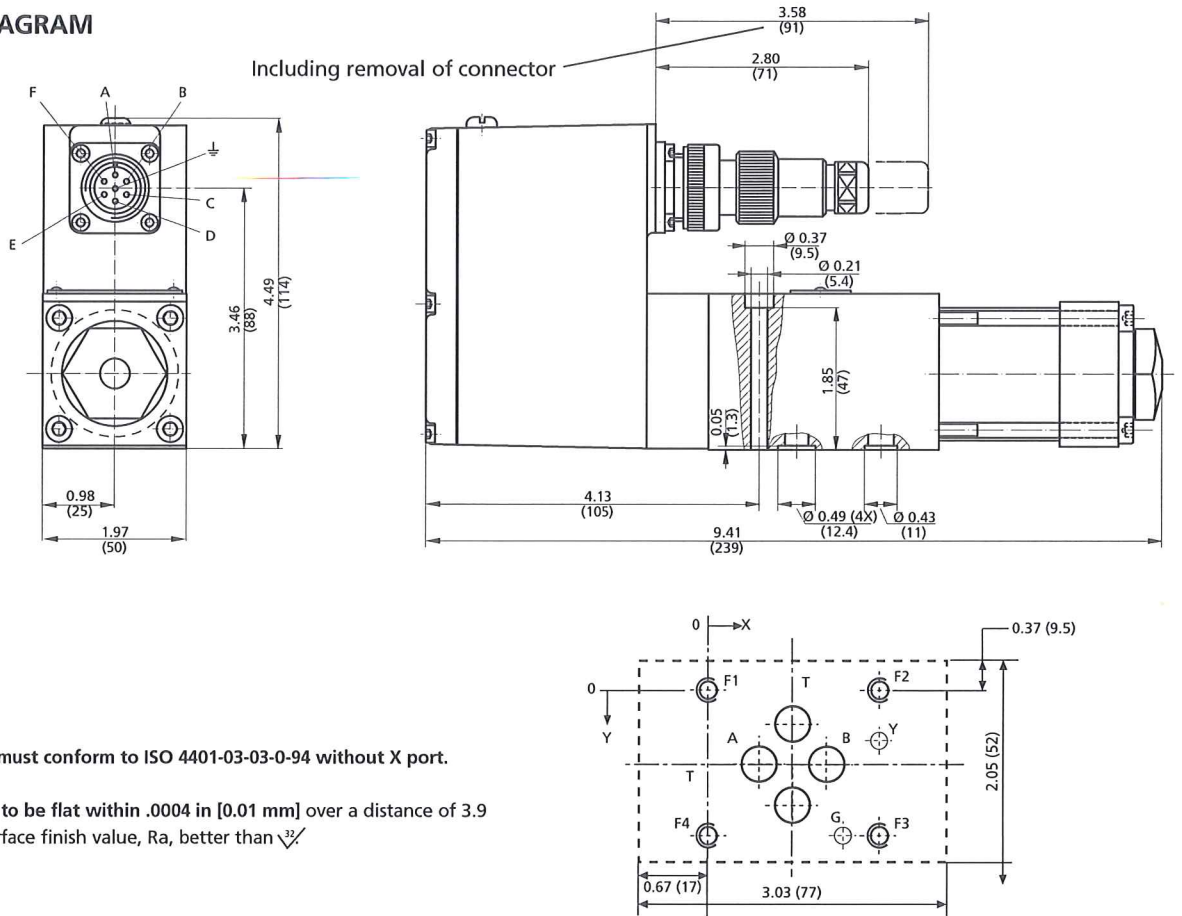


Pressure Gain



# TECHNICAL DATA

## INSTALLATION DIAGRAM



The mounting manifold must conform to ISO 4401-03-03-0-94 without X port.

Mounting surface needs to be flat within .0004 in [0.01 mm] over a distance of 3.9 in [100 mm]. Average surface finish value, Ra, better than  $\sqrt{3}$

	P	A	B	T	X*	Y	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	G
	Ø 0.295 [7.5]	Ø 0.295 [7.5]	Ø 0.295 [7.5]	Ø 0.295 [7.5]		Ø 0.13 [3.3]	M5	M5	M5	M5	0.157 [4.0]
x	0.846 [21.5]	0.50 [12.7]	1.189 [30.2]	0.846 [21.5]		1.59 [40.5]	0	1.59 [40.5]	1.59 [40.5]	0	1.30 [33.0]
y	1.02 [25.9]	0.61 [15.5]	0.61 [15.5]	0.20 [5.1]		0.345 [9.0]	0	-0.03 [-0.75]	1.25 [31.75]	1.22 [31.0]	1.25 [31.75]

\* Port X must not be drilled, not sealed at valve base.

## SPARE PARTS AND ACCESSORIES

O-rings (included in delivery) for ports P, T, A, B for port Y	4 pieces ID 0.36 [9.25] x Ø 0.07 [1.8] 1 piece ID 0.30 [7.65] x Ø 0.07 [1.8]	NBR 90 Shore 45122-013 45122-012	FPM 90 Shore 42082-013 42082-012
Mating connector, waterproof IP65 (not included in delivery) 6+PE-pole	B97007-061	EN 175201 Part 804	for cable dia min. 0.39 [10.0 mm], max. 0.47 [12.0 mm]
Flushing Plates	for P, A, B, T, X, Y B46634-002		
Mounting Manifolds	see special data sheet		
Mounting Bolts (not included in delivery) M 5 x 55 DIN EN ISO 4762-10.9	A03665-050-055	required torque 8.5 Nm	required 4 pieces

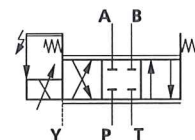
# TECHNICAL DATA

## PERFORMANCE SPECIFICATIONS FOR STANDARD MODELS

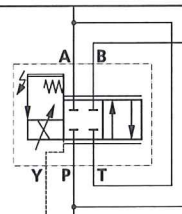
	English [Metric]	D634
Mounting Pattern (with or without leakage port Y*)		ISO 4401 - 05 - 05 - 0 - 94
Port Diameter	in [mm]	0.45 [11.5]
Valve Body Version		Single stage, spool in bushing 3-way, 4-way, 2x2-way directly, with permanent magnet linear force motor
Pilot Stage		
Pilot Connection		
Mass	lb [kg]	13.9 [6.3]
Rated Flow ( $\pm 10\%$ ) at $\Delta p_H = 500$ psi [35 bar] per land	gpm [l/min]	16 [60] / 26 [100]
Max. Valve Flow	gpm [l/min]	48.9 [185]
Operating Pressure max.		
Ports P, A, B	psi [bar]	5,075 [350]
Port T without Y	psi [bar]	725 [50]
port T with Y	psi [bar]	5,075 [350]
Port Y	psi [bar]	directly to tank
Response Time* for 0 to 100% stroke	[ms]	$\leq 20$
Threshold*	[%]	0.10
Hysteresis*	[%]	0.20
Null Shift* with $\Delta T = 55K$	[%]	1.5
Null Leakage Flow** total max. (~ critical lap)	gpm [l/min]	0.32 [1.2] / 0.53 [2.0]
Pilot Leakage Flow**	gpm [l/min]	
Pilot Flow** max., for 100% step input	gpm [l/min]	
Main Spool Stroke	in [mm]	
Spool Drive Area	in <sup>2</sup> [cm <sup>2</sup> ]	

\* Leakage port Y must be used; with 3- and 4-way function and  $p_T > p_i$  [50 bar]; with 2x2-way function

\*\* measured at 3,000 psi [210 bar] pilot or operating pressure, respectively, fluid viscosity of 32 mm<sup>2</sup>/s and fluid temperature of 104°F [40°C]



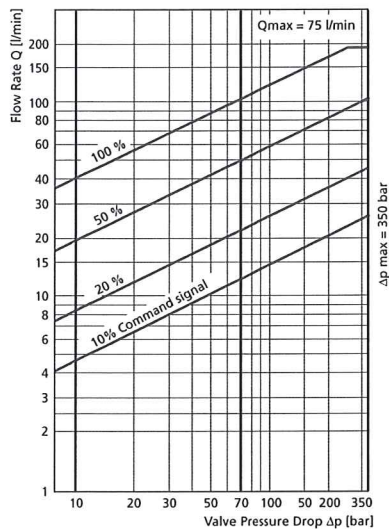
4-way version



2x2-way version

## PERFORMANCE SPECIFICATIONS FOR STANDARD MODELS

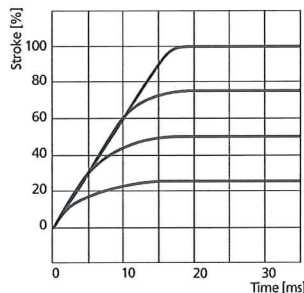
Flow vs. Signal Curve  
at  $\Delta p_H = 75$  psi [5 bar] per land



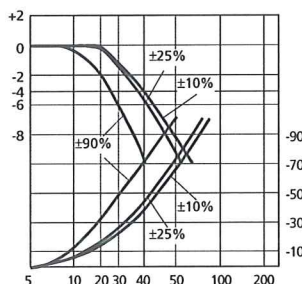
Spool version A: ~critical lap, linear characteristic (21)  
Spool version D: 10% overlap, linear characteristic  
Spool version Y: ~critical lap, curvilinear characteristic (21)

Typical characteristic curves measured at 3,000 psi [210 bar] pilot or operating pressure, fluid viscosity of 32 mm<sup>2</sup>/s and fluid temperature of 104°F [40°C]

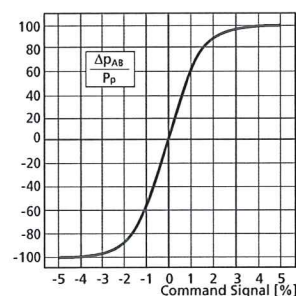
D634  
Step Response



Frequency Response



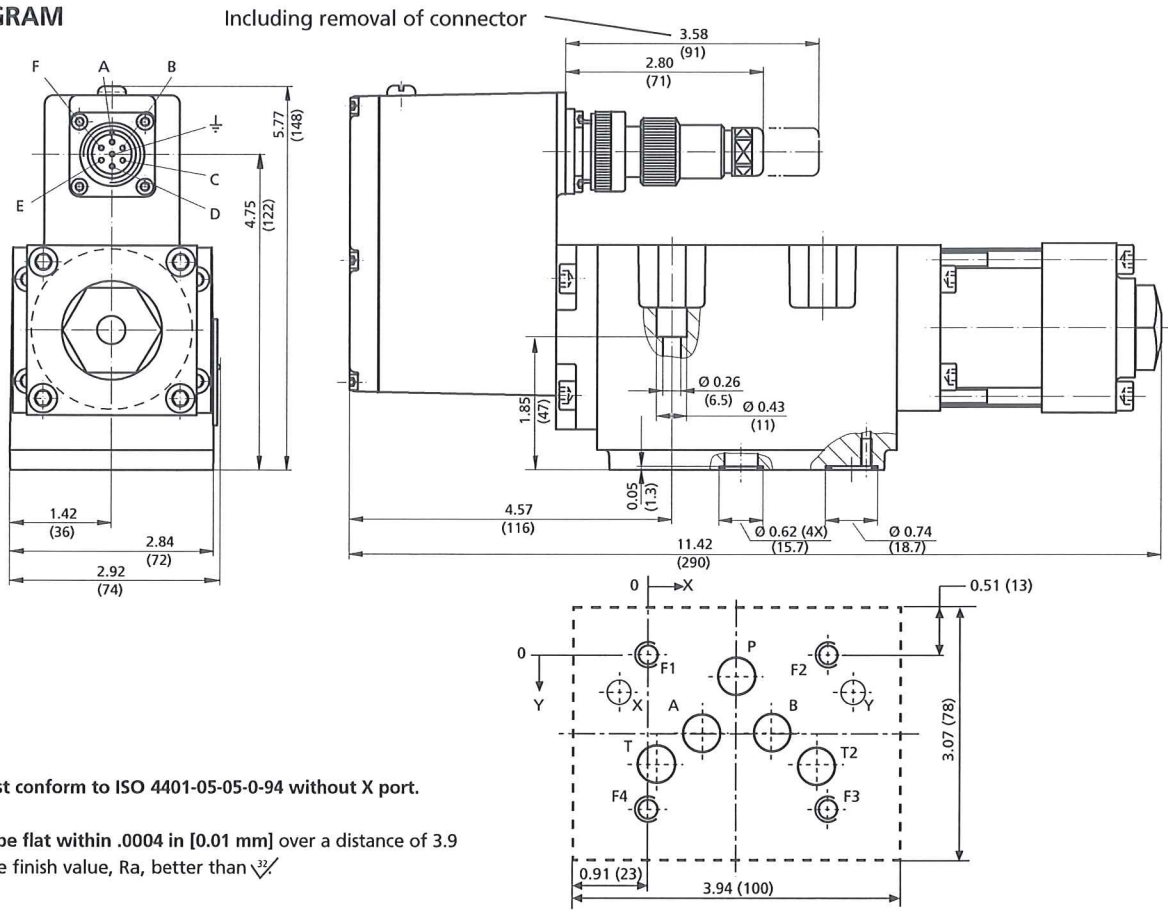
Pressure Gain





# TECHNICAL DATA

## INSTALLATION DIAGRAM



The mounting manifold must conform to ISO 4401-05-05-0-94 without X port.

Mounting surface needs to be flat within .0004 in [0.01 mm] over a distance of 3.9 in [100 mm]. Average surface finish value, Ra, better than  $\sqrt{3}$

	P	A	B	T	T <sub>2</sub>	X*	Y	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>
	Ø 0.441 [11.2]	Ø 0.441 [11.2]	Ø 0.441 [11.2]	Ø 0.441 [11.2]	Ø 0.441 [11.2]		Ø 0.248 [6.3]	M5	M5	M5	M5
x	1.063 [27.0]	0.657 [16.7]	1.469 [37.3]	0.126 [3.2]	2.0 [50.8]		2.44 [62.0]	0	2.126 [54.0]	2.126 [54.0]	0
y	0.248 [6.3]	0.843 [21.4]	0.843 [21.4]	1.28 [32.5]	1.28 [32.5]		0.433 [11.0]	0	0	1.811 [46.0]	1.811 [46.0]

\* Port X must not be drilled, not sealed at valve base.

## SPARE PARTS AND ACCESSORIES

O-rings (included in delivery) for ports P, T, A, B for port Y	5 pieces ID 0.48 [12.4] x Ø 0.07 [1.8] 1 piece ID 0.61 [15.6] x Ø 0.07 [1.8]	NBR 90 Shore 45122-004 45122-011	FPM 90 Shore 42082-004 42082-011
Mating connector, waterproof IP65 (not included in delivery) 6+PE-pole	B97007-061	EN 175201 Part 804	for cable dia min. 0.39 [10.0 mm], max. 0.47 [12.0 mm]
Flushing Plates	for P, A, B, T, T <sub>2</sub> , X, Y B67727-001		
Flushing Plates	for P, A, B, T, T <sub>2</sub> , X, Y B67727-002		
Flushing Plates	for P, A, B, T, T <sub>2</sub> , X, Y B67727-003		
Mounting Manifolds	see special data sheet		
Mounting Bolts (not included in delivery) M 6 x 60 DIN EN ISO 4762-10.9	A03665-060-060	required torque 13 Nm	required 4 pieces

# ORDERING INFORMATION

## Model Number

D63 . . . . .

Series	
3	Size 03
4	Size 05

Specification Status	
-	Series specification
E	Preseries specification
K	explosion proof version upon request
Z	Special specification

Model Designation	
	Assigned at the factory

Factory Identification

Valve Version	
R	With integrated electronics

Rated Flow			
Q <sub>n</sub> [l/min] at Δp <sub>n</sub> = 500 psi[35 bar] Δp <sub>n</sub> = 75 psi[5 bar] per land		Series	
02	5	2	D633
04	10	4	D633
08	20	8	D633
16	40	16	D633
24	60	24	D634
40	100	40	D634

Maximum Operating Pressure	
K	350 bar

Bushing Spool Type	
O	4-way: axis cut, linear characteristic
A	4-way: 1.5 to 3% overlap, linear characteristic
D	4-way: 10% overlap, linear characteristic
Z	2x2-way: P ▸ A, B ▸ T, with Y port only
X	Special spool on request

## Type Designation

. . . . .

Supply Voltage	
2	+24 VDC (22 to 28 VDC)

Signals for 100% Spool Stroke		
Command		Output
M	±10 VDC	+4 to +20 mA
P	0 to ±10 mA	+4 to +20 mA
S	+4 to +20 mA	+4 to +20 mA
X	±10 mA, floating	+4 to +20 mA

Valve Connector	
S	6+PE pole (7/8-20 UNF 2A) DIN 43563

Seal Material	
N	NBR (Buna)
V	FPM (Viton)
	Other materials on request

Y - Port		
0	Closed with plug	PT max = 715 psi[50 bar]
1	Open, with filter insert	P <sub>r</sub> > 715 psi[50 bar]

Spool Position without Electrical Supply	
M	Mid-position
A	P ▸ B, A ▸ T (10% open, min.)
B	P ▸ B, A ▸ T (10% open, min.)
	Other openings on request

Linear Force Motor		Series
1	Standard	D633
2	Standard	D634

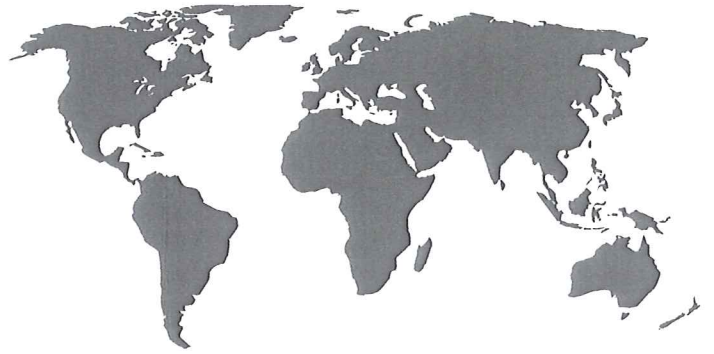
Preferred configurations are highlighted. Options may increase price. Technical changes are reserved. All combinations may not be available. For special options, letters not on the information above may be applied. Please contact Moog.

## NOTES

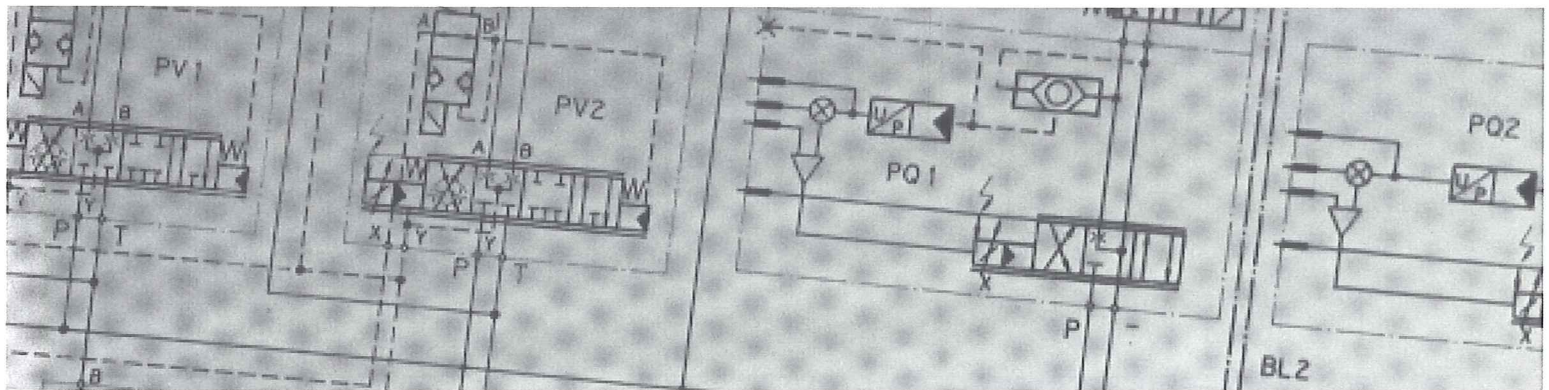
---

## NOTES

---



Argentina  
Australia  
Austria  
Brazil  
China  
England  
Finland  
France  
Germany



India  
Ireland  
Italy  
Japan  
Korea  
Luxembourg  
Norway  
Russia  
Singapore  
Spain  
Sweden  
USA

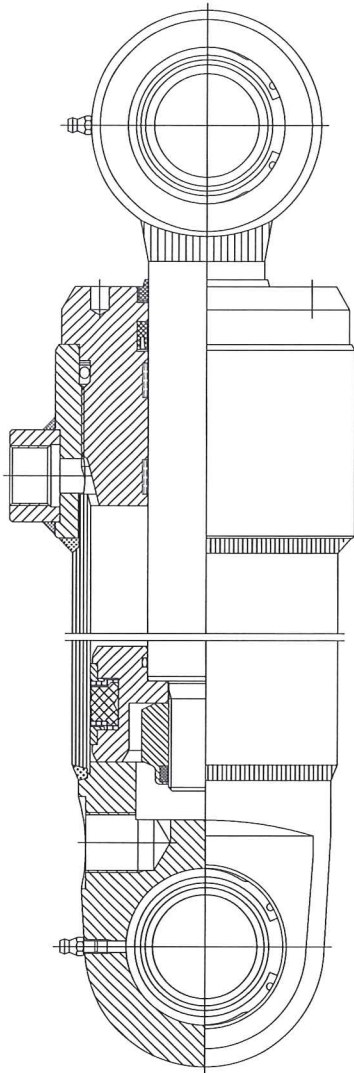
# MOOG

Moog Industrial Controls Division  
East Aurora, NY 14052-0018  
Telephone: 716/655-3000  
Fax: 716/655-1803  
Toll Free: 1-800-272-MOOG  
[www.moog.com](http://www.moog.com)



# LJM NH 30 hydraulikcylinder

## Tekniske specifikationer:



### Generelt:

NH 30 er en dobbeltvirkende hydraulikcylinder.  
Anvendelse: Robust hydraulikcylinder, skibshydraulik og lignende formål.  
Cylinderdiameter fra Ø25 til Ø250 mm.

### Opbygning:

(Se skitse).

### Cylinderrør:

Stålrør, (SIS 2172).  
Honet til Ra max. 0,3 µm.  
Indvendig tolerance H9.

### Stempelstang:

Centerlesslebet stål (SIS 2142), som er hårdtforchromet min. 20 µm.  
Hårdhed: min. 850 HV. Ra max. 0,3 µm.  
Leveres også med nikkel/chrom belægning. Udvendig tolerance h9.  
Leveres også i syrefast materiale med chrombelægning.  
Alternative materialer kan også leveres.

### Pakninger:

(Se pakningsvejledning.)

### Beslag:

Cylinder: (Se oversigtsblad).

- S Sfærisk øje.
- A Fast øje.
- B Gaffelbeslag.
- C Fodflange.
- F Frontflange.
- V Vippebeslag.
- H Fodflange.

Stang: (Se oversigtsblad).

- S Sfærisk øje.
- A Fast øje.
- B Gaffelbeslag.
- C Flange.
- G Gevind.

Ovennævnte kan frit kombineres. NH30 kan også leveres med gennemgående stempelstang, og dæmpning i begge ender.

### Tilslutninger:

Cylindrisk rørgvind RG, gevindlængde svarende til standardfittings.

### Drifttryk:

Drifttryk: Max. 250 bar.

### Stempelhastighed:

Max. stempelhastighed: 0,3 m/s. Ved højere hastigheder anvendes specialpakninger.

### Drifttemperatur:

Temperaturområde:  
- 20° C til + 80° C.

Ved højere/lavere temperatur anvendes specialpakninger.

### Trykmedie:

Hydraulikolie på mineraloliebasis. Anvendes andet medie skal det opgives ved bestilling.

### Test:

Cylindre trykafprøves ved 350 bar samt funktionstestes, før de forlader fabrikken.

### Bestillingskode:

Se specifikationsformular 4.

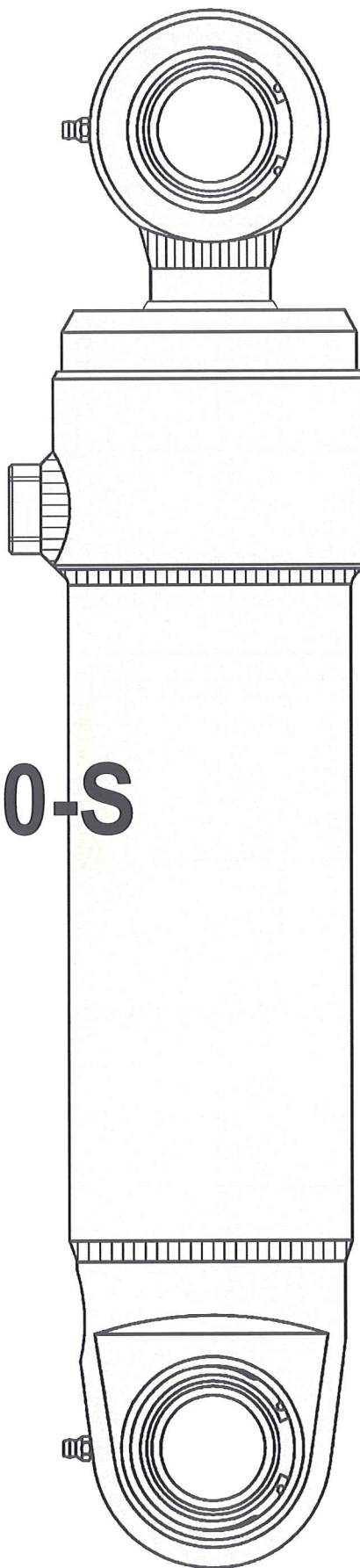
# LJM



Lind Jensens Maskinfabrik A/S  
Kroghusvej 7, Højmark, DK-6940 Lem St.  
Tlf.: +45 97 34 32 00 Fax: +45 96 74 42 97  
E-mail: hydraulik@ljm.dk Home page: www.ljm.dk



# LJM NH 30-S



## Hydraulikcylinder

Sfærisk ledleje i bundstykke/Dobbelt- og enkeltvirkende

## Hydraulikzylinder

Sphärisches Gelenklager/Doppelt- und einfachwirkend

## Hydraulic cylinder

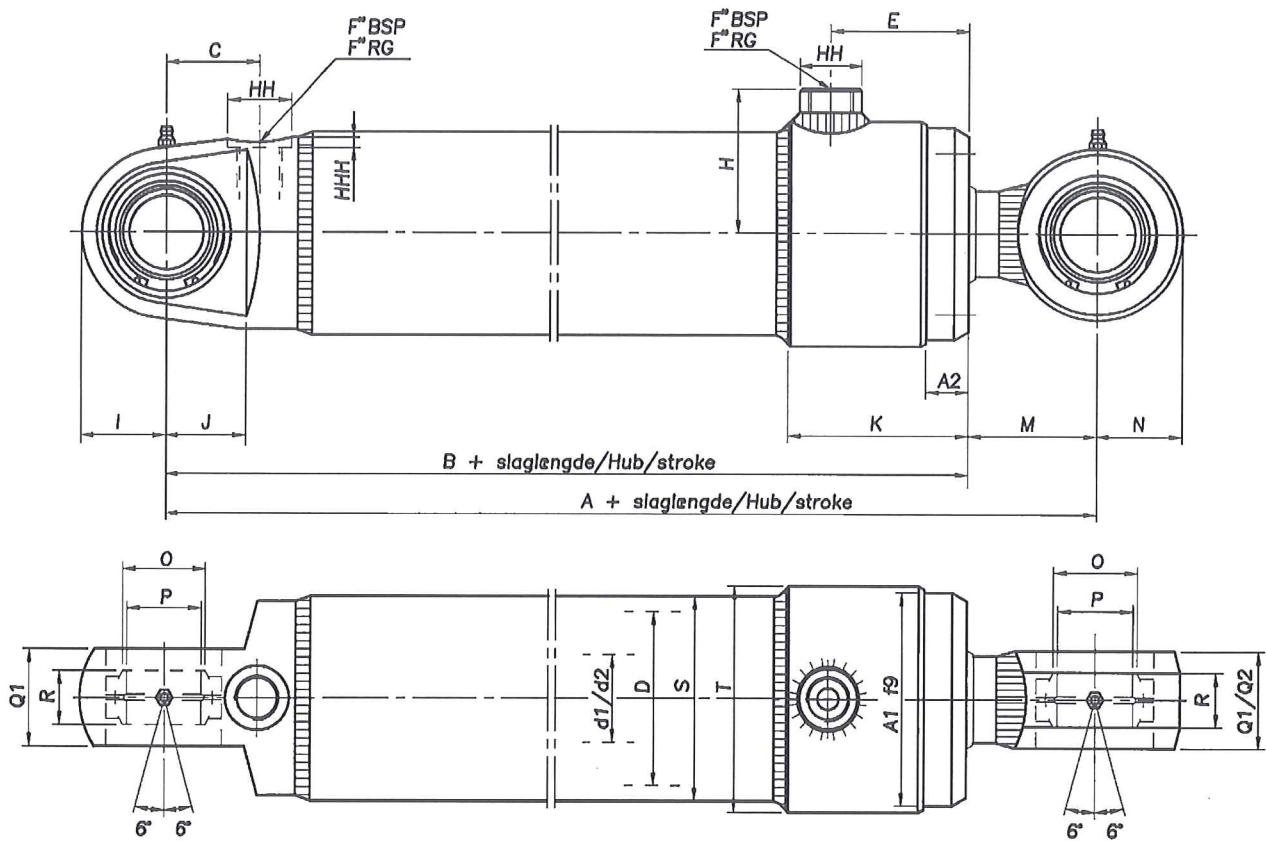
Spherical bearing in bottom/Double and single acting



# NH 30-S

Hydraulikcylinder / Hydraulikzylinder / Hydraulic cylinder

## Målskitse/Massblatt/Dimension sketch

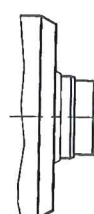
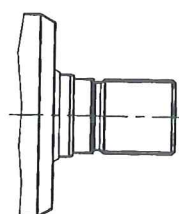
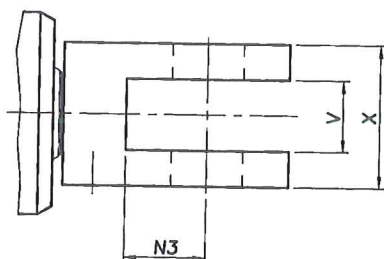
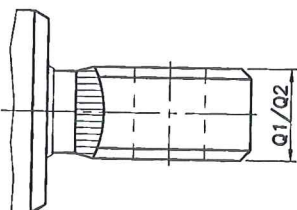
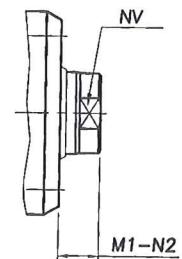
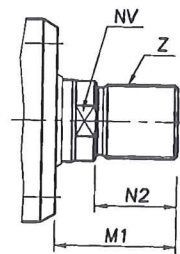
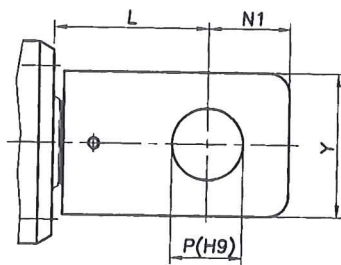
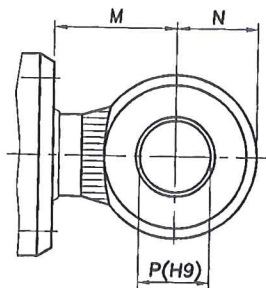


Stempelstangsophæng/Kolbenstangenbefestigung/Piston rod mounting

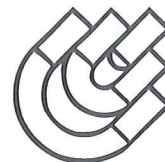
A

B

G



# Målskema/Masstabelle/Dimension table



D Index	25	40	50	63	80	100	125	140	160	180	200	250
A	170	185	205	225	240	280	320	400	450	470	525	655
B	137,5	150	162	175	180	210	235	300	335	355	395	490
d1/d2	12/16	20/25	25/35	30/40	40/50	50/65	65/80	70/90	80/100	90/110	100/125	125/150
C	30	31	42,5	40	44	45	78	81	88	103	113	185
E	43,5	52,5	52	61	66	82	73	102,5	126	110	145	152
F	1/4"	3/8"	3/8"	1/2"	1/2"	3/4"	3/4"	1"	1"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"
H	35	45	52,5	60	67,5	85	99,5	117,5	126	141	150	186
HH	20	25	25	30	30	40	40	50	50	60	60	60
HHH	2,7	2,5	2,1	2,5	2,5	3	3	3,5	3,5	3,5	3,5	3
I	17,5	25	30	35	40	52	65	77,5	85	85	100	125
J	15	25	25	30	38	48	55	75	80	90	100	130
K	58,5	70	69,5	81,5	86	109	100	136	159,5	150	185	192
L	39	40	53	58	76	86	110	115	135	160	160	210
M	32,5	35	43	50	60	70	85	100	115	115	130	165
M1	35	35	43	50	60	70	85	100	115	125	130	170
N	17,5	25	30	35	40	50	65	80	85	84,5	100	125
N1	16	20	25	30	40	50	65	65	85	90	100	125
N2	24	25	30	35	40	50	65	75	85	95	100	130
N3	13,5	20	30	35	40	50	60	65	80	90	100	125
O	15	24	29	34	39	50	66	77	77	89	89	109
P	12	20	25	30	35	45	60	70	70	80	80	100
Q1/Q2	15/20	25/30	30/40	35/45	45/55	55/70	70/85	75/95	85/105	95/115	105/130	130/155
R	10	16	20	22	25	32	44	49	49	55	55	70
S	32	50	60	75	95	115	145	160	185	205	230	285
T	45	60	75	90	105	130	159	185	202	230	250	320
V	15	20	25	30	35	40	50	60	70	75	80	100
X	30	35	45	60	70	80	100	125	150	170	180	230
Y	30	35	45	60	70	80	100	140	170	190	200	250
Z	M12x1,25	M16x2	M22x2	M24x2	M36x2	M42x2	M52x2	M56x2	M70x2	M80x3	M80x3	M100x3
A1	39	54	69	84	99	125	145	165	185	205	240	295
A2	10	15	17	20	20	25	15	20	25	25	25	35
1*	25	33,5	33,5	34	41	46	50	50	50	55	55	75
2*	50	67	67	68	82	92	100	100	100	110	110	150
3*	10	10	10	15	15	15	20	5	10	25	20	25
NV	10/13	17/19	22/27	24/32	36/42	46/50	55/60	60/80	70/90	80/100	85/110	110/135

1\* Tillæg for A og B, når cylinder skal være med dæmpning i top eller bund.

2\* Tillæg for A og B, når cylinder skal være med dæmpning i top og bund.

3\* Tillæg for A og B, når dobbeltvirkende cylinder er med læbepakning (LP), eller Heavy Duty (MW) for NH30-25 T.O.M. NH30-125.

Alle angivne mål er i (mm). Ret til ændringer forbeholdes.

☒ På bundstykke Q1 = 28.

1\* Zusatz für A und B, wenn der Zylinder am Kopf oder am Boden eine Dämpfung hat.

2\* Zusatz für A und B, wenn der Zylinder am Kopf und am Boden eine Dämpfung hat.

3\* Zusatz für A und B, wenn der doppelwirkende Zylinder mit einer Lippendichtung (LP) ausgestattet ist, oder wenn der Zylinder Stangenführingsbänder (MW) hat von NH30-25 bis NH30-125.

Alle angegebene Masse sind in (mm). Wir behalten uns das Recht von Änderungen vor.

☒ Auf dem Bodenstück Q1 = 28.

1\* Addition for A and B when cylinder is to have damping in top or bottom.

2\* Addition for A and B when cylinder is to have damping in top and bottom.

3\* Addition for A and B when double-acting cylinder has lip seals (LP) or Heavy Duty (MW) for NH30-25 to NH30-125 both included.

Unless otherwise specified, all dimensions are in (mm). Right to alterations reserved.

☒ On bottom Q1 = 28.

# Low-Cost Multifunction DAQ for USB

## NI USB-6008, NI USB-6009

- Small and portable
- 12 or 14-bit input resolution, at up to 48 kS/s
- Built-in, removable connectors for easier and more cost-effective connectivity
- 2 true DAC analog outputs for accurate output signals
- 12 digital I/O lines (TTL/LVTTL/CMOS)
- 32-bit event counter
- Student kits available
- OEM versions available

### Operating Systems

- Windows 2000/XP
- Mac OS X<sup>1</sup>
- Linux<sup>®</sup>1
- Pocket PC
- Win CE

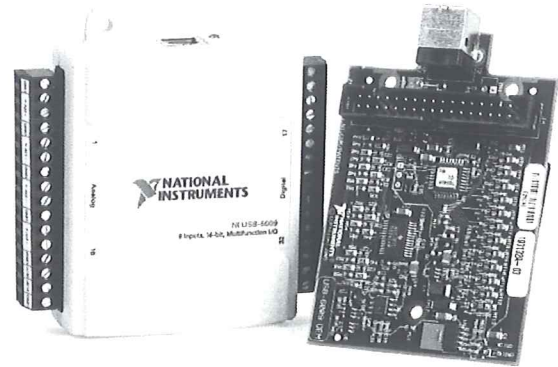
### Recommended Software

- LabVIEW
- LabWindows/CVI

### Measurement Services Software (included)

- NI-DAQmx
- Ready-to-run data logger

<sup>1</sup>Mac OS X and Linux users need to download NI-DAQmx Base.



Product	Bus	Analog Inputs <sup>1</sup>	Input Resolution (bits)	Max Sampling Rate (kS/s)	Input Range (V)	Analog Outputs	Output Resolution (bits)	Output Rate (Hz)	Output Range (V)	Digital I/O Lines	32-Bit Counter	Trigger
USB-6009	USB	8 SE/4 DI	14	48	±1 to ±20	2	12	150	0 to 5	12	1	Digital
USB-6008	USB	8 SE/4 DI	12	10	±1 to ±20	2	12	150	0 to 5	12	1	Digital

<sup>1</sup>SE = single ended, DI = differential

## Hardware Description

The National Instruments USB-6008 and USB-6009 multifunction data acquisition (DAQ) modules provide reliable data acquisition at a low price. With plug-and-play USB connectivity, these modules are simple enough for quick measurements but versatile enough for more complex measurement applications.

## Software Description

The NI USB-6008 and USB-6009 use NI-DAQmx high-performance, multithreaded driver software for interactive configuration and data acquisition on Windows OSs. All NI data acquisition devices shipped with NI-DAQmx also include VI Logger Lite, a configuration-based data-logging software package.

Mac OS X and Linux users can download NI-DAQmx Base, a multiplatform driver with a limited NI-DAQmx programming interface. You can use NI-DAQmx Base to develop customized data acquisition applications with National Instruments LabVIEW or C-based development environments. NI-DAQmx Base includes a ready-to-run data logger application that acquires and logs up to eight channels of analog data.

PDA users can download NI-DAQmx Base for Pocket PC and Win CE to develop customized handheld data acquisition applications.

## Recommended Accessories

The USB-6008 and USB-6009 have removable screw terminals for easy signal connectivity. For extra flexibility when handling multiple wiring configurations, NI offers the USB-6008/09 Accessory Kit, which includes two extra sets of screw terminals, extra labels, and a screwdriver.

In addition, the USB-6008/09 Prototyping Accessory provides space for adding more circuitry to the inputs of the USB-6008 or USB-6009.

## Common Applications

The USB-6008 and USB-6009 are ideal for a number of applications where economy, small size, and simplicity are essential, such as:

- Data logging – Log environmental or voltage data quickly and easily.
- Academic lab use – The low price facilitates student ownership of DAQ hardware for completely interactive lab-based courses. (Academic pricing available. Visit [ni.com/academic](http://ni.com/academic) for details.)
- Embedded OEM applications.

## Low-Cost Multifunction DAQ for USB

---

### Information for Student Ownership

To supplement simulation, measurement, and automation theory courses with practical experiments, NI has developed the USB-6008 and USB-6009 student kits, which include the LabVIEW Student Edition and a ready-to-run data logger application. These kits are exclusively for students, giving them a powerful, low-cost hands-on learning tool. Visit [ni.com/academic](http://ni.com/academic) for more details.

### Information for OEM Customers

For information on special configurations and pricing, call (800) 813 3693 (U.S. only) or visit [ni.com/oem](http://ni.com/oem). Go to the Ordering Information section for part numbers.

### Ordering Information

NI USB-6008 <sup>1</sup> .....	779051-01
NI USB-6009 <sup>1</sup> .....	779026-01
NI USB-6008 OEM .....	193132-02
NI USB-6009 OEM .....	193132-01
NI USB-6008 Student Kit <sup>1,2</sup> .....	779320-22
NI USB-6009 Student Kit <sup>1,2</sup> .....	779321-22

<sup>1</sup> Includes NI-DAQmx software, NI ready-to-run data logger software, and a USB cable.

<sup>2</sup> Includes LabVIEW Student Edition.

### **BUY NOW!**

For complete product specifications, pricing, and accessory information, call 800 265 9891 (U.S. only) or go to [ni.com/usb](http://ni.com/usb).

**BUY ONLINE at [ni.com](http://ni.com) or CALL (800) 813 3693 (U.S.)**

# Low-Cost Multifunction DAQ for USB

## Specifications

Typical at 25 °C unless otherwise noted.

### Analog Input

#### Absolute accuracy, single-ended

Range	Typical at 25 °C (mV)	Maximum (0 to 55 °C) (mV)
±10	14.7	138

#### Absolute accuracy at full scale, differential<sup>1</sup>

Range	Typical at 25 °C (mV)	Maximum (0 to 55 °C) (mV)
±20	14.7	138
±10	7.73	84.8
±5	4.28	58.4
±4	3.59	53.1
±2.5	2.56	45.1
±2	2.21	42.5
±1.25	1.70	38.9
±1	1.53	37.5

Number of channels..... 8 single-ended/4 differential  
 Type of ADC ..... Successive approximation

#### ADC resolution (bits)

Module	Differential	Single-Ended
USB-6008	12	11
USB-6009	14	13

#### Maximum sampling rate (system dependent)

Module	Maximum Sampling Rate (kS/s)
USB-6008	10
USB-6009	48

Input range, single-ended..... ±10 V  
 Input range, differential..... ±20, ±10, ±5, ±4, ±2.5, ±2, ±1.25, ±1 V  
 Maximum working voltage..... ±10 V  
 Overvoltage protection..... ±35 V  
 FIFO buffer size..... 512 B  
 Timing resolution..... 41.67 ns (24 MHz timebase)  
 Timing accuracy..... 100 ppm of actual sample rate  
 Input impedance..... 144 k  
 Trigger source..... Software or external digital trigger  
 System noise..... 0.3 LSB<sub>rms</sub> (±10 V range)

### Analog Output

Absolute accuracy (no load)..... 7 mV typical, 36.4 mV maximum at full scale  
 Number of channels..... 2  
 Type of DAC..... Successive approximation  
 DAC resolution..... 12 bits  
 Maximum update rate..... 150 Hz, software-timed

Output range..... 0 to +5 V  
 Output impedance..... 50 Ω  
 Output current drive..... 5 mA  
 Power-on state..... 0 V  
 Slew rate..... 1 V/μs  
 Short-circuit current..... 50 mA

### Digital I/O

Number of channels..... 12 total  
 8 (P0.<0..7>)  
 4 (P1.<0..3>)  
 Direction control..... Each channel individually programmable as input or output  
 Output driver type  
 USB-6008..... Open-drain  
 USB-6009..... Each channel individually programmable as push-pull or open-drain  
 Compatibility..... CMOS, TTL, LVTTTL  
 Internal pull-up resistor..... 4.7 kΩ to +5 V  
 Power-on state..... Input (high impedance)  
 Absolute maximum voltage range..... -0.5 to +5.8 V

### Digital logic levels

Level	Min	Max	Units
Input low voltage	-0.3	0.8	V
Input high voltage	2.0	5.8	V
Input leakage current	-	50	μA
Output low voltage (I = 8.5 mA)	-	0.8	V
Output high voltage (push-pull, I = -8.5 mA)	2.0	3.5	V
Output high voltage (open-drain, I = -0.6 mA, nominal)	2.0	5.0	V
Output high voltage (open-drain, I = -8.5 mA, with external pull-up resistor)	2.0	-	V

### Counter

Number of counters..... 1  
 Resolution..... 32 bits  
 Counter measurements..... Edge counting (falling edge)  
 Pull-up resistor..... 4.7 kΩ to 5 V  
 Maximum input frequency..... 5 MHz  
 Minimum high pulse width..... 100 ns  
 Minimum low pulse width..... 100 ns  
 Input high voltage..... 2.0 V  
 Input low voltage..... 0.8 V

### Power available at I/O connector

+5 V output (200 mA maximum)..... +5 V typical  
 +4.85 V minimum  
 +2.5 V output (1 mA maximum)..... +2.5 V typical  
 +2.5 V output accuracy..... 0.25% max  
 Voltage reference temperature drift... 50 ppm/°C max

<sup>1</sup>Input voltages may not exceed the working voltage range.

## Low-Cost Multifunction DAQ for USB

### Physical Characteristics

If you need to clean the module, wipe it with a dry towel.

Dimensions (without connectors).....	6.35 by 8.51 by 2.31 cm (2.50 by 3.35 by 0.91 in.)
Dimensions (with connectors) .....	8.18 by 8.51 by 2.31 cm (3.22 by 3.35 by 0.91 in.)
Weight (without connectors).....	59 g (2.1 oz)
Weight (with connectors) .....	84 g (3 oz)
I/O connectors.....	USB series B receptacle (2) 16-position (screw-terminal) plug headers
Screw-terminal wiring.....	16 to 28 AWG
Screw-terminal torque.....	0.22 to 0.25 N•m (2.0 to 2.2 lb•in.)

### Power Requirement

USB (4.10 to 5.25 VDC).....	80 mA typical 500 mA maximum
USB suspend.....	300 µA typical 500 µA maximum

### Environmental

The USB-6008 and USB-6009 are intended for indoor use only.

Operating environment	
Ambient temperature range.....	0 to 55 °C (tested in accordance with IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2)
Relative humidity range .....	10 to 90%, noncondensing (tested in accordance with IEC-60068-2-56)
Storage environment	
Ambient temperature range.....	-40 to 85 °C (tested in accordance with IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2)
Relative humidity range .....	5 to 90%, noncondensing (tested in accordance with IEC-60068-2-56)
Maximum altitude.....	2,000 m (at 25 °C ambient temperature)
Pollution degree.....	2

### Safety and Compliance

#### Safety

This product is designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1, CAN/CSA-C22.2 No. 61010-1

**Note:** For UL and other safety certifications, refer to the product label or visit [ni.com/certification](http://ni.com/certification), search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

#### Electromagnetic Compatibility

This product is designed to meet the requirements of the following standards of EMC for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- EN 61326 EMC requirements; Minimum Immunity
- EN 55011 Emissions; Group 1, Class A
- CE, C-Tick, ICES, and FCC Part 15 Emissions; Class A

**Note:** For EMC compliance, operate this device according to product documentation.

#### CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as amended for CE marking, as follows:

- 73/23/EEC; Low-Voltage Directive (safety)
- 89/336/EEC; Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)

**Note:** Refer to the Declaration of Conformity (DoC) for this product for any additional regulatory compliance information. To obtain the DoC for this product, visit [ni.com/certification](http://ni.com/certification), search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

#### Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)

**EU Customers:** At the end of their life cycle, all products must be sent to a WEEE recycling center. For more information about WEEE recycling centers and National Instruments WEEE initiatives, visit [ni.com/environment/weee.htm](http://ni.com/environment/weee.htm).

# NI Services and Support



NI has the services and support to meet your needs around the globe and through the application life cycle – from planning and development through deployment and ongoing maintenance. We offer services and service levels to meet customer requirements in research, design, validation, and manufacturing. Visit [ni.com/services](http://ni.com/services).

## Training and Certification

NI training is the fastest, most certain route to productivity with our products. NI training can shorten your learning curve, save development time, and reduce maintenance costs over the application life cycle. We schedule instructor-led courses in cities worldwide, or we can hold a course at your facility. We also offer a professional certification program that identifies individuals who have high levels of skill and knowledge on using NI products. Visit [ni.com/training](http://ni.com/training).

## Professional Services

Our Professional Services Team is comprised of NI applications engineers, NI Consulting Services, and a worldwide National Instruments Alliance Partner program of more than 600 independent consultants and integrators. Services range from start-up assistance to turnkey system integration. Visit [ni.com/alliance](http://ni.com/alliance).



## OEM Support

We offer design-in consulting and product integration assistance if you want to use our products for OEM applications. For information about special pricing and services for OEM customers, visit [ni.com/oem](http://ni.com/oem).

## Local Sales and Technical Support

In offices worldwide, our staff is local to the country, giving you access to engineers who speak your language. NI delivers industry-leading technical support through online knowledge bases, our applications engineers, and access to 14,000 measurement and automation professionals within NI Developer Exchange forums. Find immediate answers to your questions at [ni.com/support](http://ni.com/support).

We also offer service programs that provide automatic upgrades to your application development environment and higher levels of technical support. Visit [ni.com/ssp](http://ni.com/ssp).

## Hardware Services

### NI Factory Installation Services

NI Factory Installation Services (FIS) is the fastest and easiest way to use your PXI or PXI/SCXI combination systems right out of the box. Trained NI technicians install the software and hardware and configure the system to your specifications. NI extends the standard warranty by one year on hardware components (controllers, chassis, modules) purchased with FIS. To use FIS, simply configure your system online with [ni.com/pxiadvisor](http://ni.com/pxiadvisor).

### Calibration Services

NI recognizes the need to maintain properly calibrated devices for high-accuracy measurements. We provide manual calibration procedures, services to recalibrate your products, and automated calibration software specifically designed for use by metrology laboratories. Visit [ni.com/calibration](http://ni.com/calibration).

### Repair and Extended Warranty

NI provides complete repair services for our products. Express repair and advance replacement services are also available. We offer extended warranties to help you meet project life-cycle requirements. Visit [ni.com/services](http://ni.com/services).



[ni.com](http://ni.com) • (800) 813 3693

National Instruments • [info@ni.com](mailto:info@ni.com)



Quantity	Description	RefDes	Package	Type	Vendor	Status
1	VOLTAGE_REGULATOR, LM7812CT	U5	Generic\TO-220			
1	CAP_ELECTROLIT, 22uF	C1	Generic\ELKO8R5			
1	CAP_ELECTROLIT, 10uF	C2	Generic\ELKO10R5			
2	RESISTOR, 240Ω 5%	R13, R14	Generic\RES0.25			
2	OPAMP, MC1458P1	U1, U2	IPC-2221A/2222\CA'E626			
1	VOLTAGE_REGULATOR, LM317LZ	U6	Generic\TO-92(Z0TC FP80P1200X1200X1 20-44NTQFP80P120 0X1200X120-44N3A'			
12	RESISTOR, 10kΩ 1%	R6, R5, R1, R3, R4, R2, R7, R9, R10, R8, R12, R11	IPC-2221A/2222\RE'	Carbon Film		
1	RESISTOR, 2.4kΩ 1%	R16	IPC-2221A/2222\RE'	Carbon Film		
1	POTENTIOMETER, 2kΩ	R15	Generic\LIN_POT	Carbon		



Price	Hyperlink	Manufacturer	Manufacturer Part No
-------	-----------	--------------	----------------------

# MC1458, C

## Internally Compensated, High Performance Dual Operational Amplifiers

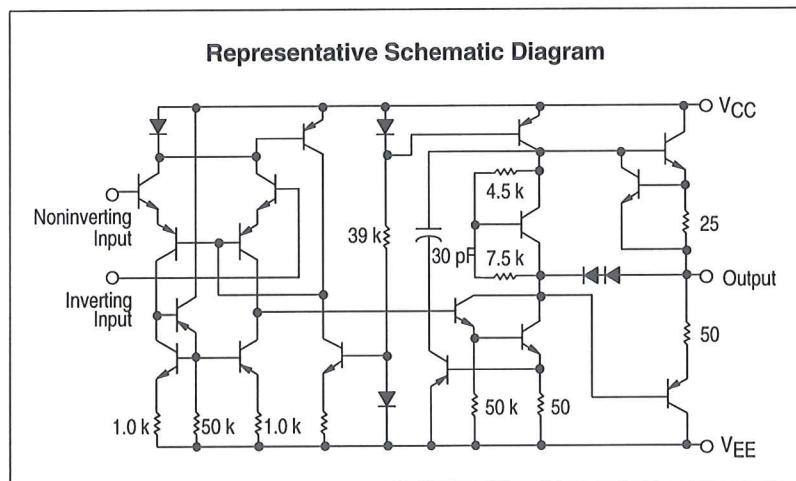
The MC1458, C was designed for use as a summing amplifier, integrator, or amplifier with operating characteristics as a function of the external feedback components.

- No Frequency Compensation Required
- Short Circuit Protection
- Wide Common Mode and Differential Voltage Ranges
- Low Power Consumption
- No Latch-Up

### MAXIMUM RATINGS ( $T_A = +25^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted.)

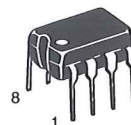
Rating	Symbol	Value	Unit
Power Supply Voltage	$V_{CC}$ $V_{EE}$	+18 -18	Vdc
Input Differential Voltage	$V_{ID}$	$\pm 30$	V
Input Common Mode Voltage (Note 1)	$V_{ICM}$	$\pm 15$	V
Output Short Circuit Duration (Note 2)	$t_{SC}$	Continuous	
Operating Ambient Temperature Range	$T_A$	0 to +70	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	$T_{stg}$	-55 to +125	$^\circ\text{C}$
Junction Temperature	$T_J$	150	$^\circ\text{C}$

**NOTES:** 1. For supply voltages less than  $\pm 15$  V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.  
2. Supply voltage equal to or less than 15 V.



### DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS (DUAL MC1741)

#### SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

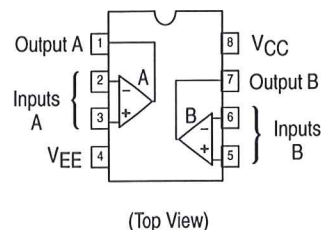


**P1 SUFFIX**  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 626



**D SUFFIX**  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 751  
(SO-8)

### PIN CONNECTIONS



### ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package
MC1458CD, D	$T_A = 0^\circ$ to $+70^\circ\text{C}$	SO-8
MC1458CP1, P1		Plastic DIP

## MC1458, C

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $V_{CC} = +15\text{ V}$ , $V_{EE} = -15\text{ V}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted. (Note 3))

Characteristic	Symbol	MC1458			MC1458C			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage ( $R_S \leq 10\text{ k}$ )	$V_{IO}$	–	2.0	6.0	–	2.0	1.0	mV
Input Offset Current	$I_{IO}$	–	20	200	–	20	300	nA
Input Bias Current	$I_{IB}$	–	80	500	–	80	700	nA
Input Resistance	$r_i$	0.3	2.0	–	–	2.0	–	$M\Omega$
Input Capacitance	$C_i$	–	1.4	–	–	1.4	–	pF
Offset Voltage Adjustment Range	$V_{IOR}$	–	$\pm 15$	–	–	$\pm 15$	–	mV
Common Mode Input Voltage Range	$V_{ICR}$	$\pm 12$	$\pm 13$	–	$\pm 11$	$\pm 13$	–	V
Large Signal Voltage Gain ( $V_O = \pm 10\text{ V}$ , $R_L = 2.0\text{ k}$ ) ( $V_O = \pm 10\text{ V}$ , $R_L = 10\text{ k}$ )	$A_{VOL}$	20 –	200 –	– –	– 20	– 200	– –	V/mV
Output Resistance	$r_o$	–	75	–	–	75	–	$\Omega$
Common Mode Rejection ( $R_S \leq 10\text{ k}$ )	CMR	70	90	–	60	90	–	dB
Supply Voltage Rejection ( $R_S \leq 10\text{ k}$ )	PSR	–	30	150	–	30	–	$\mu\text{V/V}$
Output Voltage Swing ( $R_S \leq 10\text{ k}$ ) ( $R_S \leq 2.0\text{ k}$ )	$V_O$	$\pm 12$ $\pm 10$	$\pm 14$ $\pm 13$	– –	$\pm 11$ $\pm 9.0$	$\pm 14$ $\pm 13$	– –	V
Output Short Circuit Current	$I_{SC}$	–	20	–	–	20	–	mA
Supply Currents (Both Amplifiers)	$I_D$	–	2.3	5.6	–	2.3	8.0	mA
Power Consumption	$P_C$	–	70	170	–	70	240	mW
Transient Response (Unity Gain) ( $V_I = 20\text{ mV}$ , $R_L \geq 2.0\text{ k}\Omega$ , $C_L \leq 100\text{ pF}$ ) Rise Time ( $V_I = 20\text{ mV}$ , $R_L \geq 2.0\text{ k}\Omega$ , $C_L \leq 100\text{ pF}$ ) Overshoot ( $V_I = 10\text{ V}$ , $R_L \geq 2.0\text{ k}\Omega$ , $C_L \leq 100\text{ pF}$ ) Slew Rate	$t_{LH}$ $os$ SR	– – –	0.3 15 0.5	– – –	– – –	0.3 15 0.5	– – –	$\mu\text{s}$ % V/ $\mu\text{s}$

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $V_{CC} = +15\text{ V}$ , $V_{EE} = -15\text{ V}$ , $T_A = T_{high}$ to $T_{low}$ , unless otherwise noted. (Note 3))\*

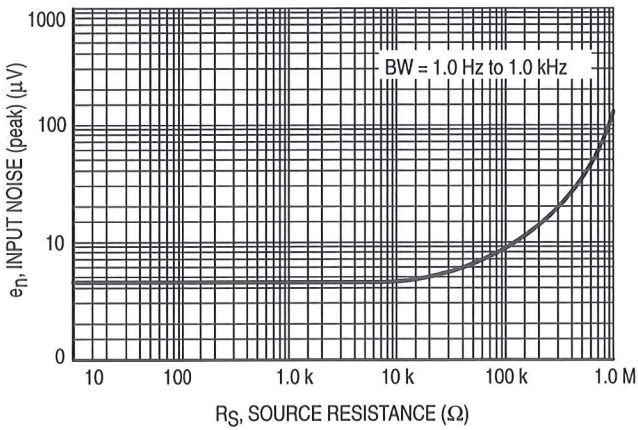
Characteristic	Symbol	MC1458			MC1458C			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage ( $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$ )	$V_{IO}$	–	–	7.5	–	–	12	mV
Input Offset Current ( $T_A = 0^\circ$ to $+70^\circ\text{C}$ )	$I_{IO}$	–	–	300	–	–	400	nA
Input Bias Current ( $T_A = 0^\circ$ to $+70^\circ\text{C}$ )	$I_{IB}$	–	–	800	–	–	1000	nA
Output Voltage Swing ( $R_S \leq 10\text{ k}$ ) ( $R_S \leq 2\text{ k}$ )	$V_O$	$\pm 12$ $\pm 10$	$\pm 14$ $\pm 13$	– –	– $\pm 9.0$	– $\pm 13$	– –	V
Large Signal Voltage Gain ( $V_O = \pm 10\text{ V}$ , $R_L = 2\text{ k}$ ) ( $V_O = \pm 10\text{ V}$ , $R_L = 10\text{ k}$ )	$A_{VOL}$	15 –	– –	– –	– 15	– –	– –	V/mV

\* $T_{low} = 0^\circ\text{C}$  for MC1458, C  $T_{high} = +70^\circ\text{C}$  for MC1458, C

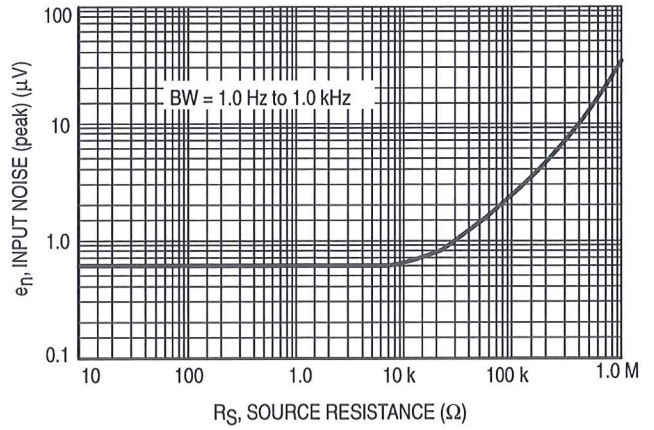
**NOTE:** 3. Input pins of an unused amplifier must be grounded for split supply operation or biased at least 3.0 V above  $V_{EE}$  for single supply operation.

# MC1458, C

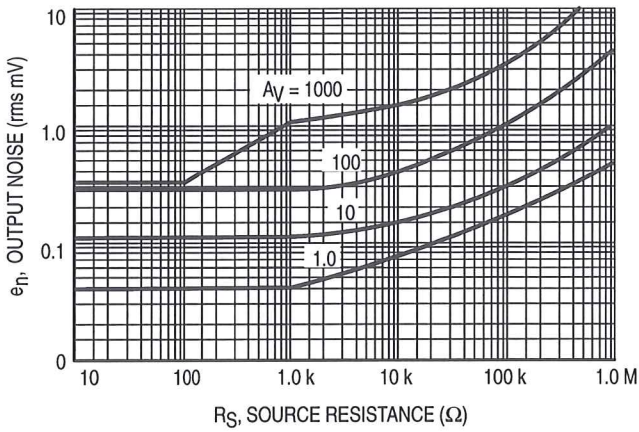
**Figure 1. Burst Noise versus Source Resistance**



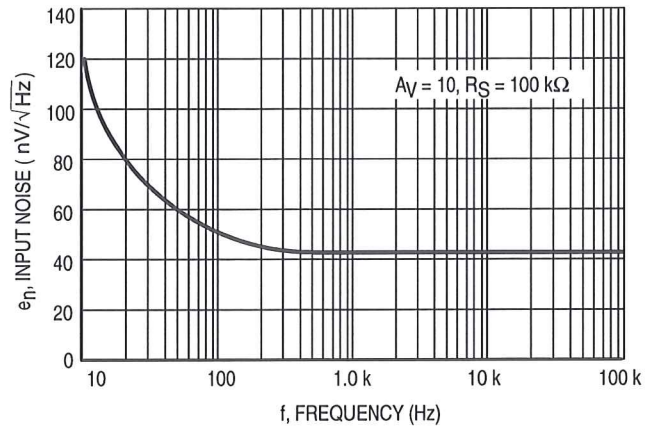
**Figure 2. RMS Noise versus Source Resistance**



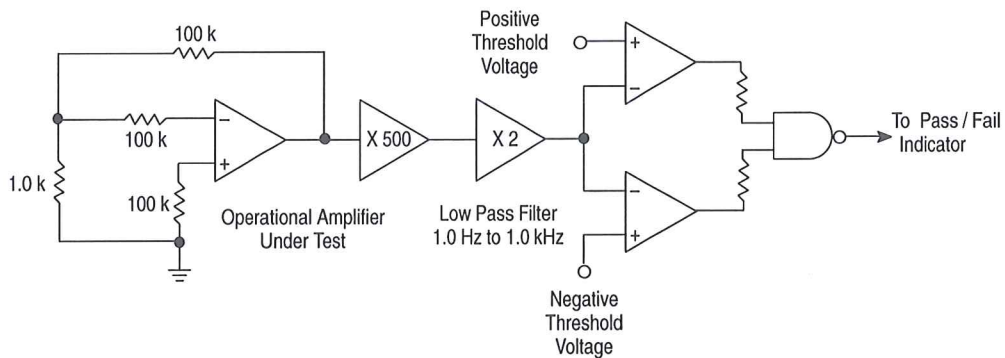
**Figure 3. Output Noise versus Source Resistance**



**Figure 4. Spectral Noise Density**



**Figure 5. Burst Noise Test Circuit**

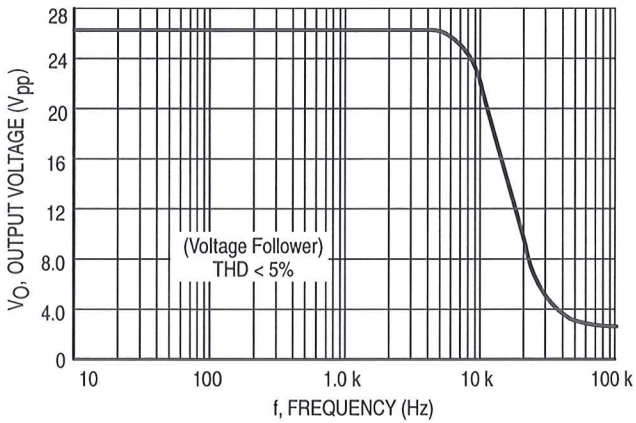


Unlike conventional peak reading or RMS meters, this system was especially designed to provide the quick response time essential to burst (popcorn) noise testing.

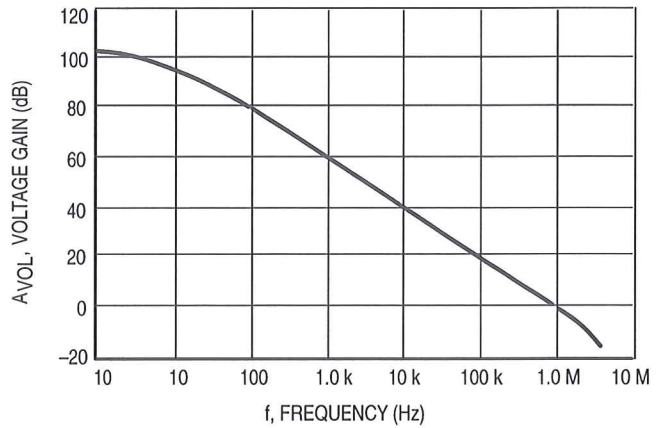
The test time employed is 10 sec and the 20  $\mu\text{V}$  peak limit refers to the operational amplifier input thus eliminating errors in the closed loop gain factor of the operational amplifier.

# MC1458, C

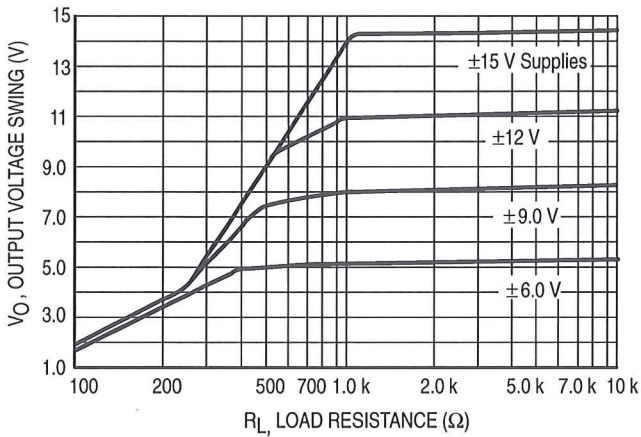
**Figure 6. Power Bandwidth  
(Large Signal Swing versus Frequency)**



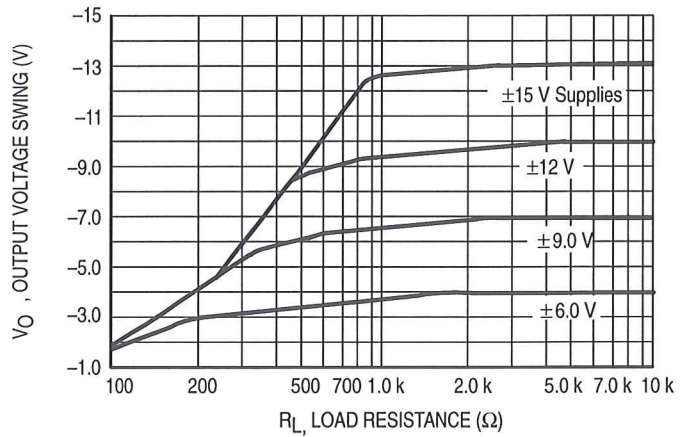
**Figure 7. Open Loop Frequency Response**



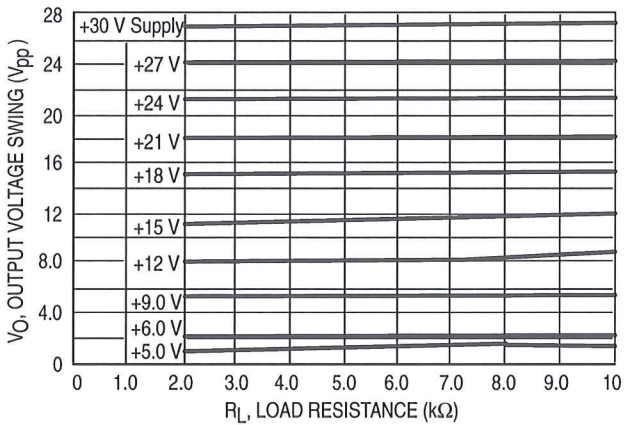
**Figure 8. Positive Output Voltage Swing  
versus Load Resistance**



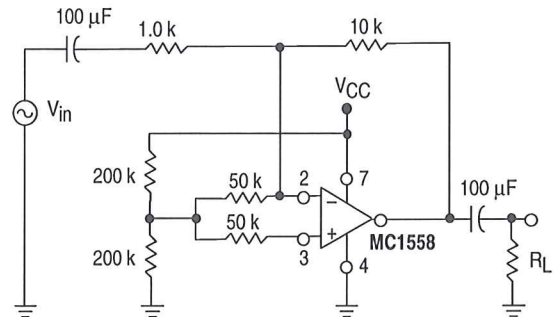
**Figure 9. Negative Output Voltage Swing  
versus Load Resistance**



**Figure 10. Output Voltage Swing versus  
Load Resistance (Single Supply Operation)**

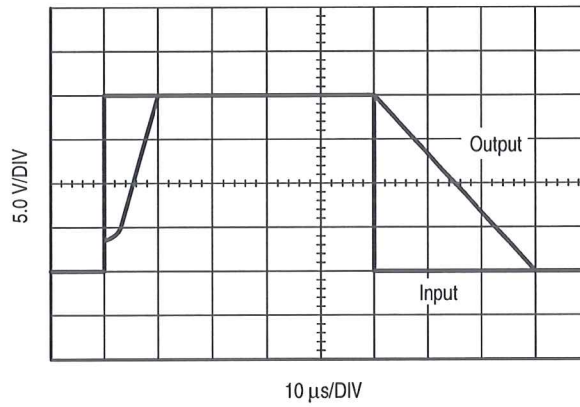


**Figure 11. Single Supply Inverting Amplifier**

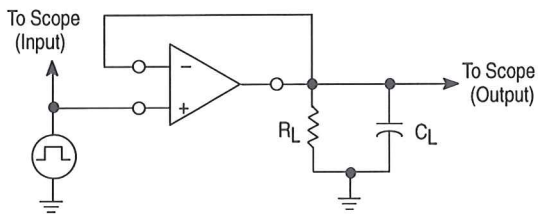


# MC1458, C

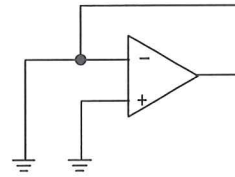
**Figure 12. Noninverting Pulse Response**



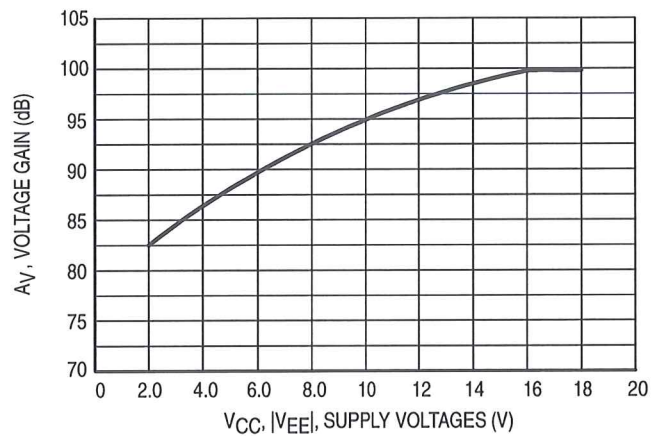
**Figure 13. Transient Response Test Circuit**



**Figure 14. Unused OpAmp**



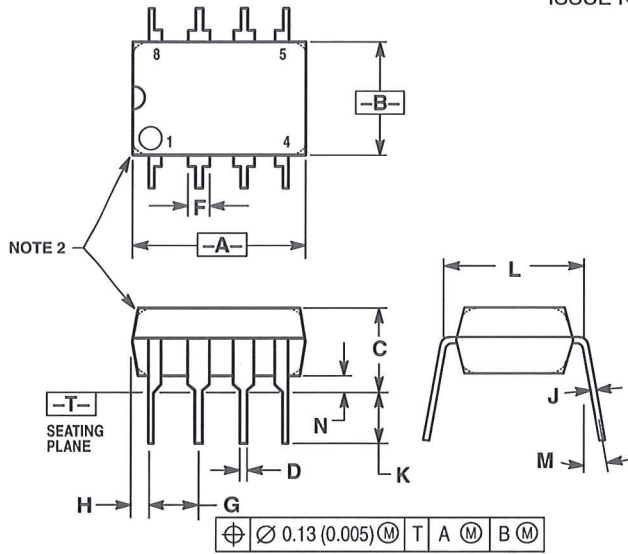
**Figure 15. Open Loop Voltage Gain versus Supply Voltage**



# MC1458, C

## OUTLINE DIMENSIONS

### P1 SUFFIX PLASTIC PACKAGE CASE 626-05 ISSUE K

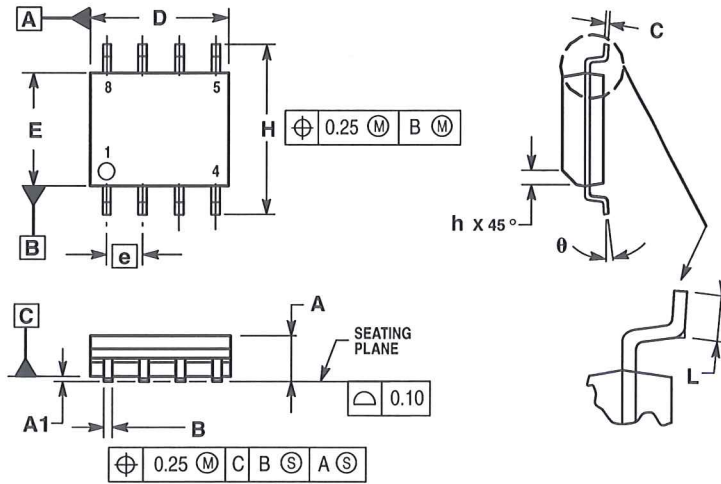


NOTES:

1. DIMENSION L TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.
2. PACKAGE CONTOUR OPTIONAL (ROUND OR SQUARE CORNERS).
3. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	9.40	10.16	0.370	0.400
B	6.10	6.60	0.240	0.260
C	3.94	4.45	0.155	0.175
D	0.38	0.51	0.015	0.020
F	1.02	1.78	0.040	0.070
G	2.54 BSC		0.100 BSC	
H	0.76	1.27	0.030	0.050
J	0.20	0.30	0.008	0.012
K	2.92	3.43	0.115	0.135
L	7.62 BSC		0.300 BSC	
M	— 10°		— 10°	
N	0.76	1.01	0.030	0.040

### D SUFFIX PLASTIC PACKAGE CASE 751-05 (SO-8) ISSUE R




NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ASME Y14.5M, 1994.
2. DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.
3. DIMENSION D AND E DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 PER SIDE.
5. DIMENSION B DOES NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.127 TOTAL IN EXCESS OF THE B DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.

DIM	MILLIMETERS	
	MIN	MAX
A	1.35	1.75
A1	0.10	0.25
B	0.35	0.49
C	0.18	0.25
D	4.80	5.00
E	3.80	4.00
e	1.27 BSC	
H	5.80	6.20
h	0.25	0.50
L	0.40	1.25
θ	0°	7°

## MC1458, C

Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in Motorola data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and  are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.



# MC1458, C

**How to reach us:**

**USA/EUROPE/Locations Not Listed:** Motorola Literature Distribution;  
P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447 or 602-303-5454

**MFAX:** RMFAX0@email.sps.mot.com – TOUCHTONE 602-244-6609  
**INTERNET:** <http://Design-NET.com>

**JAPAN:** Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, 6F Seibu-Butsuryu-Center,  
3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-81-3521-8315

**ASIA/PACIFIC:** Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,  
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298



**MOTOROLA**



MC1458/D



This datasheet has been download from:

[www.datasheetcatalog.com](http://www.datasheetcatalog.com)

Datasheets for electronics components.

# LM117/LM317A/LM317

## 3-Terminal Adjustable Regulator

### General Description

The LM117 series of adjustable 3-terminal positive voltage regulators is capable of supplying in excess of 1.5A over a 1.2V to 37V output range. They are exceptionally easy to use and require only two external resistors to set the output voltage. Further, both line and load regulation are better than standard fixed regulators. Also, the LM117 is packaged in standard transistor packages which are easily mounted and handled.

In addition to higher performance than fixed regulators, the LM117 series offers full overload protection available only in IC's. Included on the chip are current limit, thermal overload protection and safe area protection. All overload protection circuitry remains fully functional even if the adjustment terminal is disconnected.

Normally, no capacitors are needed unless the device is situated more than 6 inches from the input filter capacitors in which case an input bypass is needed. An optional output capacitor can be added to improve transient response. The adjustment terminal can be bypassed to achieve very high ripple rejection ratios which are difficult to achieve with standard 3-terminal regulators.

Besides replacing fixed regulators, the LM117 is useful in a wide variety of other applications. Since the regulator is "floating" and sees only the input-to-output differential volt-

age, supplies of several hundred volts can be regulated as long as the maximum input to output differential is not exceeded, i.e., avoid short-circuiting the output.

Also, it makes an especially simple adjustable switching regulator, a programmable output regulator, or by connecting a fixed resistor between the adjustment pin and output, the LM117 can be used as a precision current regulator. Supplies with electronic shutdown can be achieved by clamping the adjustment terminal to ground which programs the output to 1.2V where most loads draw little current.

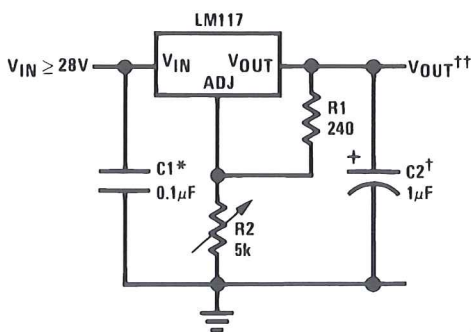
For applications requiring greater output current, see LM150 series (3A) and LM138 series (5A) data sheets. For the negative complement, see LM137 series data sheet.

### Features

- Guaranteed 1% output voltage tolerance (LM317A)
- Guaranteed max. 0.01%/V line regulation (LM317A)
- Guaranteed max. 0.3% load regulation (LM117)
- Guaranteed 1.5A output current
- Adjustable output down to 1.2V
- Current limit constant with temperature
- P+ Product Enhancement tested
- 80 dB ripple rejection
- Output is short-circuit protected

### Typical Applications

1.2V–25V Adjustable Regulator



00906301

Full output current not available at high input-output voltages

\*Needed if device is more than 6 inches from filter capacitors.

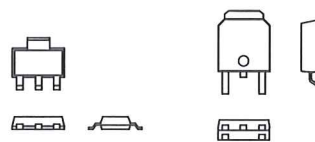
†Optional—improves transient response. Output capacitors in the range of 1μF to 1000μF of aluminum or tantalum electrolytic are commonly used to provide improved output impedance and rejection of transients.

$$\dagger\dagger V_{OUT} = 1.25V \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ}(R_2)$$

LM117 Series Packages

Part Number Suffix	Package	Design Load Current
K	TO-3	1.5A
H	TO-39	0.5A
T	TO-220	1.5A
E	LCC	0.5A
S	TO-263	1.5A
EMP	SOT-223	1A
MDT	TO-252	0.5A

### SOT-223 vs. D-Pak (TO-252) Packages



SOT-223

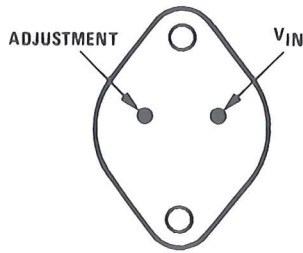
TO-252

00906354

Scale 1:1

## Connection Diagrams

**(TO-3)  
Metal Can Package**

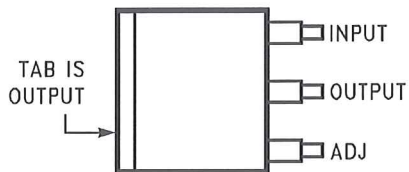


CASE IS OUTPUT

00906330

**Bottom View  
Steel Package  
NS Package Number K02A or K02C**

**(TO-263) Surface-Mount Package**



**Top View**

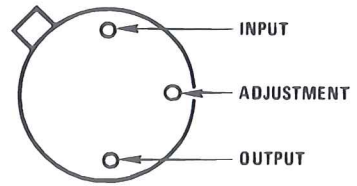
00906335



00906336

**Side View  
NS Package Number TS3B**

**(TO-39)  
Metal Can Package**

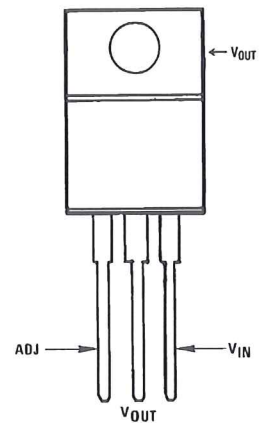


CASE IS OUTPUT

00906331

**Bottom View  
NS Package Number H03A**

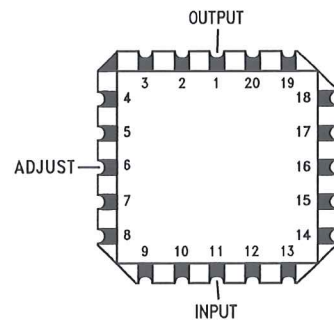
**(TO-220)  
Plastic Package**



00906332

**Front View  
NS Package Number T03B**

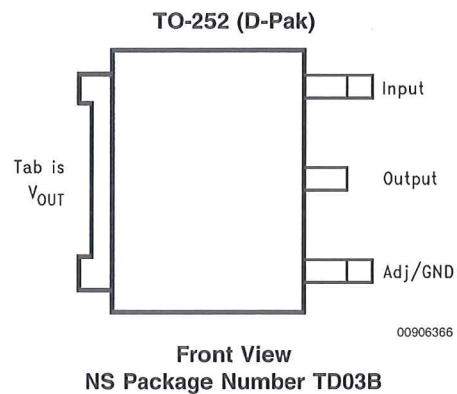
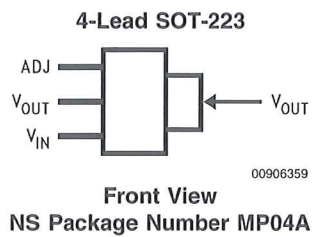
**Ceramic Leadless  
Chip Carrier**



00906334

**Top View  
NS Package Number E20A**

## Connection Diagrams (Continued)



## Ordering Information

Package	Temperature Range	Part Number	Package Marking	Transport Media	NSC Drawing
Metal Can (TO-3)	$-55^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +150^{\circ}\text{C}$	LM117K STEEL	LM117K STEEL P+	50 Per Bag	K02A
	$0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$	LM317K STEEL	LM317K STEEL P+	50 Per Bag	
	$-55^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +150^{\circ}\text{C}$	LM117K/883	LM117K/883	50 Per Bag	K02C
Metal Can (TO-39)	$-55^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +150^{\circ}\text{C}$	LM117H	LM117H P+	500 Per Box	H03A
	$-55^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +150^{\circ}\text{C}$	LM117H/883	LM117H/883	20 Per Tray	
	$-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$	LM317AH	LM317AH P+	500 Per Box	
	$0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$	LM317H	LM317H P+	500 Per Box	
TO-220 3- Lead	$-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$	LM317AT	LM317AT P+	45 Units/Rail	T03B
	$0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$	LM317T	LM317T P+	45 Units/Rail	
TO-263 3- Lead	$0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$	LM317S	LM317S P+	45 Units/Rail	TS3B
		LM317SX		500 Units Tape and Reel	
LCC	$-55^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +150^{\circ}\text{C}$	LM117E/883	LM117E/883	50 Units/Rail	E20A
SOT-223 4- Lead	$0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$	LM317EMP	N01A	1k Units Tape and Reel	MP04A
		LM317EMPX		2k Units Tape and Reel	
	$-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$	LM317AEMP	N07A	1k Units Tape and Reel	
		LM317AEMPX		2k Units Tape and Reel	
D- Pack 3- Lead	$0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$	LM317MDT	LM317MDT	75 Units/Rail	TD03B
		LM317MDTX		2.5k Units Tape and Reel	
	$-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$	LM317AMDT	LM317AMDT	75 Units/Rail	
		LM317AMDTX		2.5k Units Tape and Reel	

**Absolute Maximum Ratings** (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Power Dissipation	Internally Limited
Input-Output Voltage Differential	+40V, -0.3V
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Lead Temperature	
Metal Package (Soldering, 10 seconds)	300°C
Plastic Package (Soldering, 4 seconds)	260°C

ESD Tolerance (Note 5)

3 kV

**Operating Temperature Range**

LM117	-55°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +150°C
LM317A	-40°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C
LM317	0°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C

**Preconditioning**

Thermal Limit Burn-In All Devices 100%

**Electrical Characteristics** (Note 3)

Specifications with standard type face are for T<sub>J</sub> = 25°C, and those with **boldface type** apply over **full Operating Temperature Range**. Unless otherwise specified, V<sub>IN</sub> - V<sub>OUT</sub> = 5V, and I<sub>OUT</sub> = 10 mA.

Parameter	Conditions	LM117 (Note 2)			Units	
		Min	Typ	Max		
Reference Voltage					V	
	3V ≤ (V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) ≤ 40V, 10 mA ≤ I <sub>OUT</sub> ≤ I <sub>MAX</sub> , P ≤ P <sub>MAX</sub>	<b>1.20</b>	<b>1.25</b>	<b>1.30</b>	V	
Line Regulation	3V ≤ (V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) ≤ 40V (Note 4)		0.01	0.02	%/V	
			<b>0.02</b>	<b>0.05</b>	%/V	
Load Regulation	10 mA ≤ I <sub>OUT</sub> ≤ I <sub>MAX</sub> (Note 4)		0.1	0.3	%	
			<b>0.3</b>	<b>1</b>	%	
Thermal Regulation	20 ms Pulse		0.03	0.07	%/W	
Adjustment Pin Current			<b>50</b>	<b>100</b>	μA	
Adjustment Pin Current Change	10 mA ≤ I <sub>OUT</sub> ≤ I <sub>MAX</sub> 3V ≤ (V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) ≤ 40V		<b>0.2</b>	<b>5</b>	μA	
Temperature Stability	T <sub>MIN</sub> ≤ T <sub>J</sub> ≤ T <sub>MAX</sub>		<b>1</b>		%	
Minimum Load Current	(V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) = 40V		<b>3.5</b>	<b>5</b>	mA	
Current Limit	(V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) ≤ 15V	K Package	<b>1.5</b>	<b>2.2</b>	<b>3.4</b>	A
		H Package	<b>0.5</b>	<b>0.8</b>	<b>1.8</b>	A
	(V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) = 40V	K Package	0.3	0.4		A
		H Package	0.15	0.2		A
RMS Output Noise, % of V <sub>OUT</sub>	10 Hz ≤ f ≤ 10 kHz		0.003		%	
Ripple Rejection Ratio	V <sub>OUT</sub> = 10V, f = 120 Hz, C <sub>ADJ</sub> = 0 μF		<b>65</b>		dB	
	V <sub>OUT</sub> = 10V, f = 120 Hz, C <sub>ADJ</sub> = 10 μF	<b>66</b>	<b>80</b>		dB	
Long-Term Stability	T <sub>J</sub> = 125°C, 1000 hrs		0.3	1	%	
Thermal Resistance, Junction-to-Case	K Package		2.3	3	°C/W	
	H Package		12	15	°C/W	
	E Package				°C/W	
Thermal Resistance, Junction- to-Ambient (No Heat Sink)	K Package		35		°C/W	
	H Package		140		°C/W	
	E Package				°C/W	

## Electrical Characteristics (Note 3)

Specifications with standard type face are for  $T_J = 25^\circ\text{C}$ , and those with **boldface type** apply over **full Operating Temperature Range**. Unless otherwise specified,  $V_{IN} - V_{OUT} = 5\text{V}$ , and  $I_{OUT} = 10\text{ mA}$ .

Parameter	Conditions	LM317A			LM317			Units	
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
Reference Voltage		1.238	1.250	1.262				V	
	$3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$ , $10\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$ , $P \leq P_{MAX}$	<b>1.225</b>	<b>1.250</b>	<b>1.270</b>	<b>1.20</b>	<b>1.25</b>	<b>1.30</b>	V	
Line Regulation	$3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$ (Note 4)		0.005	0.01		0.01	0.04	%/V	
			<b>0.01</b>	<b>0.02</b>		<b>0.02</b>	<b>0.07</b>	%/V	
Load Regulation	$10\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$ (Note 4)		0.1	0.5		0.1	0.5	%	
			<b>0.3</b>	<b>1</b>		<b>0.3</b>	<b>1.5</b>	%	
Thermal Regulation	20 ms Pulse		0.04	0.07		0.04	0.07	%/W	
Adjustment Pin Current			<b>50</b>	<b>100</b>		<b>50</b>	<b>100</b>	$\mu\text{A}$	
Adjustment Pin Current Change	$10\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$ $3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$		<b>0.2</b>	<b>5</b>		<b>0.2</b>	<b>5</b>	$\mu\text{A}$	
Temperature Stability	$T_{MIN} \leq T_J \leq T_{MAX}$		<b>1</b>			<b>1</b>		%	
Minimum Load Current	$(V_{IN} - V_{OUT}) = 40\text{V}$		<b>3.5</b>	<b>10</b>		<b>3.5</b>	<b>10</b>	mA	
Current Limit	$(V_{IN} - V_{OUT}) \leq 15\text{V}$ K, T, S Packages H Package MP Package		<b>1.5</b>	<b>2.2</b>	<b>3.4</b>	<b>1.5</b>	<b>2.2</b>	<b>3.4</b>	A
			<b>0.5</b>	<b>0.8</b>	<b>1.8</b>	<b>0.5</b>	<b>0.8</b>	<b>1.8</b>	A
			<b>1.5</b>	<b>2.2</b>	<b>3.4</b>	<b>1.5</b>	<b>2.2</b>	<b>3.4</b>	A
	$(V_{IN} - V_{OUT}) = 40\text{V}$ K, T, S Packages H Package MP Package		0.15	0.4		0.15	0.4		A
			0.075	0.2		0.075	0.2		A
			0.15	0.4		0.15	0.4		A
RMS Output Noise, % of $V_{OUT}$	$10\text{ Hz} \leq f \leq 10\text{ kHz}$		0.003			0.003		%	
Ripple Rejection Ratio	$V_{OUT} = 10\text{V}$ , $f = 120\text{ Hz}$ , $C_{ADJ} = 0\text{ }\mu\text{F}$		<b>65</b>			<b>65</b>		dB	
	$V_{OUT} = 10\text{V}$ , $f = 120\text{ Hz}$ , $C_{ADJ} = 10\text{ }\mu\text{F}$		<b>66</b>	<b>80</b>		<b>66</b>	<b>80</b>	dB	
Long-Term Stability	$T_J = 125^\circ\text{C}$ , 1000 hrs		0.3	1		0.3	1	%	
Thermal Resistance, Junction-to-Case	K Package					2.3	3	$^\circ\text{C/W}$	
	MDT Package					5		$^\circ\text{C/W}$	
	H Package		12	15		12	15	$^\circ\text{C/W}$	
	T Package		4	5		4		$^\circ\text{C/W}$	
	MP Package		23.5			23.5		$^\circ\text{C/W}$	
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient (No Heat Sink)	K Package		35			35		$^\circ\text{C/W}$	
	MDT Package (Note 6)					92		$^\circ\text{C/W}$	
	H Package		140			140		$^\circ\text{C/W}$	
	T Package		50			50		$^\circ\text{C/W}$	
	S Package (Note 6)		50			50		$^\circ\text{C/W}$	

**Note 1:** Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but do not guarantee specific performance limits. For guaranteed specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics. The guaranteed specifications apply only for the test conditions listed.

**Note 2:** Refer to RETS117H drawing for the LM117H, or the RETS117K for the LM117K military specifications.

**Note 3:** Although power dissipation is internally limited, these specifications are applicable for maximum power dissipations of 2W for the TO-39 and SOT-223 and 20W for the TO-3, TO-220, and TO-263.  $I_{MAX}$  is 1.5A for the TO-3, TO-220, and TO-263 packages, 0.5A for the TO-39 package and 1A for the SOT-223 Package. All limits (i.e., the numbers in the Min. and Max. columns) are guaranteed to National's AOQL (Average Outgoing Quality Level).

**Note 4:** Regulation is measured at a constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output voltage due to heating effects are covered under the specifications for thermal regulation.

**Note 5:** Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k $\Omega$  resistor.

**Note 6:** If the TO-263 or TO-252 packages are used, the thermal resistance can be reduced by increasing the PC board copper area thermally connected to the package. Using 0.5 square inches of copper area,  $\theta_{JA}$  is 50 $^\circ\text{C/W}$ ; with 1 square inch of copper area,  $\theta_{JA}$  is 37 $^\circ\text{C/W}$ ; and with 1.6 or more square inches of copper area,  $\theta_{JA}$  is 32 $^\circ\text{C/W}$ . If the SOT-223 package is used, the thermal resistance can be reduced by increasing the PC board copper area (see applications hints for heatsinking).



## POSITIVE VOLTAGE REGULATORS

- OUTPUT CURRENT TO 1.5A
- OUTPUT VOLTAGES OF 5; 5.2; 6; 8; 8.5; 9; 10; 12; 15; 18; 24V
- THERMAL OVERLOAD PROTECTION
- SHORT CIRCUIT PROTECTION
- OUTPUT TRANSITION SOA PROTECTION

### DESCRIPTION

The L7800 series of three-terminal positive regulators is available in TO-220, TO-220FP, TO-220FM, TO-3 and D<sup>2</sup>PAK packages and several fixed output voltages, making it useful in a wide range of applications. These regulators can provide local on-card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. Each type employs internal current limiting, thermal shut-down and safe area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltage and currents.

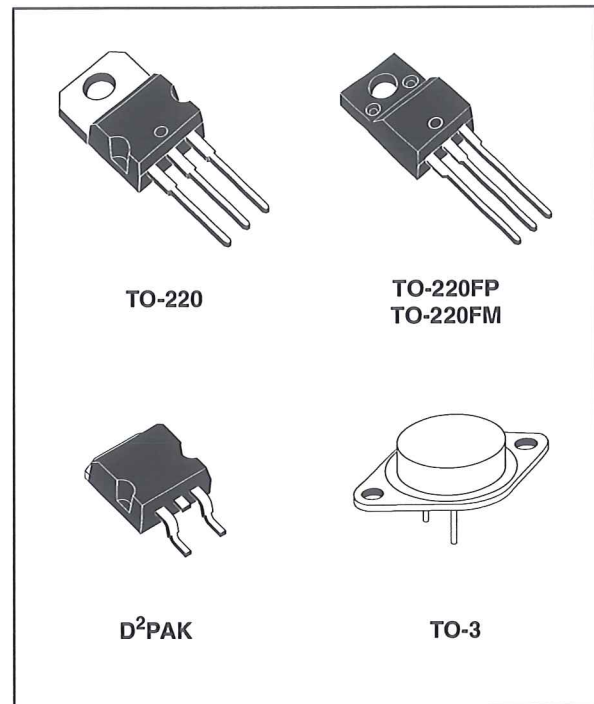
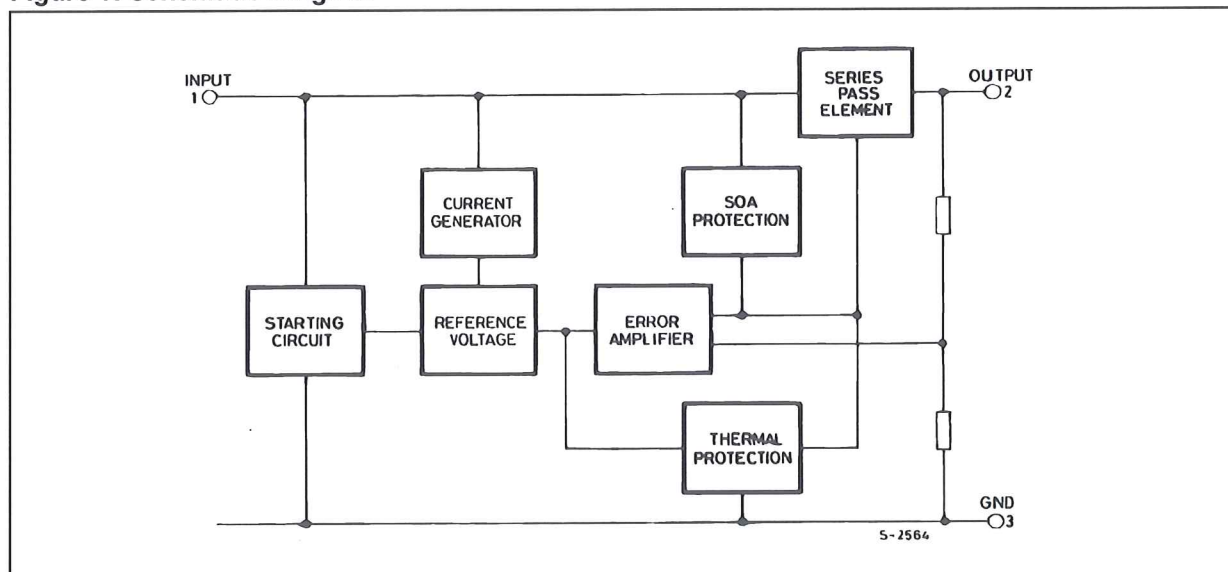


Figure 1: Schematic Diagram





# L7800 SERIES

**Table 1: Absolute Maximum Ratings**

Symbol	Parameter		Value	Unit
$V_I$	DC Input Voltage	for $V_O= 5$ to $18V$	35	V
		for $V_O= 20, 24V$	40	
$I_O$	Output Current		Internally Limited	
$P_{tot}$	Power Dissipation		Internally Limited	
$T_{stg}$	Storage Temperature Range		-65 to 150	°C
$T_{op}$	Operating Junction Temperature Range	for L7800	-55 to 150	°C
		for L7800C	0 to 150	

Absolute Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation under these condition is not implied.

**Table 2: Thermal Data**

Symbol	Parameter	D <sup>2</sup> PAK	TO-220	TO-220FP	TO-220FM	TO-3	Unit
$R_{thj-case}$	Thermal Resistance Junction-case Max	3	5	5	5	4	°C/W
$R_{thj-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient Max	62.5	50	60	60	35	°C/W

**Figure 2: Schematic Diagram**

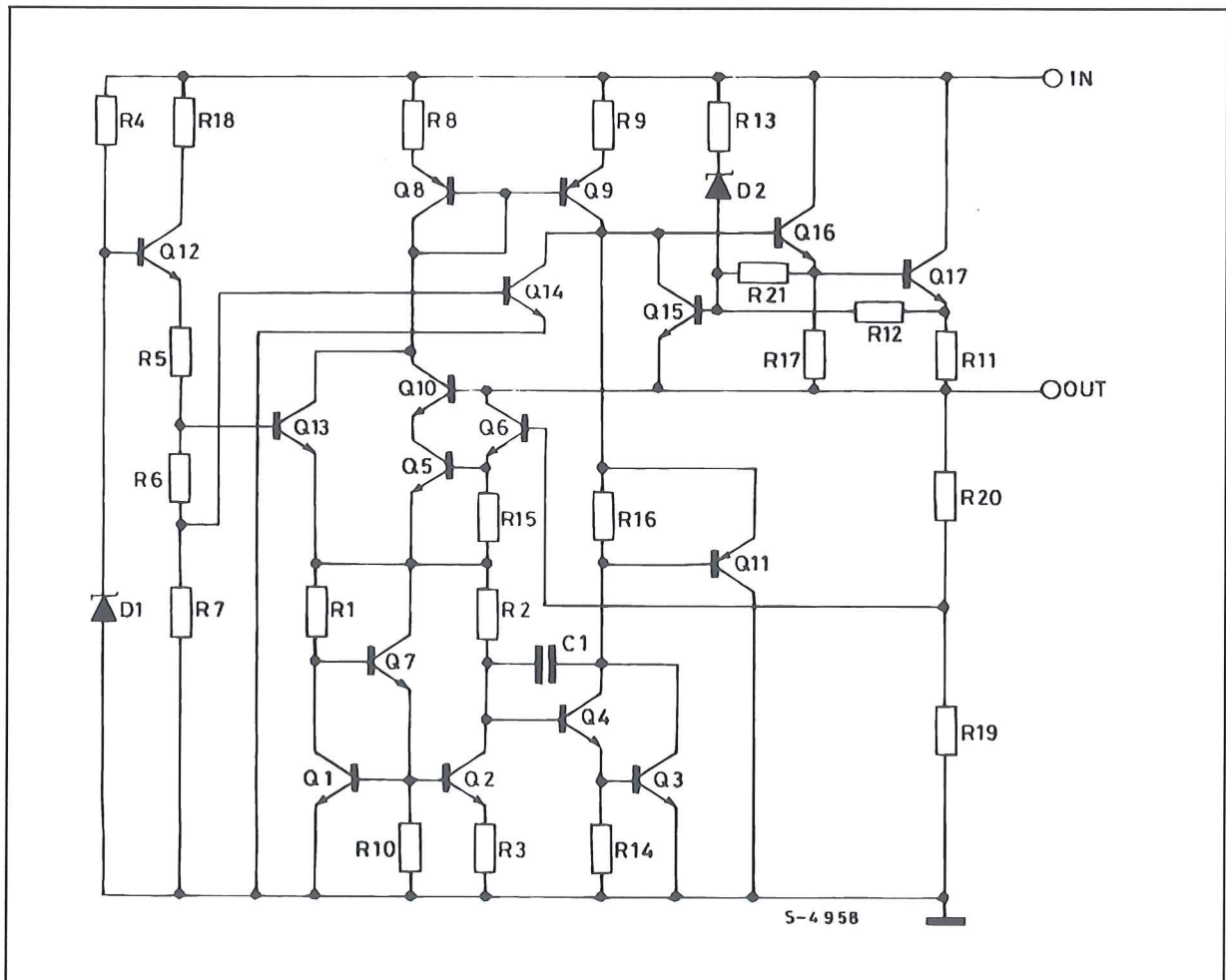


Figure 3: Connection Diagram (top view)

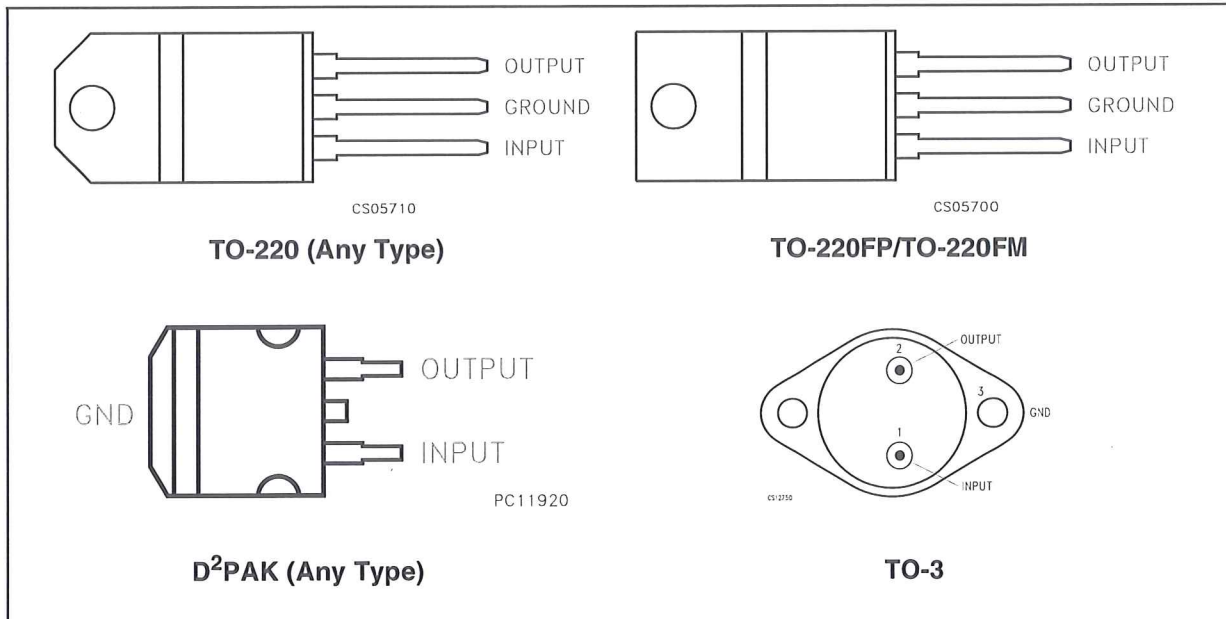


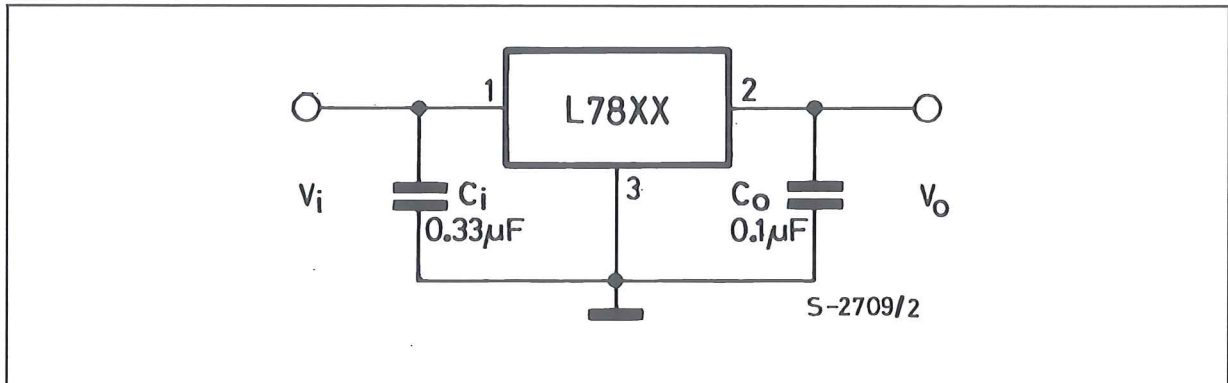
Table 3: Order Codes

TYPE	TO-220 (A Type)	TO-220 (C Type)	TO-220 (E Type)	D <sup>2</sup> PAK (A Type) (*)	D <sup>2</sup> PAK (C Type) (T & R)	TO-220FP	TO-220FM	TO-3
L7805								L7805T
L7805C	L7805CV	L7805C-V	L7805CV1	L7805CD2T	L7805C-D2TR	L7805CP	L7805CF	L7805CT
L7852C	L7852CV			L7852CD2T		L7852CP	L7852CF	L7852CT
L7806								L7806T
L7806C	L7806CV	L7806C-V		L7806CD2T		L7806CP	L7806CF	L7806CT
L7808								L7808T
L7808C	L7808CV	L7808C-V		L7808CD2T		L7808CP	L7808CF	L7808CT
L7885C	L7885CV			L7885CD2T		L7885CP	L7885CF	L7885CT
L7809C	L7809CV	L7809C-V		L7809CD2T		L7809CP	L7809CF	L7809CT
L7810C	L7810CV			L7810CD2T		L7810CP		
L7812								L7812T
L7812C	L7812CV	L7812C-V		L7812CD2T		L7812CP	L7812CF	L7812CT
L7815								L7815T
L7815C	L7815CV	L7815C-V		L7815CD2T		L7815CP	L7815CF	L7815CT
L7818								L7818T
L7818C	L7818CV			L7818CD2T		L7818CP	L7818CF	L7818CT
L7820								L7820T
L7820C	L7820CV			L7820CD2T		L7820CP	L7820CF	L7820CT
L7824								L7824T
L7824C	L7824CV			L7824CD2T		L7824CP	L7824CF	L7824CT

(\*) Available in Tape & Reel with the suffix "-TR".

## L7800 SERIES

Figure 4: Application Circuits



## TEST CIRCUITS

Figure 5: DC Parameter

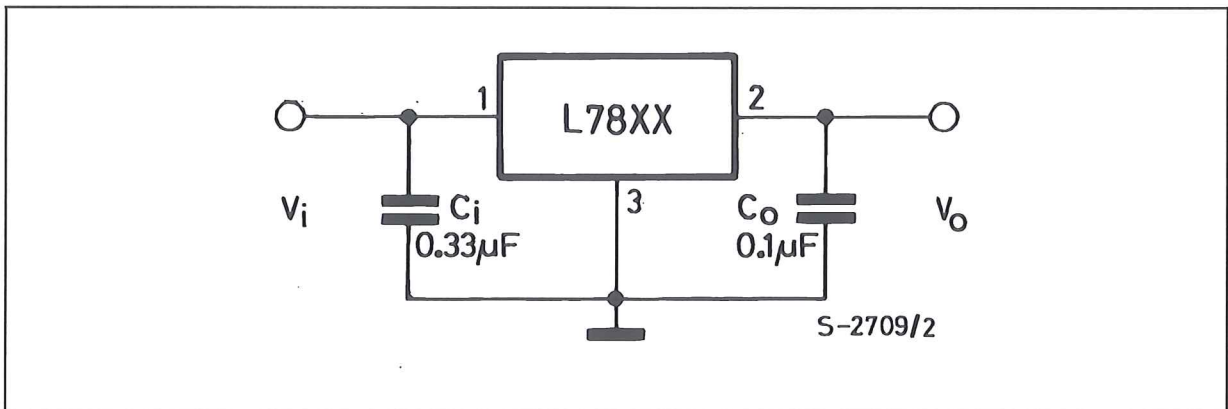


Figure 6: Load Regulation

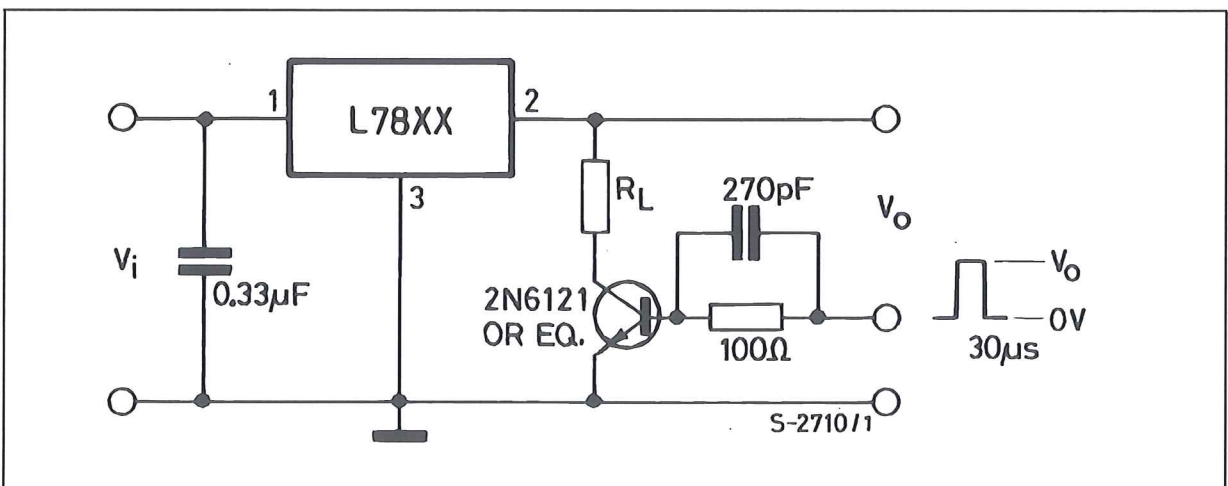


Figure 7: Ripple Rejection

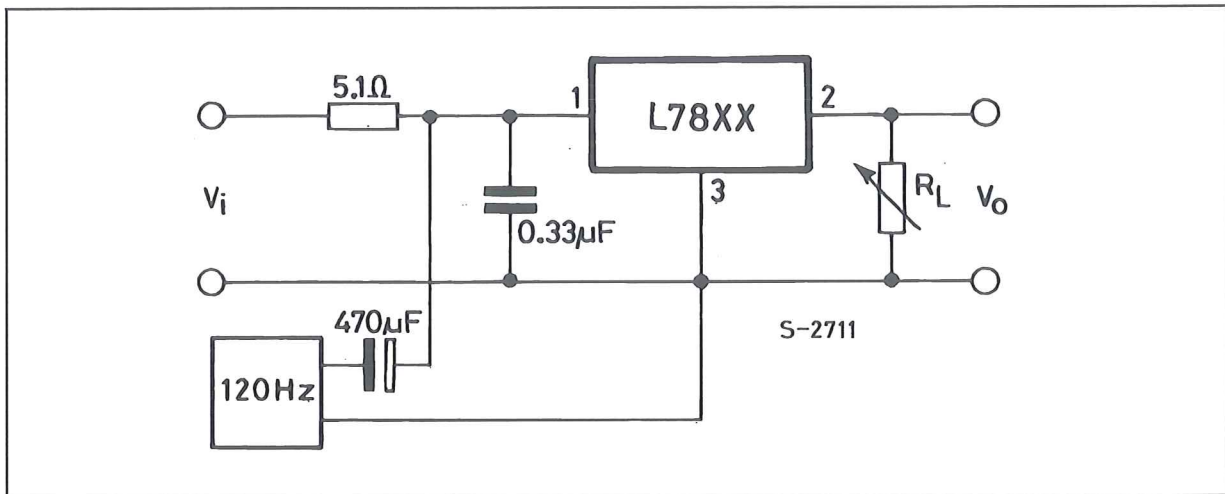


Table 4: Electrical Characteristics Of L7805 (refer to the test circuits,  $T_J = -55$  to  $150^\circ\text{C}$ ,  $V_I = 10\text{V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $C_I = 0.33\ \mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\ \mu\text{F}$  unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	4.8	5	5.2	V
$V_O$	Output Voltage	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 8\text{ to } 20\text{ V}$	4.65	5	5.35	V
$\Delta V_O(^*)$	Line Regulation	$V_I = 7\text{ to } 25\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		3	50	mV
		$V_I = 8\text{ to } 12\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		1	25	
$\Delta V_O(^*)$	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			100	mV
		$I_O = 250\text{ to } 750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			25	
$I_d$	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			6	mA
$\Delta I_d$	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 8\text{ to } 25\text{ V}$			0.8	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		0.6		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			40	$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply Voltage Rejection	$V_I = 8\text{ to } 18\text{ V}$ $f = 120\text{Hz}$	68			dB
$V_d$	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		2	2.5	V
$R_O$	Output Resistance	$f = 1\text{ KHz}$		17		m $\Omega$
$I_{sc}$	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.75	1.2	A
$I_{scp}$	Short Circuit Peak Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$	1.3	2.2	3.3	A

(\*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

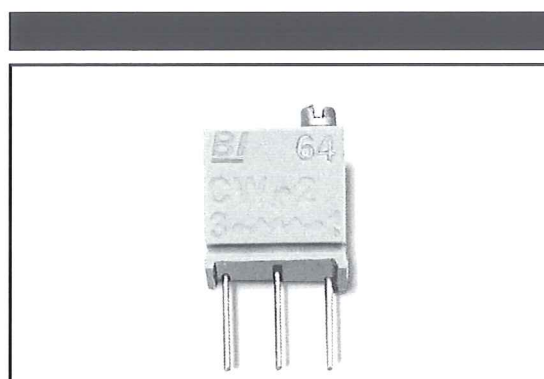
# MODEL 64

## 1/4" Square

### Multiturn

### Cermet Trimming

### Potentiometer



1

#### ELECTRICAL

Standard Resistance Range, Ohms	10 to 1Meg
Standard Resistance Tolerance	±10%
Input Voltage, Maximum	200Vdc or rms not to exceed power rating
Slider Current, Maximum	100mA or within rated power, whichever is less
Power Rating, Watts	0.25 at 85°C derating to 0 at 150°C
End Resistance, Maximum	2 Ohms
Actual Electrical Travel, Turns, Nominal	12
Dielectric Strength	900Vrms
Insulation Resistance, Minimum	1,000 Megohms
Resolution	Essentially infinite
Contact Resistance Variation, Maximum	1% or 1 Ohms, whichever is greater

#### ENVIRONMENTAL

Seal	85°C Fluorinert® (No Leaks)
Temperature Coefficient, Maximum	±100ppm/°C
Operating Temperature Range	-65°C to +150°C
Thermal Shock	5 cycles, -65°C to +150°C (1% ΔRT, 1% ΔVR)
Moisture Resistance	Ten 24 hour cycles (1% ΔRT, IR 1,000 Megohms Min.)
Shock, 6ms Sawtooth	100G's (1% ΔRT, 1% ΔVR)
Vibration	20G's, 10 to 2,000 Hz (1% ΔRT, 1% ΔVR)
High Temperature Exposure	250 hours at 125°C (2% ΔRT, 2% ΔVR)
Rotational Life	200 cycles (2% ΔRT)
Load Life at 0.5 Watts	1,000 hours at 85°C (2% ΔRT)
Resistance to Solder Heat	260°C for 10 sec. (1% ΔRT)

#### MECHANICAL

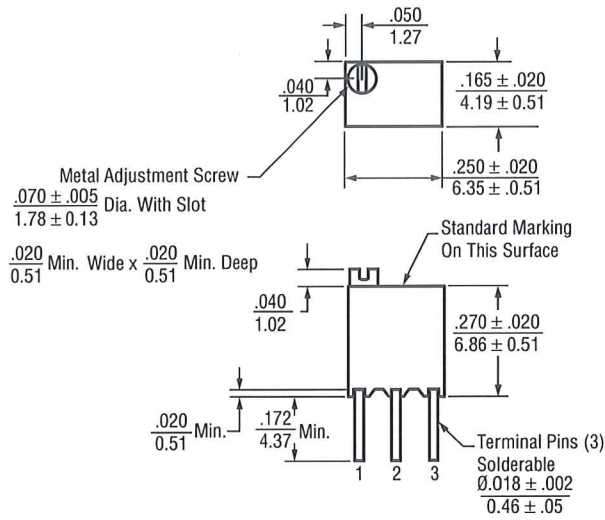
Mechanical Stops	Clutch action, both ends
Torque, Starting Maximum	3 oz.-in. (0.021 N-m)
Weight, Nominal	.014 oz. (0.40 grams)

Fluorinert® is a registered trademark of 3M Company.  
Specifications subject to change without notice.



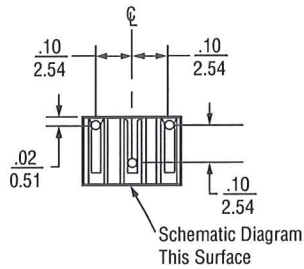
**TOP ADJUSTMENT (Inch/mm)**

Model 64W and 64Y

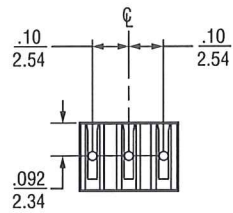


Note: Model 64W dimensions applicable to all models except as noted

Model 64W



Model 64Y

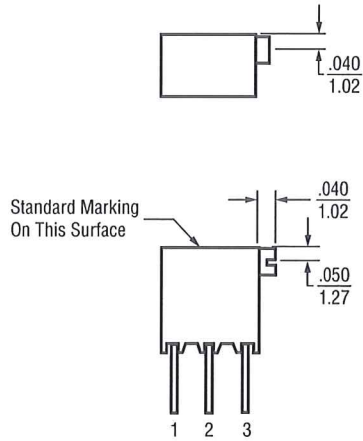


**STANDARD RESISTANCE VALUES, OHMS**

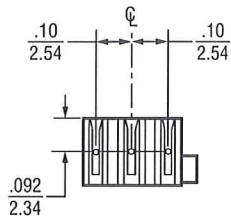
10	100	1K	10K	50K	250K
20	200	2K	20K	100K	500K
50	500	5K	25K	200K	1Meg

**SIDE ADJUSTMENT (Inch/mm)**

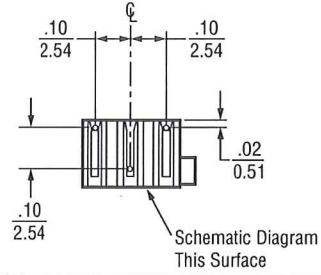
**Model 64X and 64Z**



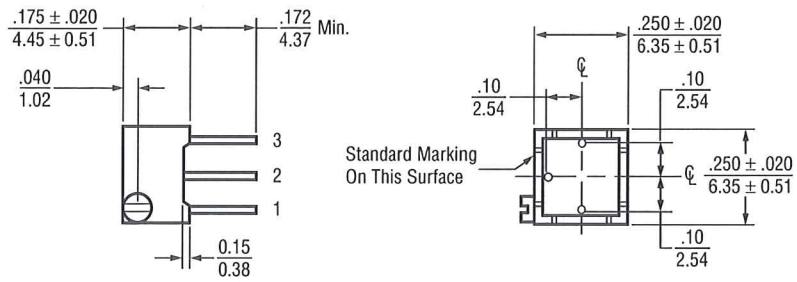
**Model 64Z**



**Model 64X**



**Model 64P**



## PACKAGING

**Standard:** Tubes  
All units oriented with #1 pin to same side.

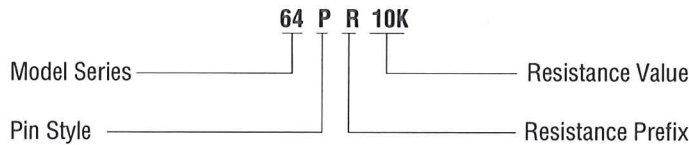
	Pin Style		P,W,Y	X,Z
Magazine	Width	=	0.38" (9.65 mm)	0.38" (9.65 mm)
	Height	=	0.62" (15.75mm)	0.62" (15.75mm)
	Length	=	14.5" (368 mm)	16.9" (429 mm)
	Capacity	=	50 Units	50 Units

**Option:** Tape & Reel, Ammo Pack (Available only for 64Y and 64Z)  
All units oriented with #1 pin to the right of the direction of feed.

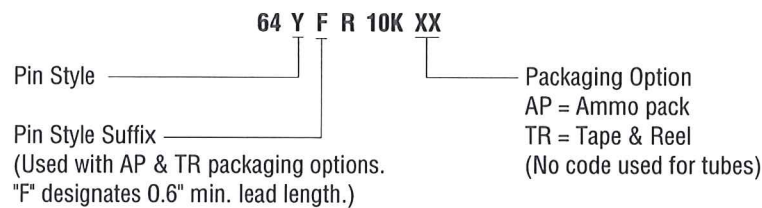
	Seat Plane to Centerline of Sprocket Hole	=	.71" (18 mm)
Tape	Width	=	18 mm
	Sprocket	=	Single Hole .50" spacing
	Capacity	=	1,000 Units
Reel	Diameter	=	14" (363 mm)
Ammo Box	Tape Fold	=	12"
	Box	=	1.8" x 13" x 10" (46mm x 330mm x 254mm)

## ORDERING INFORMATION

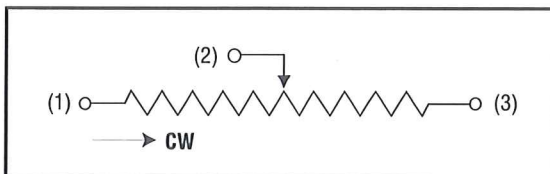
**Standard:**



**Option:**



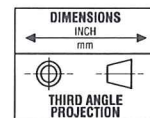
## CIRCUIT DIAGRAM



## NOTES

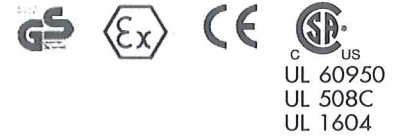
Metric equivalents, based on 1 inch = 25.4mm are rounded to the same number of significant figures as in the original. English units and are provided for general information only.

Tolerances unless otherwise specified:  
Linear =  $\pm .01$  inches (.25mm)  
Angular =  $\pm 2$  degrees

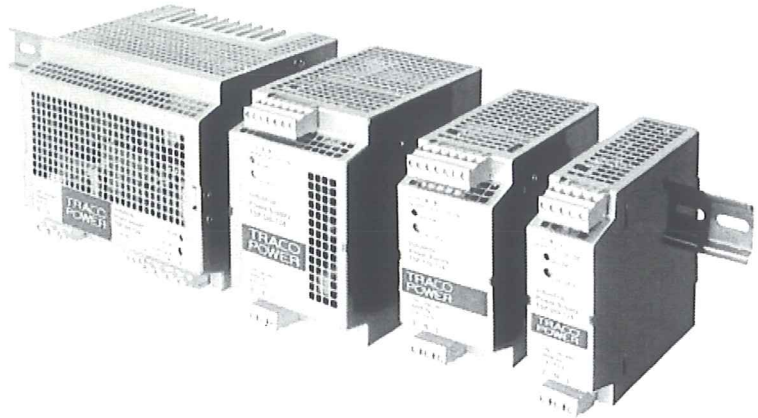




#### Innovative and Powerful Features!



- True Industrial Grade Design
- Rugged Metal Case for harsh industrial Environments
- For worldwide Use – Autoselect Input and international Safety Approvals
- Compliance to UL 1604 and IEC 60079-15 for hazardous Locations
- Model TSP 090-124N meets NEC Class 2
- Industrial Operating Temperature Range: -25°C to +70°C
- Variable Output Voltage
- Low Output Ripple
- Indefinite Short Circuit, Overvoltage and Overtemperature Protection
- Power Good Signal
- Remote ON/OFF
- Wall Mounting (Opt.)
- Redundancy Module
- Buffer Module for Power Backup
- Battery Controller Module For DC-UPS
- 3 Year Product Warranty



The TRACOPOWER TSP series is a new generation of high performance DIN-rail power supplies designed to work reliable also under difficult factory floor conditions. A high power reserve guarantees reliable start-up of loads with high inrush currents. Excellent electrical specifications and high immunity against electrical disturbances makes these compact modules the best choice to power sensitive loads in industrial process control systems, machine tools or other demanding industrial application. Easy installation with pluggable screw terminal block and snap-on mounting on DIN-rails. For system applications all models offer a DC-Ok signal and external shut down function. Redundant operation with true power sharing is available as an option. With another option these power supplies can be extended to a perfect DC-UPS system with automatic battery management. The TSP series power supplies complies with the latest EMC standard for industrial environment as EN 61204-3. International safety approvals include IEC 60950 with CB-scheme, UL/cUL 60950 and UL508C. These power supplies comply also with IEC 60079-15 and UL 1604 for applications in hazardous locations.

Models			
Model No.	*Output Voltage (V <sub>nom</sub> )	**Output Current (I <sub>max</sub> )	Output Power (P <sub>max</sub> )
TSP 070-112	12 VDC	6.0 A	72 W
TSP 090-124	24 VDC	3.8 A	90 W
TSP 090-124N	24 VDC	3.8 A	90 W
TSP 140-112	12 VDC	12.0 A	144 W
TSP 180-124	24 VDC	7.5 A	180 W
TSP 360-124	24 VDC	15.0 A	360 W
TSP 600-124	24 VDC	25.0 A	600 W

\* Output Voltage adjustable 12 - 14 VDC resp. 24 - 28 VDC

\*\*Max. current at Nominal Output Voltage

**Product Features**

**The Ultimate DIN - Rail Power Supply !**

**Remote on/off**

**Control Output for true  
N+1 Redundancy or  
Battery Operation**

**Jumper for Parallel  
Operation or Battery Charge  
Mode selectable by Jumper**

**Multiple Output Terminals  
for easy Wiring**

**Rugged, Ultracompact  
Metal Case, Shock and  
Vibration to IEC 68-2**

**Dual Color Status  
Indicator LED**

**Industrial Approval  
Package: IEC/EN 60950  
UL/cUL 60950, EN 50178,  
UL 508C listed, UL 1604  
IEC/EN 60079-15**

**Adjustable Output Voltage**

**Convection Cooling,  
no internal fan, Thermal  
Overload Protection**

**DC-OK Monitoring via  
Relay Contact and NPN  
Output**

**Full CE Compliance  
incl. EN61000-3-2**

**Autorange Input  
for worldwide Use**

**Self-locking DIN-rail  
fixing Latch**

**Pluggable Screw Terminal Block for  
quick disconnect and easy Installation**



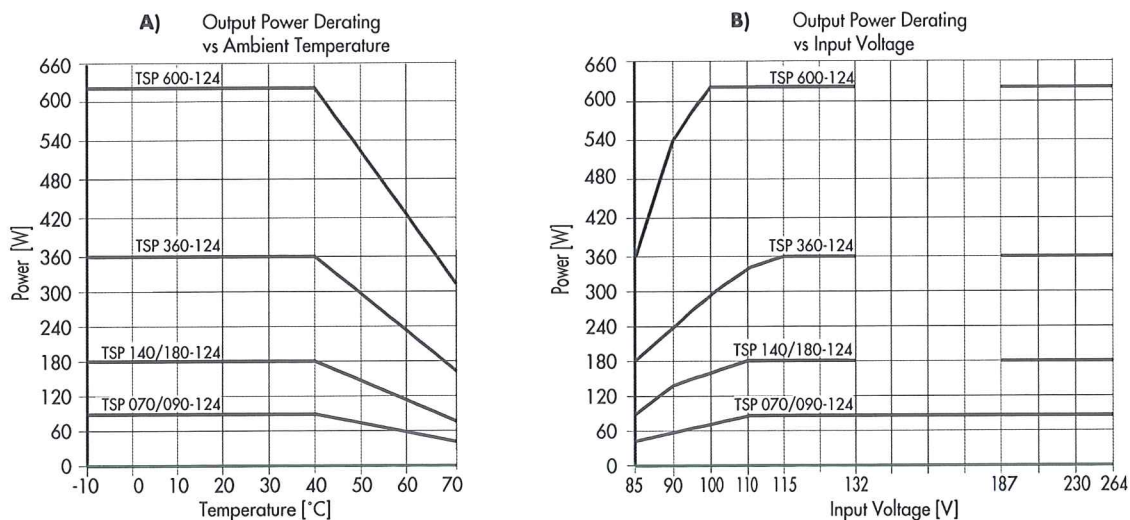
Input Specifications		
Input voltage range		85-132 / 187-264 VAC autoselect output current derating at operation below 100 VAC - see graph B
Input voltage frequency		47 - 63 Hz
Harmonic limits		EN 61000-3-2, Class A (for limited output power)
Holdup time		20 ms min. (full load 115/230 VAC)
Inrush current		115 VAC                      230 VAC
	- TSP 070/090	< 12 A                      < 20 A
	- TSP 140/180	< 13 A                      < 25 A
	- TSP 360	< 16 A                      < 25 A
	- TSP 600	< 25 A                      < 30 A
Recommended circuit breaker, characteristic C or fuse, slow blow type	- TSP 070/090	6.0 A
	- TSP 140/180	6.0 A
	- TSP 360	10.0 A
	- TSP 600	15.0 A
Efficiency		87% typ.
Output Specifications		
Output voltage adj. range	- 12 VDC models:	12 - 14 VDC
	- 24 VDC models:	24 - 28 VDC
Regulation	- Input variation	0.5 % max.
	- Load variation (10 - 100 %)	0.5 % max.
Ripple and Noise (20MHz Bandwidth)		100 mV pk-pk typ. (200 mV pk-pk max. at I <sub>max</sub> )
Electronic short circuit protection		current limitation at I <sub>max</sub> . constant current, automatic recovery
Output overvoltage protection	- 12 VDC models:	20V
	- 24 VDC models:	35V
Overload protection		electronic overload protection
Overtemperature protection		switch off at overtemperature, automatic restart
Status indicator		dual color LED (green: DC ok, red: DC off)
Power-Good signal	- trigger threshold:	- 12 VDC models: 9 - 11V
		- 24 VDC models: 18 - 22V
	- active output signal:	- 12 VDC models: 11.0 V ±1.0V / 60 mA max.
	(reference to -V <sub>out</sub> )	- 24 VDC models: 22.0 V ±2.0V / 30 mA max.
	- relay output	DC OK = contact closed (rated: 30VDC / 1.0A)
Max. capacitive load		unlimited
General Specifications		
Operating temperature range		- 25°C...+70°C max. (-13°F...+158°F) (derating see graph A on page 4)
Cooling		convection cooling, no internal fan
Storage temperature		- 25 °C...+ 85 °C                      (- 13°F...+185°F)
Humidity (non condensing)		95 % rel. H max.
Pollution degree		2
Temperature coefficient		0.02 %/K
Reliability, calculated MTBF		>350'000h in acc. to IEC 61709
Remote on/off		by ext. contact. DC on: -S contact open DC off: -S connected via 1 Kohm to -V <sub>out</sub>

All specifications valid at nominal input voltage, full load and +25°C after warm-up time unless otherwise stated.

**General Specifications**

Isolation		according to IEC/EN 60950, UL 60950, UL 508C
Safety standards	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Information technology equipment</li> <li>- Industrial control equipment</li> <li>- Electrical equipment of machines</li> <li>- Electronic equipment for power installation</li> <li>- Control equipment for hazardous location</li> <li>- Safety transformers for SMPS</li> <li>- Limitet power source (model TSP 090-124N)</li> </ul>	IEC/EN 60950, UL/cUL 60950 UL 508C EN 60204 EN 50178 IEC/EN 60079-15 (Zone 2), UL 1604 (Class 1, Div. 2, Groups A, B, C, and D) EN 61558-2-8 EN 60950 sect. 2.5 and NEC Class 2
Safety approvals (pending)		CB-Report as per IEC 60950 UL/cUL 60950 recognized, UL/cUL 508 listed EN 50178, EN 60079-15, EN 61558-2-8, UL 1604
Safety class		Degree of electrical protection 1 (IEC 536)
Case protection		IP 20 (IEC 529)
Electromagnetic compatibility (EMC), Emissions	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conducted RI suppression on input</li> <li>- Radiated RI suppression</li> </ul>	EN 61000-6-3, EN 61204-3 EN 55011 class B, EN 55022 class B, EN 55011 class B, EN 55022 class B,
Electromagnetic compatibility (EMC), Immunity	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Electrostatic discharge (ESD)</li> <li>- Radiated RF field immunity</li> <li>- Electrical fast transient / burst immunity</li> <li>- Surge immunity</li> <li>- Immunity to conducted RF disturbances</li> <li>- Power frequency field immunity</li> <li>- Voltage dips</li> </ul>	EN 61000-6-2, EN 61204-3 IEC / EN 61000-4-2 4 kV / 8 kV IEC / EN 61000-4-3 10 V / m IEC / EN 61000-4-4 2 kV IEC / EN 61000-4-5 2 kV / 4 kV IEC / EN 61000-4-6 10 V IEC / EN 61000-4-8 30 A / m IEC / EN 61000-4-11
Environment	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vibration acc. IEC 60068-2-6;</li> <li>- Shock acc. IEC 60068-2-27</li> </ul>	3 axis, sine sweep, 10-55Hz, 1g, 1oct/min 3 axis, 15g half sine, 11ms
Enclosure material		aluminium (chassis) / zinc plated steel (cover)
Mounting	<ul style="list-style-type: none"> <li>- DIN-rail mounting</li> <li>- Wall mounting (option)</li> </ul>	for DIN-rails as per EN 50022-35x15/7.5 (snap-on with self-locking spring) with wall mounting bracket - see page 10
Connection		pluggable screw terminals (plugs included) 2 terminals per output

**Output Power Derating**



All specifications valid at nominal input voltage, full load and +25°C after warm-up time unless otherwise stated.

**ÖLFLEX® 120 H**

Flexible, halogen-free control cable

halogen free  
flexible  
low-cost**Application**

The range of applications for the environment-conscious, halogen-free control cable ÖLFLEX® 120 H and 120 CH includes all electrical installations in dry and damp interiors, especially under industrial conditions. Installation outdoors only with UV protection. Cables are suitable for fixed installation, but also for flexible applications under conditions of not continuously moved applications on/in machinery, appliances, rail vehicles, ventilation and air-conditioning systems, office machines, data processing equipment, airports and industrial plant of all types with medium mechanical stress. Low corrosive gases only are produced in the event of fire.

**Advantages**

ÖLFLEX® 120 H a combination of properties: PVC-free, halogen-free (IEC 60 754-1), low toxicity of the smoke gases (NES 713 and NF C 20-454), low smoke density (IEC 61 034-1); the materials are flame retardant and self-extinguishing according to IEC 60 332.1, lead-, asbestos-, CFC-, silicone-free (LBS-free) and hydrolysis-resistant. The newly developed and not cross-linked halogen-free material is completely recyclable. The characteristics of the ÖLFLEX® 120 H correspond to the abbreviation LSF 0H (Low Smoke in Fumes, Zero Halogen). The halogen-free material prevents of toxic dioxins and furanes. These cables are therefore particularly suitable for use where human and animal life as well as valuable properties are exposed to extremely high risk of fire. These cables are very easy and fast to handle. The ÖLFLEX® 120 CH has a copper screened braid with a high coverage. The screening has a typical transfer impedance of max. 250 Ohm/km at 30 MHz. The cables are tough but highly flexible as well as cold flexible down to -25 °C.

**Note**

We recommend for applications in oily areas, such as machine tools, the halogen-free and oil-resistant version, for cables for continuously moved applications. Information about other cable products without PVC ( ) and about our halogen-free cable glands and accessories see the catalogue or contact our sales staff. The fire load values are determined in accordance with DIN 51900 and available on request. For optimum earthing of the braid we recommend to use our glands. The product is conform to EEC directive 73/23 (Low Voltage Directive) CE.

**Cable Make-up**

Fine wire strands of plain copper wires in accord. to VDE 0295 Cl.5/IEC 60 228 Cl.5, core insulation of halogen-free, thermoplastics polyolefin copolymer with improved fire characteristics; black with white numbers in accord. to VDE, version G: with green-yellow protective conductor, version X: without protective conductor. Cores twisted in layers, outer sheath of halogen-free thermoplastics polyolefin copolymer with improved fire characteristics, flame-retardant and self-extinguishing (IEC 60 332.1), silver-grey (RAL 7001).

**Technical Data**

Minimum bending radius for flexing:  
15 x outer diameter static;  
4 x outer diameter



Temperature range: flexing: -25 °C up to +70 °C static: -40 °C up to +70 °C



Conductor stranding: fine wire in accordance to VDE 0295 class 5, IEC 60228 Cl.5



Core ident code: black cores with white numbers (VDE 0293)



Protective conductor: G = with protective conductor X = without protective conductor



Nominal voltage U0/U: 300/500 V



Insulation: specific insulation resistance: > 1 TOhm x cm



Test voltage: 4000 V



In accordance to: conduct: VDE 0245/0250/0281 sheath: VDE 0250/0281

Part number	No. of cores and mm <sup>2</sup> per conductor	Approx. outside diameter in mm ca.	Copper weight kg/km	Approx. weight kg/km
<b>ÖLFLEX® 120 H</b>				
<u>1021 802</u>	2 X 0,75	5,4	14,4	42
<u>1021 103</u>	3 G 0,75	5,7	21,6	51
<u>1021 803</u>	3 X 0,75	5,7	21,6	51
<u>1021 104</u>	4 G 0,75	6,2	28,8	62
<u>1021 804</u>	4 X 0,75	6,2	28,8	62
<u>1021 105</u>	5 G 0,75	6,7	36,0	74
<u>1021 805</u>	5 X 0,75	6,7	36,0	74
<u>1021 107</u>	7 G 0,75	7,3	50,0	95
<u>1021 807</u>	7 X 0,75	7,3	50,0	95
<u>1021 109</u>	9 G 0,75	9,4	65,0	128
<u>1021 112</u>	12 G 0,75	9,9	86,0	161
<u>1021 115</u>	15 G 0,75	10,9	108,0	197
<u>1021 118</u>	18 G 0,75	11,7	130,0	230
<u>1021 125</u>	25 G 0,75	13,8	180,0	319
<u>1021 134</u>	34 G 0,75	15,9	245,0	424
<u>1021 141</u>	41 G 0,75	17,4	296,0	510
<u>1021 852</u>	2 X 1,0	5,7	19,2	49
<u>1021 203</u>	3 G 1,0	6,0	28,8	60
<u>1021 853</u>	3 X 1,0	6,0	28,8	60
<u>1021 204</u>	4 G 1,0	6,5	38,4	74
<u>1021 854</u>	4 X 1,0	6,5	38,4	74
<u>1021 205</u>	5 G 1,0	7,1	48,0	88
<u>1021 855</u>	5 X 1,0	7,1	48,0	88
<u>1021 207</u>	7 G 1,0	8,0	67,0	119
<u>1021 857</u>	7 X 1,0	8,0	67,0	119
<u>1021 212</u>	12 G 1,0	10,2	115,0	195
<u>1021 218</u>	18 G 1,0	12,7	173,0	285
<u>1021 225</u>	25 G 1,0	14,7	240,0	388
<u>1021 241</u>	41 G 1,0	18,8	394,0	629
<u>1021 250</u>	50 G 1,0	20,6	480,0	759
<u>1021 902</u>	2 X 1,5	6,3	29,0	63
<u>1021 303</u>	3 G 1,5	6,7	43,0	79
<u>1021 903</u>	3 X 1,5	6,7	43,0	79
<u>1021 304</u>	4 G 1,5	7,2	58,0	98
<u>1021 904</u>	4 X 1,5	7,2	58,0	98
<u>1021 305</u>	5 G 1,5	8,1	72,0	120
<u>1021 905</u>	5 X 1,5	8,1	72,0	120
<u>1021 307</u>	7 G 1,5	8,9	101,0	158
<u>1021 907</u>	7 X 1,5	8,9	101,0	158
<u>1021 309</u>	9 G 1,5	11,4	130,0	210
<u>1021 310</u>	10 G 1,5	11,6	143,0	230
<u>1021 312</u>	12 G 1,5	12,0	173,0	265
<u>1021 318</u>	18 G 1,5	14,4	259,0	388
<u>1021 321</u>	21 G 1,5	15,7	302,0	447
<u>1021 325</u>	25 G 1,5	16,9	360,0	535
<u>1021 334</u>	34 G 1,5	19,4	490,0	713
<u>1021 341</u>	41 G 1,5	21,3	591,0	856
<u>1021 350</u>	50 G 1,5	23,5	720,0	1042
<u>1021 952</u>	2 X 2,5	7,5	48,0	95
<u>1021 403</u>	3 G 2,5	8,1	72,0	124
<u>1021404</u>	4 G 2,5	8,9	96,0	154
<u>1021 405</u>	5 G 2,5	10,0	120,0	189
<u>1021 407</u>	7 G 2,5	11,1	168,0	254
<u>1021 412</u>	12 G 2,5	14,8	288,0	425
<u>1021 504</u>	4 G 4,0	10,8	154,0	236
<u>1021 604</u>	4 G 6,0	13,0	230,0	350
<u>1021 605</u>	5 G 6,0	14,5	288,0	429

G = with protective conductor gn/ye; X = Without protective conductor.  
 No cutting costs are charged for standard lengths (50, 100, 250, 500, 1000 m).  
 Please advise the lengths you require (e.g. 1 x 500 m drum or 5 x 100 m coil).  
 Coils < 30 kg, drums > 30 kg.  
 Copper base: 150,- Euro / 100 kg

## Kostnadsoverslag

Distributors	Art. nr	antall	Beskrivelse	Pris pr stk
Elfa	69-002-45	1	strømforsyning	1498
Elfa	64-246-26	2	potensiometer	71
Elfa	35-239-09	1	bryter	72,2
Elfa	35-116-07	1	nødstop	111
Elfa	35-199-07	1	gummihette	25,2
Elfa	35-116-64	1	skilt	40,3
Elfa	35-112-50	2	kontaktmodul	45,8
Elfa	35-112-01	1	paneladapter	9,25
Elfa	35-562-71	1	ramme	45,7
Elfa	55-537-30	7 m.	kabel 7 leder	32,5 pr.m.
Elfa	33-177-81	10	sikringer	1,73
Elfa	33-160-49	10	sikringsholder	6,66
Elfa	33-686-51	1	lampe-grønn	143
Elfa	55-005-33	6	gjennomføring	2,6
Elfa	55-005-17	6	gjennomføring	2,42
Elfa	55-120-21	10 m.	kabelbeskyttelse	16,7 pr.m.
Elfa	36-305-14	4	grensebryter	325
Servi	NH30-SD-50/35x300-S-T-B-TV	3	sylinger	6000
Servi	D634-XXXX-R40K02MONSP2	2	servoventil	16650
Servi	B97007-061	2	monteringsplate	1425
Servi		1	Skap/elektro	249
Servi	DGAM-5-10R	2	Connector servovent.	595
Elfa			Diverse elektronikk	193
Mørlandsmoen bilopphugging	Volvo 460 deler	2	Spindel-lager	200
Tess	Svaco 1400520	6	hjul	624
Europris		3	malingskost	20
Grimstad båd senter	Hempel 845 tynner	1	tynner	79,2
Biltema	hammerlakk	2	lakk	59,9
Grimstad båd senter	Hempel light primer stone gray	2	Primer	196
Clas Ohlsen	305643	4	Aksel 25 mm	129
Clas Ohlsen	361221	2	Gjennomføring	19
Biltema	86746	4	Hylsemutter	59,6
Biltema	86748	4	pinneskrue	67,6
Clas ohlsen	313407	1	medisinskap	249
			Eks. moms	65810,8

Materialer, koplinger, slanger og rør er ikke tatt med i budsjettoverslaget.

## Vedlegg B    Snittmålinger



```
clear stage1 stage2 stage3 stage4 stage5 stage6 stage7 stage8 stage9
stage10
```

```
close all
```

```
total=data2;
```

```
n=1
```

```
p=1
```

```
a=size(total)
```

```
a(1)
```

```
%Datakolonne:
```

```
k=4
```

```
for k=2:10
```

```
t=input('trykk en tast!');
```

```
close all
```

```
while n+2<=(a(1)/3^0)
```

```
stage1(p,1)=(total(n,k)+total(n+1,k)+total(n+2,k))/3;
```

```
t1(p,1)=total(n+1,1);
```

```
n=n+3;
```

```
p=p+1;
```

```
end
```

```
n=1;
```

```
p=1;
```

```
while n+2<=(a(1)/3^1)
```

```
stage2(p,1)=(stage1(n,1)+stage1(n+1,1)+stage1(n+2,1))/3;
```

```
t2(p,1)=t1(n+1,1);
```

```
n=n+3;
```

```
p=p+1;
```

```
end
```

```
n=1;
```

```
p=1;
```

```
while n+2<=(a(1)/3^2)
```

```
stage3(p,1)=(stage2(n,1)+stage2(n+1,1)+stage2(n+2,1))/3;
```

```
t3(p,1)=t2(n+1,1);
```

```
n=n+3;
```

```
p=p+1;
```

```
end
```

```
n=1;
```

```
p=1;
```

```
while n+2<=(a(1)/3^3)
```

```
stage4(p,1)=(stage3(n,1)+stage3(n+1,1)+stage3(n+2,1))/3;
```

```
t4(p,1)=t3(n+1,1);
```

```
n=n+3;
```

```
p=p+1;
```

```
end
```

```
n=1;
```

```
p=1;
```

```

while n+2<=(a(1)/3^4)
stage5(p,1)=(stage4(n,1)+stage4(n+1,1)+stage4(n+2,1))/3;
t5(p,1)=t4(n+1,1);
n=n+3;
p=p+1;
end

```

```

n=1;
p=1;
while n+2<=(a(1)/3^5)
stage6(p,1)=(stage5(n,1)+stage5(n+1,1)+stage5(n+2,1))/3;
t6(p,1)=t5(n+1,1);
n=n+3;
p=p+1;
end

```

```

n=1;
p=1;
while n+2<=(a(1)/3^6)
stage7(p,1)=(stage6(n,1)+stage6(n+1,1)+stage6(n+2,1))/3;
t7(p,1)=t6(n+1,1);
n=n+3;
p=p+1;
end

```

```

plot(total(:,k))
figure
plot(t1,stage1(:,1))
title('Stage1');
ylabel('ant. G');
xlabel('Tid i sekunder');
figure

```

```

plot(t2,stage2(:,1))
title('Stage2');
ylabel('ant. G');
xlabel('Tid i sekunder');
figure

```

```

plot(t3,stage3(:,1))
title('Stage3');
ylabel('ant. G');
xlabel('Tid i sekunder');
figure

```

```

plot(t4,stage4(:,1))
title('Stage4 dt ca 0.1sek');
ylabel('ant. G');
xlabel('Tid i sekunder');
figure

```

```

plot(t5,stage5(:,1))
title('Stage5 dt ca 0.2sek');
ylabel('ant. G');
xlabel('Tid i sekunder');
figure

```

```
plot(t6,stage6(:,1))
title('Stage6 dt ca 0.8sek');
ylabel('ant. G');
xlabel('Tid i sekunder');
figure
```

```
plot(t7,stage7(:,1))
title('Stage7 dt ca 2sek');
ylabel('ant. G');
xlabel('Tid i sekunder');
```

```
switch k
case 2
    '1X-akse'
case 3
    '1Y-akse'
case 4
    '1Z-akse'
case 5
    '2X-akse'
case 6
    '2Y-akse'
case 7
    '2Z-akse'
case 8
    'rotX-akse'
case 9
    'rotY-akse'
case 10
    'rotZ-akse'
end
```

```
end
```

## Vedlegg C Konvertering til wav

```
datakolonne=input('datakolonne 2-7:');
Fs=1000;

for datanr=1:11

switch datanr
    case 1
        inndata=data(:,datakolonne);
        wavwrite(inndata,Fs,'data1')
    case 2
        inndata=data2(:,datakolonne);
        wavwrite(inndata,Fs,'data2')
    case 3
        inndata=data3(:,datakolonne);
        wavwrite(inndata,Fs,'data3')
    case 4
        inndata=data4(:,datakolonne);
        wavwrite(inndata,Fs,'data4')
    case 5
        inndata=data5(:,datakolonne);
        wavwrite(inndata,Fs,'data5')
    case 6
        inndata=data6(:,datakolonne);
        wavwrite(inndata,Fs,'data6')
    case 7
        inndata=data8(:,datakolonne);
        wavwrite(inndata,Fs,'data8')
    case 8
        inndata=data9(:,datakolonne);
        wavwrite(inndata,Fs,'data9')
    case 9
        inndata=data10(:,datakolonne);
        wavwrite(inndata,Fs,'data10')
    case 10
        inndata=data11(:,datakolonne);
        wavwrite(inndata,Fs,'data11')
    case 11
        inndata=data12(:,datakolonne);
        wavwrite(inndata,Fs,'data12')
end
end
```

## Vedlegg D Eulers integrasjons script

```
indata=D6(:,2);
%initialverdier
integrated=0

for n=1:size(indata,1)
    integrated(n+1,:)=integrated(n,:)+indata(n,:)*0.001;
end
```

Vedlegg E1    ADXL345 MATLAB script



```

fid = fopen('002');

%fra USB:
%C = textscan(fid, '%2*s %4s %2*s %4s %2*s %4s');

%fra minnekort:
C = textscan(fid, '%4s %1*s %4s %1*s %4s');
fclose(fid);
x=C{1,1}
y=C{1,2}
z=C{1,3}

x=hex2dec(x)
y=hex2dec(y)
z=hex2dec(z)

[a b]=size(x)

for n=(1:a);
    if x(n,1) > 32767
        x(n,1)=x(n,1)-65535;
    end

    if y(n,1) > 32767
        y(n,1)=y(n,1)-65535;
    end

    if z(n,1) > 32767
        z(n,1)=z(n,1)-65535;
    end

    t(n,1)=0.01*n;

end

a=[t,x,y,z]

```

## Vedlegg E2    ADXL345 LabVIEW script

Basic Serial Write and Read

Konvertering og summering

Aksesumering

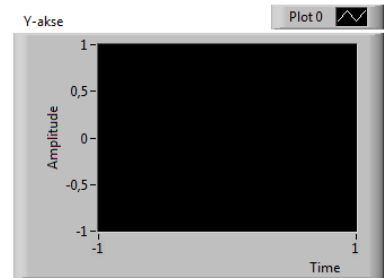
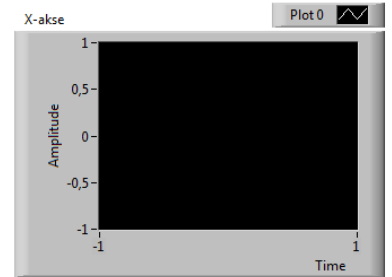
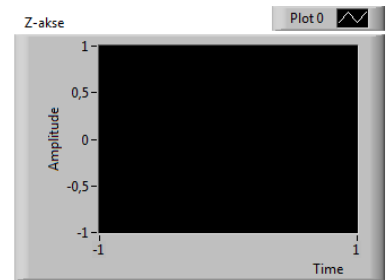
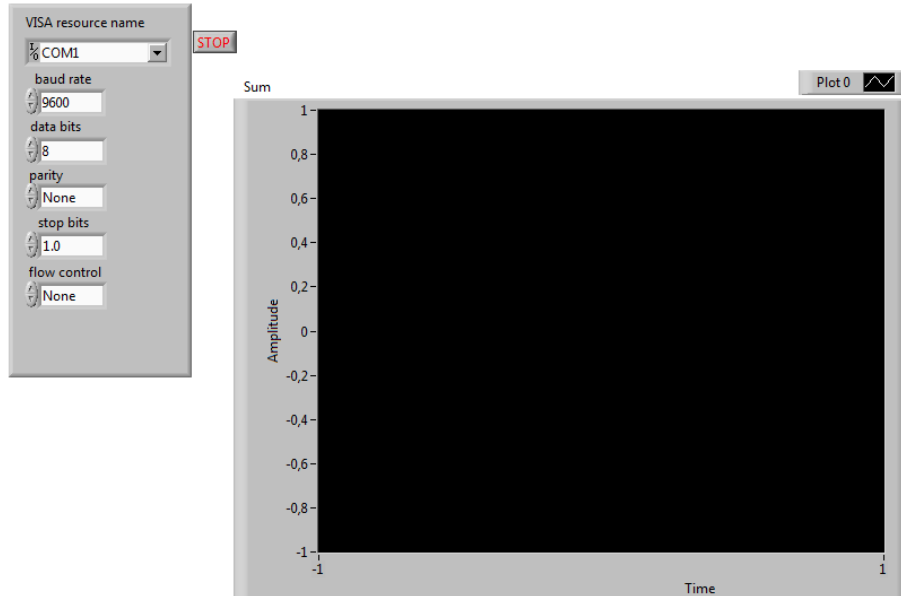
# Basic Serial Write and Read.vi

## Front Panel

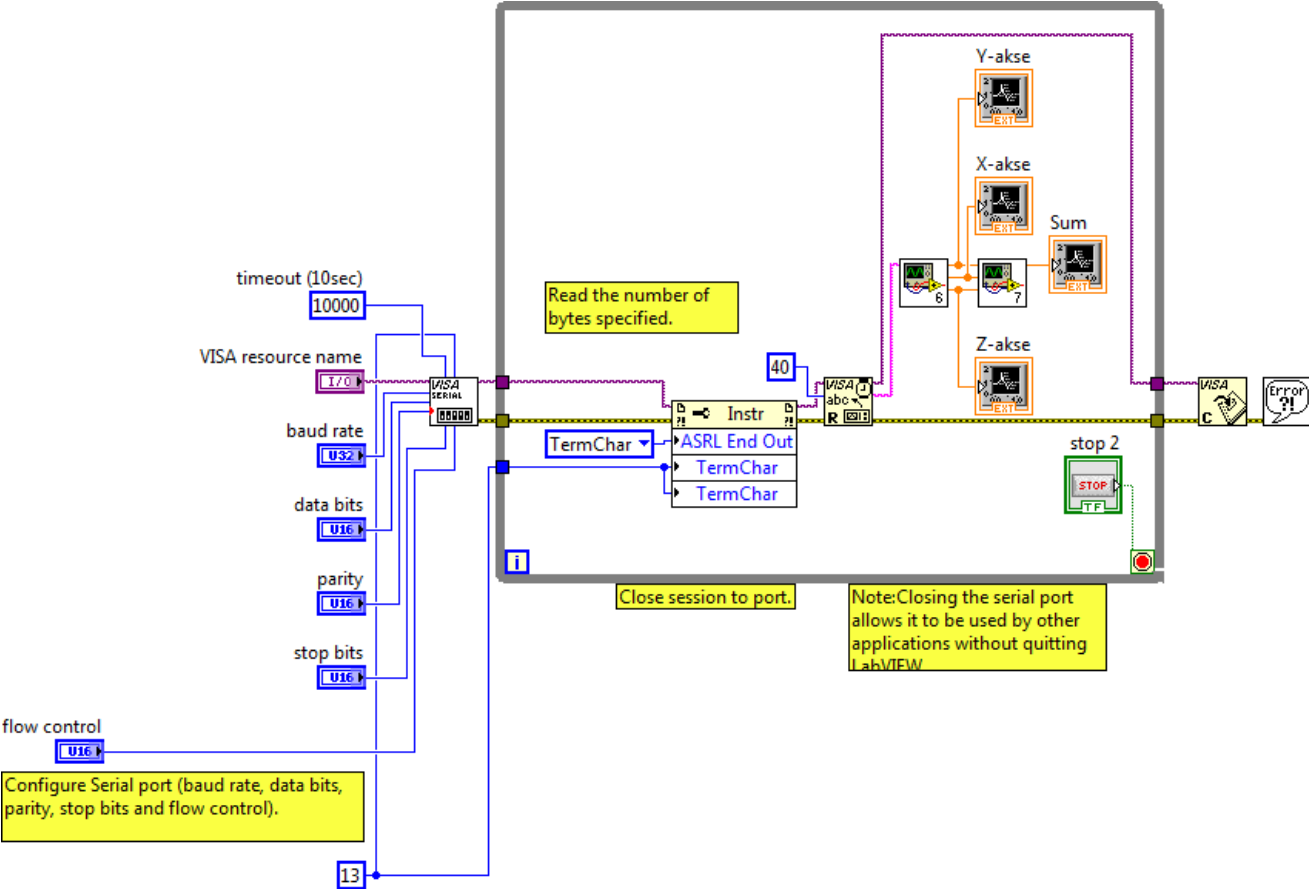
On Windows/Linux, consider using the Instrument Driver Finder ([Help>>Find Instrument Drivers](#)) to search for an instrument driver for your instrument.

Select the serial resource and the operations (Read, Write, or both) to be performed. If both are selected, the VI will write the data first, read data and then close the VISA session that is opened to the port. This VI will wait until the specified number of bytes is received at the port or until a termination character is read.

For additional information select [File >> VI Properties >> Documentation](#)



Block Diagram



## Konvertering og summering

Front panel

read buffer

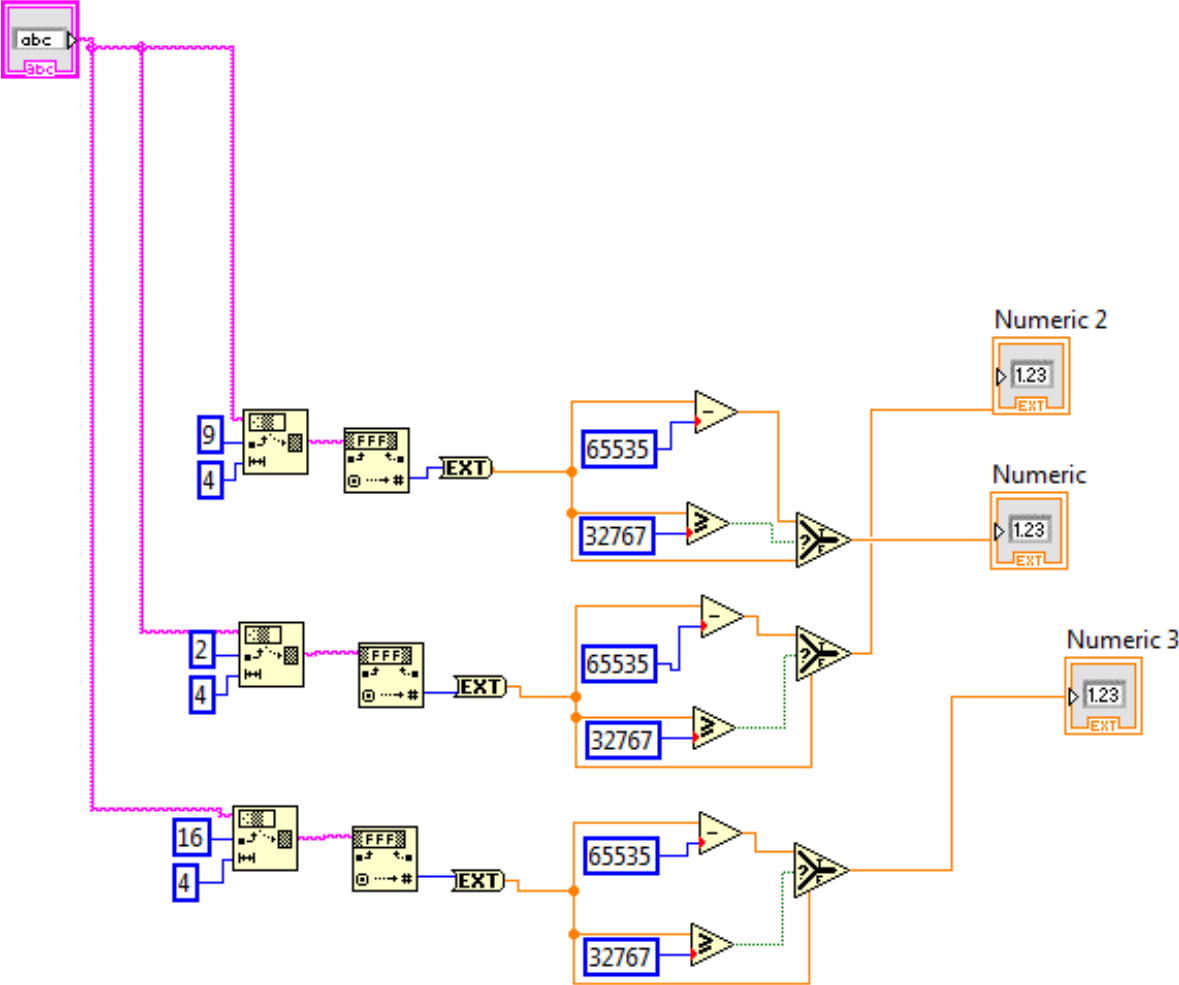
Numeric 2

Numeric

Numeric 3

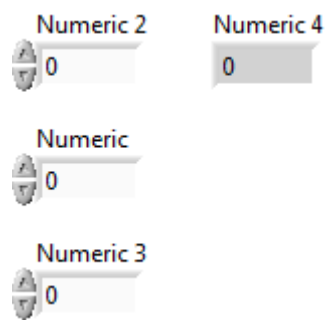
Block Diagram

read buffer

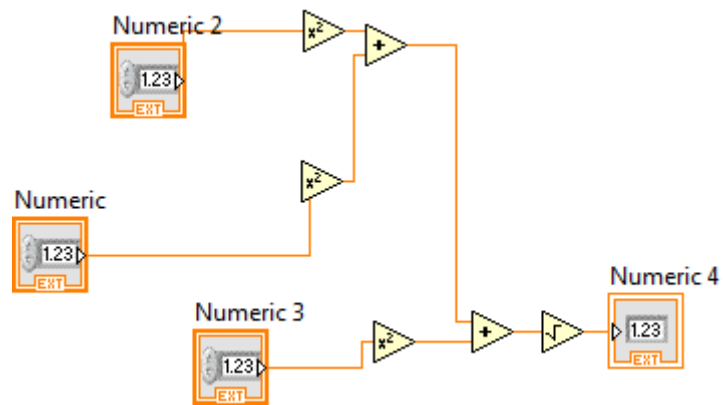


# Aksesummering

Front panel



Block Diagram



Vedlegg F      Akselerometer Arduino kode



```

/*****

* BMA180_SPI_Example.pde ----- Sample sketch for BMA180 Accelerometer using SPI Mode
3

*

* A sample sketch that shows the basic functions of the BMA180 accelerometer.

*

*Arduino-modda av LaRs :D, kontinuerlig lesing, delay mellom lesingene
Baud Rate: 19200

*****/

#include <SPI.h>

#define ee_w_MASK      0x10
#define mode_config_MASK  0x03
#define bw_MASK        0xF0
#define range_MASK     0x0E
#define lat_int_MASK   0x01
#define lat_int        0x01    //for å latche interrupt'et (interrupt er høyt til det blir resatt
eller data blir avlest)
#define READ           0x80    //Som en del av SPI-protokollen må dette bit settes for å gå
i lesemodus
#define CSB            10      //slave select pin
#define START          PORTB &= ~0x04 //CS lav -> lese/skrivesekvens klar
#define STOP           PORTB |= 0x04 //CS høy -> lese/skrivesekvens ferdig

int x,xl,y,yl,z,zl,newdata,data; //digitale verdier

int G1=A2;
int G2=A1;
int imeter=A0;          //analoge input

int pitchdot=0;
int pitch=0;
int rolldot=0;         //analoge initialverdier

char adresse;

const int dataReadyPin = 9; //

```

```
void setup() {

  Serial.begin(19200);
  pinMode (CSB, OUTPUT); // set the slaveSelectPin as an output
  SPI.begin();
  SPI.setDataMode(SPI_MODE3);
  SPI.setClockDivider(2);

  //soft reset
  START;
  SPI.transfer(0x10);
  SPI.transfer(0xff);
  STOP;
  delay(1000);

  /*Set EEPROM image to write mode so we can change configuration*/

  delay(20);
  byte ee_w = les(0x0D);
  delay(1);

  START;
  ee_w |= ee_w_MASK;
  SPI.transfer(0x0D);
  SPI.transfer(ee_w);
  STOP;
  delay(20);

  //disable I2C as per the datasheet

  byte dis_I2C = les(0x27);
  dis_I2C |= 0x01;
  delay(1);

  START;
  SPI.transfer(0x27);
  SPI.transfer(dis_I2C);
  STOP;
  delay(20);
```

```
/*Set mode configuration register to Mode 00*/
```

```
byte mode_config = les(0x30);  
mode_config &= ~(mode_config_MASK);  
delay(1);
```

```
START;  
SPI.transfer(0x30);  
SPI.transfer(mode_config);  
STOP;  
delay(20);
```

```
/*Set bandwidth
```

```
F10Hz      0x00  
F20Hz      0x01  
F40Hz      0x02  
F75Hz      0x03  
F150Hz     0x04  
F300Hz     0x05  
F600Hz     0x06  
F1200Hz    0x07  
F1Hz       0x08  
Bandpass0_2-20Hz 0x09
```

```
*/
```

```
byte bw = les(0x20);  
bw &= ~(bw_MASK);  
bw |= 0x02 << 4;
```

```
delay(1);  
START;  
SPI.transfer(0x20);  
SPI.transfer(bw);  
STOP;  
delay(20);
```

```
/*Set acceleration range
```

```
1G      0x00  
1.5G    0x01  
2G      0x02  
3G      0x03  
4G      0x04  
8G      0x05  
16G     0x06
```

```
*/  
byte range = les(0x35);  
range &= ~(range_MASK);  
range |= (0x06 << 1);
```

```
delay(1);  
START;  
SPI.transfer(0x35);  
SPI.transfer(range);  
STOP;  
delay(20);
```

```
/*Set interrupt latch state to non latching*/  
byte latch_int = les(0x21);  
latch_int &= ~(0x01);
```

```
delay(1);  
STOP;  
SPI.transfer(0x21);  
SPI.transfer(latch_int);  
STOP;  
delay(20);
```

```
/*Set interrupt type to new data*/  
byte int_type = les(0x21);  
int_type |= 0x02;
```

```
delay(1);  
START;  
SPI.transfer(0x21);  
SPI.transfer(int_type);  
STOP;  
delay(20);
```

```
/*set reduksjon av interruptfrekvens til 2x samplebåndbredden (sample skip)*/  
byte offset_lsb1 = les(0x35);  
offset_lsb1 |= (0x01);
```

```
delay(1);  
START;  
SPI.transfer(0x35);  
SPI.transfer(offset_lsb1);  
STOP;
```

```

/*reset blokkering av MSB når LSB leses (shadow dis)*/
byte gain_y = les(0x33);
gain_y &= ~(0x01);

delay(1);
START;
SPI.transfer(0x33);
SPI.transfer(gain_y);
STOP;
}

void loop()
{
  newdata=les(0x21)&0x02;

  if (newdata != 0)
  {
    START;
    SPI.transfer(0x02|READ);
    xl = SPI.transfer(0xff);
    x = SPI.transfer(0xff);
    delay(3);
    yl = SPI.transfer(0xff);
    y = SPI.transfer(0xff);
    delay(3);
    zl = SPI.transfer(0xff);
    z = SPI.transfer(0xff);
    STOP;

    x=x<<8;
    x=x|xl;
    x>>=2; //Bit0 og bit1 inneholder interruptstatus og 0. Trenger ikke disse....

    y=y<<8;
    y=y|yl;
    y>>=2;

    z=z<<8;
    z=z|zl;
    z>>=2;
  }

  pitchdot=analogRead(G1);
  pitch=analogRead(imeter);
  rolldot=analogRead(G2);
}

```

```
Serial.print((int)x,DEC);  
Serial.print(",");
```

```
Serial.print((int)y,DEC);  
Serial.print(",");
```

```
Serial.print((int)z,DEC);  
Serial.print(",");
```

```
Serial.print((int)pitchdot,DEC);  
Serial.print(",");
```

```
Serial.print((int)pitch,DEC);  
Serial.print(",");
```

```
Serial.print((int)rolldot,DEC);
```

```
Serial.print("\r");  
}
```

```
//Funksjon for å lese registre  
int les(char adresse)  
{  
  START;  
  SPI.transfer(adresse|READ);  
  data = SPI.transfer(0xFF);  
  STOP;  
  return data;  
}
```

Vedlegg G      inclinometer CXTLA\_Datasheet

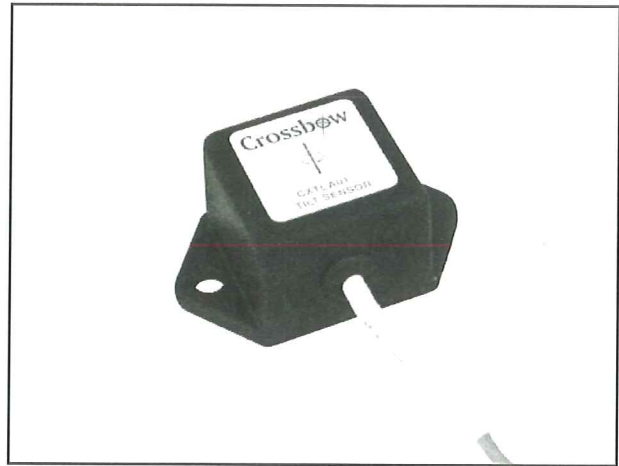
# CXTLA

## SOLID STATE, LOW RANGE, ANALOG SERIES

- ▼ Small, Low-Cost, Rugged
- ▼ Vibration Resistant
- ▼  $\pm 20^\circ$  Range, 100 mV/ $^\circ$  Output
- ▼ Fully Conditioned Analog Outputs

## Applications

- ▼ Scissor Lifts
- ▼ Static Platforms
- ▼ Alignment Systems
- ▼ Laser Leveling



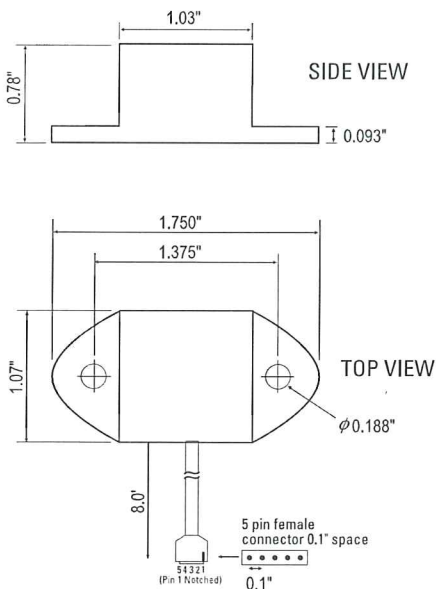
## CXTLA01, CXTLA02

The CXTLA single- and dual-axis analog tilt sensors offer high-resolution, accuracy, and fast response in an inexpensive, easy-to-use package. The CXTLA series design centers on a highly stable silicon micro-machined capacitive inclination sensor element. The CXTLA series is fully signal conditioned with high level analog output(s), and optional analog temperature signal.

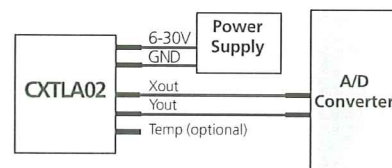
Micro-machined devices, perfected in automotive safety applications, offer several distinct advantages over fluid, electrolytic, and pendulum-based sensors. Like other solid-state devices, they are more reliable than their mechanical counterparts. In a package smaller than many pendulum or fluid sensing elements, completely integrated electronics eliminate the need for external components.

Unlike other micro-machined devices, the CXTLA Series maintains its accuracy and stability over temperature:  $< 2^\circ$  of arc over the range  $0^\circ$  to  $70^\circ$  C. The output can be user corrected for temperature with the -T option, yielding accuracy to within  $\pm 0.5^\circ$  over the angular range.

A typical configuration using CXTLA sensors is shown below. Each module is factory calibrated, tested and includes a calibration sheet. The module can be securely attached using screws or adhesive. The CXTLA is available in a standard nylon or high temperature aluminum package.



Micromachined Tilt Sensor Element



Typical CXTLA02 Configuration



Specifications	CXTLA01	CXTLA02	Remarks
<b>Performance</b>			
Angular Range (°)	± 20	± 20	
Angular Resolution (° rms)	0.03	0.03	
Sensitivity - small angles (mV/°)	100 ± 10	100 ± 10	Actual value provided with Sensor
Sensitivity Drift (%/°C)	0.01	0.01	
Zero Angle Voltage (Volts)	2.5 ± 0.15	2.5 ± 0.15	Actual value provided with Sensor
Zero Angle Drift (mV/°C)	3	3	Typical
Zero Angle Drift (°/°C)	0.03	0.03	Typical
Non-Linearity (°)	< 0.4	< 0.4	Over ± 20°
Bandwidth (Hz)	6	6	
Alignment (°)	± 1	± 1	Typical
Cross-axis Sensitivity (%)	< 5	< 5	Inclusive of alignment error
<b>Environment</b>			
Storage Temperature (°C)	-55 to +85	-55 to +85	Nylon Package
Operating Temperature (°C)	-40 to +85	-40 to +85	Nylon Package
Storage Temperature (°C)	-55 to +105	-55 to +105	-AL High Temperature Package
Operating Temperature (°C)	-40 to +105	-40 to +105	-AL High Temperature Package
Non-Operating Vibration (g rms)	10	10	20-2 kHz random
Shock (g)	2000	2000	1 ms, half sine
<b>Electrical</b>			
Supply Voltage (VDC)	6 - 30	6 - 30	Unregulated
Current (mA)	4	8	
<b>Physical</b>			
Size	(Nylon Package) .78 x 1.75 x 1.07" (1.98 x 4.45 x 2.72 cm)		
	(Aluminum Package) .95 x 2.00 x 1.20" (2.41 x 5.08 x 3.05 cm)		
Weight	(Nylon Package) 1.38 oz (43 gm)		
	(Aluminum Package) 2.09 oz (65 gm)		

Notes

<sup>1</sup>Not including arc sine error

Specifications subject to change without notice

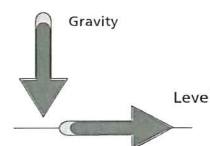
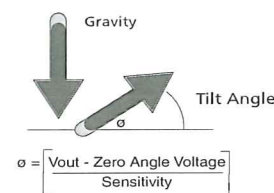


Figure 1  
Sensitivity (V/°)



tilt sensors

## Principle of Operation

The CXTLA Series Tilt Sensors use a micro-machined acceleration sensing element with a DC response to measure inclination relative to gravity. The response of the tilt sensor depends on the magnitude of gravity parallel to the sensor element. The output of the tilt sensor will be an offset voltage plus the voltage response proportional to the amount of gravity measured by the sensor.

## Using the CXTLA Sensor

The voltage response of the CXTLA is proportional to the tilt angle.

Accurately measuring tilt angle involves solving the equation shown at Figure 1. To solve this equation the Zero Angle Voltage and Sensitivity must be determined prior to use. Crossbow provides this information on a calibration sheet with its CXTLA products.

Pin	Color	Function
1	Red	Power
2	Black	Ground
3	White	Roll
4	Yellow	Pitch
5	Green	Temp

Pin Diagram



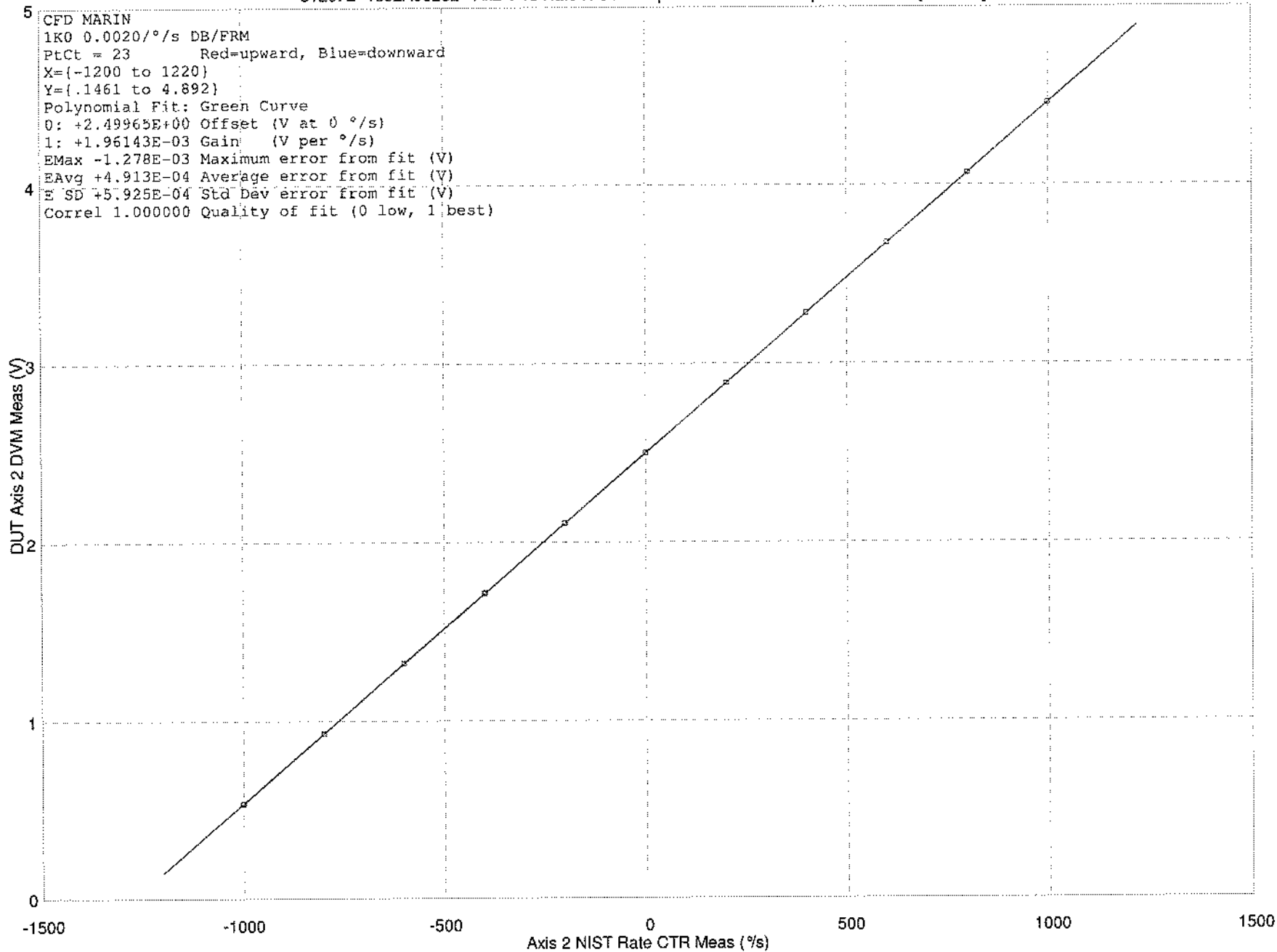
Optional Aluminum Package

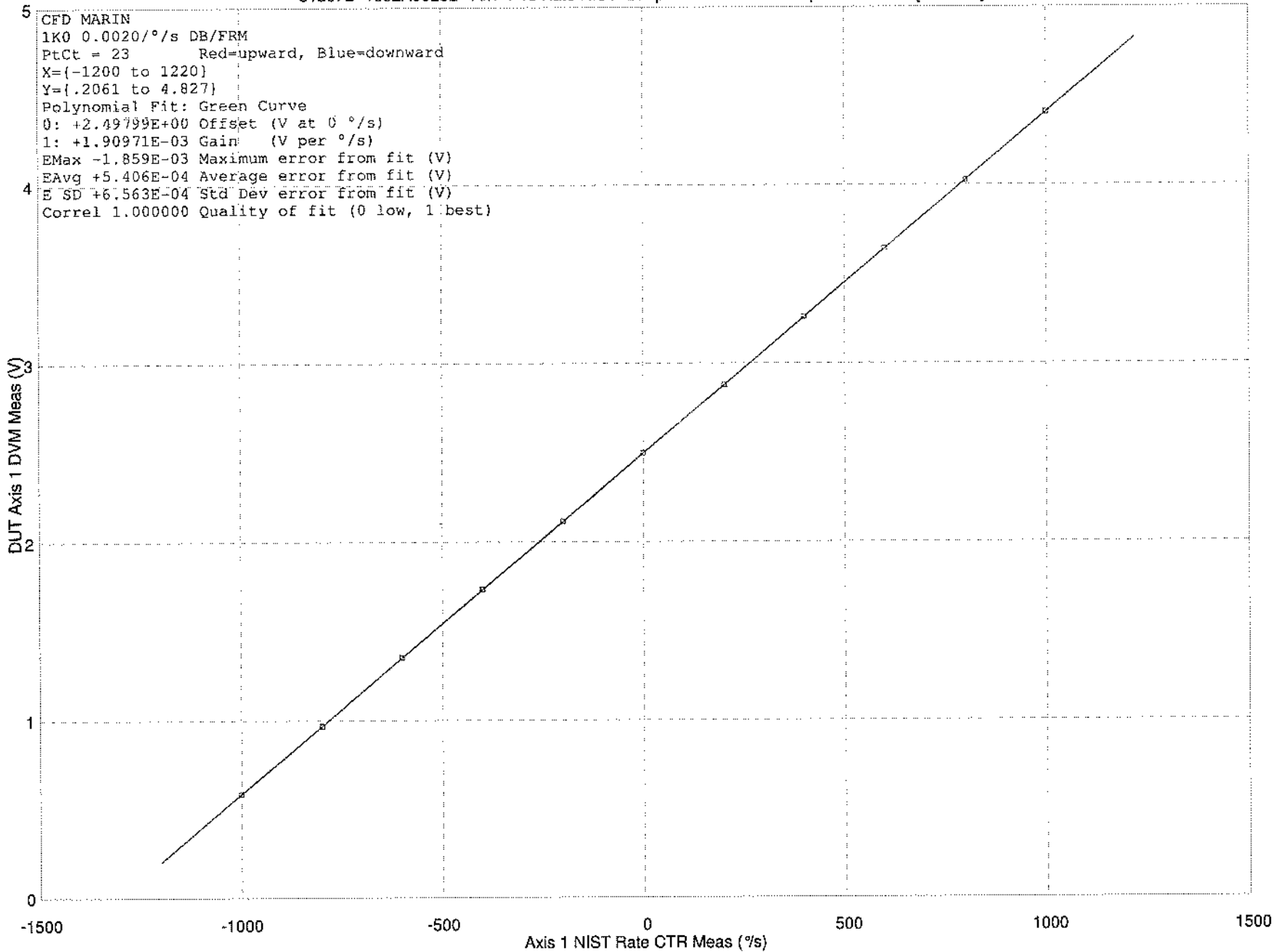
## Ordering Information

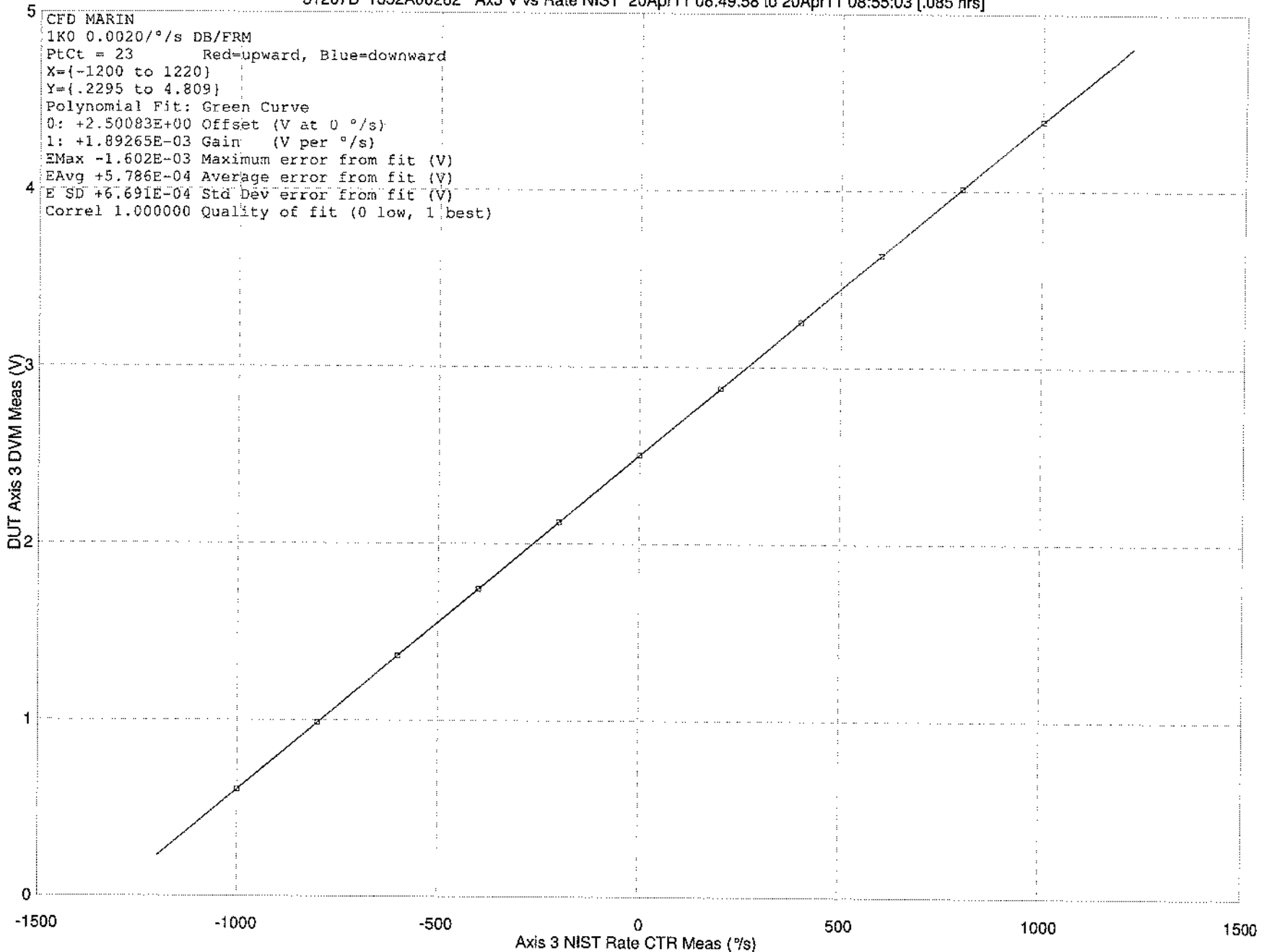
Model	Axes	Full Range	Resolution
CXTLA01	X	± 20°	0.03°
CXTLA02	X,Y	± 20°	0.03°
OPTIONS			
-T	Temperature Sensor Internal		
-AL	High Temperature Aluminum Package		

CALL FACTORY FOR OTHER CONFIGURATIONS

## Vedlegg H Gyro kalibreringsbevis







Vedlegg I differansesjekk

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
%Brukes til å finne korrekt gain til gyroen, basert på data fra  
%inclinometeret. Forkast dataene som inneholder målinger utenfor  
%inclinometerets måleområde!
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
clear all  
close all  
load testverdier
```

```
for l=1:4  
    clear gyro inclinometer differanse;
```

```
switch l  
    case 1  
        data=data1;  
    case 2  
        data=data2;  
    case 3  
        data=data4;  
    case 4  
        data=data5;  
end
```

```
gyro=data(:,5);  
inclinometer(2:size(data,1),1)=diff(data(:,6))./diff(data(:,1));  
gyro=lavpass(gyro);  
inclinometer=lavpass(inclinometer);
```

```
gain=80;
```

```
for n=1:20000
```

```
differanse=abs(inclinometer-(gain*gyro));  
res(n,1)=trapz(differanse);  
res(n,2)=gain;  
gain=gain+0.001;
```

```
end
```

```
figure;  
plot(res(:,2),res(:,1))
```

```
[val pos]=min(res(:,1)); %finder verdi og gain til laveste måling
```

```
minverdi(1,1)=res(pos,2) %liste med ideel gain;  
end  
mean(minverdi)
```

Vedlegg J      Plassering av akslene og kjøremønster script



```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
%laster inn de ferdig skalerte dataene. Regner ut sentripetalakselerasjon,  
%vinkel ut i fra inclinometer og gyro ved hjelp av et komplimenterfilter og  
%akselerasjon i global x-retning. Scriptet endrer ikke de lagrede verdiene  
%og kan derfor kjøres flere ganger
```

```
% Data etter kjørt script:
```

```
% Kol   Innehold  
% 1     Samplingstidspunkt  
% 2     X-akselerasjon, lokal, fra a.meter, ant.G, gravitasjon fjernet  
% 3     Y-akselerasjon, lokal, fra a.meter, ant.G  
% 4     Z-akselerasjon, lokal, fra a.meter, ant.G, gravitasjon fjernet  
% 5     Pitchhastighet, fra gyro, grader/sek  
% 6     Pitch, fra akselerometer, grader  
% 7     Rollhastighet, fra gyro, grader/sek  
% 8     Regulert pitch, integrert feil i LabVIEW  
% 9     Regulert pitch, komplimentærfilter i dette scriptet  
% 10    X-akselerasjon, global, basert på a.meter og kol. 9, ant.G
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
clear all
```

```
load logg9/logg_9  
load logg8/logg_8  
load logg7/logg_7  
load logg6/logg_6  
load logg5/logg_5  
load logg4/logg_4  
load logg3/logg_3  
load logg2/logg_2
```

```
sentra1=3*(logg_2(:,5)*(pi/180)).^2  
sentra2=3*(logg_3(:,5)*(pi/180)).^2  
sentra3=3*(logg_4(:,5)*(pi/180)).^2  
sentra4=3*(logg_5(:,5)*(pi/180)).^2  
sentra5=3*(logg_6(:,5)*(pi/180)).^2  
sentra6=3*(logg_7(:,5)*(pi/180)).^2  
sentra7=3*(logg_8(:,5)*(pi/180)).^2  
sentra8=3*(logg_9(:,5)*(pi/180)).^2
```

```
for l=1:8;  
    clear data angle;  
    switch l  
        case 1  
            data=logg_2;  
        case 2  
            data=logg_3;  
        case 3  
            data=logg_4;  
        case 4  
            data=logg_5;  
        case 5  
            data=logg_6;  
        case 6  
            data=logg_7;  
        case 7  
            data=logg_8;  
        case 8
```

```

        data=logg_9;
end

dt          = diff(data(:,1));
x_acc       = data(:,2);
inclinometer = data(:,6);
gyro        = data(:,5);
angle(1,1)  = data(1,6);

%komp.filter for korrekt pitchverdi
for n=1:size(data,1)-1
    angle(n+1,1) = (0.99)*(angle(n,1) + (gyro(n+1,1) * dt(n,1))) +
(0.01*inclinometer(n+1,1));
end

%fjerner gravitasjon, logg 3,6,7,8 og 9 er ikke høypassfiltret!
if l==2||5||6||7||8
    for n=1:size(data,1)
        data(n,2)=data(n,2)-sin(angle(n,1)*(pi/180));
        data(n,4)=data(n,4)-cos(angle(n,1)*(pi/180));

        data(n,10)=data(n,2)*cos(angle(n,1)*(pi/180)); %global x, i g-
verdier!
    end
end

%Oppdatering av loggverdier.
switch l
case 1
    logg_2(:,9)=angle;
    logg_2(:,10)=data(:,10);
case 2
    logg_3(:,9)=angle;
    logg_3(:,2)=data(:,2);
    logg_3(:,4)=data(:,4);
    logg_3(:,10)=data(:,10);
case 3
    logg_4(:,9)=angle;
    logg_4(:,10)=data(:,10);
case 4
    logg_5(:,9)=angle;
    logg_5(:,10)=data(:,10);
case 5
    logg_6(:,9)=angle;
    logg_6(:,2)=data(:,2);
    logg_6(:,4)=data(:,4);
    logg_6(:,10)=data(:,10);
case 6
    logg_7(:,9)=angle;
    logg_7(:,2)=data(:,2);
    logg_7(:,4)=data(:,4);
    logg_7(:,10)=data(:,10);
case 7
    logg_8(:,9)=angle;
    logg_8(:,2)=data(:,2);
    logg_8(:,4)=data(:,4);
    logg_8(:,10)=data(:,10);
case 8

```

```

        logg_9(:,9)=angle;
        logg_9(:,2)=data(:,2);
        logg_9(:,4)=data(:,4);
        logg_9(:,10)=data(:,10);
end
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%på forhånd MÅ sentrAcalc kjøres!

%Brukes til å hente ut detaljer fra logg_7. Har på forhånd brukt cftool for
%å finne polynomet på slutten. Dette må oppdateres manuelt dersom det
%gjøres endringer i logg_7.

%nyttig output:
% -A og B er intervallet i data 7 som blir studert.
% -Vippepunkt gir ut avstanden fra akselerometeret til et tenkt vippepunkt
i
% båten
%Verdiene blir ikke overskrevet eller slettet av dette scriptet

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

close all

A=min(find(round(logg_7(:,1))==228))
B=min(find(round(logg_7(:,1))==232))
data=logg_7(A:B,:);

%Plotter akselerasjon og vinkel i valgt interval
hold on
subplot(2,1,1);plot(data(:,1),[data(:,4)*9.81 data(:,9)]);
title('Data7, vinkel og z-akselerasjon utsnitt');
grid on;
hold off;

%Plotter vinkel og hastighet
offset=1.2
vippepunkt=4.5
hold on;
subplot(2,1,2);plot(data(:,1),[data(:,5)*(pi/180)*vippepunkt
cumtrapz(data(:,1),9.81*data(:,4))-offset]);
title('Data7, z-hastighet fra gyro (blå) og z-hastighet fra a.meter
utsnitt');
grid on;
hold off

% Henter ut data fra det siste (og største) slaget

```

```

% a=data(:,1)
% b=cumtrapz(data(:,1),9.81*data(:,4))-offset %tidsintervallet lar seg fint
integreere
% a2=a(170:242,:)
% a2=a2(:,1)-a2(1)
% b2=b(170:242,:)
%
%

% Plotter posisjon
figure;
plot(data(:,1), [100*cumtrapz(data(:,1), data(:,5)*(pi/180)*vippepunkt)
100*cumtrapz(data(:,1), cumtrapz(data(:,1), data(:,4)*9.81)-offset)])

% plotter x_global akselerasjon
figure;
clear v7
drift=0.001
v7(1:size(data,1),1)=cumtrapz(data(:,1), 9.81*(data(:,10)-drift));
plot(data(:,1), [data(:,10) v7(:,1)])
title('Data7, x_g-akselerasjon og x_g-hastighet');

%
% plotter hele datasamlingen
% figure;
% data=logg_7;
%
% hold on;
% plot(data(:,1), [data(:,4)*9.81 data(:,9)]);
% title('Data7, vinkel og z-akselerasjon');
% hold off;
%
%
% fra cftool:
% figure;
% x=a2
% p1 =-342.3,p2 =1118,p3 =-1432,p4 =920.1,p5 =-322.5,p6 =58.4,p7 =-2.551
% b3=p1*x.^6+p2*x.^5+p3*x.^4+p4*x.^3+p5*x.^2+p6*x+p7
% plot(x, [b3 b2])
% figure;
% plot([diff(b3)./diff(x) diff(b2)./diff(x)])
%
% figure
% x=0.1:0.0001:1
% p1 =-342.3,p2 =1118,p3 =-1432,p4 =920.1,p5 =-322.5,p6 =58.4,p7 =-2.551
% b3=p1*x.^6+p2*x.^5+p3*x.^4+p4*x.^3+p5*x.^2+p6*x+p7
%
% plot(transpose(x), transpose(b3))
% figure;
% plot(diff(b3)./diff(x))

figure
plot(data(:,1), [data(:,4)*9.81 data(:,9)*(pi/180)
100*data(:,9)*(pi/180)*vippepunkt 40*(cumtrapz(data(:,1), 9.81*data(:,4))-
offset) data(:,5)*(pi/180)*vippepunkt*40])
title('Data7, z-akselerasjon, vinkel og posisjon');
grid on;

```

```

figure
plot(data(:,1),[data(:,4)*9.81 data(:,10)*9.81])

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%Regner om fra båtens bevegelsesmønster til maskinens bevegelsesmønster. På
%forhånd må sentrAcalc og logg7graf kjøres, A og B hentes herifra. Så
%regnes sylindrerens kjøremønster ut for å få de ønskede hastighetene

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

close all
data=logg_7;

% Fra vinkelmåling med gyro/inclinometer har vi
theta_baat      = data(A:B,9);

%Fra gyro har vi
theta_d_baat    = data(A:B,5);

% Dette gir:
y_lokal_gyr_inc = theta_baat*(pi/180)*vippepunkt;
y_d_lokal_gyr   = theta_d_baat*(pi/180)*vippepunkt;

%Fra akselerometer har vi
y_dd_lokal_am   = data(A:B,4)*9.81;

%avstand fra hengsel til der vi vil oppnå de målte akselerasjoner
vippepunkt_jigg = 1.738;

%Ut i fra dette kan vi regne ut posisjon, hastighet og akselerasjon i
%hengslen

theta_jigg      = (y_lokal_gyr_inc/vippepunkt_jigg)*(180/pi);
theta_d_jigg    = (y_d_lokal_gyr/vippepunkt_jigg)*(180/pi);
theta_dd_jigg   = (y_dd_lokal_am/vippepunkt_jigg)*(180/pi);

%Mål til transformasjonsmatrisen mellom hengsel og sylinder:

syl_nedre_hengsel_x = -0.39800;
syl_nedre_hengsel_z = 0.23727;
hengsel_syl_ovre_x  = 0.39800;
hengsel_syl_ovre_z  = 0.41165;

% Dette gir oss sylindrerposisjon:

vinkel          = theta_jigg*(pi/180);
syl_1(:,1)      = data(A:B,1);
syl_1(:,1)      = syl_1(:,1)-syl_1(1);

for n=1:size(vinkel,1)

```

```

    matrise =
    fwdkinematics(syl_nedre_hengsel_x,syl_nedre_hengsel_z,hengsel_syl_ovre_x,he
ngsel_syl_ovre_z,vinkel(n,1)); %transformasjonsmatrise fra nedre til øvre
pt.
    syl_1(n,2:3) = [matrise(1,4) matrise(3,4)];
%syylinderposisjon komponentform
    syl_1(n,4) = sqrt(syl_1(n,2)^2+syl_1(n,3)^2);
%syylinderposisjon summert

end

%som igjen gir syylinderhastighet:
syl_v = [syl_1(2:end,1) diff(syl_1(:,4))./diff(syl_1(:,1))];

%For syylinder 2 (x_global) gjelder:
drift=0.001;
syl_2(:,1) = data(A:B,1); %tidskode
syl_2(:,1) = syl_2(:,1)-syl_2(1,1); %tidskode-
starttidspunk
syl_2(:,2) = data(A:B,10);
%akselerasjon
syl_2(:,3) = cumtrapz(data(A:B,1),9.81*(data(A:B,10)-drift));
%syylinderhastighet
syl_2(:,4) = cumtrapz(data(A:B,1),syl_2(:,3));
%syylinderposisjon

%grovutkast til kjøremønster blir da
syl(:,2) = (syl_1(:,4)*1000)-570 %syl_1 (z_lokal) avstand i mm,
trekker fra lengde av syylinder med stang helt inne
syl(:,3) = syl_2(:,4)*1000 %syl_2 (x_global) avstand i mm
syl(1,1) = 100 %pause før start/tid til å komme
i posisjon
syl(2:end,1) = diff(syl_2(:,1)*1000) %tid i ms

%For flow gjelder
Vent1_Q=[syl_v(:,1) syl_v(:,2)*1000*(pi*25^2)*(60/10^6)]

```

## Vedlegg K      Sylinderberegninger

## Verdier for en NH30-SD-50/35 x 300-S-(TV) sylinder

Sylindertype	NH30-SD-50/35 X 300-S-(TV)					
Sylinderdiameter	50	mm	=	0,05	m	
Stempelstang	35	mm	=	0,035	m	
Slaglengde	300	mm	=	0,3	m	
Max trykk	250	bar	=	25000000	Pa	
Tilgjengelig HPU						
Liten HPU	23	l/min	=	0,00038	m <sup>3</sup> /s	
Stor HPU	100	l/min	=	0,00167	m <sup>3</sup> /s	
Areal under stempel	1963,50	mm <sup>2</sup>	=	0,00196	m <sup>2</sup>	
Areal over stempel	1001,38	mm <sup>2</sup>	=	0,00100	m <sup>2</sup>	
<i>Maks hastighet:</i>						
<b>Liten HPU</b>				<b>Stor HPU</b>		
<b>For 1 sylinder:</b>				<b>For 1 sylinder:</b>		
Hastighet ut	0,20	m/s		Hastighet ut	0,85	m/s
Hastighet inn	0,38	m/s		Hastighet inn	1,66	m/s
Hastighet ut, spesialkoblet	0,40	m/s		Hastighet ut, spesialkoblet	1,73	m/s
<b>For 2 sylindere</b>				<b>For 2 sylindere</b>		
Hastighet ut	0,10	m/s		Hastighet ut	0,42	m/s
Hastighet inn	0,19	m/s		Hastighet inn	0,83	m/s
Hastighet ut, spesialkoblet	0,20	m/s		Hastighet ut, spesialkoblet	0,87	m/s
<b>For 3 sylindere</b>				<b>For 3 sylindere</b>		
Hastighet ut	0,07	m/s		Hastighet ut	0,28	m/s
Hastighet inn	0,13	m/s		Hastighet inn	0,55	m/s
Hastighet ut, spesialkoblet	0,13	m/s		Hastighet ut, spesialkoblet	0,58	m/s
<i>Maks kraft:</i>						
<b>Per sylinder</b>						
Kraft ut	49087,39	N				
Kraft inn	25034,57	N				



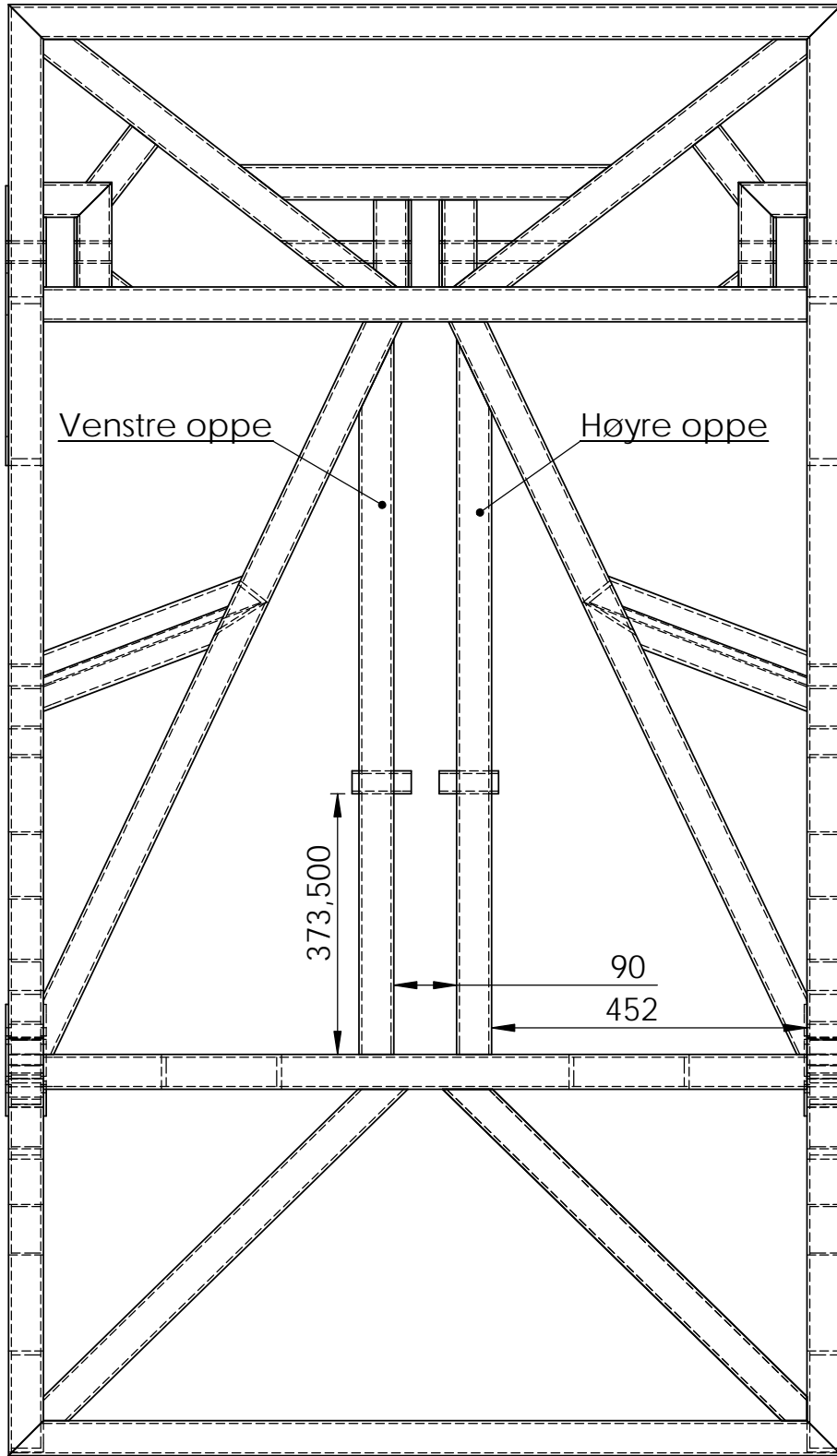
## Verdier for en NH30-SD-25/16 x 300-S-(TV) sylinder

Sylindertype	NH30-SD-25/16 X 300-S-(TV)					
Sylinderdiameter	25	mm	=	0,025	m	
Stempelstang	16	mm	=	0,016	m	
Slaglengde	300	mm	=	0,3	m	
Max trykk	112	bar	=	11200000	Pa	
Tilgjengelig HPU						
Liten HPU	23	l/min	=	0,00038	m <sup>3</sup> /s	
Stor HPU	100	l/min	=	0,00167	m <sup>3</sup> /s	
Areal under stempel	490,87	mm <sup>2</sup>	=	0,00049	m <sup>2</sup>	
Areal over stempel	289,81	mm <sup>2</sup>	=	0,00029	m <sup>2</sup>	
<i>Maks hastighet:</i>						
<b>Liten HPU</b>				<b>Stor HPU</b>		
<b>For 1 sylinder:</b>				<b>For 1 sylinder:</b>		
Hastighet ut	0,78	m/s		Hastighet ut	3,40	m/s
Hastighet inn	1,32	m/s		Hastighet inn	5,75	m/s
Hastighet ut, spesialkoblet	1,91	m/s		Hastighet ut, spesialkoblet	8,29	m/s
<b>For 2 sylindere</b>				<b>For 2 sylindere</b>		
Hastighet ut	0,39	m/s		Hastighet ut	1,70	m/s
Hastighet inn	0,66	m/s		Hastighet inn	2,88	m/s
Hastighet ut, spesialkoblet	0,95	m/s		Hastighet ut, spesialkoblet	4,15	m/s
<b>For 3 sylindere</b>				<b>For 3 sylindere</b>		
Hastighet ut	0,26	m/s		Hastighet ut	1,13	m/s
Hastighet inn	0,44	m/s		Hastighet inn	1,92	m/s
Hastighet ut, spesialkoblet	0,64	m/s		Hastighet ut, spesialkoblet	2,76	m/s
<i>Maks kraft:</i>						
<b>Per sylinder</b>						
Kraft ut	5497,79	N				
Kraft inn	3245,89	N				

## Samlet resultat

			Liten HPU			Stor HPU	
NH30-SD-50/35 X 300-S-(TV)							
		<b>For 1 sylinder:</b>				<b>For 1 sylinder:</b>	
		Hastighet ut	0,20	m/s		Hastighet ut	0,85 m/s
		Hastighet inn	0,38	m/s		Hastighet inn	1,66 m/s
		<b>For 2 sylindere</b>				<b>For 2 sylindere</b>	
		Hastighet ut	0,10	m/s		Hastighet ut	0,42 m/s
		Hastighet inn	0,19	m/s		Hastighet inn	0,83 m/s
		<b>For 3 sylindere</b>				<b>For 3 sylindere</b>	
		Hastighet ut	0,07	m/s		Hastighet ut	0,28 m/s
		Hastighet inn	0,13	m/s		Hastighet inn	0,55 m/s
NH30-SD-25/16 X 300-S-(TV)							
		<b>For 1 sylinder:</b>				<b>For 1 sylinder:</b>	
		Hastighet ut	0,78	m/s		Hastighet ut	3,40 m/s
		Hastighet inn	1,32	m/s		Hastighet inn	5,75 m/s
		<b>For 2 sylindere</b>				<b>For 2 sylindere</b>	
		Hastighet ut	0,39	m/s		Hastighet ut	1,70 m/s
		Hastighet inn	0,66	m/s		Hastighet inn	2,88 m/s
		<b>For 3 sylindere</b>				<b>For 3 sylindere</b>	
		Hastighet ut	0,26	m/s		Hastighet ut	1,13 m/s
		Hastighet inn	0,44	m/s		Hastighet inn	1,92 m/s

Vedlegg L      2D tegninger av endringene



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 SURFACE FINISH:  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND  
 BREAK SHARP  
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				WEIGHT:	

TITLE:

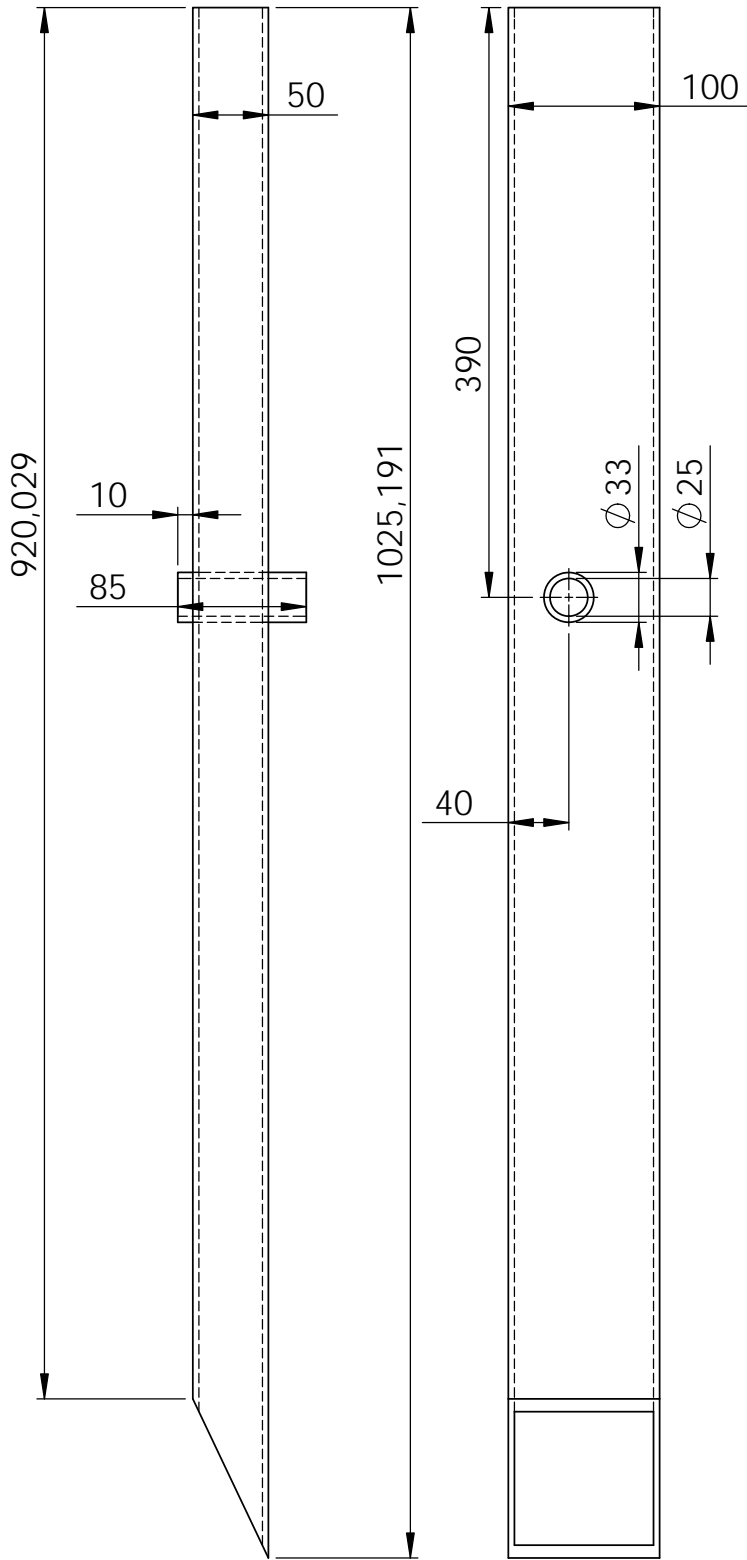
DWG NO.

Slagramme

A4

SCALE:1:10

SHEET 1 OF 3



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 SURFACE FINISH:  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 ANGULAR:

FINISH:

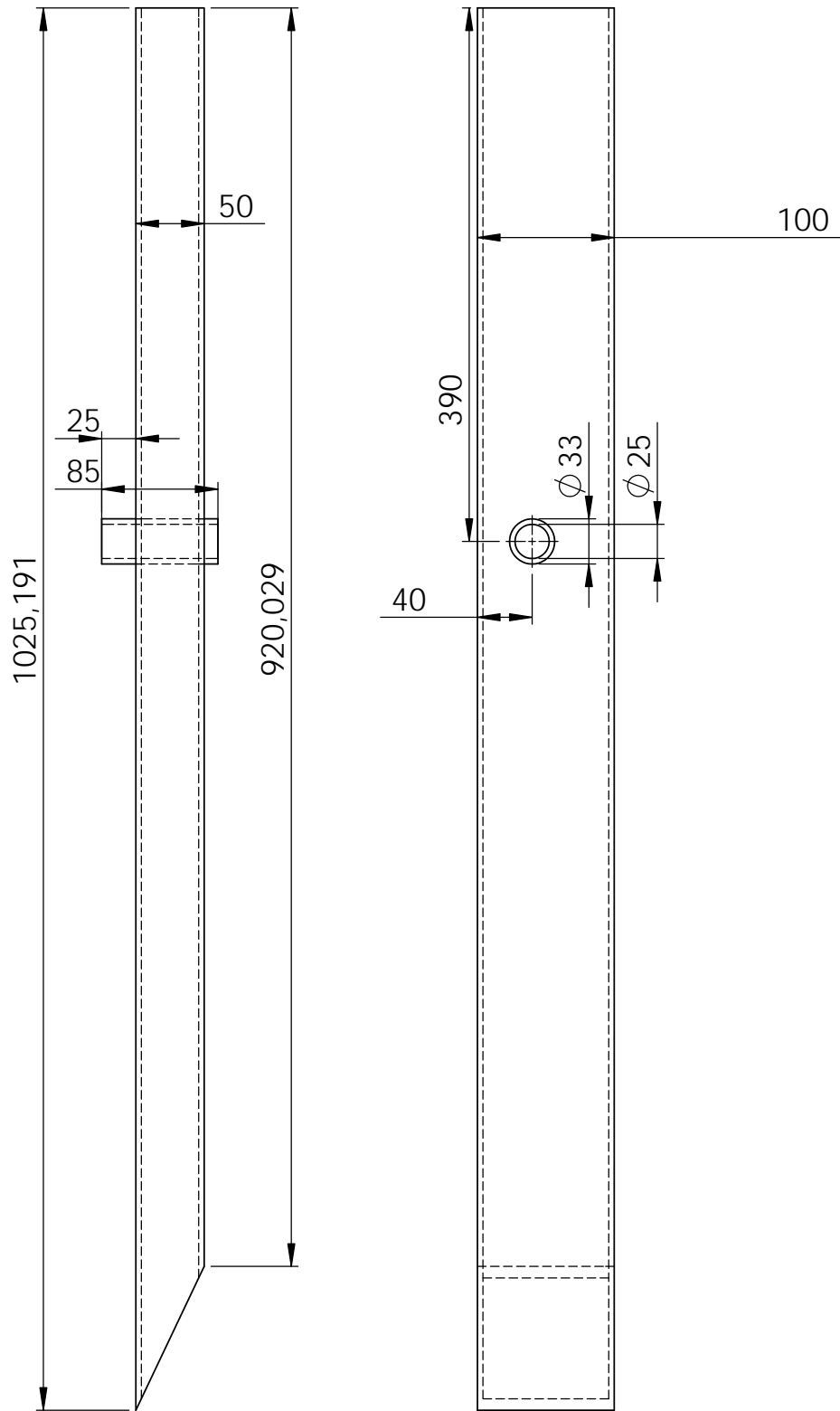
DEBUR AND  
 BREAK SHARP  
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
				MATERIAL:	
				WEIGHT:	

TITLE: Venstre oppe	
DWG NO. <b>Slagramme</b>	A4
SCALE:1:5	SHEET 2 OF 3



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 SURFACE FINISH:  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND  
 BREAK SHARP  
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
				MATERIAL:	
				WEIGHT:	

TITLE:

Høyre oppe

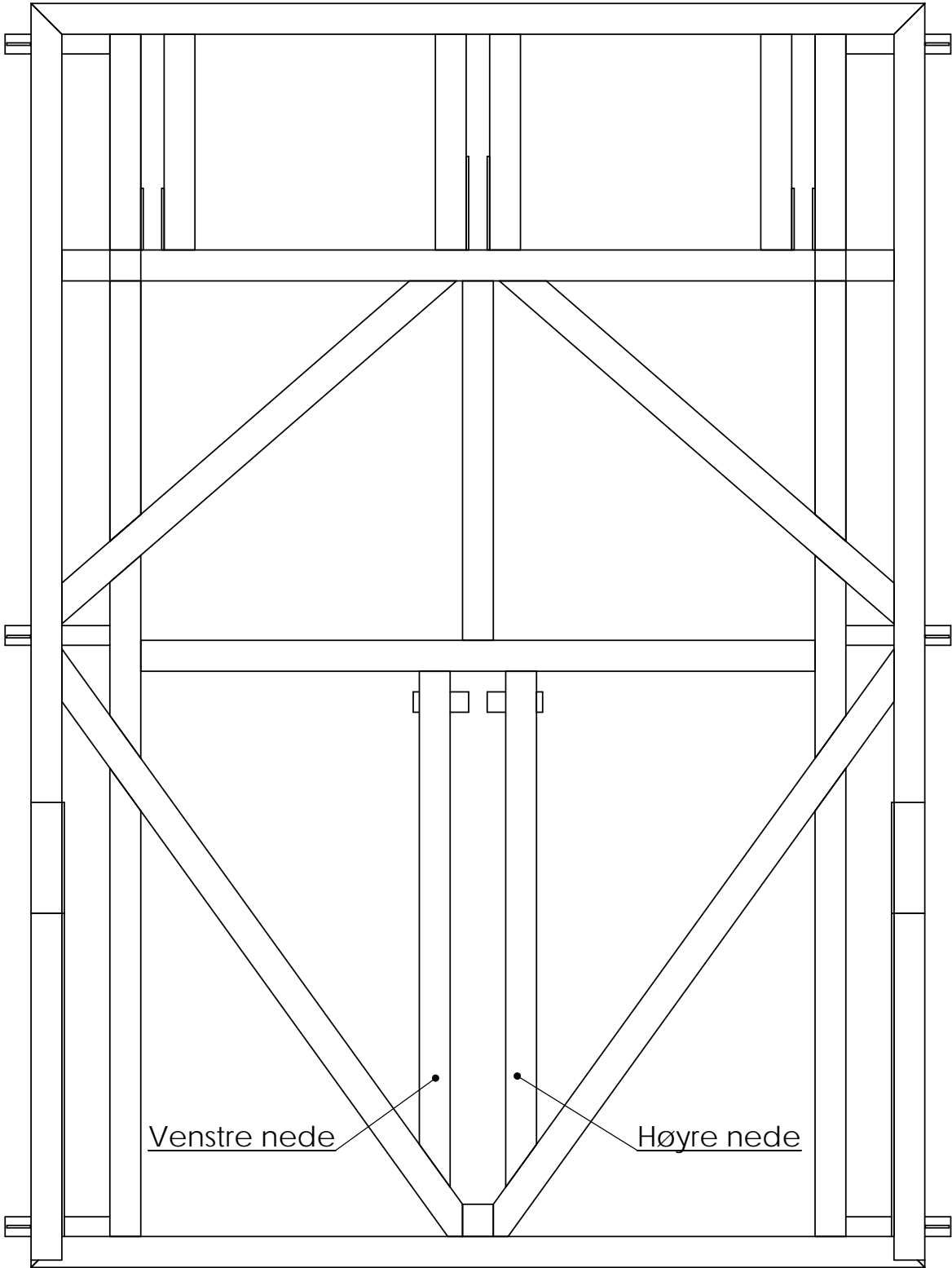
DWG NO.

Slagramme

A4

SCALE:1:5

SHEET 3 OF 3



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 SURFACE FINISH:  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND  
 BREAK SHARP  
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					

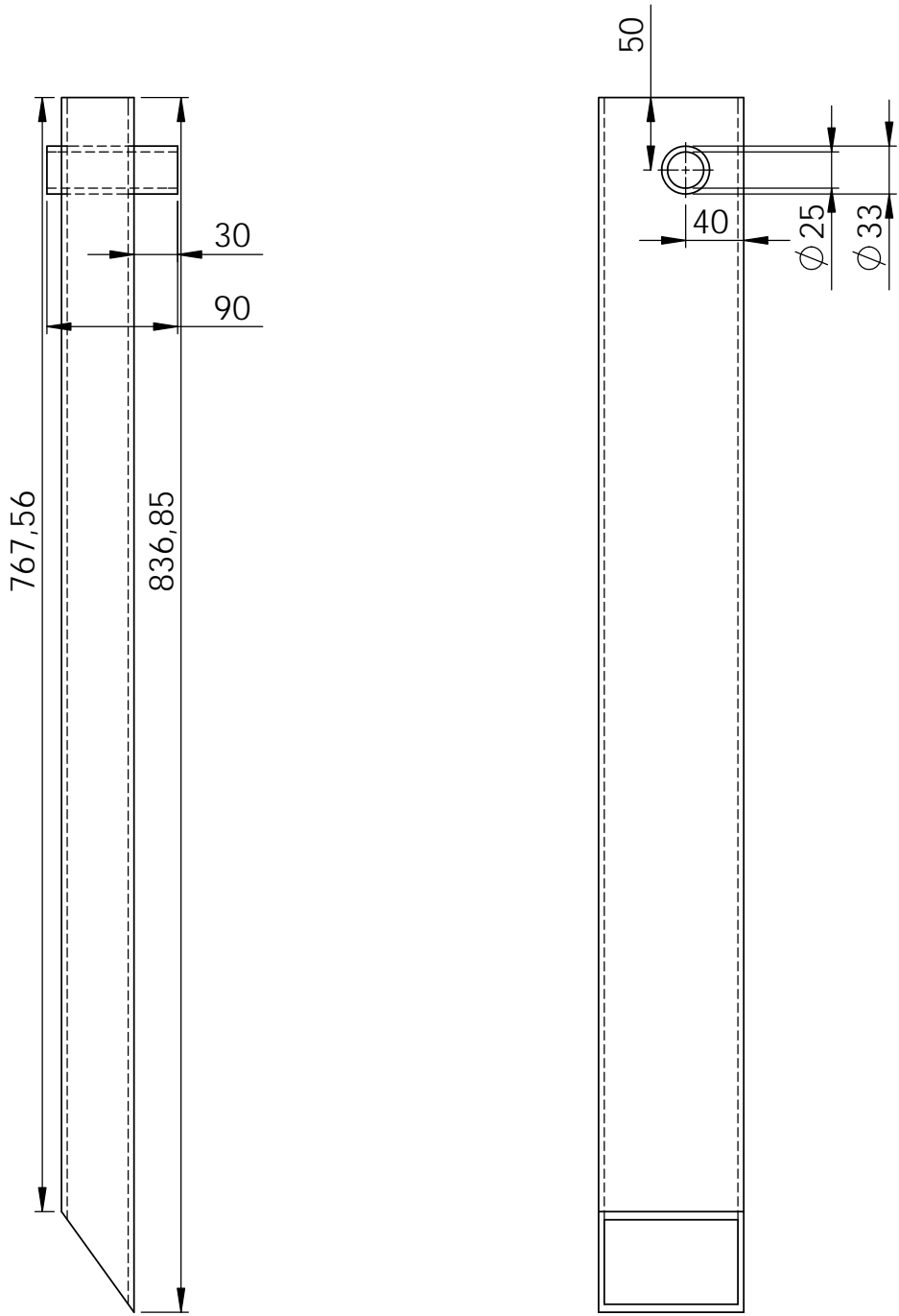
TITLE:

DWG NO. **Rulleramme** A4

SCALE: 1:10 SHEET 1 OF 3

MATERIAL:

WEIGHT:



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 SURFACE FINISH:  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND  
 BREAK SHARP  
 EDGES

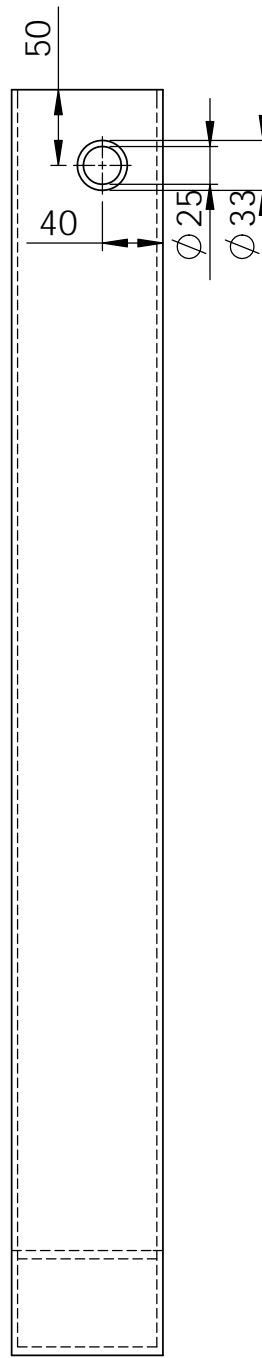
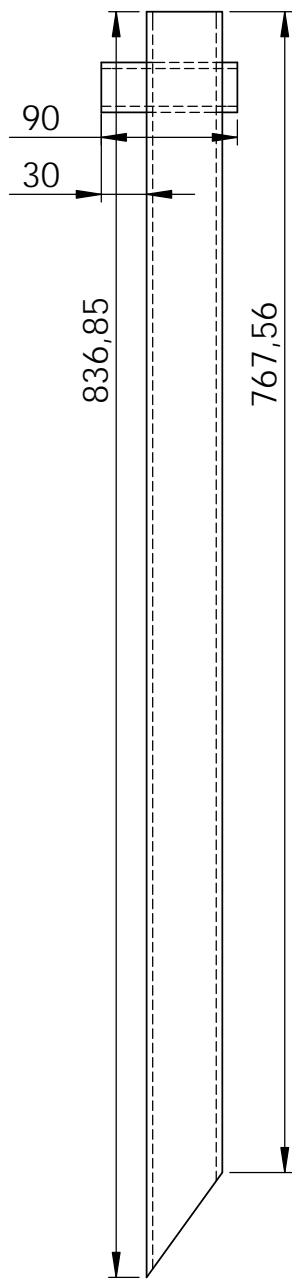
DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				WEIGHT:	

TITLE:		Venstre nede	
DWG NO.		Rulleramme	
SCALE:1:5		SHEET 2 OF 3	
		A4	





UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN		SIGNATURE		DATE		TITLE:		Høyre nede	
CHK'D						DWG NO.		Rulleramme	
APPV'D						SCALE:1:5		SHEET 3 OF 3	
MFG						WEIGHT:		A4	
Q.A									

Vedlegg M    Micropuls PF user guide

## BTL6-A/C/E/G500-M \_\_\_\_\_ -PF-S115

User's Guide



**[www.balluff.com](http://www.balluff.com)**

<b>1</b>	<b>Notes to the user</b>	<b>5</b>
1.1	Validity	5
1.2	Symbols and conventions	5
1.3	Scope of delivery	5
1.4	Approvals and markings	5
<b>2</b>	<b>Safety</b>	<b>6</b>
2.1	Intended use	6
2.2	General safety notes for the position measuring system	6
2.3	Explanation of the warnings	6
2.4	Disposal	6
<b>3</b>	<b>Construction and function</b>	<b>7</b>
3.1	Construction	7
3.2	Function	7
3.3	LED display	7
<b>4</b>	<b>Installation and connection</b>	<b>8</b>
4.1	Installing the transducer	8
4.2	Captive magnets	8
4.3	Floating magnets	9
4.4	Electrical connection	10
4.5	Shielding and cable routing	10
<b>5</b>	<b>Startup</b>	<b>11</b>
5.1	Starting up the system	11
5.2	Operating notes	11
<b>6</b>	<b>Calibration procedure</b>	<b>12</b>
6.1	Programming inputs	12
6.2	Calibration procedure notes	12
6.3	Calibration procedure overview	13
	6.3.1 Teach-in	13
	6.3.2 Inverting	13
	6.3.3 Reset	13
<b>7</b>	<b>Teach-in</b>	<b>14</b>
<b>8</b>	<b>Inverting</b>	<b>15</b>
<b>9</b>	<b>Resetting all values (reset)</b>	<b>16</b>
<b>10</b>	<b>Technical data</b>	<b>17</b>
10.1	Accuracy	17
10.2	Ambient conditions	17
10.3	Supply voltage (external)	17
10.4	Output	17
10.5	Input	17
10.6	Dimensions, weights	17

**BTL6-A/C/E/G500-M \_ \_ \_ \_ -PF-S115**  
**Micropulse Transducer in a Flat Profile Housing**

<b>11</b>	<b>Accessories</b>	<b>18</b>
11.1	Magnet	18
11.2	BTL2-GS10- _ _ _ _ -A joint rod	19
11.3	Connector	19
11.4	Adjusting box	19
<b>12</b>	<b>Ordering code</b>	<b>20</b>
<b>13</b>	<b>Appendix</b>	<b>21</b>
13.1	Converting units of length	21
13.2	Part label	21

# BTL6-A/C/E/G500-M \_ \_ \_ \_ -PF-S115 Micropulse Transducer in a Flat Profile Housing

## 1

### Notes to the user

#### 1.1 Validity

This guide describes the construction, function and setup options for the BTL6 Micropulse Transducer with analog interface. It applies to types

**BTL6-A/C/E/G500-M \_ \_ \_ \_ -PF-S115** (see Ordering code on page 20).

The guide is intended for qualified technical personnel. Read this guide before installing and operating the transducer.

#### 1.2 Symbols and conventions

Individual **handling instructions** are indicated by a preceding triangle.

► Action instruction 1

**Action sequences** are numbered consecutively:

1. Action instruction 1
2. Action instruction 2



#### Note, tip

This symbol indicates general notes.



These symbols indicate the programming inputs.



Symbols of this type indicate the LED display.

#### 1.3 Scope of delivery

- BTL6 transducer
- Mounting clamps with insulating sleeves and screws
- Condensed guide



The magnets are available in various models and must be ordered separately.

#### 1.4 Approvals and markings



UL approval  
File no.  
E227256

#### US Patent 5 923 164

The US patent was awarded in connection with this product.



The CE Mark verifies that our products meet the requirements of EU Directive 2004/108/EC (EMC Directive).

The transducer meets the requirements of the following generic standards:

- EN 61000-6-1 (noise immunity)
- EN 61000-6-2 (noise immunity)
- EN 61000-6-3 (emission)
- EN 61000-6-4 (emission)

and the following product standard:

- EN 61326-2-3

Emission tests:

- RF emission  
EN 55016-2-3 (industrial and residential areas)

Noise immunity tests:

- Static electricity (ESD)  
EN 61000-4-2 Severity level 3
- Electromagnetic fields (RFI)  
EN 61000-4-3 Severity level 3
- Electrical fast transients (burst)  
EN 61000-4-4 Severity level 3
- Surge  
EN 61000-4-5 Severity level 2
- Conducted interference induced  
by high-frequency fields  
EN 61000-4-6 Severity level 3
- Magnetic fields  
EN 61000-4-8 Severity level 4



More detailed information on the guidelines, approvals, and standards is included in the declaration of conformity.

## 2

### Safety

#### 2.1 Intended use

The BTL6 Micropulse Transducer, together with a machine controller (e.g. PLC), comprises a position measuring system. It is intended to be installed into a machine or system. Flawless function in accordance with the specifications in the technical data is ensured only when using original BALLUFF accessories. Use of any other components will void the warranty.

Opening the transducer or non-approved use are not permitted and will result in the loss of warranty and liability claims against the manufacturer.

#### 2.2 General safety notes for the position measuring system

**Installation** and **startup** may only be performed by trained specialists with basic electrical knowledge.

**Qualified personnel** are those who can recognize possible hazards and institute the appropriate safety measures due to their professional training, knowledge, and experience as well as their understanding of the relevant conditions pertaining to the work to be done.

The **operator** is responsible for ensuring that local safety regulations are observed.

In particular, the operator must take steps to ensure that a defect in the position measuring system will not result in hazards to persons or equipment.

If defects and unresolvable faults occur in the transducer, it should be taken out of service and secured against unauthorized use.


#### 2.3 Explanation of the warnings

Always observe the warnings in these instructions and the measures described to avoid hazards.

The warnings used here contain various signal words and are structured as follows:

SIGNAL WORD
<b>Hazard type and source</b> Consequences if not complied with ▶ Measures to avoid hazards

The individual signal words mean:

<b>NOTICE!</b> Identifies a hazard that could <b>damage or destroy the product</b> .
 <b>DANGER</b> The general warning symbol in conjunction with the signal word DANGER identifies a hazard which, if not avoided, <b>will certainly result in death or serious injury</b> .

#### 2.4 Disposal

- ▶ Observe the national regulations for disposal.



# BTL6-A/C/E/G500-M \_ \_ \_ \_ -PF-S115 Micropulse Transducer in a Flat Profile Housing

## 3 Construction and function

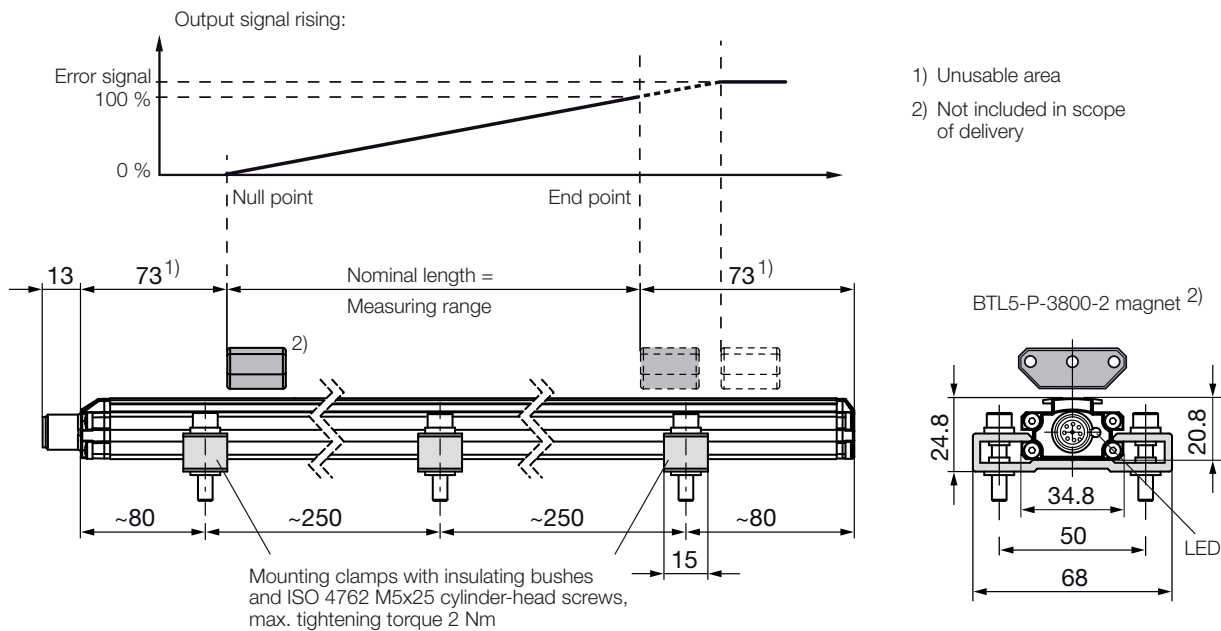


Fig. 2-1: BTL6... transducer, construction

### 3.1 Construction

**Electrical connection:** The electrical connection is made via a connector (see ordering code on page 20).

**BTL housing:** Aluminum housing containing the waveguide and processing electronics.

**Magnet:** Defines the position to be measured on the waveguide. Magnets are available in various models and must be ordered separately (see accessories on page 18).

**Nominal length:** To optimally adapt the transducer to the application, the following nominal lengths are available:

Nominal length	Grading
50 to 4572 mm	25 mm

### 3.2 Function

The BTL6 transducer contains the waveguide which is protected by an aluminum housing. A magnet is moved along the waveguide. This magnet is connected to the system part whose position is to be determined.

The magnet defines the position to be measured on the waveguide.

An internally generated INIT pulse interacts with the magnetic field of the magnet to generate a torsional wave in the waveguide which propagates at ultrasonic speed.

The component of the torsional wave which arrives at the end of the waveguide is absorbed in the damping zone to prevent reflection. The component of the torsional wave which arrives at the beginning of the waveguide is converted by a coil into an electrical signal. The travel time of the wave is used to calculate the position. Depending on the version, this information is made available as a voltage or current output with a rising gradient.

### 3.3 LED display

**i** In normal operation the LED indicates the operating states of the transducer.

LED	Operating state
Green	<b>Normal function</b> Magnet is within the measuring range.
Flashing red	<b>Measuring range left</b> Magnet is outside the measuring range.
Red	<b>Error</b> No magnet or magnet outside the limits.

## 4 Installation and connection

### 4.1 Installing the transducer

#### NOTICE!

##### Improper installation

Improper installation can compromise the function of the transducer and result in damage.

- ▶ For this reason, ensure that no strong electrical or magnetic fields are present in the immediate vicinity of the transducer.
- ▶ The recommended spacing for the installation must be strictly observed.

Any orientation is permitted. Mount the transducer on a level surface of the machine using the provided mounting clamps and cylinder-head screws. A sufficient number of mounting clamps is supplied.

- i** In order to avoid the development of resonant frequencies from vibration loads, we recommend arranging the mounting clamps at irregular intervals.

The transducer is electrically isolated from the machine with the supplied insulating bushes (see Figure 3-1).

1. Guide the transducer into the mounting clamps.
2. Attach transducer to the base using mounting screws (tighten screws in the clamps with a max. 2 Nm).
3. Insert magnet (accessories).

- i** The micropulse transducer in profile housing is suitable both for floating, i.e. non-contacting magnets (see Figures 4-3 to 4-7) and for captive magnets (see Figures 4-1 and 4-2).

### 4.2 Captive magnets

The following must be observed when installing the magnet:

- Avoid lateral forces.
- Connect the magnet to the machine member with a joint rod (see Accessories on page 19).

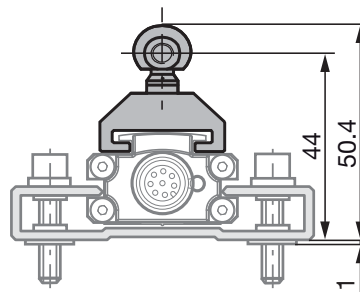


Fig. 4-1: Dimensions and distances with BTL5-F-2814-1S magnet

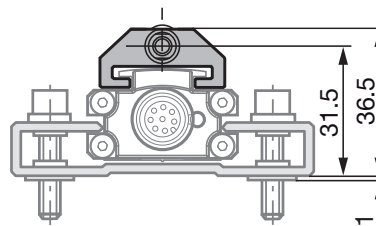


Fig. 4-2: Dimensions and distances with BTL5-T-2814-1S magnet

**4 Installation and connection (continued)**

**4.3 Floating magnets**

The following must be observed when installing the magnet:

- To ensure the accuracy of the position measuring system, the magnet is attached to the moving member of the machine using non-magnetizable screws (stainless steel, brass, aluminum).
- The moving member must guide the magnet on a track parallel to the transducer.
- Ensure that the distance A between parts made of magnetizable material and the magnet is at least 10 mm (see Figures 4-3 to 4-7).
- Maintain the following values for distance B between the magnet and transducer and for center offset C (see Figures 4-3 to 4-7):

Type of magnet	Distance B	Offset C
BTL5-P-3800-2	0.1 to 4 mm	± 2 mm
BTL5-P-5500-2	5 to 15 mm	± 15 mm
BTL5-P-4500-1	0.1 to 2 mm	± 2 mm
BTL6-A-3800-2	4 to 8 mm <sup>1)</sup>	± 2 mm
BTL6-A-3801-2	4 to 8 mm <sup>1)</sup>	± 2 mm

<sup>1)</sup> For optimum measurement results, a distance B of 6 to 8 mm is recommended.

Tab. 4-1: Distance and offset for magnets (see Figures 4-3 to 4-7)

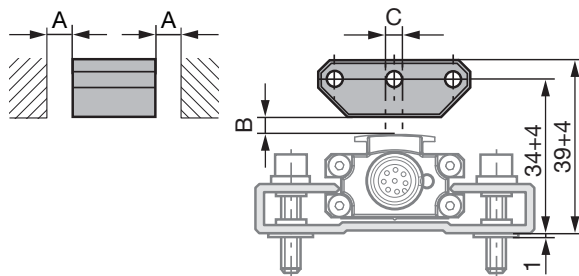


Fig. 4-3: Dimensions and distances with BTL5-P-3800-2 magnet

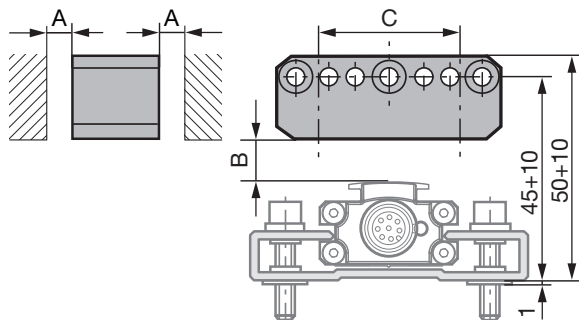


Fig. 4-4: Dimensions and distances with BTL5-P-5500-2 magnet

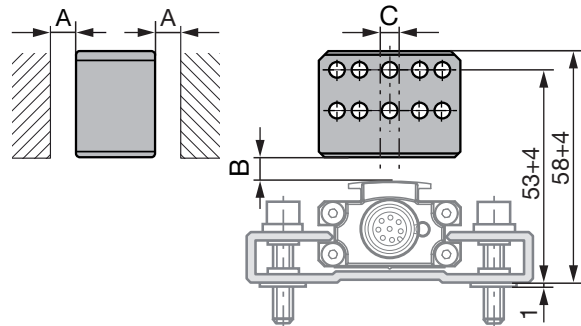


Fig. 4-5: Dimensions and distances with BTL6-A-3800-2 magnet

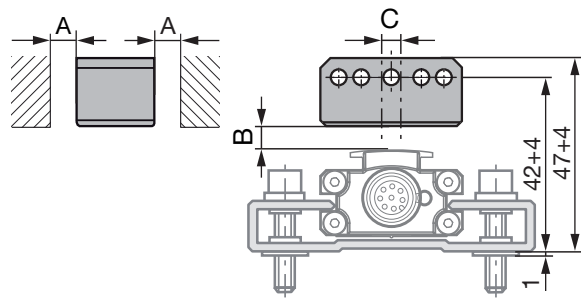


Fig. 4-6: Dimensions and distances with BTL6-A-3801-2 magnet

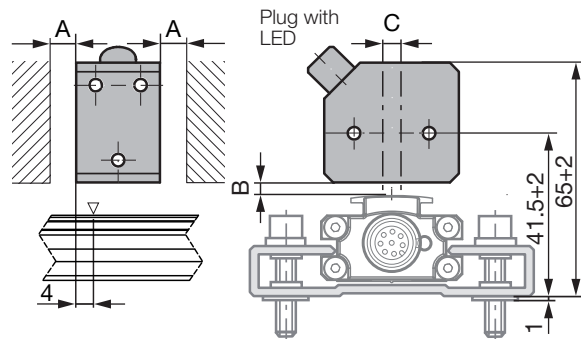


Fig. 4-7: Dimensions and distances with BTL5-P-4500-1 electromagnet (24 V/100 mA)

**i** The measuring range is offset by 4 mm towards the BTL plug (see Figure 4-7).

# BTL6-A/C/E/G500-M \_ \_ \_ \_ -PF-S115

## Micropulse Transducer in a Flat Profile Housing

### 4 Installation and connection (continued)

#### 4.4 Electrical connection

Pin	BKS-S115-... BKS-S116-...	-A500	-G500	-C500	-E500
1	Yellow	Not used <sup>1)</sup>			
2	Gray	0 V			
3	Pink	Not used <sup>1)</sup>			
4	Red	La (programming input)			
5	Green	0 to 10 V	-10 to 10 V	0.1 to 20 mA	4 to 20 mA
6	Blue	GND <sup>2)</sup>			
7	Brown	10 to 30 V			
8	White	Lb (programming input)			

<sup>1)</sup> Unassigned leads can be connected to the GND on the controller side but not to the shield.

<sup>2)</sup> Reference potential for supply voltage and EMC-GND.

Tab. 4-2: Pin assignment of S115 connector

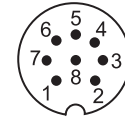


Fig. 4-8: Pin assignment of S115 connector (view of connector pins of transducer)

#### 4.5 Shielding and cable routing



##### Defined ground!

The transducer and the control cabinet must be at the same ground potential.

##### Shielding

To ensure electromagnetic compatibility (EMC), observe the following:

- Connect transducer and controller using a shielded cable.  
Shield: Braided copper shield with minimum 85% coverage.
- Shield is internally connected to connector housing.

##### Magnetic fields

The position measuring system is a magnetostrictive system.

It is important to maintain adequate distance between the transducer and strong, external magnetic fields.

##### Cable routing

Do not route the cable between the transducer, controller, and power supply near high voltage cables (inductive stray noise is possible).

Inductive stray noise from AC harmonics (e.g. from phase angle controls) are especially critical and the cable shield offers very little protection against this.

##### Cable length

Cable length max. 20 m. Longer cables may be used if their construction, shielding and routing prevent noise interference.

##### Noise elimination

To avoid equipotential bonding - a current flow - through the cable shield, please note the following:

- Use insulating bushes
- Put the control cabinet and the system in which the BTL6 is located to the same ground potential.

## 5

### Startup

#### 5.1 Starting up the system

##### **DANGER**

###### **Uncontrolled system movement**

When starting up, if the position measuring system is part of a closed loop system whose parameters have not yet been set, the system may perform uncontrolled movements. This could result in personal injury and equipment damage.

- ▶ Persons must keep away from the system's hazardous zones.
- ▶ Startup must be performed only by trained technical personnel.
- ▶ Observe the safety instructions of the equipment or system manufacturer.

1. Check connections for tightness and correct polarity. Replace damaged connections.
2. Turn on the system.
3. Check measured values and adjustable parameters and readjust the transducer, if necessary.



Check for the correct values at the null point and end point, especially after replacing the transducer or after repair by the manufacturer.

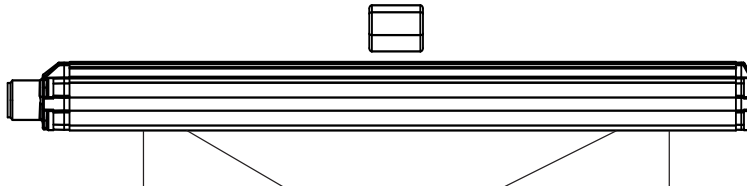
#### 5.2 Operating notes

- Check the function of the transducer and all associated components on a regular basis.
- Take the position measuring system out of operation whenever there is a malfunction.
- Secure the system against unauthorized use.

# BTL6-A/C/E/G500-M \_ \_ \_ \_ -PF-S115 Micropulse Transducer in a Flat Profile Housing

## 6

### Calibration procedure



Output gradient	Linear transducer	Unit	Min. value	Null value	End value	Max. value	Error value
Rising (factory setting)	BTL6-A...	V	-0.5	0	+10.0	+10.5	+10.5
	BTL6-G...	V	-10.5	-10.0	+10.0	+10.5	+10.5
	BTL6-C...	mA	0.1	0.1	20.0	20.4	20.4
	BTL6-E...	mA	3.6	4.0	20.0	20.4	3.6
Falling (after inverting)	BTL6-A...	V	+10.5	+10.0	0	-0.5	+10.5
	BTL6-G...	V	+10.5	+10.0	-10.0	-10.5	+10.5
	BTL6-C...	mA	20.4	20.0	0.1	0.1	20.4
	BTL6-E...	mA	20.4	20.0	4.0	3.6	3.6

Tab. 6-1: Value table for factory settings

#### 6.1 Programming inputs

Programming inputs La and Lb must be used in order to make settings. A programming input at 10 to 30 V corresponds to activation (high active). The Balluff BTL7-A-CB02-S115 adjusting box can be used for this (see Accessories on page 19).



##### Automatic deactivation!

If no signals are transmitted via the programming inputs for approx. 10 min, programming mode is automatically ended.

#### Values for null and end point

- Any desired position of the magnet can be used as the null or end point. However, the null and end points may not be reversed.
- The absolute null and end points must lie within the minimum or maximum limits of what can be output (see value table).



The last set values are always saved, regardless of whether the setting was ended using the programming inputs or automatically after 10 min have expired.

#### 6.2 Calibration procedure notes

##### Prerequisites

- Programming inputs are connected.
- The transducer is connected to the system controller.
- Voltage or current values from the transducer can be read (using a multimeter, the system control or the adjusting box).

#### Value table for teach-in and inverting



The following examples refer to transducers with 0 to 10 V or 4 to 20 mA output.

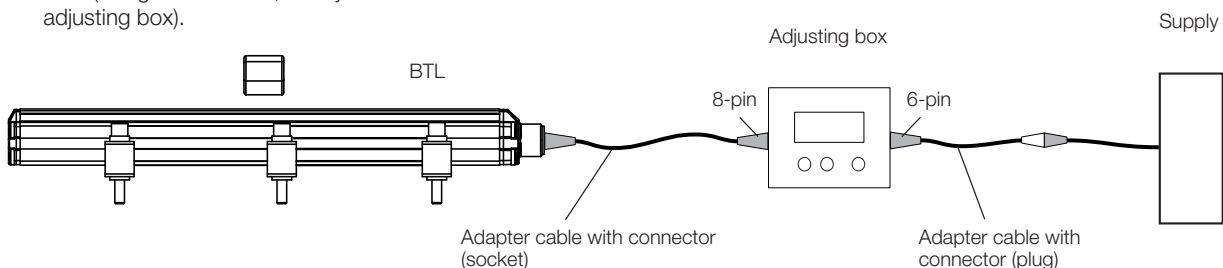


Fig. 6-1: Connecting the BTL7-A-CB02-S115 adjusting box

**6 Calibration procedure (continued)**

**6.3 Calibration procedure overview**

**6.3.1 Teach-in**

The factory set null point and end point is replaced by a new null point and end point. The null point and end point can be set separately, the output gradient changes.

**i** The detailed procedure for teach-in is described on page 14.

**Steps**

- ▶ Move magnet to the new null position.
- ▶ Read new null point by activating the programming inputs.  
 ⇒ The current end point remains the same.

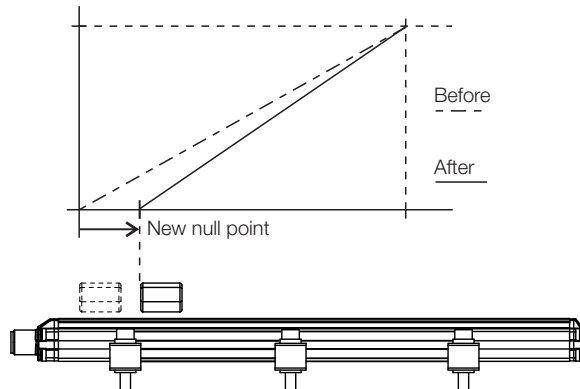


Fig. 6-2: Reading new null point

- ▶ Move magnet to the new end position.
- ▶ Read new end point by activating the programming inputs.  
 ⇒ The current null point remains the same.

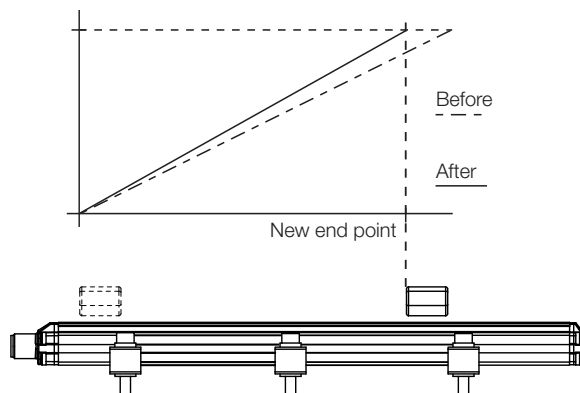


Fig. 6-3: Reading new end point

**6.3.2 Inverting**

The gradient can be inverted by activating the programming inputs. During inverting, the output gradient is inverted. For example, a rising output gradient is changed to a falling gradient.

**i** The detailed procedure for inverting is described on page 15.

**6.3.3 Reset**

Restoring the transducer to its factory settings.

**i** The detailed procedure for the reset is described on page 16.

**7 Teach-in**

**NOTICE!**

**Interference in function**  
 Teach-in while the system is running may result in malfunctions.  
 ▶ Stop the system before performing teach-in.

LED display    Displayed values (example)

LED            At 0 to 10 V    At 4 to 20 mA

**Initial situation:**

- Transducer with magnet within measuring range



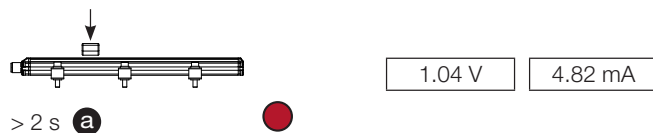
**1. Activate teach-in**

- ▶ Activate **a** for at least 4 s.



**2. Set null point**

- ▶ Bring magnet to the new null point.
- ▶ Activate **a** for at least 2 s.

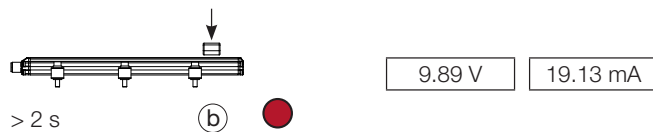


⇒ The new null point is set after activation.



**3. Set end point**

- ▶ Bring magnet to the new end point.
- ▶ Activate **b** for at least 2 s.



⇒ The new end point is set after activation.



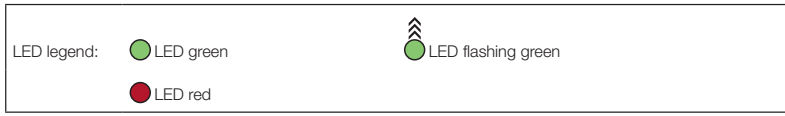
**4. End teach-in**

- ▶ Briefly activate **a** and **b** simultaneously (< 1 s).



⇒ Current position value is displayed.

**i** Any of the individual steps for settings can be selected. The teach-in process can be ended at any time.





## 8 Inverting

### NOTICE!

#### Interference in function

Inverting while the system is running may result in malfunctions.

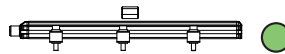
- ▶ Stop the system before inverting.

LED display    Displayed values (example)

LED            At 0 to 10 V    At 4 to 20 mA

#### Initial situation:

- Transducer with magnet within measuring range



5.39 V    23.7 mA

#### 1. Activate inverting

- ▶ Activate (b) for at least 4 s.

> 4 s (b)



5.39 V    23.7 mA

#### 2. Invert gradient

- ▶ Activate (a) and (b) simultaneously for at least 4 s.

> 4 s (a + b)



After activation:

- ⇒ The output gradient is inverted.
- ⇒ Current position value is displayed.
- ⇒ Inverting is deactivated.



5.61 V    14.85 mA

#### 3. Abort inverting

**i** Inverting can be aborted without any changes being saved after the *Activate inverting* step.

- ▶ Briefly activate (a) and (b) simultaneously (< 1 s).

< 1 s (a + b)



- ⇒ Current position value is displayed.

LED legend:    LED green            LED flashing green  
 LED red

**9**

**Resetting all values (reset)**

**NOTICE!**

**Interference in function**

Resetting the values while the system is running may result in malfunctions.


- ▶ Stop the system before performing the reset.

The reset function can be used to restore all the settings to the factory settings. For a reset the magnet may also be located outside the measuring range.

LED display

LED


**1. Activate reset**

- ▶ Simultaneously activate **a** and **b** for at least 4 s. > 4 s  

**2. Reset**

- ▶ Simultaneously activate **a** and **b** for at least 4 s. > 4 s  

After activation:




- ⇒ All values are reset. 
- ⇒ Current position value is displayed.
- ⇒ Reset is deactivated.

**3. Abort reset**

 Resetting can be aborted without any changes being saved after the *Activate reset* step.

- ▶ Briefly activate **a** and **b** simultaneously (< 1 s). < 1 s  

⇒ Current position value is displayed.

LED legend:	 LED green	 LED flashing green
	 LED red	

# BTL6-A/C/E/G500-M \_ \_ \_ \_ -PF-S115

## Micropulse Transducer in a Flat Profile Housing

### 10 Technical data

#### 10.1 Accuracy

The specifications are typical values for BTL6-A/C/E/G... at 24 V DC and room temperature, with a nominal length of 500 mm in conjunction with the BTL5-P-3800-2, BTL5-P-4500-1, BTL5-P-5500-2, BTL6-A-3800-2, BTL6-A-3801-2, BTL5-F-2814-1S or BTL5-T-2814-1S magnet.

The BTL is fully operational immediately, with full accuracy after warm-up.

**i** For special versions, other technical data may apply.  
Special versions are indicated by the suffix -SA on the part label.

Resolution	
BTL6-A/G...	350 $\mu$ V $\geq 5 \mu$ m
BTL6-C/E...	700 nA $\geq 5 \mu$ m
Repeat accuracy	$\leq \pm 0.002$ % FS $\geq \pm 5 \mu$ m
Sampling rate (dependent on the nominal length)	Max. 2 kHz
Non-linearity at	
Nominal length $\leq 500$ mm	$\pm 200 \mu$ m
Nominal length $> 500$ mm	$\pm 0.04$ % FS
Temperature coefficient (nominal length = 500 mm, magnet in the middle of the measuring range)	$\leq 30$ ppm/K
Max. detectable speed	10 m/s

#### 10.2 Ambient conditions

Operating temperature	$-25^{\circ}\text{C}$ to $+70^{\circ}\text{C}$
Storage temperature	$-40^{\circ}\text{C}$ to $+100^{\circ}\text{C}$
Relative humidity	$< 90\%$ , non-condensing
Shock rating per EN 60068-2-27 <sup>1)</sup>	50 g/6 ms
Continuous shock per EN 60068-2-29 <sup>1)</sup>	50 g/2 ms
Vibration per EN 60068-2-6 <sup>1)</sup>	12 g, 10 to 2000 Hz
Degree of protection per IEC 60529 (when attached)	IP67

<sup>1)</sup> Individual specifications as per Balluff factory standard

#### 10.3 Supply voltage (external)

Voltage, stabilized	10 to 30 V DC
Ripple	$\leq 0.5 V_{PP}$
Current draw (at 24 V DC)	$\leq 150$ mA
Inrush current	$\leq 3$ A/0.5 ms
Reverse polarity protection	Up to 36 V
Overvoltage protection	Up to 36 V
Dielectric strength (GND to housing)	500 V DC

#### 10.4 Output

BTL6-A... Output voltage	0 to 10 V
Load current	Max. 5 mA
BTL6-C... Output current	0.1 to 20 mA
Load resistance	$\leq 500$ ohms
BTL6-E... Output current	4 to 20 mA
Load resistance	$\leq 500$ ohms
BTL6-G... Output voltage	$-10$ to 10 V
Load current	Max. 5 mA
Short circuit resistance	Signal cable to 36 V Signal cable to GND

#### 10.5 Input

Programming inputs La/Lb	10 to 30 V DC High-active
Overvoltage protection	Up to 36 V

#### 10.6 Dimensions, weights

Housing height	20.8 mm
Nominal length	50 to 4572 mm
Weight (depends on length)	Approx. 1 kg/m
Housing material	Anodized aluminum

**BTL6-A/C/E/G500-M \_ \_ \_ \_ -PF-S115**  
**Micropulse Transducer in a Flat Profile Housing**

**11 Accessories**

**11.1 Magnet**

**BTL5-P-3800-2**

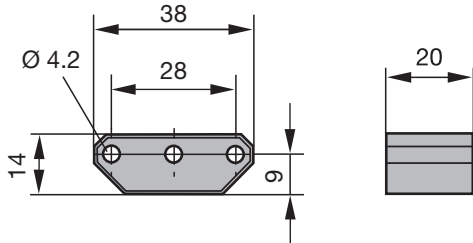


Fig. 11-1: Installation dimensions of BTL5-P-3800-2 magnet

Weight: Approx. 12 g  
 Housing: Plastic

**BTL5-P-5500-2**

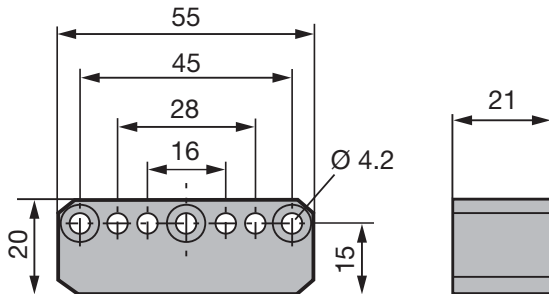


Fig. 11-2: Installation dimensions of BTL5-P-5500-2 magnet

Weight: Approx. 40 g  
 Housing: Plastic

**BTL6-A-3800-2**

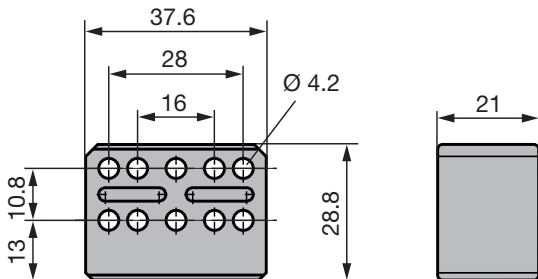


Fig. 11-3: Installation dimensions of BTL6-A-3800-2 magnet

Weight: Approx. 30 g  
 Housing: Plastic

**BTL6-A-3801-2**

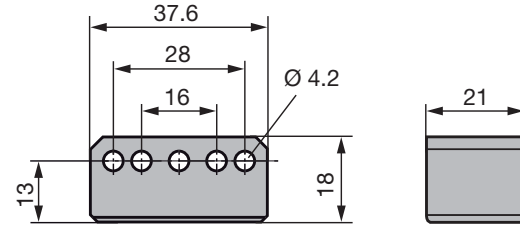


Fig. 11-4: Installation dimensions of BTL6-A-3801-2 magnet

Weight: Approx. 25 g  
 Housing: Plastic

**BTL5-F-2814-1S**

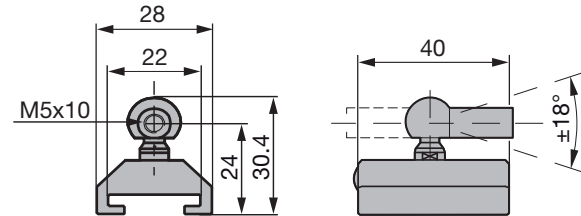


Fig. 11-5: Installation dimensions of BTL5-F-2814-1S magnet

Weight: Approx. 28 g  
 Housing: Anodized aluminum  
 Slide surface: Plastic

**BTL5-T-2814-1S**

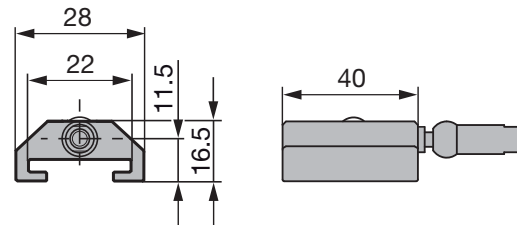


Fig. 11-6: Installation dimensions of BTL5-T-2814-1S magnet

Weight: Approx. 28 g  
 Housing: Anodized aluminum  
 Slide surface: Plastic

# BTL6-A/C/E/G500-M \_ \_ \_ \_ -PF-S115 Micropulse Transducer in a Flat Profile Housing

## 11 Accessories (continued)

### BTL5-P-4500-1

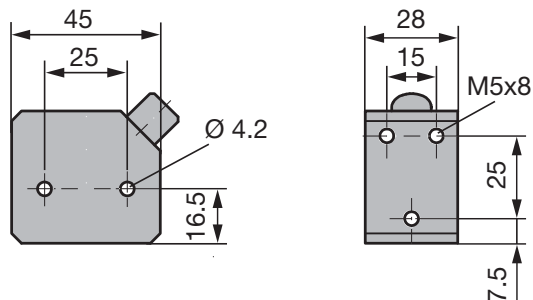


Fig. 11-7: Installation dimensions of BTL5-P-4500-1 magnet

Weight: Approx. 90 g  
Housing: Plastic  
Operating temperature:  $-40^{\circ}\text{C}$  to  $+60^{\circ}\text{C}$

### 11.2 BTL2-GS10- \_ \_ \_ \_ -A joint rod

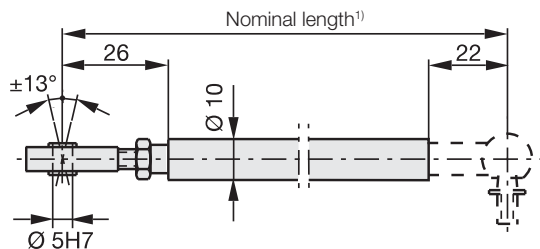


Fig. 11-8: BTL2-GS10- \_ \_ \_ \_ -A joint rod

Weight: Approx. 150 g/m  
Material: Aluminum

<sup>1)</sup> State the nominal length when ordering

### 11.3 Connector

**i** For information on pin assignment, see Table 4-2 on page 10.

#### BKS-S115-PU- \_ \_

Straight connector, molded-on cable, preassembled M12, 8-pin  
Various cable lengths can be ordered, e.g.  
BKS-S115-PU-05: Cable length 5 m

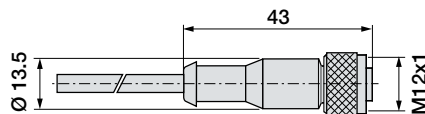


Fig. 11-9: Connector type BKS-S115-PU- \_ \_

#### BKS-S116-PU- \_ \_

Angled connector, molded-on cable, preassembled M12, 8-pin  
Various cable lengths can be ordered, e.g.  
BKS-S116-PU-05: Cable length 5 m

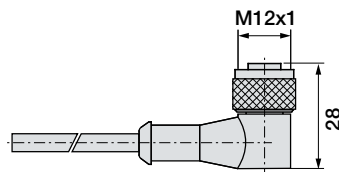


Fig. 11-10: Connector type BKS-S116-PU- \_ \_

### 11.4 Adjusting box

#### BTL7-A-CB02-S115

Scope of delivery:

- Adjusting box
- 2 adapter cables, each approx. 0.3 m
- Condensed guide

**BTL6-A/C/E/G500-M \_ \_ \_ \_ -PF-S115**  
**Micropulse Transducer in a Flat Profile Housing**

**12** Ordering code

**BTL6 - A 5 00 - M0500 - PF - S115**

Micropulse transducer

Interface:

A = Analog interface, voltage output 0 to 10 V

G = Analog interface, voltage output -10 to 10 V

C = Analog interface, current output 0.1 to 20 mA

E = Analog interface, current output 4 to 20 mA

Supply voltage:

5 = 10 to 30 V DC

Output gradient:

00 = Rising (factory setting)

Nominal stroke (4-digit):

M0500 = Metric specification in mm, nominal length 500 mm

Construction:

PF = flat profile housing

Electrical connection:

S115 = 8-pin, M12 plug

**13** Appendix

**13.1 Converting units of length**

**1 mm = 0.0393700787 inch**

mm	inches
1	0.03937008
2	0.07874016
3	0.11811024
4	0.15748031
5	0.19685039
6	0.23622047
7	0.27559055
8	0.31496063
9	0.35433071
10	0.393700787

Tab. 13-1: Conversion table mm to inches

**1 inch = 25.4 mm**

inches	mm
1	25.4
2	50.8
3	76.2
4	101.6
5	127
6	152.4
7	177.8
8	203.2
9	228.6
10	254

Tab. 13-2: Conversion table inches to mm

**13.2 Part label**

<p><b>BALLUFF</b></p> <p><b>BTLOJZK</b><sup>1)</sup></p> <p>BTL6-A500-M0500-PF-S115<sup>2)</sup></p>	<p>▲ Null Position<sup>4)</sup></p>	<p><b>MICROPULSE</b></p>	<p>09112200054321 DE<sup>3)</sup> <a href="http://www.balluff.com">www.balluff.com</a></p>
--	-------------------------------------	--------------------------	--

- <sup>1)</sup> Ordering code
- <sup>2)</sup> Type
- <sup>3)</sup> Serial number
- <sup>4)</sup> Null mark

Fig. 13-1: BTL6 part label

 **www.balluff.com**

**Headquarters**

**Germany**

Balluff GmbH  
Schurwaldstrasse 9  
73765 Neuhausen a.d.F.  
Phone + 49 7158 173-0  
Fax +49 7158 5010  
balluff@balluff.de

**Global Service Center**

**Germany**

Balluff GmbH  
Schurwaldstrasse 9  
73765 Neuhausen a.d.F.  
Phone +49 7158 173-370  
Fax +49 7158 173-691  
service@balluff.de

**US Service Center**

**USA**

Balluff Inc.  
8125 Holton Drive  
Florence, KY 41042  
Phone (859) 727-2200  
Toll-free 1-800-543-8390  
Fax (859) 727-4823  
technicalsupport@balluff.com



Vedlegg N    LM317TL datablad

# LM117/LM317A/LM317

## 3-Terminal Adjustable Regulator

### General Description

The LM117 series of adjustable 3-terminal positive voltage regulators is capable of supplying in excess of 1.5A over a 1.2V to 37V output range. They are exceptionally easy to use and require only two external resistors to set the output voltage. Further, both line and load regulation are better than standard fixed regulators. Also, the LM117 is packaged in standard transistor packages which are easily mounted and handled.

In addition to higher performance than fixed regulators, the LM117 series offers full overload protection available only in IC's. Included on the chip are current limit, thermal overload protection and safe area protection. All overload protection circuitry remains fully functional even if the adjustment terminal is disconnected.

Normally, no capacitors are needed unless the device is situated more than 6 inches from the input filter capacitors in which case an input bypass is needed. An optional output capacitor can be added to improve transient response. The adjustment terminal can be bypassed to achieve very high ripple rejection ratios which are difficult to achieve with standard 3-terminal regulators.

Besides replacing fixed regulators, the LM117 is useful in a wide variety of other applications. Since the regulator is "floating" and sees only the input-to-output differential volt-

age, supplies of several hundred volts can be regulated as long as the maximum input to output differential is not exceeded, i.e., avoid short-circuiting the output.

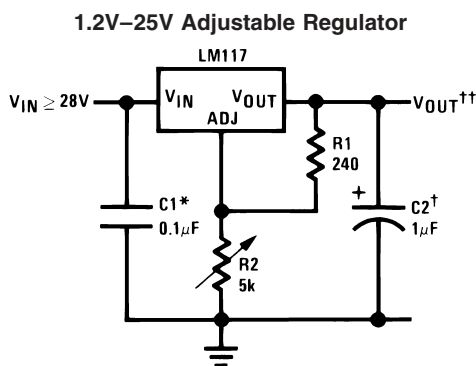
Also, it makes an especially simple adjustable switching regulator, a programmable output regulator, or by connecting a fixed resistor between the adjustment pin and output, the LM117 can be used as a precision current regulator. Supplies with electronic shutdown can be achieved by clamping the adjustment terminal to ground which programs the output to 1.2V where most loads draw little current.

For applications requiring greater output current, see LM150 series (3A) and LM138 series (5A) data sheets. For the negative complement, see LM137 series data sheet.

### Features

- Guaranteed 1% output voltage tolerance (LM317A)
- Guaranteed max. 0.01%/V line regulation (LM317A)
- Guaranteed max. 0.3% load regulation (LM117)
- Guaranteed 1.5A output current
- Adjustable output down to 1.2V
- Current limit constant with temperature
- P+ Product Enhancement tested
- 80 dB ripple rejection
- Output is short-circuit protected

### Typical Applications



00906301

Full output current not available at high input-output voltages

\*Needed if device is more than 6 inches from filter capacitors.

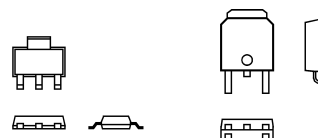
†Optional — improves transient response. Output capacitors in the range of 1μF to 1000μF of aluminum or tantalum electrolytic are commonly used to provide improved output impedance and rejection of transients.

$$\dagger\dagger V_{OUT} = 1.25V \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ}(R_2)$$

LM117 Series Packages

Part Number Suffix	Package	Design Load Current
K	TO-3	1.5A
H	TO-39	0.5A
T	TO-220	1.5A
E	LCC	0.5A
S	TO-263	1.5A
EMP	SOT-223	1A
MDT	TO-252	0.5A

### SOT-223 vs. D-Pak (TO-252) Packages



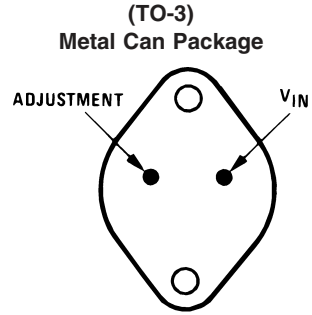
SOT-223

TO-252

00906354

Scale 1:1

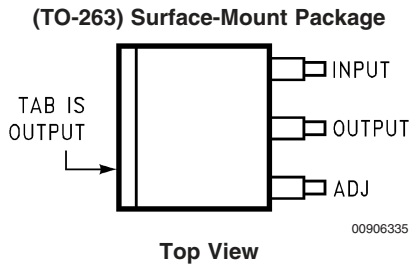
# Connection Diagrams



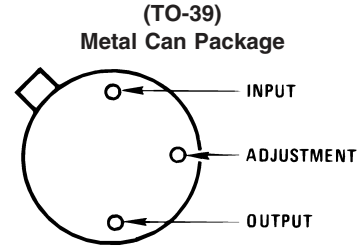
00906330

CASE IS OUTPUT

**Bottom View**  
Steel Package  
NS Package Number K02A or K02C



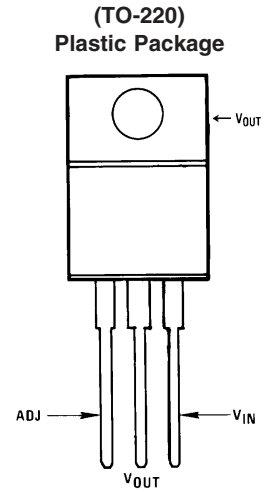
00906335



CASE IS OUTPUT

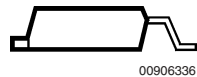
00906331

**Bottom View**  
NS Package Number H03A



00906332

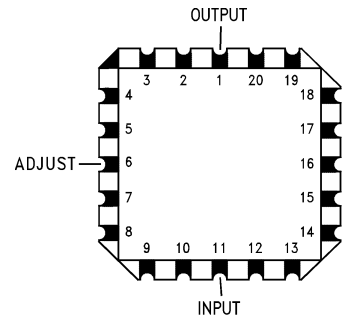
**Front View**  
NS Package Number T03B



00906336

**Side View**  
NS Package Number TS3B

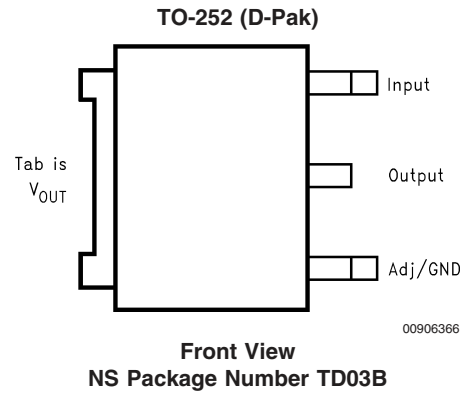
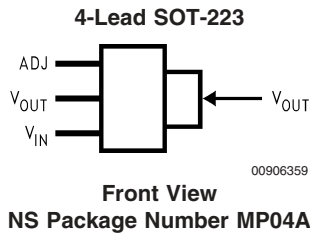
**Ceramic Leadless  
Chip Carrier**



00906334

**Top View**  
NS Package Number E20A

## Connection Diagrams (Continued)



## Ordering Information

Package	Temperature Range	Part Number	Package Marking	Transport Media	NSC Drawing
Metal Can (TO-3)	$-55^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +150^{\circ}\text{C}$	LM117K STEEL	LM117K STEEL P+	50 Per Bag	K02A
	$0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$	LM317K STEEL	LM317K STEEL P+	50 Per Bag	
	$-55^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +150^{\circ}\text{C}$	LM117K/883	LM117K/883	50 Per Bag	K02C
Metal Can (TO-39)	$-55^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +150^{\circ}\text{C}$	LM117H	LM117H P+	500 Per Box	H03A
	$-55^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +150^{\circ}\text{C}$	LM117H/883	LM117H/883	20 Per Tray	
	$-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$	LM317AH	LM317AH P+	500 Per Box	
	$0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$	LM317H	LM317H P+	500 Per Box	
TO-220 3- Lead	$-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$	LM317AT	LM317AT P+	45 Units/Rail	T03B
	$0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$	LM317T	LM317T P+	45 Units/Rail	
TO-263 3- Lead	$0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$	LM317S	LM317S P+	45 Units/Rail	TS3B
		LM317SX		500 Units Tape and Reel	
LCC	$-55^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +150^{\circ}\text{C}$	LM117E/883	LM117E/883	50 Units/Rail	E20A
SOT-223 4- Lead	$0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$	LM317EMP	N01A	1k Units Tape and Reel	MP04A
		LM317EMPX		2k Units Tape and Reel	
	$-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$	LM317AEMP	N07A	1k Units Tape and Reel	
		LM317AEMPX		2k Units Tape and Reel	
D- Pack 3- Lead	$0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$	LM317MDT	LM317MDT	75 Units/Rail	TD03B
		LM317MDTX		2.5k Units Tape and Reel	
	$-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$	LM317AMDT	LM317AMDT	75 Units/Rail	
		LM317AMDTX		2.5k Units Tape and Reel	

**Absolute Maximum Ratings** (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Power Dissipation	Internally Limited
Input-Output Voltage Differential	+40V, -0.3V
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Lead Temperature	
Metal Package (Soldering, 10 seconds)	300°C
Plastic Package (Soldering, 4 seconds)	260°C

ESD Tolerance (Note 5)

3 kV

**Operating Temperature Range**

LM117	-55°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +150°C
LM317A	-40°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C
LM317	0°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C

**Preconditioning**

Thermal Limit Burn-In All Devices 100%

**Electrical Characteristics** (Note 3)

Specifications with standard type face are for T<sub>J</sub> = 25°C, and those with **boldface type** apply over **full Operating Temperature Range**. Unless otherwise specified, V<sub>IN</sub> - V<sub>OUT</sub> = 5V, and I<sub>OUT</sub> = 10 mA.

Parameter	Conditions	LM117 (Note 2)			Units		
		Min	Typ	Max			
Reference Voltage					V		
	3V ≤ (V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) ≤ 40V, 10 mA ≤ I <sub>OUT</sub> ≤ I <sub>MAX</sub> , P ≤ P <sub>MAX</sub>	<b>1.20</b>	<b>1.25</b>	<b>1.30</b>	V		
Line Regulation	3V ≤ (V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) ≤ 40V (Note 4)		0.01	0.02	%/V		
			<b>0.02</b>	<b>0.05</b>	%/V		
Load Regulation	10 mA ≤ I <sub>OUT</sub> ≤ I <sub>MAX</sub> (Note 4)		0.1	0.3	%		
			<b>0.3</b>	<b>1</b>	%		
Thermal Regulation	20 ms Pulse		0.03	0.07	%/W		
Adjustment Pin Current			<b>50</b>	<b>100</b>	μA		
Adjustment Pin Current Change	10 mA ≤ I <sub>OUT</sub> ≤ I <sub>MAX</sub> 3V ≤ (V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) ≤ 40V		<b>0.2</b>	<b>5</b>	μA		
Temperature Stability	T <sub>MIN</sub> ≤ T <sub>J</sub> ≤ T <sub>MAX</sub>		<b>1</b>		%		
Minimum Load Current	(V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) = 40V		<b>3.5</b>	<b>5</b>	mA		
Current Limit	(V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) ≤ 15V		K Package	<b>1.5</b>	<b>2.2</b>	<b>3.4</b>	A
			H Package	<b>0.5</b>	<b>0.8</b>	<b>1.8</b>	A
	(V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) = 40V		K Package	0.3	0.4		A
			H Package	0.15	0.2		A
RMS Output Noise, % of V <sub>OUT</sub>	10 Hz ≤ f ≤ 10 kHz		0.003		%		
Ripple Rejection Ratio	V <sub>OUT</sub> = 10V, f = 120 Hz, C <sub>ADJ</sub> = 0 μF		<b>65</b>		dB		
	V <sub>OUT</sub> = 10V, f = 120 Hz, C <sub>ADJ</sub> = 10 μF	<b>66</b>	<b>80</b>		dB		
Long-Term Stability	T <sub>J</sub> = 125°C, 1000 hrs		0.3	1	%		
Thermal Resistance, Junction-to-Case	K Package		2.3	3	°C/W		
	H Package		12	15	°C/W		
	E Package				°C/W		
Thermal Resistance, Junction- to-Ambient (No Heat Sink)	K Package		35		°C/W		
	H Package		140		°C/W		
	E Package				°C/W		

## Electrical Characteristics (Note 3)

Specifications with standard type face are for  $T_J = 25^\circ\text{C}$ , and those with **boldface type** apply over **full Operating Temperature Range**. Unless otherwise specified,  $V_{IN} - V_{OUT} = 5\text{V}$ , and  $I_{OUT} = 10\text{mA}$ .

Parameter	Conditions	LM317A			LM317			Units	
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
Reference Voltage		1.238	1.250	1.262				V	
	$3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$ , $10\text{mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$ , $P \leq P_{MAX}$	<b>1.225</b>	<b>1.250</b>	<b>1.270</b>	<b>1.20</b>	<b>1.25</b>	<b>1.30</b>	V	
Line Regulation	$3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$ (Note 4)		0.005	0.01		0.01	0.04	%/V	
			<b>0.01</b>	<b>0.02</b>		<b>0.02</b>	<b>0.07</b>	%/V	
Load Regulation	$10\text{mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$ (Note 4)		0.1	0.5		0.1	0.5	%	
			<b>0.3</b>	<b>1</b>		<b>0.3</b>	<b>1.5</b>	%	
Thermal Regulation	20 ms Pulse		0.04	0.07		0.04	0.07	%/W	
Adjustment Pin Current			<b>50</b>	<b>100</b>		<b>50</b>	<b>100</b>	$\mu\text{A}$	
Adjustment Pin Current Change	$10\text{mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$ $3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$		<b>0.2</b>	<b>5</b>		<b>0.2</b>	<b>5</b>	$\mu\text{A}$	
Temperature Stability	$T_{MIN} \leq T_J \leq T_{MAX}$		<b>1</b>			<b>1</b>		%	
Minimum Load Current	$(V_{IN} - V_{OUT}) = 40\text{V}$		<b>3.5</b>	<b>10</b>		<b>3.5</b>	<b>10</b>	mA	
Current Limit	$(V_{IN} - V_{OUT}) \leq 15\text{V}$ K, T, S Packages H Package MP Package		<b>1.5</b>	<b>2.2</b>	<b>3.4</b>	<b>1.5</b>	<b>2.2</b>	<b>3.4</b>	A
			<b>0.5</b>	<b>0.8</b>	<b>1.8</b>	<b>0.5</b>	<b>0.8</b>	<b>1.8</b>	A
			<b>1.5</b>	<b>2.2</b>	<b>3.4</b>	<b>1.5</b>	<b>2.2</b>	<b>3.4</b>	A
	$(V_{IN} - V_{OUT}) = 40\text{V}$ K, T, S Packages H Package MP Package		0.15	0.4		0.15	0.4		A
			0.075	0.2		0.075	0.2		A
			0.15	0.4		0.15	0.4		A
RMS Output Noise, % of $V_{OUT}$	$10\text{Hz} \leq f \leq 10\text{kHz}$		0.003			0.003		%	
Ripple Rejection Ratio	$V_{OUT} = 10\text{V}$ , $f = 120\text{Hz}$ , $C_{ADJ} = 0\mu\text{F}$		<b>65</b>			<b>65</b>		dB	
	$V_{OUT} = 10\text{V}$ , $f = 120\text{Hz}$ , $C_{ADJ} = 10\mu\text{F}$		<b>66</b>	<b>80</b>		<b>66</b>	<b>80</b>	dB	
Long-Term Stability	$T_J = 125^\circ\text{C}$ , 1000 hrs		0.3	1		0.3	1	%	
Thermal Resistance, Junction-to-Case	K Package					2.3	3	$^\circ\text{C/W}$	
	MDT Package					5		$^\circ\text{C/W}$	
	H Package		12	15		12	15	$^\circ\text{C/W}$	
	T Package		4	5		4		$^\circ\text{C/W}$	
	MP Package		23.5			23.5		$^\circ\text{C/W}$	
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient (No Heat Sink)	K Package		35			35		$^\circ\text{C/W}$	
	MDT Package (Note 6)					92		$^\circ\text{C/W}$	
	H Package		140			140		$^\circ\text{C/W}$	
	T Package		50			50		$^\circ\text{C/W}$	
	S Package (Note 6)		50			50		$^\circ\text{C/W}$	

**Note 1:** Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but do not guarantee specific performance limits. For guaranteed specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics. The guaranteed specifications apply only for the test conditions listed.

**Note 2:** Refer to RETS117H drawing for the LM117H, or the RETS117K for the LM117K military specifications.

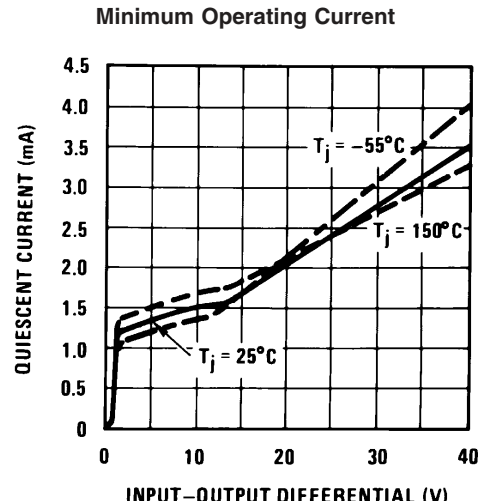
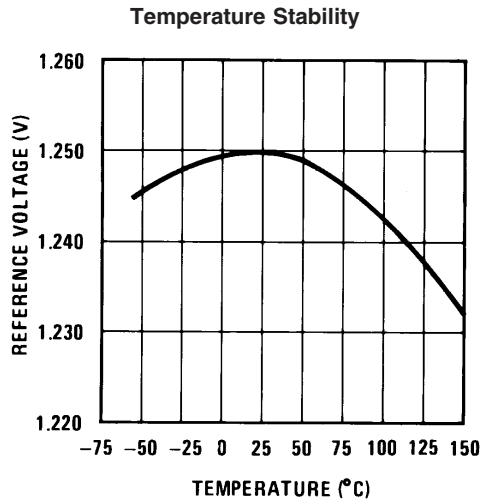
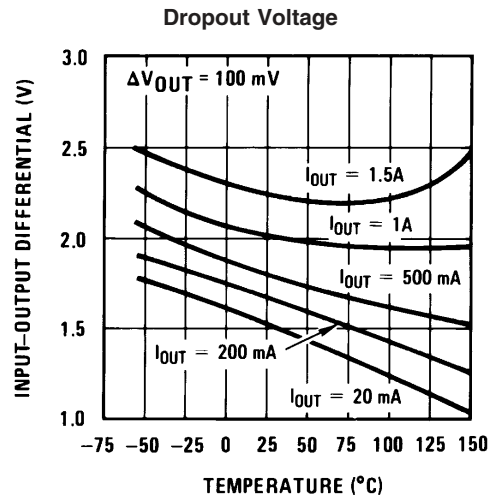
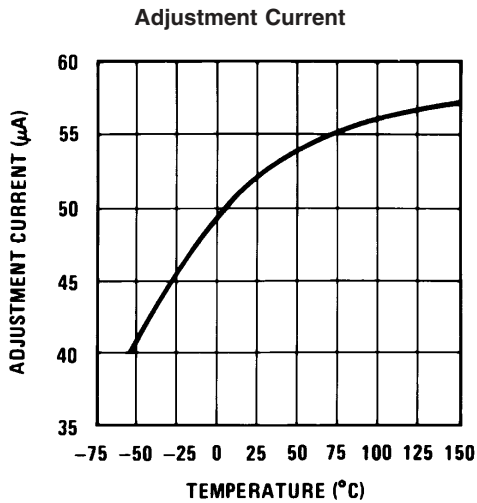
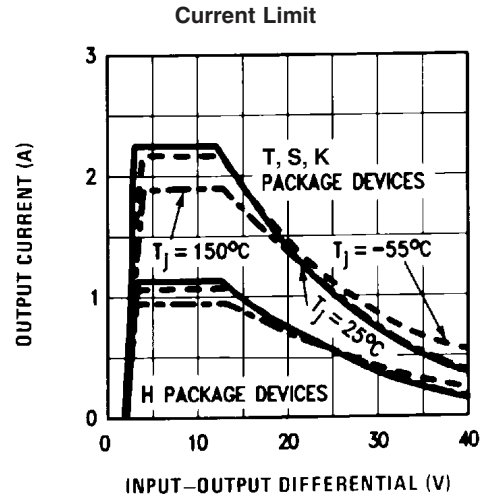
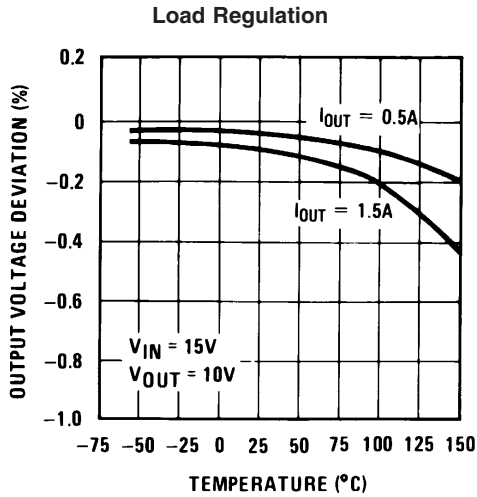
**Note 3:** Although power dissipation is internally limited, these specifications are applicable for maximum power dissipations of 2W for the TO-39 and SOT-223 and 20W for the TO-3, TO-220, and TO-263.  $I_{MAX}$  is 1.5A for the TO-3, TO-220, and TO-263 packages, 0.5A for the TO-39 package and 1A for the SOT-223 Package. All limits (i.e., the numbers in the Min. and Max. columns) are guaranteed to National's AOQL (Average Outgoing Quality Level).

**Note 4:** Regulation is measured at a constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output voltage due to heating effects are covered under the specifications for thermal regulation.

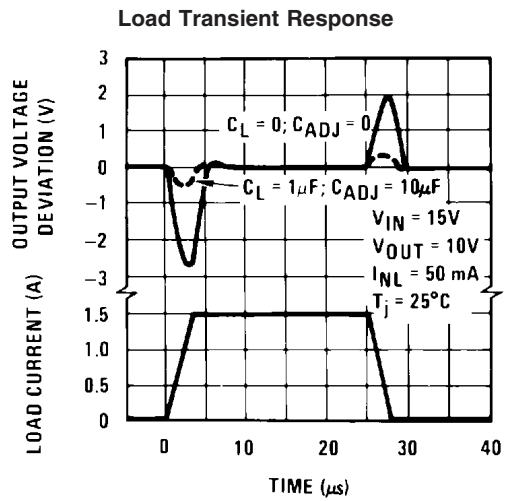
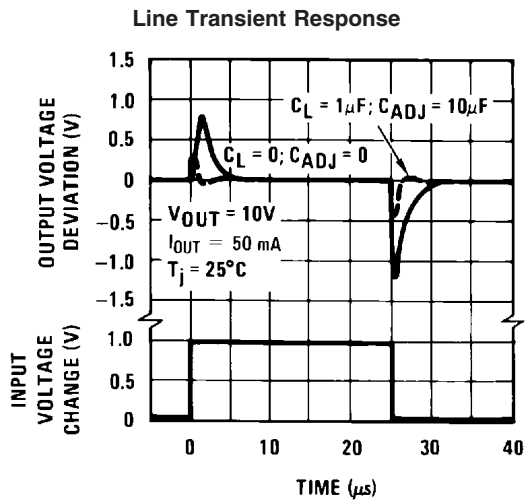
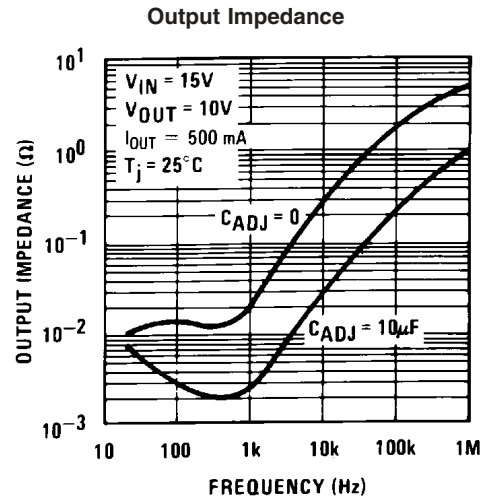
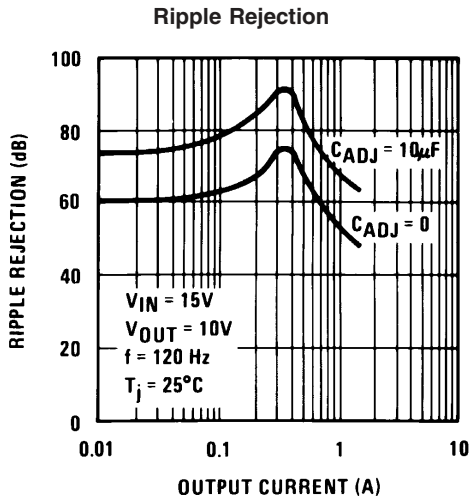
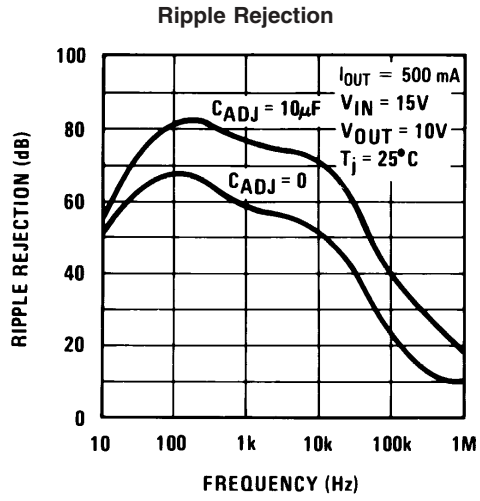
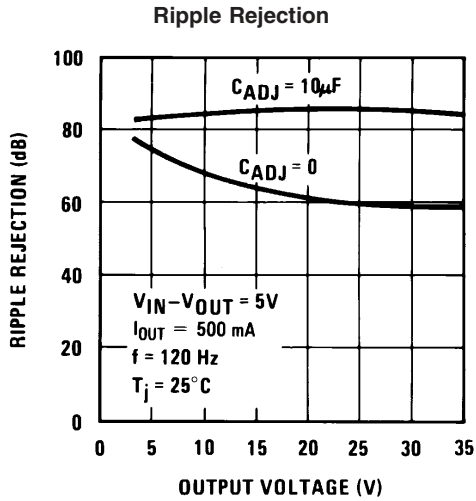
**Note 5:** Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k $\Omega$  resistor.

**Note 6:** If the TO-263 or TO-252 packages are used, the thermal resistance can be reduced by increasing the PC board copper area thermally connected to the package. Using 0.5 square inches of copper area,  $\theta_{JA}$  is  $50^\circ\text{C/W}$ ; with 1 square inch of copper area,  $\theta_{JA}$  is  $37^\circ\text{C/W}$ ; and with 1.6 or more square inches of copper area,  $\theta_{JA}$  is  $32^\circ\text{C/W}$ . If the SOT-223 package is used, the thermal resistance can be reduced by increasing the PC board copper area (see applications hints for heatsinking).

**Typical Performance Characteristics** Output Capacitor = 0 $\mu$ F unless otherwise noted



**Typical Performance Characteristics** Output Capacitor = 0 $\mu$ F unless otherwise noted (Continued)





## Application Hints

In operation, the LM117 develops a nominal 1.25V reference voltage,  $V_{REF}$ , between the output and adjustment terminal. The reference voltage is impressed across program resistor R1 and, since the voltage is constant, a constant current  $I_1$  then flows through the output set resistor R2, giving an output voltage of

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

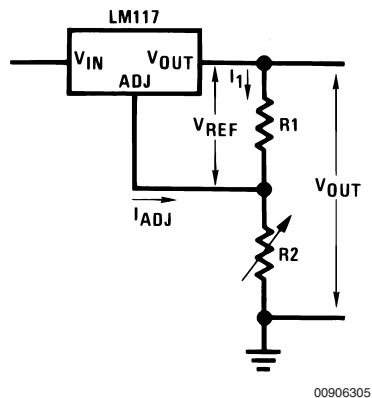


FIGURE 1.

Since the 100 $\mu$ A current from the adjustment terminal represents an error term, the LM117 was designed to minimize  $I_{ADJ}$  and make it very constant with line and load changes. To do this, all quiescent operating current is returned to the output establishing a minimum load current requirement. If there is insufficient load on the output, the output will rise.

### EXTERNAL CAPACITORS

An input bypass capacitor is recommended. A 0.1 $\mu$ F disc or 1 $\mu$ F solid tantalum on the input is suitable input bypassing for almost all applications. The device is more sensitive to the absence of input bypassing when adjustment or output capacitors are used but the above values will eliminate the possibility of problems.

The adjustment terminal can be bypassed to ground on the LM117 to improve ripple rejection. This bypass capacitor prevents ripple from being amplified as the output voltage is increased. With a 10 $\mu$ F bypass capacitor 80dB ripple rejection is obtainable at any output level. Increases over 10 $\mu$ F do not appreciably improve the ripple rejection at frequencies above 120Hz. If the bypass capacitor is used, it is sometimes necessary to include protection diodes to prevent the capacitor from discharging through internal low current paths and damaging the device.

In general, the best type of capacitors to use is solid tantalum. Solid tantalum capacitors have low impedance even at high frequencies. Depending upon capacitor construction, it takes about 25 $\mu$ F in aluminum electrolytic to equal 1 $\mu$ F solid tantalum at high frequencies. Ceramic capacitors are also good at high frequencies; but some types have a large decrease in capacitance at frequencies around 0.5MHz. For this reason, 0.01 $\mu$ F disc may seem to work better than a 0.1 $\mu$ F disc as a bypass.

Although the LM117 is stable with no output capacitors, like any feedback circuit, certain values of external capacitance

can cause excessive ringing. This occurs with values between 500 pF and 5000 pF. A 1 $\mu$ F solid tantalum (or 25 $\mu$ F aluminum electrolytic) on the output swamps this effect and insures stability. Any increase of the load capacitance larger than 10 $\mu$ F will merely improve the loop stability and output impedance.

### LOAD REGULATION

The LM117 is capable of providing extremely good load regulation but a few precautions are needed to obtain maximum performance. The current set resistor connected between the adjustment terminal and the output terminal (usually 240 $\Omega$ ) should be tied directly to the output (case) of the regulator rather than near the load. This eliminates line drops from appearing effectively in series with the reference and degrading regulation. For example, a 15V regulator with 0.05 $\Omega$  resistance between the regulator and load will have a load regulation due to line resistance of 0.05 $\Omega$   $\times$   $I_L$ . If the set resistor is connected near the load the effective line resistance will be 0.05 $\Omega$  (1 +  $R_2/R_1$ ) or in this case, 11.5 times worse.

Figure 2 shows the effect of resistance between the regulator and 240 $\Omega$  set resistor.

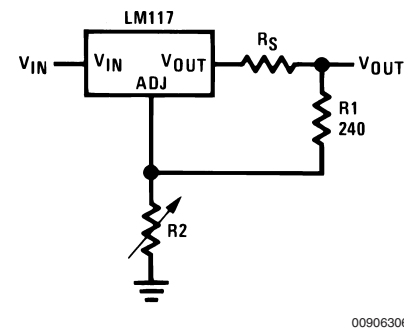


FIGURE 2. Regulator with Line Resistance in Output Lead

With the TO-3 package, it is easy to minimize the resistance from the case to the set resistor, by using two separate leads to the case. However, with the TO-39 package, care should be taken to minimize the wire length of the output lead. The ground of  $R_2$  can be returned near the ground of the load to provide remote ground sensing and improve load regulation.

### PROTECTION DIODES

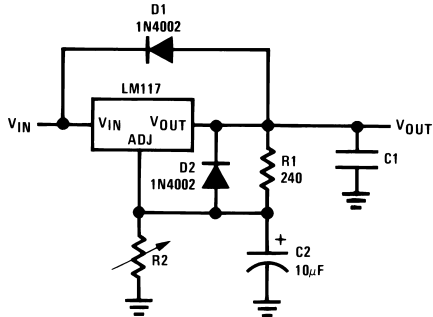
When external capacitors are used with any IC regulator it is sometimes necessary to add protection diodes to prevent the capacitors from discharging through low current points into the regulator. Most 10 $\mu$ F capacitors have low enough internal series resistance to deliver 20A spikes when shorted. Although the surge is short, there is enough energy to damage parts of the IC.

When an output capacitor is connected to a regulator and the input is shorted, the output capacitor will discharge into the output of the regulator. The discharge current depends on the value of the capacitor, the output voltage of the regulator, and the rate of decrease of  $V_{IN}$ . In the LM117, this discharge path is through a large junction that is able to sustain 15A surge with no problem. This is not true of other types of positive regulators. For output capacitors of 25 $\mu$ F or less, there is no need to use diodes.

The bypass capacitor on the adjustment terminal can discharge through a low current junction. Discharge occurs

## Application Hints (Continued)

when *either* the input or output is shorted. Internal to the LM117 is a 50Ω resistor which limits the peak discharge current. No protection is needed for output voltages of 25V or less and 10μF capacitance. *Figure 3* shows an LM117 with protection diodes included for use with outputs greater than 25V and high values of output capacitance.



00906307

$$V_{OUT} = 1.25V \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ}R_2$$

D1 protects against C1  
D2 protects against C2

**FIGURE 3. Regulator with Protection Diodes**

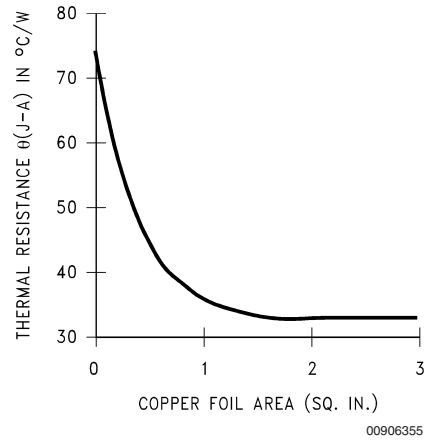
When a value for  $\theta_{(H-A)}$  is found using the equation shown, a heatsink must be selected that has a value that is less than or equal to this number.

$\theta_{(H-A)}$  is specified numerically by the heatsink manufacturer in the catalog, or shown in a curve that plots temperature rise vs power dissipation for the heatsink.

### HEATSINKING TO-263, SOT-223 AND TO-252 PACKAGE PARTS

The TO-263 ("S"), SOT-223 ("MP") and TO-252 ("DT") packages use a copper plane on the PCB and the PCB itself as a heatsink. To optimize the heat sinking ability of the plane and PCB, solder the tab of the package to the plane.

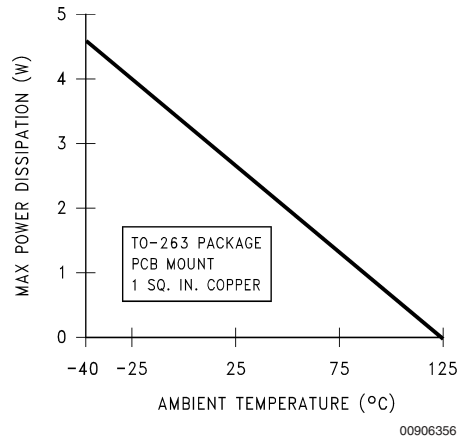
*Figure 4* shows for the TO-263 the measured values of  $\theta_{(J-A)}$  for different copper area sizes using a typical PCB with 1 ounce copper and no solder mask over the copper area used for heatsinking.



**FIGURE 4.  $\theta_{(J-A)}$  vs Copper (1 ounce) Area for the TO-263 Package**

As shown in the figure, increasing the copper area beyond 1 square inch produces very little improvement. It should also be observed that the minimum value of  $\theta_{(J-A)}$  for the TO-263 package mounted to a PCB is 32°C/W.

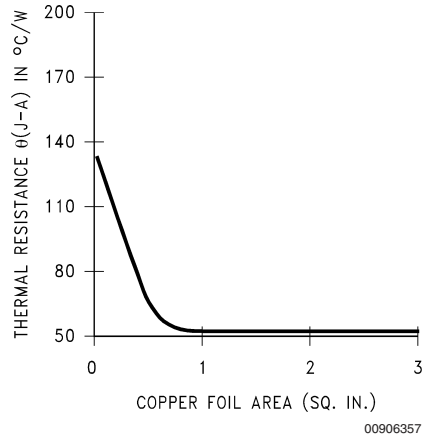
As a design aid, *Figure 5* shows the maximum allowable power dissipation compared to ambient temperature for the TO-263 device (assuming  $\theta_{(J-A)}$  is 35°C/W and the maximum junction temperature is 125°C).



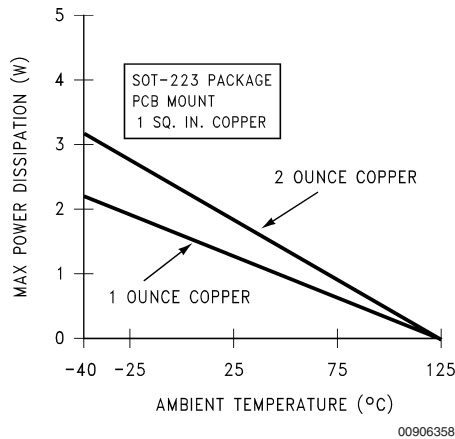
**FIGURE 5. Maximum Power Dissipation vs  $T_{AMB}$  for the TO-263 Package**

*Figure 6* and *Figure 7* show the information for the SOT-223 package. *Figure 7* assumes a  $\theta_{(J-A)}$  of 74°C/W for 1 ounce copper and 51°C/W for 2 ounce copper and a maximum junction temperature of 125°C.

**Application Hints** (Continued)



**FIGURE 6.  $\theta_{(J-A)}$  vs Copper (2 ounce) Area for the SOT-223 Package**



**FIGURE 7. Maximum Power Dissipation vs  $T_{AMB}$  for the SOT-223 Package**

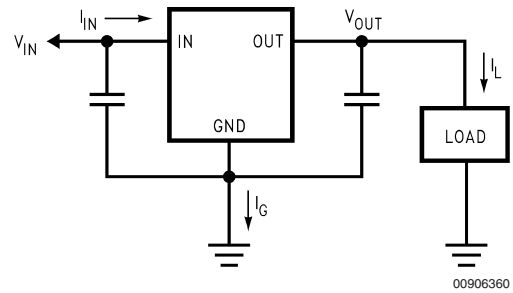
The LM317 regulators have internal thermal shutdown to protect the device from over-heating. Under all possible operating conditions, the junction temperature of the LM317 must be within the range of 0°C to 125°C. A heatsink may be required depending on the maximum power dissipation and maximum ambient temperature of the application. To deter-

mine if a heatsink is needed, the power dissipated by the regulator,  $P_D$ , must be calculated:

$$I_{IN} = I_L + I_G$$

$$P_D = (V_{IN} - V_{OUT}) I_L + V_{IN} I_G$$

Figure 8 shows the voltage and currents which are present in the circuit.



**FIGURE 8. Power Dissipation Diagram**

The next parameter which must be calculated is the maximum allowable temperature rise,  $T_R(max)$ :

$$T_R(max) = T_J(max) - T_A(max)$$

where  $T_J(max)$  is the maximum allowable junction temperature (125°C), and  $T_A(max)$  is the maximum ambient temperature which will be encountered in the application.

Using the calculated values for  $T_R(max)$  and  $P_D$ , the maximum allowable value for the junction-to-ambient thermal resistance ( $\theta_{JA}$ ) can be calculated:

$$\theta_{JA} = T_R(max)/P_D$$

If the maximum allowable value for  $\theta_{JA}$  is found to be  $\geq 92^\circ\text{C/W}$  (Typical Rated Value) for TO-252 package, no heatsink is needed since the package alone will dissipate enough heat to satisfy these requirements. If the calculated value for  $\theta_{JA}$  falls below these limits, a heatsink is required.

As a design aid, Table 1 shows the value of the  $\theta_{JA}$  of TO-252 for different heatsink area. The copper patterns that we used to measure these  $\theta_{JA}$ s are shown at the end of the Application Notes Section. Figure 9 reflects the same test results as what are in the Table 1

Figure 10 shows the maximum allowable power dissipation vs. ambient temperature for the TO-252 device. Figure 11 shows the maximum allowable power dissipation vs. copper area (in<sup>2</sup>) for the TO-252 device. Please see AN1028 for power enhancement techniques to be used with SOT-223 and TO-252 packages.

**TABLE 1.  $\theta_{JA}$  Different Heatsink Area**

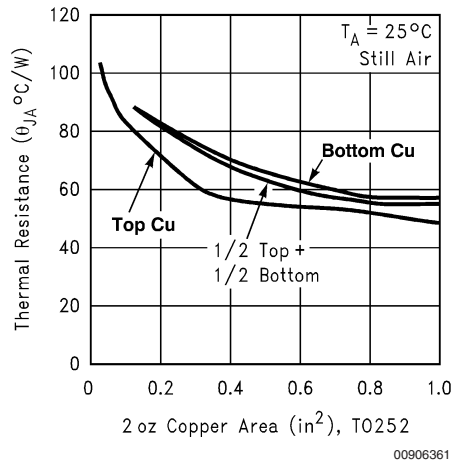
Layout	Copper Area		Thermal Resistance ( $\theta_{JA}$ °C/W) TO-252
	Top Side (in <sup>2</sup> )*	Bottom Side (in <sup>2</sup> )	
1	0.0123	0	103
2	0.066	0	87
3	0.3	0	60
4	0.53	0	54
5	0.76	0	52
6	1	0	47
7	0	0.2	84
8	0	0.4	70
9	0	0.6	63

## Application Hints (Continued)

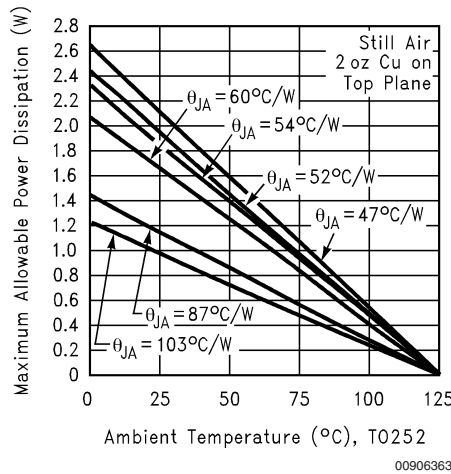
**TABLE 1.  $\theta_{JA}$  Different Heatsink Area (Continued)**

Layout	Copper Area		Thermal Resistance
10	0	0.8	57
11	0	1	57
12	0.066	0.066	89
13	0.175	0.175	72
14	0.284	0.284	61
15	0.392	0.392	55
16	0.5	0.5	53

**Note:** \* Tab of device attached to topside of copper.



**FIGURE 9.  $\theta_{JA}$  vs 2oz Copper Area for TO-252**



**FIGURE 10. Maximum Allowable Power Dissipation vs. Ambient Temperature for TO-252**

Application Hints (Continued)

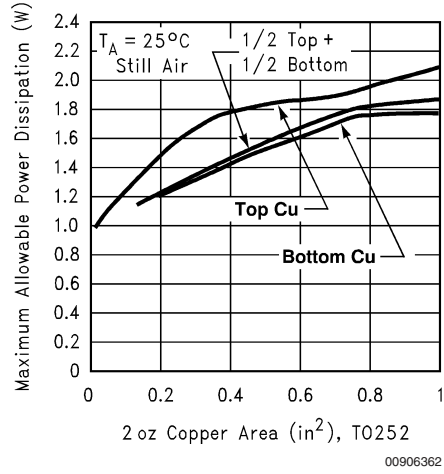


FIGURE 11. Maximum Allowable Power Dissipation vs. 2oz Copper Area for TO-252

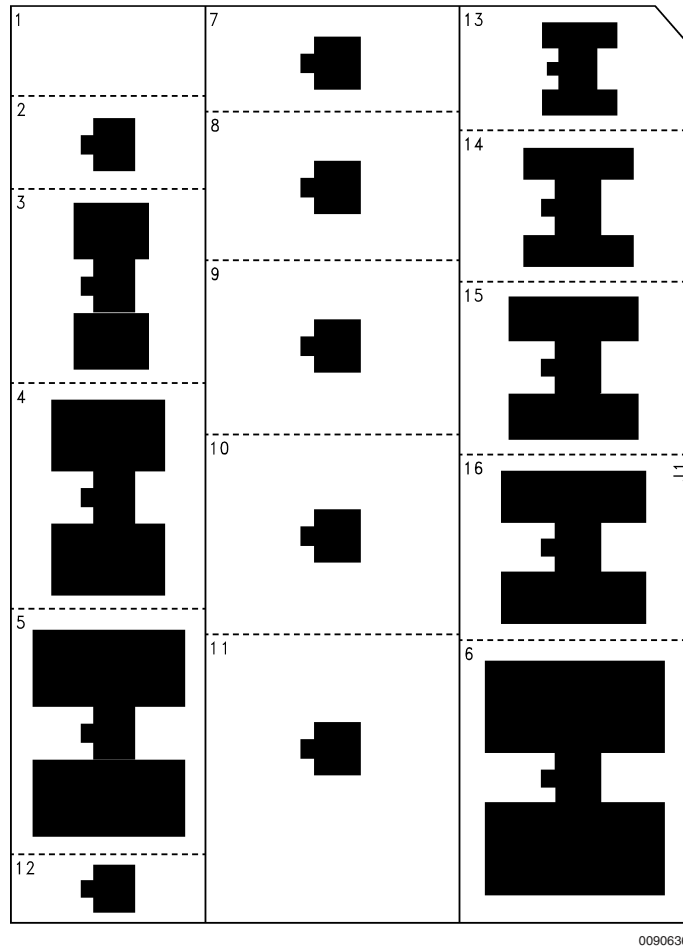
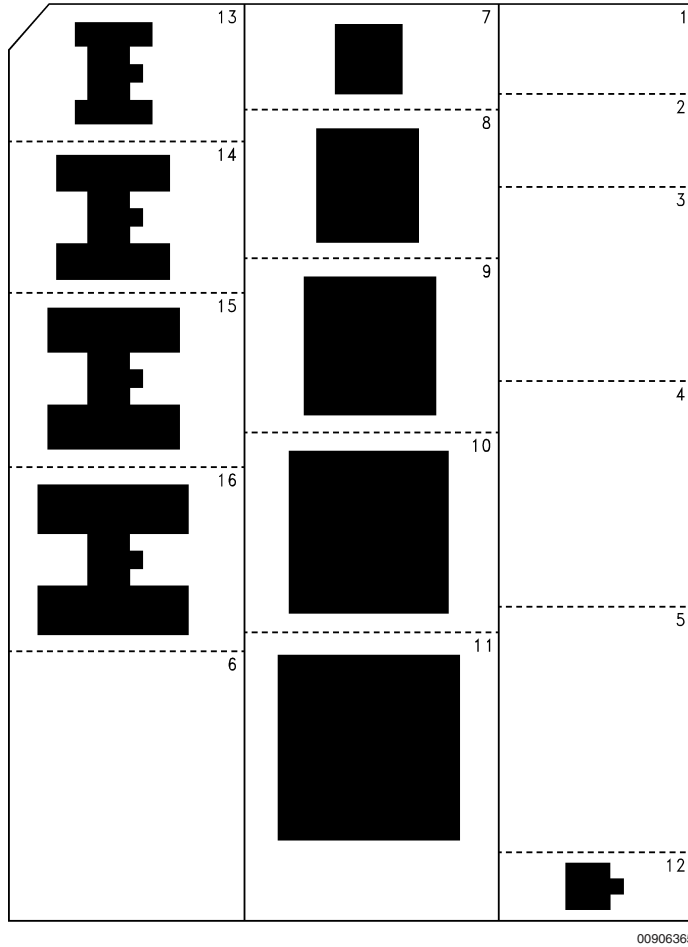


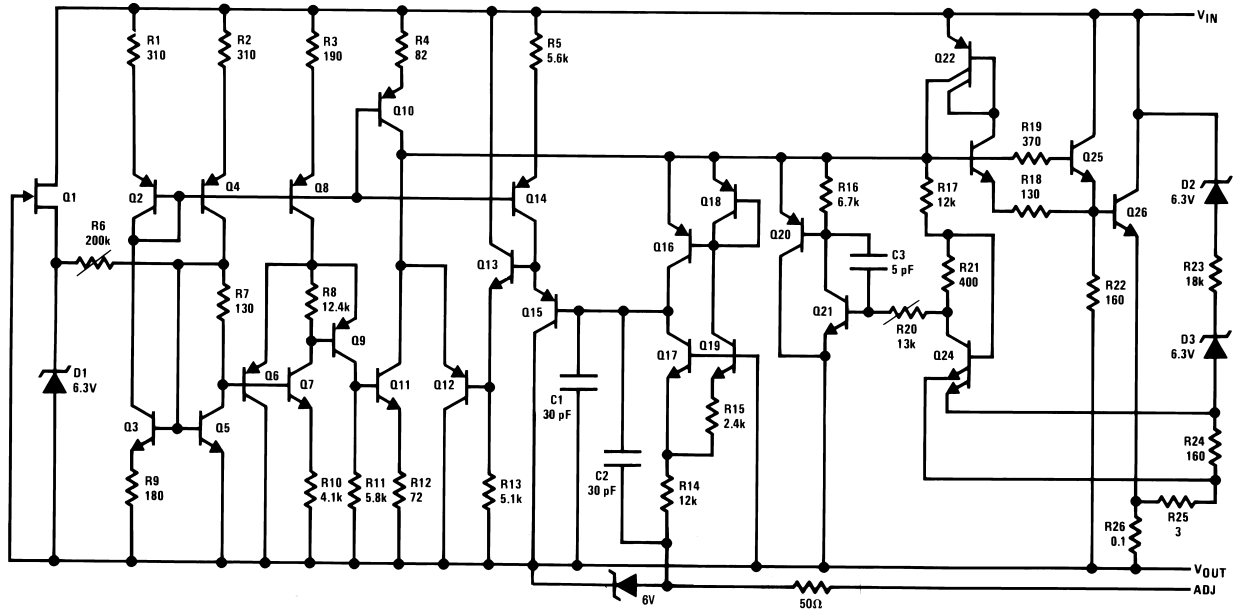
FIGURE 12. Top View of the Thermal Test Pattern in Actual Scale

**Application Hints** (Continued)



**FIGURE 13. Bottom View of the Thermal Test Pattern in Actual Scale**

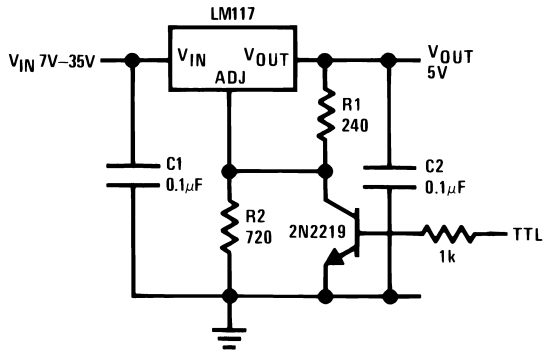
# Schematic Diagram



00906308

## Typical Applications

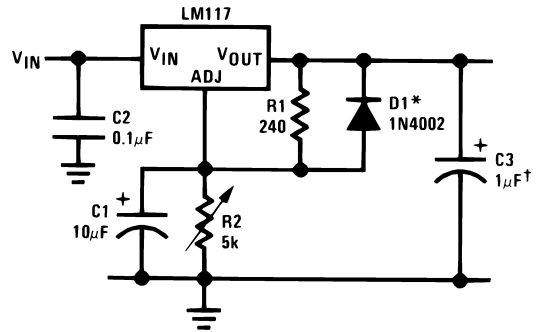
5V Logic Regulator with Electronic Shutdown\*



00906303

\*Min. output = 1.2V

Adjustable Regulator with Improved Ripple Rejection

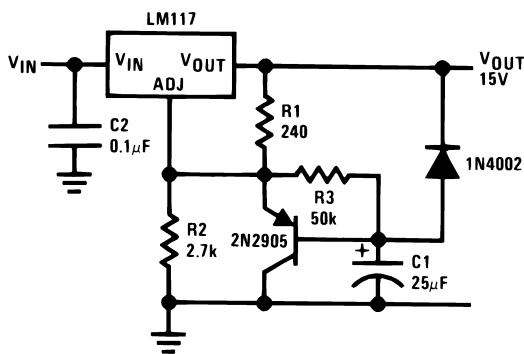


00906310

†Solid tantalum

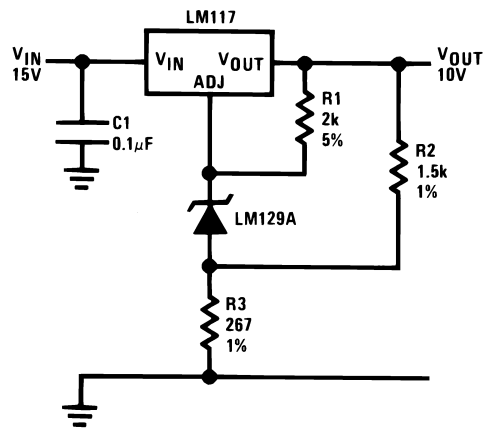
\*Discharges C1 if output is shorted to ground

Slow Turn-On 15V Regulator



00906309

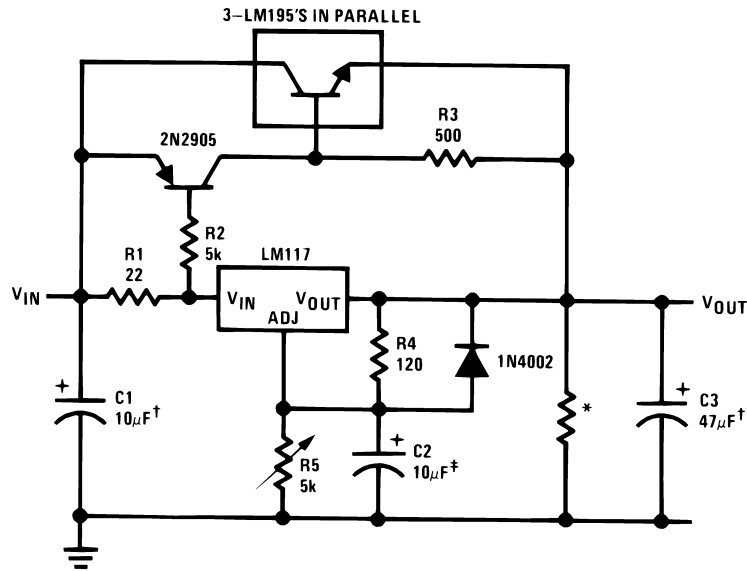
High Stability 10V Regulator



00906311

Typical Applications (Continued)

High Current Adjustable Regulator



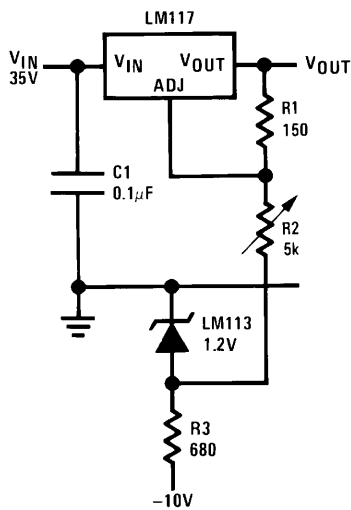
00906312

‡Optional — improves ripple rejection

†Solid tantalum

\*Minimum load current = 30 mA

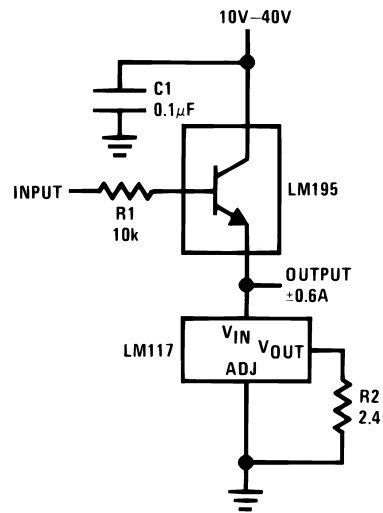
0 to 30V Regulator



00906313

Full output current not available at high input-output voltages

Power Follower

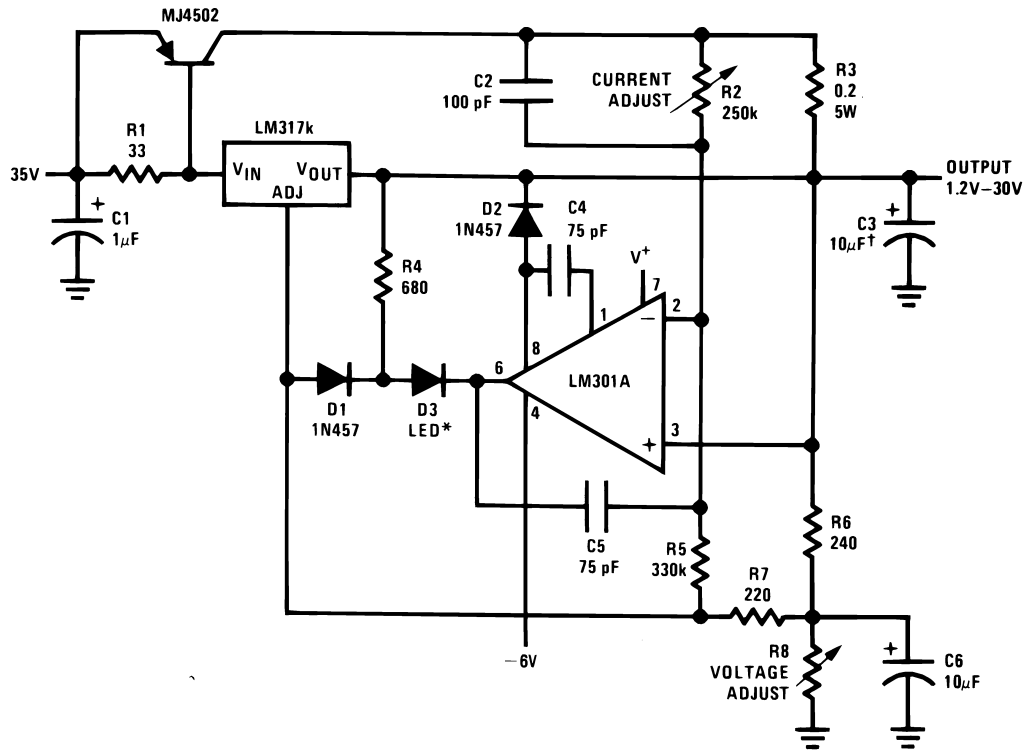


00906314



Typical Applications (Continued)

5A Constant Voltage/Constant Current Regulator

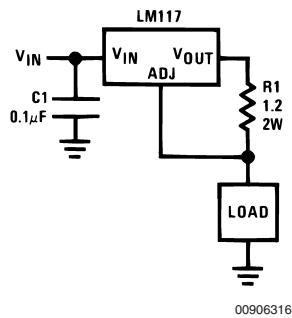


00906315

†Solid tantalum

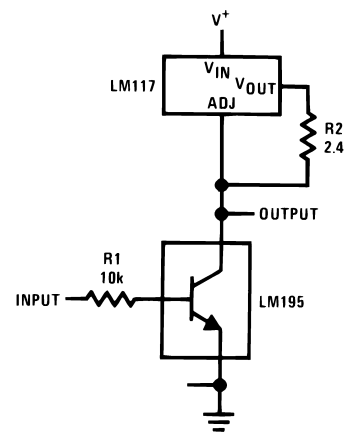
\*Lights in constant current mode

1A Current Regulator



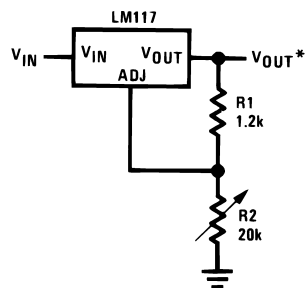
00906316

High Gain Amplifier



00906318

1.2V-20V Regulator with Minimum Program Current

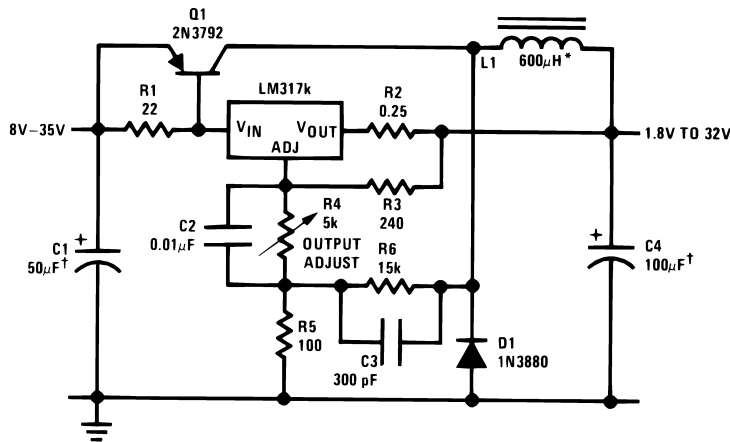


00906317

\*Minimum load current  $\approx$  4 mA

Typical Applications (Continued)

Low Cost 3A Switching Regulator

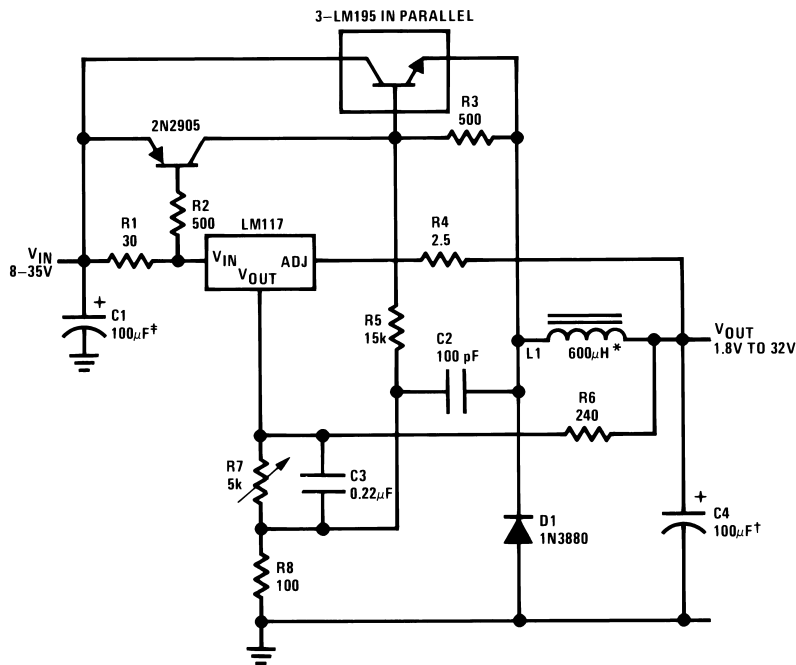


00906319

†Solid tantalum

\*Core—Arnold A-254168-2 60 turns

4A Switching Regulator with Overload Protection

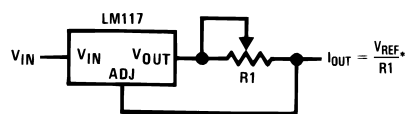


00906320

†Solid tantalum

\*Core—Arnold A-254168-2 60 turns

Precision Current Limiter

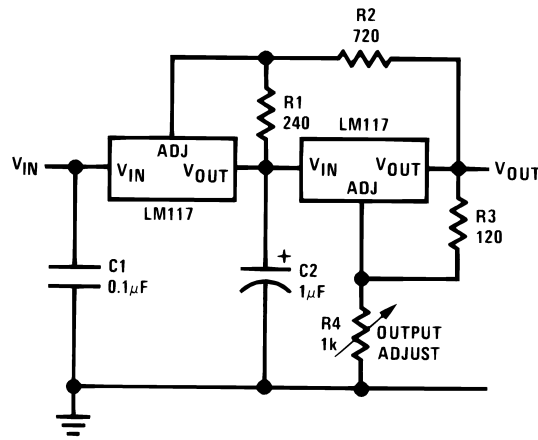


$$*0.8\Omega \leq R1 \leq 120\Omega$$

00906321

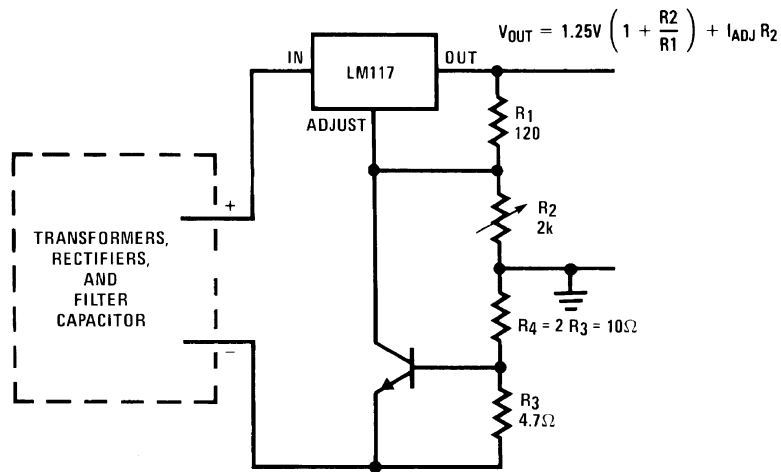
# Typical Applications (Continued)

## Tracking Preregulator



00906322

## Current Limited Voltage Regulator



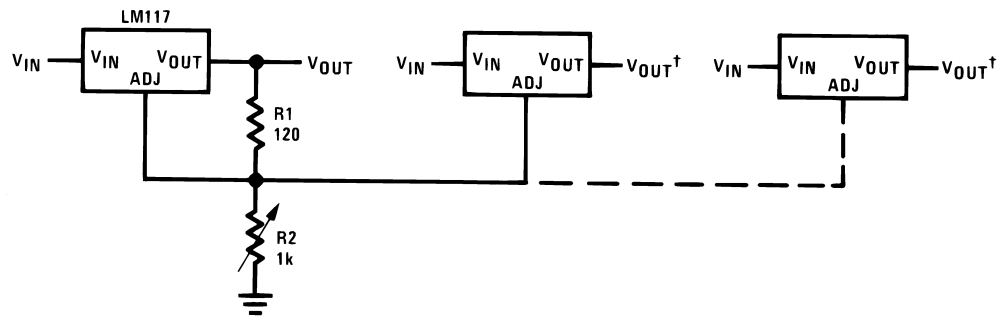
00906323

— Short circuit current is approximately  $\frac{600 \text{ mV}}{R_3}$ , or 120 mA

(Compared to LM117's higher current limit)

— At 50 mA output only 3/4 volt of drop occurs in  $R_3$  and  $R_4$

## Adjusting Multiple On-Card Regulators with Single Control\*



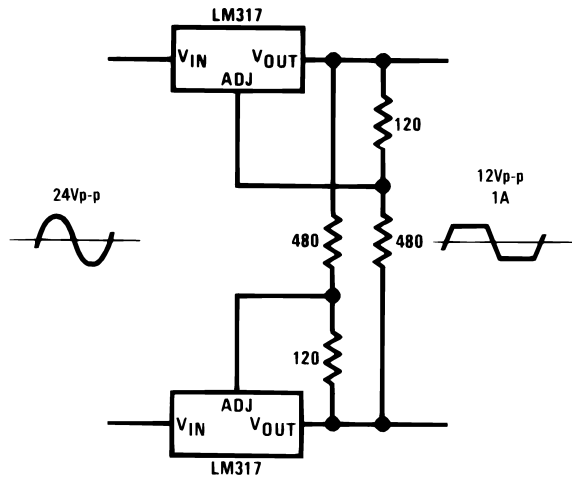
\*All outputs within  $\pm 100 \text{ mV}$

†Minimum load — 10 mA

00906324

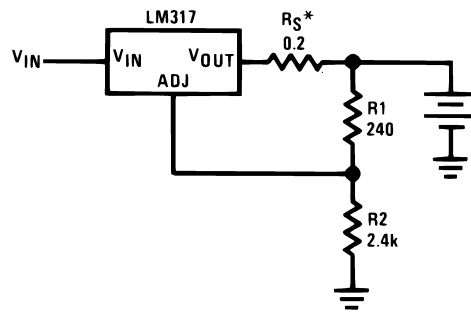
Typical Applications (Continued)

AC Voltage Regulator



00906325

12V Battery Charger

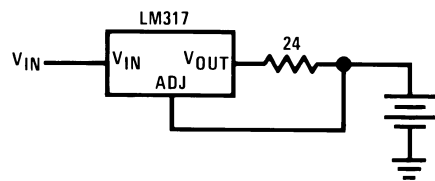


00906326

\* $R_S$ —sets output impedance of charger:  $Z_{OUT} = R_S \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$

Use of  $R_S$  allows low charging rates with fully charged battery.

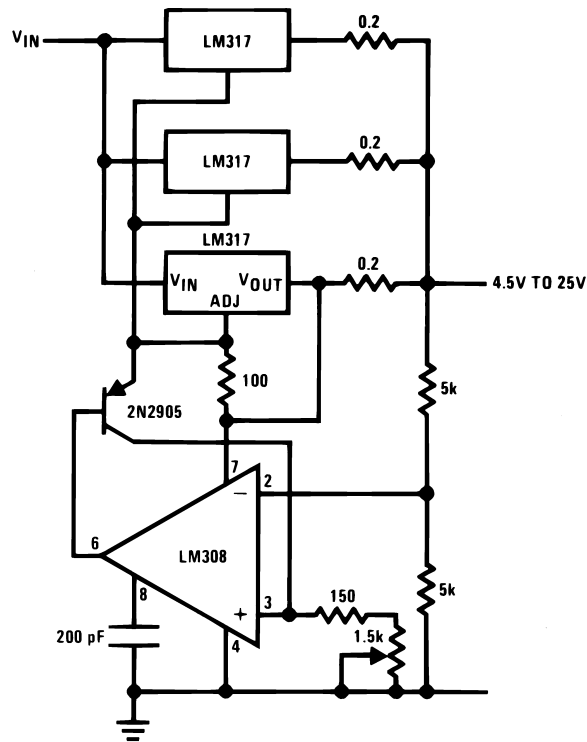
50mA Constant Current Battery Charger



00906327

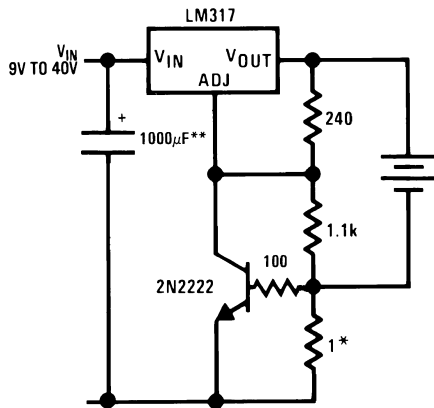
Typical Applications (Continued)

Adjustable 4A Regulator



00906328

Current Limited 6V Charger

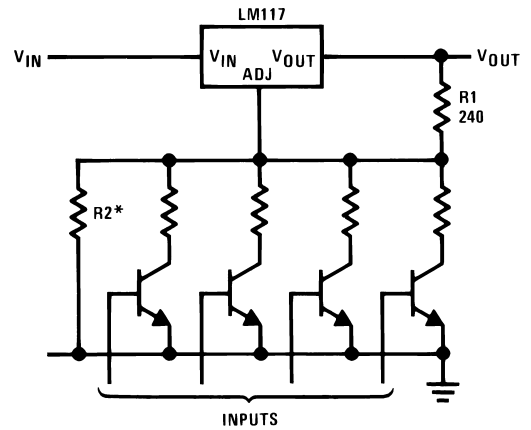


00906329

\*Sets peak current (0.6A for 1Ω)

\*\*The 1000µF is recommended to filter out input transients

Digitally Selected Outputs

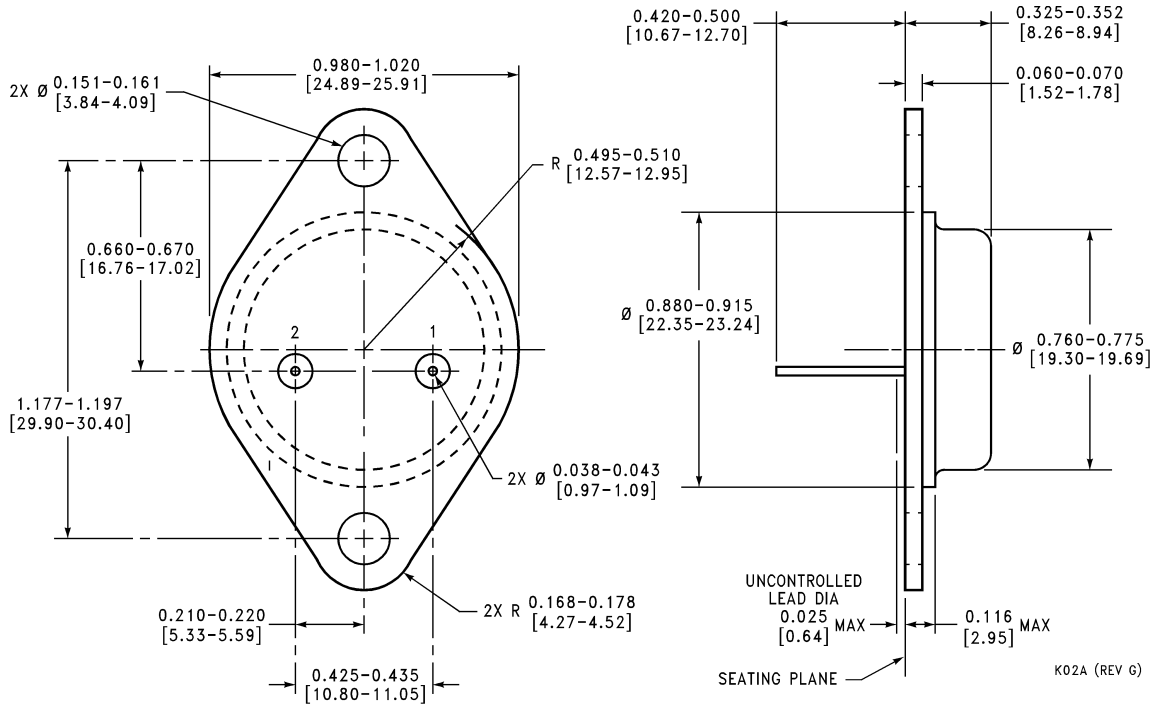


00906302

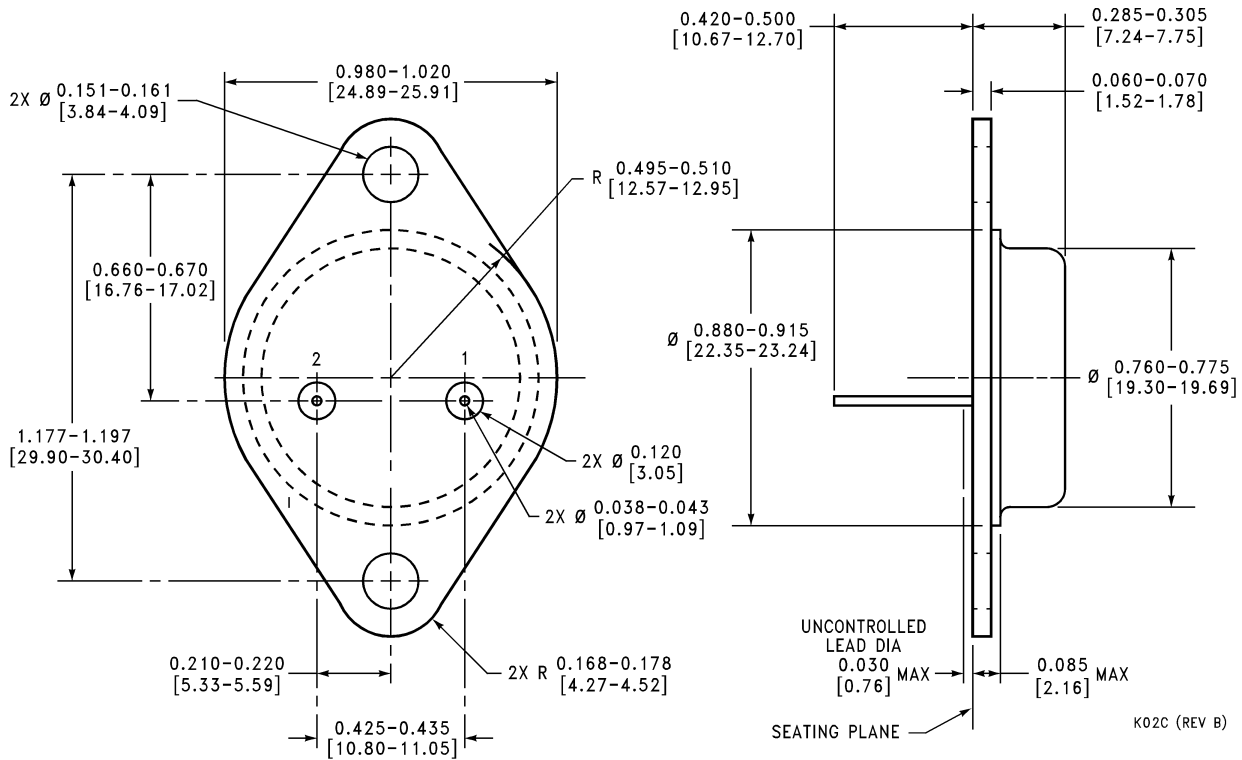
\*Sets maximum  $V_{OUT}$

**Physical Dimensions** inches (millimeters)

unless otherwise noted

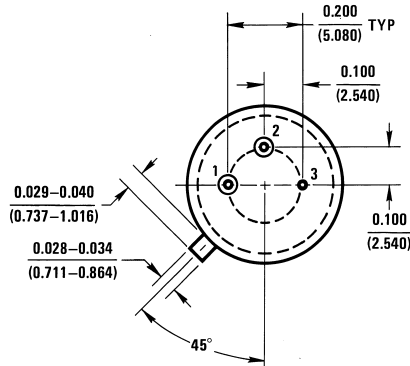
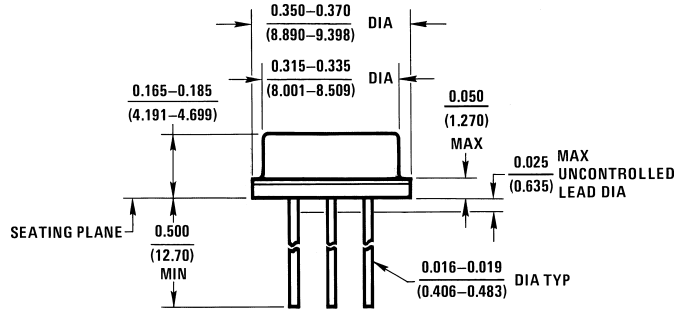


**TO-3 Metal Can Package (K)**  
**NS Package Number K02A**



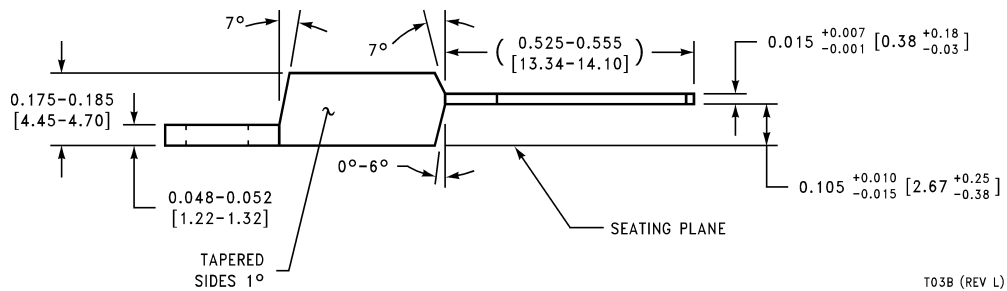
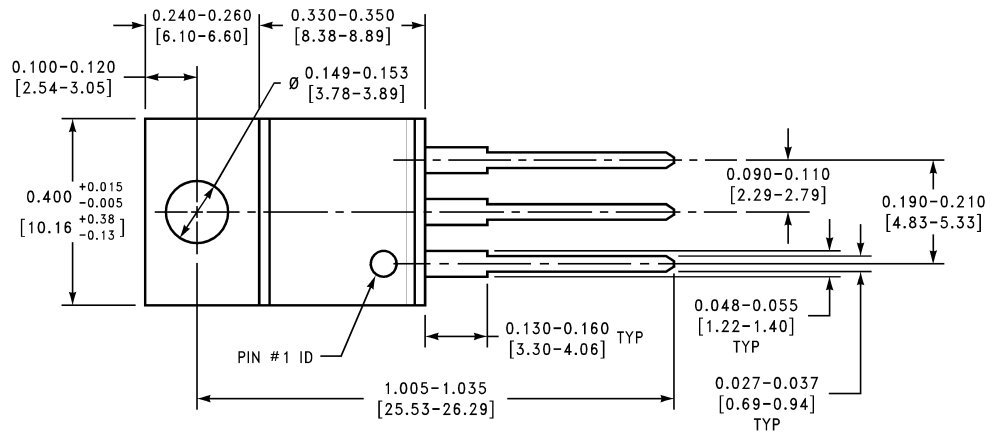
**TO-3 Metal Can Package (K)**  
**Mil-Aero Product**  
**NS Package Number K02C**

**Physical Dimensions** inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



H03A (REV B)

**(TO-39) Metal Can Package**  
**NS Package Number H03A**



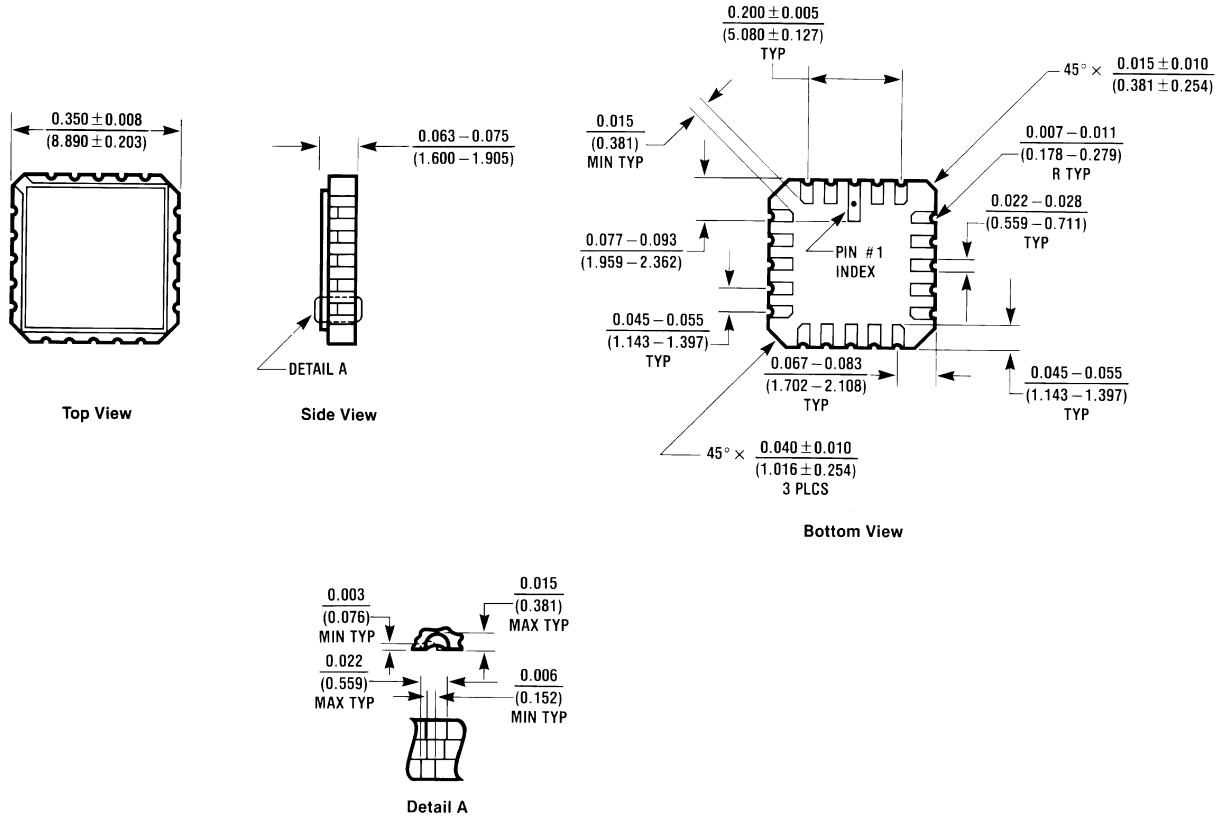
T03B (REV L)

**3-Lead TO-220**  
**NS Package Number T03B**



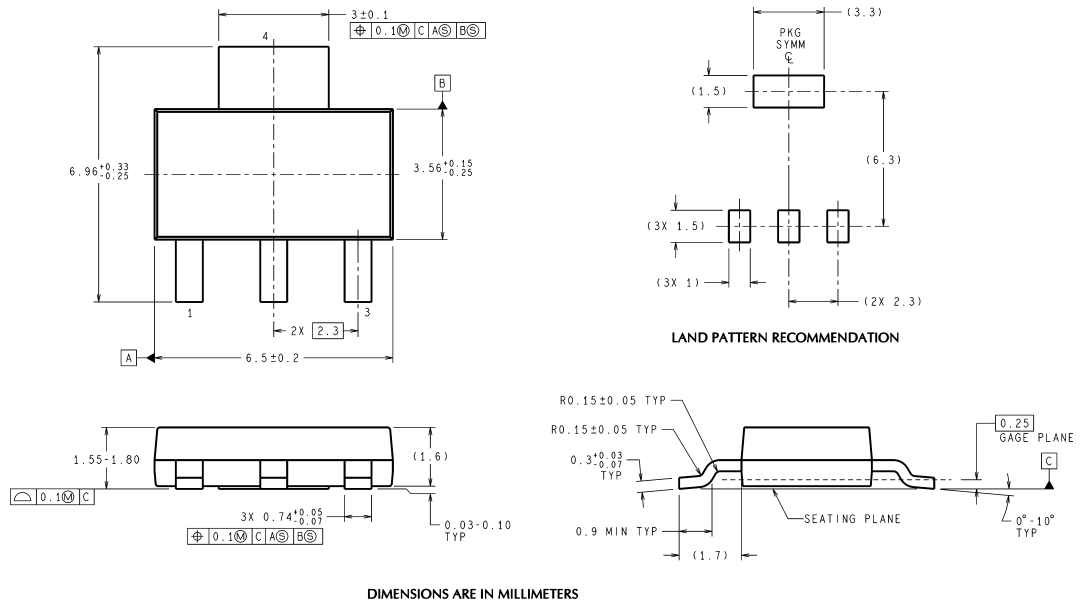


**Physical Dimensions** inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



E20A (REV D)

**Ceramic Leadless Chip Carrier  
 NS Package Number E20A**

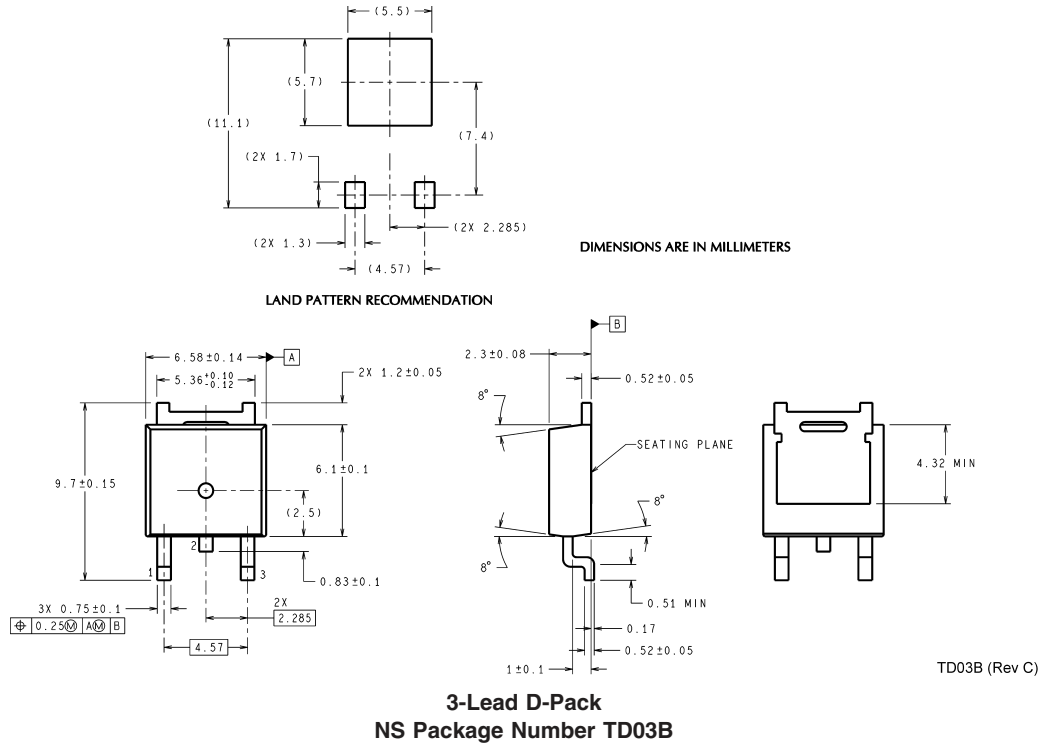


DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS

MP04A (Rev B)

**4-Lead SOT-223  
 NS Package Number MP04A**

**Physical Dimensions** inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



**LIFE SUPPORT POLICY**

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

**BANNED SUBSTANCE COMPLIANCE**

National Semiconductor certifies that the products and packing materials meet the provisions of the Customer Products Stewardship Specification (CSP-9-111C2) and the Banned Substances and Materials of Interest Specification (CSP-9-111S2) and contain no "Banned Substances" as defined in CSP-9-111S2.



**National Semiconductor**  
Americas Customer  
Support Center  
Email: new.feedback@nsc.com  
Tel: 1-800-272-9959

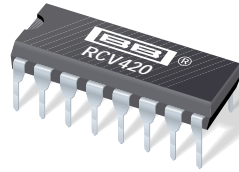
**National Semiconductor**  
Europe Customer Support Center  
Fax: +49 (0) 180-530 85 86  
Email: europe.support@nsc.com  
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208  
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171  
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

**National Semiconductor**  
Asia Pacific Customer  
Support Center  
Email: ap.support@nsc.com

**National Semiconductor**  
Japan Customer Support Center  
Fax: 81-3-5639-7507  
Email: jpn.feedback@nsc.com  
Tel: 81-3-5639-7560

www.national.com

Vedlegg 0      Current loop receiver



RCV420

# Precision 4mA to 20mA CURRENT LOOP RECEIVER

## FEATURES

- COMPLETE 4-20mA TO 0-5V CONVERSION
- INTERNAL SENSE RESISTORS
- PRECISION 10V REFERENCE
- BUILT-IN LEVEL-SHIFTING
- ±40V COMMON-MODE INPUT RANGE
- 0.1% OVERALL CONVERSION ACCURACY
- HIGH NOISE IMMUNITY: 86dB CMR

## APPLICATIONS

- PROCESS CONTROL
- INDUSTRIAL CONTROL
- FACTORY AUTOMATION
- DATA ACQUISITION
- SCADA
- RTUs
- ESD
- MACHINE MONITORING

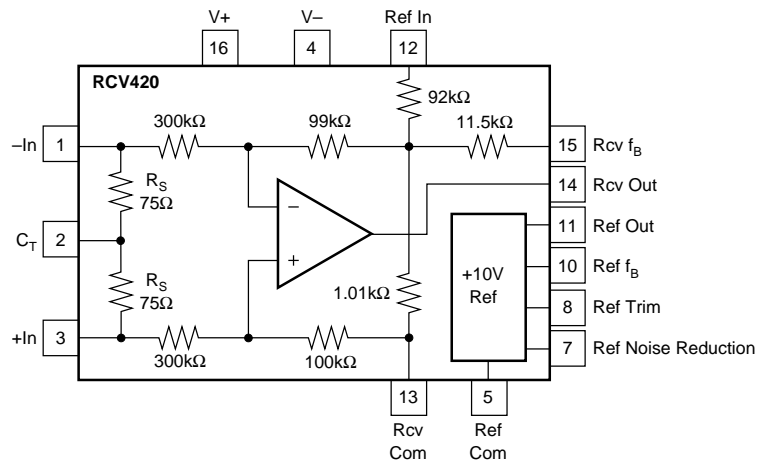
## DESCRIPTION

The RCV420 is a precision current-loop receiver designed to convert a 4–20mA input signal into a 0–5V output signal. As a monolithic circuit, it offers high reliability at low cost. The circuit consists of a premium grade operational amplifier, an on-chip precision resistor network, and a precision 10V reference. The RCV420 features 0.1% overall conversion accuracy, 86dB CMR, and ±40V common-mode input range.

The circuit introduces only a 1.5V drop at full scale, which is useful in loops containing extra instrument burdens or in intrinsically safe applications where

transmitter compliance voltage is at a premium. The 10V reference provides a precise 10V output with a typical drift of 5ppm/°C.

The RCV420 is completely self-contained and offers a highly versatile function. No adjustments are needed for gain, offset, or CMR. This provides three important advantages over discrete, board-level designs: 1) lower initial design cost, 2) lower manufacturing cost, and 3) easy, cost-effective field repair of a precision circuit.



International Airport Industrial Park • Mailing Address: PO Box 11400, Tucson, AZ 85734 • Street Address: 6730 S. Tucson Blvd., Tucson, AZ 85706 • Tel: (520) 746-1111 • Twx: 910-952-1111  
 Internet: <http://www.burr-brown.com/> • FAXLine: (800) 548-6133 (US/Canada Only) • Cable: BBRCORP • Telex: 066-6491 • FAX: (520) 889-1510 • Immediate Product Info: (800) 548-6132

# SPECIFICATIONS

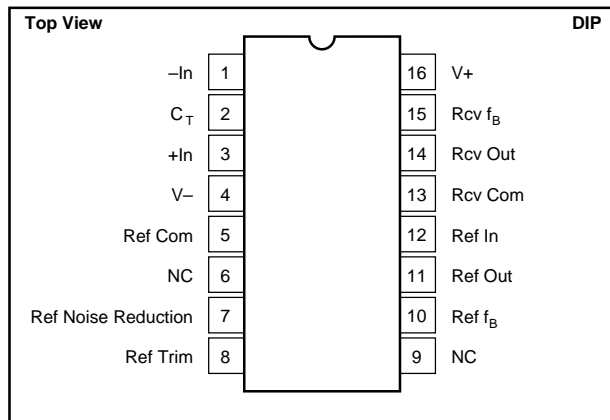
## ELECTRICAL

At T = +25°C and V<sub>S</sub> = ±15V, unless otherwise noted.

CHARACTERISTICS	RCV420KP, JP			UNITS
	MIN	TYP	MAX	
<b>GAIN</b>				
Initial		0.3125		V/mA
Error		0.05	0.15	% of span
Error—JP Grade			0.25	% of span
vs Temp		15		ppm/°C
Nonlinearity <sup>(1)</sup>		0.0002	0.002	% of span
<b>OUTPUT</b>				
Rated Voltage (I <sub>O</sub> = +10mA, -5mA)	10	12		V
Rated Current (E <sub>O</sub> = 10V)	+10, -5			mA
Impedance (Differential)		0.01		Ω
Current Limit (To Common)		+49, -13		mA
Capacitive Load (Stable Operation)		1000		pF
<b>INPUT</b>				
Sense Resistance	74.25	75	75.75	Ω
Input Impedance (Common-Mode)		200		kΩ
Common-Mode Voltage			±40	V
CMR <sup>(2)</sup>	70	80		dB
vs Temp (DC) (T <sub>A</sub> = T <sub>MIN</sub> to T <sub>MAX</sub> )		76		dB
AC 60Hz		80		dB
<b>OFFSET VOLTAGE (RTO)<sup>(3)</sup></b>				
Initial			1	mV
vs Temp		10		μV/°C
vs Supply (±11.4V to ±18V)	74	90		dB
vs Time		200		μV/mo
<b>ZERO ERROR<sup>(4)</sup></b>				
Initial		0.025	0.075	% of span
Initial—JP Grade			0.15	% of span
vs Temp		10		ppm of span/°C
<b>OUTPUT NOISE VOLTAGE</b>				
f <sub>B</sub> = 0.1Hz to 10Hz		50		μVp-p
f <sub>O</sub> = 10kHz		800		nV/√Hz
<b>DYNAMIC RESPONSE</b>				
Gain Bandwidth		150		kHz
Full Power Bandwidth		30		kHz
Slew Rate		1.5		V/μs
Settling Time (0.01%)		10		μs
<b>VOLTAGE REFERENCE</b>				
Initial	9.99		10.01	V
Trim Range <sup>(5)</sup>		±4		%
vs Temp		5		ppm/°C
vs Supply (±11.4V to ±18V)		0.0002		%/V
vs Output Current (I <sub>O</sub> = 0 to +10mA)		0.0002		%/mA
vs Time		15		ppm/kHz
Noise (0.1Hz to 10Hz)		5		μVp-p
Output Current	+10, -2			mA
<b>POWER SUPPLY</b>				
Rated		±15		V
Voltage Range <sup>(6)</sup>	-5, +11.4		±18	V
Quiescent Current (V <sub>O</sub> = 0V)		3	4	mA
<b>TEMPERATURE RANGE</b>				
Specification	0		+70	°C
Operation	-25		+85	°C
Storage	-40		+85	°C
Thermal Resistance, θ <sub>JA</sub>		80		°C/W

NOTES: (1) Nonlinearity is the max peak deviation from best fit straight line. (2) With 0 source impedance on Rcv Com pin. (3) Referred to output with all inputs grounded including Ref In. (4) With 4mA input signal and Voltage Reference connected (includes V<sub>OS</sub>, Gain Error, and Voltage Reference Errors). (5) External trim slightly affects drift. (6) I<sub>O</sub> Ref = 5mA, I<sub>O</sub> Rcv = 2mA.

## PIN CONFIGURATION



## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS<sup>(1)</sup>

Supply	±22V
Input Current, Continuous	40mA
Input Current Momentary, 0.1s	250mA, 1% Duty Cycle
Common-Mode Input Voltage, Continuous	±40V
Lead Temperature (soldering, 10s)	+300°C
Output Short Circuit to Common (Rcv and Ref)	Continuous

NOTE: (1) Stresses above these ratings may cause permanent damage.

## PACKAGE INFORMATION

PRODUCT	PACKAGE	PACKAGE DRAWING NUMBER <sup>(1)</sup>
RCV420KP	16-Pin Plastic DIP	180
RCV420JP	16-Pin Plastic DIP	180

NOTE: (1) For detailed drawing and dimension table, please see end of data sheet, or Appendix C of Burr-Brown IC Data Book.

## ORDERING INFORMATION

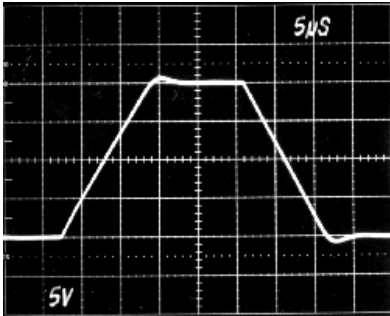
PRODUCT	PERFORMANCE GRADE	PACKAGE
RCV420KP	0°C to +70°C	16-Pin Plastic DIP
RCV420JP	0°C to +70°C	16-Pin Plastic DIP

The information provided herein is believed to be reliable; however, BURR-BROWN assumes no responsibility for inaccuracies or omissions. BURR-BROWN assumes no responsibility for the use of this information, and all use of such information shall be entirely at the user's own risk. Prices and specifications are subject to change without notice. No patent rights or licenses to any of the circuits described herein are implied or granted to any third party. BURR-BROWN does not authorize or warrant any BURR-BROWN product for use in life support devices and/or systems.

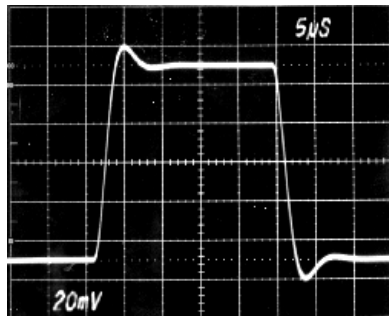
# TYPICAL PERFORMANCE CURVES

At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{V}$ , unless otherwise noted.

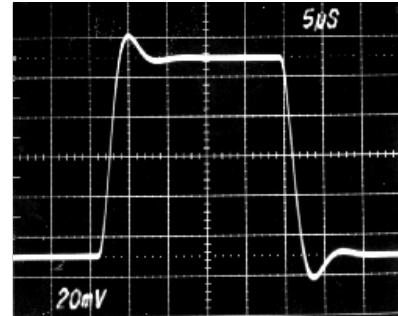
STEP RESPONSE  
NO LOAD



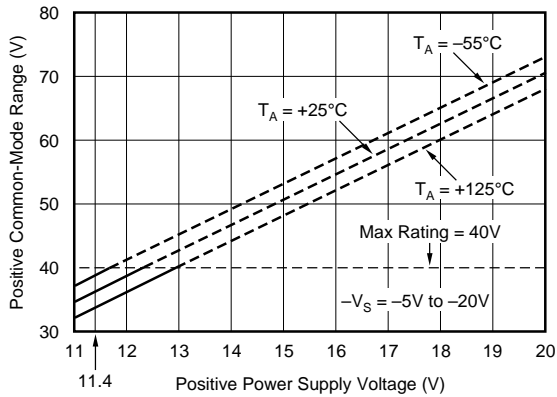
SMALL SIGNAL RESPONSE  
NO LOAD



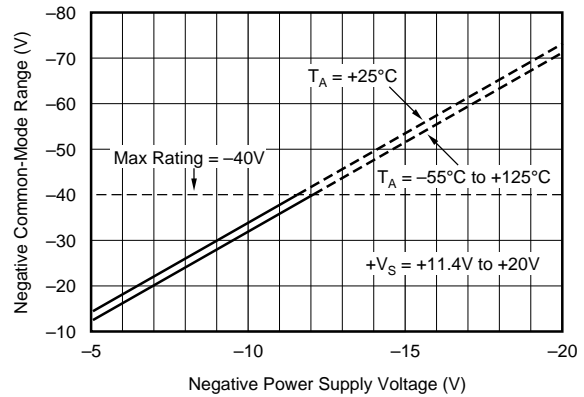
SMALL SIGNAL RESPONSE  
 $R_L = \infty$ ,  $C_L = 1000\text{pF}$



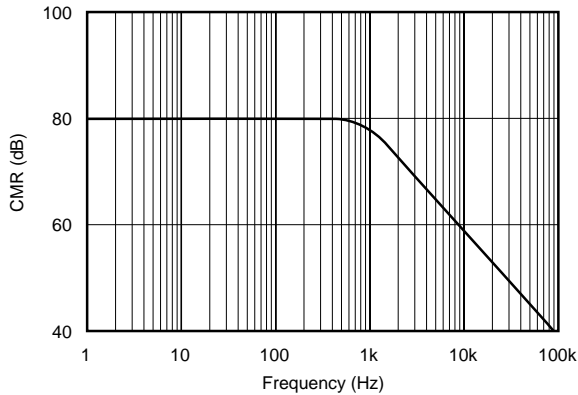
POSITIVE COMMON-MODE VOLTAGE RANGE  
vs POSITIVE POWER SUPPLY VOLTAGE



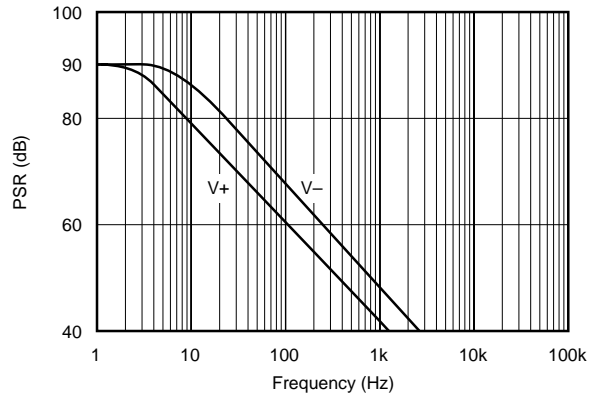
NEGATIVE COMMON-MODE VOLTAGE RANGE  
vs NEGATIVE POWER SUPPLY VOLTAGE



COMMON-MODE REJECTION  
vs FREQUENCY



POWER-SUPPLY REJECTION  
vs FREQUENCY



## THEORY OF OPERATION

Refer to the figure on the first page. For 0 to 5V output with 4–20mA input, the required transimpedance of the circuit is:

$$V_{OUT}/I_{IN} = 5V/16mA = 0.3125V/mA.$$

To achieve the desired output (0V for 4mA and 5V for 20mA), the output of the amplifier must be offset by an amount:

$$V_{OS} = -(4mA)(0.3125V/mA) = -1.25V.$$

The input current signal is connected to either +In or –In, depending on the polarity of the signal, and returned to ground through the center tap,  $C_T$ . The balanced input—two matched  $75\Omega$  sense resistors,  $R_S$ —provides maximum rejection of common-mode voltage signals on  $C_T$  and true differential current-to-voltage conversion. The sense resistors convert the input current signal into a proportional voltage, which is amplified by the differential amplifier. The voltage gain of the amplifier is:

$$A_D = 5V/(16mA)(75\Omega) = 4.1667V/V.$$

The tee network in the feedback path of the amplifier provides a summing junction used to generate the required –1.25V offset voltage. The input resistor network provides high-input impedance and attenuates common-mode input voltages to levels suitable for the operational amplifier’s common-mode signal capabilities.

## BASIC POWER SUPPLY AND SIGNAL CONNECTIONS

Figure 1 shows the proper connections for power supply and signal. Both supplies should be decoupled with  $1\mu F$  tantalum capacitors as close to the amplifier as possible. To avoid gain and CMR errors introduced by the external circuit, connect grounds as indicated, being sure to minimize ground resistance. The input signal should be connected to either +In or –In, depending on its polarity, and returned through the center tap,  $C_T$ . The output of the voltage reference, Ref Out, should be connected to Ref In for the

necessary level shifting. If the Ref In pin is not used for level shifting, then it must be grounded to maintain high CMR.

## GAIN AND OFFSET ADJUSTMENT

Figure 2 shows the circuit for adjusting the RCV420 gain. Increasing the gain of the RCV420 is accomplished by inserting a small resistor in the feedback path of the amplifier. Increasing the gain using this technique results in CMR degradation, and therefore, gain adjustments should be kept as small as possible. For example, a 1% increase in gain is typically realized with a  $125\Omega$  resistor, which degrades CMR by about 6dB.

A decrease in gain can be achieved by placing matched resistors in parallel with the sense resistors, also shown in Figure 2. The adjusted gain is given by the following expression

$$V_{OUT}/I_{IN} = 0.3125 \times R_X/(R_X + R_S).$$

A 1% decrease in gain can be achieved with a  $7.5k\Omega$  resistor. It is important to match the parallel resistance on each sense resistor to maintain high CMR. The TCR mismatch between the two external resistors will effect gain error drift and CMR drift.

There are two methods for nulling the RCV420 output offset voltage. The first method applies to applications using the internal 10V reference for level shifting. For these applica-

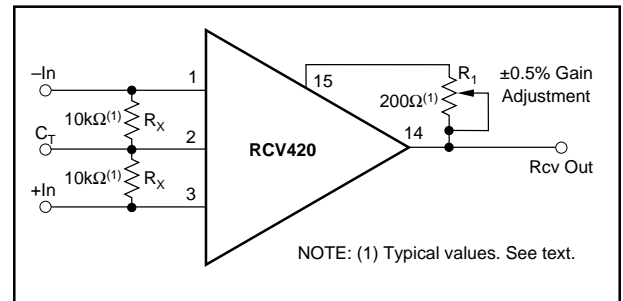


FIGURE 2. Optional Gain Adjustment.

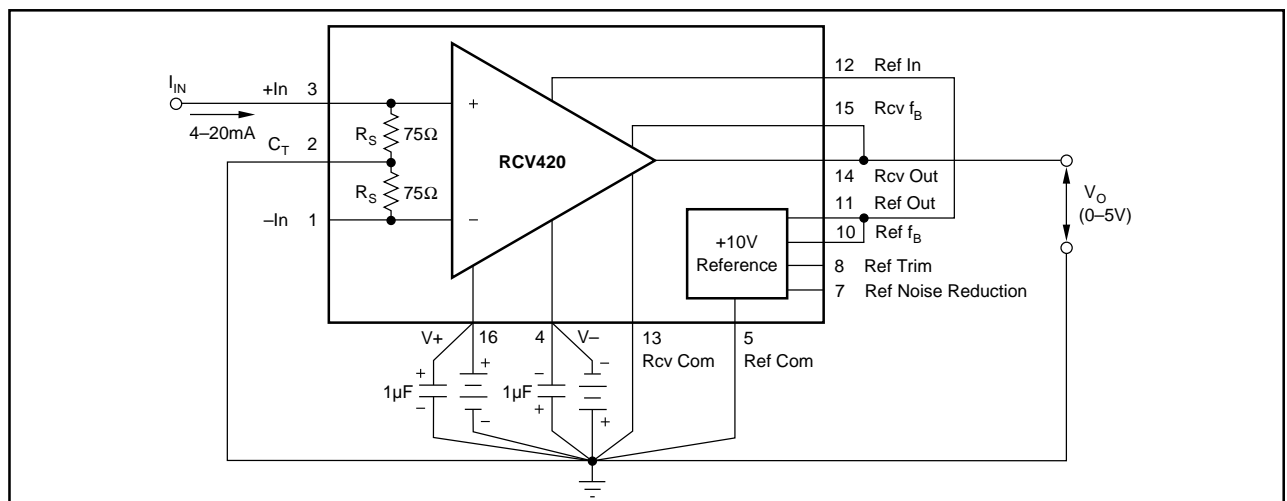


FIGURE 1. Basic Power Supply and Signal Connections.



tions, the voltage reference output trim procedure can be used to null offset errors at the output of the RCV420. The voltage reference trim circuit is discussed under “Voltage Reference.”

When the voltage reference is not used for level shifting or when large offset adjustments are required, the circuit in Figure 3 can be used for offset adjustment. A low impedance on the Rcv Com pin is required to maintain high CMR.

### ZERO ADJUSTMENT

Level shifting the RCV420 output voltage can be achieved using either the Ref In pin or the Rcv Com pin. The disadvantage of using the Ref In pin is that there is an 8:1 voltage attenuation from this pin to the output of the RCV420. Thus, use the Rcv Com pin for large offsets, because the voltage on this pin is seen directly at the output. Figure 4 shows the circuit used to level-shift the output of the RCV420

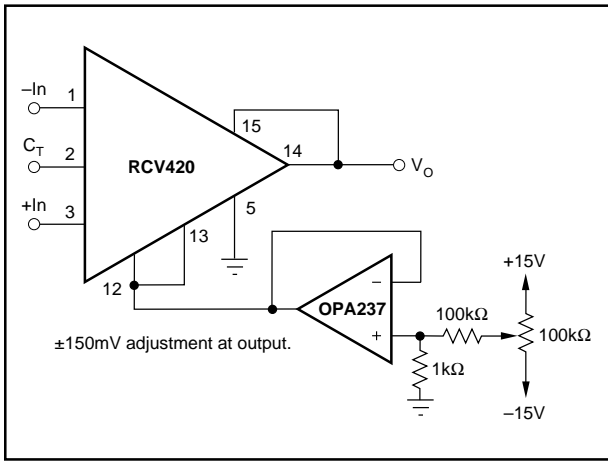


FIGURE 3. Optional Output Offset Nulling Using External Amplifier.

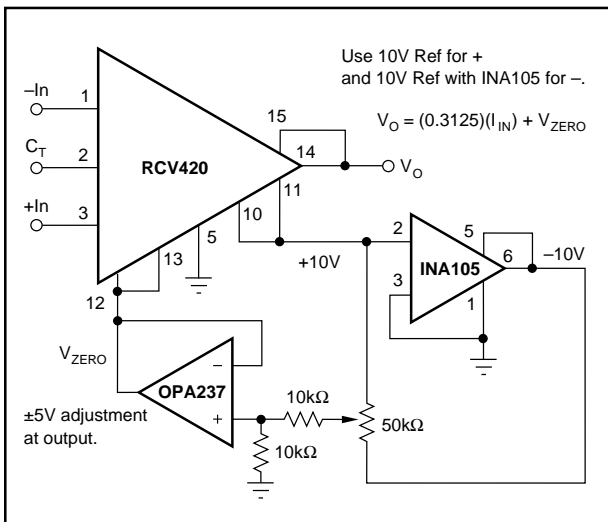


FIGURE 4. Optional Zero Adjust Circuit.

using the Rcv Com pin. It is important to use a low-output impedance amplifier to maintain high CMR. With this method of zero adjustment, the Ref In pin must be connected to the Rcv Com pin.

### MAINTAINING COMMON-MODE REJECTION

Two factors are important in maintaining high CMR: (1) resistor matching and tracking (the internal resistor network does this) and (2) source impedance. CMR depends on the accurate matching of several resistor ratios. The high accuracies needed to maintain the specified CMR and CMR temperature coefficient are difficult and expensive to reliably achieve with discrete components. Any resistance imbalance introduced by external circuitry directly affects CMR. These imbalances can occur by: mismatching sense resistors when gain is decreased, adding resistance in the feedback path when gain is increased, and adding series resistance on the Rcv Com pin.

The two sense resistors are laser-trimmed to typically match within 0.01%; therefore, when adding parallel resistance to decrease gain, take care to match the parallel resistance on each sense resistor. To maintain high CMR when increasing the gain of the RCV420, keep the series resistance added to the feedback network as small as possible. Whether the Rcv Com pin is grounded or connected to a voltage reference for level shifting, keep the series resistance on this pin as low as possible. For example, a resistance of 20Ω on this pin degrades CMR from 86dB to approximately 80dB. For applications requiring better than 86dB CMR, the circuit shown in Figure 5 can be used to adjust CMR.

### PROTECTING THE SENSE RESISTOR

The 75Ω sense resistors are designed for a maximum continuous current of 40mA, but can withstand as much as 250mA for up to 0.1s (see absolute maximum ratings). There are several ways to protect the sense resistor from

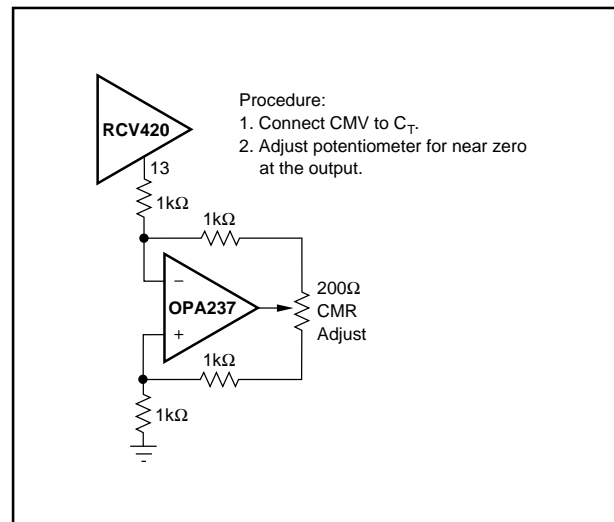


FIGURE 5. Optional Circuit for Externally Trimming CMR.

overcurrent conditions exceeding these specifications. Refer to Figure 6. The simplest and least expensive method is a resistor as shown in Figure 6a. The value of the resistor is determined from the expression

$$R_X = V_{CC}/40\text{mA} - 75\Omega$$

and the full scale voltage drop is

$$V_{RX} = 20\text{mA} \times R_X.$$

For a system operating off of a 32V supply  $R_X = 725\Omega$  and  $V_{RX} = 14.5\text{V}$ . In applications that cannot tolerate such a large voltage drop, use circuits 6b or 6c. In circuit 6b a power JFET and source resistor are used as a current limit. The  $200\Omega$  potentiometer,  $R_X$ , is adjusted to provide a current limit of approximately 30mA. This circuit introduces a 1–4V drop at full scale. If only a very small series voltage drop at full scale can be tolerated, then a 0.032A series 217 fast-acting fuse should be used, as shown in Figure 6c.

For automatic fold-back protection, use the circuit shown in Figure 15.

### VOLTAGE REFERENCE

The RCV420 contains a precision 10V reference. Figure 8 shows the circuit for output voltage adjustment. Trimming the output will change the voltage drift by approximately  $0.007\text{ppm}/^\circ\text{C}$  per mV of trimmed voltage. Any mismatch in TCR between the two sides of the potentiometer will also affect drift, but the effect is divided by approximately 5. The trim range of the voltage reference using this method is typically  $\pm 400\text{mV}$ . The voltage reference trim can be used to trim offset errors at the output of the RCV420. There is an 8:1 voltage attenuation from Ref In to Rcv Out, and thus the trim range at the output of the receiver is typically  $\pm 50\text{mV}$ .

The high-frequency noise (to 1MHz) of the voltage reference is typically  $1\text{mVp-p}$ . When the voltage reference is used for level shifting, its noise contribution at the output of the receiver is typically  $125\mu\text{Vp-p}$  due to the 8:1 attenuation from Ref In to Rcv Out. The reference noise can be reduced by connecting an external capacitor between the Noise Reduction pin and ground. For example,  $0.1\mu\text{F}$  capacitor reduces the high-frequency noise to about  $200\mu\text{Vp-p}$  at the output of the reference and about  $25\mu\text{Vp-p}$  at the output of the receiver.

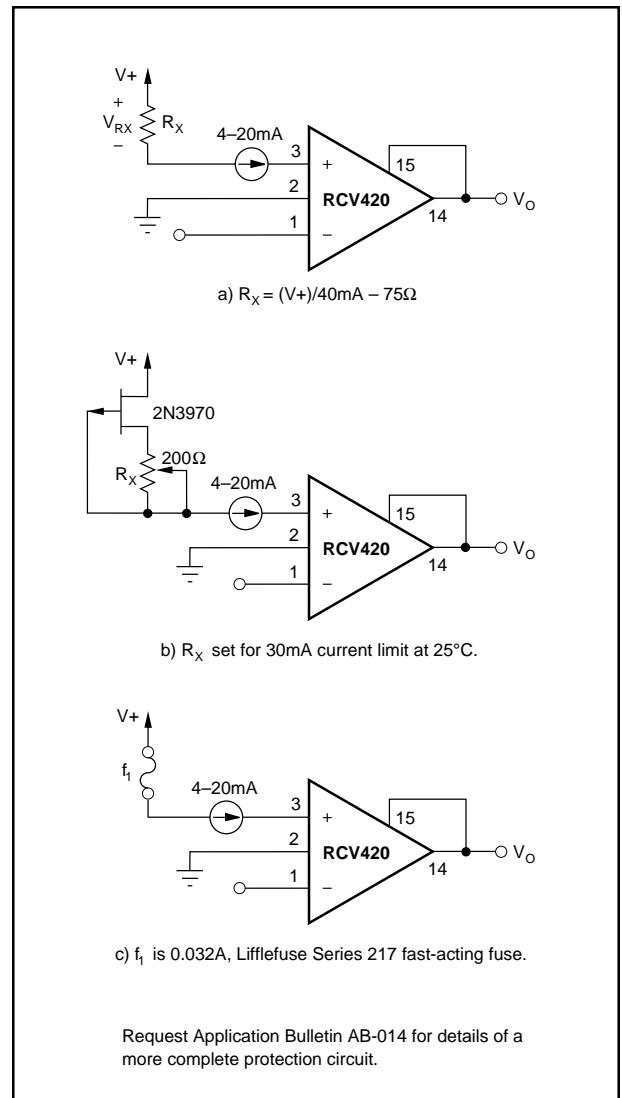


FIGURE 6. Protecting the Sense Resistors.

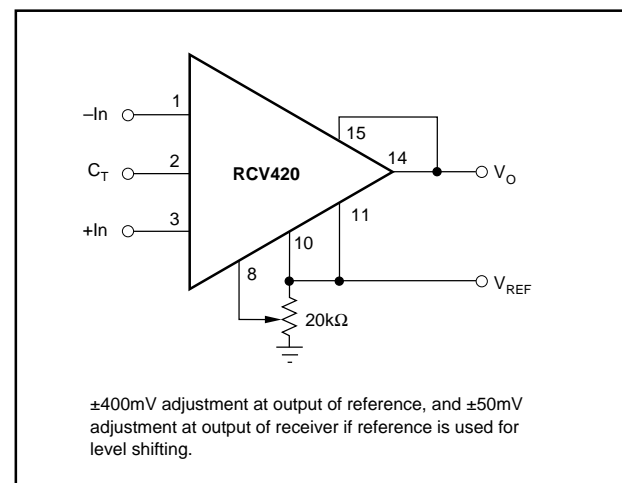


FIGURE 7. Optional Voltage Reference External Trim Circuit.

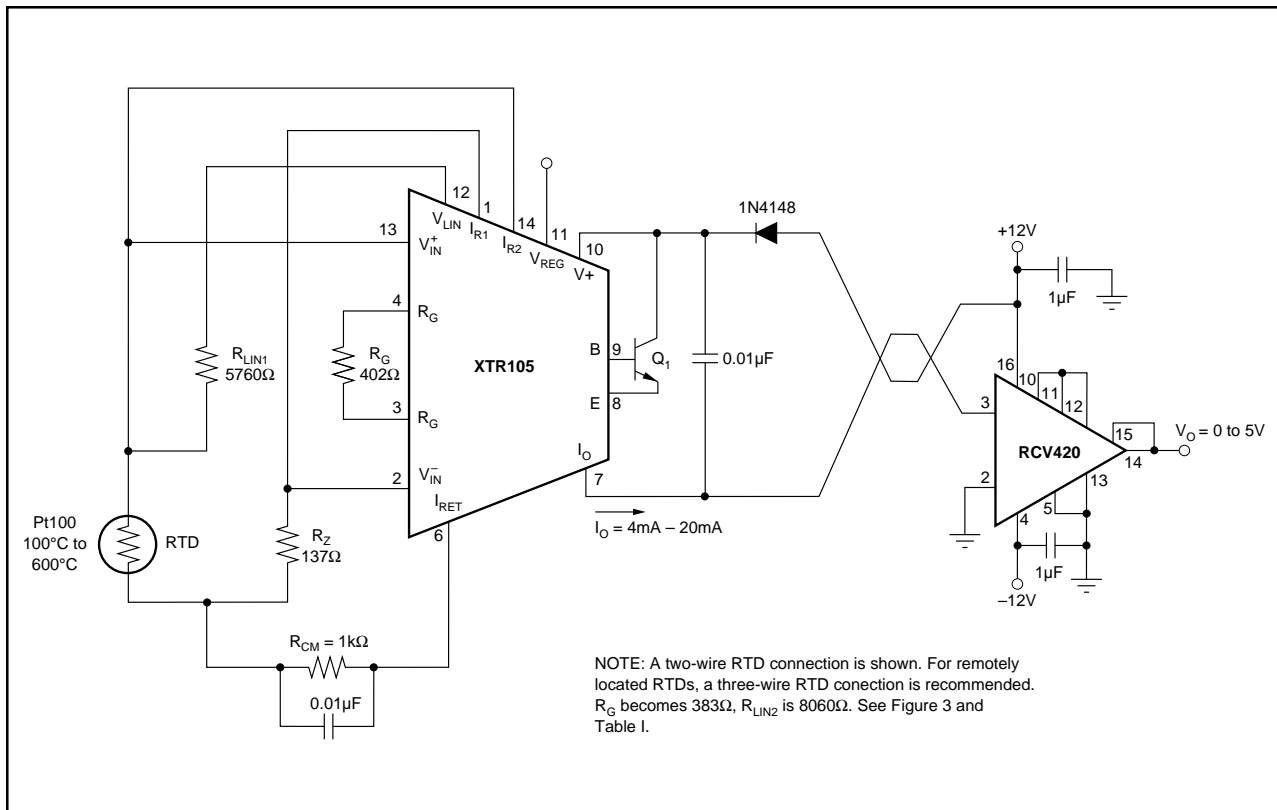


FIGURE 8. RCV420 Used in Conjunction with XTR101 to Form a Complete Solution for 4-20mA Loop.

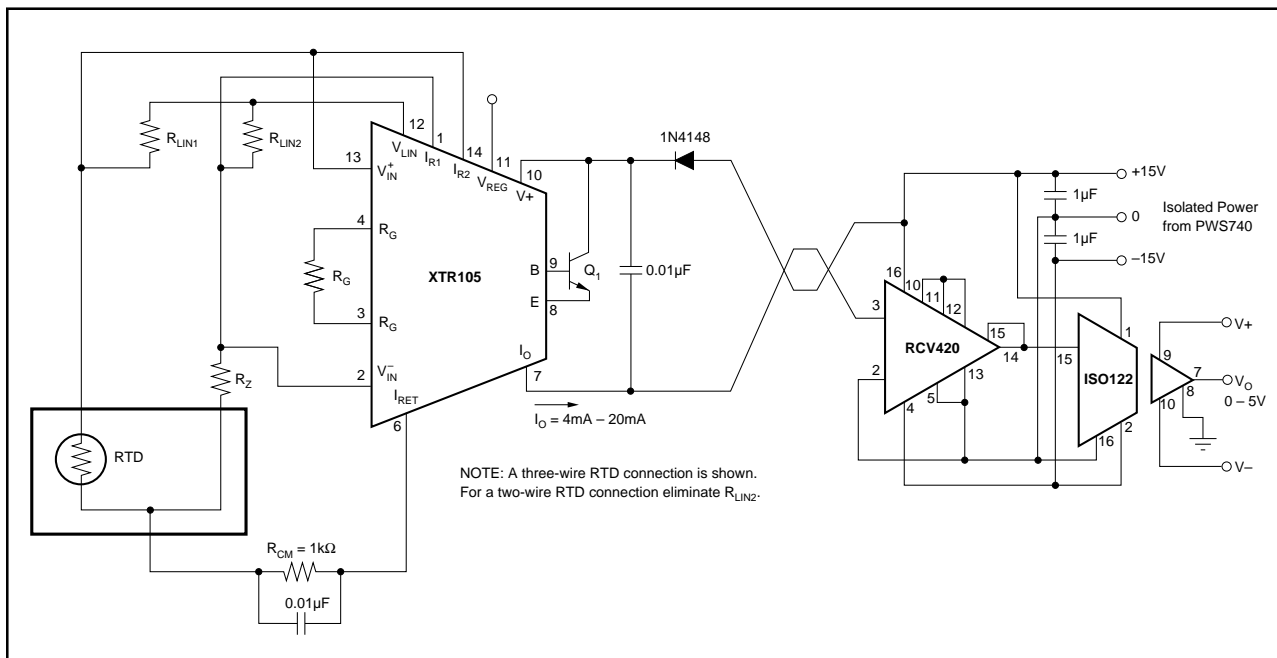
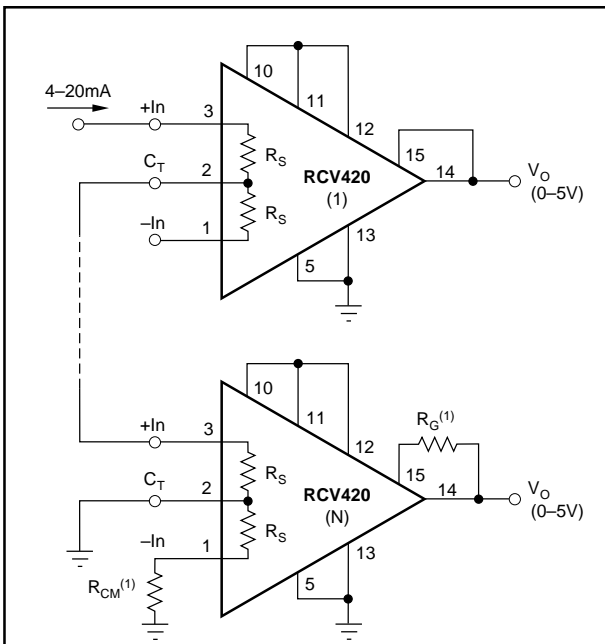


FIGURE 9. Isolated 4-20mA Instrument Loop (RTD shown).



NOTE: (1)  $R_{CM}$  and  $R_G$  are used to provide a first order correction of CMR and Gain Error, respectively. Table 1 gives typical resistor values for  $R_{CM}$  and  $R_G$  when as many as three RCV420s are stacked. Table II gives typical CMR and Gain Error with no correction. Further improvement in CMR and Gain Error can be achieved using a 500k $\Omega$  potentiometer for  $R_{CM}$  and a 100 $\Omega$  potentiometer for  $R_G$ .

RCV420	$R_{CM}$ (k $\Omega$ )	$R_G$ ( $\Omega$ )
1	$\infty$	0
2	200	7
3	67	23

TABLE 1. Typical Values for  $R_{CM}$  and  $R_G$ .

RCV420	CMR (dB)	GAIN ERROR %
1	94	0.025
2	68	0.075
3	62	0.200

TABLE II. Typical CMR and Gain Error Without Correction.

FIGURE 10. Series 4-20mA Receivers.

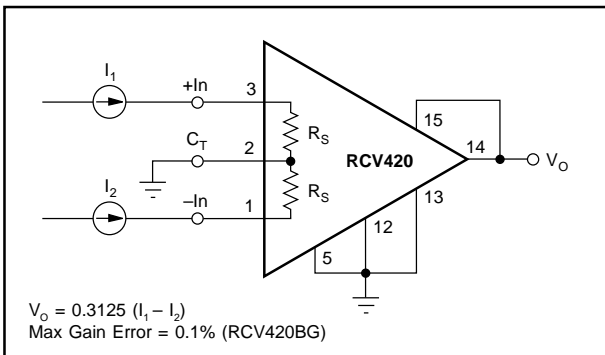


FIGURE 11. Differential Current-to-Voltage Converter.

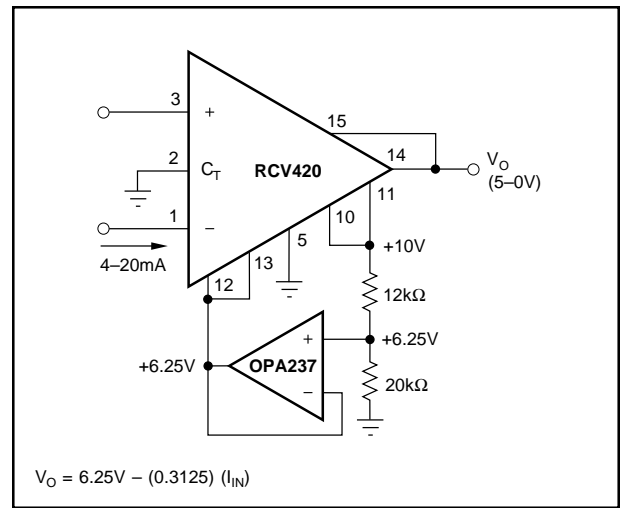


FIGURE 12. 4-20mA to 5-0V Conversion.

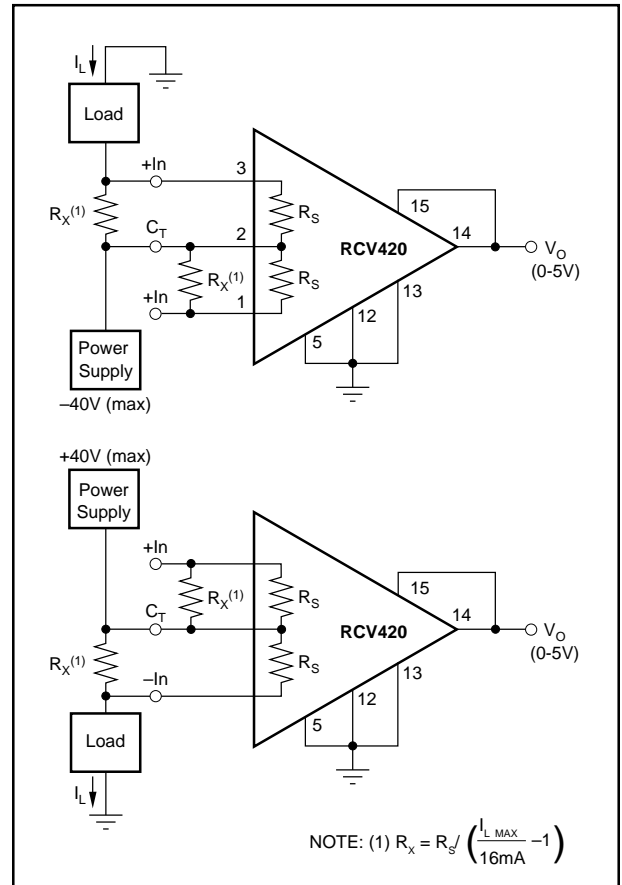


FIGURE 13. Power Supply Current Monitor Circuit.

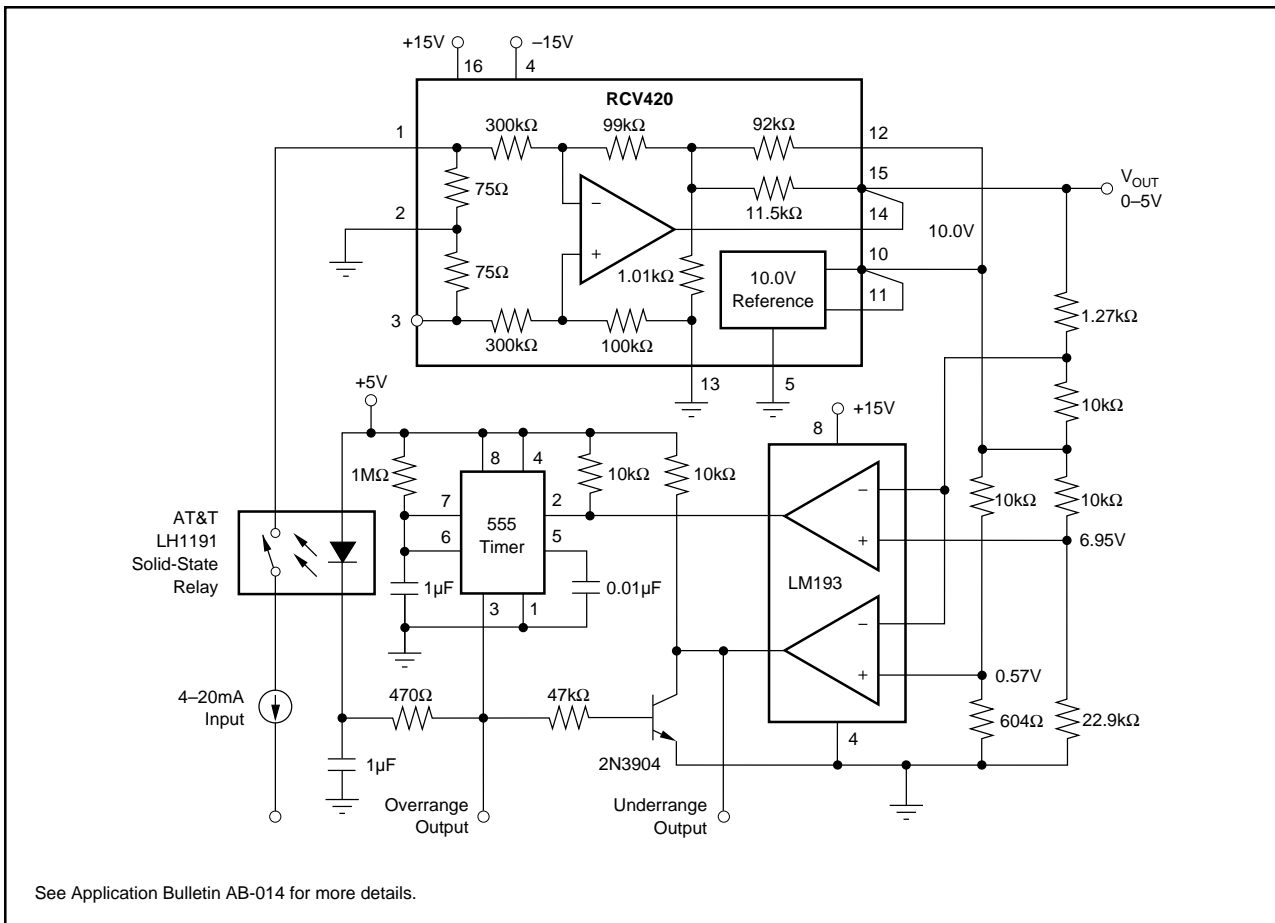


FIGURE 14. 4-20mA Current Loop Receiver with Input Overload Protection.

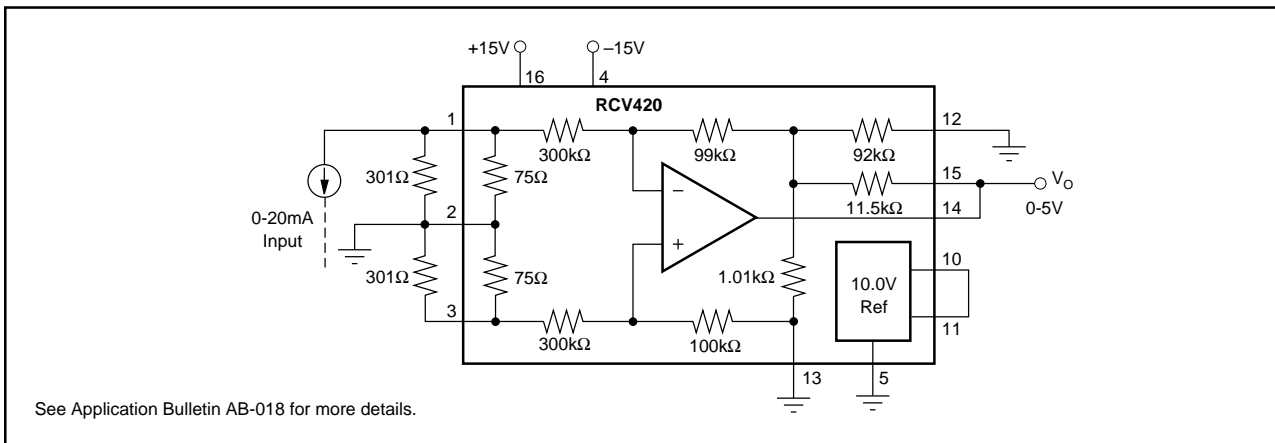


FIGURE 15. 0-20mA/0-5V Receiver Using RCV420.

**PACKAGING INFORMATION**

Orderable Device	Status <sup>(1)</sup>	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan <sup>(2)</sup>	Lead/Ball Finish	MSL Peak Temp <sup>(3)</sup>
RCV420JP	ACTIVE	PDIP	N	16	25	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
RCV420JPG4	ACTIVE	PDIP	N	16	25	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
RCV420KP	ACTIVE	PDIP	N	16	25	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
RCV420KPG4	ACTIVE	PDIP	N	16	25	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type

<sup>(1)</sup> The marketing status values are defined as follows:

**ACTIVE:** Product device recommended for new designs.

**LIFEBUY:** TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.

**NRND:** Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.

**PREVIEW:** Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.

**OBSELETE:** TI has discontinued the production of the device.

<sup>(2)</sup> Eco Plan - The planned eco-friendly classification: Pb-Free (RoHS), Pb-Free (RoHS Exempt), or Green (RoHS & no Sb/Br) - please check <http://www.ti.com/productcontent> for the latest availability information and additional product content details.

**TBD:** The Pb-Free/Green conversion plan has not been defined.

**Pb-Free (RoHS):** TI's terms "Lead-Free" or "Pb-Free" mean semiconductor products that are compatible with the current RoHS requirements for all 6 substances, including the requirement that lead not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, TI Pb-Free products are suitable for use in specified lead-free processes.

**Pb-Free (RoHS Exempt):** This component has a RoHS exemption for either 1) lead-based flip-chip solder bumps used between the die and package, or 2) lead-based die adhesive used between the die and leadframe. The component is otherwise considered Pb-Free (RoHS compatible) as defined above.

**Green (RoHS & no Sb/Br):** TI defines "Green" to mean Pb-Free (RoHS compatible), and free of Bromine (Br) and Antimony (Sb) based flame retardants (Br or Sb do not exceed 0.1% by weight in homogeneous material)

<sup>(3)</sup> MSL, Peak Temp. -- The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

**Important Information and Disclaimer:**The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

## IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services at any time and to discontinue any product or service without notice. Customers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All products are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its hardware products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by government requirements, testing of all parameters of each product is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. Customers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with customer products and applications, customers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any TI patent right, copyright, mask work right, or other TI intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license from TI to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. Reproduction of this information with alteration is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for such altered documentation.

Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Following are URLs where you can obtain information on other Texas Instruments products and application solutions:

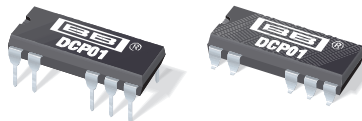
<b>Products</b>		<b>Applications</b>	
Amplifiers	<a href="http://amplifier.ti.com">amplifier.ti.com</a>	Audio	<a href="http://www.ti.com/audio">www.ti.com/audio</a>
Data Converters	<a href="http://dataconverter.ti.com">dataconverter.ti.com</a>	Automotive	<a href="http://www.ti.com/automotive">www.ti.com/automotive</a>
DSP	<a href="http://dsp.ti.com">dsp.ti.com</a>	Broadband	<a href="http://www.ti.com/broadband">www.ti.com/broadband</a>
Interface	<a href="http://interface.ti.com">interface.ti.com</a>	Digital Control	<a href="http://www.ti.com/digitalcontrol">www.ti.com/digitalcontrol</a>
Logic	<a href="http://logic.ti.com">logic.ti.com</a>	Military	<a href="http://www.ti.com/military">www.ti.com/military</a>
Power Mgmt	<a href="http://power.ti.com">power.ti.com</a>	Optical Networking	<a href="http://www.ti.com/opticalnetwork">www.ti.com/opticalnetwork</a>
Microcontrollers	<a href="http://microcontroller.ti.com">microcontroller.ti.com</a>	Security	<a href="http://www.ti.com/security">www.ti.com/security</a>
		Telephony	<a href="http://www.ti.com/telephony">www.ti.com/telephony</a>
		Video & Imaging	<a href="http://www.ti.com/video">www.ti.com/video</a>
		Wireless	<a href="http://www.ti.com/wireless">www.ti.com/wireless</a>

Mailing Address: Texas Instruments  
Post Office Box 655303 Dallas, Texas 75265

Copyright © 2006, Texas Instruments Incorporated

Vedlegg P      DC-DC converter





## Miniature, 1W Isolated UNREGULATED DC/DC CONVERTERS

### FEATURES

- Up To 85% Efficiency
- Thermal Protection
- Device-to-Device Synchronization
- Short-Circuit Protection
- EN55022 Class B EMC Performance
- UL1950 Recognized Component
- JEDEC DIP-14 and SOP-14 Packages

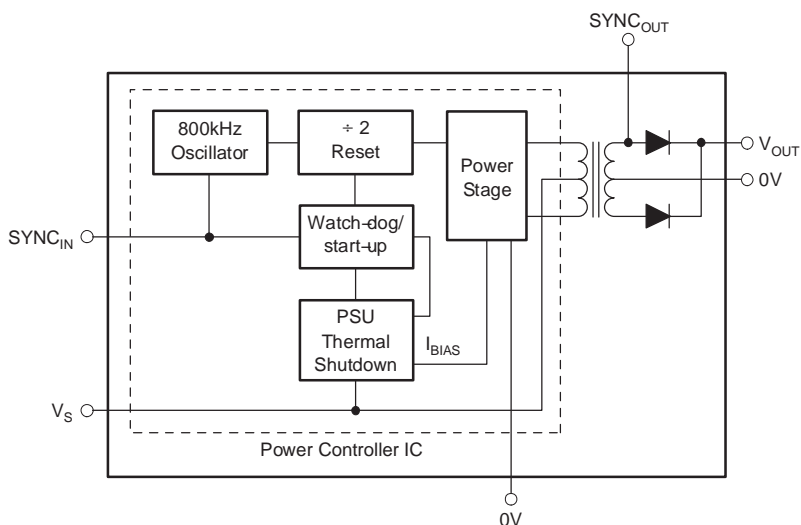
### APPLICATIONS

- Point-of-Use Power Conversion
- Ground Loop Elimination
- Data Acquisition
- Industrial Control and Instrumentation
- Test Equipment

### DESCRIPTION

The DCP01B series is a family of 1W, unregulated, isolated DC/DC converters. Requiring a minimum of external components and including on-chip device protection, the DCP01B series provides extra features such as output disable and synchronization of switching frequencies.

The use of a highly-integrated package design results in highly reliable products with a power density of 40W/in<sup>3</sup> (2.4W/cm<sup>3</sup>). This combination of features and small sizes makes the DCP01B suitable for a wide range of applications.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

All trademarks are the property of their respective owners.



This integrated circuit can be damaged by ESD. Texas Instruments recommends that all integrated circuits be handled with appropriate precautions. Failure to observe proper handling and installation procedures can cause damage.

ESD damage can range from subtle performance degradation to complete device failure. Precision integrated circuits may be more susceptible to damage because very small parametric changes could cause the device not to meet its published specifications.

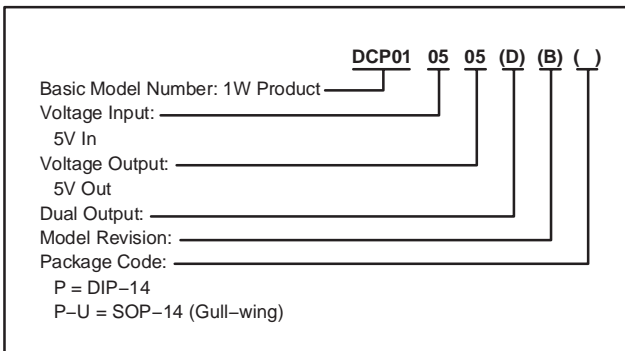
### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

over operating free-air temperature range unless otherwise noted<sup>(1)</sup>

		DCP01B SERIES	UNIT
Input voltage	5-V models	7	V
	15-V models	18	V
	24-V models	29	V
Storage temperature		-60 to +125	°C
Lead temperature (soldering, 10s)		+270	°C

- (1) Stresses above these ratings may cause permanent damage. Exposure to absolute maximum conditions for extended periods may degrade device reliability. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those specified is not implied.

### SUPPLEMENTAL ORDERING INFORMATION



### ORDERING INFORMATION<sup>(1)</sup>

PRODUCT	PACKAGE-LEAD	PACKAGE DESIGNATOR	SPECIFIED TEMPERATURE RANGE	PACKAGE MARKING	ORDERING NUMBER <sup>(2)</sup>	TRANSPORT MEDIA
<b>SINGLE VOLTAGE<sup>(3)</sup></b>						
DCP010505	DIP-14	NVA	-40°C to +100°C	DCP010505BP	DCP010505BP	Rails
	SOP-14 <sup>(4)</sup>	DUA	-40°C to +100°C	DCP010505BP-U	DCP010505BP-U/700	Tape and Reel
DCP010512	DIP-14	NVA	-40°C to +100°C	DCP010512BP	DCP010512BP	Rails
	SOP-14 <sup>(4)</sup>	DUA	-40°C to +100°C	DCP010512BP-U	DCP010512BP-U/700	Tape and Reel
DCP010515	DIP-14	NVA	-40°C to +100°C	DCP010515BP	DCP010515BP	Rails
	SOP-14 <sup>(4)</sup>	DUA	-40°C to +100°C	DCP010515BP-U	DCP010515BP-U/700	Tape and Reel
DCP012405	DIP-14	NVA	-40°C to +100°C	DCP012405BP	DCP012405BP	Rails
	SOP-14 <sup>(4)</sup>	DUA	-40°C to +100°C	DCP012405BP-U	DCP012405BP-U/700	Tape and Reel
<b>DUAL VOLTAGE<sup>(3)</sup></b>						
DCP010505	DIP-14	NVA	-40°C to +100°C	DCP010505DBP	DCP010505DBP	Rails
	SOP-14 <sup>(4)</sup>	DUA	-40°C to +100°C	DCP010505DBP-U	DCP010505DBP-U/700	Tape and Reel
DCP010507	DIP-14	NVA	-40°C to +100°C	DCP010507DBP	DCP010507DBP	Rails
	SOP-14 <sup>(4)</sup>	DUA	-40°C to +100°C	DCP010507DBP-U	DCP010507DBP-U/700	Tape and Reel
DCP010512	DIP-14	NVA	-40°C to +100°C	DCP010512DBP	DCP010512DBP	Rails
	SOP-14 <sup>(4)</sup>	DUA	-40°C to +100°C	DCP010512DBP-U	DCP010512DBP-U/700	Tape and Reel
DCP010515	DIP-14	NVA	-40°C to +100°C	DCP010515DBP	DCP010515DBP	Rails
	SOP-14 <sup>(4)</sup>	DUA	-40°C to +100°C	DCP010515DBP-U	DCP010515DBP-U/700	Tape and Reel
DCP011512	DIP-14	NVA	-40°C to +100°C	DCP011512DBP	DCP011512DBP	Rails
	SOP-14 <sup>(4)</sup>	DUA	-40°C to +100°C	DCP011512DBP-U	DCP011512DBP-U/700	Tape and Reel
DCP011515	DIP-14	NVA	-40°C to +100°C	DCP011515DBP	DCP011515DBP	Rails
	SOP-14 <sup>(4)</sup>	DUA	-40°C to +100°C	DCP011515DBP-U	DCP011515DBP-U/700	Tape and Reel
DCP012415	DIP-14	NVA	-40°C to +100°C	DCP012415DBP	DCP012415DBP	Rails
	SOP-14 <sup>(4)</sup>	DUA	-40°C to +100°C	DCP012415DBP-U	DCP012415DBP-U/700	Tape and Reel

(1) All devices also available in tray quantities. For the most current package and ordering information, see the Package Option Addendum at the end of this data sheet, or refer to our web site at [www.ti.com](http://www.ti.com).

(2) Models with a (f) are available only in Tape and Reel in the quantities indicated (for example, /700 indicates 700 devices per reel). Ordering 700 pieces of **DCP010505BP-U/700** will get a single 700-piece Tape and Reel.

(3) Single voltage versions have six active pins; dual voltage versions have seven active pins.

(4) SOP package is gull-wing surface-mount.

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS**

 At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \text{nominal}$ ,  $C_{IN} = 2.2\mu\text{F}$ , and  $C_{OUT} = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise noted.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	DCP01B SERIES			UNITS	
		MIN	TYP	MAX		
<b>Output</b>						
Power	100% full load		0.97		W	
Ripple	O/P capacitor = $1\mu\text{F}$ , 50% load		20		mV <sub>pp</sub>	
Voltage vs temperature	Room to cold		0.046		%/ $^\circ\text{C}$	
	Room to hot		0.016		%/ $^\circ\text{C}$	
<b>Input</b>						
Voltage range on $V_S$		-10		+10	%	
<b>Isolation</b>						
Voltage	1s flash test		1		kVrms	
	60s test, UL1950(1)		1		kVrms	
<b>Line Regulation</b>						
Output voltage	$I_O = \text{constant}^{(2)}$	$V_S$ (min) to $V_S$ (typ)		1	15	%
		$V_S$ (typ) to $V_S$ (max)		1	15	%
<b>Switching/Synchronization</b>						
Oscillator frequency ( $f_{OSC}$ )	Switching frequency = $f_{OSC}/2$		800		kHz	
Sync input low				0.4	V	
Sync input current	$V_{SYNC} = +2\text{V}$		75		$\mu\text{A}$	
Disable time			2		$\mu\text{s}$	
Capacitance loading on SYNC <sub>IN</sub> pin	External			3	pF	
<b>Reliability</b>						
Demonstrated	MSL 3–(U) versions, $T_A = +55^\circ\text{C}$		55		FITS	
<b>Thermal Shutdown</b>						
IC temperature at shutdown			+150		$^\circ\text{C}$	
Shutdown current			3		mA	
<b>Temperature Range</b>						
Operating		-40		+100	$^\circ\text{C}$	

(1) During UL1950 recognition tests only.

 (2)  $I_{OUT} \geq 10\%$  load current.

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS PER DEVICE**

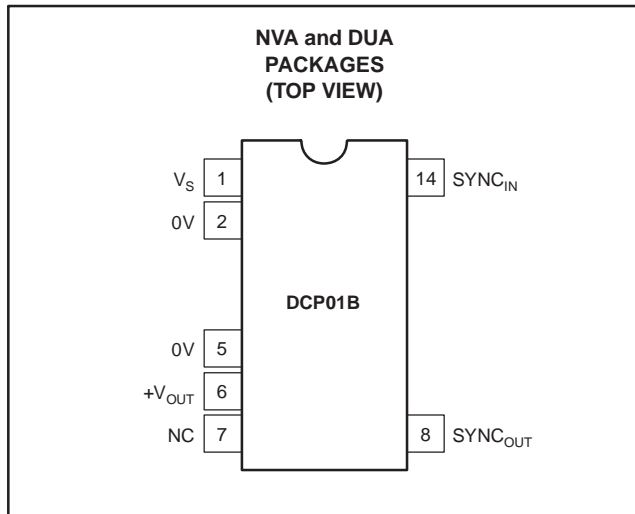
 At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \text{nominal}$ ,  $C_{IN} = 2.2\mu\text{F}$ , and  $C_{OUT} = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise noted.

PRODUCT	INPUT VOLTAGE (V)			OUTPUT VOLTAGE (V)			LOAD REGULATION (%)		NO LOAD CURRENT (mA)	EFFICIENCY (%)	BARRIER CAPACITANCE (pF)
	$V_S$			$V_{NOM}$ AT $V_S$ (TYP)					$I_Q$		$C_{ISO}$
	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	10% TO 100% LOAD(4)		0% LOAD	100% LOAD	$V_{ISO} = 750V_{RMS}$
DCP010505B	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	19	31	20	80	3.6
DCP010505DB	4.5	5	5.5	$\pm 4.25$	$\pm 5$	$\pm 5.75$	18	32	22	81	3.8
DCP010507DB	4.5	5	5.5	$\pm 5.75$	$\pm 6.5$	$\pm 7.25$	21	35	38	81	3.0
DCP010512B	4.5	5	5.5	11.4	12	12.6	21	38	29	85	5.1
DCP010512DB	4.5	5	5.5	$\pm 11.4$	$\pm 12$	$\pm 12.6$	19	37	40	82	4.0
DCP010515B	4.5	5	5.5	14.25	15	15.75	26	42	34	82	3.8
DCP010515DB	4.5	5	5.5	$\pm 14.25$	$\pm 15$	$\pm 15.75$	19	41	42	85	4.7
DCP011512DB	13.5	15	16.5	$\pm 11.4$	$\pm 12$	$\pm 12.6$	11	39	19	78	2.5
DCP011515DB	13.5	15	16.5	$\pm 14.25$	$\pm 15$	$\pm 15.75$	12	39	20	80	2.5
DCP012405B	21.6	24	26.4	4.75	5	5.25	13	23	14	77	2.5
DCP012415DB	21.6	24	26.4	$\pm 14.25$	$\pm 15$	$\pm 15.75$	10	35	17	76	3.8

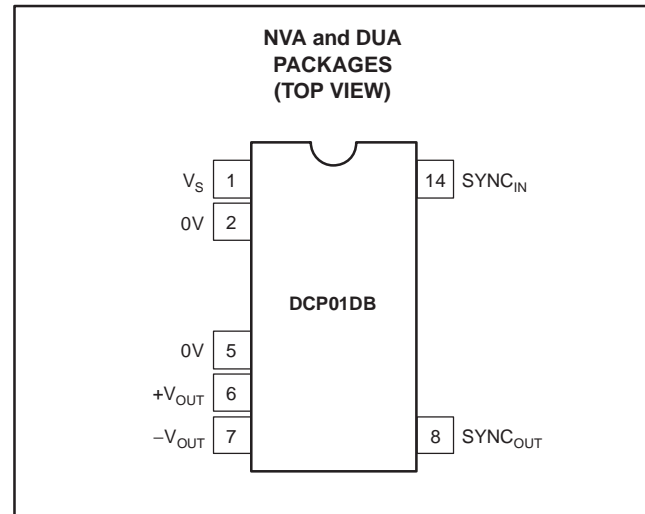
 (3) 100% load current =  $1W/V_{NOM}$  (typ).

 (4) Load regulation =  $(V_{OUT}$  at 10% load –  $V_{OUT}$  at 100% load)/ $V_{OUT}$  at 75% load.

**PIN ASSIGNMENTS (Single Voltage Version)**



**PIN ASSIGNMENTS (Dual Voltage Version)**



**Terminal Functions (Single Voltage)**

TERMINAL		I/O	DESCRIPTION
NAME	NO.		
$V_S$	1	I	Voltage input
0V	2	I	Input side common
0V	5	O	Output side common
$+V_{OUT}$	6	O	+Voltage out
NC	7		Not connected
$SYNC_{OUT}$	8	O	Unrectified transformer output
$SYNC_{IN}$	14	I	Synchronization pin

NOTE: I = input and O = output.

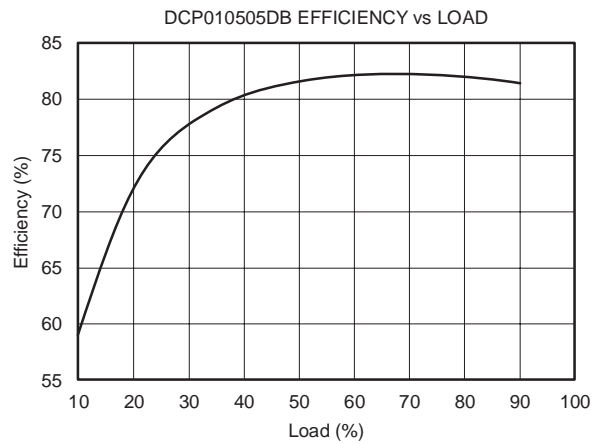
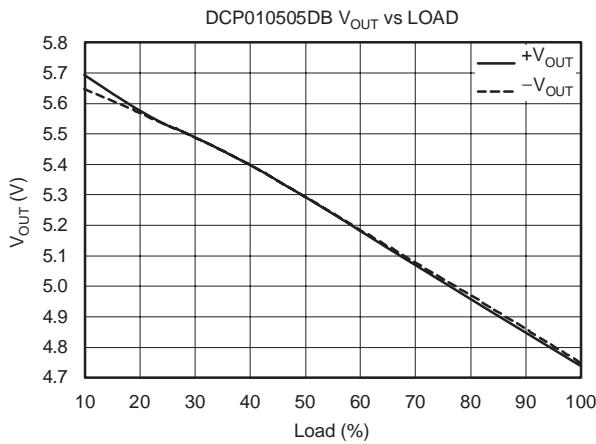
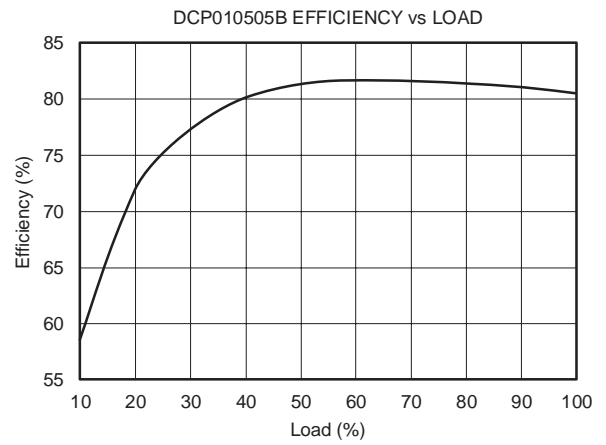
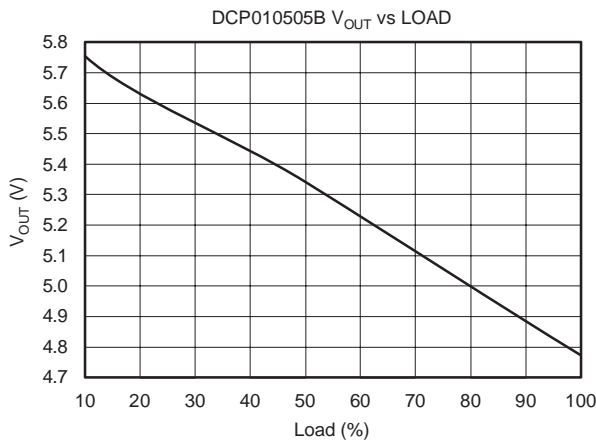
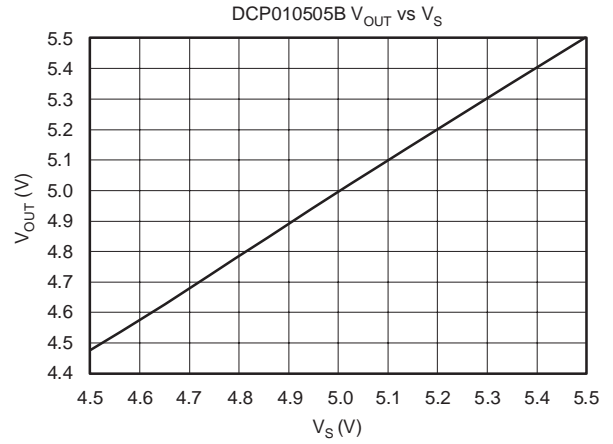
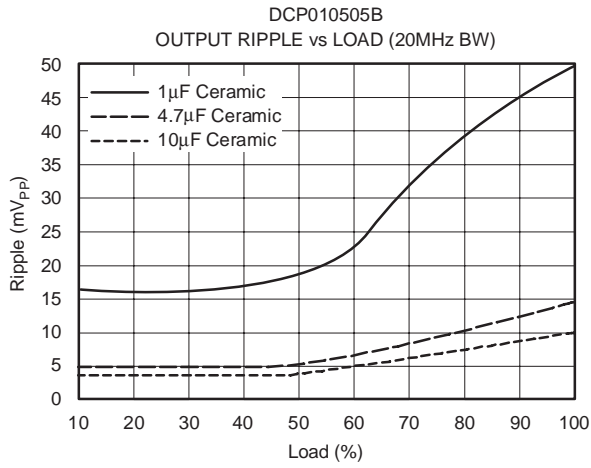
**Terminal Functions (Dual Voltage)**

TERMINAL		I/O	DESCRIPTION
NAME	NO.		
$V_S$	1	I	Voltage input
0V	2	I	Input side common
0V	5	O	Output side common
$+V_{OUT}$	6	O	+Voltage out
$-V_{OUT}$	7	O	-Voltage out
$SYNC_{OUT}$	8	O	Unrectified transformer output
$SYNC_{IN}$	14	I	Synchronization pin

NOTE: I = input and O = output.

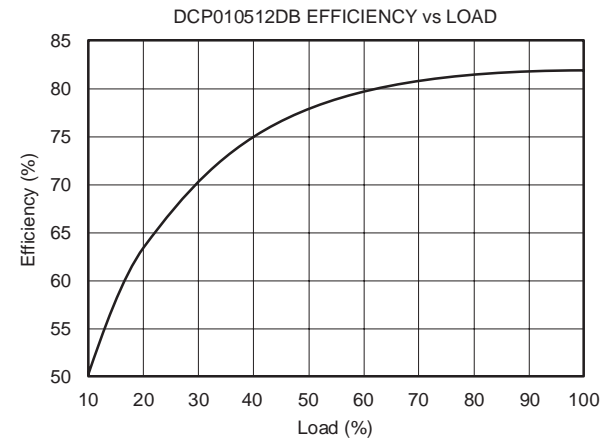
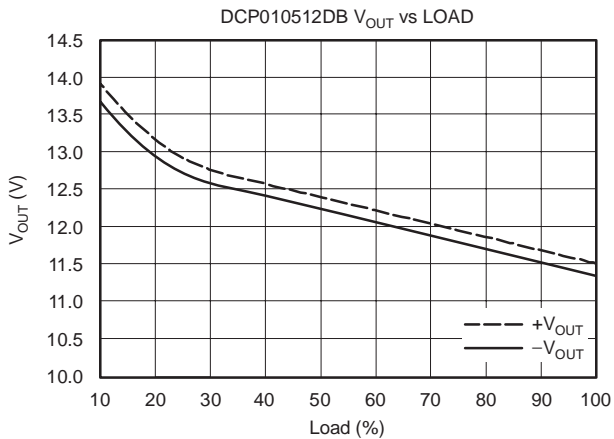
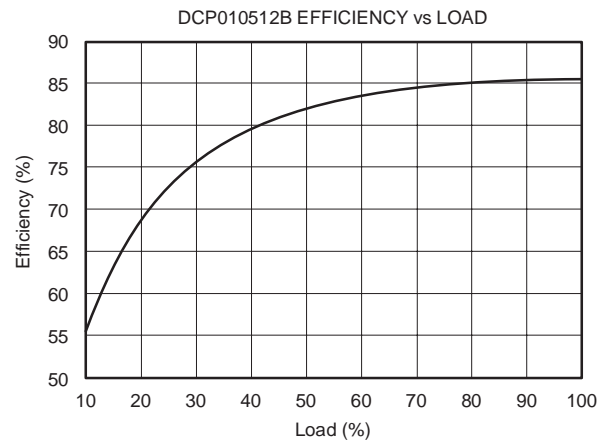
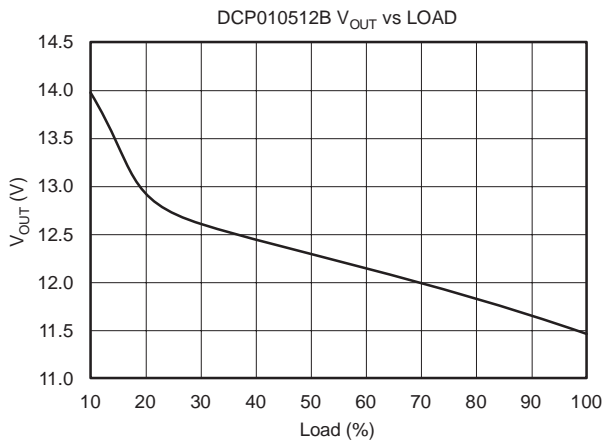
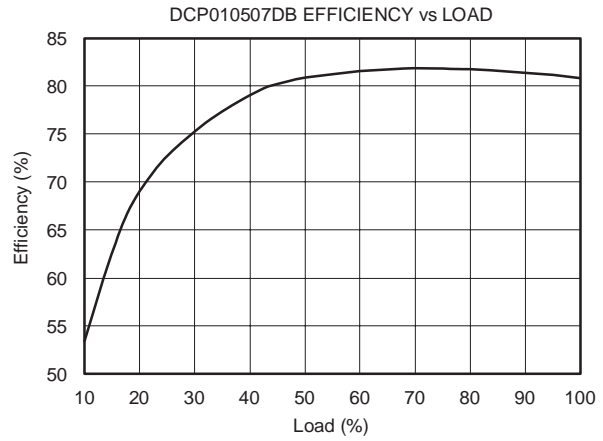
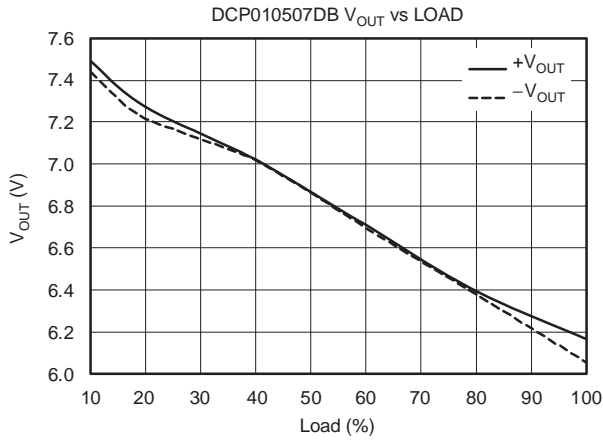
**TYPICAL CHARACTERISTICS**

At  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted.



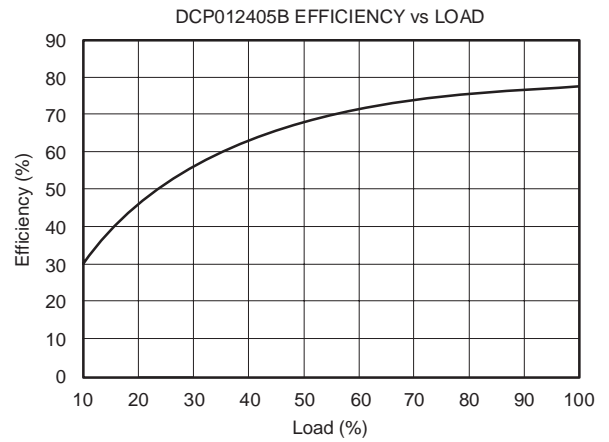
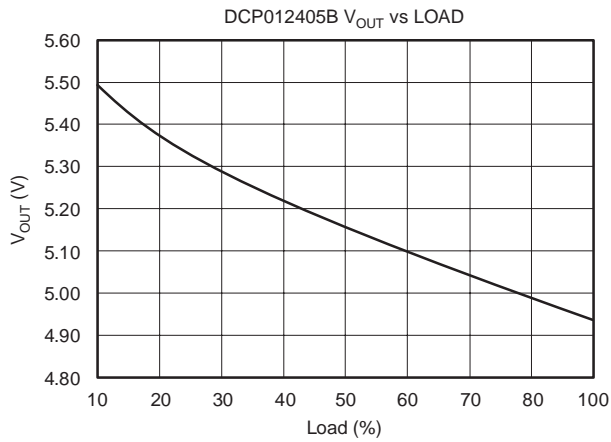
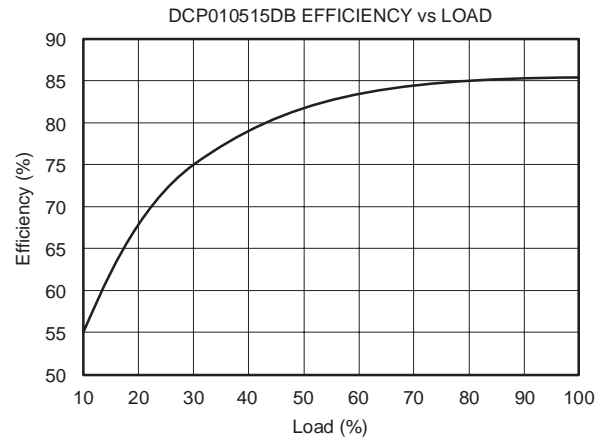
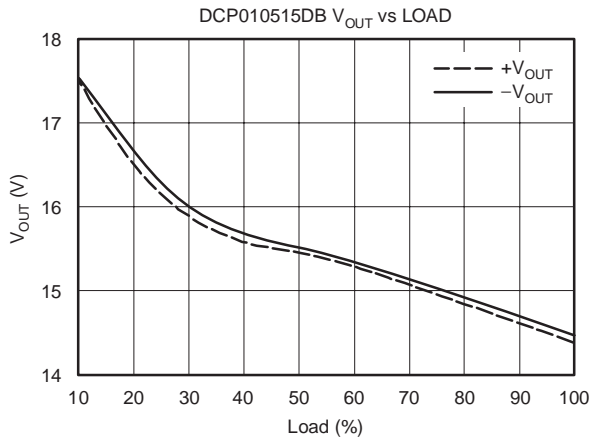
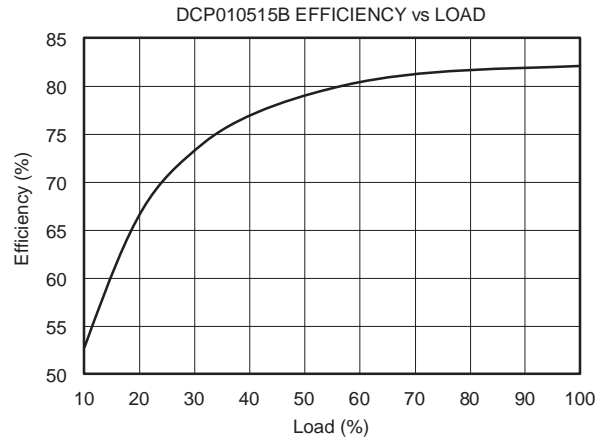
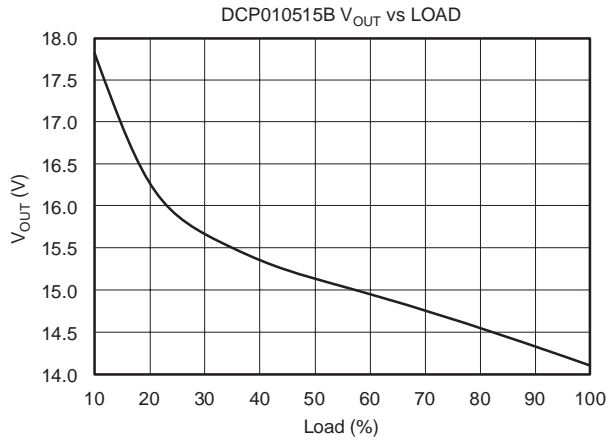
**TYPICAL CHARACTERISTICS (continued)**

At  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted.



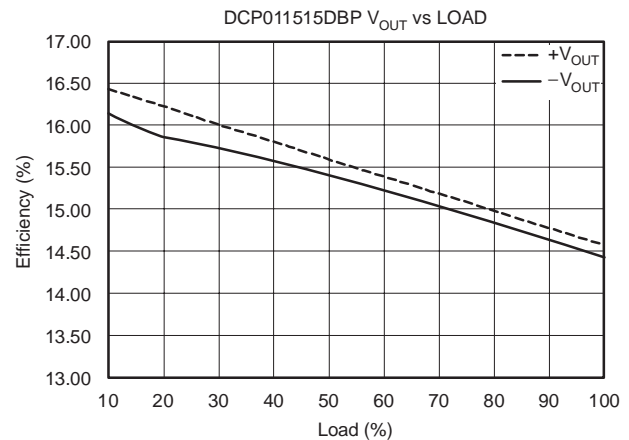
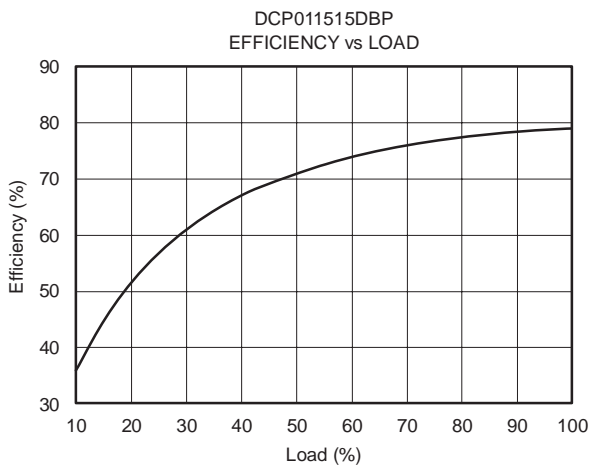
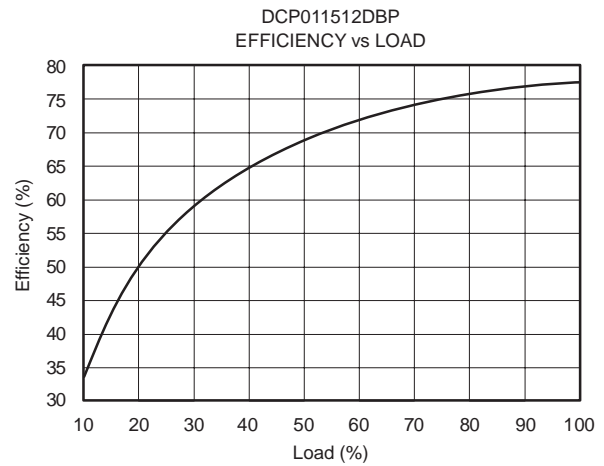
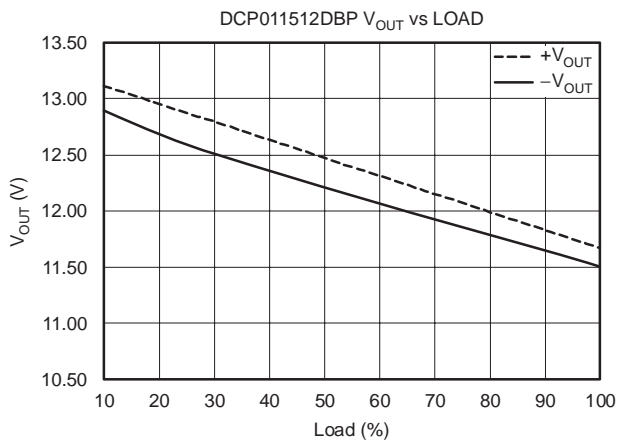
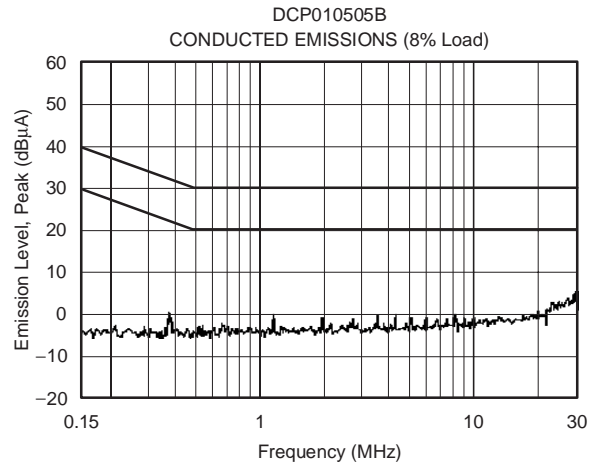
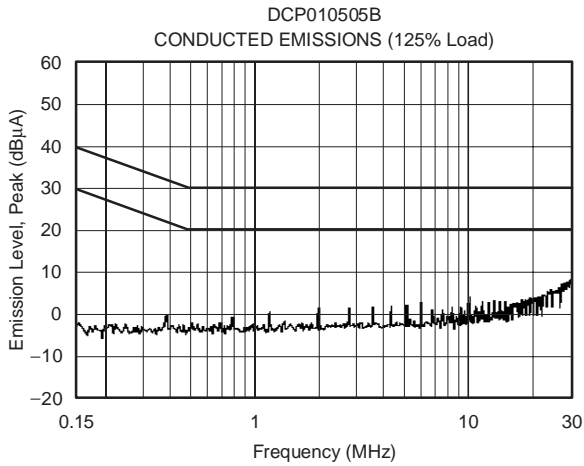
**TYPICAL CHARACTERISTICS (continued)**

At  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted.



**TYPICAL CHARACTERISTICS (continued)**

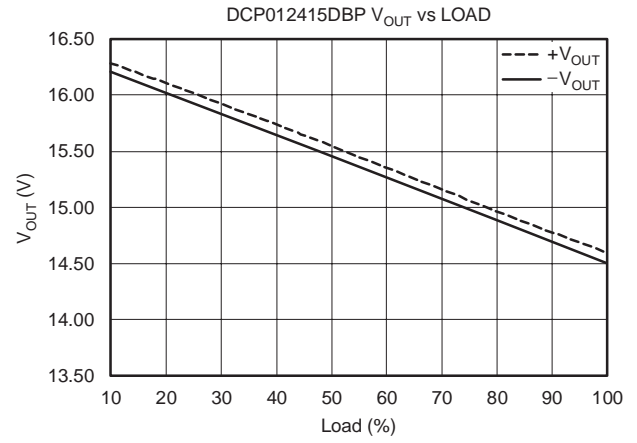
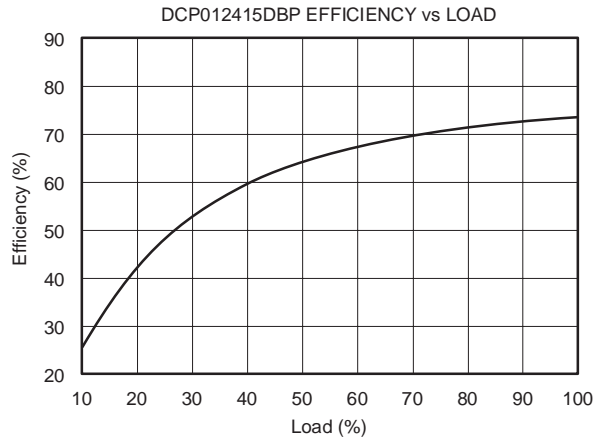
At  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted.





**TYPICAL CHARACTERISTICS (continued)**

At  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted.



## FUNCTIONAL DESCRIPTION

### OVERVIEW

The DCP01B offers up to 1W of unregulated output power with a typical efficiency of up to 85%. This is achieved through highly integrated packaging technology and the implementation of a custom power stage and control IC. The circuit design uses an advanced BiCMOS/DMOS process. For additional information, refer to the application notes located in the DCP01B product folder at [www.ti.com](http://www.ti.com).

### POWER STAGE

This uses a push-pull, center-tapped topology switching at 400kHz (divide-by-2 from 800kHz oscillator).

### OSCILLATOR AND WATCHDOG

The onboard 800kHz oscillator generates the switching frequency via a divide-by-2 circuit. The oscillator can be synchronized to other DCP01B circuits or an external source, and is used to minimize system noise.

A watchdog circuit checks the operation of the oscillator circuit. The oscillator can be stopped by pulling the SYNC pin low. The output pins will be tri-stated. This will occur in 2 $\mu$ s.

### THERMAL SHUTDOWN

The DCP01B is protected by a thermal shutdown circuit. If the on-chip temperature exceeds 150°C, the device will shut down. Once the temperature falls below 150°C, normal operation will resume. If the thermal condition continues, operation will randomly cycle on and off. This will continue until the temperature is reduced.

### SYNCHRONIZATION

In the event that more than one DC/DC converter is needed onboard, beat frequencies and other electrical interference can be generated. This is due to the small variations in switching frequencies between the DC/DC converters.

The DCP01B overcomes this by allowing devices to be synchronized to one another. Up to eight devices can be synchronized by connecting the SYNC<sub>IN</sub> pins together, taking care to minimize the stray capacitance. Stray capacitance (> 3pF) will have the effect of reducing the switching frequency, or even stopping the oscillator circuit.

If synchronized devices are used, it should be noted that at startup, all devices will draw maximum current simultaneously. This can cause the input voltage to dip. If it dips below the minimum input voltage (4.5V), the devices may not start up. A 2.2 $\mu$ F capacitor should be connected close to the input pins.

If more than eight devices are to be synchronized, it is recommended that the SYNC<sub>IN</sub> pins are driven by an external device. Details are contained in Application Report SBAA035, *External Synchronization of the DCP01/02 Series of DC/DC Converters*, available for download at [www.ti.com](http://www.ti.com).

### CONSTRUCTION

The DCP01B basic construction is the same as standard ICs. There is no substrate within the molded package. The DCP01B is constructed using an IC, rectifier diodes, and a wound magnetic toroid on a leadframe. Since there is no solder within the package, the DCP01B does not require any special PCB assembly processing. This results in an isolated DC/DC converter with inherently high reliability.

## ADDITIONAL FUNCTIONS

### DISABLE/ENABLE

The DCP01B can be disabled or enabled by driving the SYNC<sub>IN</sub> pin using an open drain CMOS gate. If the SYNC<sub>IN</sub> pin is pulled low, the DCP01B will be disabled. The disable time depends upon the external loading; the internal disable function is implemented in 2 $\mu$ s. Removal of the pull-down will cause the DCP01B to be enabled.

Capacitive loading on the SYNC<sub>IN</sub> pin should be minimized in order to prevent a reduction in the oscillator frequency.

### DECOUPLING

#### Ripple Reduction

A high switching frequency of 400kHz allows simple filtering. To reduce ripple, it is recommended that at least a 1 $\mu$ F capacitor is used on V<sub>OUT</sub>. Dual outputs should have both the positive and negative buses decoupled to V<sub>OUT</sub> ground (pin 5). The required 2.2 $\mu$ F low equivalent series resistance (ESR) ceramic capacitor on the input of the 5V to 15V versions, and the  $\geq$  0.47 $\mu$ F low-ESR ceramic capacitor on the 24V versions help reduce ripple and noise. See Application Bulletin SBVA012, *DC-to-DC Converter Noise Reduction*, available for download at [www.ti.com](http://www.ti.com).

### Connecting the DCP01B in Series

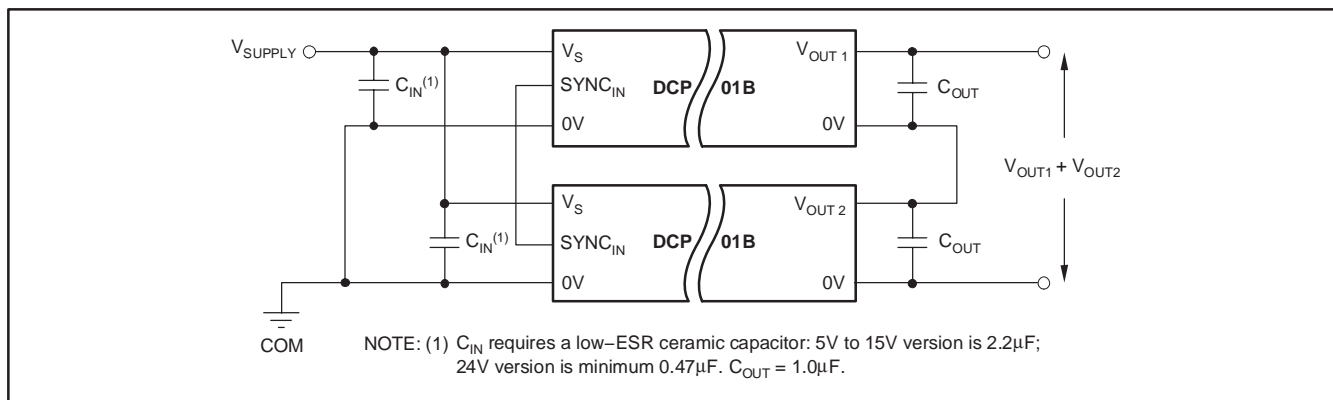
Multiple DCP01B isolated 1W DC/DC converters can be connected in series to provide nonstandard voltage rails. This is possible by using the floating outputs provided by the DCP01B galvanic isolation.

Connect the positive  $V_{OUT}$  from one DCP01B to the negative  $V_{OUT}$  (0V) of another, as shown in Figure 1. If the  $SYNC_{IN}$  pins are tied together, the self-synchronization feature of the DCP01B will prevent beat frequencies on the voltage rails. The  $SYNC_{IN}$  feature of the DCP01B allows easy connection in series, which reduces separate filtering components.

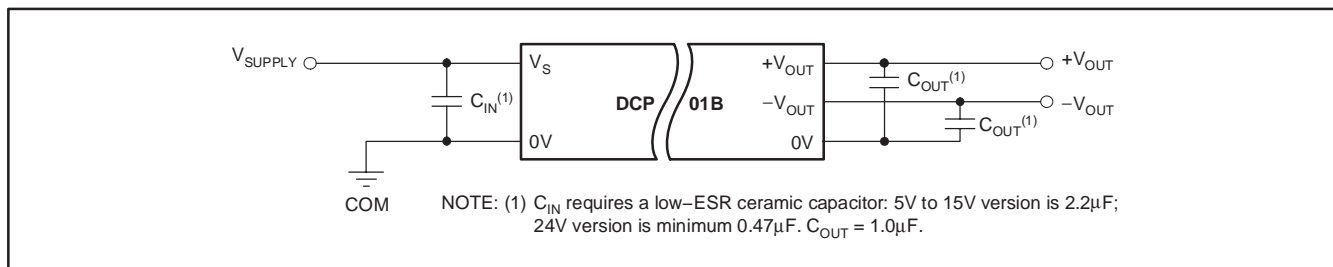
The outputs on dual output DCP01B versions can also be connected in series to provide two times the magnitude of  $V_{OUT}$ , as shown in Figure 2. For example, a dual 15V DCP01B could be connected to provide a 30V rail.

### Connecting the DCP01B in Parallel

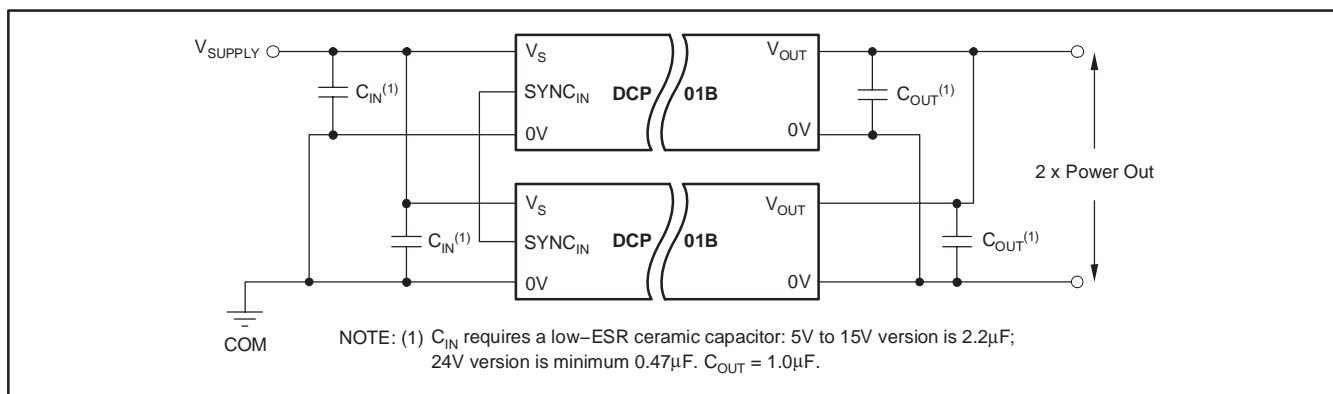
If the output power from one DCP01B is not sufficient, it is possible to parallel the outputs of multiple DCP01B converters (see Figure 3). Again, the  $SYNC_{IN}$  feature allows easy synchronization to prevent power-rail beat frequencies at no additional filtering cost.



**Figure 1. Connecting the DCP01B in Series**



**Figure 2. Connecting Dual Outputs in Series**



**Figure 3. Connecting Multiple DCP01Bs in Parallel**

## APPLICATION INFORMATION

The DCP01B, DCV01, and DCP02 are three families of miniature DC/DC converters providing an isolated unregulated voltage output. All are fabricated using a CMOS/DMOS process with the DCP01B replacing the familiar DCP01 family that was fabricated from a bipolar process. The DCP02 is essentially an extension of the DCP01B family providing a higher power output with a significantly improved load regulation, and the DCV01 is tested to a higher isolation voltage.

## TRANSFORMER DRIVE CIRCUIT

Transformer drive transistors have a characteristically low value of transistor *on* resistance ( $R_{DS}$ ); thus, more power is transferred to the transformer. The transformer drive circuit is limited by the base current available to switch on the power transistors driving the transformer and the characteristic current gain ( $\beta$ ), resulting in a slower turn-on time. Consequently, more power is dissipated within the transistor. This results in a lower overall efficiency, particularly at higher output load currents.

## SELF-SYNCHRONIZATION

The input synchronizations facility ( $SYNC_{IN}$ ), allows for easy synchronizing of multiple devices. If two to eight devices (maximum) have their respective  $SYNC_{IN}$  pins connected together, then all devices will be synchronized.

Each device has its own onboard oscillator. This is generated by charging a capacitor from a constant current and producing a ramp. When this ramp passes a threshold, an internal switch is activated that discharges the capacitor to a second threshold before the cycle is repeated.

When several devices are connected together, all the internal capacitors are charged simultaneously.

When one device passes its threshold during the charge cycle, it starts the discharge cycle. All the other devices sense this falling voltage and, likewise, initiate a discharge

cycle so that all devices discharge together. A subsequent charge cycle is only restarted when the last device has finished its discharge cycle.

## OPTIMIZING PERFORMANCE

Optimum performance can only be achieved if the device is correctly supported. By the very nature of a switching converter, it requires power to be instantly available when it switches on. If the converter has DMOS switching transistors, the fast edges will create a high current demand on the input supply. This transient load placed on the input is supplied by the external input decoupling capacitor, thus maintaining the input voltage. Therefore, the input supply does not see this transient (this is an analogy to high-speed digital circuits). The positioning of the capacitor is critical and must be placed as close as possible to the input pins and connected via a low-impedance path.

The optimum performance is primarily dependent on two factors:

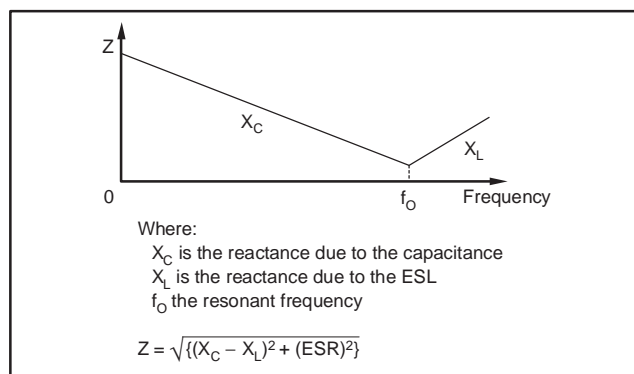
1. Connection of the input and output circuits for minimal loss.
2. The ability of the decoupling capacitors to maintain the input and output voltages at a constant level.

## PCB Design

The copper losses (resistance and inductance) can be minimized by the use of mutual ground and power planes (tracks) where possible. If that is not possible, use wide tracks to reduce the losses. If several devices are being powered from a common power source, a star-connected system for the track must be deployed; devices must not be connected in series, as this will cascade the resistive losses. The position of the decoupling capacitors is important. They must be as close to the devices as possible in order to reduce losses. See the *PCB Layout* section for more details.

## Decoupling Ceramic Capacitors

All capacitors have losses due to their internal equivalent series resistance (ESR), and to a lesser degree their equivalent series inductance (ESL). Values for ESL are not always easy to obtain. However, some manufacturers provide graphs of Frequency versus Capacitor Impedance. These will show the capacitors' impedance falling as frequency is increased (see Figure 4). As the frequency is increased, the impedance will stop decreasing and begin to rise. The point of minimum impedance indicates the capacitors' resonant frequency. This frequency is where the components of capacitance and inductance reactance are of equal magnitude. Beyond this point, the capacitor is not effective as a capacitor.



**Figure 4. Capacitor Impedance vs Frequency**

At  $f_0$ ,  $X_C = X_L$ ; however, there is a  $180^\circ$  phase difference resulting in cancellation of the imaginary component. The resulting effect is that the impedance at the resonant point is the real part of the complex impedance; namely, the value of the ESR. The resonant frequency must be well above the 800kHz switching frequency of the DCP and DCVs.

The effect of the ESR is to cause a voltage drop within the capacitor. The value of this voltage drop is simply the product of the ESR and the transient load current, as shown in Equation (1):

$$V_{IN} = V_{PK} - (ESR \times I_{TR}) \quad (1)$$

Where:

$V_{IN}$  is the voltage at the device input.

$V_{PK}$  is the maximum value of the voltage on the capacitor during charge.

$I_{TR}$  is the transient load current.

The other factor that affects the performance is the value of the capacitance. However, for the input and the full wave outputs (single-output voltage devices), the ESR is the dominant factor.

## Input Capacitor and the effects of ESR

If the input decoupling capacitor is not ceramic with  $< 20m\Omega$  ESR, then at the instant the power transistors switch on, the voltage at the input pins will fall momentarily. Should the voltage fall below approximately 4V, the DCP will detect an under-voltage condition and switch the DCP drive circuits to the off state. This is carried out as a precaution against a genuine low input voltage condition that could slow down or even stop the internal circuits from operating correctly. This would result in the drive transistors being turned on too long, causing saturation of the transformer and destruction of the device.

Following detection of a low input voltage condition, the device switches off the internal drive circuits until the input voltage returns to a safe value. Then the device tries to restart. If the input capacitor is still unable to maintain the input voltage, shutdown recurs. This process is repeated until the capacitor is charged sufficiently to start the device correctly. Otherwise, the device will be caught up in a loop.

Normal startup should occur in approximately 1ms from power being applied to the device. If a considerably longer startup duration time is encountered, it is likely that either (or both) the input supply or the capacitors are not performing adequately.

For 5V to 15V input devices, a  $2.2\mu F$  low-ESR ceramic capacitor will ensure a good startup performance, and for the remaining input voltage ranges,  $0.47\mu F$  ceramic capacitors are good. Tantalum capacitors are not recommended, since most do not have low-ESR values and will degrade performance. If tantalum capacitors must be used, close attention must be paid to both the ESR and voltage as derated by the vendor.

## Output Ripple Calculation Example

DCP020505: Output voltage 5V, Output current 0.4A. At full output power, the load resistor is  $12.5\Omega$ . Output capacitor of  $1\mu F$ , ESR of  $0.1\Omega$ . Capacitor discharge time 1% of 800kHz (ripple frequency):

$$t_{DIS} = 0.0125\mu s$$

$$\tau = C \times R_{LOAD}$$

$$\tau = 1 \times 10^{-6} \times 12.5 = 12.5\mu s$$

$$V_{DIS} = V_O(1 - \text{EXP}(-t_{DIS}/\tau))$$

$$V_{DIS} = 5mV$$

By contrast the voltage dropped due to the ESR:

$$V_{ESR} = I_{LOAD} \times ESR$$

$$V_{ESR} = 40mV$$

$$\text{Ripple voltage} = 45mV$$

Clearly, increasing the capacitance will have a much smaller effect on the output ripple voltage than reducing the value of the ESR for the filter capacitor.

## DUAL OUTPUT VOLTAGE DCP AND DCVs

The voltage output for the dual DCPs is half wave rectified; therefore, the discharge time is  $1.25\mu\text{s}$ . Repeating the above calculations using the 100% load resistance of  $25\Omega$  (0.2A per output), the results are shown below:

$$\tau = 25\mu\text{s}$$

$$t_{\text{DIS}} = 1.25\mu\text{s}$$

$$V_{\text{DIS}} = 244\text{mV}$$

$$V_{\text{ESR}} = 20\text{mV}$$

$$\text{Ripple Voltage} = 266\text{mV}$$

This time, it is the capacitor discharging that is contributing to the largest component of ripple. Changing the output filter to  $10\mu\text{F}$ , and repeating the calculations:

$$\text{Ripple Voltage} = 45\text{mV}$$

This value is composed of almost equal components.

The above calculations are given only as a guide. Capacitor parameters usually have large tolerances and can be susceptible to environmental conditions.

## PCB LAYOUT

Figure 5 and Figure 6 illustrate a printed circuit board (PCB) layout for the two conventional (DCP01/02, DCV01), and two SO-28 surface-mount packages (DCP02U). Figure 7 shows the schematic.

Input power and ground planes have been used, providing a low-impedance path for the input power. For the output, the common or 0V has been connected via a ground plane, while the connections for the positive and negative voltage outputs are conducted via wide traces in order to minimize losses.

The location of the decoupling capacitors in close proximity to their respective pins ensures low losses due to the effects of stray inductance; thus, improving the ripple performance. This is of particular importance to the input decoupling capacitor as this supplies the transient current associated with the fast switching waveforms of the power drive circuits.

The SYNC<sub>IN</sub> pin, when not being used, is best left as a floating pad. A ground ring or annulus connected around the pin will prevent noise being conducted onto the pin. If the SYNC<sub>IN</sub> pin is to be connected to one or more SYNC<sub>IN</sub> pins, then the linking trace should be narrow and must be kept short in length. In addition, no other trace should be in close proximity to this trace because that will increase the stray capacitance on this pin, and that will effect the performance of the oscillator.

## Ripple and Noise

Careful consideration should be given to the layout of the PCB, in order that the best results can be obtained.

The DCP01B is a switching power supply and as such can place high peak current demands on the input supply. In order to avoid the supply falling momentarily during the fast switching pulses, ground and power planes should be used to connect the power to the input of DCP01B. If this is not possible, then the supplies must be connected in a star formation with the traces made as wide as possible.

If the SYNC<sub>IN</sub> pin is being used, then the trace connection between device SYNC<sub>IN</sub> pins should be short to avoid stray capacitance. If the SYNC<sub>IN</sub> pin is not being used, it is advisable to place a guard ring (connected to input ground) around this pin to avoid any noise pick up.

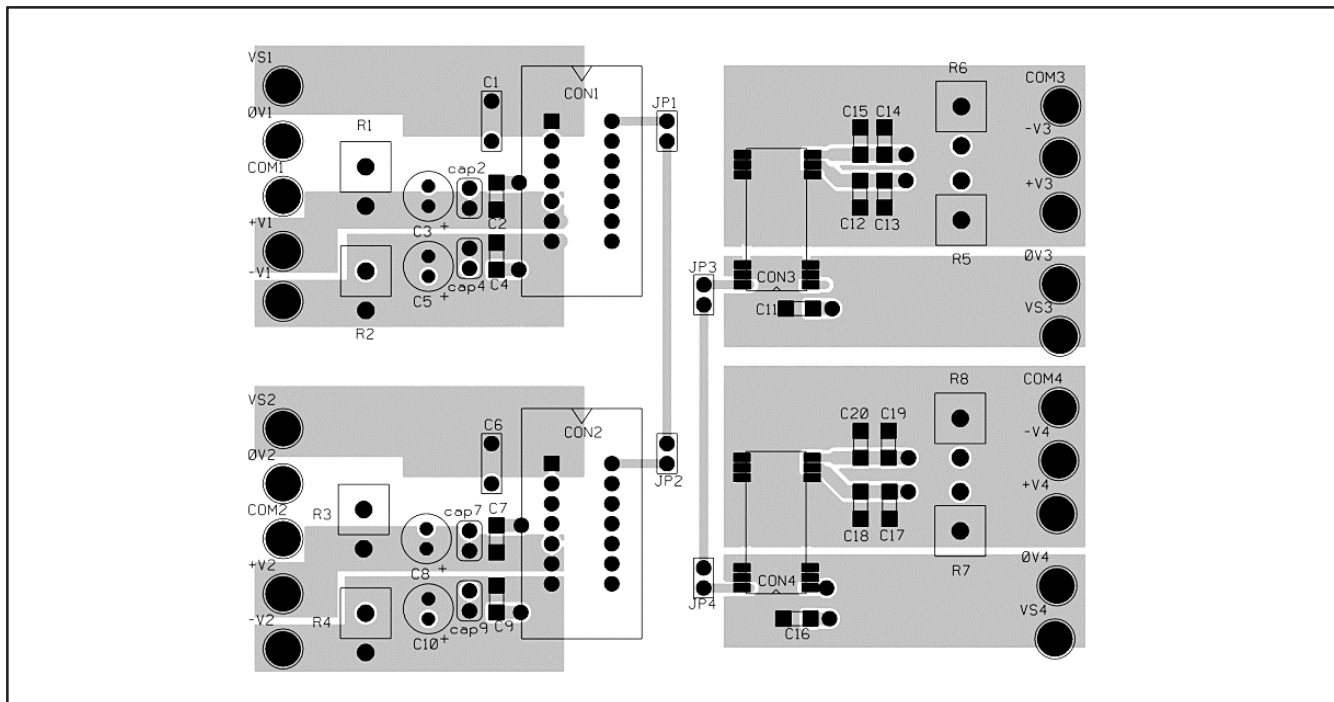
The output should be taken from the device using ground and power planes; this ensures minimum losses.

A good quality low-ESR ceramic capacitor placed as close as practical across the input will reduce reflected ripple and ensure a smooth startup.

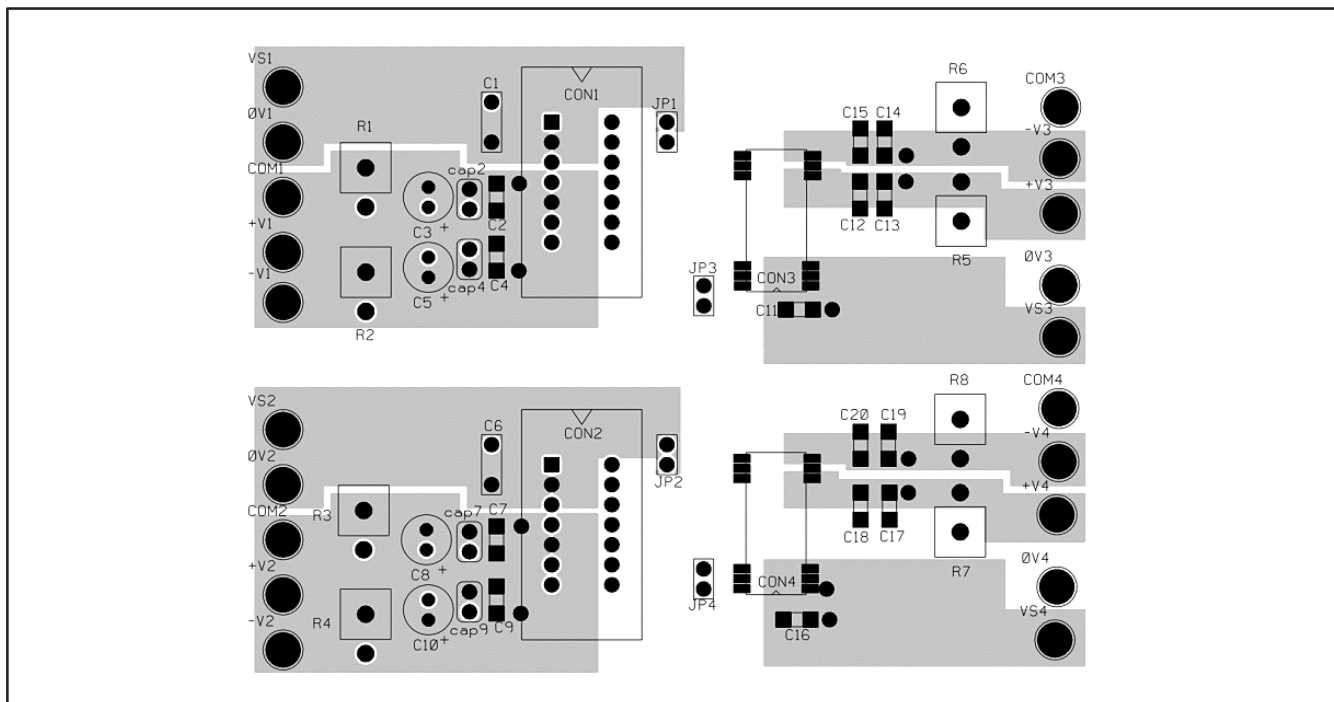
A good quality low-ESR capacitor (ceramic preferred) placed as close as practical across the rectifier output terminal and output ground gives the best ripple and noise performance. See SBVA012 for more information on noise rejection.

## THERMAL MANAGEMENT

Due to the high power density of this device, it is advisable to provide ground planes on the input and output.



**Figure 5. Example of PCB Layout, Component-Side View**



**Figure 6. Example of PCB Layout, Non-component-Side View**

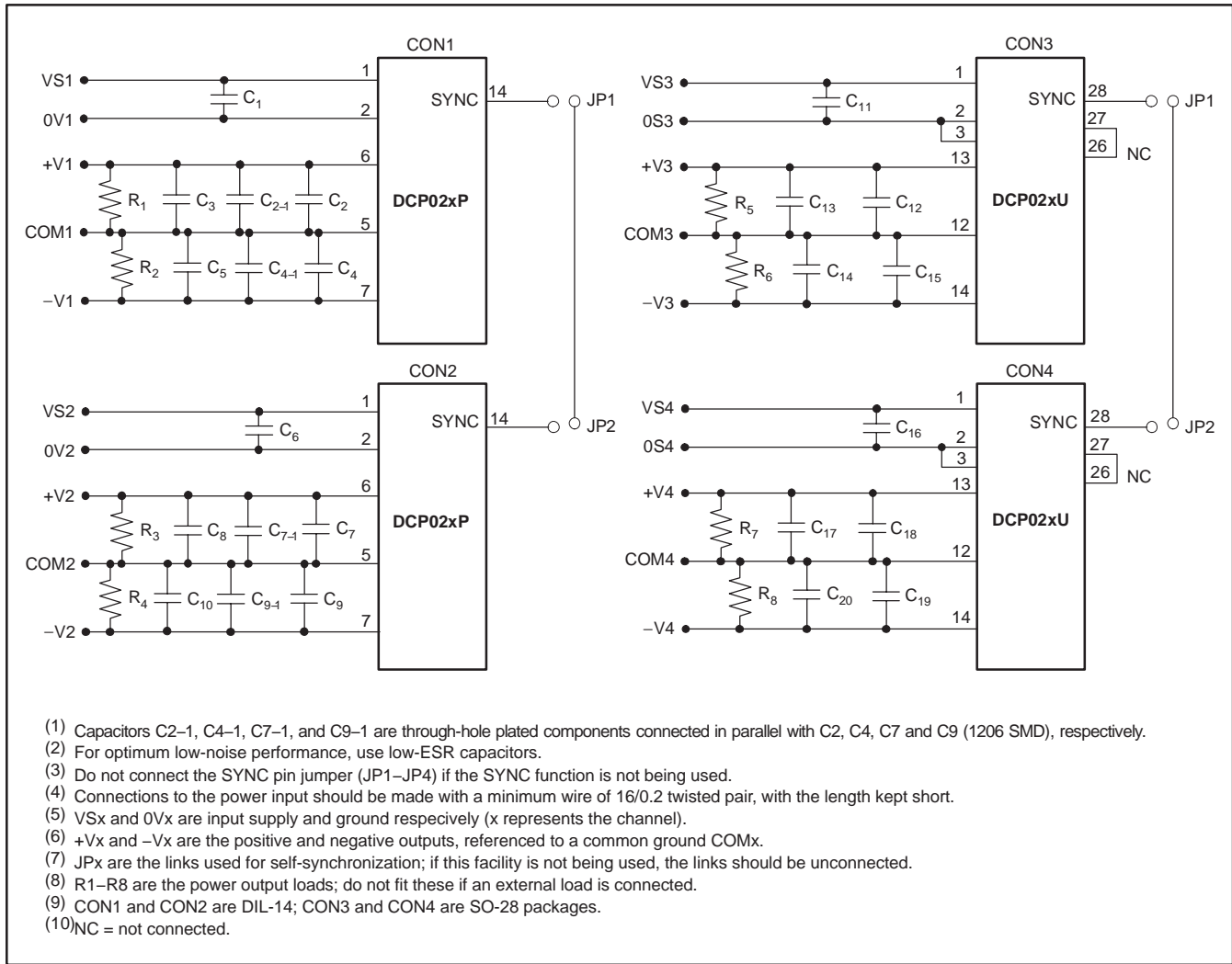


Figure 7. Example of PCB Layout, Schematic Diagram



**PACKAGING INFORMATION**

Orderable Device	Status <sup>(1)</sup>	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan <sup>(2)</sup>	Lead/Ball Finish	MSL Peak Temp <sup>(3)</sup>
DCP010505BP	ACTIVE	PDIP	NVA	7	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
DCP010505BP-U	ACTIVE	SOP	DUA	7	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
DCP010505BP-U/700	ACTIVE	SOP	DUA	7	700	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
DCP010505BP-U/7E4	ACTIVE	SOP	DUA	7	700	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
DCP010505BP-UE4	ACTIVE	SOP	DUA	7	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
DCP010505DBP	ACTIVE	PDIP	NVA	7	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
DCP010505DBP-U	ACTIVE	SOP	DUA	7	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
DCP010505DBP-U/700	ACTIVE	SOP	DUA	7	700	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
DCP010505DBP-U/7E4	ACTIVE	SOP	DUA	7	700	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
DCP010505DBP-UE4	ACTIVE	SOP	DUA	7	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
DCP010507DBP-U/7E4	ACTIVE	SOP	DUA	7	700	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
DCP010507DBP-UE4	ACTIVE	SOP	DUA	7	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
DCP010507DBPE4	ACTIVE	PDIP	NVA	7	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
DCP010512BP	ACTIVE	PDIP	NVA	7	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
DCP010512BP-U	ACTIVE	SOP	DUA	7	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
DCP010512BP-U/700	ACTIVE	SOP	DUA	7	700	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
DCP010512DBP	ACTIVE	PDIP	NVA	7	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
DCP010512DBP-U	ACTIVE	SOP	DUA	7	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
DCP010512DBP-U/700	ACTIVE	SOP	DUA	7	700	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
DCP010512DBPE4	ACTIVE	PDIP	NVA	7	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
DCP010515BP	ACTIVE	PDIP	NVA	7	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
DCP010515BP-U	ACTIVE	SOP	DUA	7	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
DCP010515BP-U/700	ACTIVE	SOP	DUA	7	700	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
DCP010515DBP	ACTIVE	PDIP	NVA	7	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
DCP010515DBP-U	ACTIVE	SOP	DUA	7	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR

Orderable Device	Status <sup>(1)</sup>	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan <sup>(2)</sup>	Lead/Ball Finish	MSL Peak Temp <sup>(3)</sup>
DCP010515DBP-U/700	ACTIVE	SOP	DUA	7	700	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
DCP011512DBP	ACTIVE	PDIP	NVA	7	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
DCP011512DBP-U	ACTIVE	SOP	DUA	7	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
DCP011512DBP-U/700	ACTIVE	SOP	DUA	7	700	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
DCP011515DBP	ACTIVE	PDIP	NVA	7	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
DCP011515DBP-U	ACTIVE	SOP	DUA	7	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
DCP011515DBP-U/700	ACTIVE	SOP	DUA	7	700	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
DCP012405BP	ACTIVE	PDIP	NVA	7	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
DCP012405BP-U	ACTIVE	SOP	DUA	7	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
DCP012415DBP	ACTIVE	PDIP	NVA	7	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
DCP012415DBP-U	ACTIVE	SOP	DUA	7	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
DCP012415DBP-U/700	ACTIVE	SOP	DUA	7	700	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR

<sup>(1)</sup> The marketing status values are defined as follows:

**ACTIVE:** Product device recommended for new designs.

**LIFEBUY:** TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.

**NRND:** Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.

**PREVIEW:** Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.

**OBsolete:** TI has discontinued the production of the device.

<sup>(2)</sup> Eco Plan - The planned eco-friendly classification: Pb-Free (RoHS), Pb-Free (RoHS Exempt), or Green (RoHS & no Sb/Br) - please check <http://www.ti.com/productcontent> for the latest availability information and additional product content details.

**TBD:** The Pb-Free/Green conversion plan has not been defined.

**Pb-Free (RoHS):** TI's terms "Lead-Free" or "Pb-Free" mean semiconductor products that are compatible with the current RoHS requirements for all 6 substances, including the requirement that lead not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, TI Pb-Free products are suitable for use in specified lead-free processes.

**Pb-Free (RoHS Exempt):** This component has a RoHS exemption for either 1) lead-based flip-chip solder bumps used between the die and package, or 2) lead-based die adhesive used between the die and leadframe. The component is otherwise considered Pb-Free (RoHS compatible) as defined above.

**Green (RoHS & no Sb/Br):** TI defines "Green" to mean Pb-Free (RoHS compatible), and free of Bromine (Br) and Antimony (Sb) based flame retardants (Br or Sb do not exceed 0.1% by weight in homogeneous material)

<sup>(3)</sup> MSL, Peak Temp. -- The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

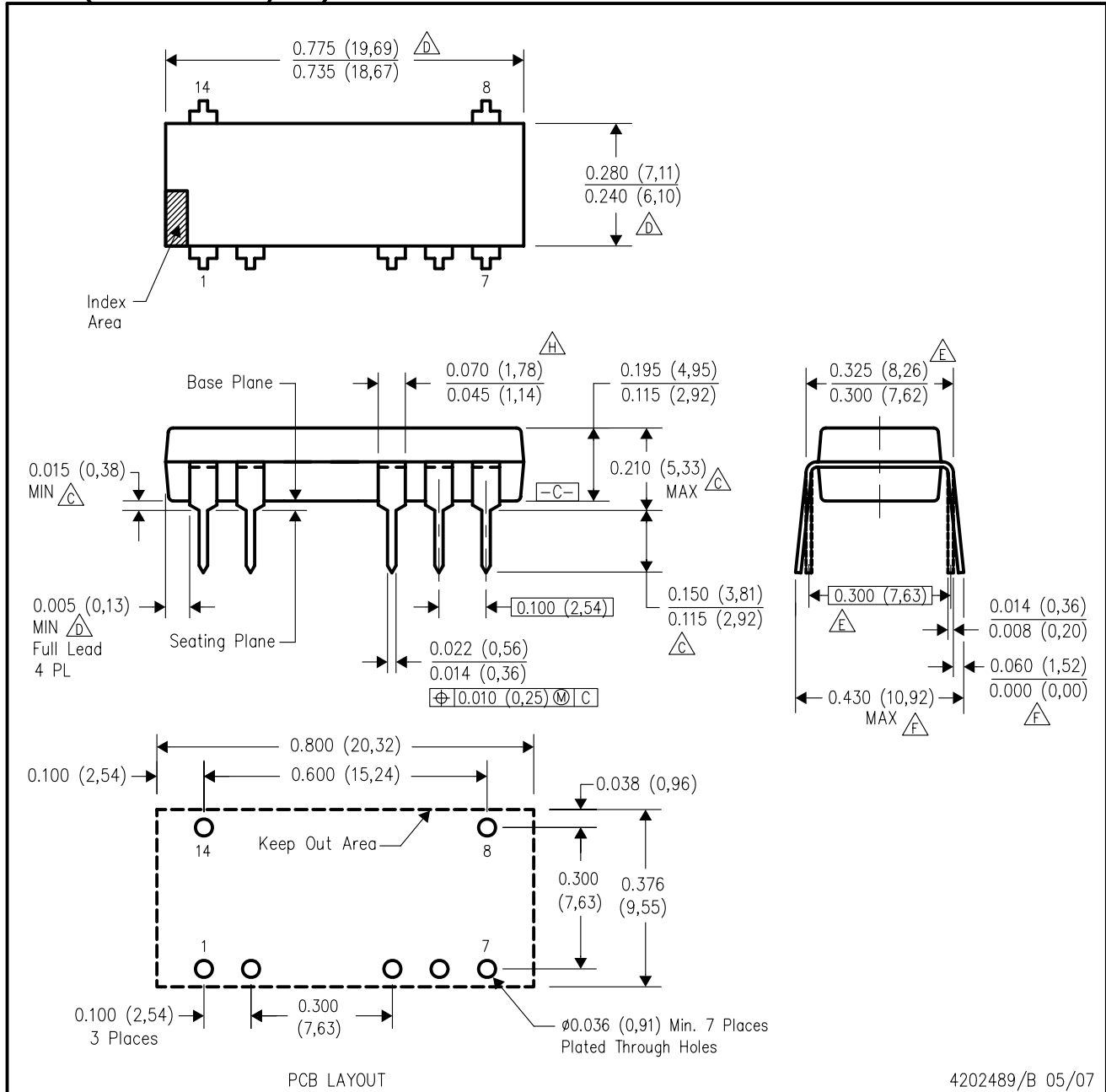
**Important Information and Disclaimer:** The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI

to Customer on an annual basis.

NVA (R-PDIP-T7/14)

PLASTIC DUAL-IN-LINE

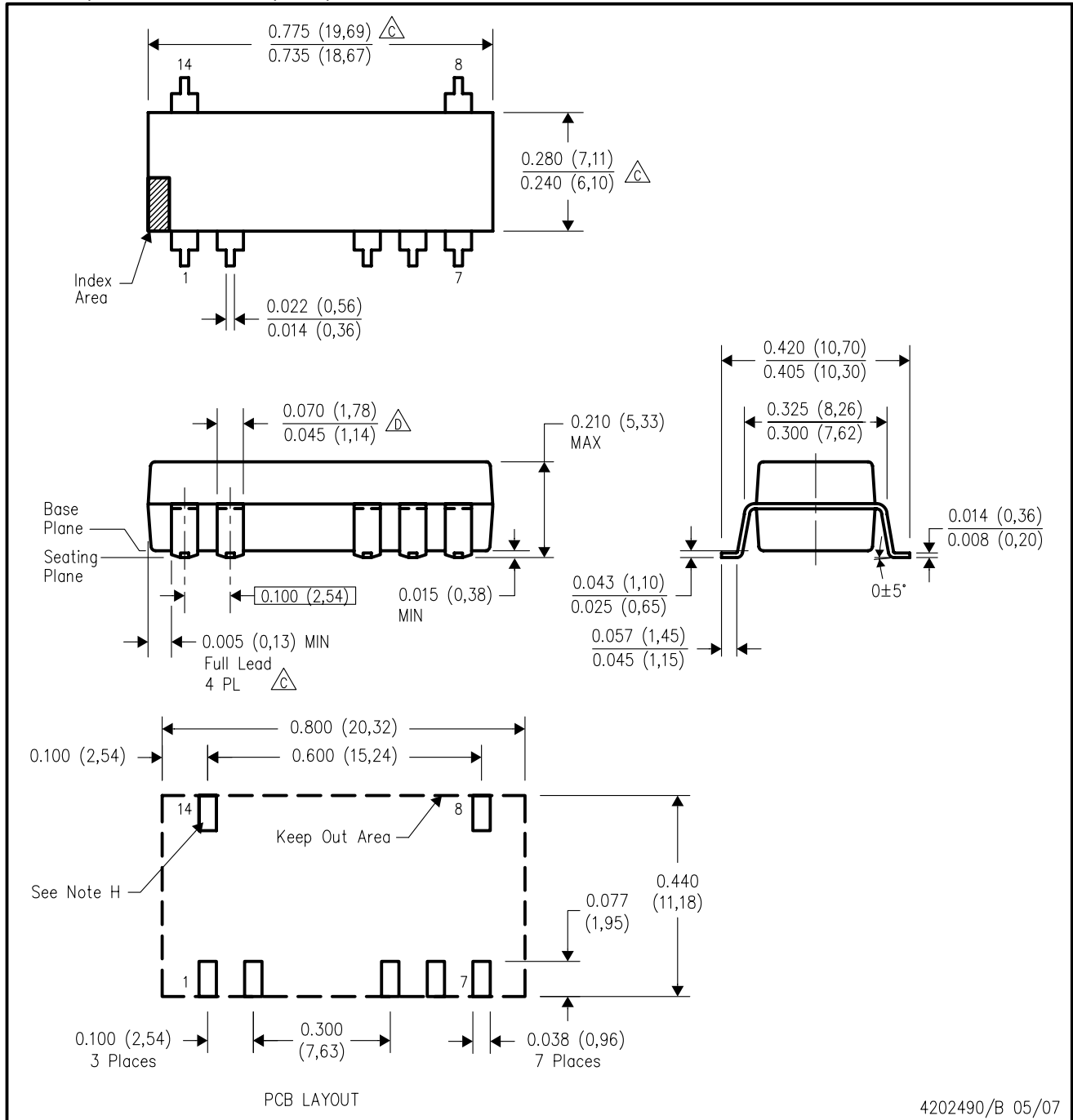


4202489/B 05/07

- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
  - B. This drawing is subject to change without notice.
  - C. Dimensions are measured with the package seated in JEDEC seating plane gauge GS-3.
  - D. Dimensions do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed 0.010 (0,25).
  - E. Dimensions measured with the leads constrained to be perpendicular to Datum C.
  - F. Dimensions are measured at the lead tips with the leads unconstrained.
  - G. Pointed or rounded lead tips are preferred to ease insertion.
  - H. Lead shoulder maximum dimension does not include dambar protrusions. Dambar protrusions shall not exceed 0.010 (0,25).
  - I. Distance between leads including dambar protrusions to be 0.005 (0,13) minimum.
  - J. A visual index feature must be located within the cross-hatched area.
  - K. For automatic insertion, any raised irregularity on the top surface (step, mesa, etc.) shall be symmetrical about the lateral and longitudinal package centerlines.
  - L. Falls within JEDEC MS-001-AA.

DUA (R-PDSO-G7/14)

PLASTIC SMALL-OUTLINE



4202490/B 05/07

- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
  - B. This drawing is subject to change without notice.
  - C. Dimensions do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed 0.010 (0,25).
  - D. Lead shoulder maximum dimension does not include dambar protrusions. Dambar protrusions shall not exceed 0.010 (0,25).
  - E. Distance between leads including dambar protrusions to be 0.005 (0,13) minimum.
  - F. A visual index feature must be located within the cross-hatched area.
  - G. For automatic insertion, any raised irregularity on the top surface (step, mesa, etc.) shall be symmetrical about the lateral and longitudinal package centerlines.
  - H. Power pin connections should be two or more vias per input, ground and output pin.

## IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services at any time and to discontinue any product or service without notice. Customers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All products are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its hardware products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by government requirements, testing of all parameters of each product is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. Customers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with customer products and applications, customers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any TI patent right, copyright, mask work right, or other TI intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license from TI to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of TI information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. Reproduction of this information with alteration is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for such altered documentation. Information of third parties may be subject to additional restrictions.

Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

TI products are not authorized for use in safety-critical applications (such as life support) where a failure of the TI product would reasonably be expected to cause severe personal injury or death, unless officers of the parties have executed an agreement specifically governing such use. Buyers represent that they have all necessary expertise in the safety and regulatory ramifications of their applications, and acknowledge and agree that they are solely responsible for all legal, regulatory and safety-related requirements concerning their products and any use of TI products in such safety-critical applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by TI. Further, Buyers must fully indemnify TI and its representatives against any damages arising out of the use of TI products in such safety-critical applications.

TI products are neither designed nor intended for use in military/aerospace applications or environments unless the TI products are specifically designated by TI as military-grade or "enhanced plastic." Only products designated by TI as military-grade meet military specifications. Buyers acknowledge and agree that any such use of TI products which TI has not designated as military-grade is solely at the Buyer's risk, and that they are solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

TI products are neither designed nor intended for use in automotive applications or environments unless the specific TI products are designated by TI as compliant with ISO/TS 16949 requirements. Buyers acknowledge and agree that, if they use any non-designated products in automotive applications, TI will not be responsible for any failure to meet such requirements.

Following are URLs where you can obtain information on other Texas Instruments products and application solutions:

### Products

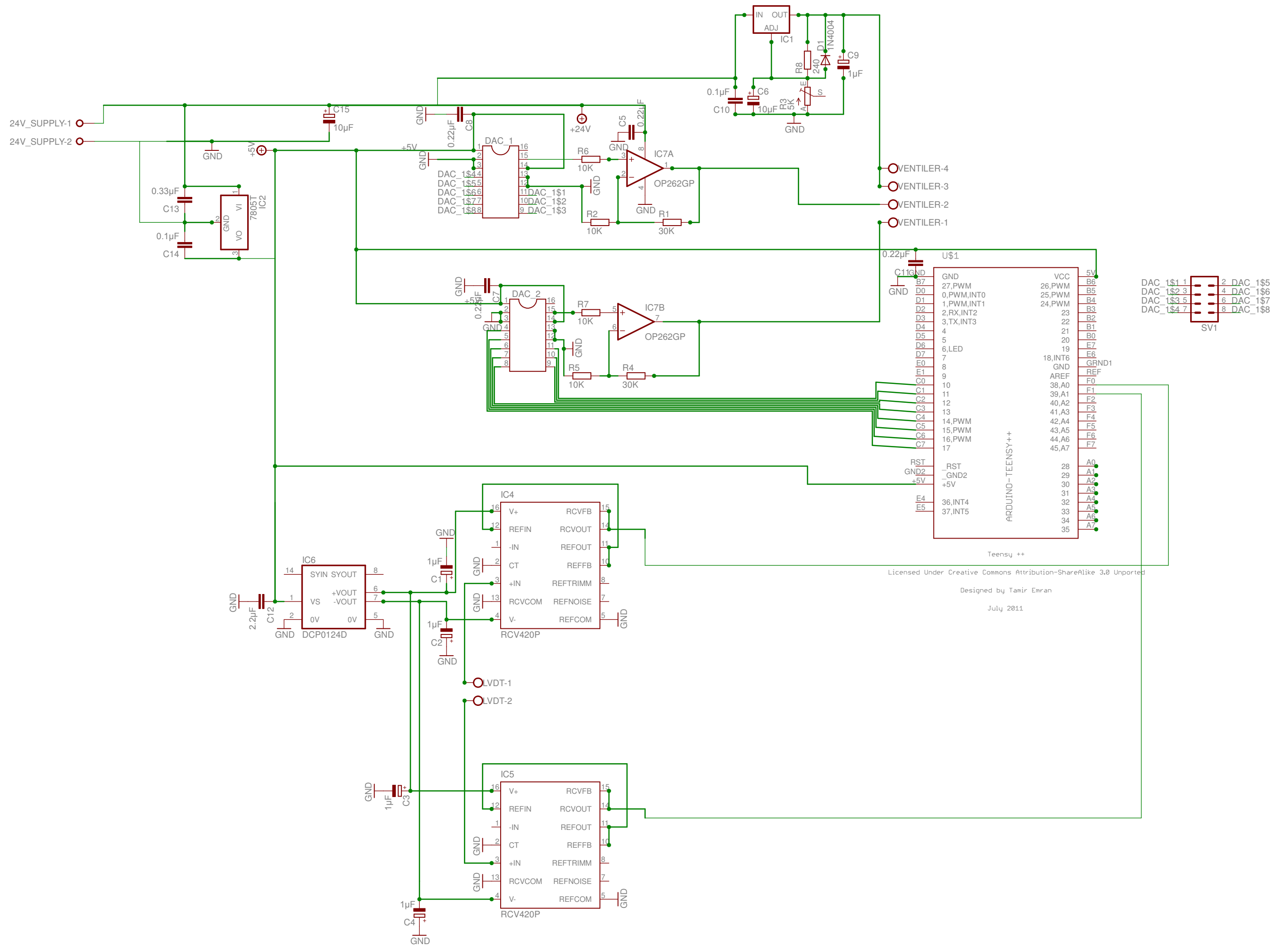
Amplifiers	<a href="http://amplifier.ti.com">amplifier.ti.com</a>
Data Converters	<a href="http://dataconverter.ti.com">dataconverter.ti.com</a>
DLP® Products	<a href="http://www.dlp.com">www.dlp.com</a>
DSP	<a href="http://dsp.ti.com">dsp.ti.com</a>
Clocks and Timers	<a href="http://www.ti.com/clocks">www.ti.com/clocks</a>
Interface	<a href="http://interface.ti.com">interface.ti.com</a>
Logic	<a href="http://logic.ti.com">logic.ti.com</a>
Power Mgmt	<a href="http://power.ti.com">power.ti.com</a>
Microcontrollers	<a href="http://microcontroller.ti.com">microcontroller.ti.com</a>
RFID	<a href="http://www.ti-rfid.com">www.ti-rfid.com</a>
RF/IF and ZigBee® Solutions	<a href="http://www.ti.com/lprf">www.ti.com/lprf</a>

### Applications

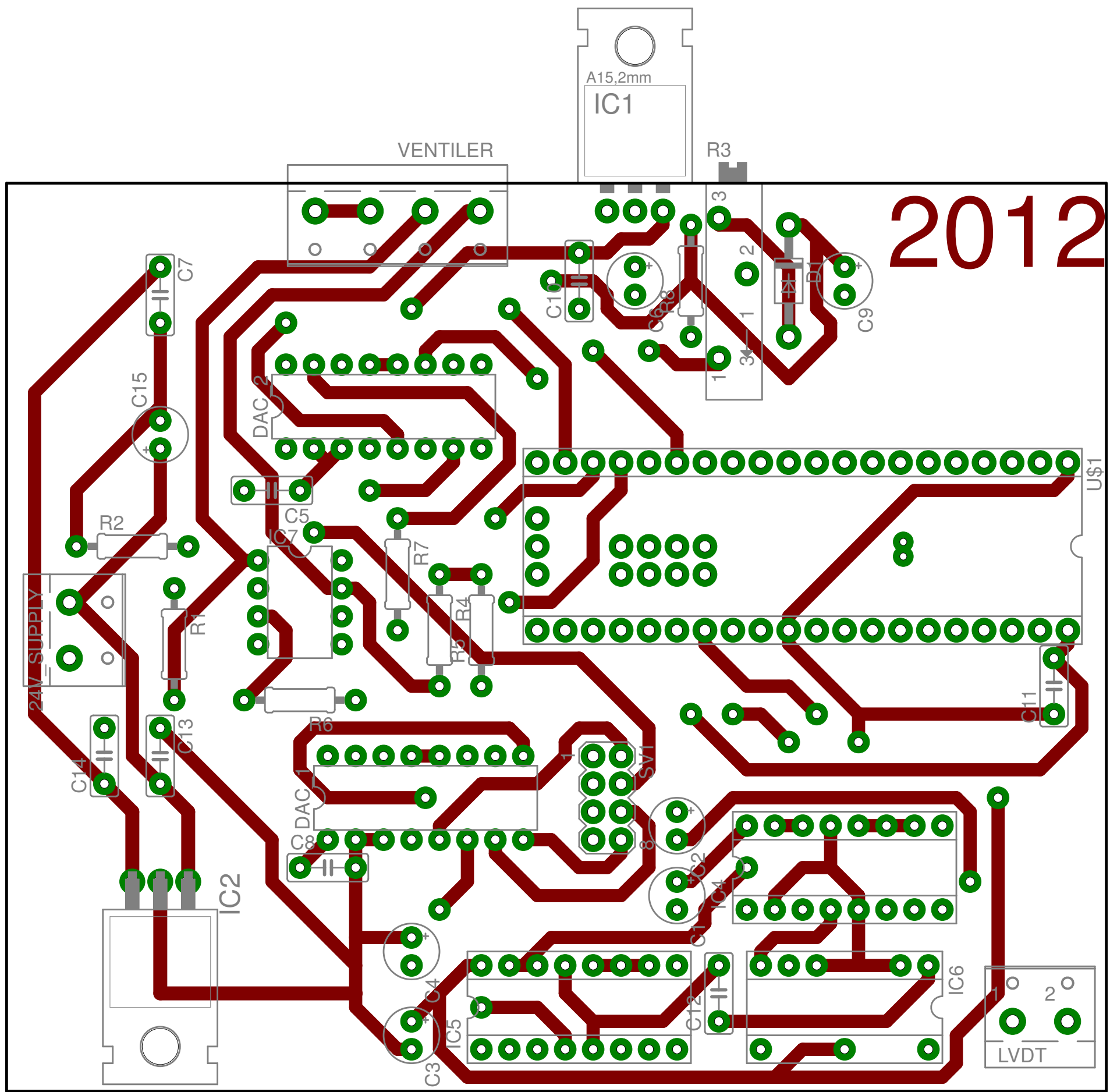
Audio	<a href="http://www.ti.com/audio">www.ti.com/audio</a>
Automotive	<a href="http://www.ti.com/automotive">www.ti.com/automotive</a>
Broadband	<a href="http://www.ti.com/broadband">www.ti.com/broadband</a>
Digital Control	<a href="http://www.ti.com/digitalcontrol">www.ti.com/digitalcontrol</a>
Medical	<a href="http://www.ti.com/medical">www.ti.com/medical</a>
Military	<a href="http://www.ti.com/military">www.ti.com/military</a>
Optical Networking	<a href="http://www.ti.com/opticalnetwork">www.ti.com/opticalnetwork</a>
Security	<a href="http://www.ti.com/security">www.ti.com/security</a>
Telephony	<a href="http://www.ti.com/telephony">www.ti.com/telephony</a>
Video & Imaging	<a href="http://www.ti.com/video">www.ti.com/video</a>
Wireless	<a href="http://www.ti.com/wireless">www.ti.com/wireless</a>

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2009, Texas Instruments Incorporated

Vedlegg Q EagleCad







2012

Vedlegg R    Firmware

# Firmware for Jigg

## Hovedprogram

char dummyvar; // to get Arduino IDE to include core headers properly

```
/*
*****
**
** LVFA_Firmware - Provides Basic Arduino Sketch For Interfacing With LabVIEW.
**
** Written By: Sam Kristoff - National Instruments
** Written On: November 2010
** Last Updated: Mai 2012 - Lææs
**
** This File May Be Modified And Re-Distributed Freely. Original File Content
** Written By Sam Kristoff And Available At www.ni.com/arduino.
**
*****
*/
```

```
// Includes
//*****
// Standard includes
#include "LabVIEWInterface.h"
```

```
// I tillegg trengs følgende biblioteker
#include <PID_v1.h> //PID-regulator
#include <FlexiTimer2.h> //Timestep-interrupt
#include <QueueListEvo.h> //FIFO Lenket liste for kjøremønster. Evo-versjonen kan kjøre
sirkelmønster
//*****
```

```
// setter opp PID:
//*****
//Define Variables we'll be connecting to
double Setpoint_1, Input_1, Output_1, Setpoint_2, Input_2, Output_2;
double p1, p2, i1, i2, d1, d2;
```

```
//Specify the links and initial tuning parameters
PID PID_1(&Input_1, &Output_1, &Setpoint_1,0.5,0,0, DIRECT);
PID PID_2(&Input_2, &Output_2, &Setpoint_2,0.5,0,0, DIRECT);
//*****
```

```
// Kjøremønsterinfo
//*****
```

```

//setter opp tidsvariabler
int Step;

//setter opp 3 lister for inndata
QueueListEvo <unsigned int> syl_1;
QueueListEvo <unsigned int> syl_2;
QueueListEvo <unsigned int> time;
//*****

// Øvrige variabler
//*****

const int StateSelectPin = 4; //Inngangen det detekteres forandring på. På vårt kort er dette inngang
4
boolean init=false;
boolean startpos=false;
boolean i_pos=false;

//Variabler til manuell styring fra labVIEW
int man_1=128;
int man_2=128;

//*****

// Midling
//*****
const int numReadings = 20;

int readings_1[numReadings]; // the readings from the analog input
int index = 0; // the index of the current reading
int total_1 = 0; // the running total
int average_1 = 0; // the average

int readings_2[numReadings]; // the readings from the analog input
int total_2 = 0; // the running total
int average_2 = 0; // the average

void setup()
{
// Initialize Serial Port With The Default Baud Rate
syncLV();

// Setter opp midling
for (int thisReading = 0; thisReading < numReadings; thisReading++)
{
readings_1[thisReading] = 0;
readings_2[thisReading] = 0;
}
}

```

```

}

//Initialiserer inngang for statevelger
pinMode(StateSelectPin, INPUT);

// Setter utporter til DAC'ene for Teensy++ MCU
DDRA=0xFF; //DAC_1
DDRC=0xFF; //DAC_2

//      setter opp PID'ene:
//*****
//initialize the variables we're linked to
Input_1 = analogRead(38);
Input_2 = analogRead(39);
Setpoint_1 = 150;
Setpoint_2 = 150;

//turn the PID on
PID_1.SetMode(AUTOMATIC);
PID_1.SetSampleTime(5);
PID_2.SetMode(AUTOMATIC);
PID_2.SetSampleTime(5);

PID_1.SetOutputLimits(-128, 127);
PID_2.SetOutputLimits(-128, 127);

//*****

//      setter opp interrupttimer
//*****
Step=1;
FlexiTimer2::set(Step, 1.0/1000, NestePt);
//*****

pinMode(6, OUTPUT); //debuggingslys
}

//*****

//OPPSETT FERDIG! NÅ KAN PROGRAMLOOPEN STARTE!

//*****

void loop()
{
//Reguleringsstate

```

```

if(digitalRead(StateSelectPin)==LOW && !time.isEmpty()) //State-bryter koblet
{

    // Midling
    //*****
    // subtract the last reading:
    total_1 = total_1 - readings_1[index];
    // read from the sensor:
    readings_1[index] = analogRead(38);
    // add the reading to the total:
    total_1 = total_1 + readings_1[index];

    // subtract the last reading:
    total_2 = total_2 - readings_2[index];
    // read from the sensor:
    readings_2[index] = analogRead(39);
    // add the reading to the total:
    total_2 = total_2 + readings_2[index];
    // advance to the next position in the array:
    index = index + 1;

    // if we're at the end of the array...
    if (index >= numReadings)
        // ...wrap around to the beginning:
        index = 0;

    // calculate the average:
    Input_1 = total_1 / numReadings;
    Input_2 = total_2 / numReadings;
    //*****

    //starter interruptet
    if(!init && i_pos)
    {
        FlexiTimer2::start();
        init=true;
    }

    //Input_1 = analogRead(38);
    //Input_2 = analogRead(39);

    if (i_pos){
        PID_1.Compute();
        PID_2.Compute();

        DAC_1(128+Output_1);
        DAC_2(128+Output_2);
        digitalWrite(6, HIGH);
    }
}

```

```

}

else {
  if(!startpos){ //henter første referansepunkt
    NestePt();
    startpos=true;
  }
  DAC_1(128-(Input_1-Setpoint_1)*0.05); //kjører til første referansepunkt med lav gain
  DAC_2(128-(Input_2-Setpoint_2)*0.05);
  digitalWrite(6, LOW);

  if(abs(Input_1-Setpoint_1)<25 && abs(Input_2-Setpoint_2)<25) //sjekker om referansepunktet er
nådd
  i_pos=true;
}

checkForCommand(); // Check for commands from LabVIEW and process them.

}
//Nytt kjøremønster/manuell kjøring-state

else //state-bryter åpen
{
  if(init)
  {
    FlexiTimer2::stop();
    init=false;
    startpos=false;
    i_pos=false;
    digitalWrite(6, LOW);
  }

  //Legger utgangene til verdier fra labVIEW
  DAC_1(man_1);
  DAC_2(man_2);

  checkForCommand(); // Check for commands from LabVIEW and process them.

}
}

//*****
*****

// Tilleggsfunksjoner

```

```

//*****
void DAC_1(unsigned char data)
{
    PORTA = data;
}

void DAC_2(unsigned char data)
{
    PORTC = data;
}

void NestePt()
{
    /*****
    Her gis det en ny posisjonsreferanse til regulatoren samt
    tiden det skal ta å kjøre til det oppgitte punktet. Man må
    derfor bruke diff-kommandoen i MATLAB på tidskoden slik at man
    får tiden til neste step. Første punk gis en lengre tid,
    f.eks. 5 sekunder slik at riggen står klar i startposisjon. Merk at tiden skal være i ms!

    -Setpoint_1 er x-akse (framover/bakover)

    -Setpoint_2 er lokal z-akse (opp og ned)

    -For å få samme skalering ganges x-aksen med 2.87 og z-aksen med 3.13

    -For å kompensere for offset trekkes det fra 137 på x-aksen og 85 på z-aksen

    *****/

    //Aktuell posisjon posisjon:

    Setpoint_1 = 137+(2.87*syl_1.les());
    Setpoint_2 = 85+(3.13*syl_2.les());

    //antall ms til neste punkt, oppdaterer timeren
    Step=time.les();
    FlexiTimer2::set(Step, 1.0/1000, NestePt);

    if(init){
        FlexiTimer2::start();
    }
}
//*****

```





```

void setMode(int mode);

/*****
** checkForCommand
**
** Checks for new commands from LabVIEW and processes them if any exists.
**
** Input: None
** Output: 1 - Command received and processed
**        0 - No new command
*****/
int checkForCommand(void);

/*****
** processCommand
**
** Processes a given command
**
** Input: command of COMMANDLENGTH bytes
** Output: 1 - Command received and processed
**        0 - No new command
*****/
void processCommand(unsigned char command[]);

/*****
** checksum_Compute
**
** Compute Packet Checksum
**
** Input: Command Packet
** Output: Char Checksum Value
*****/
unsigned char checksum_Compute(unsigned char command[]);

/*****
** checksum_Test
**
** Compute Packet Checksum And Test Against Included Checksum
**
** Input: Command Packet
** Output: 0 If Checksums Are Equal, Else 1
*****/
int checksum_Test(unsigned char command[]);

void lcd_print(unsigned char command[]);

```



```

// Determine Command
if(command[0] == 0xFF && checksum_Test(command) == 0)
{
  switch(command[1])
  {

/*****
** LIFA Maintenance Commands
*****/

case 0x00: // Sync Packet
  Serial.print("sync");
  Serial.flush();
  break;
case 0x01: // Flush Serial Buffer
  Serial.flush();
  break;

/*****
**Kjøremønstermottaker
*****/

case 0x02: //egen blokk

  time.push((command[2] << 8)+command[3]);
  syl_1.push((command[4] << 8)+command[5]);
  syl_2.push((command[6] << 8)+command[7]);
  Serial.write('0');
  break;

/*****
**Kjøremønstersletter
*****/

case 0x03: //egen blokk

  time.~QueueListEvo();
  syl_1.~QueueListEvo();
  syl_2.~QueueListEvo();
  Serial.write('0');
  break;

/*****
**PID-parametere
*****/

case 0x04: //egen blokk
  p1 = command[2];
  p2 = command[3];

```

```
i1 = command[4];
i2 = command[5];
d1 = command[6];
d2 = command[7];
```

```
p1 = p1/100;
p2 = p2/100;
i1 = i1/100;
i2 = i2/100;
d1 = d1/100;
d2 = d2/100;
```

```
PID_1.SetTunings(p1, i1, d1);
PID_2.SetTunings(p2, i2, d2);
```

```
Serial.write('0');
break;
```

```
/******
**Manuell kjøring
```

```
*****/
case 0x05: //egen blokk
```

```
man_1 = command[2];
man_2 = command[3];
```

```
retVal = Setpoint_2;
Serial.write((retVal >> 8));
Serial.write((retVal & 0xFF));
delay(1);
retVal = Input_2;
Serial.write((retVal >> 8));
Serial.write((retVal & 0xFF));
```

```
break;
```

```
/******
** Unknown Packet
```

```
*****/
default: // Default Case
Serial.flush();
break;
}
```

```

}
else{
    // Checksum Failed, Flush Serial Buffer
    Serial.flush();
}
}

/*****
** Functions
*****/

// Synchronizes with LabVIEW and sends info about the board and firmware (Unimplemented)
void syncLV()
{
    Serial.begin(DEFAULTBAUDRATE);
    Serial.flush();
}

// Compute Packet Checksum
unsigned char checksum_Compute(unsigned char command[])
{
    unsigned char checksum;
    for (int i=0; i<(COMMANDLENGTH-1); i++)
    {
        checksum += command[i];
    }
    return checksum;
}

// Compute Packet Checksum And Test Against Included Checksum
int checksum_Test(unsigned char command[])
{
    unsigned char checksum = checksum_Compute(command);
    if(checksum == command[COMMANDLENGTH-1])
    {
        return 0;
    }
    else
    {
        return 1;
    }
}

```

## Vedlegg S Oppgavebeskrivelse

# Utvikling av styresystem, metoder og utstyr for testing av produkter til fritidsbåter

*Masteroppgave ved UiA, våren 2012*

## Stikkord

Fritidsbåter, Belastning, Bølgebevegelse, Simulering, vindskjerm, utstyrsvedlegg, Grensesnitt, sloshing

## Om prosjektet

Dette masterprosjektet er et samarbeidsprosjekt mellom Ertec og UiA. I et tidligere prosjekt ved UiA har en rigg for simulering av hvordan en fritidsbåt oppfører seg til sjøs blitt bygd. Vår oppgave er å ferdigstille, samt lage et kontrollsystem for denne riggen. Det skal være mulig å forandre på bevegelsen for å simulere forskjellige båttyper og bølgestørrelser. Hensikten er å kunne avdekke ulyder og svakheter ved produkter beregnet for fritidsbåter.

## Oppgaver

- **Kontrollsystem**
  - Være i stand til å kontrollere de hydrauliske sylindrene slik at de gjenskaper en båt i bevegelse i bølger. I første omgang data fra kjøring med en 6m lang Askeladden båt
  - Utvide systemet slik at det gjenskaper bevegelser for ulike båttyper og bølgetyper
- **Brukergrensesnitt**
  - Skal være lett å bruke og forstå
- **Mekanisk/hardware**
  - Fullføre sammensetning av riggen
  - Koble opp det hydrauliske systemet
  - Montere posisjonssensorer
  - Få systemet til å fungere med LabView
  - Lage innfestningsmetoder og mekaniske enheter for å feste ulike typer produkter på riggen. (vindskjermer, dører, etc..)
- **Testing**
  - Se at riggen skaper de samme belastningene som ville inntruffet i praksis.
  - Innhente måledata fra flere forskjellige båtstørrelser som testes mot beregnede test senarioer
  - Teste den på forskjellige produkter fra Ertec

## Forutsetninger/ Avgrensninger

Bruker den allerede påbegynte riggen

Programmeringen vil foregå i LabView

Båtstørrelsene vil bli i området 6m til 20m