

Bjørnar Mogård
Erik Sivertsen
Jørgen By Trøen
Vinzenc Schöberle
Øyvind Lysfoss Skjeggestad

Soft- og hardwareutvikling av unikt utstyr for materialkarakterisering i scanning electron microscope (SEM)

E2227

Bacheloroppgave i Elektroingeniør
Veileder: Olav Aleksander Myrvang
Mai 2022

Bjørnar Mogård
Erik Sivertsen
Jørgen By Trøen
Vinzenz Schöberle
Øyvind Lysfoss Skjeggestad

Soft- og hardwareutvikling av unikt utstyr for materialkarakterisering i scanning electron microscope (SEM)

E2227

Bacheloroppgave i Elektroingeniør
Veileder: Olav Aleksander Myrvang
Mai 2022

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for informasjonsteknologi og elektroteknikk
Institutt for elektroniske systemer



Kunnskap for en bedre verden

Oppgavetittel (norsk og engelsk): Soft- og hardwareutvikling av unikt utstyr for materialkarakterisering i scanning elektronmikroskop (SEM) Soft- and hardware development of unique equipment for materials characterization in scanning electron microscope (SEM)	
Forfattere: Bjørnar Mogård (BM) bjormog@stud.ntnu.no Erik Sivertsen (ES) eriksive@stud.ntnu.no Jørgen By Trøen (JBT) jorgebt@stud.ntnu.no Vinzenz Schöberle (VS) vinzenzs@stud.ntnu.no Øyvind Lysfoss Skjeggestad (ØLS) oyvindls@stud.ntnu.no	Prosjektnummer: E2227 Innleveringsdato: 20.05.2022 Gradering: <input checked="" type="checkbox"/> åpen <input type="checkbox"/> lukket
Studium:	Elektroingeniør (BIELEKTRO)
Studieretning:	Elektronikk og Sensorsystemer (BM, VS) Automatisering og Robotikk (ES, JBT, ØLS)
Veileder internt:	Olav Aleksander Myrvang Olav.myrvang@ntnu.no
Institutt:	Institutt for Elektroniske Systemer
Oppdragsgiver:	NTNU/Institutt for Materialteknologi
Kontaktperson:	Prof. Jarle Hjelen Jarle.hjelen@ntnu.no
Sammendrag (norsk og engelsk): Rapporten omfatter fornyelse og utvikling av styreelektronikk, og utvikling av brukergrensesnitt til et materialstrekkbord som benyttes i et vakuumkammer sammen med et scanning elektronmikroskop (SEM). Dagens system er skjørt og benytter et utdatert operativsystem, og må derfor fornyes i henhold til mer moderne teknologi samtidig som funksjonaliteten ivaretas. Resultatet av prosjektet er et system som innehar de grunnleggende funksjonene fra det gamle, med forslag til forbedringer og videreutvikling. Rapporten er ment til å fungere som veiledning for brukere av utstyret, og som dokumentasjon og referanse for vedlikehold og eventuell videreutvikling. This thesis covers the renewal and development of an electronic control system, as well as developing a user interface used in the process of tensile testing of materials alongside a scanning electron microscope (SEM). Today's system uses an outdated operating system and therefore needs to be updated in accordance with modern technologies, while maintaining the same functionality. The result of the project is a system which contains the basic functionality of the previous, with recommendations for further improvements and development. The report is meant to function as guidance to users of the equipment, and as documentation and reference for maintenance and any future development.	
Stikkord norsk: Materialteknologi Strekkprøving	Stikkord engelsk: Materials science Tensile testing

Forord

Oppgaven representerer det avsluttende arbeidet for treårig elektroingeniør utdanning ved NTNU, og er skrevet av studenter ved studieretningene automasjon & robotikk og elektronikk & sensorsystemer. Oppgaven er gitt av elektronmikroskopi-laboratoriet ved institutt for materialteknologi, og er veiledet av institutt for elektroniske systemer. Målet med rapporten er å gi innsikt i bakgrunn, gjennomføring og resultat av arbeidet som er utført, og vil fungere som referanse for bruk av det utviklede systemet.

Prosjektet har vært en givende og lærerik erfaring som har gitt stor innsikt i produktutvikling og utøvelse av ingeniøryrket. Det har også vært god erfaring innen gruppe- og tverrfaglig arbeid. Vi håper resultatet av oppgaven vil være til hjelp for forskningsarbeid og utdanning ved institutt for materialteknologi, og at resultatet møter oppdragsgivers forventninger til prosjektet.

Vi vil rette en takk til Mekanisk verksted og Elprolabben ved institutt for elektroniske systemer for bistand med den praktiske utførelsen av oppgaven. Vi vil også takke veileder Olav Aleksander Myrvang og oppdragsgiver Jarle Hjelen for godt samarbeid og veiledning gjennom prosjektet. Til slutt vil vi takke Sergey Khromov og Pål Christian Skaret ved institutt for materialteknologi for tålmodig bistand og oppfølging av oppgaven.

Innhold

Forord	2
Forkortelser	6
1 Innledning	7
1.1 Unikt utstyr	7
1.2 Utstyrets tilstand	8
1.3 Problemstilling	8
1.4 Mål for prosjektet	9
1.5 Rapportens oppbygging	9
2 Teori	10
2.1 Strekkprøving	10
2.2 Differensialtransformator, LVDT	12
2.3 Lastcelle	13
2.4 Sigma-Delta modulator, ADC	15
2.5 Qt	17
3 Metodikk	18
3.1 Komponentvalg og implementering	18
3.1.1 Signalbehandler, LVDT	18
3.1.2 ADC	19
3.1.3 Instrumenteringsforsterker – Lastcelle & LVDT	19
3.1.4 Motorkontroller	20
3.1.5 Mikrokontroller	21
3.1.6 Strømforsyning	21
3.2 Kretskortdesign og innhousing	23
3.2.1 Altium	23
3.2.2 Innhousing	25
3.2.3 Kabeloppsett & Koblings skjema	26
3.3 Mikrokontroller programmering	26
3.3.1 UART	26
3.3.2 SPI	27
3.3.3 PWM	28
3.4 Kalibrering	30
3.4.1 Lastcelle	30
3.4.2 LVDT	32
3.4.3 Motorkontroller	33
3.5 Brukergrensesnitt	34
3.5.1 Design & funksjonalitet	35
3.5.2 Databehandling	38
3.6 Beregninger av strekkfragment	38
4 Resultater	41
4.1 Sluttprodukt	41

4.1.1	Instrumentboks & styrekrets	41
4.1.2	Datamaskin-programvare	42
4.2	Nøyaktighet og presisjon	43
4.2.1	Sammenlikning med eksisterende utstyr	43
4.2.2	Hastighetsregulering	43
4.2.3	Støy	44
5	Diskusjon	46
5.1	Prosjektplan og gjennomføring	46
5.1.1	Prosjektleveranser	46
5.1.2	Tidsforbruk	46
5.1.3	Budsjett	47
5.2	Fremtidig utvikling	47
6	Konklusjon	50
	Referanser	51
	Vedlegg A Kretstegning	52
	Vedlegg B Kabeloversikt	55
	Vedlegg C Utregning av komponenter LVDT	57
	Vedlegg D Komponentliste	59
	Vedlegg E Orginale dokumenter	61
	Vedlegg F A3 Poster	64
 Figurer		
1.1	Strekkbord	7
1.2	Kontrollenhet	8
1.3	Grensesnitt	9
2.1	Typisk utvikling av et plot for spenning og tøyning	10
2.2	LVDT karakteristikk	12
2.3	Dynamikk i strekklapp	13
2.4	Komplett Wheatstonebro	14
2.5	Strekklappene fysisk montert i forhold til kraftretningen	15
2.6	Lav og høyfrekvent tasing av målesignal	16
3.1	Oppkobling av lastcelle	20
3.2	Instrumentboksens sikringer	22
3.3	Komponentinndeling	24
3.4	Instrumentboksens oppsett, monteringsplate og skjerming (Dimensjon: <i>mm</i>)	25
3.5	SPI timing diagram	28
3.6	PWM timing diagram	29
3.7	Illustrasjon av justering for lastcelle	31

3.8	Kalibrering av lastcelle	32
3.9	Kalibrering av posisjonssensor	33
3.10	Reguleringsstruktur	33
3.11	Autotuning motorkontroller (ESCON Studio)	34
3.12	Grensesnitt	35
3.13	Geometri dialog	36
3.14	Advarselsdialog	37
3.15	Elementmetoden i <i>Solidworks</i>	39
3.16	Sann og engineering spenning	40
4.1	Instrumentboks	41
4.2	Sammenlikning av strekkprøving	43
4.3	Belastet strekkhastighet	44
4.4	Statistiske støymålinger	45
5.1	S-diagram	46
5.2	Tidsforbruk per person	47
5.3	Jording av strekkbord	48
5.4	Forslag til lastcelle kalibrering	48
5.5	Forslag til hastighetsregulering	48

Tabeller

3.1	Beregning av banetykkelse for kretskort	22
3.2	Registerkonfigurasjon, Atmega4809, UART	27
3.3	Registerkonfigurasjon, Atmega4809, SPI	28
3.4	Registerkonfigurasjon, Atmega4809, PWM	29
4.1	Funksjonsbeskrivelser for brukergrensesnitt	42

Forkortelser

AC Alternating current.

ADC Analog to Digital Converter.

ASCII American Standard Code for Information Interchange.

CSV Comma-Separated Values.

DC Direct current.

GUI Graphical User Interface.

ISR Interrupt Service Routine.

LSB Least Significant Bit.

LVDT Linear Variable Differential Transformer.

MC Motor Controller.

MISO Main In Subnode Out.

MOSI Main Out Subnode In.

MSB Most Significant Bit.

PCI Peripheral Component Interconnect.

PSU Power Supply Unit.

PWM Pulse Width Modulation.

RMS Root Mean Square.

SEM Scanning Electron Microscope.

SPI Serial Peripheral Interface.

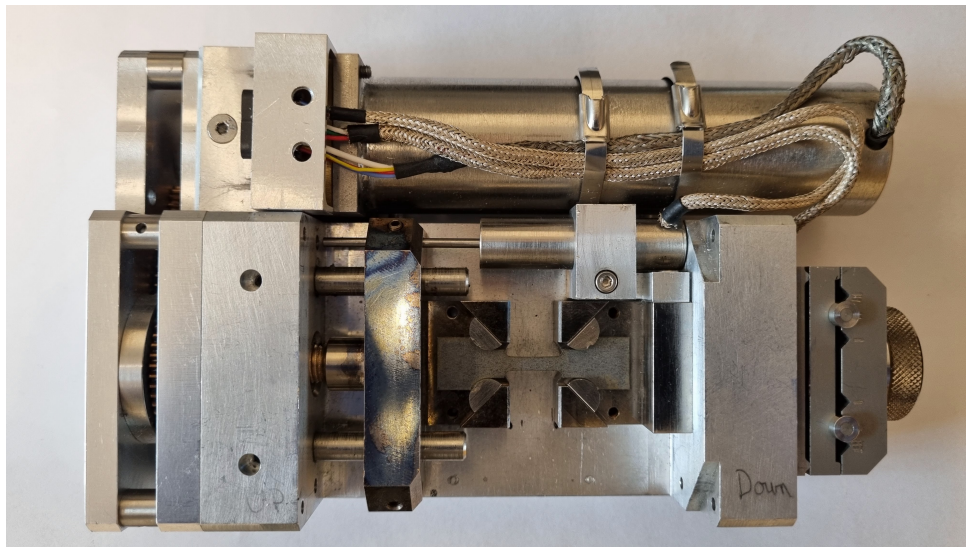
UART Universal Asynchronous Receiver-Transmitter.

USB Universal Serial Bus.

1 Innledning

1.1 Unikt utstyr

Elektron-mikroskopilaboratoriet ved institutt for materialteknologi på NTNU leverer mikroskopi tjenester for materialvitenskap, og har syv avanserte elektronmikroskop med oppløsning ned til 0.2 mikrometer. Tidlig på 2000-tallet gikk instituttet til innkjøp av spesiallaget utstyr for materialkarakterisering i Scanning Electron Microscope (SEM), levert av en fransk forskningsgruppe. Utstyret består av et strekkbord som monteres i vakuumkammer, strømforsyning/kontrollenhet, og tilhørende PC-programvare. Hensikten med strekkbordet er å kunne gjennomføre in-situ undersøkelser av materialer i SEM, og brukes av studenter og forskere ved instituttet blant annet til å undersøke mekanisk styrke til legeringer. Strekkbordet består av en DC børstemotor som gjennom et drivverk utøver kraft på en materialprøve, en strekkklappbasert lastcelle som måler kraften som blir utøvd, og en LVDT posisjonsgiver som brukes til å måle forlengingen av materialet. Det som skiller dette strekkbordet fra annet liknende utstyr er at størrelsen gjør det mulig å montere det inne i et vakuumkammer slik at materialprøven kan undersøkes med elektronmikroskop under strekking for å studere hvordan strukturen i metallet påvirkes underveis.



Figur 1.1: Strekkbord

Utstyret ble utviklet og patentert [1] i Frankrike på 90-tallet. I patenten er det oppgitt at motoren er koblet til strekkhodene gjennom to reduksjonsgir med en kombinert girutveksling på 1:3000. Motoren er hastighetsregulert med tilbakekobling gjennom en DC-turteller, og kan produsere en strekkhastighet på 0.01 - 30 $\mu\text{m/s}$. Lastcellen er oppgitt til å ha en nominell lastkapasitet på 10 kN, men kan tillatelig overbelastes til 15 kN. Posisjonsgiveren er ikke beskrevet i patenten, men det er oppgitt at strekkbordet har et arbeidsområde på 30 mm.

1.2 Utstyrets tilstand



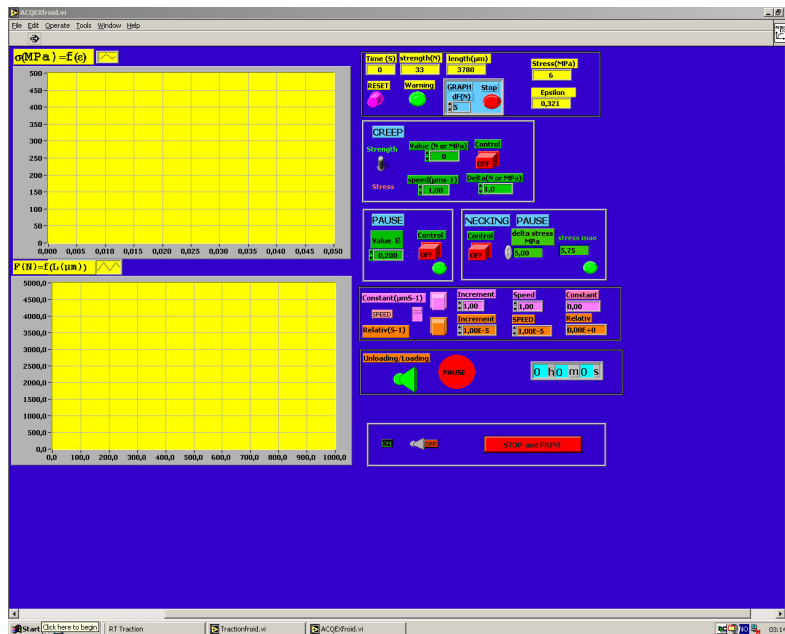
Figur 1.2: Kontrollenhet

Styresystemet (kontrollenhet og pc-programvare) har ikke blitt oppdatert siden utstyret var nytt, og er basert på utdaterte komponenter som er vanskelige å erstatte dersom det skulle oppstå feil på utstyret. Programvaren kjører på en PC med operativsystemet Windows 2000, og er basert på en utdatert versjon av LabVIEW som ikke lenger støttes på moderne operativsystemer. Koblingen mellom kontrollenheten og PC går gjennom et National Instruments PCI kort, og ettersom at PCI ikke lenger er i bruk på moderne datamaskiner må det spesialkomponenter til for å overføre systemet dersom det skulle bli nødvendig. Til kontrollenheten finnes det ingen dokumentasjon, som kretstegninger eller komponentoversikter, og det vil derfor være svært tidkrevende å utføre vedlikehold eller reparasjoner på utstyret. Utstyret benytter også spesiallagde D-Sub kabler og kontakter som er svært skjøre og ofte krever reparasjon.

1.3 Problemstilling

Instituttet har i senere tid blitt bekymret for at strekkbordet skal bli satt ut av drift på grunn av utstyrets alder og mangel på tilgjengelige reservedeler. Samtidig er ikke tilsvarende utstyr lett tilgjengelig på markedet og må derfor spesiallages, noe som kan bli svært kostbart dersom utstyret skulle erstattes kommersielt. Av den grunn ønsker instituttet å anskaffe et alternativt kontrollsystem slik at dagens strekkbord kan brukes videre selv om PC og/eller kontrollenhet skulle svikte. Ny kontrollenhet må ivareta funksjonaliteten til det eksisterende systemet, men kan med fordel gjennomføres slik at all samhandling foregår digitalt, og fysiske brytere og display er derfor ikke nødvendig. Utvikling av nytt kontrollsystem som er kompatibelt med strekkbordet blir vanskeliggjort av mangel på

dokumentasjon rundt det eksisterende utstyret, og det må derfor omfattende undersøkelser til for å kartlegge hvordan dagens system fungerer før utvikling av en erstatning kan iverksettes.



Figur 1.3: Grensesnitt

1.4 Mål for prosjektet

Hensikten med prosjektet beskrevet i denne rapporten er å utvikle elektronikk og programvare som kan erstatte det eksisterende styresystemet, og dermed sikre videre bruk av strekkbordet. Det skal også utarbeides tilstrekkelig dokumentasjon slik at det i fremtiden vil være enklere å vedlikeholde og/eller videreutvikle systemet. Prosjektets hovedfokus vil være å etablere grunnleggende funksjonalitet som er nødvendig for strekkprøving, og eventuelt mer avansert funksjonalitet vil bli vurdert i samråd med oppdragsgiver dersom tiden tillater det. I lys av oppgavens bakgrunn er det også et mål å benytte størst mulig grad av åpen kildekode ressurser og godt etablerte standarder for å skape bedre forutsetninger for lang levetid for utstyret. ISO standard 6892 [2] omhandler temaet strekkprøving og vil være veiledende for utviklingen.

1.5 Rapportens oppbygging

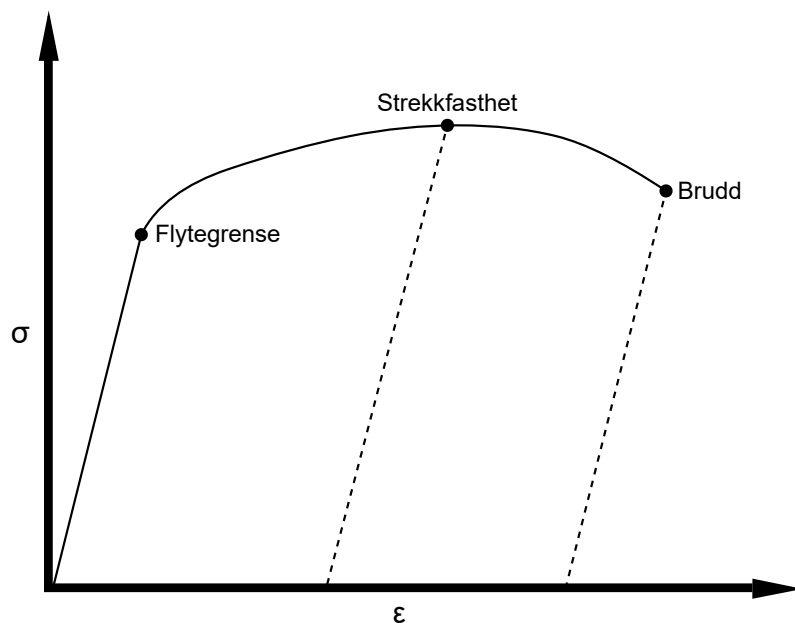
Rapporten vil først presentere nødvendig teori for å gi et innblikk i oppgavens bakgrunn og teknologi benyttet i prosjektet. Deretter vil metodikk for design og implementering bli gjennomgått, og resultater presentert. Til slutt vil det følge en diskusjon av prosjektets resultater og gjennomføring, og eventuelle forslag og merknader til videre utvikling.

2 Teori

2.1 Strekkprøving

Strekkprøving er en metode for å finne bestemte egenskaper til materialer ved å strekke dem. Metoden går ut på å strekke et material og utføre målinger underveis. Målingene i dette strekkbordet er av kraften prøven strekkes med, og forlengelsen av prøven. Forlengelsen og kraften gir begrenset informasjon da dette er verdier som påvirkes av strekkprøvens geometri. Men med forlengelsen og kraften, sammen med geometrien, er det mulig å regne ut spenning(σ) og tøyning(ε). Spenning og tøyning, som ofte også benevnes med de engelske begrepene «stress» og «strain», er fysiske størrelser som kjennetegner egenskaper til materialet. Kraft og forlengelse i lengde derimot, gjengir bare egenskaper til materialet i en bestemt form. Spenningen man er ute etter er spenningen midt på strekkprøven. Denne kan regnes ut med strekkkraften og tverrsnittet på midten av prøven. Tøyningen er forlengelsen i forhold til den ubelastede lengden. Formlene for spenning og tøyning er gitt med:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \qquad \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \qquad (1)$$



Figur 2.1: Typisk utvikling av et plot for spenning og tøyning

Figur 2.1 viser hvordan et plott med data på tøyning og stress kan se ut om man strekker en prøve til brudd. Et plott med data for kraft og forlengelse vil ha samme form og samme utvikling da variablene er de samme. Den første delen av deformasjonen er det som kalles elastisk deformasjon, denne er ikke varig. Når metall deformeres elastisk øker tøyningen proporsjonalt med spenningen. Når trykket blir høyt nok går belastningen over til å bli plastisk, da er deformasjonen varig. Overgangen fra elastisk til plastisk deformasjon skjer ved flytegrensen. Men materialet vil enda klare å holde seg sammen til det oppnår strekkfasthet, dette er det største trykket materialet tåler før det som på engelsk kalles «necking» inntreffer. Ved «necking» dannes det en innsnevring i prøven hvor bruddet vil oppstå om prøven fortsetter å bli strukket. Under «necking» vil materialet begynne å miste styrke til det til slutt dannes et brudd.

Når materialet strekkes er deformasjonen ikke bare i lengden, strekkprøven blir også smalere. Dette gjør at formlene i (1) ikke gjengir den sanne spenningen. Spenningen som formelene ovenfor gir kalles på engelsk «engineering strain». For å finne den faktiske spenningen og tøyningen finnes det formler for sann spenning og tøyning. Disse tar utgangspunkt i at volumet ikke endrer seg og $A_0 \cdot L_0 = A \cdot L$, som er sant under plastisk deformasjon før «necking». Sann tøyning (ε_t) baserer tøyings-beregninger på hvor stor forlengelsen er i forhold til den nåværende lengden som er under konstant endring. «Engineering strain» bruker startlengden av prøven i beregningene. Endringen i (ε_t) kan gis ved $d\varepsilon_t = \frac{dL}{L}$, dette kan integreres til $\varepsilon_t = \ln\left(\frac{L}{L_0}\right)$. Sann spenning (σ_t) er spenningen beregnet med endring i tverrsnitt. Sann tøyning kan skrives som $\sigma_t = \frac{F}{A} = \frac{F}{A_0} \cdot \frac{A_0}{A} = \sigma \frac{A_0}{A}$

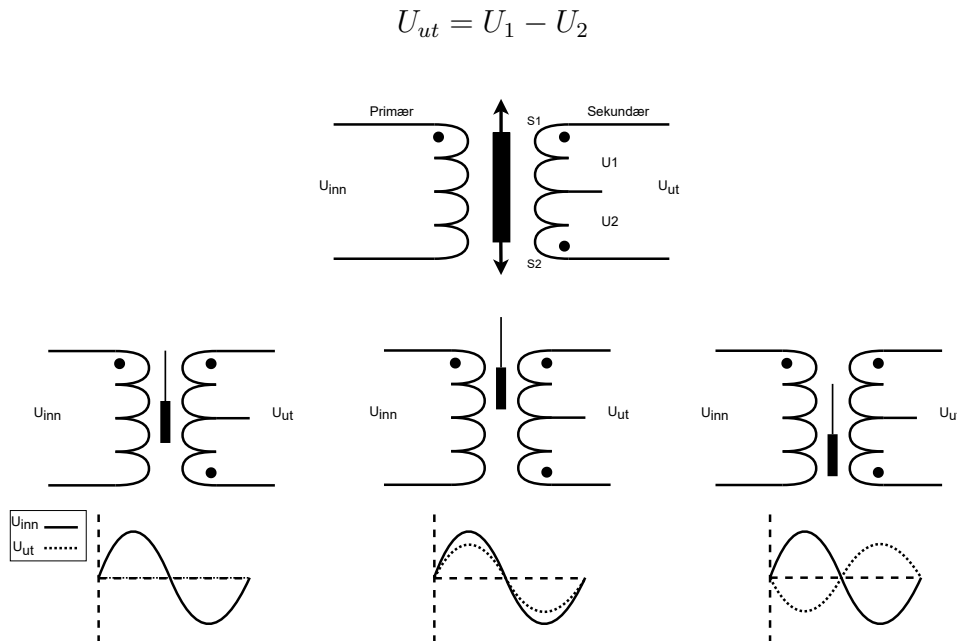
$$\begin{aligned}
 L &= L_0 + \Delta L & \frac{A_0}{A} &= \frac{L}{L_0} = 1 + \left(\frac{\Delta L}{L_0}\right) \\
 \sigma_t &= \sigma(1 + \varepsilon) & \varepsilon_t &= \ln(1 + \varepsilon)
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

2.2 Differensialtransformator, LVDT

Linear Variable Differential Transformer (LVDT), er en elektromekanisk sensor som brukes til å konvertere mekanisk posisjon om til elektriske singaler. I systemet benyttes komponenten til å måle posisjonen eller den lineære forlengelsen til strekkmaterialet.

Strukturen til komponenten er sylindrisk og bestående av en bevegelig kjerne med induktive spoler kveilet i viklinger. Kjernen og spolene har normalt ingen kontakt, som fører til at komponenten opererer slitasjefritt og har høy reliabilitet over tid. Det skilles mellom en primær- og sekundærspole, der den sekundære er stykket opp av to spoler i serie (S_1 og S_2), koblet mellom endeposisjonene, og med motsatt rettet polaritet (U_1 og U_2). Primærspolen forsynes av en ekstern AC-kilde på inngangen og produserer en magnetisk fluks, imens sekundærspolen induserer spenning på utgangen proporsjonalt med endringen til kjernens posisjon. Når den ferromagnetiske kjernen beveger seg mellom viklingene, altså når posisjonen endres, induseres spenning avhengig av den magnetiske fluksen rundt spolene S_1 og S_2 .

Den induserte spenningen over sekundærspolen øker når kjernen beveger seg ut fra midtposisjonen, og bevegelsesretningen detekteres av faseendringen som oppstår mellom endepunktene. Posisjonen der kjernen befinner seg midt i mellom sekundærspolene er der $U_{ut} = U_1 - U_2 = 0$ og omtales som kjernens nullposisjon. Her vil den magnetiske fluksen virke likt på begge sider av sekundærspolen. Alle andre forskyvninger gjør at enten $U_1 > U_2$ eller $U_1 < U_2$, som fører til at spenningen øker på utgangen. Denne spenningen gir til slutt er uttrykk for posisjonen på utgangen U_{ut} .



Figur 2.2: LVDT karakteristikk

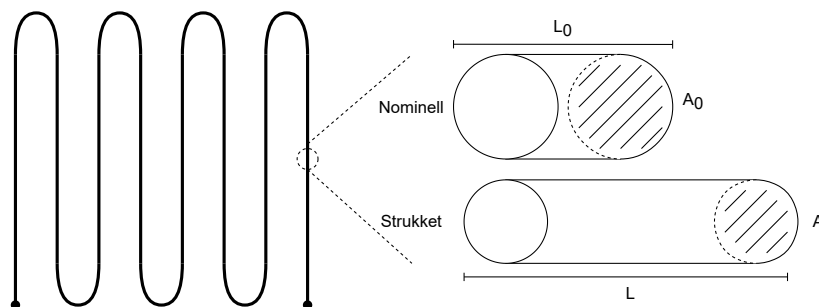
Ettersom systemet konsekvent fungerer ved bruk av magnetiske flukser, er komponenten svært sårbar dersom systemet blir utsatt for elektromagnetisk interferens. Magnetfelt fra eksterne kilder vil virke støyende og kan føre til feilaktige spenningsnivåer på utgangen. Det kan derfor være viktig å adskille komponenten fysisk eller å montere skjerming med jordkontakt rundt potensielle støykilder.

2.3 Lastcelle

Lastcelle er en komponent som benyttes til å måle krefter. I strekkbordet benyttes det en lastcelle til å måle kraften som virker på strekkmaterialet i utstrekningsprosessen. En vanlig konstruksjon for lastceller er å benytte strekkklapper i en Wheatstonebro konfigurasjon.

Strekkklapper er motstandskomponenter som varierer i motstandsverdi ettersom komponenten strekkes eller komprimeres. Komponenter består av en elastisk metalltråd utstrakt i flere sløyfer som plasseres slik at strekkklappen eksponeres for kraften man ønsker å måle. Ved beregning av motstanden i en strømleder må det tas hensyn til resistiviteten/strømlledningsevnen til metallet (ρ), i tillegg til lederens tverrsnittareal (A) og lengde (L). Når metallet strekkes reduseres strømlederens tverrsnittareal og øker metallens lengde. Som en konsekvens vil motstanden (R) i lederen øke. Det motsatte vil forekomme dersom strekkklappen komprimeres, tverrsnittet øker og lengden reduseres, da vil motstanden i lederen reduseres.

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A} \quad (3)$$



Figur 2.3: Dynamikk i strekkklapp

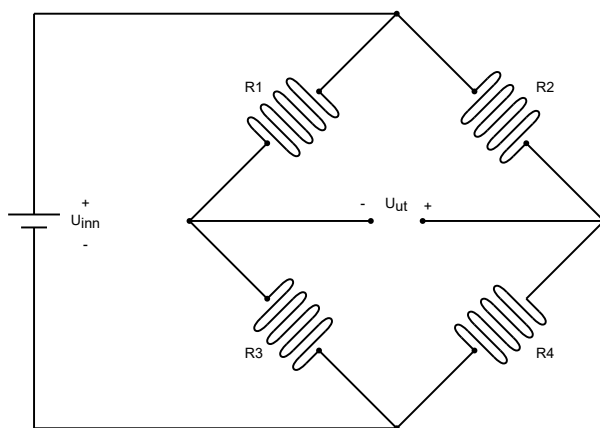
En annen viktig faktor å ta i betraktning er at resistansen (R) påvirkes av temperaturen (T). De vanligste typen strømlederne øker resistansen ved høyere temperaturer, men dette varierer ut ifra ulike materialer. Temperaturkoeffisienten (α) sier noe om denne sammenhengen, der man skiller mellom positive (PTC) og negative temperaturkoeffisienter (NTC) for ulike materialer. Positive koeffisienter følger den vanligste karakteristikken, altså at økende temperatur resulterer i økende resistans. Negative koeffisienter vil dermed ha motsatt effekt, at økende temperatur gir mindre resistans. Dersom koeffisienten er nære $\alpha = 0$

vil temperaturforskjellen (ΔT) ha liten eller ingen påvirkning på resistansen.

$$R = R_0(1 + \alpha\Delta T) \qquad \Delta T = T - T_0 \qquad (4)$$

Alle motstander oppgis i en nominell motstandsverdi (R_0) og temperatur (T_0) ved produksjon. Det vanligste er at den nominelle motstanden oppgis rundt romtemperatur, altså ved rundt $20^\circ C$.

Wheatstonebro konfigurasjon brukes ofte i lastceller for å måle kraft. Lastceller benytter gjerne en, to eller fire strekkklapper og fungerer ved at kretsen gjennomgår små endringer i motstand når systemet utsettes for en endring i kraft. Den minimale endringen motstand gjør at utgangen opererer i millivolt-området og må derfor ofte kobles opp mot en signalforsterker for å få stort nok utslag på utgangssignalet. Konfigurasjonen for strekkbordet benytter fire motstander, derav to og to er koblet i serie i en parallellforgreining som vist i figur 2.4.



Figur 2.4: Komplette Wheatstonebro

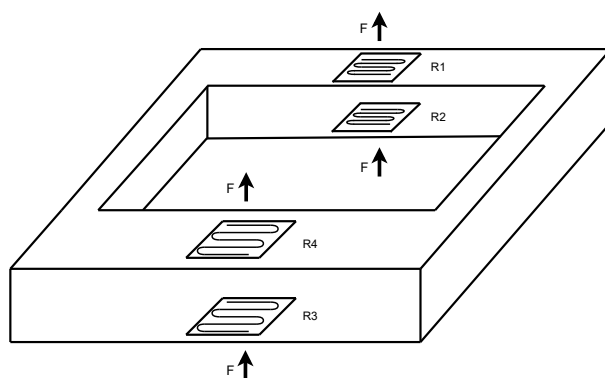
Ved kretsen er det vanlig å skille mellom to hovedtilstander, altså balansert og ubalansert tilstand. Balansert tilstand er der $U_{ut} = 0$ og vil være der strekkklappene har motstandsverdier symmetrisk lik i forgreiningene som i formel (5). Dersom motstandsverdiene ikke følger denne sammenhengen vil kretsen være i ubalansert tilstand. Dette fører til en spenning på utgangen uttrykt ved (6).

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4} \text{ eller } \frac{R_3}{R_1} = \frac{R_4}{R_2} \qquad \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \text{ eller } \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3} \qquad (5)$$

$$U_{ut} = U_{ut+} - U_{ut-} = U_{inn} \left(\frac{R_4}{R_2 + R_4} - \frac{R_3}{R_1 + R_3} \right) \qquad (6)$$

Som tidligere nevnt kan lastceller ha noe ulikt oppsett med tanke på antall strekkklapper som benyttes i Wheatstonebroen. De vanligste kombinasjonene er bruk av kvart-, halv- og komplett målebro, som henholdsvis bruker en, to eller fire strekkklapper. En fordel med bruk av flere strekkklapper er at systemet blir enda mer sensitivt og gjør at man får en større endring i utgangsverdi. Dette er en fordel i systemer hvor det er minimalt med mekanisk belastning på strekkklappene. En annen fordel er at man oppnår temperaturkompensering gjennom spenningsdeling, slik at påvirkningen av temperaturforskjeller minimeres på utgangsverdien.

Dersom vi tar utgangspunkt i en komplett målebro som i figur 2.4, må strekkklapp R_1 og R_4 , samt R_2 og R_3 plasseres slik at de påføres den samme kraften med hensyn til komprimering og strekking. Fysisk skal R_1 og R_4 strekkes samtidig som R_2 og R_3 komprimeres, men også omvendt. Dette kan gjøres ved at strekkklappene monteres på hver sin side av en rett plate slik som illustrert i figur 2.5. Siden strekkklappene er orientert på hver sin side i forhold til hverandre, blir begge par av strekkklappene eksponert for den samme kraftpåvirkningen (F) når platen bøyes. Dette er avhengig av at kraftpåvirkningen skjer midt i mellom strekkklappene slik at det blir en jevn kraftfordeling over hele planet.



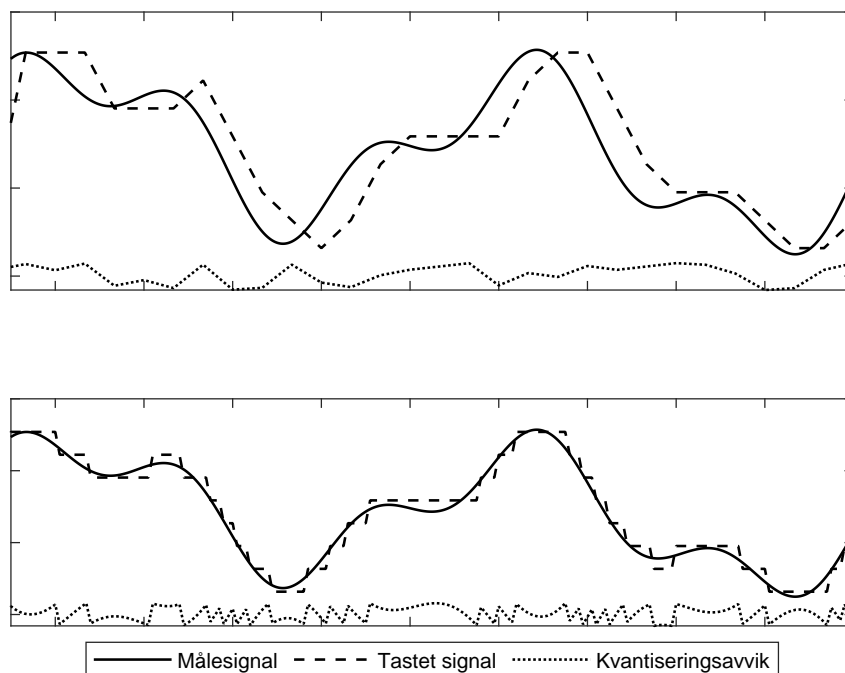
Figur 2.5: Strekkklappene fysisk montert i forhold til kraftretningen

2.4 Sigma-Delta modulator, ADC

For å lese de analoge utgangssignalene fra sensorene montert på strekkbordet over til et digitalt format er det nødvendig med en Analog to Digital Converter (ADC). Ettersom den tiltenkte bruken er i et vitenskaplig instrument stilles det høye krav til presisjon og nøyaktighet, spesielt med tanke på at det er nødvendig å måle forlengelse i mikrometerområdet over en avstand på opp til én centimeter. Samtidig er kravene til omsetningstid lave da utstyret har en relativt lav maksimal hastighet.

Ved tasting («sampling») av kontinuerlige signaler til diskrete verdier vil kvantiseringsstøy være uunngåelig, da det fysiske signalet med vilkårlig høy nøyaktighet må tilnærmes til en verdi av begrenset nøyaktighet. Kvantiseringsstøyen vil ha en amplitude lik halvparten av verdien til den minst signifikante bit'en (LSB), og man kan derfor redusere effekten av kvantiseringsstøyen ved å øke oppløsningen av omformerens. Praktiske hensyn

som kompleksitet, omformingstid og kostnad setter likevel begrensninger for hvor høy-oppløselige omformere det er praktisk å bruke, og det er derfor nødvendig med andre metoder for å redusere effekten av kvantiseringsstøyen. Øking av tastefrekvensen har ikke noen direkte påvirkning på amplituden eller effekten av kvantiseringsstøyen, men vil øke støy frekvensen. Dette kan være til nytte da man kan introdusere et lavpass-filter for å redusere effekten av den høyfrekvente støyen. Denne teknikken kalles støyforming og er grunnlaget for sigma-delta omformere.



Figur 2.6: Lav og høyfrekvent tasting av målesignal

Problemet med å øke tastefrekvensen er igjen kompleksitet, omsetningstid og kostnad. Før neste tasting kan forekomme må den forrige tastingen være ferdig omsatt og behandlet, og man er derfor begrenset av databehandlings-kapasiteten for hvor høy tastefrekvens man kan benytte. En sigma-delta modulator løser dette problemet ved å «overtaste» og «desimere» målesignalet. Det innebærer at den først omsetter målingen med svært høy tastefrekvens (overtasting), for så å filtrere ut høyfrekvent støy. Deretter blir det resulterende signalet desimert, dvs. at tastefrekvensen blir redusert til en mer anvendelig størrelse. Denne prosessen tillater støyforming og filtrering uten å øke kravene til databehandlingshastighet. En annen fordel ved denne typen omformer er at den er heldigital, og dermed resistent mot komponentdrift og temperaturendringer.

2.5 Qt

Qt er et sett C++ bibliotek og utviklingsverktøy som inkluderer plattformuavhengige abstraksjoner for grafiske brukergrensesnitt, og brukes til å utvikle applikasjoner som kan benyttes på ulike plattformer med ingen eller minimal endring i koden. Hovedtrekkene til Qt er bruken av signaler og spor for å kommunisere mellom objektene. Et signal oppstår når tilstanden til et objekt forandrer seg, og signalet blir motatt av ett eller flere spor til ett eller flere objekter. Signaler som er koblet til et spor kan kalle opp sporet når signalet sendes ut. Qt kan benyttes i andre programmeringsspråk enn C++ gjennom språkbindinger, for eksempel PyQt for Python.

I Qt benyttes det en rekke grafiske elementer, som for eksempel «widgets». Widgets inkluderer blant annet ikoner, rullegardinmenyer, knapper, valgbokser og fremdriftsindikatorer. I stedet for å skrive kode for å legge ut Widgets kan man bruke et grafisk verktøy slik som *Qt Designer*. Programvaren gir enkel «dra og slipp» funksjonalitet for design av GUI-er. *Qt Designer* er et Graphical User Interface (GUI) program som kan designe Widgets, dialogbokser eller lage komplette hovedvinduer ved hjelp av skjemaer. *Qt Designer* produserer en «.ui-fil» som er et XML-basert format for lagring av Widgets.

Med bruk av *Qt Designer* kan man mer effektivt sette opp et grensesnitt enn om man bruker håndskrevet kode. Men man kan også benytte begge deler i kombinasjon. GUI kan beskrives som et brukergrensesnitt for et system med interaktive visuelle komponenter for dataprogramvare. Brukergrensesnittet viser objekter som formidler informasjon, og representerer handlinger utført av brukeren.

3 Metodikk

3.1 Komponentvalg og implementering

3.1.1 Signalbehandler, LVDT

Posisjonssensoren som er montert i strekkbordet er i følge utleverte dokumenter (vedlegg E) en *RDP electronics D5/200/327 Linear Variable Differential Transformer (LVDT)*, som er kalibrert for en eksitasjonsspenning på 5kHz 5V RMS. For å drive denne komponenten kreves det signalbehandlings-elektronikk som kan generere eksitasjonsspenningen, og omforme fase og amplitudedeforskjellene i transformatoren til målbar likespenning. Mange leverandører, inkludert RDP, tilbyr ferdige signalbehandlingskomponenter kalibrert for sine produkter. Disse produktene er derimot ikke tilgjengelige gjennom offentlige nettbutikker, og det har ikke lyktes å komme i kontakt med RDP eller leverandører.

Løsningen ble derfor en *Analog Devices AD698 Universal Signal conditioner*, som kan tilpasses ulike transformatorer og eksitasjonsspenninger. Fordelen med denne løsningen er at den kan både generere eksitasjonsspenning og omsette posisjonen til et likespenningssignal, og kun krever et nettverk av passive komponenter for å sette eksitasjonsparametere. Databladet for AD698 [3] inneholder en detaljert steg for steg design prosedyre, som går ut på å regne ut nødvendige komponentverdier basert på ønsket eksitasjonsspenning og transformatorens egenskaper. Størrelsene man kommer frem til med likningene i databladet er ikke nødvendigvis standard komponentstørrelser, og enkelte passive komponenter vil derfor være tilnærminger av den optimale størrelsen. Beregning av passive komponenter tilhørende LVDT finnes i vedlegg C.

Utgangssignalet fra signalbehandleren er et likespenningssignal referert mot en spenningsdeler, som i dette tilfellet ligger på 15 volt (halvparten av forsyningsspenning). Denne kan ikke måles direkte av ADC'en, som måler 0-5 volt. Derfor sendes utgangssignalet først gjennom en differensiell instrumenteringsforsterker hvor utgangen er referert mot jord, slik at signalet havner innenfor omformerens måleområde. Utgangsfosterkingen til signalbehandleren kontrolleres av en motstand, hvor det er montert et trim-potensiometer for å justere omfanget av utgangssignalet til å bli likt ADC'ens måleomfang.

3.1.2 ADC

Gitt et måleomfang (m) og en ADC oppløsning i bits (n) kan man beregne en reel oppløsning (r). Med en kjent ønsket oppløsning kan man benytte dette til å beregne nødvendig ADC oppløsning (n) ved likning 7

$$r = \frac{m}{2^n - 1} \Rightarrow n = \left\lceil \log_2 \left(1 + \frac{m}{r} \right) \right\rceil \quad (7)$$

I dokumentasjon om posisjonsgiveren (Vedlegg E) er det oppgitt et arbeidsområde på ± 5 mm, som gir et måleomfang på 1 cm. Oppløsningen på det originale systemet er ikke oppgitt noe sted, men den minste størrelsen som er oppgitt i patenten [1] er en minimum strekkhastighet på 0.01 $\mu\text{m/s}$, som derfor er valgt som minste ønskede oppløsning. Ved å sette disse inn i likning 7 får vi et krav om ADC oppløsning på 20 bits. Støy og filtrering fører til tap av effektiv oppløsning, og det er derfor viktig å skille mellom teoretisk og effektiv oppløsning. Grunnet det høye kravet til presisjon og det relativt lave kravet til omformingstid ble 24-bit Delta-Sigma ADC'en *Analog Devices AD7714* valgt.

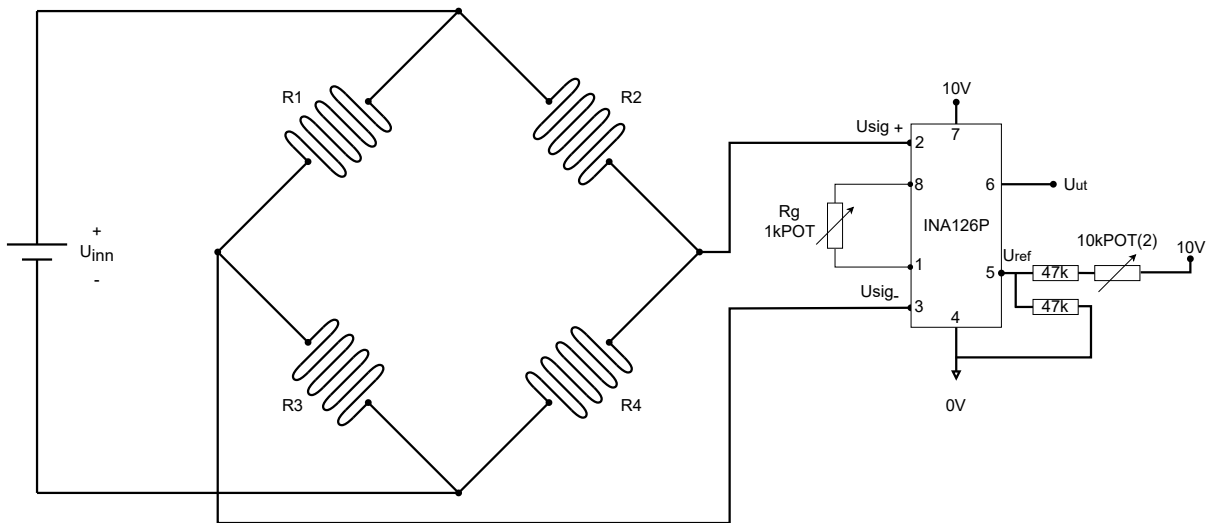
AD7714 trenger kun et eksternt klokkesignal for å fungere, og kommuniserer over SPI protokoll. Tastefrekvensen er avhengig av knekkfrekvensen for overtastings-filteret (se 3.3.2 for konfigurasjon). Komponentene har flere digitale innganger for å konfigurere kommunikasjon. Klokkepolariteten (POL) er bundet lav for å velge aktiv lav klokke, som må stemme med konfigurasjonen av mikrokontrolleren. «Buffer» inngangen er bundet lav for å koble ut bufferet, som kun trenger å brukes under måling ved høy impedans. «Chip-select» (CS) er bundet lav og «standby» er bundet høy ettersom at ADC'en alltid skal være aktiv. «Reset» inngangen er koblet til en digital utgang på mikrokontrolleren slik at ADC'en kan tilbakestilles under drift om det skulle bli nødvendig. Detaljert beskrivelse av digital konfigurasjon ved normal drift finnes i seksjon 3.3.2.

3.1.3 Instrumenteringsforsterker – Lastcelle & LVDT

Instrumenteringsforsterkeren *Texas Instruments INA126P* benyttes to ganger i kretsen, der en benyttes som differensiell instrumenteringsforsterker mellom LVDT og ADC, imens den andre benyttes som differensiell forsterker hos lastcellens utgangssignal. Førstnevnte kan leses mer om i seksjon 3.1.1 om signalbehandler, LVDT.

Ved normale variasjoner av kraft på lastcellen vil utgangsspenningen fra målebroen utgjøre relativt små variasjoner. For å kunne gjøre hele måleområdet fra kraftmålingene om til avlesbare målespenninger for ADC ble det derfor nødvendig å implementere instrumentforsterker for å forsterke signalet.

Siden målebroens signalvariasjoner opererer rundt millivolt vil den være mer sårbar for eksterne støykilder. Det er derfor viktig at instrumentforsterkeren har gode egenskaper som tilfredsstilles for bruk i slike applikasjoner.



Figur 3.1: Oppkobling av lastcelle

Beregning av utgangsspenning fra instrumentforsterkeren:

$$U_{ut} = (U_{sig}^- - U_{sig}^+) \cdot \left(5 + \frac{80k\Omega}{R_G}\right) + U_{ref} \quad (8)$$

Kombinert fullstendig med lastcellens målebro (6):

$$U_{ut} = U_{inn} \cdot \left(\frac{R_3}{R_1 + R_3} - \frac{R_4}{R_2 + R_4}\right) \cdot \left(5 + \frac{80k\Omega}{R_G}\right) + U_{ref} \quad (9)$$

3.1.4 Motorkontroller

I det originale kontrollsystemet brukes en *Maxon Motor Lineær Servo kontroller* til å regulere strekkhastigheten. Denne kontrolleren er gått ut av produksjon, men i sin produktkatalog [4] anbefaler produsenten en nyere kontroller av typen *ESCON 36/2 DC*. På grunn av pågående komponentmangel etter koronapandemien var det ikke mulig å anskaffe denne kontrolleren gjennom offentlige nettbutikker, men etter å ha tatt kontakt med *Maxon* kunne én enhet leveres gjennom datterselskapet *DJ Stork Drives AS*.

Motorkontrolleren er koblet til mikrokontrolleren gjennom to digitale og en pulsbredde-modulert (PWM) datalinje, hvor de to digitale inngangene brukes til å starte motoren og velge dreieretning. Hastigheten settes over PWM linjen. Kontrolleren regulerer motorhastigheten med tilbakekobling fra en DC-turteller montert på motorakslingen, konfigurasjon og kalibrering av reguleringen er beskrevet i 3.4.3.

3.1.5 Mikrokontroller

ISO standarden for strekkprøving [2] inneholder et vedlegg om konstruksjon av måleutstyr, hvor det anbefales at utstyret ikke foretar noen databehandling, men sender råverdier videre til en PC for behandling. Av den grunn er kravene til databehandlingshastighet i mikrokontrolleren lave, da den kun skal fungere som et mellomledd i kommunikasjon mellom PC, ADC og motorkontroller. For å kommunisere med disse komponentene må mikrokontrolleren ha støtte for protokollene SPI og UART, og pulsbreddemodulering (PWM). Motorkontrolleren har en PWM oppløsning på 12 bit, og mikrokontrolleren må derfor støtte minst samme oppløsning for å regulere motorhastigheten så presist som mulig. Det gamle systemet kunne ikke enkelt overføres til en nyere datamaskin på grunn av det proprietære PCI kortet som hånderte kommunikasjon. Derfor ble det også satt som et krav at mikrokontrolleren kunne kobles opp mot PC gjennom standard USB for mest mulig fleksibilitet.

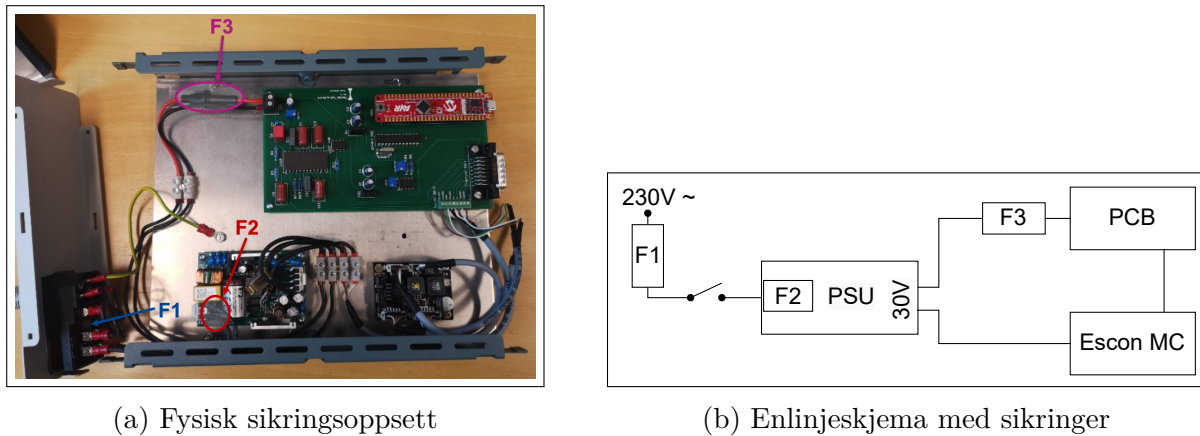
De fleste moderne mikrokontrollere har støtte for de nevnte protokollene, og valget ble derfor basert på tidligere erfaring med programmering. *Microchip Atmega4809 Curiosity Nano* er et evalueringssett for Atmega4809 kontrolleren, og møter alle krav til funksjonalitet for prosjektet. Kontrolleren har flere utganger og høyere oppløsning enn det som er nødvendig, men ettersom at det kun skal produseres én enhet blir kostnadsforskjellen neglisjerbar og utviklingstiden ble heller prioritert.

3.1.6 Strømforsyning

Systemets strømforsyning er en åpen AC-DC transformator som gir ut 30VDC og inntil 1.34A (40W). Med en slik løsning vil 230VAC spenningen termineres på innsiden av instrumentboksen mot hovedbryteren. En fordel med denne strømforsyningen er at den har støtte for to utgangsterminaler, som gjør at man kan skille strømforsyningen mellom motorkontrolleren og kretskortet.

I forbindelse med strømforsyning benytter systemet flere sikringer. Det finnes en overordnet til hele forsyningen av systemet (F1) og en egen til forsyningen av kretskortet (F3). Kretskortsikringen plasseres inne i sikringsokkelen plassert inne i boksen, imens systemsikringen er plassert inne i instrumentboksens strømkontakt. Nærmere illustrasjon ser man i figur 3.2

Strømforsyningen (PSU) har i seg selv innebygde sikringer (F2) på 230V-siden for hver av inngangsterminalene på 2A. Dette vil si at en sikring (F1) i strømkontakten som er satt til 1A vil ha en lavere terskelverdi og vil derfor ryke før sikringene på strømforsyningen. Dette er gunstig fordi strømkontaktens glass-sikring vil være langt lettere å bytte ut enn de som er loddet direkte på strømforsyningen.



Figur 3.2: Instrumentboksens sikringer

Kretskortets design krever at den tåler strømtrekket fra de ulike krets-komponentene. Banetykkelse i Altium ble satt til 0.254mm som er beregnet til å kunne belastes med et maksimalt strømtrekk på 1.215A (fra tabell: 3.1), noe som forventes å være innenfor god margin til komponentene som ble benyttet i kretsen. Faktorene som er tatt i betraktning er lagtykkelsen, banelengden, kortets tiltatte temperaturøkning (ved strømtilførsel) og omgivelsestemperaturen til systemet.

Beregningen er gjort gjennom selskapet Digi-key's forhåndsdefinerte kalkulator [5] og er basert på IPC-2221 som er en generisk standard for PCB design.

Parameter		Enhet
Banetykkelse	0.254	mm
Tykkelse	0.03556	mm
Temp. Økning	20	$^{\circ}\text{C}$
Temp. omgivelse	22	$^{\circ}\text{C}$
Banelengde	160	mm
Resultat		Enhet
Maksimalt strømtrekk	1.215	A
Banemotstand	8.16	Ω
Spenningsfall	9.9	V
Energitalp	12.04	W

Tabell 3.1: Beregning av banetykkelse for kretskort

Kalkulatoren estimerer at det maksimale strømtrekket ligger rundt 1.215A . Verdiene går ut ifra at strømlederne ligger mot en ytre overflate og eksponeres for luft, noe som gjør at strømtrekket kan være langt mer enn hvis strømbanene hadde vært tildekket. I luft har de ytre lagene større varmeoverføring som følge av konveksjon og gjør at kretsen kvitter seg ved varme mer effektivt.

Sikringen til forsyningen av kretskortet (F3) ble etter beregningene satt til 1A for å sikre strømbanene på kretskortet for overbelastninger. Det ble avslutningsvis gjennomført en kontrollmåling av total strømtrekk til kretskort på rundt $40mA$ under normal drift. Dette betyr at kretskortet under normale omstendigheter er langt unna sikringsstørrelsen.

Motorkontrolleren vil være tilkoblet direkte mot kretskortet uten eksterne tilpassede sikringer. Maksimalt nominelt strømtrekk fra motoren vil være $0.592A$ i følge datablad [4] og man ser at man vil kunne benytte lik banetykkelse for hele kretskortet. Tykkelsen for motoren ble satt opp til $0.5mm$ for å legge til ekstra margin dersom motoren over tid begynner å trekke mer strøm.

3.2 Kretskortdesign og innhousing

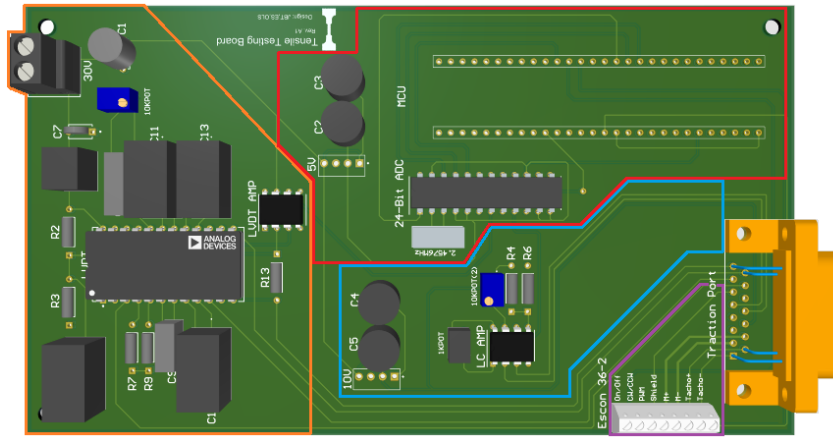
3.2.1 Altium

Som en del av oppgaven inngår implementering av styreelektronikk som tilpasses til en instrumentboks. Elektronikken ble først testet med en provisorisk løsning for å funksjonsteste kretselektronikken, før den senere ble implementert på et kretskort. Siden kretsen består av både digitale- og analoge signaler ble det gjort enkelte tiltak for å forhindre forstyrrelser mellom signaler. Digitale signalkretser bruker binær logikk som ofte vil kunne tolerere mer støyinterferens i motsetning til analoge kretser. Siden analoge signaler fra strekkbordet danner grunnlaget for analyse av strekkprøven ble det viktig å minimalisere selvprodusert støygenerering internt på kretskortet for å oppnå presise måledata.

Kretskortdesign blir ofte beskrevet slik at det ikke finnes en bestemt metode for design. Det vil ofte innebære «prøve & feile metode», men det finnes grunnleggende regler som skal kunne minimere sannsynligheten for et dårlig design. Design av kretskortet ble gjort med inspirasjon fra anbefalingene beskrevet i en artikkel fra *Altium* om generelle prinsipper for oppsett av kretskort[6].

Det antas at motorkontrolleren vil potensielt være kilde til støygenerering på kretskortet ettersom motorkablene er skjermet fra leverandør. For å opprettholde skjermingens funksjonalitet ble den terminert med kort avstand til skruterterminalen på kretskortet. Plaseringen på skruterterminalene tilhørende motorkontrolleren ble i tillegg satt i nærhet av D-sub konnektor med formål om å holde banene adskilt fra resten av elektronikken og minimere den totale banelengden på kretskortet.

Kretsen benytter totalt tre ulike spenningsnivå i tillegg til flere kretskomponenter som krever ulike forsyningspenning. Disse ble forsøkt holdt innenfor egne soner for å enklere gruppere de ulike komponentene på kretskortet som vist i figur 3.3. Med dette ble det også oppnådd minimalt antall kryssinger mellom de to planene.



Figur 3.3: Komponentinndeling

Fysisk dimensjonering av kretskortet ble bestemt samtidig som valg av instrumentboks. Målene på kortet ble fastsatt med marginer fra dimensjonsmålene til instrumentboksen som ga muligheten til eventuelle endringer av plassering av komponenter dersom det skulle oppstå endringer. Siden valgt instrumentboks var relativt stor i forhold til kretsen ble også kortet dimensjonert med ekstra størrelse for å gi muligheten til å holde kretskomponentene fysisk adskilt. Dette vil i tillegg til å være et støyredukerende tiltak også legge til rette muligheter for eventuelle endringer av kretskortet som krever flere kretskomponenter for videreutvikling.

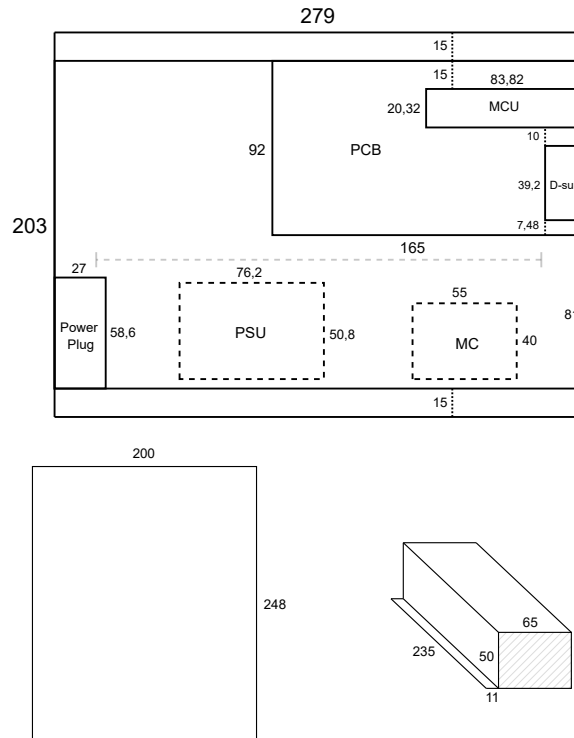
Man ser fra figur 3.3 at D-sub og mikrokontrollerens tilkoblingspunkter ble posisjonert på kretskortet slik at de ble montert «flush» mot frontpanelet til instrumentboksen. Dette ble gjort for å forenkle oppkobling av strekkbordet og PC til styreelektronikken.

Fra figur 3.4 vil man kunne se tydelig grunnlaget for plasseringen til både spenning- og motortermenering til kretskortet. Med dette ble forsyningskabel til kretskortet lagt med god avstand til motorkontrolleren.

3.2.2 Innhousing

Instrumentboksen er bestilt som en standardkomponent med faste dimensjoner og er derfor ikke fullstendig spesialtilpasset med hensyn på elektronikkens størrelse. Valget av instrumentboks ble gjort gjennom å ta hensyn til de største komponentene og kretskortets antatte dimensjoner. I planleggingsfasen ble det benyttet enkle skisser for boksinnvidningen og essensielle mål fra datablader ble implementert. Et viktig prinsipp ble å bestille en boks som er noe større enn estimatene for å sikre stor nok plass for koblingspunkter og for å forhindre varmeutvikling og magnetisk interferens mellom komponentene. Når det kommer til instrumentboksens materialkvalitet var ønsket å benytte noe som er slitesterkt, men samtidig anvendelig for utskjæring. Valget falt til slutt på en instrumentboks med stålramme og tilhørende aluminium front- og bakdeksel.

Inndelingen av seksjoner i instrumentboksen gikk hovedsakelig ut på å skille mellom støyende komponenter og mer følsom elektronikk. I den sammenheng ble det spesiallaget en adskillelsevegg som strekker seg over den stiplede midtlinjen i figur 3.4 ved instrumentboksens oppsett, og har som funksjon å skjerme støyende komponenter som strømforsyningen (PSU) og motorkontrolleren (MC) fra resten av systemet. For montering av de ulike komponentene måtte det også skjæres ut en monteringsplate som omtrent tilsvarer boksens grunnflateareal. Begge plater er konstruert av aluminium og ble spesialtilpasset instrumentboksen, disse illustreres under skissen av oppsettet for boksen.



Figur 3.4: Instrumentboksens oppsett, monteringsplate og skjerming
(Dimensjon: *mm*)

3.2.3 Kabeloppsett & Koblings skjema

Dokumentasjonen hos det tidligere kabeloppsettet opplevdes som forvirrende og tidskrevende å bruke, samtidig som termineringen til strekkbordet ikke benyttet standardnotasjon. En del av dokumenteringen har derfor gått med på å fornye denne informasjonen og er vedlagt i vedlegg B. Vedlegget illustrerer hele kabeloppsettet fra «traction port» på instrumentboksen til mikro D-sub på strekkbordet og følger standardnotasjon for terminering av koblinger.

Ved overtakelse av systemet ble det informert om at enkelte av de opprinnelige kablene hadde brudd og det har vært et vedvarende problem der kabler må loddes på nytt. Noe av grunnen til problematikken rundt kablene kan skyldes at systemet benytter svært tynne kabler for å passe mikro D-sub samtidig som systemets brukerkaraktistikk har preg av at man ofte plugges ut og inn. Til tross for dette ble det valgt å videreføre samme type koblingsoppsett, siden den spesialiserte strekkbenkmodulen allerede benytter mikro D-sub og for at det gamle styresystemet fremdeles skulle være kompatibelt. Kablene med brudd ble derfor innlevert til reparasjon med tilsvarende dokumentasjon som hos det gamle.

Vedlegg A viser oversikt over koblings skjemaet til kretsen. Denne fremstiller koblingene som er gjort på PCB kortet mellom alle valgte komponenter. På denne måten kan man tyde sammenhengen mellom de ulike komponentene i kretsen.

3.3 Mikrokontroller programmering

Mikrokontrollerens kode kan finnes på GitHub:

`GitHub/NTNU-E2227/TensileTester_MCU`

3.3.1 UART

Kommunikasjonen mellom mikrokontrolleren og PC går gjennom en virtuell serieport over UART protokoll. I mikrokontrolleren er mottak av data håndtert av en avbruddsrutine (ISR) som kalles opp når én byte (8-bit) er mottatt fra PC. Mottatt data blir tolket som ASCII karakterer og plasseres i et buffer frem til siste mottatte byte er et linjeskift (0x0A). Etter linjeskiftet blir bufferet tolket som en kommando, hvor første mottatte byte representerer kommandoen og etterfølgende to bytes representerer motorhastighet. Implementerte kommandoer er 's' (stop), 'l' (load), 'u' (unload), og 'r' (reset). Load og unload starter motoren i hver sin retning, og krever motorhastighet som en del av kommandoen. Hastigheten er kodet som et heksadesimal-tall med fire siffer (se 3.3.3). Stop skrur av motoren og reset tilbake stiller og initialiserer ADC'en (se 3.3.2).

Utgående data sendes som to ASCII kodede heksadesimale tall med seks siffer, og etterfølges av et linjeskift. Avlesning av ADC fra kanal 1 sendes først, deretter kanal 2. Opp-

rinnelig var utgående data ikke ASCII enkodet, men sendt direkte som tallverdier. Dette førte innimellom til synkroniseringsproblemer hvis en byte ikke ble motatt korrekt, og det ble derfor besluttet å legge inn et synkroniseringssignal mellom hver datapakke for stabil kommunikasjon. Etersom sending av rådata i bytes uten encoding tar opp alle tilgjengelige verdier, ble råverdiene kodet til ASCII og linjeskift brukt som synkroniseringsignal. Denne encodingen halverer informasjonstettheten i datapakkene ettersom at det tar en 8-bit ASCII karakter til å representere et heksadesimalt siffer, som tilsvarer 4 bits av råverdien. Datahastigheten er allikevel rask nok til at denne reduksjonen i effektivitet er neglisjerbar.

Register	Konfigurasjon
BAUDH	0x02
BAUDL	0xB6
CTRLA	0x80
CTRLB	0xC0
CTRLC	0x0B

Tabell 3.2: Registerkonfigurasjon, Atmega4809, UART

Konfigurasjon av registre for UART er satt ut fra databladet for Atmega4809 [7] for asynkron kommunikasjon med både sender og mottaker aktivert. Det benyttes 8-bit pakkestørrelse uten paritetsbit, og med to stopp-bits. Avbruddsflagget for mottak fullført er aktivert. Overføringshastigheten gitt i symboler per sekund (baud), er satt til 115200 da dette er den høyeste hastigheten med bred støtte fra de fleste operativsystemer. Konfigurasjonen av denne hastigheten regnes ut fra likning 10 gitt i databladet:

$$f_{BAUD} = \frac{64 \cdot f_{clk_per}}{S \cdot BAUD} = \frac{64 \cdot 20 \cdot 10^6}{16 \cdot 115200} \approx 694(0x02B6) \quad (10)$$

3.3.2 SPI

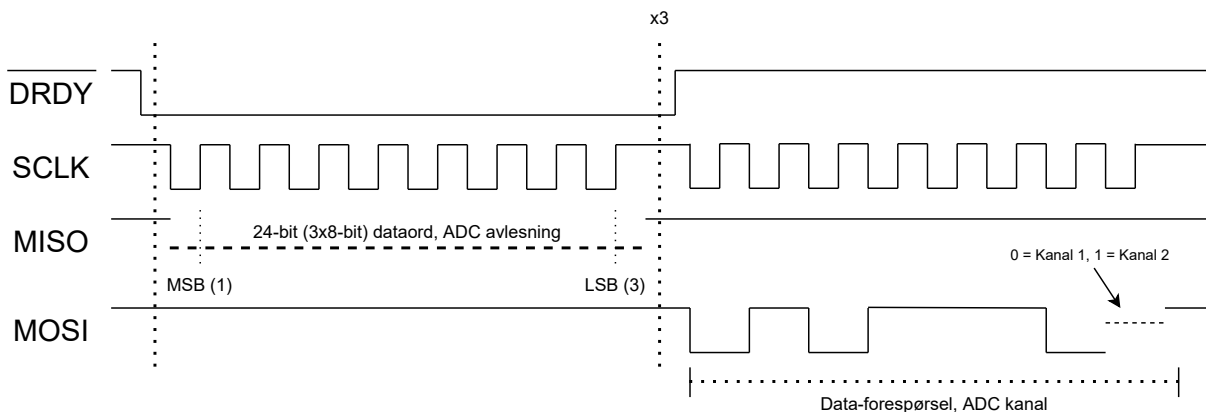
Kommunikasjon med ADC (AD7714) foregår over SPI protokoll, hvor mikrokontrolleren er hovedenhet («main») og ADC'en er underenhet («subnode»). Hovedenheten genererer klokkesignalet som regulerer kommunikasjonen, og data sendes i full toveiskommunikasjon («duplex») over datalinjene markert MOSI (Main Out Subnode In) og MISO (Main In Subnode Out). Kommunikasjonen starter med en forespørsel fra mikrokontroller til ADC om avlesing av en omformingskanal som starter omformingen av målesignalet. Når omformingen er fullført signaliserer ADC'en at ny data er tilgjengelig ved å sette Data Ready linjen (DRDY) lav, som får mikrokontrolleren til å starte klokken (SCLK) for å motta dataen. Når overføringen er fullført sender mikrokontrolleren en ny dataforespørsel til neste kanal, og veksler mellom kanalene for kraft- og posisjonsgiver.

SPI kommunikasjonen er konfigurert slik at den mest signifikante biten (MSB) sendes først, og den minst signifikante biten (LSB) sendes sist. Tasting av bitverdier er satt til stigende flanke på klokkesignalet, som er én 128. del av prosessorhastigheten til mikrokon-

Register	Konfigurasjon
CTRLA	0x27
CTRLB	0xC7

Tabell 3.3: Registerkonfigurasjon, Atmega4809, SPI

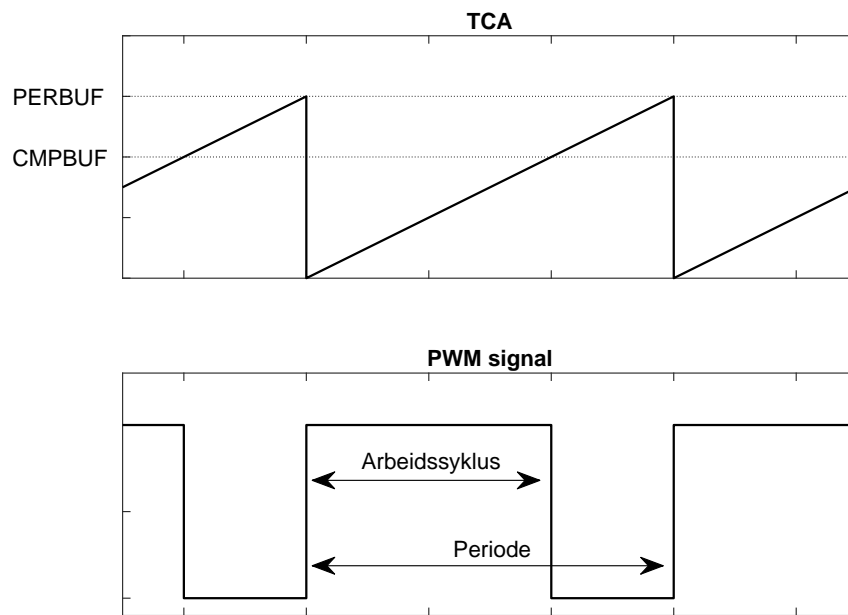
trolleren. Før normal toveiskommunikasjon begynner, kjører mikrokontrolleren en initialiseringsrutine på ADCen. Først blir «reset-linjen» inn til ADC satt lav i ti millisekunder for å tilbakestille enheten. Deretter blir den konfigurert for 24-bit dataord og filtrering med 50 Hz knekkfrekvens. Til slutt blir ADCen's innebygde selvkalibreringsrutine kjørt. Denne initialiseringsrutinen kan når som helst kalles opp over UART ved kommandoen 'r' (reset).



Figur 3.5: SPI timing diagram

3.3.3 PWM

Motorhastigheten settes med et pulsbreddemodulert (PWM) signal fra mikrokontroller til motorkontroller. PWM signalet genereres med et 16-bit telleregister (TCA) som inkrementeres for hver klokkesyklus i mikrokontrolleren. Telleregisteret sammenliknes med et perioderegister (PERBUF) og tilbakestilles når $TCA > PERBUF$. Utgangssignalet genereres av et sammenlikningsregister (CMPBUF), hvor utgangssignalet er i arbeidssyklus når $TCA < CMPBUF$.



Figur 3.6: PWM timing diagram

Verdien av sammenlikningsregisteret er begrenset av verdien på perioderegisteret, og om man øker periodetiden blir derfor også oppløsningen større ved å øke antallet mulige verdier for sammenlikningsregisteret. Signaler med lengre periodetid er også enklere å nøyaktig omforme tilbake til digital verdi for motorcontrolleren. Frekvensen for PWM signalet er derfor satt til 10 Hz som er laveste tilatelige verdi gitt i databladet for motorcontrolleren [8]. Det er også oppgitt at motorcontrolleren opererer med arbeidssyklus på 10-90%. Sammenlikningsregisteret justeres under drift med UART kommandoene 'l'(load) og 'u'(unload), hvor motorhastighets argumentet plasseres direkte inn i sammenlikningsregisteret. For å beregne den nødvendige verdien av sammenlikningsregisteret for en gitt motorhastighet benyttes likning 11.

$$CMPBUF(M_{speed}) = \left[(M_{speed} - M_{min}) \cdot \frac{0.8 \cdot PERBUF}{M_{max} - M_{min}} + 0.1 \cdot PERBUF \right] \quad (11)$$

Register	Konfigurasjon
CTRLA	0x0B
CTRLB	0x13
EVCTRL	0x00
PERBUFH	0x75
PERBUFL	0x30

Tabell 3.4: Registerkonfigurasjon, Atmega4809, PWM

3.4 Kalibrering

Kalibrering er essensielt for å kunne gjøre riktige avlesninger av et målesystem. Prosedyren for kalibrering vil ta utgangspunkt fra lignende målesystemer som benyttes til kraft og posisjonsmåling. Målingene ble sammenlignet og funksjonskoeffisienter som benyttes til rådatabelhandling ble beregnet ut fra minste kvadraters metode som beskrevet i dokumentasjon fra MathWorks [9].

Behandling av rådataverdier for både lastcellen og posisjonssensoren vil kunne bruke opp til et fjerdegradspolynom:

$$Posisjon(x) = \sum_{n=0}^4 D_n \cdot x^n [\mu m] \quad (12)$$

$$Kraft(x) = \sum_{n=0}^4 S_{i,n} \cdot x^n [N] \quad (13)$$

($i = strength\ range\ konfigurasjon$)

For å kunne gjøre direkte avlesninger av rådataverdier fra ADC ble førstegrads-koeffisientene i *config.txt* satt til en, og resten satt til null.

3.4.1 Lastcelle

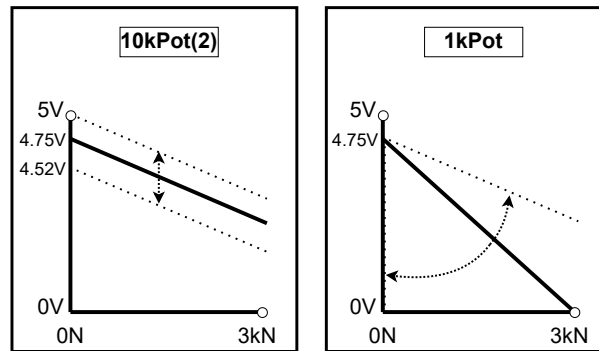
Kraftmålingen fra lastcellen benyttes til direkte avlesning og for beregning av stress. For å kunne gjøre presise målinger ble det implementert to trimpotensiometer på krets-kortet som skal kunne gi muligheten til å kalibrere lastcellen. På grunn av lastcellens konfigurasjon vil målebroen være i balanse når cellen står uten kraftpåvirkning, og målt differansespenning i målebroen vil være null. Målebroen er koblet til forsterkeren slik at det blir et negativt forhold mellom kraften og utgangsspenningen. Ved referansen for instrumenteringsforsterkeren ble det montert et trimpotensiometer for å justere inn utgangsspenningen til 5V ved 0N.

Sette måleområde:

Med $10kPot(2)$ fra koblingsskjema (vedlegg A) vil man ha muligheten til å sette en referansespenning på utgangen til instrumentforsterkeren til å være mellom:

$$U_{ref_{max}} = 10V \cdot \left(\frac{47K\Omega}{94K\Omega + 0K\Omega} \right) = 5V \quad (14)$$

$$U_{ref_{min}} = 10V \cdot \left(\frac{47K\Omega}{94K\Omega + 10K\Omega} \right) = 4.52V \quad (15)$$



Figur 3.7: Illustrasjon av justering for lastcelle

Siden lastcellen ble koblet til å bidra negativt på utgangssignalet ved økende kraftpåvirkning ble referansespenningen til instrumentforsterkeren justert frem til avlest rådata nådde sin høyeste verdi ($\approx 5V$) når målebreen var i balanse. Potensiometer- og referansespenningens endelige innstilling ble satt litt tilbake for å forsikre et fullstendig måleområde.

$10kPot(2)$ ble satt til $4.87k\Omega$ som gir en referansespenning:

$$U_{ref} = \left(\frac{47k\Omega}{2 \cdot 47k\Omega + 4.87k\Omega} \right) \cdot 10V = 4.754V \quad (16)$$

$1kPot$ gir muligheten for å sette forsterkningen til instrumentforsterkeren. For innjustering av motstandsverdi ble lastcellen utsatt for maksimal kraftpåvirkning i S1-konfigurasjon (3KN). Potensiometeret ble justert frem til avlest rådata nådde sin minimale verdi ($\approx 0V$) ved 3KN. Endelig motstandsverdi ble justert tilbake for å forsikre et fullstendig måleområde.

$1kPot$ ble satt til 500Ω som gir en forsterkning:

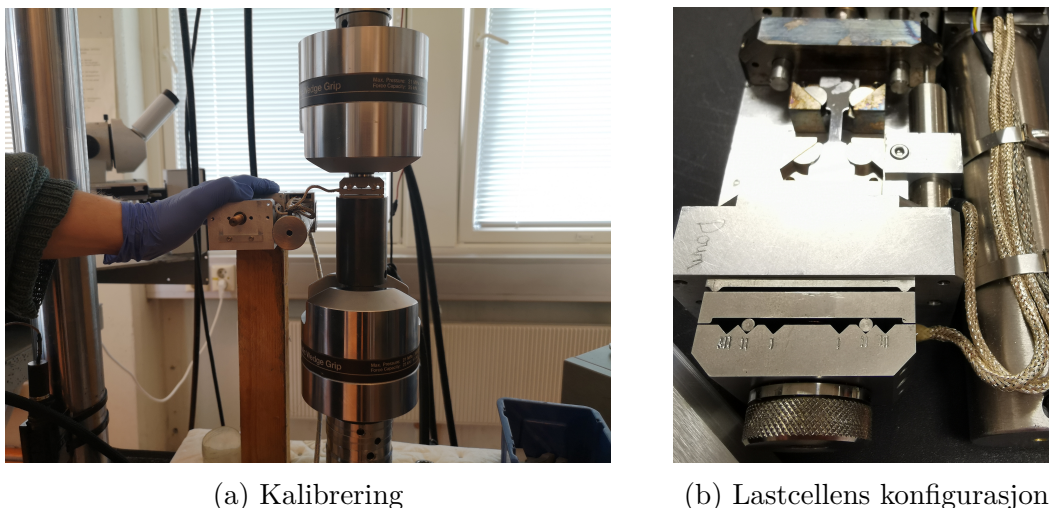
$$Forsterkning = 5 + \frac{80k\Omega}{500\Omega} = 165 \quad (17)$$

Fra instrumenteringsforsterkerens datablad [10] og innstilt forsterkning vil man kunne finne hvilket direkte spenningsområdet målebreen vil ha under normal drift dersom motstanden $R_g = 500\Omega$. Maksimale spenningsvariasjoner direkte fra målebreen:

$$\Delta U \approx \frac{5V}{5 + \frac{80k\Omega}{R_G}} = 30mV \quad (18)$$

Logging og kalibrering:

Lastcellen ble demontert fra strekkbordet og satt inn i en maskin som kunne utføre målinger av både strekking og kompresjon. Sammenlikning mellom maskinens kraftavlesning og rådata ble logget ved ulike kraftpåvirkninger.



Figur 3.8: Kalibrering av lastcelle

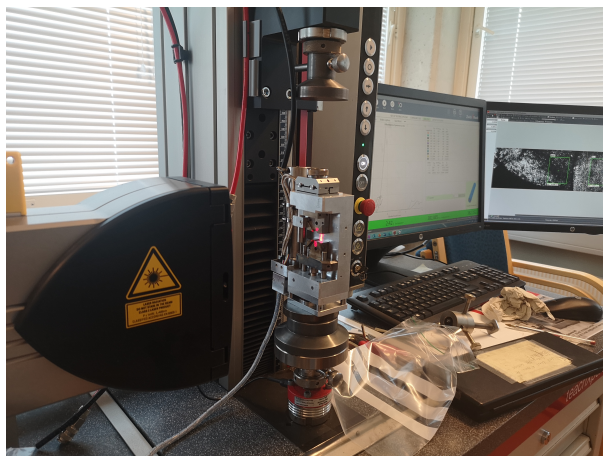
Etter kalibreringen ble det observert måleverdier med omfattende avvik. Det ble derfor bestemt å gjennomføre en lik kalibreringsprosedyre mot det eldre styresystemet. Metoden tar målinger fra eldre systemet for ulik påvirkning av kraft, før strekkbordet kobles over til ny styreelektronikk og tilsvarende rådata logges.

Regresjonsanalyse av datapunktene fra lastcellen viste seg å være relativt lineære over måleområdet, og det ble besluttet å benytte førsteordensfunksjon for rådatabelhandling.

Lastcellen har tre ulike innstillinger som benyttes for konfigurasjon av maksimal målegrense på henholdsvis 3KN, 5KN og 10KN. Siden de ulike konfigurasjonene vil endre trykkpunktene på lastcellen (figur 3.8(b)) vil de også kunne påvirke karakteristikken til målingene. Det ble derfor gjennomført lik kalibreringsmetode for alle konfigurasjonene.

3.4.2 LVDT

Posisjonssensorens målinger vil benyttes for både direkte avlesning og beregning i relativ forlengelse som benyttes i grafen. For å oppnå presise posisjonmålinger ble det implementert et potensiometer som skal kunne gjøre det mulig å kalibrere signalområdet for signalkretsen til LVDT. Signalkretsens spenningsignal ble kalibrert for maksimal differanse på én volt ved fullstendig mekanisk måleområde til sensoren. Signalet er videre koblet til en instrumenteringsforsterker som forsterker signalet ($Forsterkning = 5$) for å få fullstendig måleområdet på fem volt til ADC. Innjustering av fullstendig måleområdet ble gjort ved å sette strekkbordet i endeposisjon samtidig som potensiometeret ble justert til ADC'en målte sin maksimale rådataverdi.

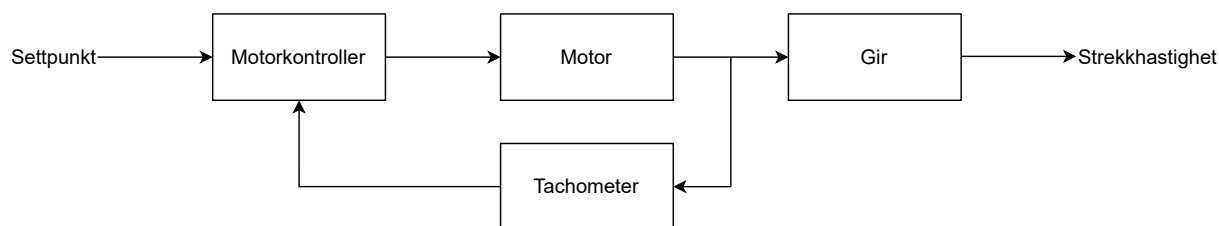


Figur 3.9: Kalibrering av posisjonssensor

Kalibrering av posisjonssensoren ble gjennomført mot målinger fra et referansemålesystem som vist i figur 3.9. Et optisk måleinstrument ble benyttet som referanse for målingene av posisjon. Funksjonskoeffisientene for rådatabelhandling ble beregnet ut fra regresjon av målte datapunkter med posisjon- og rådataverdier.

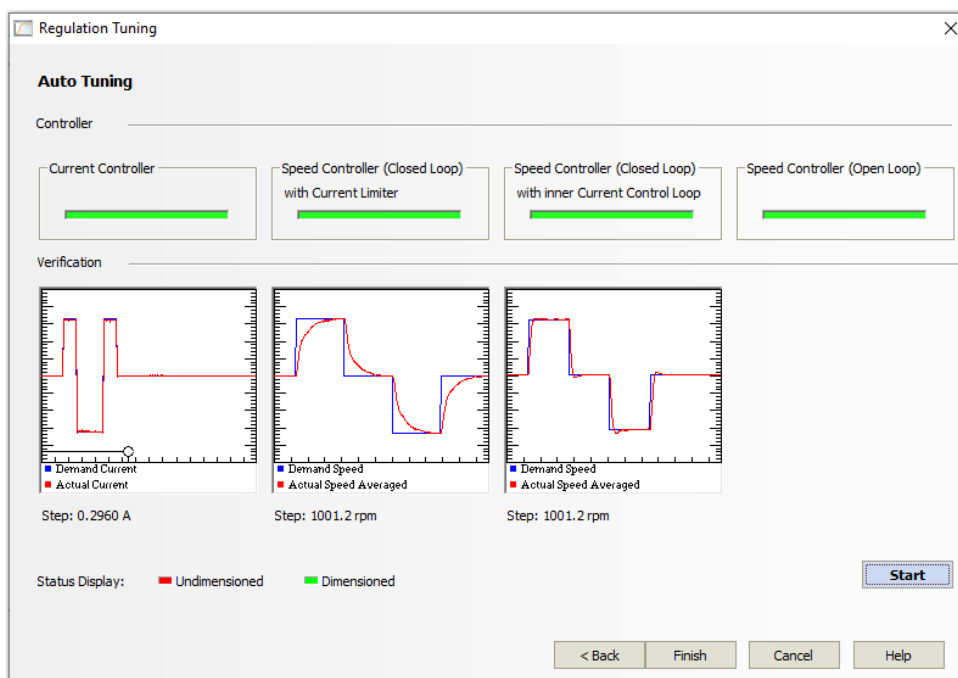
3.4.3 Motorkontroller

Motoren drives av *ESCON 36/2 DC* servokontroller som har flere muligheter for oppsett av både regulering og styring. For kalibrering av motorkontrolleren benyttes *ESCON Studio* som er et tilhørende programvare for oppsett av motorkontrollerens funksjonalitet. Gjennom en oppstartguide ble analoge og digitale porter konfigurert etter ønsket funksjon. I tillegg ble reguleringsprinsippet satt opp i «closed-loop» konfigurasjon mot omdreiningshastigheten målt fra tachometeret som er mekanisk festet til motoraksling.



Figur 3.10: Reguleringsstruktur

For å oppnå ønsket settpunkt har motorkontrolleren muligheter til å sette regulatorparametre manuelt eller automatisk ved «autotuning». For å oppnå nøyaktighet var det viktig å stille inn riktige parametre for at motorhastigheten skal kunne reguleres med små avvik og med raskt innsvingningsforløp. Det ble derfor gjennomført «autotuning» og man kan se fra figur (3.11) at reguleringen ble optimalisert. Sammenlikning på grafene viser at innsvingningsresponsen reagerer raskt med minimalt oversving.



Figur 3.11: Autotuning motorkontroller (ESCON Studio)

Styrekretsen tar utgangspunkt fra tidligere system der man har muligheten til å velge velge hastighet. Siden tachometeret allerede var montert på strekkbordet ble den brukt i det nye systemet for beregning av hastigheten på strekkingen. Denne tar utgangspunkt i et proporsjonalt forhold mellom omdreiningshastigheten og strekkhastigheten. Kalibreringen ble gjennomført ved å måle tidsdifferansen mellom to posisjoner med en fast omdreiningshastighet. Siden motorkontrolleren er innstilt med en rampetid måtte kalibreringene skje etter motoren hadde stabilisert rundt referansehastigheten.

3.5 Brukergrensesnitt

Koden for grensesnittet ligger tilgjengelig på GitHub:

[GitHub/NTNU-E2227/TensileTester](https://github.com/NTNU-E2227/TensileTester)

Oppdragsgiver hadde ingen føringer for hvilket program som skulle benyttes for å lage brukergrensesnittet. Gruppen sto dermed fritt til å velge hvilken platform som skulle benyttes.

I oppstartsfasen av prosjektet sto valget mellom Python (PyQt) og LabVIEW. På det tidligere systemet ble LabVIEW benyttet som plattform for utvikling av brukergrensesnittet. LabVIEW er et utviklingsmiljø fra *National Instruments* som benyttes for industrielle tester, måle- og automatiseringsapplikasjoner. Til tross for programmets allsidighet ble det

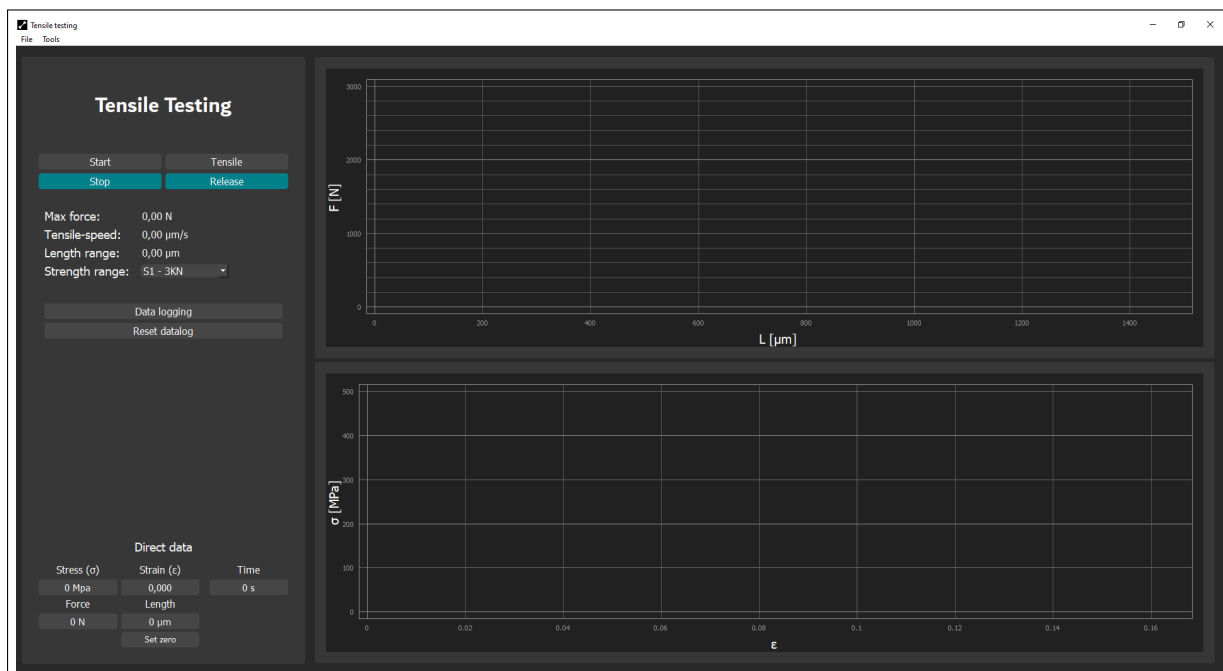
tidlig bestemt å benytte Python for utvikling av grensesnittet hos det nye systemet. Python er basert på åpenkildekode med mange muligheter for å lage et moderne grensesnitt som vil være enklere å videreutvikle i fremtiden. I tillegg har Python en stor brukerbase med mange tilgjengelige ressurser og er kompatibelt med GitHub som samarbeidsportal. På denne måten fikk man større oversikt og det ble lettere å jobbe sammen om programmeringen.

I forbindelse med PyQt biblioteket er Qt-designer benyttet som et hjelpemiddel for produksjonen av brukergrensesnittet. Programmet er et grafisk verktøy som gir muligheten til å plassere interaktive knapper, tekstbokser og andre elementer i et programvindu. Programmet vil generere en Qt-designer fil (.ui) som konverteres gjennom terminalvinduet for å bli oversatt til Python kode (.py). Denne filen blir fungerende som et stiloppsett for programmet og definerer brukergrensesnittets oppsett og utseende. På denne måten vil produksjonen og eventuelle endringer av grensesnittet være tidsbesparende i forhold til å implementere programkoden manuelt.

For å konvertere filtypen fra Qt-Designer(.ui) til Python(.py) ble kommandoen nedenfor benyttet:

```
1 \designerfiles> pyuic5 -x <DesignerFile>.ui -o <DesignerFile>.py
```

3.5.1 Design & funksjonalitet



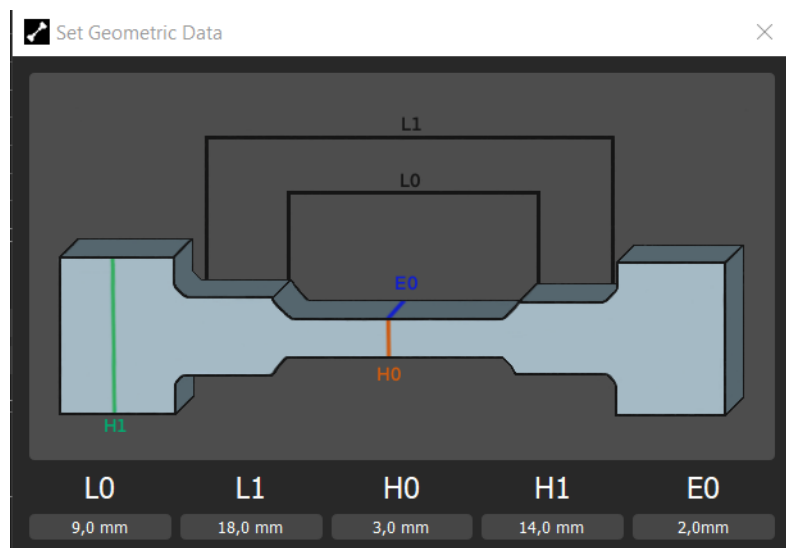
Figur 3.12: Grensesnitt

Det ble tidlig tatt en avgjørelse om å utvikle et brukergrensesnitt med nøytral fargebruk. Valget av farge falt på en mørk grå fargetone som er behagelig å se på over tid. Dette

er viktig da brukeren benytter grensesnittet over en lengre periode. Selve bestemmelsen av funksjonalitet ble gjort i stor grad gjennom samtale med oppdragsgiver og veiledere for å sikre et tilstrekkelig antall funksjoner som dekker bruksomfanget til strekkbordet. Knappene ble plassert på venstre side av brukergrensesnittet for å oppnå en god flyt og overgang mot grafene på høyere side. Ett viktig prinsipp var å forsøke å holde brukergrensesnittet oversiktlig og ikke implementere flere grafiske elementer enn absolutt nødvendig på en side. Det ble derfor valgt å kun holde funksjonene som er direkte relatert til driften av strekkbordet på brukergrensesnittets hovedside (se figur: 3.12).

På enkelte av brukergrensesnittets knapper er det satt kontinuerlig blå farge for å indikere om tilstanden er aktivert eller ikke. Dette gjelder *Data logging*, men også parvis mellom *Start/Stop* og *Tensile/Release* funksjonene. En årsak til at blått ble valgt er at enkelte andre farger ofte kan forbindes med forskjellige lysindikasjoner. For eksempel er rødt ofte forbundet med fare, imens grønt fungerer som klarsignal. Slik fargebruk er bevisst unngått for å unngå missvisende signaler ovenfor brukeren.

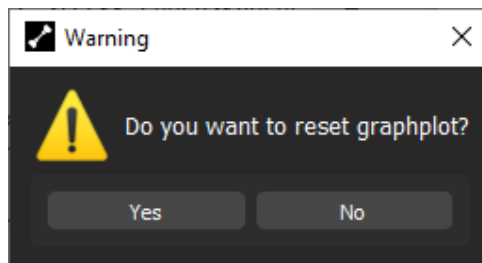
Tidligere system benyttet to hovedvinduer for innstillingsparametre og kontrollering av strekkbordet. For det nye grensesnittet ble det bestemt å benytte dialogvindu i større grad for å oppnå lik funksjonalitet som fra tidligere system i tillegg til at man oppnår et oversiktlig brukergrensesnitt. Under "*Tools* → *Geometry*" vil man få frem dialogvindu (3.13) der man kan tallfeste mekaniske dimensjonsverdiene for strekkmaterialprøven som er essensielt for beregninger av spenningkurve. Per i dag er det kun dimensjonene L0, E0 og H0 som benyttes i beregningene av spenning og tøyning. De resterende dimensjonene er kun implementert for å kunne tilby de samme mulighetene for justering av dimensjoner som hos det eldre systemet og gir fleksibilitet for potensiell videreutvikling.



Figur 3.13: Geometri dialog

For plotting av data benyttes to grafer. Øverste graf plotter kraften fra lastcellen og posisjonen fra LVDT langs to akser. Den nederste plotter spenning-tøyningkurven («stress-strain curve») og er den som oftest er av interesse ved material strekktesting. For å starte

plottingen av måleverdier må *data logging* være aktivert. Dersom grafene ønskes nullstilt benyttes *reset datalog* knappen. Da vil et ekstra dialog vindu dukke opp på skjermen for å forsikre seg om at brukeren ønsker å slette måleverdiene. Vinduet illustreres i figur 3.14.



Figur 3.14: Advarselsdialog

For lagring av verdier ved datalogging er det mulig å åpne måleverdiene i separat excel-dokument. Dette gjøres ved å trykke "*File* → *Export*" og lagre som CSV-fil, deretter kan brukeren åpne filen i excel. Formatet for lagring av data er basert på ISO-6892 (A.2.1)[2] som gir et standard oppsett for lagring av måleverdier. Dette er en gunstig funksjonalitet om man ønsker å beholde tallverdiene fra en strekktest over lengre tid eller om man ønsker å hente ut måleverdier til videre forbruk eller analyse. I tillegg til eksportering av numerisk datalogg vil det også være lagringsmuligheter for bilder av grafene ved å høyreklikke innenfor grafens ramme. Under samme meny vil det også være flere innstillinger for grafen.

Under *Strength range* vil man kunne velge strekkbordets maksimale kraft konfigurasjon. Dette området bestemmes ut fra plasseringene til justeringspinnene som man kan se fra figur 3.8(b). Konfigurasjon S1, S2 og S3 i brukergrensesnittet skal med andre ord samsvare med de fysiske justeringspinnene på strekkbordet.

Det er implementert mulighet for justering av maksimal tillatt kraft («*Max force*»), slik som på det eldre grensesnittet. Funksjonaliteten vil stanse motoren dersom kraften overgår satt grense og vil være deaktivert dersom den er satt til null. Det samme gjelder «*Length range*» i både «*tensile*» og «*release*» konfigurasjon ved at terskelverdien tar hensyn til absoluttverdien av posisjonens relative nullpunkt. Dette gjør at brukeren kan innstille til ønskede verdier uten behov for manuell justering.

Ved oppstart vil programmet automatisk forsøke å velge kommunikasjonsport for mikrokontrolleren. Det vil også være mulighet å manuelt velge kommunikasjonsport basert på tilgjengelige enheter. Dette gjøres under "*Tools* → *Port*". Det ble implementert sikkerhetsmekanismer som blant annet at motoren skrur av hvis systemet mister kommunikasjonen til mikrokontrolleren. Det samme er gjeldene dersom brukergrensesnittprogrammet lukkes. Dette er viktig for at brukeren skal ha fullstendig kontroll over systemet til en hver tid.

3.5.2 Databehandling

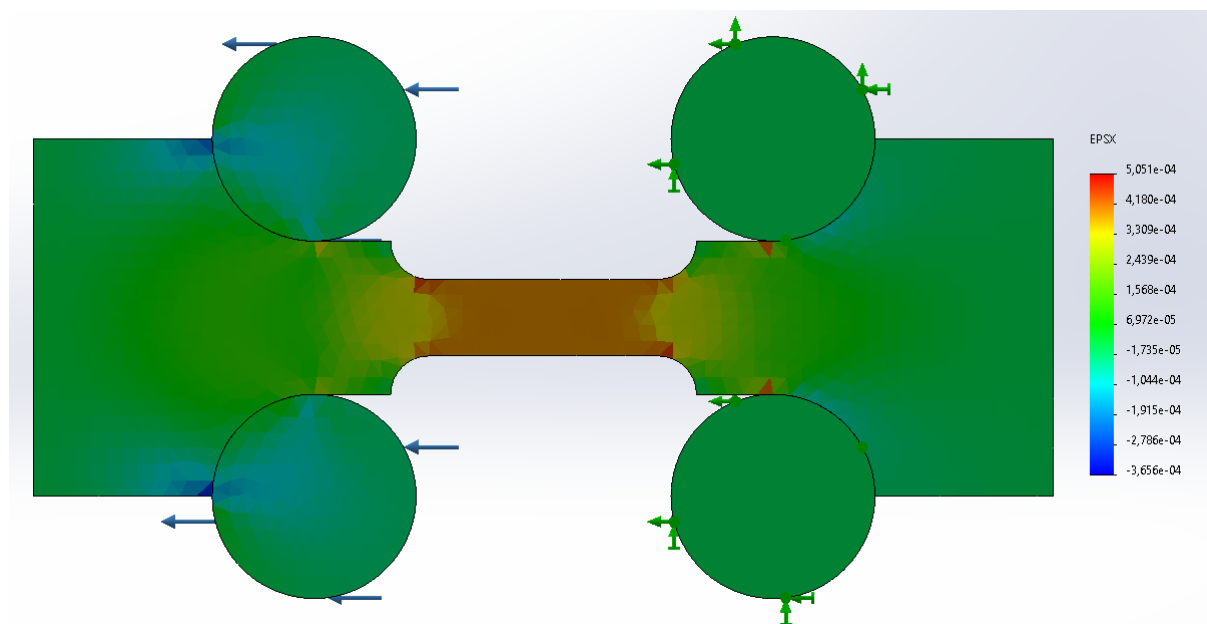
Mottak av data fra mikrokontroller håndteres i en separat tråd, slik at databehandlingen ikke påvirker responsiviteten i brukergrensesnittet. Rådataene fra ADC'en regnes om til kraft og posisjon gjennom polynomer med koeffisienter som leses inn fra filen *config.txt* som er vedlagt programmet (se 3.4). Tøyning og spenning regnes ut ifra de justerbare geometridataene. De beregnede dataene legges i en liste sammen med et tidsstempel, som kan eksporteres i CSV format som beskrevet i ISO standarden for strekkprøving [2].

3.6 Beregninger av strekkfragment

Delen av strekkprøven som ønskes målt blir på engelsk kalt «gauge». «Gauge» ligger på den smaleste delen av prøven, som har høyde og bredde H_0 og E_0 , da det er den som blir mest utsatt for spenning og tøyning. Da spenningen i «gauge» er jevnt fordelt over tverrsnittet, kan spenningen beregnes ved å bruke formlene for «engineering stress» (1) eller sann spenning (2) etter hva som ønskes. Tøyningen over hele prøven er større enn tøyningen i «gauge», dermed vil formlene for spenning som er gitt i (1) og (2) ha med en feilmargin bestående av forlengelsen utenfor «gauge».

I *Solidworks* ble det simulert hvordan tøyning er fordelt i materialet under strekk. *Solidworks* benytter en metode som kalles elementmetoden for å analysere figuren. Denne metoden deler et objekt inn i mange små elementer og beregner hvordan spenning og tøyning fordeles over disse. Oppløsningen av resultatet blir da tilsvarende størrelsen av elementene, som gjør at det er begrenset hvor nøyaktig tøyningen vises. Figur 3.15 viser hvor stor tøyningen i strekkretningen er. I denne simuleringen ble det brukt en modell for karbonstål, og kraft som var lav nok for at ingen områder nådde plastisk deformasjon. Det observerbart at den klart største delen av tøyningen skjer i den midterste delen på «gauge», men deler av prøvens tøyning vil foregå utenfor dette område. I denne analysen (3.15) er modellen belastet med svak nok kraft for at alt enda deformerer elastisk. Når områder i prøven begynner å deformerer plastisk så vil disse områdene ha mye større tøyning enn områder av prøven som deformerer elastisk, som vist i figur 3.15. Siden prøven kommer til brudd før det oppstår til plastisk deformasjon utenfor «gauge», vil andelen av tøyningen som skjer utenfor minke drastisk når den midterste delen deformerer plastisk.

For å forsøke å minske påvirkningen av forlengelsen utenfor «gauge» ble det også utviklet en funksjon som forsøker å beregne hvor mye av den totale forlengelsen som skjer i området hvor spenningen er målt. Funksjonen delte strekkprøven inn i tre områder. En bred del med parallele kanter, en smal del med parallele kanter og overgangen mellom dem. Funksjonen beregnet hvor stor del av forlengelsen hver del har om spenningen var jevnt fordelt over tverrsnittet i hele L1. Funksjonen ville da ha subtrahert den beregnede forlengelsen utenfor «gauge», som ble definert som området med høyde H_0 (3.13), av den totale forlengelsen. Det er bare under elastisk deformasjon at all deformasjon er lineær, dermed ville det blitt helt feil å gå ut ifra at tøyningen uansett er proporsjonal med spenningen. Funksjonen beregnet stigningstall av lagrede data på kraft og forlengelse, for å se når

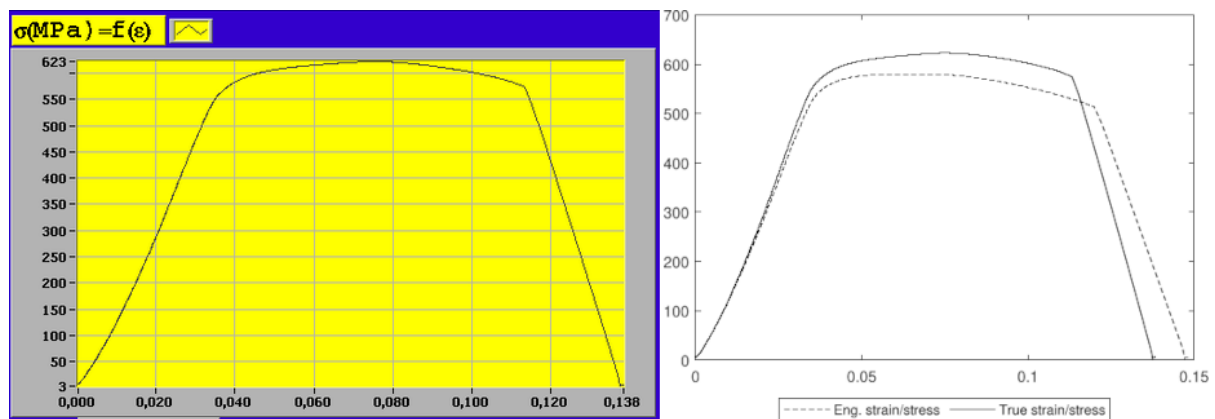
Figur 3.15: Elementmetoden i *Solidworks*

den sluttet å utvikle seg lineært. Når utviklingen ikke lenger er lineær og stigningstallet minker, ville den ha generert en funksjon som er lineariseringen av det elastiske området til spennings/tøyings-grafen. Denne lineariserte funksjonen ble benyttet til å beregne hvor mye de elastisk deformerende områdene strekker videre, og subtrahert dette fra den totale forlengelsen.

En betraktelig svakhet i funksjonen er at spenningen ikke er fordelt jevnt utover tverrsnittet i store deler av strekkprøven. Dette gjør at funksjonen eliminerer en uvisst andel av forlengelsen utenfor «gauge» i målingene. Å finne den sanne fordelingen av tøyningen ble vurdert som for komplekst og utfordrende da det endrer seg ettersom hvilket materiale som blir brukt. Et mer nøyaktig alternativ for å få til dette hadde vært å implementere elementmetoden, men der hadde også materialegenskaper vært krevd for nøyaktige simuleringer.

Beregningene i det gamle systemet som blir erstattet er også blitt undersøkt. Spenning/tøyning-grafen fra det gamle programmet ble sammenlignet med grafer tegnet med samme data. Med måldata eksportert fra samme måling ble grafer for sann spenning/tøyning og «engineering stress/strain» tegnet. Disse har blitt sammenlignet med grafen som det gamle programmet tegnet ut ifra samme måldata. Figur 3.16 viser til venstre et skjermbilde av spenning/tøyning-grafen, og til høyre med samme rådata beregnet sann spenning og «engineering strain». Det har blitt konkludert med at grafen tegnet av programmet er tilnærmet lik grafene som er blitt tegnet med funksjoner for sann spenning og tøyning, og at programmet da med høy sannsynlighet beregner sann spenning og tøyning.

Svakhetene med å forsøke å eliminere feilmarginen som dannes av strekking utenfor «gauge» med simuleringer eller beregninger er at det kreves mer informasjon fra brukeren om



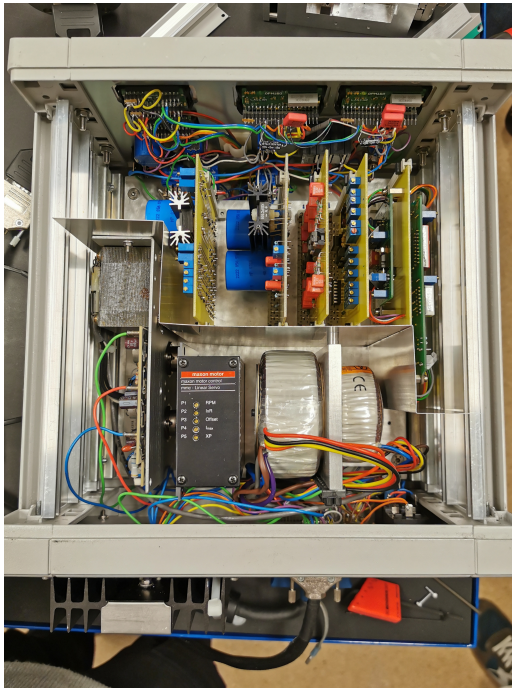
Figur 3.16: Sann og engineering spenning

geometrien av strekkprøven. Å se på forlengelse utenfor «gauge» som neglisjerbar gjør at bare geometrien av «gauge» er nødvendig. Utregninger for sann spenning og tøyning kan også gjøres i etterkant med eksportert rådata. Oppdragsgiver ønsket at beregningene ser på strekking utenfor «gauge» som neglisjerbar og går ut ifra at kun den smaleste delen av materialprøven strekkes. Oppdragsgiver ønsket også at «engineering stress/strain» ble beregnet, fremfor sann spenning og tøyning. Det er det som da også er blitt implementert i koden. Beregningene tar da utgangspunkt i den samme rådataen som det gamle systemet, men bruker formler for «engineering stress/strain» fremfor sann spenning og tøyning som det gamle brukte. Det er også tatt i bruk samme valg for «gauge» som det gamle systemet, som tilsvarer L0 (se 3.13).

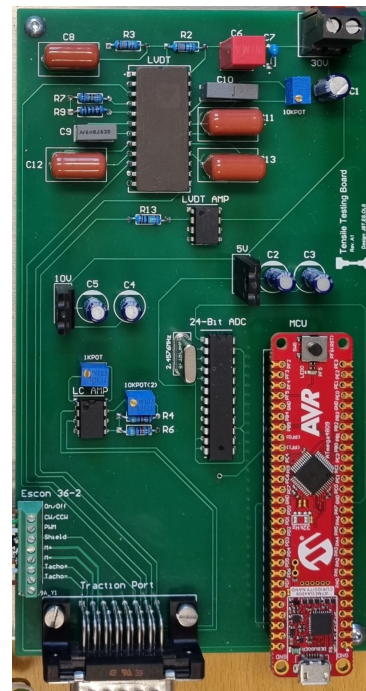
4 Resultater

4.1 Sluttprodukt

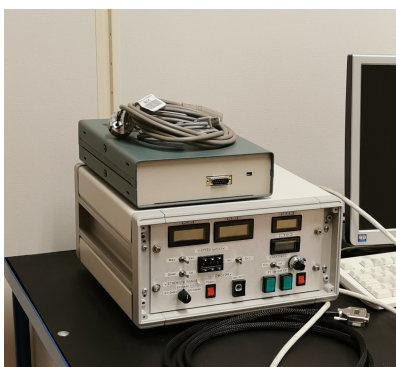
4.1.1 Instrumentboks & styrekrets



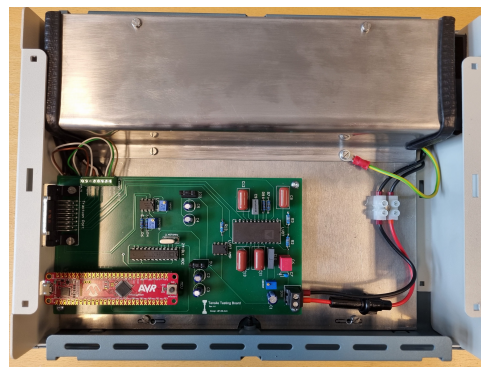
(a) Original krets



(b) Ny krets



(c) Ny & eldre instrumentboks



(d) Innside

Figur 4.1: Instrumentboks

4.1.2 Datamaskin-programvare

Programvare for strekkbenken kan lastes ned fra GitHub:

GitHub/NTNU-E2227/TensileTester/releases/tag/Release

Mer detaljert funksjonsbeskrivelse ligger i seksjon 3.5.1 om design & funksjonalitet.

Navn	Funksjon
Start/Stopp	Starter og stopper motoren
Tensile/Release	Dreieretningen til motoren
Max force	Maksimalt tillatt kraft. Motor slås av dersom kraften overgår satt grense. Funksjonen vil være deaktivert når satt grensen er satt til 0
Tensile-speed	Justering av strekkhastighet
Length range	Maksimal lengdeendring fra satt nullpunkt. Motor slås av dersom lengden overgår satt grense. Funksjonen vil være deaktivert når grensen er satt til 0
Strength range	Velger konfigurasjon for kraft måling. Må tilsvare fysisk konfigurasjon på strekkbordet
Data logging	Start/stopp logging av måleverdier
Reset datalog	Nullstiller målepunktslogg
Direct data	Avlesning av live verdier
Tools→Port	Valg av COM port
Tools→Geometry	Åpner geometri vindu for justering av materialprøve dimensjoner
Tools→Reset ADC	Re initialisering av ADC
File→Export	Ekspoterer datalogg som CSV fil

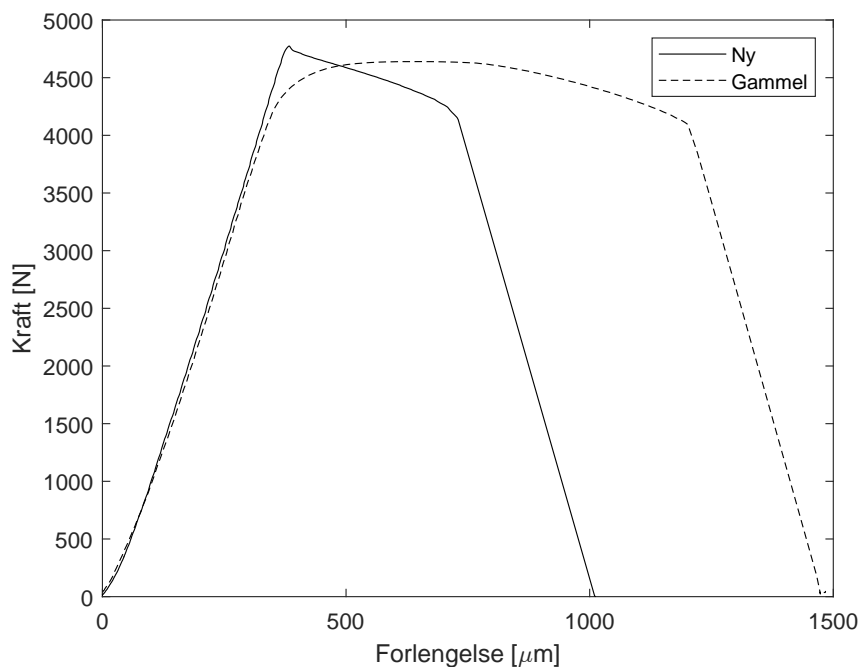
Tabell 4.1: Funksjonsbeskrivelser for brukergrensesnitt

Programmet er utviklet med utgangspunkt i at det skal fungere på operativsystemet Windows. Siden programmet som kjører på datamaskinen er skrevet i Python, skal det kunne kjøres på en rekke andre operativsystem også. Brukergrensesnittet er blitt vellykket brukt på Linux distribusjonen Manjaro, men da måtte kommandoen «`sudo chmod 666 /dev/portnr.`» kjøres i terminalen før programmet startes, for å gi tilgang til porten som ble brukt. Om det skulle være problemer med å kjøre Python-programmet er det høy sannsynlighet for at det er problemer med Python versjonen eller at kodens interaksjon med I/O ikke fungerer av systemspesifikke grunner. Kildekoden fungerer kun på andre system som støtter Python, imens det kompilerte programmet som kjøres som en .exe-fil kjører kun i Windows.

4.2 Nøyaktighet og presisjon

4.2.1 Sammenlikning med eksisterende utstyr

For å kvalitetssikre arbeidet er strekkprøving av tilsvarende materialprøver gjennomført med nytt og gammelt system. Resultatene viser svært lik oppførsel i det lineære området, men store ulikheter i det ulineære området. Kurven for det nye systemet har også en unaturlig brå knekk i overgangen fra lineært til ulineært område, og prøven ryker ved tilsvarende kraft, men betydelig mindre forlengelse. Flere tester har gitt tilsvarende resultat. Det ikke kjent hvorfor resultatet blir såpass ulikt, men det er verdt å merke at det under arbeidet har blitt ført dårlig kontroll på materialprøvene og noen av prøvene har blitt strukket flere ganger uten å gå til brudd, som kan føre til ulikt resultat. Noe av forskjellen kan også skyldes ulikheter i strekkhastigheten (se 4.2.2).

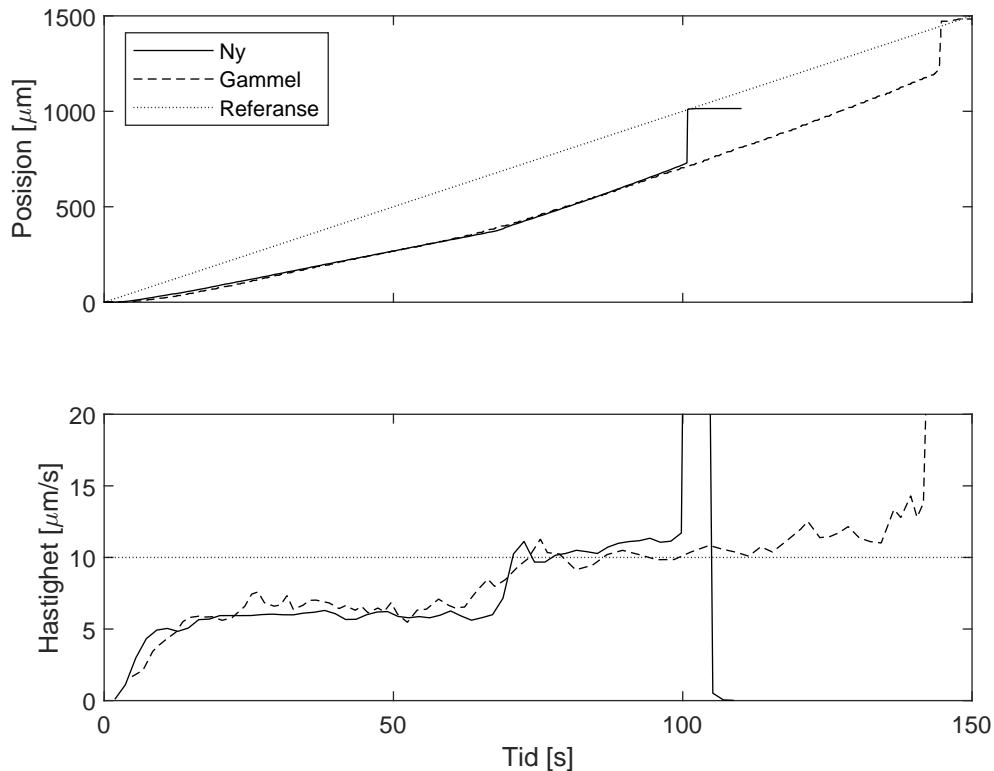


Figur 4.2: Sammenlikning av strekkprøving

4.2.2 Hastighetsregulering

Strekkehastigheten reguleres ved måling av omdreiningshastigheten på motorakslingen (se 3.4.3) som er koblet til strekkhodene gjennom et reduksjonsgir. Kalibreringen av strekkhastigheten er gjennomført uten belastning, altså uten strekkprøve montert. Når en materialprøve er montert belastes giret annerledes avhengig av materialprøvens egenskaper. Figur 4.3 viser strekking av en metallprøve, hvor strekkhastigheten ligger langt under referansen så lenge prøven er i elastisk område, og først oppnår referansehastigheten etter at prøven har begynt å gi etter. Testing ved høyere referansehastighet viser at motoren er i stand til å opprettholde strekkhastighet over $10\mu\text{m}/\text{s}$ under belastning. Direkte målinger

fra motorkontrolleren viser konstant rotasjonshastighet på motorakslingen, som tyder på at det er endringer i karakteristikken på overføringen fra motor til strekkhastighet under belastning som fører til avviket. En interessant observasjon er at når materialprøven ryker går posisjonen umiddelbart opp til hvor den hadde vært om den holdt referansehastigheten under hele forløpet. Denne karakteristikken gjelder for både det nye- og gamle systemet.

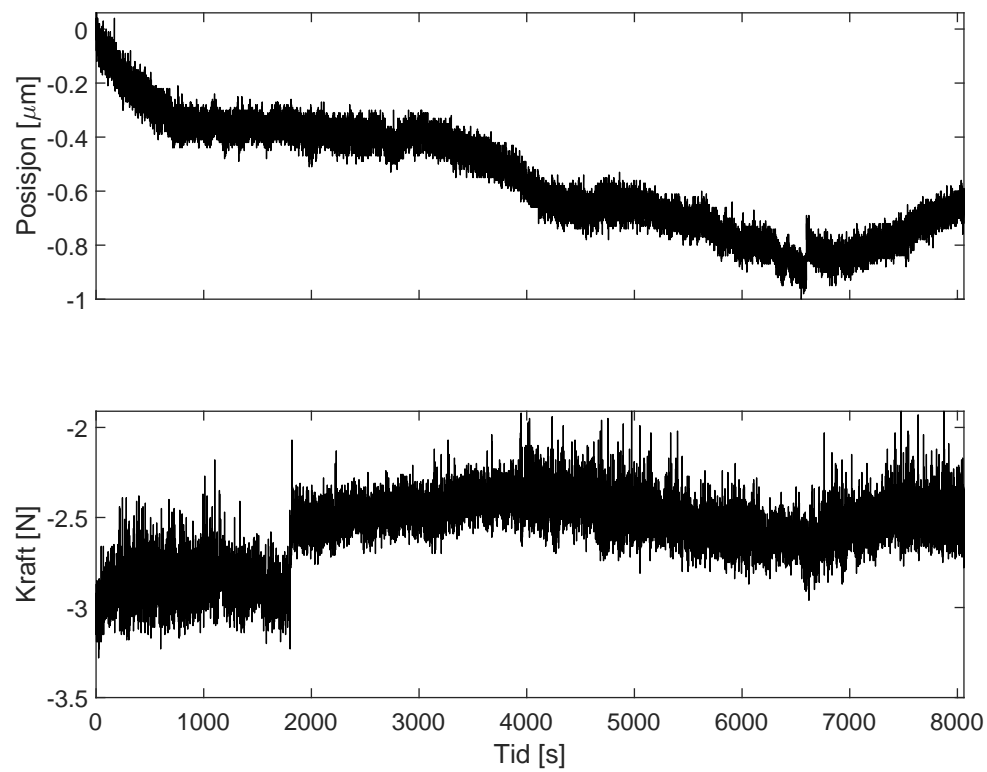


Figur 4.3: Belastet strekkhastighet

Oppløsningen for regulering av strekkhastigheten er i teorien begrenset av avlesingen av PWM signalet i motorkontrolleren, som er oppgitt i databladet [8] til å typisk ligge på $\pm 0.1\%$ ved 10 Hz. Siden signalet er begrenset til arbeidssyklus mellom 10-90% tilsvarer det ca. $\pm 0.11\%$ av måleomfanget, og med hastigheter fra 0 – 6200rpm kan strekkhastigheten i teorien reguleres i steg på 6.82rpm.

4.2.3 Støy

Logging av måleverdier over en lengre periode uten at motoren er i drift (figur 4.4) viser høyfrekvent støy med amplitude på ca. $0.1\mu m$ og $0.5N$, og drift over tid på opp til $1\mu m$ og $0.5N$. Temperaturendringer er en mulig årsak til driften i måleverdiene. Når motoren er i drift er det sannsynlig at støyen øker i amplitude. Det er ikke kjent om montering i SEM påvirker støyen. En observert kilde til støy er at tidsstempelet som assosieres med måledataene kan være forsinket hvis det bygger seg opp kø i databehandlingen, som kan



Figur 4.4: Statistiske støymålinger

føre til at flere målepunkter behandles på samme tid og får samme tidsstempel. Dette påvirker ikke kraft/forlengelse og spenning/tøyning beregningene, og kommer kun frem i eksporterte data.

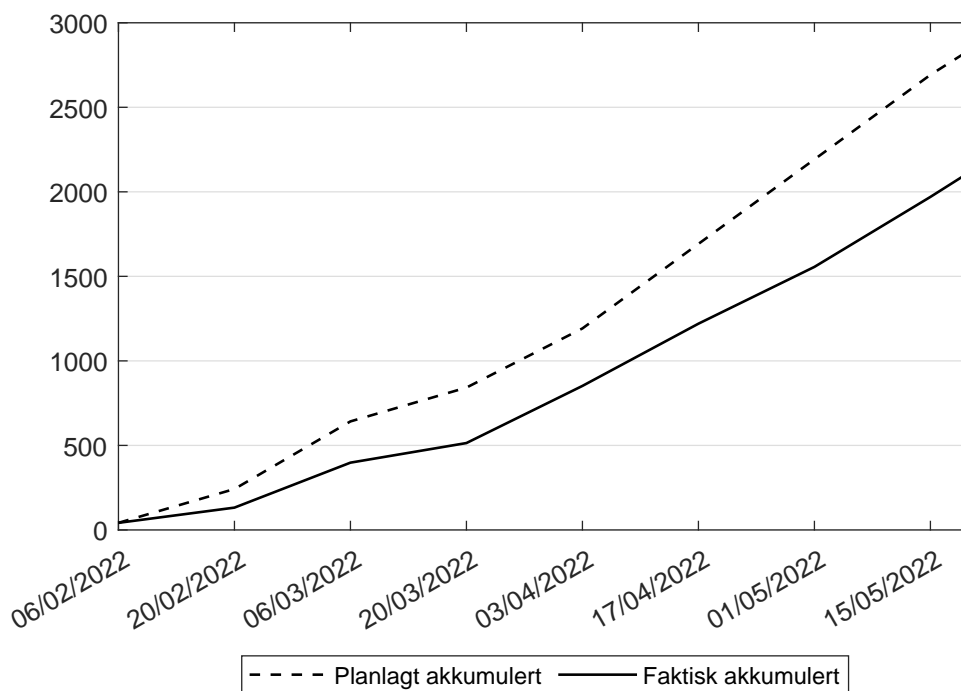
5 Diskusjon

5.1 Prosjektplan og gjennomføring

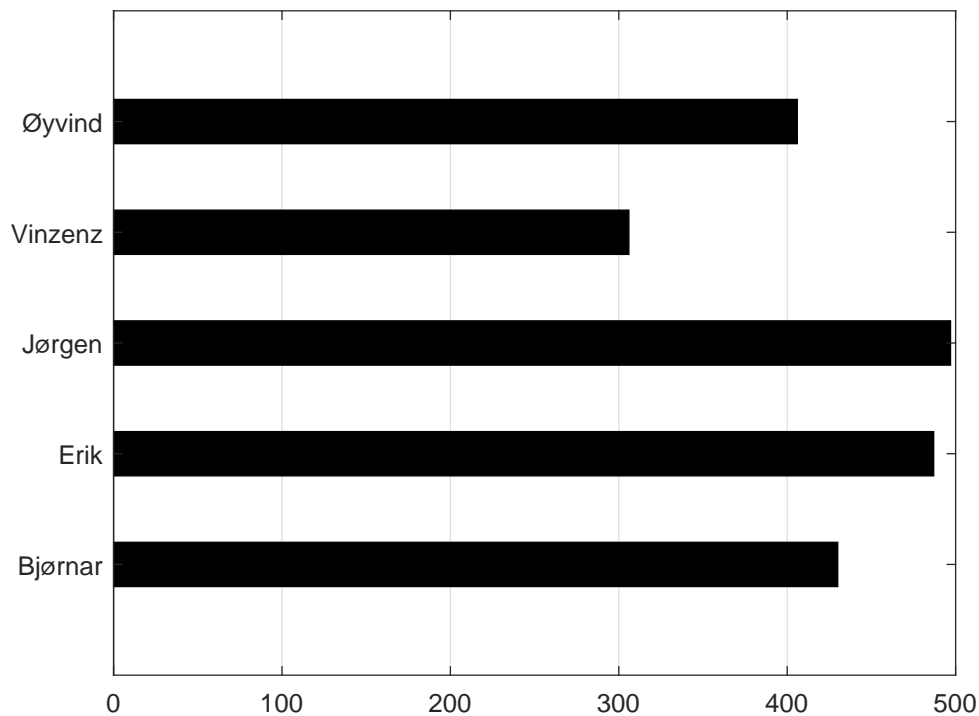
5.1.1 Prosjektleveranser

I forprosjektet ble det beskrevet en forventet leveranse ved prosjektslutt av styreenhet, PC programvare til styreenhet og dokumentasjon til bruk, vedlikehold og videreutvikling. Styreenhet og programvare leveres med grunnleggende funksjonalitet som benyttes for utføring av strekkprøving. Dokumentasjonen som allerede var tilgjengelig var begrenset og utdatert som påvirket tidsbruken for utvikling. Det har derfor vært en høyt prioritert del av oppgaven å dokumentere for å kunne forenkle både for nåværende- og fremtidig utvikling av utstyret.

5.1.2 Tidsforbruk



Figur 5.1: S-diagram



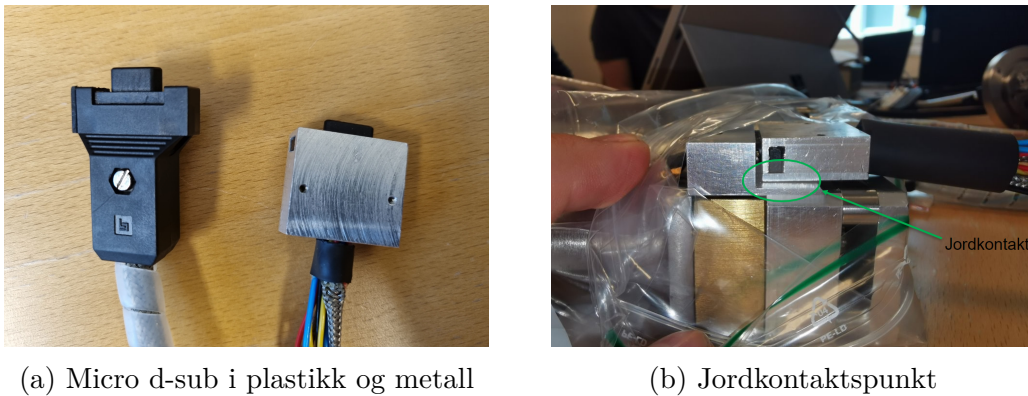
Figur 5.2: Tidsforbruk per person

5.1.3 Budsjett

I forprosjektet for oppgaven ble det anslått et nødvendig budsjett på 5500,- NOK før MVA. Totalsummen for alle innkjøpte komponenter som ble brukt i prosjektet (vedlegg D) havnet på 5618.11,- NOK. før MVA. I tillegg til de innkjøpte komponentene er det brukt en del passive komponenter (motstander og kondensatorer), og metallplater og skruer/muttere som har vært tilgjengelig gjennom NTNU.

5.2 Fremtidig utvikling

- Dersom strekkbordet ikke er jordet oppstår det målefeil i kraftmålingen når motoren startes ettersom at potensialet i strekkbenken endres av motorens magnetfelt. Strekkbordet tilkobles jord ved å ha kontakt med den metalliske skjermen på mikro D-sub som vist i figur 5.3. Per idag blir ikke skjermen jordet, men kan relativt enkelt fikses. Metallskjermingen rundt kablene frem til kontakten er jordet, og må videreføres til skjermen på kontakten som er i kontakt med strekkbordet. Ettersom strekkbordet kun har kontakt med jord gjennom den metalliske overflaten av kontakten, vil en av de tilhørende kablene ikke fungere tilstekkkelig og burde derfor ikke benyttes. Dette kommer av at kablen benytter en plastikk skjerming rundt mikro D-sub, noe som gjør at strekkbenken ikke oppnår kontakt med jord.

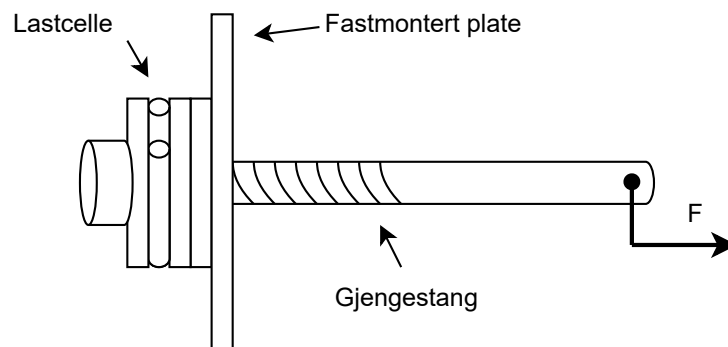


(a) Micro d-sub i plastikk og metall

(b) Jordkontaktspunkt

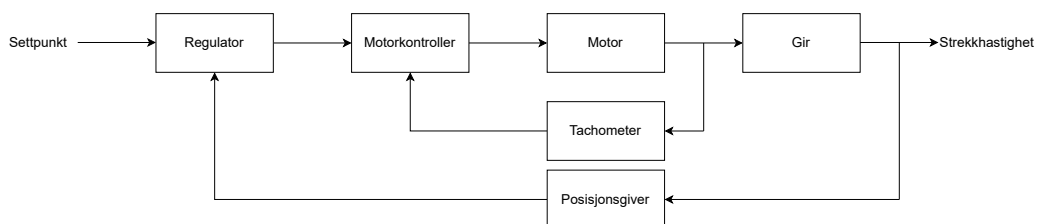
Figur 5.3: Jording av strekkbord

- Den viktigste utviklingen som anbefales er en standardisert metode for kalibrering hvor en kjent kraft kan påtrykkes lastcellen tilsvarende hvordan kraften blir påtrykt under strekking. Et forslag til hvordan dette kan gjennomføres er å anskaffe en gjengestang med samme gjengestørrelse som skruen lastcellen er montert på, og montere lastcellen mot en plate slik at en kjent kraft kan påtrykkes gjengestangen slik som vist i figur 5.4.



Figur 5.4: Forslag til lastcelle kalibrering

- Det anbefales også å utvikle en regulator for strekkhastighet med tilbakekobling fra posisjongiveren (LVDT) slik at strekkhastigheten kan holdes konstant både under elastisk og plastisk deformasjon. Det enkleste vil være å implementere denne i PC programvaren.



Figur 5.5: Forslag til hastighetsregulering

- Det er også etterspurt funksjonalitet for å spenne opp materialprøven til en kjent kraft for å utelukke ulineariteter tidlig i deformeringen.
- Både under dette prosjektet og tidligere har det vært et problem at kablene på strekkbordet er svært skjøre og har gjentatte ganger blitt loddet. Det vil være til fordel for fremtidig bruk om disse byttes ut med mer solide kabler.
- For å gi en indikering på systemets tilstand vil det være fornuftig å vurdere lysindikering direkte fra instrumentboksen. Dette kan gjøres ved å koble et lys i parallell med forsyningsbanen til 30V og blir da en indikering på om systemet er tilført spenning eller ikke. Dersom indikeringen ikke aktiveres kan dette også tyde på at en av sikringene er ødelagt eller at det er oppstått andre elektriske feil. Plasseringen av lys gjøres ideelt sett på boksens framside, men kan også plasseres andre iøynefallende steder som er lett synlig for brukeren.
- Det kan også vurderes å flytte tidsstemplingen av dataene til mikrokontrolleren for å unngå at flere målepunkter får samme tidsstempel.
- Det burde foretas en risikovurdering for oppkoblingen av 230V AC-strømforsyningen på innsiden av instrumentboksen.

6 Konklusjon

Gjennom prosjektet er det utviklet elektronikk og programvare som svarer til målene som ble satt i forprosjektet, og innehar den grunnleggende funksjonaliteten som er nødvendig for strekkprøving. Et overordnet mål for prosjektet var å konstruere et system som har de samme grunnleggende funksjonaliteten som tidligere, men med bruk av mer moderne teknologi. Noe det nye systemet tilfredsstillende i stor grad gjennom både komponentvalg og programvareløsning. I prosjektet er det i tillegg foreslått muligheter for fremtidige forbedringer som vil kunne gjøre systemet enda mer nøyaktig eller gi systemet flere gunstige funksjonaliteter. Flere av disse vil være mulig å implementere uten alt for store innretninger eller kostnader.

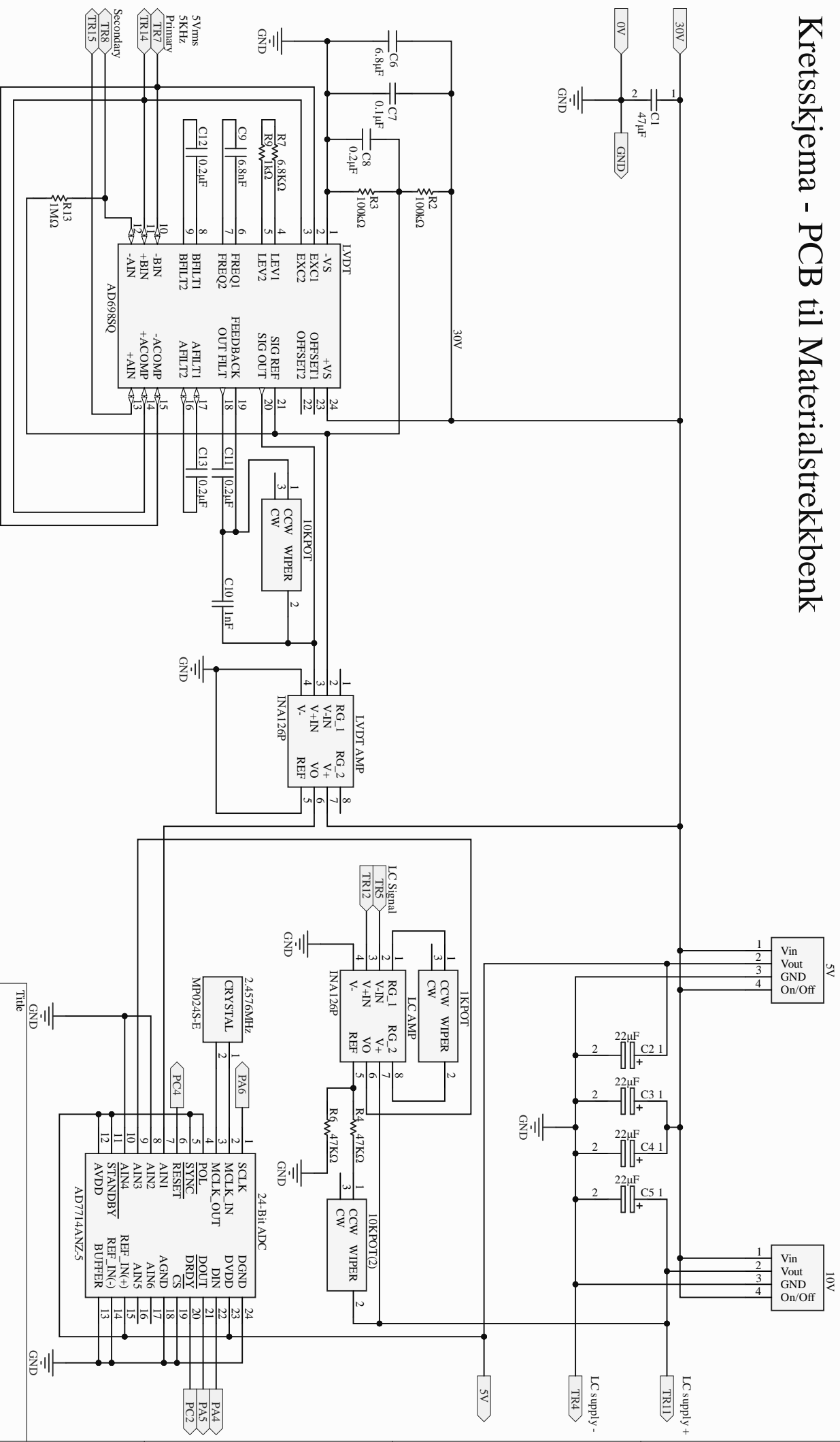
Dokumentet gir en grundig beskrivelse for hvordan systemet fungerer, samt generell utvikling av systemet og begrunnelser for de avgjørelsene som er gjort. Sammen med dokumentet er flere essensielle vedlegg lagt ved, men også programfiler som er essensielt for bruk av systemet. Programfiler ligger også tilgjengelig på GitHub og kan nedlastes som et kjørbart program.

Referanser

- [1] R. Chiron, J. Fryet og D. L. P. Viaris, «In situ tensile testing machine and specimen for a scanning electron microscope,» European Patent Office, Patent EP0696351A1, apr. 1993.
- [2] International Organization for Standardization, «Metallic materials - Tensile testing - Part 1: Method of test at room temperature,» Geneva, CH, Standard ISO 6892-1:2019(E), nov. 2019.
- [3] *AD698 Universal LVDT signal conditioner datasheet*, Rev. C, Analog Devices, Inc., 1995. adresse: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad698.pdf>.
- [4] *Program 2013/14*, Side 368, winding number 945, Maxon Motor AG, mai 2013. adresse: https://www.maxongroup.com/medias/sys_master/root/8807107166238/13-368-EN.pdf.
- [5] *PCB Trace Width Calculator*, Formulas from IPC-2221, Digi-Key. adresse: <https://www.digikey.no/en/resources/conversion-calculators/conversion-calculator-pcb-trace-width>.
- [6] Z. Peterson, «Top 5 PCB Layout Basics Every Designer Needs to Know,» *Altium*, feb. 2017. adresse: <https://resources.altium.com/p/top-5-pcb-design-guidelines-every-pcb-designer-needs-know>.
- [7] *ATmega4808/4809 Data Sheet*, Microchip Technology Inc., 2021. adresse: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/ATmega4808-4809-Data-Sheet-DS40002173A.pdf>.
- [8] *ESCON 36/2 DC Hardware Reference*, Edition 2021-08, Maxon Motor AG, aug. 2021. adresse: https://www.maxongroup.com/medias/sys_master/root/8930312912926/403112-ESCON-36-2-DC-Hardware-Reference-En.pdf.
- [9] *Polynomial curve fitting*, Matlab Function, MathWorks. adresse: <https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/polyfit.html>.
- [10] *INAx126 MicroPower Instrumentation Amplifiers*, Edition 2022-01, Texas Instruments, jan. 2022. adresse: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina126.pdf>.

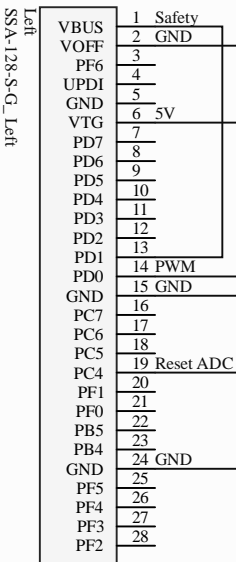
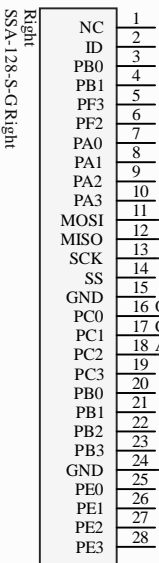
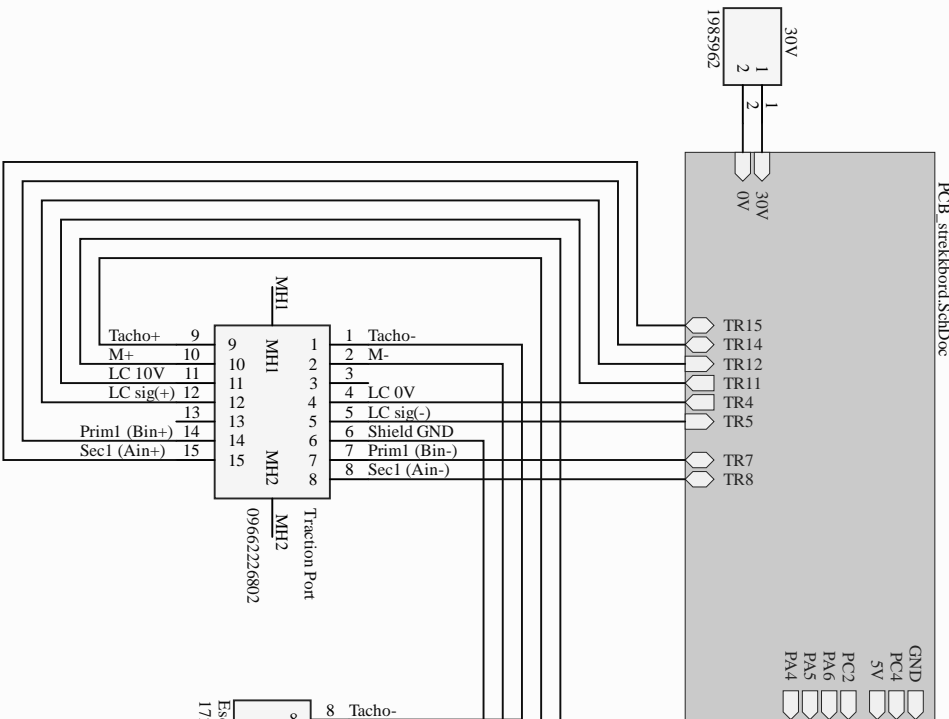
Vedlegg A Kretstegning

Kretsskjema - PCB til Materialstrekkbenk



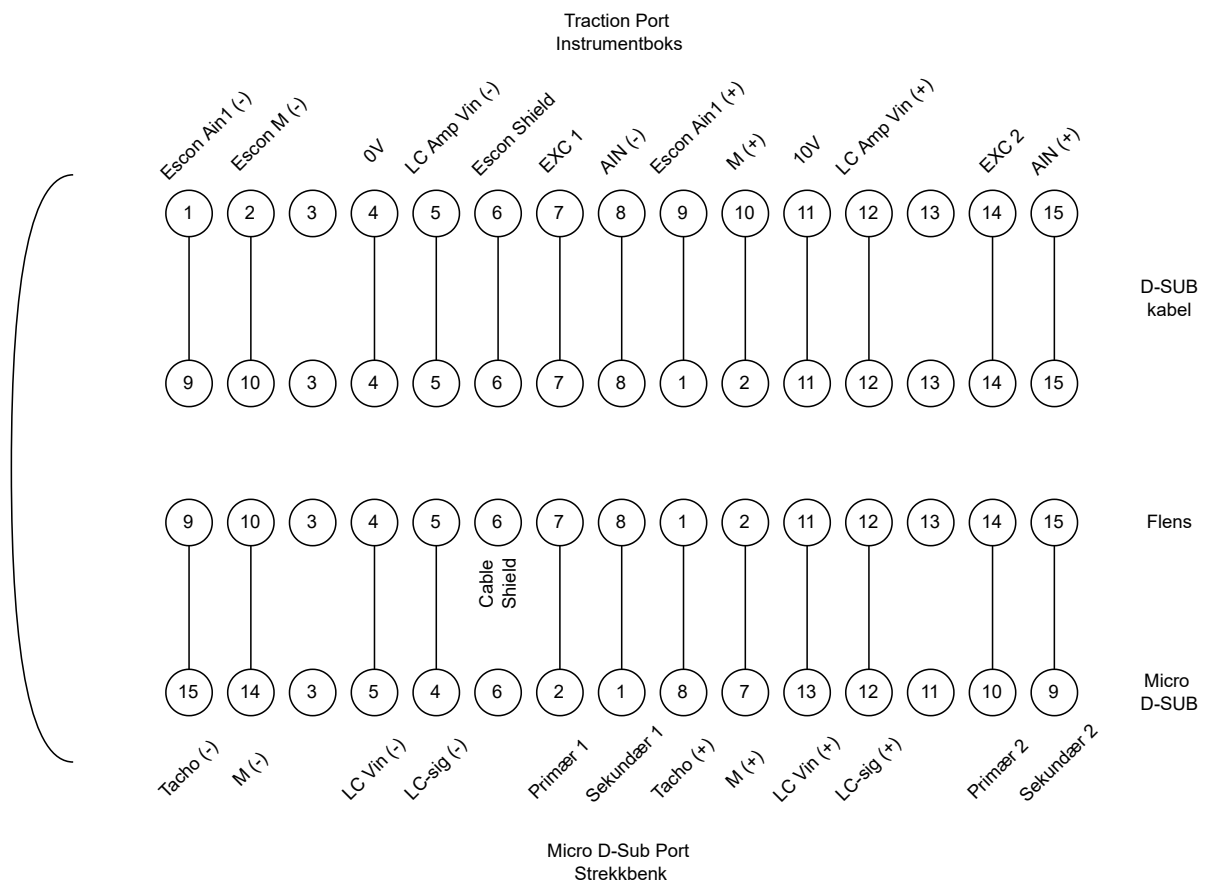
Title	Size	Number	Revision
GND	A4		

Date:	5.14.2022	Sheet of	
File:	C:\Users\...PCB_strekkbord_SchDoc	Drawn By:	Jorgjen By Tveen



Title	
Size	Number
A4	
Date:	4.23.2022
File:	C:\Users\l...MainSheet_SchDoc
Revision	
Drawn By: Jørgen By Tjøen	

Vedlegg B Kabeloversikt



(a) Male pinout



(b) Female pinout

Pin No.		Farge	Funksjon	Komponent	Tilkobling
1	→	Blå	Sekundær (1)	LVDT	A _{IN-}
2	→	Rød	Primær (1)	LVDT	EXC1
3	→				
4	→	Grønn	Signal (-)	Lastcelle	V _{in-}
5	→	Rød	Forsyning (-)	Lastcelle	GND
6	→				
7	→	Hvit	Forsyning (+)	Motor	M ₊
8	→	Rød	Signal (+)	Tachometer	A _{in1+}
9	→	Grønn	Sekundær (2)	LVDT	A _{IN+}
10	→	Gul	Primær (2)	LVDT	EXC2
11	→				
12	→	Hvit	Signal (+)	Lastcelle	V _{in+}
13	→	Svart	Forsyning (+)	Lastcelle	10V
14	→	Blå	Forsyning (-)	Motor	M ₋
15	→	Gul	Signal (-)	Tachometer	A _{in1-}

Vedlegg C Utregning av komponenter
LVDT

Beregninger ut fra datablad [3]:

For fastsetting av frekvensen til eksitasjonsspenningen ble kondensatoren beregnet med utgangspunkt i steg 4. Målinger med oscilloskop verifiserer frekvensen på $\approx 5kHz$.

$$C9 = \frac{35\mu F}{5kHz} = 7nF \approx 6.8nF$$

Motstandsverdier for fastsetting av amplitude for eksitasjonsspenningen ble valgt fra steg 6. Målinger med oscilloskop ga i utgangspunktet avvik på amplituden. Dette ble innjustert manuelt ved å øke til høyere motstandsverdi.

$$R7 + R9 = 7.8k\Omega$$

Fastsetting av kondensatorer for filtrering av målesignal tar utgangspunkt i steg 7.

$$f_{subsystem} = \frac{f_{exc}}{10}$$

$$\begin{aligned} C11 = C12 = C13 &= \frac{10^{-4}FH_z}{f_{subsystem}} \\ &= \frac{10^{-4}FH_z}{\frac{5kHz}{10}} = 0.2\mu F \end{aligned}$$

For en total spenningsendring på en volt på fysiske måleområdet ble motstandsverdien på $10kPot$ satt til:

$$10kPot = 3.41k\Omega$$

Komponenter for signalreferanse må oppfylle to krav beskrevet i steg 10 og steg 11:

$R2$ og $R3$ ble satt til $100k\Omega$ for å kunne oppfylle begge krav.

Vedlegg D Komponentliste



Komponentliste bachelorprosjekt E2227

*Alle priser er ekskludert MVA og frakt.

Fabrikant	Navn	Leverandør nr.	Antall	Pris (total)*
DJ Stork Drives AS				
Maxon Motors	ESCON 36/2 DC	*Bestilles via epost	1	1743.00,- NOK
Mouser Electronics				
Analog Devices	AD698SQ	584-AD698SQ	1	1196.90,- NOK
Analog Devices	AD7714ANZ-5	584-AD7714ANZ-5	1	262.00,- NOK
HARTING	Dsub 15p male	617-09662226802	1	55.00,- NOK
Nisshinbo	5V 1A VRM	513-NJM2388F05	1	11.30,- NOK
Microchip	Atmega4809	579-DM320115	1	183.60,- NOK
CTS	SP024S	774-MP024S	1	11.40,- NOK
Phoenix Contact	Terminal Blocks 8P	651-1725711	1	63.4,- NOK
Phoenix Contact	Terminal Blocks 2P	651-1985962	1	15.7,- NOK
Samtec	Socket Strip	200-SSA128SG	2	132.8,- NOK
Panasonic	Film Capacitor 0.2uF	667-ECW-F4204JL	4	61.2,- NOK
Panasonic	Electrolytic Capacitor 22uF	667-ECA-1VM220I	4	9.48,- NOK
WIMA	Film Capacitor 6.8uF	505-MKS2B046801M00JS	1	29.6,- NOK
RS Components				
Maxon Motors	Power cable	756-9745	1	87.15,- NOK
Maxon Motors	Digital I/O cable	756-9733	1	111.04,- NOK
Maxon Motors	Analogue I/O cable	756-9736	1	118.40,- NOK
Maxon Motors	Motor cable	756-9739	1	109.77,- NOK
New Japan Radio	10V 1A VRM	713-9868	5	83.49,- NOK
RS PRO	Instrument Case	754-5963	1	353.9,- NOK
RS PRO	C14 Snap-In IEC	811-7229	1	36.76,- NOK
RS PRO	M3 Button Screw	822-9155	1	139.26,- NOK
XP Power	30 VDC 40W PSU	122-7107	1	427.14,- NOK
Bourns	10kΩ Potentiometer	521-9192	2	91.54,- NOK
Bourns	1kΩ Potentiometer	521-9186	1	45.77,- NOK
Würth	M3 Hex standoff steel	176-8426	10	31.42,- NOK
Würth	M3 Hex standoff polyamid	184-1912	10	107.8,- NOK
JLC-PCB				
JLC PCB	Kretskort	NIL	5	99.89,- NOK

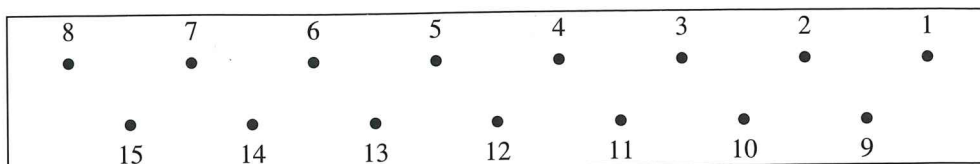
Sum: 5618.11,- NOK

Vedlegg E Originale dokumenter

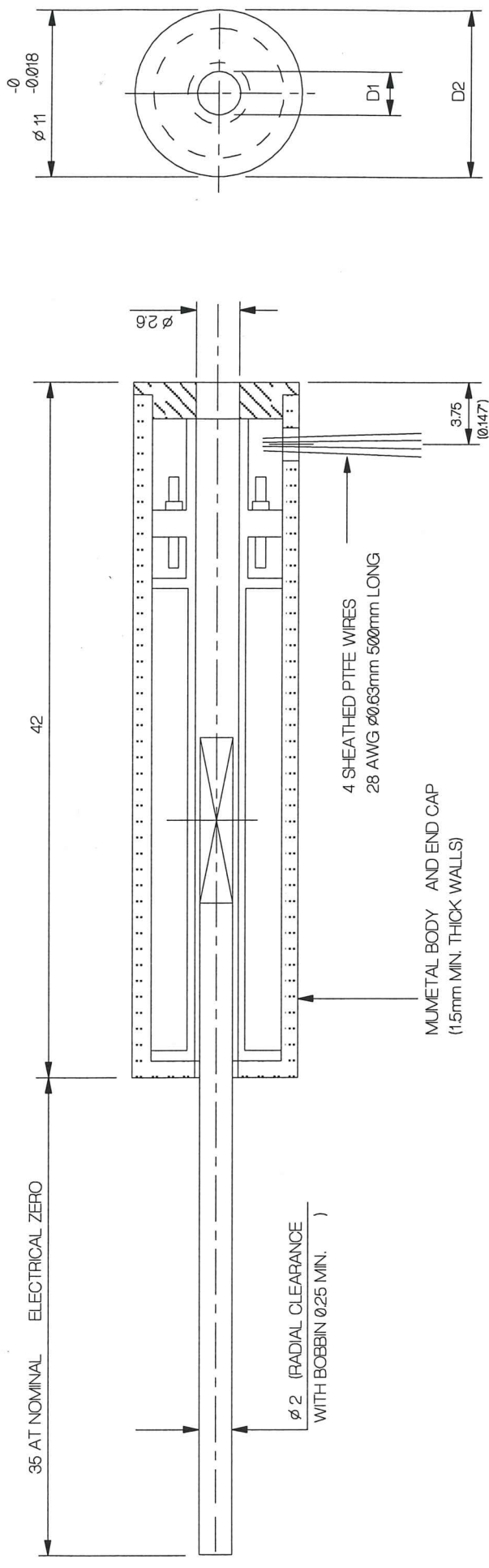
MT1000 HJELEN

Wiring of the motor cable inside the chamber on the SOURIAU hermetic connector DAH 15P 102 and (?)SubD micro miniature connector BINDER.

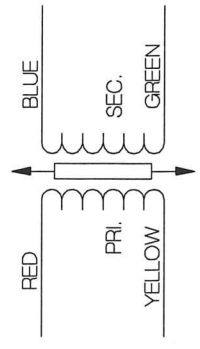
Solder buckets side



1	→	G+	Red	AWG 30	DC-tacho (+)
2	→	M+	White	AWG 26	Motor (+)
3	→				
4	→	FA+	Red	AWG 30	Strength Alimentation (+)
5	→	FS+	Green	AWG 30	Strength Signal (+)
6	→	Ground			Cable grounding inside the chamber
7	→	LP1	Red	AWG 30	LVDT Primary (1)
8	→	LS1	Bue	AWG 30	LVDT Secondary (1)
9	→	G-	Yellow	AWG30	DC-Tacho (-)
10	→	M-	Blue	AWG26	Motor (-)
11	→	FA-	Black	AWG30	Strength Alimentation (-)
12	→	FS-	White	AWG30	Strength Signal (-)
13	→				
14	→	LP2	Yellow	AWG 30	LVDT Primary (2)
15	→	LS2	Green	AWG 30	LVDT Secondary (2)



CONCENTRICITY OF D1 TO D2 LESS THAN 0.2



CONNECTION DETAILS

SPECIFICATION

GENERALLY AS OUR STANDARD D5/200 WITH -

- (a) MUMETAL CASE
- (b) WIRE CONNECTIONS
- (c) REDUCED DIAMETER ARMATURE

WORKING RANGE: ± 5mm

LINEARITY: ± 0.1% FULL SCALE

EXCITATION: 5V rms 5KHz

LOAD: 100K

C	WIRES WERE 9	FROM END	OF CASE	14.4.94
B	CASE Ø WAS 10 ±0.02			31.3.94
A				29.3.94
No.	DESCRIPTION	CHK'D	APP'D	DATE
	ALTERATIONS			

TRANSDUCER TYPE D5/200/327

RDP ELECTRONICS LTD. WOLVERHAMPTON

DRAWING NUMBER

D12191

SCALE

DATE

APPROVED

DRAWN

D/HRONS

29.3.94

Vedlegg F A3 Poster

Oppgavens omfang:

Arbeidsoppgaven omfatter fornyelse og utvikling av styreelektronikk, samt utvikling av brukergrensesnitt til et materialstrekkbord som benyttes i samarbeid med et scanning elektronmikroskop (SEM). Dagens system benytter et utdatert operativsystem og må fornyes i henhold til mer moderne teknologi og må samtidig inneha den samme funksjonaliteten som tidligere.

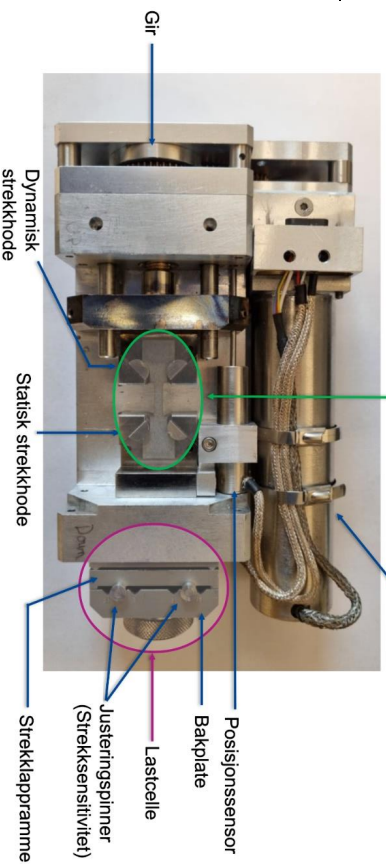
Oppgaven er med andre ord todelt. En del vil omfatte design av kretskort og valg av elektroniske komponenter, imens den siste delen vil omhandle design av nytt brukergrensesnitt og behandling av rådataverdier i back-end.

Material strekkesting:

Strekkesting av materialer gjøres for å teste forskjellige materials elastisitet og styrke. For å tillegge oss mål på dette kreves det bruk av en posisjonssensor for å finne fram til den relative lengdeendringen og en kraftsensor for mål av kraftspenningen over strekkmaterialet. Ved hjelp av denne dataen finner man frem til spenningen (σ) og tøyningen (ϵ) over materialet med følgende formler:

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$



Spenningen bruker kraften F og dividerer på det nominelle arealet A_0 for å finne den totale spenningen over strekkmaterialet, imens tøyningen benytter den relative lengdeendringen fra posisjonens nullpunkt og dividerer med den opprinnelige lengden L_0 for strekkmaterialet.

Strekkbord Anatom:

Ved strekkesting legges testfragmentet mellom strekkhodeparene. Når motoren kjøres forskyves det dynamiske strekkhodet fra dets originale posisjon avhengig av motorens dreieretning.

For mål av kraften benyttes en lastcelle. Denne gir måleverdier ved at strekkklapprammen presses mellom to justeringspinner (for strekksensitiviteten) og en bakplate. Når testfragmentet strekkes, vil bakplaten presse mot strekkklapprammen som fører til en bøyning i strekkklappene. Dette vil føre til en endring i motstands- og spenningsverdi, som igjen vil gi et uttrykk for kraften over strekkmaterialet.

Posisjonssensoren tar i bruk en differensialtransformator (LVDT) og er en elektromagnetisk sensor som konverterer mekanisk posisjon om til elektriske signaler. Dette gjøres ved at sylinderen har en bevegelig ferromagnetisk kjerne, som endrer posisjon etter motorens dreieretning. Utgangssignalet er et uttrykk av den induserte spenningen mellom den primære og sekundære spolen som befinner seg rundt den bevegelige kjernen på innsiden av sylinderen.

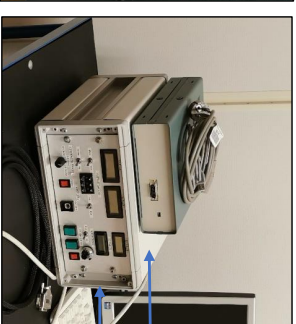
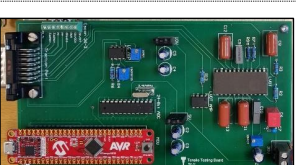
Ustyretilstand:

Både styresystemet og PC-programvaren har ikke blitt oppdatert siden utstyret var nytt for omtrent tjuen år siden, og er basert på utdaterte komponenter som er vanskelige å erstatte dersom det skulle oppstå feil på utstyret. Programvaren kjører på en PC med operativsystemet Windows 2000, og er basert på utdatert versjon av LabVIEW som ikke lenger støttes på moderne operativsystemer. Systemet krever med andre ord en komplett fornyelse, med unntak av selve strekkbenken som skal videreføres og få nytt styresystem med design av nytt brukergrensesnitt.



Styreelektronikk:

Styreelektronikken ble planlagt over en lengre periode, der komponentene ble vurdert etter funksjonalitet og bruksområde. Elektronikken ble først testet med en provisorisk løsning for å funksjonsteste kretselektronikken, før den senere ble implementert på et kretskort (PCB). Siden kretsen består av både digitale- og analoge signaler ble det essensielt å stille mellom disse kretssignalene i forskjellige soner. Dette kommer av at de analoge signalene er svært sårbare for støyinterferens ettersom systemet er avhengig av disse signalene for å få riktige måleverdier.



Brukergrensesnitt:

Brukergrensesnittet er utviklet gjennom bruk av Python biblioteket PyQt og gir en anvendelig metode å utvikle grafiske brukergrensesnitt (GUI). Programmet kjøres på en PC og kobles til styreelektronikken ved bruk av USB til micro-USB. Programmet brukes til å kontrollere strekkbenken og gir brukeren komplett styring av systemet. Andre essensielle funksjoner er ploting måleverdier og mulighet for eksportering av både grater og måldata.

