



Høgskulen
på Vestlandet

BACHELOROPPGAVE:

BO24EB-51 Prosjektere, bygge og teste
slukkekommer for bryting i
høyspenningsanlegg

Jørgen Røksund
Mats Mathiesen Offerdal

19. mai. 2024

Dokumentkontroll

<i>Rapportens tittel:</i> Prosjektere, bygge og teste slukkekommer for brytning i høyspentanlegg	<i>Dato/Versjon</i> 18.05.2024/0.1
	<i>Rapportnummer:</i> B024EB-51
<i>Forfatter(e):</i> Jørgen Røksund Mats Mathiesen Offerdal	<i>Studieretning:</i> ELK21
	<i>Antall sider m/vedlegg</i> 33
<i>Høgskolens veileder:</i> Lasse Sivertsen	<i>Gradering:</i> Åpen
<i>Eventuelle Merknader:</i> Vi tillater at oppgaven kan publiseres.	

<i>Oppdragsgiver:</i> Høgskulen på Vestlandet	<i>Oppdragsgivers referanse:</i>
<i>Oppdragsgivers kontaktperson(er) (inkludert kontaktinformasjon):</i> Lasse Sivertsen – lsi@hvl.no	

Forord

Denne bacheloroppgaven markerer slutten på 3-årig ingeniørutdanning innen elkraftteknikk ved Høgskulen på Vestlandet i Bergen, våren 2024.

Opgaven har vært spennende og lærerik, men har også bydd på utfordringer, der vi har måtte sett på nye problemstillinger vi ikke har vært borti før, og få erfaring med elementer langt utenfor elkraftpensum.

Vi ønsker å rette en stor takk til alle personer som har hjelp oss i prosjektet, og spesielt til:

- Lars Manger Ekroll for omfattende hjelp og støtte gjennom prosjektet.
- Interne veileder Lasse Sivertsen for god veiledning og råd gjennom oppgaven.
- Vi fikk god hjelp fra Maskinlaben til å skaffe og produsere deler, da spesielt Frode og Nafez.
- Læringslaben på campus for god hjelp rundt 3D printing

God lesing

Sammendrag

HVL (Høgskolen på Vestlandet) innehar et toppmoderne høyspenningslaboratorium hvor en kan gjennomføre høyspenningstester av ulike slag. Av ulike grunner som blant annet problemer med elektromagnetiske felter, har ikke rommet vært mulig å benytte de siste årene. I utgangspunktet var det i denne oppgaven ønskelig at vi først skulle teste høyspenningsutstyret for å sjekke kvalitet og funksjonalitet. Denne delen utgikk naturligvis da det fremdeles var mye arbeid rundt høyspenningslaboratoriet, og rommet ikke ble sett på som ferdig av administrasjonen.

SF6 (svovelheksafluorid) er en gass som i mange år har vært benyttet i høyspenningsanlegg, da spesielt i brytere og koblingsanlegg. Den er kjent for å ha meget gode isolasjon og slukkemessige-egenskaper, men blir dessverre klassifisert som en svært kraftig drivhusgass. I disse dager er det derfor mye forskning rundt utvikling av alternative gasser som på lang tid kan erstatte SF6. HVL hadde allerede et kammer som de tidligere hadde benyttet til å teste isolasjonsevnen til slike gasser. Dessverre så var det kun mulig å justere avstanden mellom kulene når kammeret var demontert. I den anledning ønsket HVL at vi skulle prosjektere og bygge et fjernstyrt slukkekommer slik at man kan foreta slukketester av lysbue med forskjellige gasser og vakuum. Dette vil åpne opp for et hav av nye muligheter rundt innvirkning av avstand og hastighet til kulebevegelsen. Kort oppsummert skulle vi utvikle en løsning slik at kulebevegelsen kunne kjøres automatisk, nøyaktig, samtidig som vi opprettholdt de viktige egenskapene til originalkammeret. Gjennom hele oppgaven har vi vært nøye instruert om at vi, så langt som mulig, måtte unngå permanente modifikasjoner da det er ønskelig at kammeret skal kunne tilbakestilles til original konfigurasjon.

For å oppnå en nøyaktig avstandsbevegelse benyttet vi en steppermotor. Slike motorer er kjent for å ha svært god nøyaktighet, hvor den nå monterte har en step distanse på 0.01mm. Dette lover godt for fremtidige tester hvor en ønsker nøyaktige måleresultater. Motoren styres av en Arduino Uno (mikrokontroller) som vi mot slutten programmerte med enkle kommandoer. Ettersom det i høyspenningsrommet er installert et Faradays bur, vil ikke typisk radiokommunikasjon nå frem til Arduinoen. Mikrokontrolleren får derfor et styresignal av en fjernkontroll som utsender IR-lys (infrarødt lys).

Slukkekommeret er nå klart til bruk for høyspenningstester. Det er testet i vakuum og atmosfærisk trykk, hvor styring og mekanisme har opptrådd som forventet. Kammeret er naturligvis avhengig av kalibrering ved oppsetting, men deretter kan man bevege kulene ifra 0mm til 25mm med høy presisjon.

Dokumentkontroll	2
Forord	3
Sammendrag	4
Figur-liste	7
1 Innledning.....	8
1.1 Organisering av rapporten	8
1.2 Oppdragsgiver	8
1.3 Problemstilling	8
1.4 Kravspesifikasjon.....	9
2 Teori.....	10
2.1 Bryterkommer	10
2.1.1 Vakuum brytere	10
2.2 Slukkegasser.....	10
2.2.1 SF6	10
2.2.2 Moderne alternativer	11
3 Prosjektering og bygging av bryterkommer	11
3.1 Grunnforutsetninger	11
3.2 Analyse av problemet	11
3.3 Valg av tekniske løsninger.....	12
3.3.1 Motorvalg	12
3.3.2 Mikrokontroller	12
3.3.3 Mekanisk oppbygging.....	15
3.3.4 Strømforsyning og kommunikasjon gjennom kommeret.....	17
3.3.5 Bunn kontakt	19
3.3.6 Display og fjernkontroll	21
3.4 Programmering	22
3.5 Kalibrering.....	22
3.6 Ferdig produkt.....	23
3.6.1 Beskrivelse av sentrale komponenter	24
3.7 Tidsbegrensninger.....	24
4 Diskusjon	25
4.1 Praktisk del.....	25
4.1.1 Tidsbruk	25

4.1.2	Anskaffelse og produksjon av komponenter.....	25
4.1.3	Strømforsyning og 25x25mm firkanttrør	27
4.1.4	Skruer vs liming.....	27
4.2	Framtidige prosjekt	27
4.2.1	Testing	27
4.2.2	Valg og videre utvikling.....	28
5	Konklusjon	29
	Referanser	30
Appendiks A	Prosjektledelse og styring	31
A.1	Prosjektgjennomføring og fordeling	31
A.2	Fremdriftsplan.....	31
Appendiks B	Brukerdokumentasjon	32
B.1	Brukerdokumentasjon	32
B.2	Drifts- og vedlikeholds dokumentasjon	32
Appendiks C	Prosjektlogg	33

Figur-liste

Figur 1 - Eksisterende bryterkammer	8
Figur 2 - Steppermotor	12
Figur 3 – Arduino Uno	13
Figur 4 - TSOP2238	13
Figur 5 – Styringskort til steppermotor.....	13
Figur 6 – Optokobler krets.....	14
Figur 7 -Styringsboks	15
Figur 8 -Selvlaget Optokobler kort.....	15
Figur 9 - Kontramutter.....	15
Figur 10 – Innerdelens base av aluminium	16
Figur 11- 5mm gjengestanger	17
Figur 12- 25x25mm firkantrør	17
Figur 13 – Trykkammerets base.....	18
Figur 14 – Boring av hull til ledere	19
Figur 15 – Sammensetting av tett gjennomføring.....	19
Figur 16 – Vakuumtesting av disk med enkeltleder	19
Figur 17 – 3D modell av bunnlokk	20
Figur 18 – Endelig fysisk lokk med DB9 kontakt.....	20
Figur 19 – Spesiellaget aluminiums bunnplate med styrepinner, fjærer og DB9 kontakt	21
Figur 20 - Gammel fjernkontroll	21
Figur 21 – Display og mottaker-boks	21
Figur 22 – Ferdig produkt	23
Figur 23 – Beskrivelse av komponenter	24
Figur 24 – Ubrukt gjengestav i dreiebenk	26
Figur 25 – Tilvirkning av bunnplate, som ikke ble benyttet.....	26

1 Innledning

1.1 Organisering av rapporten

Rapporten er delt inn i 3 deler:

1. *Bakgrunn, grunnidé og teori*
2. *Prosjektering og bygging av slukkekommer for brytning*
3. *Diskusjon*

1.2 Oppdragsgiver

Høgskulen på Vestlandet (HVL) er vår oppdragsgiver, der søkelyset i oppgaven omhandler høyspenningslaben de har i Bergen.

1.3 Problemstilling

Prosjektere, bygge og teste bryterkommer for slukkegasstesting i høyspenningsanlegg.

Prosjektere og bygge et bryterkommer

Oppdragsgiver ønsker et slukkekommer for brytning i høyspenningsanlegg. HVL har fra tidligere et slukkekommer (type HV9134) produsert av Terco AB (figur 1). Kammeret kan foreta slukkegasstester opp til 5 bar, men har den ulempen at avstanden til kulene kun kan justeres manuelt fra innsiden av kammeret. Konsekvensen av dette er blant annet at høyspenningsrommet ikke kan være spenning satt og at kammeret da naturligvis ikke kan være trykk satt hvis det er demontert. Målet med oppgaven der dermed å utvikle en løsning slik at kulene kan fjernstyres. Dette kan sammenliknes med virkemåten til effektbrytere, derfor er det en stor fordel om styringen er både nøyaktig, og at bevegelsen har stor hastighet.



Figur 1 - Eksisterende bryterkommer

Testing av styring og med slukkegasser

Tidligere har det vært gjennomført en bacheloroppgave [1] basert på teori rundt SF6 og miljøvennlige alternativer, samt testing av det eksisterende bryterkammeret (figur 1). Fjernstyring av bevegelsen fører til et hav av nye muligheter for testresultater. Hvis tiden strakk til var det derfor ønskelig at vi skulle i denne oppgaven teste innvirkningen av hastighet og avstand for å dra ut lysbuen. Prosjektet viste seg å være såpass omfattende at denne delen dessverre falt bort.

1.4 Kravspesifikasjon

Oppgaven går ut på å bygge et bryterkammer. Kammeret må blant annet:

- Kunne fjernstyres gjennom et Faradays bur
- Tåle trykk opp til 5 bar, og ned mot 10 pascal (vakuum)
- Ha nøyaktig avstandsmåling mellom kulene
- Være trygt og i henhold til lover og forskrifter
- Være økonomisk billig å produsere, hvor en benytter seg av utstyr som høgskolen allerede har.

2 Teori

For å få en forståelse av det tekniske rundt bygging og testing er teorien en sentral del. Følgende gir et overveiende blikk over temaet og bør ikke sees som en fullstendig forklaring på emnene.

2.1 Bryterkammer

Effektbrytere skal være i stand til å slukke eller bryte de høyeste kortslutningsstrømmene som kan oppstå for de avgangene bryteren skal beskytte. Effektbryterne må kunne slukke lysbuer, og hindre gjentening. Effektbrytere blir vanligvis inndelt etter hvilket brytemedium som brukes. De vanligste er SF6-brytere, vakuum-brytere, trykkluftbrytere og olje/oljefattige brytere [2].

Opprinnelig var effektbrytere for høyspenning bygget som oljebrytere, der bruddkontakten i alle fasene la neddyngget i en oljebeholder. Disse brytere hadde høye kostnader, var brannfarlige og kunne eksplodere [3]. Derfor er ikke slike brytere lovlige i dag [2].

Oljefattige brytere bygger videre på de gamle oljebryterne, men bruker mye mindre olje og unngår mange av ulempene. Oljefattige brytere er lite brukt ved nye anlegg, fordi SF6 og vakuumbrytere har bedre egenskaper til en fornuftig pris [2].

2.1.1 Vakuum brytere

Vakuumbrytere har svært lavt trykk, ofte ned mot 10^{-6} mm Hg, som tilsvarer vakuum. Den elektriske holdfastheten er svært høy, på hele 15KV per mm, som er ca. 5 ganger så mye som luft i vanlige forhold. Vakuumbrytere kan brukes opp mot 45 kV [2].

2.2 Slukkegasser

2.2.1 SF6

Rundt 1950 startet utviklingen av SF6 brytere. De bruker gassen Svoelheksafluorid (SF6). SF6 er en gass som er mye brukt i effektbrytere, spesielt med høy spenning. Dette er fordi gassen har gode dielektriske og lysbueslukkende egenskaper. Gassen er også verken brennbar, giftig eller reaktiv [2].

SF6 gass er en av verdens kraftigste klimagasser [4]. Gassen finns ikke naturlig i atmosfæren, og må framstilles. Hvert år er det lekkasjer og utslipp av SF6 gass i atmosfæren, der effektbrytere er en av kildene. Derfor er det bred enighet i energibransjen om at SF6 må fases ut [4].

2.2.2 Moderne alternativer

På grunn av SF₆ sin drivhusproblematikk, blir det idag utviklet flere moderne alternative løsninger [2][5]. Vi har allerede nevnt vakuumbrytere. Trykkluftbrytere bruker trykkluft, og er i dag brukt ved noen anlegg ved høy spenning [2]. Det er også naturlig å se på CO₂ (karbondioksid) og N₂ (nitrogen). Dette er gasser som er lett å anskaffe, og som finnes naturlig i atmosfæren. CO₂ brytere finnes opp mot 72.5kV, og bruker trykk opp mot 10bar [2]. CO₂ er også en drivhusgass, men har mye mindre uheldige konsekvenser enn SF₆ [5].

Siemens har utarbeidet noe de kaller «Clean Air», som består av 80% nitrogen og 20% oksygen [2]. Til forskjell er typisk luft bestående av ca. 78% nitrogen og 21% oksygen [6]. Siemens bruker «Clean Air» sammen med vakuumbrytere til å gi et klimavennlig alternativ [5].

3 Prosjektering og bygging av bryterkommer

3.1 Grunnforutsetninger

Prosjektet bygger på et eksisterende bryterkommer produsert av Terco AB. Kammeret har to kuler med en justert avstand mellom dem. Avstanden kan kun styres manuelt i det eksisterende kammeret. Kammeret må være tett og eventuelle modifikasjoner må være mulig å tilbake stille.

3.2 Analyse av problemet

For å teste bryterevne, vil vi gradvis flytte to kuler fra hverandre fram til lysbuen brytes. Kulene må være innkapslet, slik at ulike gasser kan brukes. Alt som er innkapslet må tåle et trykk på opp mot 5 bar, og vakuum ned mot 10 pascal. Kulene må kunne flyttes samtidig som anlegget er spenning og trykk-satt. Når rommet er spennings satt, kan det ikke være folk inne i rommet, derfor må bevegelsen styres på en annen måte. I og med at høyspenningsrommet har et Faradaybur så vil fjernstyring over radiokommunikasjon naturligvis by på problemer.

Det er høyt ønskelig at avstandsmålingen mellom kulene er nøyaktig. I utgangspunktet så vi for oss at kulene skulle kunne styres opp til 30mm avstand mellom dem. Den dielektriske holdfastheten til luft er estimert til å være ca. 3kV per mm [7]. Med 30mm avstand vil man da etter teorien få overslag ved 90kV, noe som vi tenker burde være nok til de fleste forsøk.

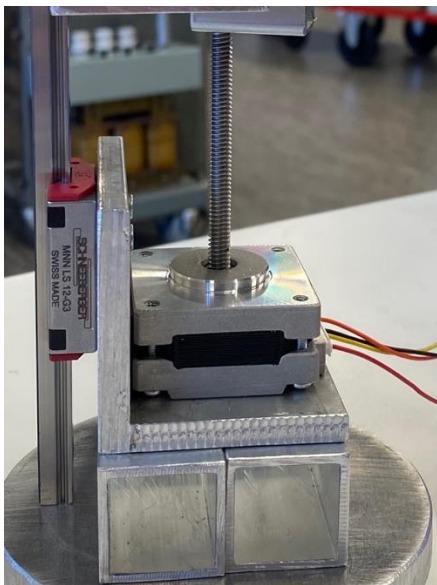
Det er viktig at kulene har en lineær, nøyaktig og stabil bevegelse. Kammeret har begrenset med plass. Høyspenningstester kan naturligvis ødelegge sensitiv elektronikk, derfor må vi isolere kulene fra elektronikken.

3.3 Valg av tekniske løsninger

3.3.1 Motorvalg

Hastighet og nøyaktighet er to krav som er vanskelig å oppfylle samtidig. I utgangspunktet så vi for oss å utvikle to løsninger slik at brukeren enkelt kan velge hva som skal prioriteres; servomotor og steppermotor. En servomotor har fordelen med å kunne genere store hastigheter og moment på bevegelsene, men dette vil gå på bekostning av nøyaktighet [8]. Steppermotorer anser vi til å generelt ha en bedre presisjon, samtidig som den lettere kan innpasses med de mekaniske komponentene.

På grunn av minimalt med tid utvikler vi kun løsningen med steppermotor. Vi benytter en bipolar steppermotor av typen 16H7001-11 produsert av Moons' (figur 2). Denne fungerer som en roterende mutter med en gjengestang trådd igjennom, noe som gjorde den enkelt å inkorporere sammen med bevegelsesmekanismen. Den har også en nøyaktighet på 0.01mm noe som gjør den utmerket til avstandstesting. Etter litt arbeidsbenktesting er vi meget imponert over nøyaktigheten samtidig som vi konkluderer med at farten er større enn forventet.



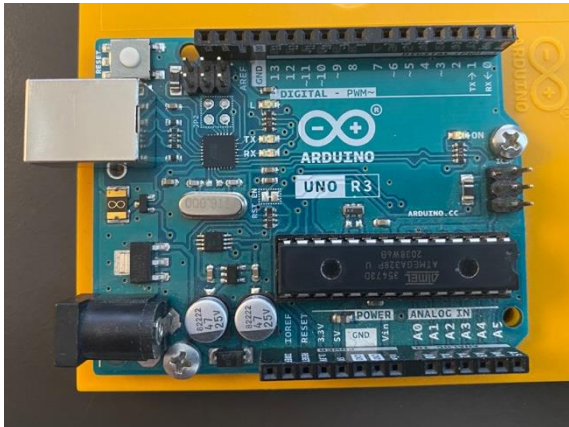
Figur 2 - Steppermotor

3.3.2 Mikrokontroller

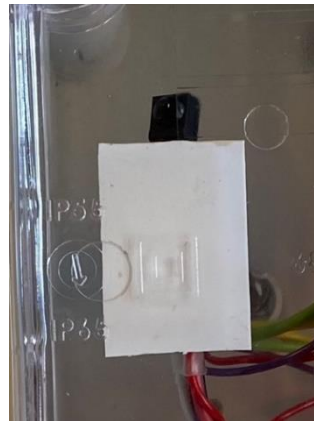
For styringen av systemet har vi basert oss rundt en Arduino Uno (figur 3). Dette på grunn av fleksibilitet rundt prototyping og det faktum at C++ programmering er noe vi har grei kunnskap rundt.

Ettersom kammeret skal stå inne i høyspenningsrommet hadde oppgaven et krav om at mekanismen må kunne fjernstyres. Rommet har et Faradays bur derfor vil radiobølgekommunikasjon som 433MHz, 2.4GHz og LoRa ikke nå inn. Derfor så vi for oss å benytte IR-lys til å kommunisere gjennom glasset til rommet. Dette fikk vi testet tidlig i prosjektet med en Arduino Uno Lars hadde stilt opp med, og var en løsning som vi var trygge på ville oppfylle våre krav.

Til dette formålet benytter vi en IR-mottaker av typen TSOP2238, produsert av Vishay Intertechnology (figur 4). Modulen innlemmes enkelt inn i Arduino systemet med 3 ledere; signal, GND og 5V. Den opererer på 38kHz og benytter NEC protokollen. Etter en god del testing konkluderer vi med at en gammel Get-fjernkontroll passer fint til formålet (figur 20).



Figur 3 – Arduino Uno



Figur 4 - TSOP2238

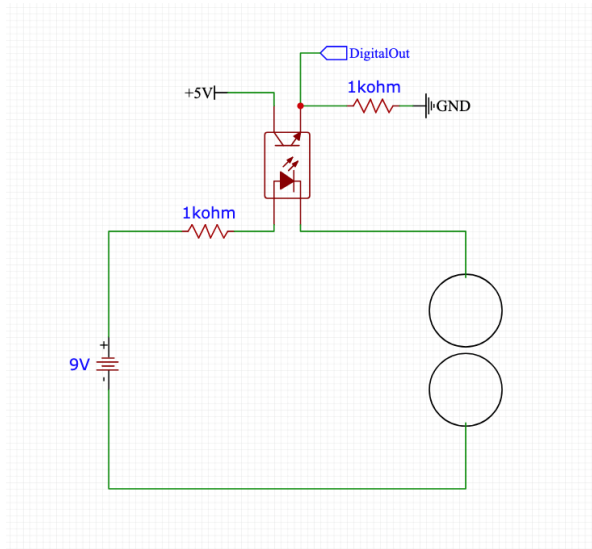
Fra tidligere av hadde vi ingen erfaring med steppermotorer så dette kunne vært noe tidkrevende. Styringen var lettere sagt enn gjort da det finnes to forskjellige steppe-metoder; unipolar og bipolar [9]. Til å begynne med hadde vi bestilt en kontroller ment for unipolar stepping, men vi oppdager fort at den steppermotoren vi hadde tiltenkt hadde behov for bipolar stepping. Etter mye prøving og feiling endte vi med å anskaffe en L293D Motor Driver IC. Vi gjorde det enkelt med å benytte et Arduino-«shield» bestående av en L293D IC chip (figur 5). Dette kunne enkelt plasseres i DuPont kontaktene til Arduino Uno kortet for enkel prototyping.



Figur 5 – Styingskort til steppermotor

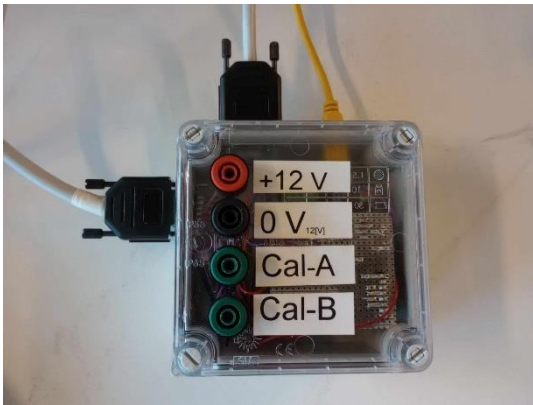
Ettersom baktanken med prosjektet er å gjøre målinger med nøyaktige avstander var det sentralt viktig at vi utviklet en løsning for å finne nullpunktet til hvor kulene møtes. Deretter kan vi måle avstand ut ifra dette punktet. Når kulene er kjørt i hverandre vil det være kontinuitet imellom toppen og bunnen av kammeret. Dette kan vi bruk til våres fordel med at hvis vi kjører en lav spenning fra toppen og kobler bunnen til en inngang på mikrokontrolleren, vil inngangen være høy når kulene er i hverandre.

Når vi hadde attestert at dette virket bestemte vi oss for å utvikle en mer pålitelig og permanent løsning ved å benytte en optokobler. Dette er en IC-chip bestående av en lysdiode og en fototransistor. Virkemåten er slik at når en setter spenning på lysdioden, slik at den lyser, vil fototransistoren belyses og da «åpnes» litt som et relé [10]. Detaljert krets for oppkobling kan sees i figur 6, og består av et separat 9V batteri slik at vi ivaretar et galvanisk skille. Da begrenser man skaden ved eventuelle feil. Samtidig er det viktig å nevne at kalibrerings-ledningene må frakobles systemet før en utfører høyspenningstester, da optokobleren neppe vil kunne tåle høyspenningstesting. Dette ser vi ikke som et problem ettersom når man har kalibrert systemet, er det ikke behov for videre kalibrering under testing.

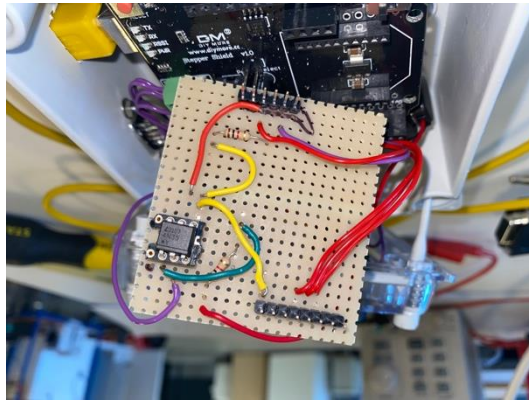


Figur 6 – Optokobler krets

For enkel integrering tilvirket vi en styrings boks som hjernen i prosjektet (figur 7). Denne består av den elektriske styringen og har innganger og utganger til diverse formål. Videre har vi montert DB9 kontakter på siden, hvor den ene forsyner steppermotoren og den andre forsyner display og IR-mottaker. Det er også verdt å nevne at vi loddet sammen et hjemmelaget kretskort bestående av optokobler og diverse tilkoblinger (figur 8). Da kunne disse komponentene lett kobles sammen med mikrokontrolleren ved å stable det på samme måte som steppermotor-kortet.



Figur 7 -Selvlaget Optokobler kort



8 -Selvlaget Optokobler kort

3.3.3 Mekanisk oppbygging

Den mekaniske oppbyggingen av systemet er i all hovedsak basert på å ta hensyn til steppermotoren. Etersom motoren har noe sideveis bevegelser beslutter vi oss for å inkorporere en skinne og et lineærlager. Dette er noe som er mye brukt i CNC-maskiner og 3D-printere, og gjør at nøyaktigheten og stabiliteten blir forbedret marginalt [11]. Deretter handlet det mest om hvordan dette kunne oppbygges på mest mulig stabil, nøyaktig og enkel måte. I dette stadiet i prosjektet prøvde i fremdeles å unngå 3D printing, da vi ikke hadde noe som helst erfaring med det. Derfor har vi basert oss mye på komponenter som var lett tilgjengelig på maskin-laben. I den anledning fikk vi også god hjelp til å kappe komponentene av de ansatte i maskin-avdelingen.

Vi så fort at ledig plass kunne bli en utfordring, så ganske tidlig i prosjektet bestemte vi oss for å bytte om på kulene, slik at vi benytter den tidligere nederste kule nå i toppen av kammeret. Kammeret viste seg å være såpass modulært sånn at dette lett la seg gjøre. I den anledning laget vi en kontramutter slik at topp-kulen ville henge stabilt (figur 9).



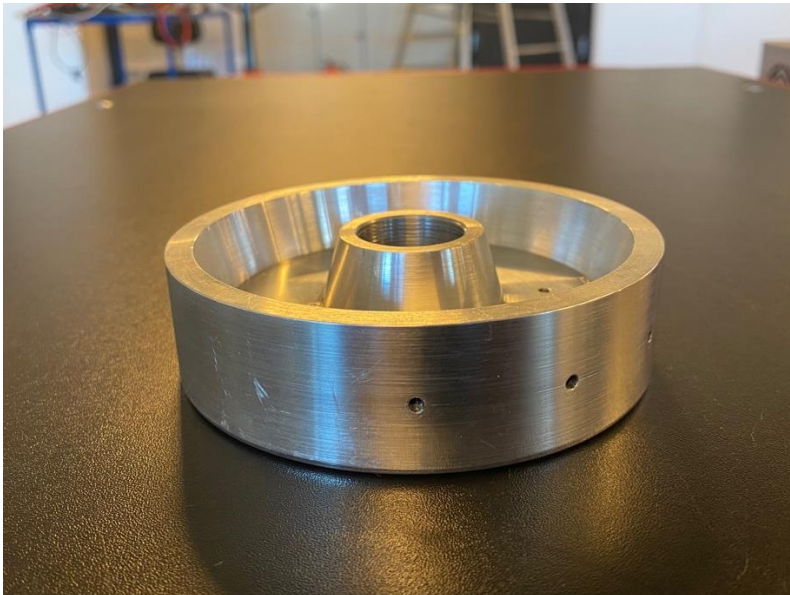
Figur 9 - Kontramutter

Skjerming fra overslag av kulene er noe vi har måttet spekulere en god del rundt. Samtidig har vi alltid betrygget oss med at strømmen går minste motstands vei. For å skille det øverste firkantrøret, og resten av aluminiums komponentene ifra kulefestet, benyttet vi en plast-blokk som vi fant på maskinlaben. Etter å ha forhørt oss litt med Lars er vi rimelig sikre på at denne har en grei nok holdfasthet. Videre benyttet vi en 6mm² leder med ringsko festet til bunnen av kule-skruen, og i bunnen av innerdelen, slik at strømmen da ledes igjennom denne fra kulen til bunnen av innerdelen. Dette sees i figur 11.

Som et fremtidig forsøk bestemt vi oss for å beholde den fulle lengden på skinnen, da det i utgangspunktet ikke skal være noe problem. Denne kan innkapsles av en krympestrømpe eller kappes med vinkelsliper ved behov.

Midt ute i prosjektet bestemmer vi oss for at vi like så gjerne kan få fabrikkert en ny aluminiums base slik at vi slipper å modifisere den originale basen som er montert i innerdelen (figur 10). Lars fikk skaffet et passende aluminium stykke og skolen har gode dreiebenker som i utgangspunktet skulle gjøre dette lett mulig. Alle involvert i prosjektet var enige om at original-delen skulle forbli uberørt. Fabrikkeringen av denne førte dessverre til mye bråk og personkonflikter, noe som førte til at prosjektet ble satt i en viss tilstand.

Etter mye venting og frustrasjon blir heldigvis aluminiums stykket produsert av meget hyggelige folk på maskin avdelingen. Da hadde vi en base, tilsvarende original delen, hvor vi nå sto fri til å gjøre modifikasjoner.



Figur 10 – Innerdelens base av aluminium

For enkelhetens del velger vi å skru delene sammen ved hjelp av to M5 gjengestanger som vi kappet til passende lengde (figur 11). Ved hjelp av mange mutrer, skiver og sprengskiver hadde vi da muligheten til å finjustere sammensetningen. Fordelen med dette var at vi da også kunne låse steppermotoren imellom to aluminiums vinkler slik at den ville stå i ro. Som en ekstra bonus vil varmen fra motoren overføres til aluminiums delene slik at motoren kjøles ned.



Figur 11- 5mm gjengestanger



Figur 12- 25x25mm firkantrør

3.3.4 Strømforsyning og kommunikasjon gjennom kammeret

I begynnelsen av prosjektet så vi for oss en løsning hvor motor, mikrokontroller, mottaker og spenningskilde ville være plassert inne i kammeret. Da kunne vi unngå minst mulig modifikasjoner i kammeret samtidig som produktet ville vært kompakt og enkelt. Vi så på ulike batteriløsninger og konkluderer med at et 3.7V litium-ion batteri av typen 18650 passer fint til vårt formål. Slike er oppladbare, og spenningen kan lett konverteres til 12V og 5V. Den kompakte størrelsen gjorde at vi fint kunne plassere det inne i et firkantrør på 20mm x 20 mm (figur 12).

Etter litt research og forhøringer med faglærere på elektro innser vi at elektriske komponenter inne i kammeret kan by på farlige problemer. Et overtrykk på 5 bar ser vi som uproblematisk, men hva blir konsekvensene av vakuum? Dessverre finner vi lite informasjon som denne problematikken på internett, men vi finner en gammel artikkel om effekten av vakuum på elektroniske komponenter for rom-applikasjoner publisert av NASA-ansatte. De konkluderer med at ved flere sykluser oppstår deformasjoner av innpakninger samtidig som varmeoverføring er dårligere i vakuum [12].

Vi var fast bestemt på å ikke borre i kammeret, derfor så vi nå på muligheten til å foreta egne vakuum og trykk-tester av komponentene. Dette ville tatt mye tid og måtte i så fall gjennomføres på en sikker måte. Som resultat av dette nederlaget så vi nå etter alternative løsninger. Vi ser på muligheter som trådløs lading og tanken med å borre et lite hull. Plutselig kommer vi på at kammeret allerede har tre hull til gass/luft gjennomføringer (figur 13). Da bestemmer vi oss for å trekke noen 0.5mm² ledninger gjennom åpningene. På den måten flytter vi problemet ut i rørkoblingene, men er meget sikker på at vi da kan få fabrikkert en overgang slik at kammeret forblir tett.



Figur 13 – Trykkammerets base

Ettersom plassering av batteri inne i kammeret fort ble uaktuelt. Konkluderte vi like gjerne med at vi kunne ta styringen ut ifra kammeret. Da beholder vi kun motoren i det trykksatte kammeret, og vi minsker risikoen for at komponenter feiler. De tre gjennomføringene er som følger: inn, ut og manometer (figur 13). Ved å benytte den ene gjennomføringen for ledninger til styringen begrenses da den fysiske modifiseringen av kammeret marginalt.

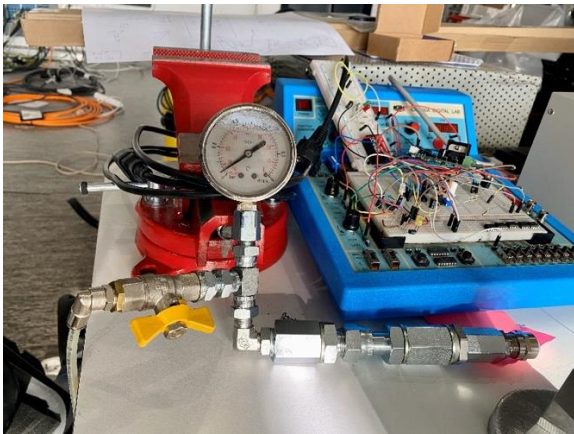
Etter mye tenking kom Lars opp med løsning hvor vi benytter en liten disk som vi klemmer mellom to pakninger (figur 15). Deretter boret vi hull til fire kobber ledere på 0.5mm, som vi så limte igjennom disken (figur 14). Vi foretok noen tester med vakuum pumpe for å finne ut om dette ville være en gyldig plan. Først uten hull, og så med ett hull. Etter en time konkluderer vi med at dette var en stor suksess, da trykket var tilsvarende det samme som originalt (figur 16). Vi betrygger oss også med at vakuum pumpen kan være oppkoblet til kammeret inne i høyspenningsrommet, og skrus på om nødvendig.



Figur 14 – Boring av hull til ledere



Figur 15 – Sammensetting av tett gjennomføring



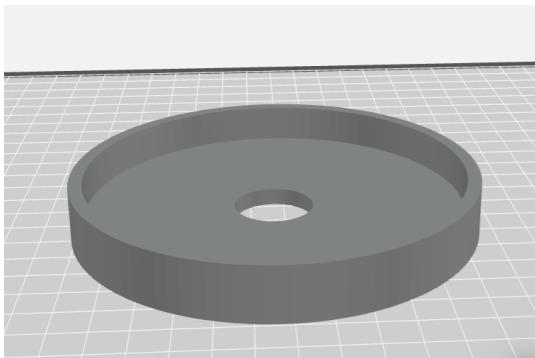
Figur 16 – Vakuumtesting av disk med enkeltleder

3.3.5 Bunn kontakt

For å lett kunne ta innerdelen ut av kammeret besluttet vi oss for å utvikle en kontaktløsning for å ha i bunnen av kammeret. Da måtte vi finne ut hvor stor (høy) denne kunne være. Etersom inner-delen har en fjær i bunn-pinnen var det viktig å ta dette med i beregningene, samtidig som det ikke nødvendigvis var slik at denne fjæren ble trykket 100% sammen. Da konkluderte vi med at vi hadde maksimum 40mm slingringsmål. I denne prosessen vurderte vi ulike kontakter, da spesielt dem med stor (lang) kontakt flate: relé-kontakt, DIN, XT-60, DEANS og HARTING. Det var mange gode kandidater, men de fleste hadde kun 2 ledere samtidig som de gjerne var litt ekstreme for vårt bruk. Plutselig kom Lars på at han hadde noen DB9 kontakter liggende. Disse har 9 ledere og er relativt lett å lodde. Bakdelen er at de har en mindre kontaktflate enn de andre alternativene, og i tillegg måtte vi være kreative med innfestningen av kontakten.

For å tilvirke spesielle deler som kontakt-holdere og bunnplate benyttet vi oss av 3D printing. Dette er noe vi til å begynne med var litt skeptisk til, da dette ikke er noe vi har studiekompetanse rundt. Med god hjelp fra besetningen på læringslaben på campus var dette kjempegøy, og noe som gav god mestringfølelse. I utgangspunktet tenkte vi at vi kunne få til en grei nok løsning for innfestning av kontakten i bunnen av kammeret med å benytte et avkapp av et rør, lokk eller lignende. Fra tidligere i prosjektet hadde erfaring med at dette fort ville ta mye tid, samtidig som vi ville vært avhengig av andre folk.

Fra tidligere hadde Mats brukt noen minutter i Fusion 360 (3D program), dette viste seg å være akkurat godt nok til at vi enkelt kunne få designet og produsert en modell for lokket som vi da kunne legge over basen i kammeret (figur 17). Vi erfarte fort at nøyaktigheten endte med å være såpass stor at etter få iterasjoner hadde vi en fysisk modell som passet perfekt igjennom bunn-pinnen til inner-delen (figur 18).



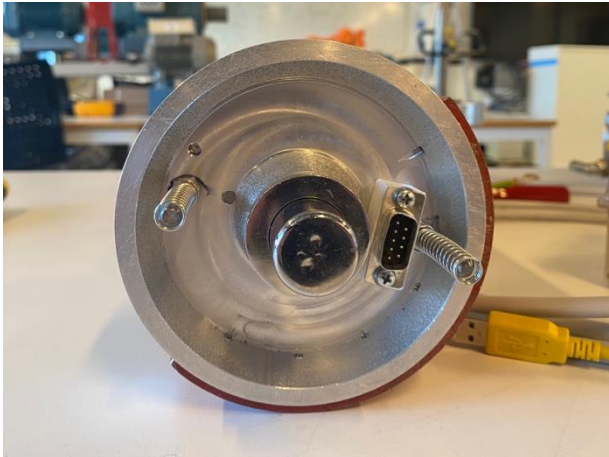
Figur 17 – 3D modell av bunnlokk



Figur 18 – Endelig fysisk lokk med DB9 kontakt

Vi inkluderte en styringspinn for å øke påliteligheten slik at DB9 kontakten innføres korrekt. Denne er basert på en M5 bolt hvor vi har kappet av hodet, og filt ned enden slik at den ble kon. Dette gjorde vi enkelt ved å sette bolten i en skrumaskin og så holde pusse-papir rundt den. Resultatet ble vakkert og etter noen småjusteringer hadde vi nå en bunnplate som passet perfekt med bunnen til inner-delen.

Et vakkert resultat, men dagen etterpå erfarer vi at kontaktene selvsagt ikke vil separere seg automatisk. Med respekt for at vi ikke skal modifisere kammeret permanent, konkluderer vi med at dette kan vi løse med en fjær som sparker ifra den røde bunnplaten, enten rundt den tjukke bunn-pinnen eller styringspinnen. Da gikk vi litt i tenkeboksen og fant noe gamle fjærer som passet rundt styringspinnen. Dette var i utgangspunktet en veldig bra løsning på papiret, men i praksis erfarer vi raskt at vi må legge til en ekstra styringspinn med fjær slik at fjæringen er lik på begge sider (figur 19).



Figur 19 – Spesiellaget aluminiums bunnplate med styrepinner, fjærer og DB9 kontakt

3.3.6 Display og fjernkontroll

Innsikten til høyspenningsrommet er dessverre noe begrenset, derfor synes vi det var viktig å utvikle en metode hvor brukeren vil få respons på tastetrykk. Derfor utviklet vi en boks hvor vi plasserte et 4 sifret 7 segment display (figur 21). Denne viser avstand i millimeter mellom kulene når man kjører opp og ned. Før kalibrering viser den 100mm som startavstand. Dette symboliserer at den ikke er kalibrert, og da er det mulig å kjøre den så langt man vil uten sikring, noe som ville vært et problem om startavstand er satt til 0mm. Det å kunne kjøre kulene nærmere hverandre før kalibrering er nyttig, ettersom kalibrering er noe treg av sikkerhetshensyn for å unngå ødeleggelser. Under kalibrering viser displayet «CALO». Når kalibrering er ferdig, viser displayet «donE».

Som mange av de andre elektriske koblingene i systemet har denne DB9 kontakt. For å unngå feilkoblinger har vi naturligvis hatt en plan på hvilke kjønn som skulle gå hvor, dermed er det nå ganske så feilsikkert og en unngår kortslutninger. For enkel integrering konkluderte vi med at vi like gjerne kunne plassere IR-mottakeren i display-boksen (figur 21).



Figur 20 - Gammel fjernkontroll



Figur 21 – Display og mottakerboks

3.4 Programmering

Mikrokontrolleren skulle ta imot signal fra fjernkontrolleren, styre motoren og skrive ut data på displayet. Denne programmeres med språket C++, noe som vi har grei studiekompetanse rundt. For ryddige programmering benyttet vi tre velkjente bibliotek fra bibliotek-portalen i Arduino IDE: «Stepper.h» for motoren, «IrRemote.h» for fjernstyring og «TM1637Display.h» for displayet.

Programmeringen er oppsatt slik at når man trykker på en knapp på fjernkontrollen, setter dette noe i gang. Naturligvis har vi gjort vårt beste med å benytte «vanlige» knapper til styringen. «Pil opp» kjører kulen opp, imens «pil ned» kjører kulen ned. Tallene på fjernkontrollen brukes til å bestemme farten.

Programmet kan regne avstanden mellom kulene, men dette innebærer at man først har utført en kalibrering. Kalibrering gjøres ved å kjøre kulene tett sammen manuelt, og deretter trykker man på «ok» knappen. Derfor bør man ved oppsett alltid begynne med å kalibrere avstanden.

3.5 Kalibrering

For å vite nøyaktig avstand, må vi finne nullpunkt når kulene er i hverandre. Dette løste vi med at vi kjører kulene sammen til et visst punkt, hvor man så må trykke på en kalibrerings-knapp («ok»). Da kjørers kulene automatisk sammen med en meget sakte fart, til de er i hverandre. Den lave farten og de små bevegelsene er for å stoppe at kulene krasjer inn i hverandre med for stor fart, da dette kan ødelegge utstyret, spesielt over tid. Kalibreringen avsluttes automatisk når kulene er i hverandre, med at mikrokontrolleren får et høyt signal fra optokobleren. Når kalibreringen er fullført, vil avstand mellom kulene automatisk utregnes i programmet og vil bli utskrevet til displayet ved videre styring.

Etter en kalibrering testet vi hvor langt ned vi kunne kjøre kulen med å notere når bunnen av skinnen nærmet seg bunnen. Her konkluderte vi med at bevegelsen hadde et spenn på 25mm. Holdfastheten til luft er som tidligere nevnt på ca. 3kv per mm, så dette sa vi oss godt fornøyd med [7]. Dermed kunne vi programmere motoren slik at man ikke kan kjøre kulene nærmere enn 0mm, og ikke lengre fra hverandre enn 25mm. Dette er for å unngå at utstyret skal bli ødelagt på grunn av menneskelige feil, selv om det riktig nok må utføres en kalibrering før dette blir implementert.

Kalibreringsprosedyren er avhengig at man har kalibreringsledningene koblet til kammeret. Her benyttes bananpluggen og disse kobles til i toppen og bunnen av kammeret, og til de grønne kontaktene merket «CAL-A» og «CAL-B» på styringsboksen. Naturligvis må disse frakobles før en utfører høyspenningstester. Dette er ikke et problem fordi man først utfører kalibreringen, og deretter frakobler ledningene.

For å vise kalibreringsprosedyren, og demonstrere virkemåte, har vi laget en kort YouTube film: https://youtu.be/SM4gasN2ELU?si=g-l_9J7Q7txxY8rf

3.6 Ferdig produkt

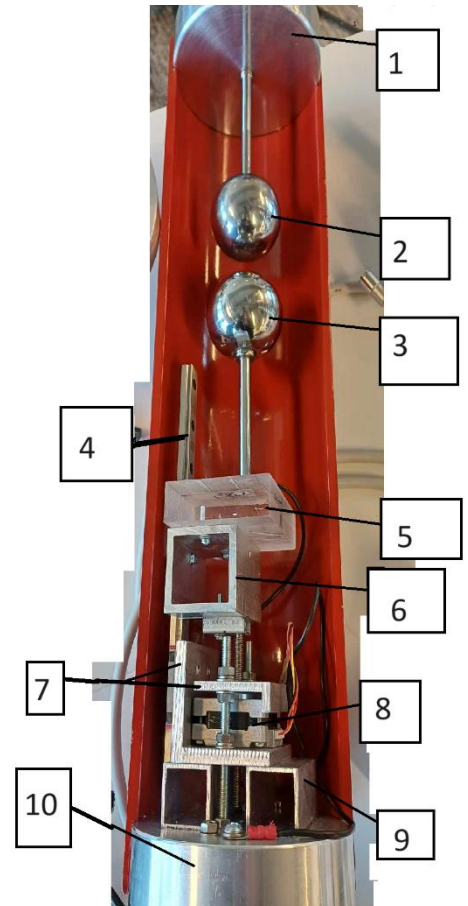
Det ferdige produktet består av fire hovedkomponenter; bryterkammer, styringsboks, displayboks og fjernkontroll.



Figur 22 – Ferdig produkt

3.6.1 Beskrivelse av sentrale komponenter

1. Topp-plate (original del)
2. Topp-kule. (original bunn-kule) Står i ro, men kan finjusteres manuelt.
3. Bunn-kule. Beveges av steppermotor.
4. Lineært kulelager og skinne. Sikrer at vi bare får vertikal bevegelse, og ikke horisontal.
5. Plast som isolerer kule fra andre komponenter.
6. Firkantør som er skrudd til skruen på motoren, lineært kulelager og plastbit. Gir høyde slik at kulene kan gå i hverandre, og gir mer stabil feste mellom ulike komponenter.
7. Vinkel over og under motor for å holde den på plass. Lineær kulelager er festet til bunnvinkel. Begge er festet til bunn ved hjelp av gjengestang. Bunnvinkel har hull i midten for at skruen til motoren skal gå urørt igjennom.
8. Steppermotor. Kan kjøre nederst kule opp og ned med 0,01 mm presisjon, og opp mot 25 mm vandring.
9. 2 stk 25*25mm firkantør som er 60 mm lange. Det er litt avstand mellom dem, noe som gir skruen til motoren rom for å bevege seg og plass til ledninger og gjengestenger.
10. Bunnplate. Dette er en kopi av originaldel, der ledninger fra utsiden kommer inn. Mange komponenter er festet til bunnplaten.



Figur 23 – Beskrivelse av komponenter

3.7 Tidsbegrensninger

Dette er et lite overblikk, da dette blir nærmere beskrevet i diskusjonsdelen.

Originalt skulle vi teste kammeret med høyspenning, men arbeid på laben gjorde at dette ikke var mulig. Å teste ulike gasser under trykk hadde vært svært interessant, og under høyspenningstester av kammeret kunne vi oppdaget nye problem som vi ikke enda har sett. Kammeret skal i teorien fungere fint, men selvfølgelig ville det vært kjekt å kunne bekrefte det. Programmeringen fungerer til å gjøre det viktigste, men med mer tid kunne vi ryddet og laget flere funksjoner som blant annet automatisering av kulebevegelsen. Displayet kan også vise mye mer enn det gjør i dag. Når det er sagt, er kammeret nå bygget for å være modifiserbart, så det er mange muligheter til videreutvikling.

4 Diskusjon

4.1 Praktisk del

4.1.1 Tidsbruk

Å prosjektere og bygge brytekammeret tok lengre tid enn antatt, litt fordi det var krevende, men også på grunn av uforutsigbare utfordringer. Fremdriftsplanen var også litt vel optimistisk, mye fordi dette er noe vi har lite erfaring rundt, samtidig som hendelser kan være vanskelig å forutse. Heldigvis er dette noe vi tok hensyn til i fremdriftsplanen ved å sette opp mai-måned uten reserveringer. Likevel endte det med å være meget travelt mot slutten, og vi hadde naturligvis ikke tid til å oppfylle alle våres planer.

Ca. 90% av tiden gikk til praktisk arbeid med kammeret, og ca. 10% til rapporten. Dette var fordi det var en praktisk oppgave, der teori og rapport var mindre viktig. Oppgaven var også veldig mekanisk, der vi brukte mye tid på å skaffe komponenter og tilpasse deler til vårt formål. Prosjektet har i stor grad basert seg på kunnskap utenom det vi har lært på vårt studie, men inkluderte blant annet: programmering og bruk av mikrokontrollere, måleteknikk og ikke minst høyspenningsteori rundt effektbrytere. Matematikk fagene og grunnleggende elektrokunnskap har også vært nyttig i oppgaven. Teori rundt ulike gasser har også ført til at vi har måttet finne frem gamle kjemikunnskaper.

Dessverre ble det minimalt med tid til programmering på slutten, og det førte til at vi ikke fikk implementert alle funksjoner som vi ønsket. Likevel har vi programmert inn de viktigste funksjonene slik at ønskelig resultat oppnås.

4.1.2 Anskaffelse og produisering av komponenter

Anskaffelse og tilpassing av komponenter viste seg å være den største utfordringen i prosjektet. Vi hadde begrenset økonomi, så mye måtte produseres innen hus. Naturligvis kunne det ikke forventes at elkraftstudenter skulle ha så mye erfaring innen mekaniker-faget. Derfor var vi spesielt avhengig av maskin-avdelingen for å få produsert sentrale komponenter. En god del tid gikk til å vente på at sentrale komponenter skulle bli produsert, før vi kunne gå videre med prosjektet. Naturligvis hadde de ansatte innen maskin-avdelingen mye andre prosjekter på gang. Avanserte elektriske komponenter bestilte vi hovedsak fra Elfa Distrelec AS, hvor vi var positivt overrasket med raske leveringstider.

I utgangspunktet hadde vi planer om å benytte original aluminiums base (figur 10) kombinert med en bunnplate vi kunne skru fast i basen. Dessverre måtte uansett ha boret i denne og i etter tid nå er det vanskelig å se for seg at dette ville latt seg gjøre uten store modifikasjoner. Arbeidsgiver ønsket som nevnt at vi ikke skulle bore i originaldeler, da det ble sett på som en nødvendighet å kunne skru det tilbake til original tilstand, spesielt da kammeret er kostbart og vanskelig å anskaffe. I enighet med arbeidsgiver konkluderte vi med at vi måtte lage en eksakt kopi, selv om det ville være tidkrevende. Bunnplaten så vi da som unødvendig og skrotet den slik at den totale høyden da ble mindre.

Den største usikkerheten oppstod når vi konkluderte med at vi kunne få produsert en aluminiums bunn-del tilsvarende den originale delen (figur 10). Lars benyttet sine private kontakter til å få tak i et passende aluminiums-stykke til en behagelig pris. HVL har dreiebenker av alle sorter så det burde lett la seg gjøre. Lars og Frode hadde personlig tatt på seg ansvaret til å tilvirke aluminiums basen ut av stykket. Avtaler ble gjort og tillatelser ble gitt slik at tilvirkningen skulle gå knirkefritt. Likevel var dette dårlig likt av de høyere makter, og fører til mye bråk og konflikter. Som nevnt i den tekniske delen satt dette prosjektet i en veldig usikker tilstand da vi ikke kunne modifisere den originale aluminiums basen. Tiden gikk og vi var i diskusjon med veileder på hvordan fremtiden ville bli, og i verste fall ville oppgaven fått en mer teoretisk innvending. Etter noen uker besluttet heldigvis de høyere makter at maskinavdelingen kunne produsere delen til oss, slik at prosjektet kunne fortsette.

Selv om vi ifra privatlivet har noe erfaring med ulike elektromaskiner, som boremaskiner og sager, er ikke dette noe som hjelper oss med å få tillatelse til å i det hele tatt berøre maskinene på maskinrommet. I begynnelsen av prosjektet var vi meget velkommen og under oppsyn fikk vi hjelp til å tilvirke kompliserte deler, slik som gjengetapping av kontramutter og gjengestav (figur 24 og 25).



Figur 24 – Ubrukt gjengestav i dreiebenk



Figur 25 – Tilvirkning av bunnplate, som ikke ble benyttet

Etter vi fikk høre at det hadde vært mye bråk bak gardinene rundt denne bacheloroppgaven måtte vi sette standeren noe lavere på bekostning av nøyaktighet. Boring med skrumaskin, gjengetapping uten støtte, kapping med baufil og filing for hånd er typiske ting vi har gitt oss ut på. Ironisk nok er det lett å argumentere for at dette har gått på kraftig bekostning av HMS når det begynner å minke på fingertupper. Vi så sleggemekanikker metoder som nødvendig for å bli ferdig, i dette århundret, og nå i etterkant ser det ut som vi likevel har fått til løsninger som er nøyaktige nok til formålet.

4.1.3 Strømforsyning og 25x25mm firkantrør

Til å begynne med så vi for oss at kammeret skulle ha både strømforsyning (batteri) og Arduino inne i kammeret. For å ha en plass til å oppbevare dette, bestemte vi oss for at 25x25mm firkantrørene skulle være 70mm lange, slik at de hadde plass til et komplett 18650 batteri. Ettersom vi gikk vekk fra å ha styringen inne i kammeret, byttet vi de like gjerne ut med noen som var litt kortere, 60mm. Disse har da samme «bredde» som resten av vinkelen slik at det ser bedre ut, samtidig som det er tilsvarende stabilt og ta mindre unødvendig plass. Denne plassen kom godt til nytte med tanke på innfestning av styrepinner, jordkontakt og diverse komponenter.

For enkelhetens del monterte vi banankontakter på styringsboksen for strømtilførsel. I vårt prosjekt har vi benyttet en lab-strømforsyning for å enkelt forsyne motoren. Det er godt mulig dette virker fint i høyspenningsrommet, men vi hadde i utgangspunktet tiltenkt et 12V lipo batteri til prosjektet. Da ville vi ha enkelt kunne slippe å tenke på støy og skjerming fra strømmettet.

4.1.4 Skruer vs liming

Så langt som mulig har vi benyttet skruer, gjengestenger og mutre til å feste komponenter. Dette er fordi kammeret skal være lett demonterbart, slik at eventuelle feil kan rettes og muligheten for videre utvikling tilrettelegges. Det er også mulig å montere kammeret tilbake til original stand uten å ødelegge komponenter, om det skal være nødvendig. Det originale kammeret hadde flere løsninger som gjorde det vanskelig å demontere, til kontrast har vi forbedret mange av disse med å f.eks. benytte gjengetape istedenfor lim.

4.2 Framtidige prosjekt

4.2.1 Testing

Planen var i hovedsak å bruke en del tid på slutten til å teste bryterkammeret med ulike gasser på høyspenningslabben. På høyspenningslabben har det også vært omfattende arbeid gjennom våren, og den skal inspiseres 6.juni, som er for sent for oss. Dette betyr at vi ikke ville fått testet kammeret på grunn av at høyspenningsrommet ikke er ferdig. Riktignok hadde vi såpass begrenset med tid på slutten at eventuell testing ville blitt veldig nedprioritert.

Når det gjelder testing av styringen til kulene har dette vært greit å gjennomføre, men det har naturligvis også vært preget av mangel på tid. Kulene beveger seg nøyaktig, stabilt og lineært. For øyeblikket er den nederste kule festet med industriell dobbeltsidig tape for å enkelt kunne justere posisjonen under sammen skruing. Dette skal være greit nok til formålet, men på lang sikt bør muligens kule-skruen limes fast til plastblokken. Vi har også testet kalibreringsmetoden til styringen, og denne demonstreres i vedlagt linket YouTube-video. Det komplette kammeret er også vakuumentestet, noe som gikk som forventet. Trykket holdt seg greit nok, selv om det lakk noe. Kammeret i original tilstand har vært kjent for å ha en del lekkasjer, så dette var ikke så meget

overraskende. Vi er rimelig sikre på at disse lekkasjene er i rørkoblingene, da spesielt rundt feste til manometrene. Dette ser vi som naturlige problemer og noe som bruker må løse selv, da tiden ikke strakk til i vårt prosjekt. Heldigvis løses dette enkelt ved å legge på mer gjengetape rundt gjengene til manometrene og y-koblingen. Vi har riktignok ikke fått tid til å gjennomføre trykktesting, men er trygge på at vi får tilsvarende resultater. Testing av ulike gasser bør derfor gå smertefritt, og kammeret vil holde trykket greit nok. Når det gjelder rørkoblingene rundt gjennomføringen av ledningene anbefales det at man behandler disse med forsiktighet (figur 15). Det kan fort oppstå mye moment på sensitive rørkoblinger, som i verste fall kan knekke. Vi ser for oss at det kan være lurt å avstive koblingene sammen med en plast eller tre-blokk slik at en unngår unødvendige belastninger. Videre er det også tiltenkt et L-stykke på slangekoblingene (ikke avbildet) for å minske belastningene.

4.2.2 Valg og videre utvikling

Som tidligere nevnt hadde vi store planer om å teste bryteevnen med mange ulike gasser, men på grunn av regler rundt bruk av høyspenningsrommet og tidsbegrensinger rakk vi dessverre ikke dette. Videre utvikling, sammen med forsøk og teori rundt bruk av gasser og effektbrytere, vil være omfattende nok til å kunne være en fremtidig bacheloroppgave. Aktuelle gasser er lett å anskaffe, men man bør også se på muligheten til å få tak i gasser som er benyttet kommersielt. De mest aktuelle gassene er tidligere beskrevet i denne rapporten.

Vi hadde også tenkt å utvikle en løsning med servomotor i tillegg til steppermotorløsningen vi har produsert. Fordelen med bruk av servomotor er at den har mest sannsynlig har større hastighet. Som mye annet i prosjektet gjorde mangel på tid at dette måtte bli nedprioritert. Med enkle modifiseringer bør det relativt lett la seg gjøre å montere en servomotor. Prosjektet har basert seg stort på lett demonterbare løsninger, samtidig som at vi allerede har utviklet en god skinneløsning for kulebevegelsen.

Senere i prosjektet erfarte vi at stepper-motoren har et strømtrekk selv om den er stillestående. Da blir den varm og dette kan resultere at den i verste fall brenner opp. Vi har løst dette midlertidig ved å skru den av (skrive utgangene på mikrokontrolleren lave) på et tastetrykk, men det anbefales at det utvikles en bedre løsning på dette for å ta hensyn til menneskelige feil. Vi ser for oss at dette enkelt kan løses med en tids-delay i programmeringen.

Fjernkontrollen tiltenkt prosjektet har mange ledige taster, så det er fullt mulig å programmere inn nye funksjoner ved behov, uten å slette gamle koder. Her finnes det mange muligheter. Blant annet mer styring på avstanden kulen beveger seg (den er nå låst på 1mm per fjernkontrolltrykk), automatisk få kulene til å gå litt ned og så opp igjen automatisk, stoppe den automatiske bevegelsen og å få kulene til å bevege seg til en spesiell avstand fra hverandre med å bare trykke på en knapp. Man kan også legge til flere hastigheter, då vi bruker talene på kontrollen til det, og har bare brukt 5 av 10 (0-9, der 1-5 er brukt).

Til nå har vi vært avhengig av stikkontakt for å forsyne motoren med energi, og USB 5V for å forsyne Arduinoen. På lang sikt bør nok stikkontaktløsninga erstattes av et batteri da det er vanskelig å få 230V spenning ryddig inn i høyspenningslaben. Arduinoen kan selvsagt forsynes av en Laptop, men som en midlertidig løsning kan en benytte en USB-powerbank som leverer 5V. Det er også en rimelig enkel jobb å forsyne mikrokontrolleren med 12V (samme som steppermotor), ved å koble til to ledninger. Dessverre strakk ikke tiden til slik at vi kunne løse dette.

5 Konklusjon

Prosjektet har vært svært omfattende, og overraskende mer mekanisk enn hva vi forventet til å begynne med. Vi har kommet over målstreken, men sitter igjen med følelsen av at oppgaven har vært noe ambisiøs da produksjon av mekaniske komponenter har bydd på en god del «bråk» og frustrasjon. Heldigvis har det vært nok av hjelpsomme personligheter som har tatt oss imot med åpne armer.

Vi har løst problemstillingen, og kammeret består nå av en løsning hvor den ene kule i beveger seg ved hjelp av en steppermotor. Steppermotoren er skrudd fast til et lineært kulelager, som sikrer stabil og nøyaktig bevegelse av kule. Vi har bygget et kammer som kan gjennomføre slukkegastester med forskjellige gasser under trykk, og med vakuum. Vi er også rimelig sikre på at kammeret har gode nok vandringsmuligheter til de fleste relevante tester som ønskes gjennomført. Høyspenningstester med gasser, som var en liten del av oppgaven, fikk vi hverken tid eller tillatelse til. Slik testing hadde selvsagt vært interessant i seg selv, men kanskje enda mer interessant hadde det vært å se hvor godt kammeret faktisk fungerer i praksis med våre modifiseringer.

Kammeret skal brukes av studenter til arbeid på laben i framtiden, og med modifikasjonene vi har gjort, blir kammeret en god mulighet for studenter til å teste ulike gasser i praktisk, og derfor få en god forståelse for problemene rundt å erstatte SF₆ gassen i høyspenningsanlegg. SF₆ problematikken er noe som flere store fabrikanter av effektbrytere, og mange andre i høyspentbransjen jobber aktivt med, så det er usannsynlig at akkurat kammeret løser dette. Likevel vil det forhåpentligvis bidra med ny kunnskap og få framtidige ingeniører interessert rundt problemstillingen slik de kan være med å løse fremtidens problemer rundt slukke og isolasjons-gasser.

Referanser

- [1] Hagen, Ørjan & Norendal, Martin (2023): Nytt høyspenningslaboratorium og miljøvennlige alternativ til SF6, Bergen, Høgskulen på Vestlandet.
- [2] Sivertsen, L. (2020). *Høyspenningssystemer*. Bergen: Fagbokforlaget.
- [3] Saugstad, Kjell: *effektbryter i Store norske leksikon på snl.no*. Hentet 16. mai 2024 fra <https://snl.no/effektbryter>
- [4] Istad, M. (2024, April 5). *Hva er SF6-gass*. (SINTEFblogg) Hentet Mai 5, 2024 fra <https://blogg.sintef.no/sintefenergy-nb/sf6-gassregnskap/>
- [5] Siemens energy: The blue portfolio - a cleaner future. Hentet 18. mai 2024 fra: <https://www.siemens-energy.com/global/en/home/products-services/product-offerings/blue-high-voltage-products.html>
- [6] Dannevig, Petter; Pedersen, Bjørn: *luft i Store norske leksikon på snl.no*. Hentet 18. mai 2024 fra <https://snl.no/luft>
- [7] *Hva er partielle utladninger og hvorfor teste for det?* (2021, 17.februar). NEKA. Hentet 18.mai fra: <https://www.neka.no/post/hva-er-partielle-utladninger-og-hvorfor-teste-for-det-1>
- [8] *Stepping Motor vs Servo Motor*. (2022). Gentiam Electronics. Hentet 18.mai fra: www.gentiam.com/learning-hub/servo-motor-versus-stepper-motor/
- [9] *Stepper motors with Arduino - Bipolar & unipolar*. (2023, 11. april). DroneBot Workshop. Hentet 18. mai 2024 fra: <https://dronebotworkshop.com/stepper-motors-with-arduino/>
- [10] Andersen, Paul Bjørn: *optokobler i Store norske leksikon på snl.no*. Hentet 15. mai 2024 fra <https://snl.no/optokobler>
- [11] *Linear-motion bearing*. (2024, 1. februar). Wikipedia, The Free Encyclopedia. Hentet 16. mai 2024 fra: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Linear-motion_bearing&oldid=1201827577
- [12] Sharma, A., & Teverovsky, A. (2007). Effect of Vacuum Environments on Performance and Reliability of Electronic Components and Packages for Space Applications. IEEE. <https://doi.org/10.1109/icept.2007.4441516>


Appendiks A Prosjektledelse og styring

A.1 Prosjektgjennomføring og fordeling

Opgaven var delt jevnt mellom oss 2 på gruppen. Som beskrevet i hoveddelen i rapporten har prosjektet vært svært uforutsigbart med mange utfordringer. Det har vært mye prosjektering og tenking, så timer er vanskelig å telle. Det er samtidig viktig å nevne at labingeniøren Lars Manger Ekroll har også benyttet en god del timer på dette prosjektet, noe som vi er svært takknemlige for.

A.2 Fremdriftsplan

Her er fremdriftsplan, legger inn dokumentet som vedlegg.

				2024																													
				År																													
				Uke	w1	w2	w3	w4	w5	w6	w7	w8	w9	w10	w11	w12	w13	w14	w15	w16	w17	w18	w19	w20	w21	w22	w23	w24					
				Man	1/1	8/1	15/1	22/1	29/1	5/2	12/2	19/2	26/2	4/3	11/3	18/3	25/3	1/4	8/4	15/4	22/4	29/4	6/5	13/5	20/5	27/5	3/6	10/6					
				Fre	5/1	12/1	19/1	26/1	2/2	9/2	16/2	23/2	1/3	8/3	15/3	22/3	29/3	5/4	12/4	19/4	26/4	3/5	10/5	17/5	24/5	31/5	7/6	14/6					
#	Aktivitet	Beskrivelse	Resultat	Arbeid	Start	Slutt	Fra	Ansvarlig																									
4	Forprosjekt arbeid	Forprosjekt rapport	TBD	150	7/1	5/2	1%	Jørgen, Mats	1																							1	
6	Forprosjekt innlevering	Milepæl		0		5/2	0%	Jørgen, Mats																								0	
7	Lesing av teor	TBD	TBD	80	3/1	2/5	4%	Jørgen, Mats	1	2																						3	
8	Planlegge Laboppsett	TBD	TBD	80	16/1	3/1	0%	Jørgen, Mats																								0	
9	lage laboppsett	TBD	TBD	80	7/2	16/2	0%	Jørgen, Mats, Lars																								0	
10	forberede Midtveispresentasjon			40	20/3	3/3	0%	Jørgen, Mats																								0	
11	Midtveispresentasjon	Milepæl		0		3/3	0%	Jørgen, Mats																								0	
12	Testing av oppsett	TBD	TBD	80	16/2	7/3	0%	Jørgen, Mats																								0	
13	Testing av gasser	TBD	TBD	80	2/3	1/4	0%	Jørgen, Mats																								0	
14	Ekstra testlinnehente meir informasjon	TBD	TBD	80	1/4	10/5	0%	Jørgen, Mats																								0	
14	Refleksjonsnotat skrive	Skrive	Refleksjonsnotat	15	3/5	6/5	0%	Jørgen, Mats																								0	
15	Refleksjonsnotat	Milepæl		0		6/5	0%	Jørgen, Mats																								0	
16	Bacheloroppgave skrive	strukturere,skrive,granske	Bacheloroppgave	150	1/4	2/5	0%	Jørgen, Mats																								0	
17	innlevering	Milepæl		0		2/5	0%	Jørgen, Mats																								0	
18	Ordnnær eksamen			85	7/6	0%	Jørgen, Mats																									0	
18	Konte eksamen			86	14/6	0%	Jørgen, Mats																									0	
20	Bachelor oppgave muntlig forberedelse	muntlig presentasjon	Sluttpresentasjon	20	6/6	1/6	0%	Jørgen, Mats																								0	
21	Bachelor oppgave muntlig presentasjon	Muntlig eksamen		2		0%	Jørgen, Mats																									0	
22	EXPO24	Delta på EXPO		16		14/6	0%	Jørgen, Mats																								0	
23	Avslutningsfest			156		0%	institutt																								0		
				967																									4				
				bør summere til ca 400-500 timer pr student																								500					

Appendiks B Brukerdokumentasjon

B.1 Brukerdokumentasjon

Kammeret styres med en kontroll. Her er ulike knappers kode, og deres virkemåte. Det er mulig å endre dette i koden, eller legge til flere funksjoner.

0x1	= "1"	= speed 200
0x2	= "2"	= speed 250
0x3	= "3"	= speed 260
0x4	= "4"	= speed 265
0x5	= "5"	= speed 20
0x6	= "6"	
0x7	= "7"	
0x8	= "8"	
0x9	= "9"	
0x1A	= "pil opp"	= Drive up
0x1b	= "pil ned"	= Drive down
0x1C	= "pil til høyre"	
0x1D	= "pil til vestre"	
0x1F	= "ok"	= kalibrering
0xC	= "av/på knapp"	= Stopp/skru av
0xA	= "exit"	
0x2A	= "play"	
0x2D	= "Pause"	
0x2F	= "Spol tilbake"	
0x2E	= "Spol frem"	
0x2B	= "Record"	
0x2C	= "Stopp"	
0x11	= "Hjelp"	
0x21	= Rød knapp	
0x22	= Grønn knapp	
0x23	= Gul knapp	
0x24	= Blå knapp	

B.2 Drifts- og vedlikeholds dokumentasjon

Arduinoen treng strøm til motordriveren, og strøm selv via pc. I starten av en testsituasjon skal kulene kalibreres, slik avstand er sikker. Kulene skal renses etter bruk, eller mellom forsøk. Kontrollen går på batteri, så det må byttes iblant.

Appendiks C Prosjektlogg

- Uke 2: Intro. Første veiledningsmøte med Lasse Siviertsen 08.01.23, hvor Lars også deltok. Møte internt for diskusjon av fremgangsmåte.
- Uke 3: Møte med Lars med løsninger for trykkammer.
- Uke 4: Møte med Lars på onsdagen, og første møte med maskin (Frode) på torsdagen. Produsert aluminiums sirkler (ikke benyttet i prosjektet)
- Uke 5: Første møte med masterstudent Elise på tirsdag. Fredag laget vi komponenter nede på maskin.
- Uke 6: Møte tirsdag og fredag på lab. Dreiebenk på fredagen.
- Uke 7: Møte tirsdag og fredag. Mistenker at batteri inne i kammeret kan by på problemer. Vakuum er hovedproblemet.
- Uke 8: Bestemmer oss for at batteri inne i kammeret er uaktuelt. Da må kabel trås gjennom luft-inntak i kammeret.
- Uke 9: Møte med Lars på tisdagen. Møte med Lasse på onsdag for å diskutere fremtiden til prosjektet. Jobbet med rapport.
- Uke 10: Møte på lab på tirdagen. Fremtiden noe usikker angående fremtiden til prosjektet. Testet kabelgjennomførings plastikk uten ledere og limt en test artikkel. Fin løsning på styring av stepper motor.
- Uke 11: Møte på lab på tirsdagen. Aluminiums stykke ankommet. Fått testet at gjennomføring for kabler fra kammer virker.
- Uke 12: Møte som vanlig på tirsdagen. Aluminiumsbasis produsert. Hurra! Suksess med IR kommunikasjon med Arduino. Mats er forkjølet...
- Uke 13: Påskeferie
- Uke 14: Løsning på pluggtype. 3D modellering og 3D printing. Tirsdag og onsdag på lab.
- Uke 15: Mandag, tirsdag og onsdag på campus. 3D printet bunnplate. Tilpasser aluminiumsbasis med modifiseringer.
- Uke 16: Noe roligere uke.
- Uke 17: Funnet løsning på at innerdel henger fast i bunnplaten. Kreative løsninger med fjærer og styringspinner.
- Uke 18: Mye lodding.
- Uke 19: Travel uke med siste justeringer. Ferdig med den praktiske byggingen fredag 10.mai.
- Uke 20: Programmering. Ferdigstilling av bacheloroppgave med mål om innlevering torsdag 16.mai.