



Høgskulen  
på Vestlandet

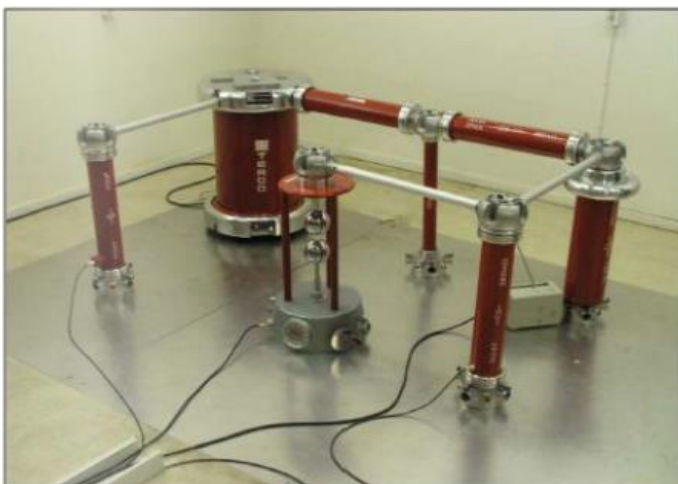
BACHELOROPPGAVE:

# B021E-55 Prosjektering av høyspenningslaboratorium

---

Preben Skorpen  
Vegard Hoff  
Stian Ingebrigtsen  
Per Kristian Pedersen

01. juni. 2021



Vi bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 12-1.

# Dokumentkontroll

<i>Rapportens tittel:</i> B021E-55 Prosjektering av høyspenningslaboratorium	<i>Dato/versjon</i> 01.juni. 2021/v.0106
	<i>Rapportnummer:</i> B021E-55
<i>Forfatter(e):</i> Preben Skorpen Vegard Hoff Stian Ingebrigtsen Per Kristian Pedersen	<i>Studieretning:</i> ELK18
	<i>Antall sider m/vedlegg</i> 64
<i>Høgskulens veileder:</i> Lasse Hugo 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> <a href="mailto:Lasse.Hugo.Sivertsen@hvl.no">Lasse.Hugo.Sivertsen@hvl.no</a>	

Revisjon	Dato	Status	Utført av
v.2001	19.01.21	Første utkast	Per Kristian Pedersen
v.2601	26.01.21	Lagt inn risikoanalyse	Vegard Hoff
v.2801	28.01.21	Redigere forstudie	Alle
v.2901	29.01.21	Fullføre forstudie	Alle
v.1802	18.02.21	Lagt til tekst på forord og realisering	Per Kristian Pedersen
v.0803	08.03.21	Legge inn fakta om ozon og EMF	Per Kristian Pedersen
v.1103	11.03.21	Revidere budsjett	Alle
v.1603	16.03.21	Lage tabell med logg	Per Kristian Pedersen
v.2703	27.03.21	Lage vedleggs liste	Per Kristian Pedersen
v.1804	18.04.21	Redigere retningslinjer	Preben Skorpen
v.3005	30.05.21	Redigering og legge inn bilder	Alle
v.0106	01.06.21	Redigere og ferdigstille	Alle

## Forord

Denne rapporten er et resultat fra bacheloroppgaven (BO21E-55) skrevet av fire studenter som gikk på elkraftteknikk ved Høgskulen på Vestlandet avdeling Kronstad. Oppgaven teller 20 studiepoeng og det forventes at hver student arbeider ca. 400 timer hver på prosjektet.

Koronasituasjonen i Bergen har til tider gjort oppgaven vår uforutsigbar, men dette har ikke medført store ulemper for oppgaven.

To av studentene har fagbrev, henholdsvis som elektriker og energimontør. Arbeidet med oppgaven har vært utfordrende og lærerikt. Vi har vært gjennom reelle arbeidsoppgaver for ingeniører og dette har gitt oss en god innsikt i arbeidslivet vi skal ut i.

Vi vil takke blant annet vår veileder Lasse Hugo Sivertsen for gode råd og hjelp underveis i oppgaven.

Vi vil også rette en takk til Lars Manger Ekroll som har vært til stor hjelp under prosjektering, bygging av Faradaybur og testing av anlegget.

Vi ønsker også å nevne NTNU, USN, HIØ, HVL Førde, Nexans Halden, ABB og SINTEF for god informasjon om deres høyspenningslaboratorium. Vi takker for god hjelp.

## Sammendrag

I 2014 gikk HVL til anskaffelse av et prøvelaboratorium for høyspenningstester. Hensikten med laboratoriet er å utføre forskning- og undervisningsrelaterte eksperimenter.

I 2016 ble det nye anlegget testet av en bachelorgruppe og det ble oppdaget en del omfattende feil og mangler [1]. Feilene viste seg å være så omfattende at laboratoriet ble stengt av huseier, Statsbygg. Huseier ønsker ikke å åpne rommet for bruk før eventuelle utbedringer er gjort.

I denne oppgaven har vi tatt for oss utbedringer ved Høgskolen på Vestlandet sitt høyspenningslaboratorium. Vårt mål var å finne de løsninger som skal til for å gjenåpne laboratoriet.

Ved prosjektering av et høyspenningslaboratorium er det mange faktorer man må ta hensyn til. Når det opereres med høye spenninger, vil det forekomme elektriske felter. De elektriske feltene varierer med størrelsen på ladningen til kilden og varierer omvendt med kvadratet av avstanden til kilden. Med dette menes det at hvis spenningen doubles, doubles det elektriske feltet. Hvis du dobler avstanden reduseres feltstyrken med en faktor på fire [2]. De elektriske feltene kan forstyrre elektronikk og medføre ødeleggelser. Vi har derfor prosjektert og bygget et Faradaybur som skal sørge for at de elektriske feltene blir dempet før de slipper gjennom buret.

Det er blant annet utført en bred kartlegging av tilsvarende laboratorier i Norge, samt utarbeidet et dokument med retningslinjer for drift av laboratoriet.

I flere av forsøkene på laboratoriet inngår det elektriske utladninger hvor det blir utviklet ozongass. Vi har kjøpt inn måler for å kunne detektere ozonnivåene og teste virkningen til ventilasjonsanlegget.

Det ble utført en høyspenningstest ved anlegget etter at Faradayburet ble bygget. Det ble målt små mengder ozon under testen og vi kan også konkludere med at det forekom elektriske felter utenfor buret. Etter en befaring av byggeier et par dager etter testen ble rommet stengt, igjen.

Selv om våre forsøk på å få åpnet rommet ikke ble like vellykket som vi hadde planlagt, ser vi lyst på framtiden for laboratoriet. Vårt prosjekt har på nytt belyst problemstillingen og det virker som det er en ny vilje høyere opp i administrasjonen, til å utføre tiltak for at det skal bli permanent åpent igjen.

## Summary

In 2014, HVL acquired a test laboratory for high-voltage tests. The purpose of the laboratory is to perform research and teaching-related experiments.

In 2016, the new facility was tested by a bachelor group and a number of extensive errors and shortcomings were discovered [1]. The errors turned out to be so extensive that the laboratory was closed by the homeowner, Statsbygg. The homeowner does not want to open the room for use until any repairs have been made.

In this thesis, we have considered improvements at the University College of Western Norway's high voltage laboratory. Our goal was to find the solutions needed to reopen the laboratory.

When designing a high voltage laboratory, there are many factors to consider. When operating at high voltages, electric fields will occur. The electric fields vary with the magnitude of the charge to the source and vary inversely with the square of the distance to the source. By this is meant that if the voltage is doubled, the electric field is doubled. Doubling the distance reduces the field strength by a factor of four [2]. The electric fields can interfere with electronics and cause damage. We have therefore designed and built a Faraday cage that will ensure that the electric fields are attenuated before they pass through the cage.

Among other things, a broad survey of similar laboratories in Norway has been carried out, as well as a document with guidelines for the operation of the laboratory.

Several of the experiments in the laboratory include electrical discharges where ozone gas is generated. We have purchased meters to be able to detect ozone levels and test the effect of the ventilation system.

A high voltage test was performed at the facility after the Faraday cage was built. Small amounts of ozone were measured during the test and we can also conclude that there were electric fields outside the cage. After an inspection by the building owner a few days after the test, the room was closed, again.

Although our attempts to open the room were not as successful as we had planned, we are optimistic about the future of the laboratory. Our project has once again shed light on the issue and it seems that there is a new will higher up in the administration, to carry out measures to make it permanently open again.

## Innhold

Dokumentkontroll .....	2
Forord .....	3
Sammendrag .....	4
Figurliste .....	8
Tabelliste .....	8
1 Innledning.....	9
1.1 Oppdragsgiver .....	9
1.2 Bakgrunn .....	9
1.3 Problemstilling.....	9
1.4 Hovedidé for løsningsforslag .....	10
1.5 Utfordringer knyttet til COVID-19 pandemien .....	10
2 Kravspesifikasjon .....	11
3 Teori.....	11
3.1 Ozongass.....	11
3.2 Felt, stråling og støy .....	12
3.2.1 Elektromagnetisk interferens .....	12
3.2.2 Elektromagnetisk stråling.....	12
3.2.3 Elektromagnetisk puls (EMP).....	12
3.2.4 Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC).....	13
3.2.5 Elektromagnetisk felt (EMF) .....	13
3.2.6 Magnetisk felt.....	13
3.2.7 Elektrisk felt .....	13
3.3 Faradaybur .....	14
4 Analyse av problemet.....	15
4.1 Utforming av mulige løsninger .....	16
4.1.1 Løsning for retningslinjer.....	17
4.1.2 Løsning for brann.....	17
4.1.3 Løsningsalternativ for ozon .....	17
4.1.4 Løsningsalternativ for ventilasjon .....	17
4.1.5 Løsningsalternativ for Faradaybur.....	18
4.2 Konklusjon for valgt løsning .....	20
5 Bygging av Faradaybur .....	20
5.1.1 Planlegging av valgt løsning.....	21

5.1.2	Byggeprosessen.....	22
6	Kartlegging av tilsvarende laboratorier i Norge .....	23
6.1	De mest relevante .....	23
6.1.1	USN .....	23
6.1.2	Høgskolen i Østfold .....	23
6.1.3	NTNU: .....	23
6.2	De minst relevante .....	24
7	Utarbeidelse av retningslinjer .....	24
8	Testing .....	25
8.1	Initial testing uten spenning.....	25
8.2	Test med spenning .....	25
8.3	Testing av ozonmåler og ventilasjonsanlegget .....	26
9	Diskusjon .....	28
10	Konklusjon .....	28
10.1	Anbefalte tiltak til HVL.....	29
11	Bildeliste .....	31
12	Referanser .....	32

## Figurliste

Figur 1: Ozon (O <sub>3</sub> ) molekyl.....	11
Figur 2: Støykilder.....	12
Figur 3: Frekvensområdet til strålingen .....	12
Figur 4: Magnetiske feltlinjer .....	13
Figur 5: Elektriske feltlinjer.....	13
Figur 6: Faradaybur .....	14
Figur 7: Effektiviteten til skjermingen .....	14
Figur 8: Faradaybur sett fra utsiden.....	20
Figur 9: Testoppsett inne i Faradaybur .....	20
Figur 10: Rammen ferdig montert.....	22
Figur 11: Bygging av vegg til Faradaybur.....	22
Figur 12: Ozongenerering i 15 minutter med avlesning hvert 30. sek etter generatoren er avskrudd	27
Figur 13: Ozongenerering i 60 minutter med avlesning hvert 30. sek etter generatoren er avskrudd	27
Figur 14: Prosjektert tidslinje med milepæler.....	36
Figur 15: Prosjektert fremdriftsplan.....	36
Figur 16: Realisert tidslinje med milepæler.....	37
Figur 17: Realisert fremdriftsplan .....	37
Figur 18: Skisse av testrom.....	41

## Tabelliste

Tabell 1: De ulike frekvensområdene for mobil, FM/DAB .....	25
Tabell 2: Timeliste for gruppelemmer.....	38
Tabell 3: Hendelseslogg.....	38
Tabell 4: Risikoliste .....	39



# 1 Innledning

## 1.1 Oppdragsgiver

Vår oppdragsgiver er Høgskolen på Vestlandet (HVL) ved campus Kronstad. Høgskolelektor Lasse Hugo Sivertsen er vår kontaktperson, samt veileder for oppgaven. Overingeniør Lars Manger Ekroll ble underveis i oppgaven vår prosjektleder for innkjøp.

Høgskolen i Bergen (HIB) som det tidligere het, ble etablert i 1994 og HIB ble en del av HVL i 2017. På avdeling Kronstad huses det rundt 300 ansatte og 3000 studenter [3].

## 1.2 Bakgrunn

I 2014 var det prosjektert et prøvelaboratorium for høyspenningstester på Kronstad og det ble kjøpt inn komplett høyspenningsutstyr fra Terco. Terco er et svensk selskap som produserer og leverer diverse utstyr til tekniske utdanninger [4]. Til HVL sitt testrom ble det bestilt et HV9000 testsett og sommeren 2015 ble høyspenningsutstyret installert.

Høyspenningsutstyret ble i 2016 testet av en bachelorgruppe og fungerte etter spesifikasjonene, men det ble oppdaget en del feil og mangler rundt avskjerming, ventilasjon og gassmåling. Feilene viste seg å være så omfattende at laboratoriet måtte stenge. Huseier ønsker ikke å åpne rommet for bruk før eventuelle utbedringer er gjort. Som en direkte konsekvens av dette har studenter gått glipp av lærerike forsøk og eksperimenter.

Oppdragsgivers hensikt med utlysning av denne oppgaven er å få gjort utbedringene som skal til for å få godkjenning fra huseier.

## 1.3 Problemstilling

Høyspenningsanlegget fra Terco er konstruert for å kunne utføre AC-tester opp til 300 kV og DC/impuls-tester opp til 420 kV. Under tidligere tester utført av en bachelorgruppe i 2016, ble det dokumentert at anlegget kunne levere 380 kV AC og 560kV DC som er mer enn hva anlegget fra TERCO er dimensjonert for. Samtidig har ikke Statsbygg godkjent bruk av høyere spenning enn 200 kV. Når spenningen er så høy, vil det elektriske feltet påvirke andre potensialer. Det kommer tydelig frem fra tidligere forsøk at den elektromagnetiske kompatibiliteten til rommet ikke er tilstrekkelig [1].

### **Problematikken vedrørende EMF:**

- Nærliggende kontorer og undervisningsrom har fått problemer med den elektroniske dørlåsen til rommet.

- Brannalarmanlegget i testrommet har blitt slått ut.
- Det ble målt opptil 4,7kV induisert spenning i vinduskarmen til testrommet.
- Skjermen til den digitale styrepulten tilhørende TERCO utstyret fryser ved høye spenninger.
- Upålitelige målinger grunnet støy.

Det finnes ingen retningslinjer for bruk av høyspenningslaboratoriet ved HVL.

I noen av eksperimentene inngår det elektriske utladninger hvor det blir dannet ozongass som er giftig [5, s. 620].

#### **Problematikken som gjelder ozon og ventilasjon:**

- Mangel på kontinuerlig måling av ozon og varsling ved for høye verdier.
- Effektiviteten til ventilasjonsanlegget er ukjent.

## **1.4 Hovedidé for løsningsforslag**

Oppdragsgiver ønsker å nedgradere høyspenningsanlegget fra et tre-trinn til et to-trinnsoppsett. Det innebærer å kun bruke to transformatorer á 100 kV, slik at kravet til Statsbygg på maksimalt 200kV blir overholdt.

- Høyspenningsrommet må ryddes for utstyr urelatert til drift av laboratoriet.
- Innhente informasjon fra andre høyspenningslaboratorier i Norge for å sjekke om de har lignende problemer.
- For å kunne detektere ozonnivåene i rommet skal det bestilles inn en ozonmåler. Pris skal undersøkes og oversendes til oppdragsgiver.
- Effektiviteten til ventilasjonsanlegget må undersøkes og mulig utbedres. Byggeier må kontaktes i denne sammenheng.
- Utarbeide retningslinjer for å hindre ulykker og uønskede hendelser.
- Måle EMF for å kartlegge nødvendigheten med Faradaybur.
- Dersom målingene viser det nødvendig, skal vi prosjektere et Faradaybur, eventuelt undersøke markedet for løsninger og priser. Løsning oversendes til oppdragsgiver for godkjenning.
- Undersøke om eksisterende brannvarslingsanlegg løsning er brukbar. Eventuelt finne praktiske billige løsninger for å utbedre anlegget.

## **1.5 utfordringer knyttet til COVID-19 pandemien**

Den pågående pandemien har ført til nedstenginger av samfunnet opptil flere ganger. For oss har det gjort at vi til tider har måtte omprioritere deler av oppgaven. Fysisk oppmøte og arbeid har i perioder ikke vært mulig, grunnet nedstenging av skolen.

Vi har benyttet oss mye av digitale gruppemøter på Zoom for å opprettholde god kommunikasjon. Til tross for pandemien har vi hatt en grei flyt på oppgaven.

## 2 Kravspesifikasjon

Vi skal:

- Undersøke hvordan tilsvarende anlegg er utarbeidet i Norge.
- Bestille ozon-måler og montere opp denne i testrommet med tilhørende varslingsanlegg.
- Foreta fysisk oppsett av testutstyret og utføre praktiske høyspenningstester.
- Kartlegge om nåværende ventilasjonsanlegg er tilstrekkelig.
- Måle de elektromagnetiske feltene utenfor testrommet under eksperimenter
- Prosjekttere og bygge Faradaybur dersom det viser seg å være nødvendig med tanke på EMI og EMF.
- Kontrollere at eksisterende brannvarslingsanlegg tilfredsstiller krav.
- Skreddersy et dokument med retningslinjer for bruk av høyspennings test-lab i henhold til gjeldende forskrifter og normer.

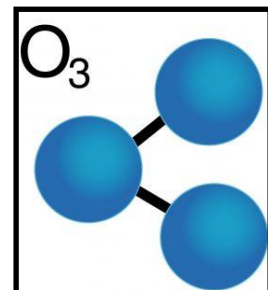
## 3 Teori

I denne delen av oppgaven blir det gått igjennom litt teori rundt ozongass, felt, stråling og støyproblematikken på høyspenningslaboratoriet.

### 3.1 Ozongass

Ozongassen som blir generert på laboratoriet er giftig. Kilden til denne høye energien er som regel ultrafiolett stråling eller elektrisk utladning (korona). For å kunne generere merkbare mengder med ozon er det koronautladning som er mest utbredt på et høyspenningslaboratorium. Ved en utladning blir oksygenmolekylene ( $O_2$ ) splittet til to frie oksygen radikaler ( $O$ ). De frie oksygenradikal molekylene reagerer raskt med tilgjengelig oksygen for å danne ozon ( $O_3$ ) [5, s. 620].

Mategassen (tørr luft eller oksygen) passerer gjennom et elektrisk felt. Det elektriske feltet består av to høyspenningselektroder separert av et dielektrisk materiale som pleier å være keramikk eller glass. Når spenningen leveres til elektrodene, formes det en koronautladning mellom de to elektrodene og mategassen i utladnings gapet blir delvis ionisert [5, s. 620].



Figur 1: Ozon ( $O_3$ ) molekyl

Ozon er en ustabil gass og vil over tid bli brutt ned. Halveringstiden til ozon er mellom 30 min – 2 timer [6].

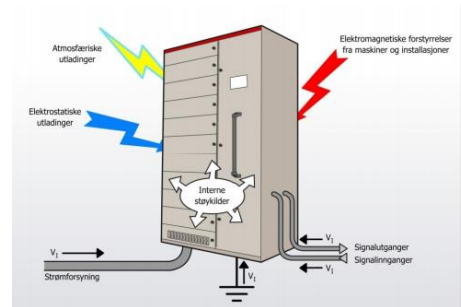
Gassen karakteriseres ved en stikkende lukt, som ved større konsentrasjoner kan føre til pusteproblemer, redusert lungekapasitet, lungesykdommer og i verste fall død. Heldigvis vil man tydelig lukte gassen før du nærmer deg et skadelig nivå [7].

Administrativ norm for ozon i arbeidsmiljøet er 0,1 ppm (0,2 mg/m<sup>3</sup> luft). Man kan overskride normen med 200%, i korte intervaller på maksimalt 15 min [8, s. 47].

## 3.2 Felt, stråling og støy

### 3.2.1 Elektromagnetisk interferens

Er en betegnelse på forstyrrelser og støy i elektronisk utstyr som skyldes elektromagnetisk påvirkning fra omgivelsene. Dette skjer i form av elektromagnetisk induksjon, opparbeiding av statisk elektrisitet, eller at utstyret blir ledende. Dette gjør at signaler innad i kretsen kan gi feilaktige signaler til logikken i utstyret. Interferensen kan komme fra mange forskjellige kilder, som enten menneskeskapte eller fra naturlige fenomener. Noen eksempler på dette kan være sterke solstormer, lynnedslag eller digital kommunikasjon [9].



Figur 2: Støykilder

### 3.2.2 Elektromagnetisk stråling

Elektromagnetisk stråling (EMS) er energi som overføres i form av elektromagnetiske bølger. Både lys, radiobølger og røntgenstråler er eksempler på EMS [9].

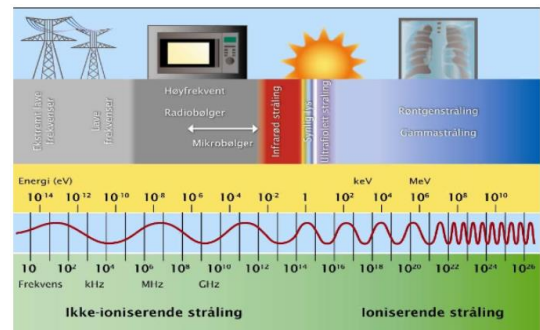
Når en elektrisk ladning akselererer, vil det si at den forandrer sin energitilstand, det blir da en forstyrrelse i det elektromagnetiske feltet som angir den. Da oppstår det elektromagnetiske bølger som beveger seg bort fra den [10].

Bølgelengden på strålingen er gitt av:  $\lambda = \frac{c}{f}$ , hvor lambda er bølgelengden i [meter], c er lysets hastighet i [m/s] og f er frekvensen i [Hz] [11, s. 1054].

$E = cB$ , hvor E er det elektriske feltet oppgitt i [V/m] og B er det magnetiske feltet oppgitt i [Tesla] eller [Newton/Coulomb].

### 3.2.3 Elektromagnetisk puls (EMP)

EMP omfatter alle elektriske forstyrrelser med kort varighet. Pulsen inneholder som regel veldig høye energinivåer som kan skade elektronikk med mindre kretsen er tilstrekkelig skjermet. EMP



Figur 3: Frekvensområdet til strålingen

transmitteres både som elektromagnetisk stråling og ledning båret strømpuls. Slike pulser oppstår enten av naturlige eller menneskeskapte fenomener. Lynnedslag er en av de vanligste formene for naturskapte EMP [12].

### 3.2.4 Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC)

EMC er elektriske apparaters evne til å funksjonere tilfredsstillende i sitt elektromagnetiske miljø, uten å påføre annet elektrisk utstyr uakseptable forstyrrelser [13].

### 3.2.5 Elektromagnetisk felt (EMF)

EMF er en kombinasjon av elektriske felt og magnetiske felt. Styrken til feltene er direkte relatert til mengden strøm og spenning det går i kretsen. Det vil si at dess mer strøm og spenning desto sterkere felt vil oppstå [14].

### 3.2.6 Magnetisk felt

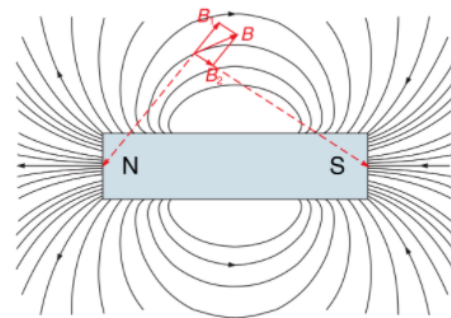
Et magnetisk felt er et område der det kan påvises magnetiske krefter. Magnetkraften står alltid vinkelrett på bevegelsesretningen til ladningen. Magnetkraften kan dermed ikke endre ladningens fart, men bare dens bevegelsesretning [15].

Ut ifra Biot og Savarts lov kan man regne ut den totale styrken til magnetfeltet som er laget av strømmen som går i kretsen.

Som man kan se i formelen er styrken til feltet sterkt avhengig av strømstyrken i kretsen [16, s. 926].

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{I d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$$

Hvor  $\vec{B}$  er styrken på magnetfeltet,  $\mu_0$  er den magnetiske permeabiliteten i vakuum,  $I$  er strømmen,  $d\vec{l}$  er en vektor med lengde  $dl$  som beveger seg i samme retning som strømmen,  $\hat{r}$  er enhetsvektoren til strømmen, og  $r$  er avstanden fra kilden [16, s. 926].

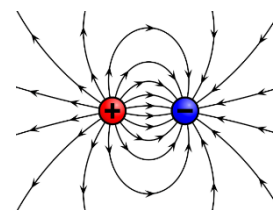


Figur 4: Magnetiske feltlinjer

### 3.2.7 Elektrisk felt

Elektrisk felt er et område hvor det virker elektriske krefter. Feltet kommer av elektriske ladningers forskyvning i forhold til hverandre. Styrken til feltet blir definert som forholdet mellom den elektriske kraften til en ladet partikkel og ladningen på partikkelen [17].

Den elektriske feltstyrken  $E$  i et punkt er definert ved  $\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q}$ .



Figur 5: Elektriske feltlinjer

$\vec{F}_e$  er den elektriske kraften som er plassert i punktet.  $\vec{E}$  har samme retning som kraften når ladningen i punktet er positivt. Feltet måles i  $[\frac{newton}{coulomb}]$  eventuelt  $[\frac{volt}{meter}]$  [17].

Coulombs lov:

$$F = k_e * \frac{q_1 * q_2}{r^2}$$

Hvor F er feltstyrken, r er avstanden mellom ladningene,  $k_e$  er Coulombs konstant og q er ladningen til partikkelen.

Kreftene mellom to elektriske punktladninger er proporsjonale med ladningene og omvendt proporsjonale med kvadratet av avstanden mellom dem [17].

Ved å sette Coulombs lov inn i formelen for elektrisk feltstyrke ser man at den elektriske feltstyrken minker med kvadratet av avstanden fra felt kilden.

### 3.3 Faradaybur

Et Faradaybur er innhegning som brukes til å blokkere elektromagnetiske felter. Buret kan være heldekkende av ledende materiale eller være kledd med netting av ledende materiale.

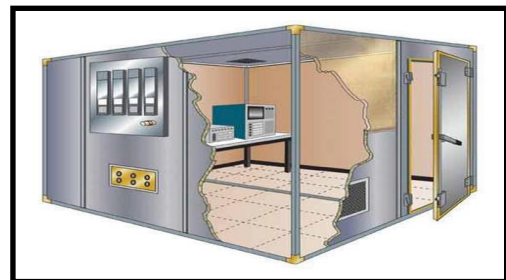
I 1836 observerte Michael Faraday at slik innhegning hadde beskyttende virkning. Det som var plassert inne i buret ble ikke påvirket av den elektromagnetiske støyen fra utsiden [18].

Når en elektromagnetisk bølge støter mot overflaten til metallet, blir den elektriske ladningen på metallet spent på en slik måte at det bryter det elektriske feltet på innsiden, slik at bølgen effektivt blir nøytralisert. Av den grunn kan det ikke eksistere mye elektriske felter med opprinnelse innenfra og ut av buret og motsatt [19].

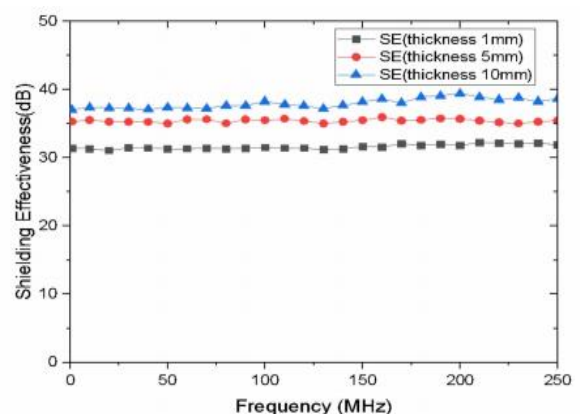
Effektiviteten til et Faradaybur vil bestemmes av designet, og type ledende material.

Faradaybur som er konstruert med netting er oftere brukt enn heldekkende plater på grunn av dens egnethet for blokkering av utvalgte signaler. Prinsippet er at buret slipper gjennom bølger som har kortere bølgelengde enn størrelsen på maskehullet. Tommefingerregelen sier da at man bør holde maskestørrelsen på nivå med 1/10 av bølgelengden til den innkommende elektromagnetiske bølgen [19].

En analyse utført på SASTRA Deemed University i India, viser effektiviteten et Faradaybur har på



Figur 6: Faradaybur



Figur 7: Effektiviteten til skjermingen

elektromagnetisk interferens. Størrelsen på det eksisterende buret er 6.2 m x 5 m x 8.2 m og befinner seg i et høyspenningslaboratorium. Størrelsen på maskene er henholdsvis 6 mm x 1 mm x 9 mm og er rombeformet [19].

Etter at de utførte en grunnleggende EMF test på forskjellige punkter, ble det målt at maks frekvensområde til EMI var 1 MHz - 250 MHz [19].

På grunn av begrensninger i dataprogrammet kunne ikke burets opprinnelige størrelse simuleres. Da ble buret skalert ned med en faktor på 50 uten å endre maskestørrelsen på nettingen. De ønskede frekvensene ble generert ved hjelp av Lab VIEW plattform USRP N210 programvare [19].

Det ble så målt at skjermingseffektiviteten hadde et gjennomsnitt på 18 dB. Effektiviteten øker ved minkende maskestørrelse på nettingen. Av resultatene kan man tydelig se at egenskapene for skjerming ikke endres hvis man endrer størrelsen på buret proporsjonalt. For å oppnå bedre skjermingseffektivitet bør man øke tykkelsen og ledningsevnen til materialet samt bruke enda mer finmasket netting. Man kan også montere EMI-pakning i døråpninger og i skjøter for å redusere spredningstapet [19].

## 4 Analyse av problemet

Nedenfor kommer det frem en detaljert beskrivelse av kravspesifikasjonen.

### Tilsvarende anlegg

Gruppen skal ta kontakt med tilsvarende laboratorier i Norge for å kartlegge hvordan de håndterer ozonmåling, EMF, ventilasjon, brannsikkerhet samt sikkerhetsinstruksjoner for drift av et høyspenningslaboratorium.

Her er det til fordel å gå bredt ut og sende en generell henvendelse til alle bedrifter og institusjoner som har et høyspentlaboratorium eller testrom i Norge. Basert på tilbakemeldinger og svar skal vi selektere ut aktuelle institusjoner/bedrifter vi mener er relevante. Her vil det være naturlig å innhente mer konkret informasjon og tilpasse spørsmålene underveis.

Informasjonen som innhentes vil gi et grunnlag for hva vi kan presentere for Statsbygg når det gjelder å få en midlertidig brukstillatelse uten ytterligere tiltak. Informasjonen vil også være nyttig hvis en skal gjøre utbedringer på laboratoriet.

### Ozon-måling

Gruppen skal kartlegge nødvendige krav til ozonmåling og ta kontakt med leverandører av slikt måleutstyr, innhente informasjon og pristilbud. Vi vil videresende innhentet informasjon til veileder som tar det videre for godkjenning og innkjøp. Dersom arbeidet kommer så langt, skal måleren også brukes under høyspenningsforsøk.

### Ventilasjon

Eksisterende ventilasjonsanlegg skal ventilere ut ozongassen som blir produsert under høyspenningstester. Kravet fra Arbeidstilsynet er at man ikke skal oppholde seg i rom hvor mengden

av ozon overstiger 0,1 ppm [8 s. 47]. Det skal undersøkes om nåværende ventilasjonsanlegg er dimensjonert for å fjerne tilstrekkelig med ozongass innen rimelig tid. Det skal også sjekkes opp muligheter for å justere styrken på avtrekk og tilluft på ventilasjonsanlegget da oppjustering under drift av høyspenningsanlegget er ønskelig.

Ifølge en rapport fra COWI ville de at alt ozon skulle bli trukket ut fra rommet på 5 min [20]. Det er ingen offisielle krav til dette, så tidskravet ser vi litt bort ifra. COWI kom også tidligere med at det skulle konstrueres et nytt ventilasjonsanlegg og bli plassert på taket og inn til rommet via ventilasjonskanaler, men etter møte med veileder har det kommet fram at dette var en overprosjektering fra COWI sin side. Det er i tillegg en veldig kostbar løsning, og er ikke ønskelig fra HVL.

### **Faradaybur**

Vi skal undersøke muligheten for å måle EMF under testing av anlegget og innhente informasjon om grenseverdier for stråling for et høyspenningslaboratorium. Vi skal prosjektere og bygge et Faradaybur som ivaretar EMC-krav. For å etterprøve burets funksjon skal EMF måles under et høyspenningsforsøk.

Forsøkene som skal utføres i laboratoriet krever innsyn til komponentene. Det er derfor viktig at den delen av buret som er vendt mot vinduet har netting eller gitter.

### **Jording**

Buret må tilkobles et jordingsanlegg adskilt fra jordingssystemet til resten av bygget. Samtidig skal vi kontrollere om jordingspotensiale tilfredsstiller kravet med overgangsmotstand på under to ohm.

### **Brannsikkerhet**

Eventuelle utbedringer som blir gjort kan ikke komprimere branncellen og klassifikasjonen EI60 slik den er i dag. Vi skal utføre en generell kontroll av brannslokkeanlegg, samt innhente informasjon om krav til brannsikkerhet av slike testrom. Eventuelle avvik vil bli utbedret dersom de ikke er for omfattende.

### **Retningslinjer**

Vi skal utarbeide trygge og oversiktlige retningslinjer for bruk av laboratoriet. Studenter og ansatte skal jobbe på en trygg og sikker måte i henhold til normer og standarder.

Når vi utarbeider våre retningslinjer, vil vi ta utgangspunkt i tilbakemeldingene fra tilsvarende laboratorium i Norge.

Vi vil også bygge videre på noen enkle sikkerhetsinstruksjoner som ble utarbeidet av en tidligere bachelorgruppe i 2016.

## **4.1 Utforming av mulige løsninger**

Vi har innad i gruppen prosjektert flere løsningsalternativer for oppgaven, basert på ulike scenario. Løsningene er utarbeidet i henhold til krav fra både oppdragsgiver og Statsbygg.

De ulike løsningene blir kombinert til en hovedløsning, hvor pris og gjennomførbarhet vil være en avgjørende faktor for hvilken løsning som blir valgt. I vedlegg 4 går vi gjennom alle pristilbudene vi fikk inn fra diverse leverandører.



#### **4.1.1 Løsning for retningslinjer**

Det skal innhentes informasjon om hvilke retningslinjer skoler og bedrifter med tilsvarende laboratorier benytter. Ut ifra dette skal vi skreddersy en modell som er fungerende for drift av laboratoriet.

For å kunne oppfatte de ulike faremomentene som kan inntre under et eksperiment, skal vi simulere forskjellige eksperimenter og analysere våre egne handlinger underveis hvis oppgaven kommer så langt. Dette vil gi oss en indikasjon på hva som er bra og hva som bør utbedres.

#### **4.1.2 Løsning for brann**

Det er fra tidligere installert en aspirasjonsdetektor samt et gass-slokkeanlegg. Vi skal først og fremst undersøke om disse eksisterende løsningene fungerer ved drift av høyspenningsanlegget. Dersom støy fra høyspenningsanlegget påvirker brannanlegget, må det sees på muligheten med å benytte skjermede kabler. Det må avtales med huseier hvis brannanlegget skal kobles inn og ut. Ved utbedring må det tilkalles ekstern hjelp av godkjente fagfolk.

#### **4.1.3 Løsningsalternativ for ozon**

For å detektere ozonnivåene i rommet skal det kjøpes inn en fastmontert ozonmåler. Man må ta hensyn til gjeldende krav for ozon og målområdet til apparatet må tilpasses kravet. Sensoren må ha skjermet kabel for å ikke bli påvirket dersom det skulle vise seg å være sterke elektriske felt i rommet. Det skal være et display for avlesning på utsiden av testrommet med varsling ved overskredet verdier.

##### **4.1.3.1 Alternativ A**

Scanion DK leverer en fastmontert ozonmåler, OS-6, som koster om lag 14 000 NOK. Leveringstiden er en uke og den kan leveres med inntil 10 meter skjermet sensorkabel.

Måleren har en indikator som kontinuerlig viser måleverdiene og det er mulig å tilknytte den til en PLS og PC for loggføring. Hvis ozonnivå overstiger 0,1 ppm lyser en varlingslampe. Her er det også muligheter for å tilkoble ekstern lydvarsling.

##### **4.1.3.2 Alternativ B**

Dräger Norge AS leverer en Pointgard 2100 med Remote kabel og Remote målehode som sensoren er montert i. Totalprisen var noe dyrere enn alternativ A og endte på totalt 31 255 NOK.

- Måleren kan i tillegg til å måle ozon, detektere over 100 forskjellige giftige gasser.
- Kan leveres med kabel inntil 30 m.

#### **4.1.4 Løsningsalternativ for ventilasjon**

Dersom konsentrasjonen av ozon er under grenseverdiene på 0,1 ppm etter fornuftig tid, kan vi konkludere at det eksisterende ventilasjonsanlegget er tilstrekkelig. Dersom utbedring er nødvendig, sees det på alternativene nedenfor.

#### **4.1.4.1 Alternativ A**

Vi skal undersøke muligheten for å justere opp styrken til ventilasjonsanlegget. Vi må da kontakte driftsansvarlig på HVL. Etter oppjustering blir det utført nye tester for å avklare om utbedringen er tilstrekkelig. Hvis det ikke er tilstrekkelig, vil andre løsningsalternativ bli vurdert.

#### **4.1.4.2 Alternativ B**

Her er tanken å montere et enkelt ventilasjonsanlegg i tillegg til eksisterende anlegg. Ventilasjonsrørene skal føres gjennom taket på utsiden av testrommet og føres ut på fasaden av bygget. Dette er en dyr og tidkrevende løsning fordi det vil kreve fasadeendring på bygget for å få dette godkjent.

#### **4.1.4.3 Alternativ C**

I samarbeid med veileder er tanken å montere en portabel ventilator som kobles til et forhåndsboret hull i veggene til testrommet ca. Ø 300 mm og slangen tres ut vinduet til friluft. Her må vi ta hensyn til branntetting ved det nye hullet.

Denne løsningen innebærer at en elastisk slange legges over gulvet eller henges i taket og tres ut vinduet under testing av anlegget, dette er ikke en god permanent løsning.

### **4.1.5 Løsningsalternativ for Faradaybur**

Her tar vi for oss de forskjellige løsningsalternativene vi har vært innom vedrørende problematikken rundt EMF. Vi går ut ifra at det er nødvendig med et Faradaysbur og ser derfor kun på mulige løsninger som inkluderer dette.

For å kunne påse at Faradayburet opprettholder EMC-kravene vil vi bruke en EMF-måler for å kontrollere styrken på feltene.

#### **4.1.5.1 Alternativ A**

Dette går ut på at vi monterer et frittstående bur stående over testkomponentene. Buret vil være todelt og stå på justerbare hjul slik at en enkelt kan flytte buret og bytte ut test-komponenter. Rammen skal bygges av firkantede aluminiumsrør med hurtigfester. Konstruksjonen skal deretter kles med galvanisert stålnetting. Maskestørrelsen må tilpasses bølgelengden til frekvensen som kan oppstå.

- Nettingen skal ha god elektrisk ledningsevne.
- Testfenomener skal kunne sees gjennom nettingen.
- Buret skal være tilknyttet rommets hovedjording.
- Buret skal bygges med kabelgjennomføringer.

#### **4.1.5.2 Alternativ B**

Denne løsningen innebærer å kle hele rommet inn med tynne plater av stål, kobber eller aluminium. Her vil aluminiumsplater være mest praktiske med tanke på vekt og pris.

Platene skal festes på veggen og vi skal overlappe platene med eventuelt kobberteip for å få god kontakt mellom platene.

Her må vi ta hensyn til at armeringen i betongen kan bli ledende og dermed ikke fungere slik det er tiltenkt. Prisen på dette vil ligge på rundt 20 000kr til 25 000kr etter å ha fått prisanslag fra diverse leverandører av aluminiumsplater.

Det må monteres netting foran eksisterende vinduer, eventuelt må de skiftes ut med skjermende vinduer.

#### **4.1.5.3 Alternativ C**

Her vurderer vi å bygge en konstruksjon ved hjelp av anleggsgjerder av galvanisert stål. Vi kontaktet flere leverandører og utleiefirmaer for å undersøke hva som finnes av type gjerder. Standard størrelse på gjerdene er 2 meter høye og 3,5 meter lange. Størrelsen til gjerdene er ikke helt gunstige, da dette må kappes og sveises for å få den høyden og lengden som trenger. For å sikre at det ikke blir store hull slik at EMF stråling kommer ut, vil vi kle gjerdene igjen med galvanisert stålnetting. Totalprisen vil være på 40 000kr til 50 000kr.

- Nettingen skal ha god elektrisk ledningsevne.
- Testfenomener skal kunne sees gjennom nettingen.
- Buret skal være tilknyttet rommets hovedjording.
- Buret skal bygges med kabelgjennomføringer.

#### **4.1.5.4 Alternativ D**

Dette alternativet innebærer å bygge en trekonstruksjon rundt jordingsplatene som allerede ligger på gulvet og kle hele rammen inn med netting av galvanisert stål. Det er da viktig at vi sørger for at det blir god kontakt ved alle overlapper. Vi ønsker også å konstruere en dør med hengsler for å lett flytte utstyr inn og ut av buret. Det må være mulig å ha innsyn i buret samtidig som buret skal blokkere for de fleste frekvenser.

Det er planlagt at nettingen skal kles rundt bunnen av buret slik at den får kontakt med 4m x 2m aluminiumsplatene på grunnflaten i testrommet.

Totalprisen på dette alternativet vil ligge et sted mellom 15 000kr og 25 000kr.

#### **4.1.5.5 Alternativ E**

Dette alternativet går ut på å leie inn en bedrift til å konstruere et bur for oss. Bedriften vil få en god del friheter når det gjelder utforming og design av buret. Her vil en befaring være aktuell i første omgang. Høyskolen vil da få informasjon om hva som lar seg gjøre, og hvilke løsninger som er mulig. Et firma som lager et slikt bur, vil også kunne gi tilstrekkelig dokumentasjon til HVL.

Dette kommer til å koste en god del mer enn hvis vi bygger selv, men til gjengjeld kan vi dokumentere til Statsbygg at arbeidet er utført på en profesjonell måte.

## 4.2 Konklusjon for valgt løsning

Krav om ozonmåling var lenge det eneste kravet fra Statsbygg for å få sette spenning på anlegget. I etterkant av innkjøp av ozonmåleren kom Statsbygg med nye krav, hvor vi fikk et muntlig pålegg om å konstruere et Faradaybur før vi kunne sette spenning på anlegget. Dette førte til at mange av løsningsalternativene ikke lenger var relevante. Ettersom vi ikke har testet høyspenningsanlegget ennå kan vi ikke fastslå hvilken løsning for ventilasjon som er aktuell.

For ozon, landet vi på løsningsalternativ A, ozonmåleren fra Scanion DK. Den ble vurdert til å være den rimeligste og mest brukervennlige. Samtidig overholdes gjeldene krav fra oppdragsgiver og Statsbygg. Leveringstiden ble også avgjørende.

Vi presenterte to mulige løsninger for overingeniør og veileder. Et stort bur som dekker nesten hele rommet, og et betydelig mindre som kun dekker testområdet. Etter diskusjon mellom overingeniør og veileder, ble vi enige om å bygge et mindre midlertidig bur. Denne løsningen er rimeligere, og det er enklere å flytte på testutstyr utenfor buret.

Grunnen til at det i første omgang ble valgt å lage et provisorisk bur er for å få en midlertidig godkjenning av rommet slik at vi kan teste høyspenningsanlegget, ozonmåler og ventilasjonsanlegget. Det vil være en fordel å få testet om det er behov for ytterligere forbedringer på ventilasjon før HVL investerer en større sum på et permanent bur som måtte ha blitt revet hvis det var nødvendig med oppgraderinger på ventilasjonen.

## 5 Bygging av Faradaybur

Flere i gruppen har tidligere erfaring innen byggfaget og derfor tok vi på oss prosjektet ved å designe og bygge buret selv. Denne konstruksjonen er kun tiltenkt som en midlertidig løsning, slik at vi får utført høyspenningseksperimenter, målt ozonnivåene i rommet og kartlagt de elektriske feltene.



Figur 9: Testoppsett inne i Faradaybur



Figur 8: Faradaybur sett fra utsiden

### 5.1.1 Planlegging av valgt løsning

Etter det ble avklart hvilken løsning vi skulle realisere begynte vi å prosjektere en detaljert plan for innkjøp og byggeprosessen. Den prosjekterte løsningen ble oversendt veileder og godkjent.

De spesifikke målene og utførelsen:

- Bygge et rammeverk i 48x98 konstruksjonsvirke hvor alt skrues sammen med 90 mm treskruer.
- Størrelse på aluminiumsplater plater på gulv er: Lengde: 4 m, Bredde: 2 m.
- Størrelse på buret er: Lengde: 4,2 m, bredde: 2,2 meter, høyde: 3 m.
- Buret kles med 4x4mm stålnetting rundt tak og vegger.
- Nettingen festes med lekter som skrues fast med 50mm treskruer.
- Det skal maksimum være 55 cm avstand mellom hver stender slik at netting kan overlappes med 5 cm på hver stender.
- Det skal ut sparres til dør i buret hvor døren festes med hengsler.
- Materialet kappes og hentes på Montér Minde. Skruer og hengsler kjøpes også her. HVL har egen konto.
- Galvanisert stålnetting kjøpes på Felleskjøpet av Lars Manger Ekroll.
- Stålrør til kabelgjennomføring kjøpes på Biltema og student får refundert utlegg av HVL.
- HVL stiller med verktøy, supplert av studentenes egne private verktøy.

Det ble planlagt at nettingen skulle kles rundt bunnen av buret slik at den har kontinuerlig kontakt med 4m x 2m aluminiumsplatene på grunnflaten i testrommet. Buret blir som tidligere nevnt laget kun for provisorisk testing. Det innebærer at buret ikke er designet for å utføre alle laborietestene TERCO leverer.

Vi har tatt utgangspunktet i 3 kV/mm når det gjelder den elektriske holdfastheten i luft [21]. Den minste avstanden fra spenningsførende del til buret er cirka 70 cm. Ved testing på 200kV må avstanden minst være som følgende:

$$\text{Min avstand} = \frac{U_{\max}}{\frac{\text{holdfasthet i luft}}{\text{mm}}} \text{ [mm]}$$

$$\text{Min avstand} = \frac{200 \text{ kV}}{3 \text{ kV/mm}} = 66,7 \text{ [mm]} \cong 6,7 \text{ cm}$$

Det vil si at vi har god margin før spenningen i teorien, kan slå over på buret.

### 5.1.2 Byggeprosessen

Alle materiallengder til rammeverket ble kappet til hos byggevareforhandleren. Da ble buret et enkelt byggesett vi kun måtte skru sammen. Vi bygde alle veggene separat, for så å reise opp veggene og skru de sammen. Taket ble ettermontert.

Hele buret ble kledd med 4x4 mm netting og alle skjøter ble godt overlappet med ca. 5 cm. Overlappingene ble dekket over med lekter og skrudd inn med skruer for å presse det godt sammen. Døren ble skrudd sammen og ettermontert. Når døren lukkes, vil nettingen på stenderen få kontakt med nettingen på rammen. Dette var viktig å få til skikkelig og vi mener det ble gjort på en tilfredsstillende måte.

Buret ble konstruert slik at det skulle være mulig å tre inn styrekablene og strømforsyningen. Det ble klippet et lite hull i nettingen i det ene hjørnet av buret. Her ble det lagt inn stålrør som kablene enkelt kan tres gjennom. Rørene ble så kledd igjen med mer netting. Til slutt ble rørene festet med patentbånd og stabilisert ved hjelp av planker slik at det skulle være minst mulig bevegelse. En tommelfingerregel sier at lengden på rørene bør være 10-15 ganger lenger enn diameteren på kablen, både på innsiden og utsiden av buret. Anbefalt diameter er for å begrense mengden stråling, da kablene vil oppføre seg som antenner som vil lede spenning og tilhørende felt ut av buret. Buret ble jordet med en 6mm ledning, samt jordet via kobberskinnen til aluminiumsplatene.



*Figur 11: Bygging av vegg til Faradaybur*



*Figur 10: Rammen ferdig montert*

## 6 Kartlegging av tilsvarende laboratorier i Norge

Vi har kontaktet en rekke bedrifter og institusjoner som har høyspenningslaboratorier for å få innblikk i hvordan de ulike håndterer aktuelle problemer som ozon, EMF, ventilasjon og retningslinjer. Kommunikasjonen har hovedsakelig foregått via e-post og telefon, samt et fysisk besøk på USN.

Ikke alle tilbakemeldingene har vært like relevant for oss, men fremdeles noe nyttig i vårt arbeid.

### 6.1 De mest relevante

Nedenfor presenteres de tre som er mest sammenlignbar med det HVL har på sitt laboratorium med tanke på spenningsnivå, størrelse og bruksområde/formål. Disse tre er testrommene til Universitetet i Sørøst-Norge (USN), Høgskolen i Østfold og NTNU.

#### 6.1.1 USN

Som nevnt tidligere, har vi vært på fysisk besøk her.

Her har de et testrom på omtrent 20 m<sup>2</sup> som er kledd som et Faradaybur innfelt i vegger. Vinduene har innstøpt netting som er tilkoblet buret. Buret er hovedsakelig for å unngå stråling utenfra og inn i buret. De er ikke kjent med forstyrrelser på grunn av stråling fra lab på nærliggende rom/kontorer. De har to trafoer, henholdsvis 75kV og 150kV som brukes separat.

USN mente at ozondannelse ikke er sett på et problem for et slikt studentlaboratorium. Siden det ikke vil stå kontinuerlige koronautladninger over tid.

Alle studenter må lese gjennom retningslinjer, underskrive at de har lest og forstått innholdet samt utføre FSE kurs før de kan bruke laboratoriet.

#### 6.1.2 Høgskolen i Østfold

De har ingen måling for ozon, men har standard ventilasjon ved tak og gulvnivå. Spenningsnivået er 100kV RMS, og de benytter skilletransformator.

Her har de vurdert det som ikke nødvendig å sette inn Faradaysbur. De har montert et sikkerhetsgjerde rundt testanlegget og har et eget lite rom med vinduer til styreenhet. Avstand fra transformator eller HS komponent til nærmeste utsatt ledende del er omtrent en meter.

De har kun generelle retningslinjer for bruk av laboratoriet.

#### 6.1.3 NTNU:

De har ikke ozon måler, men de har tilfredsstillende ventilasjonsanlegg, som de mener er godt nok til at det ikke skal bli faretruende mengder med ozondannelse. De tar også hensyn til at overslag eller koronautladninger ikke skal ligge over lengre tid.

NTNU har mer enn et laboratorium, så de har forskjellig grad av EMF skjerming. På det store høyspenningslaboratoriene har de kledning til vinduene, gitter og gjerder rundt testrommet for å hindre at EMF slipper ut. På de små laboratoriene er det kun gitter og netting til skjerming.

Alle studenter må lese gjennom retningslinjer, underskrive at de har lest og forstått innholdet, samt utføre FSE kurs før de kan bruke laboratoriet.

Det blir også vist en instruksjonsvideo for hvordan man skal bruke laboratoriet.

Det vi sitter igjen med etter gjennomgang av disse tilbakemeldingene er at det generelt finnes lite spesifikk dokumentasjon på høyspentlaboratorium. Vi har etterspurt dokumentasjon fra testrommene på de andre skolene som driftes av Statsbygg, men det er dokumentasjon de ikke er kjent med. Det kan tyde på at det ikke er vanlig praksis å få spesifisert dokumentasjon med tanke på slike testrom.

## 6.2 De minst relevante

Dette er ABB, Sintef, Nexans og Fagskolen Sogn og Fjordane.

Felles for disse fire er at de ikke er spesielt sammenlignbare med laboratoriet på Kronstad, fordi anleggene står i egne store haller på opptil flere hundre kvm og takhøyde på opptil 20 m. Avstandene til følsom elektronikk og kontorer er da mye større enn på Kronstad og ozongenerasjon vil ikke være et problem for disse.

Av disse tre er det kun Nexans som har måling av ozon, men har ikke hatt utslag på denne selv ved tester over 500kV.

ABB, SINTEF og Nexans har tiltak for å unngå koronautladninger, blant annet ved god felt spredning, måling av delutladninger og tilstrekkelig kraftig ventilasjonsanlegg.

Anlegget til Fagskolen er i samarbeid med HVL Førde. Denne er svært lite bruk. De har samme utstyr som HVL har på Kronstad, men ingen spesiell kartlegging av ozon eller spesielle tiltak mot EMF.

## 7 Utarbeidelse av retningslinjer

For å kunne drifte et høyspenningslaboratorium på en sikker og riktig måte må det utarbeides retningslinjer som alle retter seg etter. Det innebærer hvordan man skal forholde seg fra man går inn døren til elkraft laboratoriet til man låser døren og går for dagen.

Gruppen har fått innsyn i retningslinjene til HIØ, USN og sikkerhetsinstruksene til en tidligere bachelorgruppe ved HVL. Ut ifra dette har vi skreddersydd et dokument med retningslinjer HVL skal ta i bruk på testlaboratoriet.

Retningslinjene er utarbeidet i samsvar med «Forskrift om sikkerhet ved arbeid i, og drift av elektriske anlegg» (FSE) fastsatt av direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB). 28. april 2006.

HVL har utpekt Lasse Sivertsen som driftsleder. Driftsleder har hovedansvaret for å koordinere all planlagt drift og vedlikehold av laboratoriet.

Før testrommet kan benyttes skal samtlige deltakere lese gjennom og skrive under på at de har lest og forstått retningslinjene. Ved et laboratorieforsøk skal det være å være minst to personer til stede, hvorav en er utnevnt som "Leder for sikkerhet" og en som "Leder for kobling". Leder for sikkerhet har ansvar for sikkerheten knyttet til forsøkene. Leder for kobling har ansvar for koblinger i høyspenningsanlegget. For fullstendig dokument med retningslinjer se vedlegg 1. Vi har også



utarbeidet en varslingsplan ved ulykker som skal henges opp godt synlig på laboratoriet. Se vedlegg 5 for varslingsplan.

## 8 Testing

### 8.1 Initial testing uten spenning

Før anlegget var klart for testing, sjekket vi om buret klarte å blokkere diverse frekvenser. Vi testet med våre mobiler, en DAB-radio og en FM-radio.

Tabell 1: De ulike frekvensområdene for mobil, FM/DAB

Tilkoblinger	Frekvens(er) [Hz]	Blokkert
WiFi	2,4G	Delvis
4G	450M, 700M, 800M, 900M, 1800M, 2600M	Ja
2G/Edge	900M	Nei
DAB +	170-240M	Nei
FM-radio	87,5-108M	Ja
Tale/SMS	450 M, 700M, 800M, 900M, 1800M og 2600M	Nei

Som vi kan se fra tabell 1 er det en god miks av hvilke typer frekvenser buret blokkerte. Som forventet så er de aller laveste frekvensene blokkert da de har lengst bølgelengde. At WiFi signalet ble delvis blokkert var litt overraskende, men det kan forklares med at signalstyrken er svakere enn hos de andre kildene.

### 8.2 Test med spenning

Vi fikk testet anlegget i en dag før Statsbygg valgte å stenge laboratoriet, igjen. De mener at tiltakene som ble utført ikke var tilstrekkelige.

De testene som vi fikk gjennomført ble gjentatt flere ganger over en kort tidsperiode og gikk ut på å måle holdfastheten til en hengeisolator av materialet glass. Det ble kun benyttet ett-trinnsoppsett (en trafo á 100 kV). Spenningen ble da gradvis justert opp til det oppstod en lysbue. Et vern ble utløst som følge av lysbuen slik at anlegget ble spenningsløst.

For å få oversikt over hvilket spenningsnivå som førte til overslag, kjørte vi fem tester på rad. Overslagene fant sted mellom 65-75 kV. Vi sjekket samtidig ozonmåleren kontinuerlig under disse testene. Her så vi at nivåene aldri oversteg 0,06 ppm. Sensoren var plassert på gulvet, ca. 1,5 meter fra transformator.

Etter vi hadde fått oversikt ved hvilke spenninger det ble utladninger på, bestemte vi oss for å teste hvor mye ozon som det i teorien var mulig å generere. Dette gjorde vi ved å ha kontinuerlige korona utladninger. Denne testen gikk ut på holde spenningen rett under overslagspunktet uten at det ble overslag. Vi holdt spenningen stabil rett under overslagsspenning i ca. 2-4 minutter. Underveis sjekket vi kontinuerlig tallene fra ozonmåleren. Vi observerte at ozonmåleren gikk i feilmodus som

følge av at sensoren ble i stor grad påvirket av feltene som ble dannet. Av de tallene vi fikk er det knyttet høy usikkerhet. Tallene kom i sprang og varierte fra 0-20 ppm med raske endringer.

Vi kan anta at buret og/eller sensoren ikke fungerte helt slik vi hadde tenkt, da sensoren til ozonmåleren reagerte kraftig på feltene som ble dannet rett før og under utladningsøyeblikket. Det måtte en full omstart av måleren og tilhørende kalibrering før vi fikk målinger av ozon igjen.

### **8.3 Testing av ozonmåler og ventilasjonsanlegget**

Siden vi ikke lenger fikk lov til å teste anlegget med spenning, måtte vi tenke kreativt for å få utført målingene. Vi har fått låne en ozongenerator av typen «Ozone Air Cleaner 5000» av Lars Manger Ekroll.

For å få testet effektiviteten til ventilasjonsanlegget utførte vi en rekke tester hvor generatoren står på full styrke, altså 5 gram per time. Etter 15 minutter ble den slått av og da begynte vi å avlese fra ozonmåler. I tillegg utførte vi den samme testen hvor generatoren var på i 60 minutter.

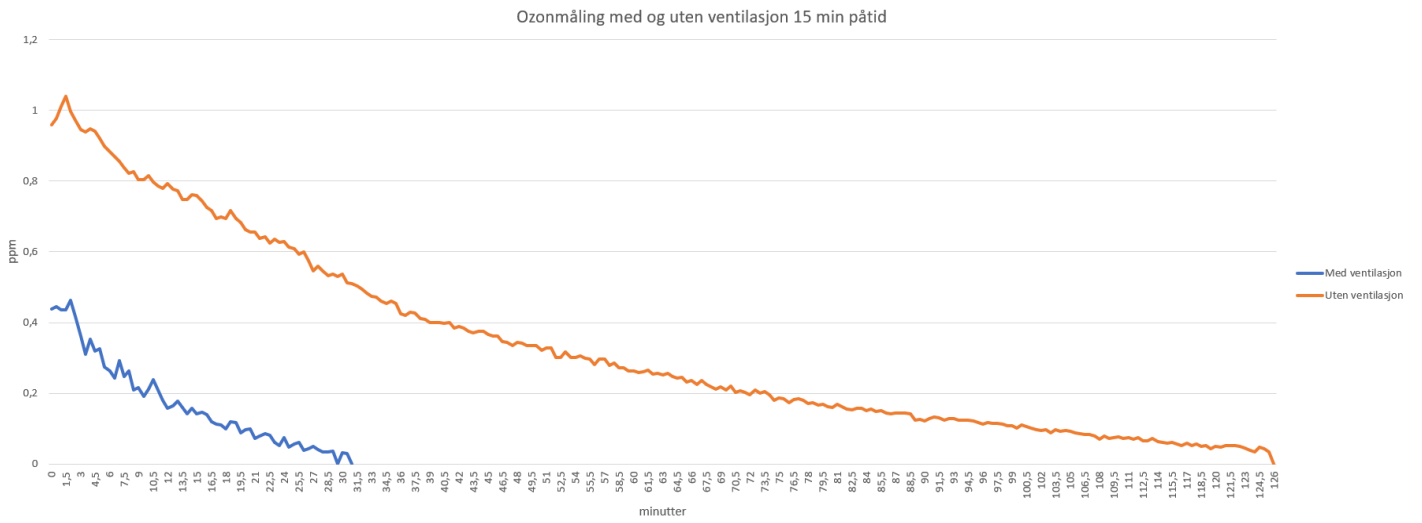
Nedenfor viser grafene hvor lang tid det tar for rommet å tømme seg helt for ozon både med og uten ventilasjon. Som vi ser på grafene, er forskjellen med og uten ventilasjonsanlegget veldig stor. Dette er veldig positivt da det antyder at det ikke trengs å oppgradere anlegget.

Ved testing uten ventilasjonsanlegget har vi noen små feilkilder:

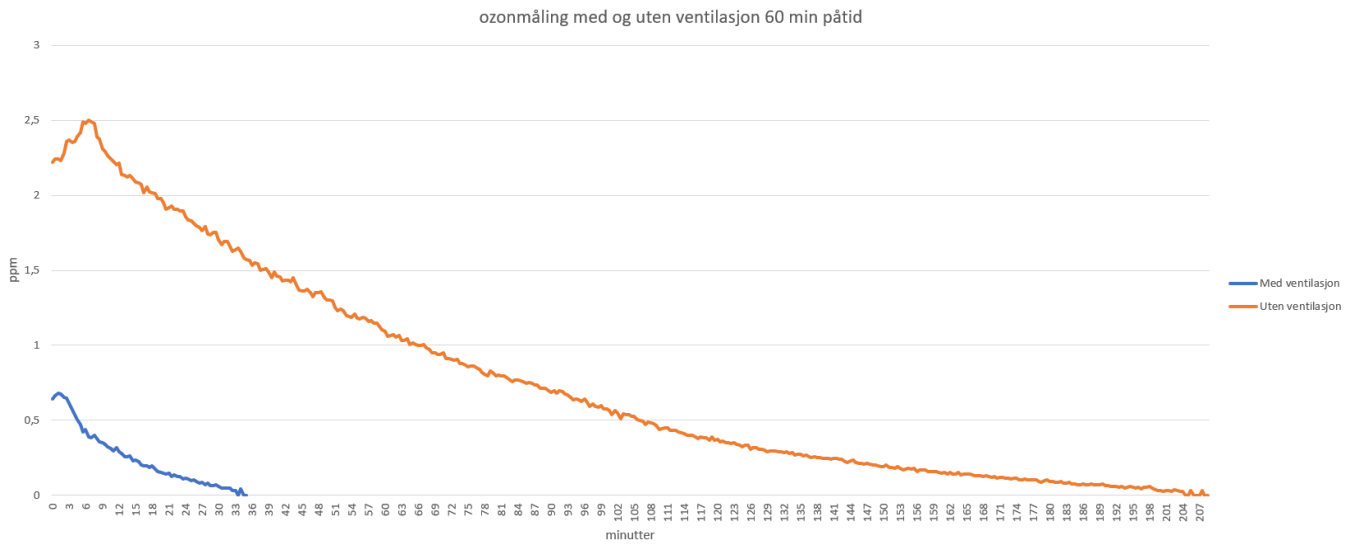
- Vi fikk ikke fullstendig tett ventilasjonsanlegget.
- lekkasje i bygningskonstruksjonen og kabelgjennomføringen.

Bortsett fra overnevnte feilkilder er det kun halveringstiden til den reaktive gassen ( $O_3$ ) som forårsaker tømningen.

Ved testing av ozon uten ventilasjon så vi det ikke som hensiktsmessig å flytte på sensoren. Etter en kort periode vil ozongassen ha spredd seg uniformt i rommet og dermed få tilnærmet like målinger uansett hvor sensoren befinner seg. Se vedlegg 3 for fullstendige målerresultater.



Figur 12: Ozongenerering i 15 minutter med avlesning hvert 30. sek etter generatoren er avskrudd



Figur 13: Ozongenerering i 60 minutter med avlesning hvert 30. sek etter generatoren er avskrudd

## 9 Diskusjon

Smittesituasjonen i Bergen har til tider vært uoversiktlig, men dette har ikke fått store konsekvenser for oss. Skolen har i stor grad vært åpen og vi har hatt mulighet til å møtes fysisk. Den stengte en gang tidlig i semesteret, men det var et ganske beleiligt tidspunkt da det var lite fysisk å gjøre på skolen og vi ble dermed lite hindret i arbeidet.

Fremdriftsplanen har vært et levende dokument, hvor vi har måtte gjøre en del endringer underveis. I starten av prosjektet brukte vi mye tid på å kartlegge tilsvarende laboratorier i Norge og planlegge innkjøp av ozonmåler. Dette innebar en del uforutsatt venting. Det har ikke vært like enkelt å opprette kontakt med alle ønskede bedrifter og institusjoner som først antatt. Flere av våre innkjøp til HVL har også måtte gå gjennom søknadsprosesser for godkjenning, noe som også har ført til forskyvninger i fremdriftsplanen.

Når ozonmåleren var levert og vi var klare til å montere det, fikk vi som nevnt tidligere et muntlig pålegg fra byggeier om å bygge et Faradaybur i tillegg.

Prosjektering og bygging av vår midlertidige løsning ble mer tidkrevende enn antatt. Tilgangen til nødvendig verktøy på HVL var svært begrenset, og vi valgte derfor å stille med privat verktøy på skolen. Dette fungerte i stor grad bra, takket være at medlemmer på gruppen hadde det riktige utstyret til jobben.

I teorien kunne vi ha regnet ut den elektriske feltstyrken, men siden vi ikke har fått testet anlegget skikkelig mangler vi et par faktorer for denne utregningen. Enten kunne vi målt magnetfeltet og dermed brukt formelen fra kapitlet om elektromagnetisk stråling. Eller så kunne vi ha målt strømmen og hvor lang ledningen var til å regne ut magnetfeltet for så og brukt samme formel.

Siden det går lite strøm gjennom anlegget vil magnetfeltet være ganske liten som vist ved formelen i teoridel om magnetiske felt.

Kommunikasjonen mellom oss, HVL og Statsbygg har til tider vært ganske krevende da det ved flere anledninger har kommet motstridende beskjeder fra begge hold. Dette har krevd at vi har måtte endret planer på kort varsel. Vi føler det har vært litt for mye fram og tilbake og utsettelse både fra Statsbygg og internt i HVL. Det har dermed vært beslutninger som har vært utenfor vår kontroll som har tatt lenger tid enn vi har sett for oss. Dette gjelder i hovedsak klargjøring til test og innkjøp av nødvendig utstyr etter vi har lagt fram våre planer og synspunkter, men vi føler at dette er noe vi har håndtert ganske bra.

## 10 Konklusjon

Etter å ha tatt i betraktning de forutsetningene som har vært til grunn dette semesteret er vi fornøyd med arbeidet vi har produsert i denne bacheloroppgaven. Vi har utført og redegjort det som stod i kravspesifikasjonen til oppgaven, men klarte dessverre ikke å nå målet om å gjenåpne laboratoriet for undervisning. Vi kan da konkludere med at den beslutningen var utenfor våre hender og det kan dermed ikke stå på innsatsen eller viljen fra vår side.

Faradayburet er vi til en viss grad fornøyd med. Vi har vist at buret har en effekt på inn- og utgående stråling, men vi har dessverre ikke fått målt effekten buret har på feltene fra anlegget. Det var ikke

mulig å gå til innkjøp av en adekvat EMF-måler, de alternativene vi fant var langt dyrere enn det HVL ville bruke på denne studentoppgaven. Dermed bidro det til at vi ikke kunne dokumentere for Statsbygg at buret var enten tilstrekkelig eller utilstrekkelig som en midlertidig løsning.

Med tanke på ozonmåleren, ble vi lett villedet av Scanion DK når det gjeldes skjerming mot elektriske felt. Under e-post korrespondansen ble vi fortalt at sensoren er skjermet mot elektriske felt. Det viste seg i ettertid at kablet er ekstra skjermet, men selve sensoren står plassert i et uskjermet plastdeksel.

Uten elektriske felter og kun bruk av ozongeneratoren fungerte den helt fint og vi fikk målinger som vi har brukt til å dokumentere effekten av ventilasjonsanlegget.

Ventilasjonsanlegget som vi først i oppgaven antok kom til å være hovedproblemet, virker som det er godt nok ifølge våre tester. Vi ser at en ventetid på rundt 30 min mellom hvert forsøk til å være innen rimelig tid. Dette er et positivt utfall da ifølge COWI rapporten og tilhørende pristilbud [17] fra diverse konsulentfirmaer som har vurdert anlegget, kom til å være det dyreste å gjøre noe med. Med et prisanslag på et par millioner til nærmere ti millioner.

## 10.1 Anbefalte tiltak til HVL

Etter erfaringene vi har tilegnet oss gjennom denne bacheloroppgaven ønsker vi komme med noen anbefalinger til HVL. Vi betror at dette vil bedre sannsynligheten for å åpne rommet igjen på permanent basis.

### 1. Bygge rommet som et Faradaybur

- Vi lagde kun en midlertidig løsning for å kunne teste anlegget. Vi vil anbefale at HVL i samarbeid med Statsbygg leier inn et firma som har bygget en slik innretning før. Et slikt firma vil kunne utføre skikkelige beregninger og måle feltstyrker. HVL vil også få dokumentasjon på at rommet er godkjent for testing av høyspentutstyr. Denne dokumentasjonen vil også bli gitt til Statsbygg.

### 2. Lage et Faradaybur til sensoren til ozonmåleren

- Etter forsøket hvor ozonmåleren sluttet å fungere så ser vi nødvendigheten av å skjerme selve sensoren, selv om det blir utarbeidet et profesjonelt Faradaybur ved senere anledning. Da spesielt med tanke på at sensoren skal ligge inne i buret og dermed ikke blir skjermet i det hele tatt.

### 3. Forbedre kommunikasjonen med Statsbygg

- Det har vært et par tilfeller hvor HVL og Statsbygg ikke har kommunisert på det nivået som kreves for å konstruere og å drifte et høyspenningslaboratorium. Det har vært mange krav som tilsynelatende har endret seg underveis uten kommunikasjon mellom partene. Det finnes flere slike eksempler, så her finnes det forbedringspotensial hos begge parter.
- Det bør leies inn en tredjepart som kan ha et orienteringsmøte sammen med begge parter for å gå gjennom de offisielle og gjeldende krav og spesifisere disse. Det er viktig at HVL og Statsbygg er på lik bølgelengde når det gjelder hva som må gjøres for å åpne laboratoriet på en permanent basis.

**4. Gå til innkjøp av nytt medisinsk utstyr til førstehjelpsskrinet**

- Da enkelte deler av det medisinske utstyret i førstehjelpsskrinet går eller har gått ut på dato i år (2021), anbefales det å kjøpe inn nytt for å sikre kvaliteten på behandlingen hvis et uhell skulle inntreffe.

**5. Anbefaler HVL å anskaffe en stedfortreder til høyspenningslaboratoriet**

- Da det ikke har blitt oppført noen stedfortreder til Lasse Sivertsen som driftsleder, anbefaler vi at en slik blir utpekt innen rimelig tid.

**6. Montere dokumentholder på laboratoriet**

- Vi anbefaler at det monteres opp en dokumentholder hvor retningslinjer, serviceintervaller og papirer på ozonmåler plasseres.

**7. Varslingsplan**

- Det burde henges opp en varslingsplan godt synlig på laboratoriet.

## 11 Bildeliste

Forsidebilde:

<https://www.netes.com.tr/netes/dosyalar/dosya/87696FBB9A01CFB5A40DF70CF7950AC6.pdf>

Figur 1: Ozon (O<sub>3</sub>) molekyl:

<http://v1.webbnc.net/habiti/may-loc-nuoc-ozon-1-2-2033748.html>

Figur 2: Støykilder:

<https://nfogm.no/wp-content/uploads/2014/02/NFOGM-EMC-artikkel-nr-1.pdf>

Figur 3: Frekvensområdet til strålingen:

<https://www.arbeidstilsynet.no/tema/straling/>

Figur 4: Magnetiske feltlinjer:

[https://snl.no/magnetisk\\_felt](https://snl.no/magnetisk_felt)

Figur 5: Elektriske feltlinjer:

[https://no.wikipedia.org/wiki/Elektrisk\\_felt#/media/Fil:VFPT\\_charges\\_plus\\_minus\\_thumb.svg](https://no.wikipedia.org/wiki/Elektrisk_felt#/media/Fil:VFPT_charges_plus_minus_thumb.svg)

Figur 6: Faradaybur:

<https://www.indiamart.com/proddetail/faraday-cage-shielding-enclosures-19926872791.html>

Figur 7: Effektiviteten til skjermingen:

<https://ieeexplore-ieee-org.galanga.hvl.no/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9134498>

## 12 Referanser

- [1] T. Fischer, M. Hantveit, A. Svensson, A. Askevik, "Høyspenningslaboratoriet," Bacheloroppgave, Institutt for datateknologi elektroteknologi og realfag, Høgskolen på Vestlandet, Bergen, 2016. [Online]. Hentet fra: <https://docplayer.me/70318785-Hoyspenningslaboratoriet-13helk.html>
- [2] Wikipedia. «Electric field.» wikipedia.org. [Online]. Hentet fra: [https://en.wikipedia.org/wiki/Electric\\_field](https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_field)
- [3] Wikipedia. "Høgskolen i Bergen." Wikipedia.org. [Online]. Hentet fra: [https://no.wikipedia.org/wiki/H%C3%B8gskolen\\_i\\_Bergen](https://no.wikipedia.org/wiki/H%C3%B8gskolen_i_Bergen) [Funnet 27 jan 2021]
- [4] Terco. "Worldwide provider of technical equipment for education." Tercosweden.com. Hentet fra: <https://www.tercosweden.com/> [Funnet 8 april 2021]
  
- [5] F. A. Miller, T. R. S. Brandas and C. L. M Silva, "Ozone generation," Conventional and advanced food processing technologies, First edition. Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons, 2015, s. 620. [online]. Hentet fra: [https://app-knovel-com.galanga.hvl.no/web/view/khtml/show.v/rcid:kpCAFPT002/cid:kt011C8HN1/viewerType:khtml/root\\_slug:conventional-advanced/url\\_slug:corona-discharge-method?b-q=electricalise%20discharge%20ozone&sort\\_on=default&b-subscription=true&b-group-by=true&page=4&b-sort-on=default&b-content-type=all\\_references&include\\_synonyms=no&view=collapsed&zoom=1&q=electricalise%20discharge%20ozone](https://app-knovel-com.galanga.hvl.no/web/view/khtml/show.v/rcid:kpCAFPT002/cid:kt011C8HN1/viewerType:khtml/root_slug:conventional-advanced/url_slug:corona-discharge-method?b-q=electricalise%20discharge%20ozone&sort_on=default&b-subscription=true&b-group-by=true&page=4&b-sort-on=default&b-content-type=all_references&include_synonyms=no&view=collapsed&zoom=1&q=electricalise%20discharge%20ozone)
- [6] K. Stjern, «Datablad om ozon.» renholdtrondheim.org. Hentet fra: <https://renholdtrondheim.org/datablad-om-ozon-o3/> [Funnet 30. Mars 2021]
- [7] FHI, «Ozon». Fhi.no. Hentet fra: <https://www.fhi.no/nettpub/luftkvalitet/temakapitler/ozon/> [funnet 18. Februar 2021]
- [8] Arbeidstilsynet, "Forskrift om tiltaksverdier og grenseverdier for fysiske og kjemiske faktorer i arbeidsmiljøet samt smitterisikogrupper for biologiske faktorer," Forskrift om tiltak- og grenseverdier, s. 47, 2021. [Online] Hentet fra: <https://www.arbeidstilsynet.no/globalassets/regelverkspdf/forskrift-om-tiltaks--og-grenseverdier>
- [9] P. B. Andersen, «Elektromagnetisk interferens,» i Store norske leksikon, 2018. [Online]. [https://www.google.com/url?q=https://snl.no/elektromagnetisk\\_interferens&sa=D&source=editors&ust=1617888486611000&usg=AOvVaw3eSmdr02ro\\_3arAfAlu8iq](https://www.google.com/url?q=https://snl.no/elektromagnetisk_interferens&sa=D&source=editors&ust=1617888486611000&usg=AOvVaw3eSmdr02ro_3arAfAlu8iq) [funnet 4. Mars 2021]
- [10] J. Sandstad, «Elektromagnetisk stråling,» i Store norske leksikon, 2020. [Online]. Hentet fra: [https://www.google.com/url?q=https://snl.no/elektromagnetisk\\_str%25C3%25A5ling&sa=D&source=editors&ust=1617888486611000&usg=AOvVaw314nuOmv0p0tqPVEuxt19h](https://www.google.com/url?q=https://snl.no/elektromagnetisk_str%25C3%25A5ling&sa=D&source=editors&ust=1617888486611000&usg=AOvVaw314nuOmv0p0tqPVEuxt19h) [funnet 4. Mars 2021]
- [11] Hugh D. Young, Robert A. Freedman, A. Lewis Ford, «The electromagnetic spectrum,» i university physics with modern physics volume two, 13th edition et al., red. San Fransisco: CA, USA, Pearson Education Limited 2011, kap 32, avsnitt 3, s. 1054.
- [12] P. B. Andersen, «Elektromagnetisk puls,» i Store norske leksikon, 2018. [Online]. Hentet fra:



- [https://www.google.com/url?q=https://snl.no/elektromagnetisk\\_puls&sa=D&source=editors&ust=1617888486611000&usg=AOvVaw3XCSPvux5zfFH\\_gp-Qjqgn](https://www.google.com/url?q=https://snl.no/elektromagnetisk_puls&sa=D&source=editors&ust=1617888486611000&usg=AOvVaw3XCSPvux5zfFH_gp-Qjqgn)  
[funnet 4. Mars 2021]
- [13] P. B. Andersen, «Elektromagnetisk komabilitet,» i Store norske leksikon, 2017. [online]. Hentet fra: [https://snl.no/elektromagnetisk\\_kompatibilitet](https://snl.no/elektromagnetisk_kompatibilitet) [funnet 4. Mars 2021]
- [14] Iowa state university of science and technology, “Electromagnetic field fact sheet,” 2018. [Online]. Hentet fra: <https://www.ehs.iastate.edu/sites/default/files/uploads/publications/manuals/emf.pdf> [funnet 28. Mars 2021]
- [15] P. B. Andersen, «Magnetisk felt,» i Store norske leksikon, 2019. [Online]. Hentet fra: [https://snl.no/magnetisk\\_felt](https://snl.no/magnetisk_felt) [funnet 4. Mars 2021]
- [16] Hugh D. Young, Robert A. Freedman, A. Lewis Ford, «Sources of Magnetic Field,» i university physics with modern physics volume two, 13th edition et al., red. San Fransisco: CA, USA, Pearson Education Limited 2011, kap 28, avsnitt 2 s 926-927
- [17] Kjetil Liestøl Nielsen, «Elektrisk og magnetisk felt,» Elektrisk felt. [Online]. Hentet fra: <http://web.phys.ntnu.no/~stovneng/BASISFYSIKK/notater4.pdf> [Funnet 4. mars 2021]
- [18] Wikipedia. «Faradaycage.» wikipedia.org. [Online]. Hentet fra: [https://en.wikipedia.org/wiki/Faraday\\_cage](https://en.wikipedia.org/wiki/Faraday_cage)
- [19] K. Paula, S. Narayan, S. V. Alumni, J. A. Baskardas, D. Rallapalli, M. Balasubramanian, “Analysis of shielding effectiveness of a faraday cage for high voltage laboratory,”. [Online]. Hentet fra: <https://ieeexplore-ieee-org.galanga.hvl.no/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9134498> [Funnet 3. Mars 2021]
- [20] COWI, “HVL Kronstad, Høyspent lab, Beskrivende del,” Bergen, Norge, 2019. [Online]. Hentet fra: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Z1klV5YqWvoJ:https://www.mercell.com/m/file/GetFile.ashx%3Fid%3D115237052%26version%3D0+&cd=1&hl=no&ct=clnk&gl=no>
- [21] L. H. Sivertsen «Gass som isolasjonsmedium» i Høyspenningssystemer, første utgave et al. red. Bergen, Norge, Fagbokforlaget, 2020, kap 13, avsnitt 1, s. 209

## **Appendiks A      Forkortelser og ordforklaringer**

AC - Alternating current

DC - Direct current

EMC - Elektromagnetisk kompatibilitet

EMF - Elektromagnetisk felt

EMI - Elektromagnetisk interferens

EMP - Elektromagnetisk puls

HIB - Høgskolen i Bergen

NTNU - Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

HIØ - Høgskolen i Østfold

USN - Universitetet i Sørøst-Norge

HS - Høyspenning

HVL - Høgskolen på Vestlandet

ppm - parts per million

RMS - Root mean square

DSB - Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap

FSE - Forskrift om sikkerhet ved arbeid i og drift av elektriske anlegg

NEK - Norsk elektroteknisk komite

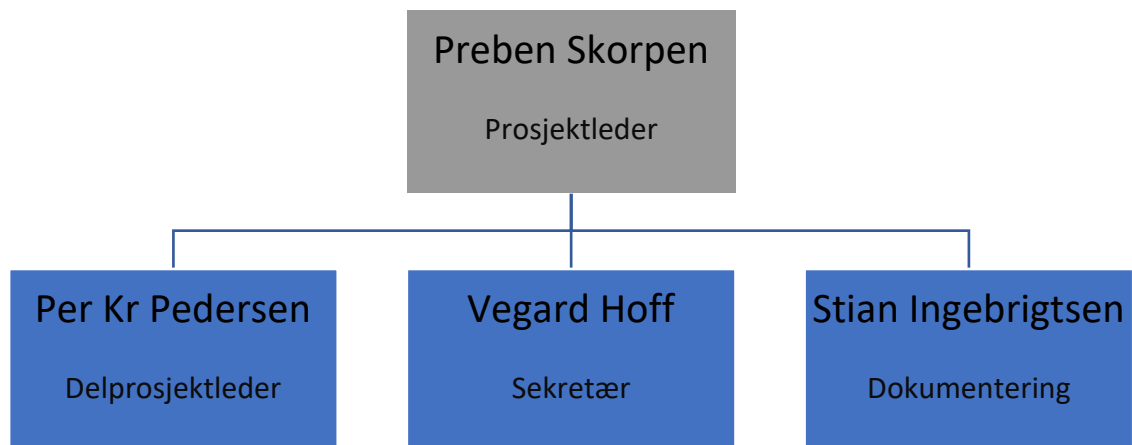
SINTEF - Stiftelsen for industriell teknisk forskning ved Norges tekniske høyskole

kV - Kilovolt

## Appendiks B    Prosjektledelse og styring

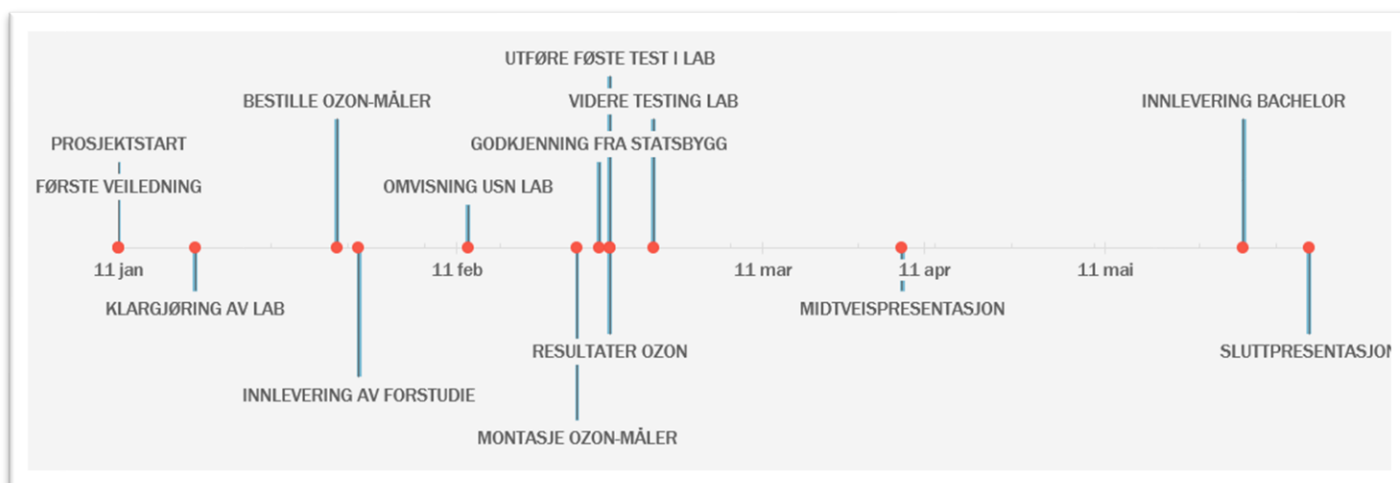
Vi har delt oss inn i fire forskjellige ansvarsroller. Prosjektlederen har det øverste ansvaret i prosjektet, han tar imot og svarer på alle henvendelser fra bedrifter og veileder. Sekretæren har ansvar for å skrive referat etter møter. Labansvarlig sin rolle er å koordinere det praktiske arbeidet på lab. Ansvarlig for dokumentering skal påse at alle utførelser på lab blir dokumentert og lagres på felles dokument plattform.

### B.1            Prosjektorganisasjon



## B.2 Fremdriftsplan

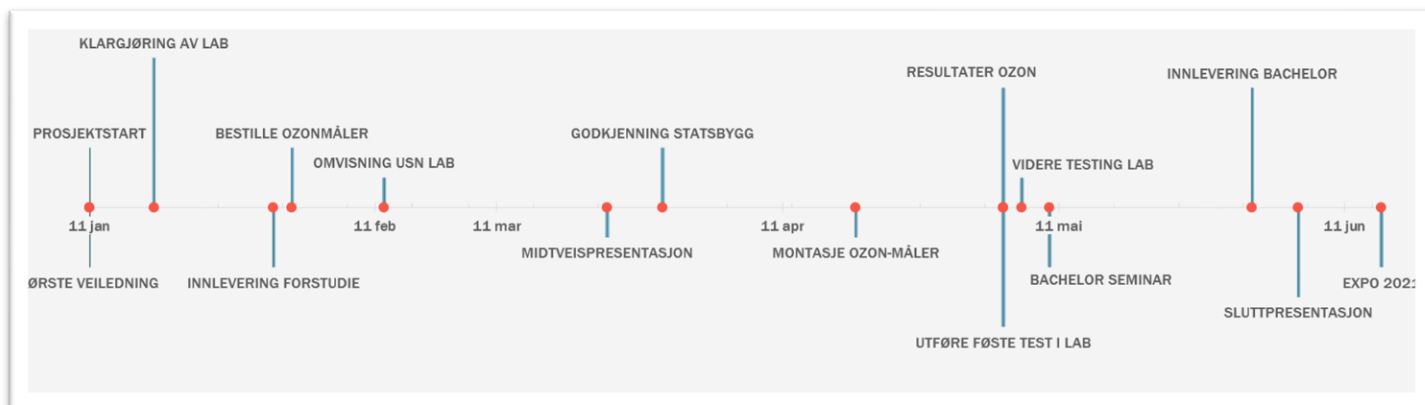
Nedenfor vises en tidslinje med alle milepælene i prosjektet vårt. Det har skjedd noen endringer underveis i prosjektet så derfor har vi tatt med to versjoner av denne.



Figur 14: Prosjektet tidslinje med milepæler

PROSJEKTDETALJER		
DATO	MILEPÆL	STILLING
11. jan.	Prosjektstart	5
11. jan.	Første veiledning	10
18. jan.	Klargjøring av LAB	-5
2. feb.	Bestille OZON-måler	15
31. jan.	Innlevering av forstudie	-15
12. feb.	Omvisning USN lab	5
22. feb.	Montasje OZON-måler	-20
24. feb.	Godkjenning fra Statsbygg	10
25. feb.	Utføre føste test i lab	-10
25. feb.	Resultater OZON	20
1. mar.	Videre testing lab	15
9. apr.	Midtveispresentasjon	-5
28. mai.	Innlevering bachelor	15
3. jun.	Sluttpresentasjon	-10
10. jun.	EXPO 2021	10

Figur 15: Prosjektet fremdriftsplan



Figur 16: Realisert tidslinje med milepæler

**PROSJEKTDETALJER**

DATO	MILEPÆL	STILLING
11. jan.	Prosjektstart	-10
11. jan.	Første veiledning	10
18. jan.	Klargjøring av LAB	25
31. jan.	Innlevering forstudie	-10
2. feb.	Bestille ozonmåler	10
12. feb.	Omvisning USN lab	5
23. mar.	Midtveispresentasjon	-5
29. mar.	Godkjenning Statsbygg	10
19. apr.	Montasje OZON-måler	-20
5. mai.	Utføre første test i lab	-10
5. mai.	Resultater OZON	20
10. mai.	Videre testing lab	5
7. mai.	Bachelor seminar	20
1. jun.	Innlevering bachelor	20
9. jun.	Sluttpresentasjon	-15
15. jun.	EXPO 2021	-10

Figur 17: Realisert fremdriftsplan

### B.3 Timeliste

Tabell 2: Timeliste for gruppedlemmer

Navn	Antall timer
Preben Skorpen	371
Stian Ingebrigtsen	353
Vegard Hoff	324
Per Kristian Pedersen	403

### B.4 Logg

Tabell 3: Hendelseslogg

Uke	Hendelser
2	Opprette dokument plattform/Innhente informasjon/Lage organisasjonskart/Gruppemøte
3	Ryde lab/Koble opp HS utstyr/Skrive forstudie/Kontakte NTNU og TERCO/ Skrive referat/Lage fremdriftsplan/Planlegge prototype Faradaybur
4	Kartlegge løfteutstyr/Kontakte Høgskolen i Østfold/Veiledning/Budsjett/Kartlegge EMF krav/Forstudie
5	Kontakte arbeidstilsynet/Lage agenda gruppemøte/Lage retningslinjer/Legge inn kilder forstudie/Undersøke leie muligheter EMF-måler/Lage tabell for testing av ozon
6	Ferie
7	Gruppemøte/Møte med NTNU/referat møte/Lage varslingsplan/redigere retningslinjer/Legge inn forord/Redigere fremdriftsplan
8	Planlegge Faradaybur/Videre arbeid med retningslinjer
9	Skrive om teori Faradaybur, elektrisk felt og ozongass/Mail til EMF consult/Kontakte SINTEF/Kontakte Odd Tvedt & Co/Lage PP midtveispresentasjon
10	Legge inn kilder/Lage materialliste Faradaybur/Sende info til SINTEF/Videre arbeid med PP midtveis
11	Videre arbeid med midtveispresentasjon
12	Midtveispresentasjon, Skrive om teoretisk analyse av problemet
13	Påskeferie
14	Gruppemøte, Veiledning, Gjøre beregninger på mindre versjon av Faradaybur

15	Kjøpe materialer på byggevareforhandler, Bygge Faradaybur, Ny dokumentplattform (OneDrive), Skrive videre på bachelor
16	Rydde og støvsuge testrommet, Legge inn formler i oppgaven, Skrive om løsningsforslag.
17	Planlegge testing, Skrive bachelor.
18	Skrive bachelor, Høyspenningsforsøk, Planlegge videre arbeid, Bachelor seminar.
19	Redigering
20	Testing av ozonmåler og ventilasjonsanlegg, Redigering
21	Ferdigstilling av bachelor og vedlegg, Siste ozontesting

## B.5 Risikoliste

Tabell 4: Risikoliste

Problem	Risiko	Utfallet	Nøkkelen
<b>Feilvurdering av arbeidsmengde</b>	Høy-	Middels - Det blir mer arbeid på hver enkelt. Ikke bli ferdig med oppgaven	Planlegge godt og ha god dialog med hverandre. Jevn arbeidsfordeling og godt samarbeid. Ukentlige gruppemøter og jevnlig møter med veileder.
<b>Leveringstid</b>	Middels-	Middels - Stor pågang i Posten kan føre til lenger leveringstid fra inn- og utland.	Eventuelt reise og hente materialet når det ankommer Norge eller finne annet alternativt materiell å bruke.
<b>Korona/sykdom</b>	Middels-	Middels - Hvis noen blir syke pga. korona eller blir syk av andre årsaker. Så må de resterende oppgavene fordeles på de andre gruppemedlemmene.	Fordele arbeidet likt på de andre gruppemedlemmene, så oppgaven blir ferdig til planlagt tid.
<b>Høyspent Laboratoriet/ skolen forblir stengt</b>	Middels-	(Alvorlig) - Da stopper mye av arbeidet opp og vi får ikke muligheter til å teste utstyr eller utføre målinger.	Utarbeide en reserveplan med veileder
<b>Skader i gruppen i forbindelse med forsøk på laboratoriet</b>	Lav-	Alvorlig - Arbeidet stopper opp og laboratoriet kan bli stengt på ubestemt tid.	Følg sikkerhetsinstruks til beste evne og bruk verneutstyr til enhver tid når det trengs. Ved skade, kontakt veileder og eventuelt tilkalle ambulanse hvis det er nødvendig.
<b>Kostnader</b>	Lav-	Alvorlig - Hvis kostnadene blir for store og HVL ikke vil betale så kan arbeidet stoppe opp. Oppgaven blir da kun	Vi finner rimelige løsninger som HVL tar seg råd til å betale for.

		teoretisk og laboratoriet vil ikke åpne for undervisning de neste semestrene.	
<b>Tap av dokumentasjon</b>	Middels	Høy - Mistet filer og arbeid som ikke er sikkerhetskopiert	Sikkerhetskopiere dokumenter jevnlig.
<b>Kildekritikk</b>	Lav	Middels - Feilinformasjon	Være kritisk til hvor vi henter informasjon fra

**Feilvurdering av arbeidsmengde** - Det er vanskelig å forutse hvilken problemer vi eventuelt møter på gjennom arbeidsperioden. Oppgaven er stor og uoversiktlig i starten, og mye tid går til å innhente informasjon, samt konkretisering av oppgaven. Det er risiko for at vi feilvurderer arbeidsmengden og tar på oss for mye arbeid.

**Leveringstid** - Da vi ved enkelte tilfeller må ha leveranser gjennom posten, vil det være lurt å ha noen ekstra dager, for å være sikker på at vi blir ferdige til avtalt tid. Det er også risiko for at leverandører er utsolgt for sine produkter, og vi må påregne lenger leveringstid.

**Korona/sykdom** - Hvis noen i gruppen blir smittet av korona eller annen type sykdom, må personen holde seg hjemme til den er symptomfri. Dette kan medfører risiko for karantene og at vi ikke har mulighet til fysisk oppmøte på HVL. Her vil vi følge nasjonale og lokale retningslinjer.

**Høyspentlaboratoriet/skolen er stengt** - Koronasituasjonen er fremdeles uoversiktlig og uforutsigbar. Det er fare for lokal nedstenging av høgskolen.

**Uhell og ulykker** - Sjansen for at skader kan oppstå er liten dersom en følger sikkerhetsrutinene til punkt og prikke. Samtidig skal det alltid være en laboratoriet ingeniør og/eller driftsansvarlig til stede når det utføres et forsøk.

Det er liten risiko knyttet til ødelagt utstyr ved montering og testing. Testutstyret fra Terco fremstår robust og inneholder flere komponenter som kan erstatte defekt utstyr.

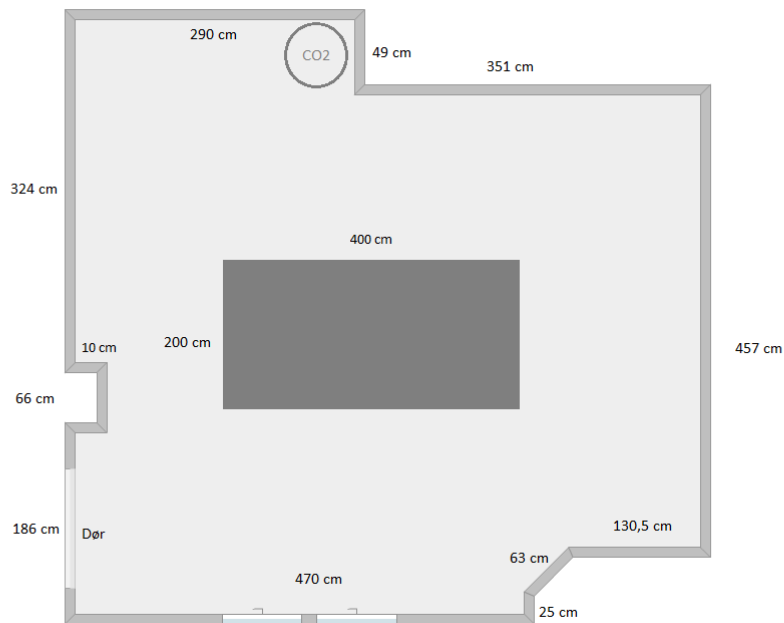
**Kostnader** - Kostnader til innkjøp av essensielle materialer vil direkte påvirke fremgangen til oppgaven, da kriteriet for å åpne laboratoriet er at vi kan dokumentere at det er trygt å drifte.

**Tap av dokumentasjon** - Vi lagrer alt arbeide vårt i google disk, men dersom det skulle skje noe uventet med brukeren vår bør vi laste dokumentene ned på PCen i tillegg.

**Kildekritikk** - Når vi velger ut informasjon på internett bør vi være kritiske til hvor informasjonen kommer fra.



## Appendiks C    Plantegning av høyspenningslaboratorium



**Figur 18:** Skisse av testrom

Testrommet er et avgrenset rom separat fra elkraftlaboratoriet. Rommet har en størrelse på ca. 35 m<sup>2</sup>. Laboratoriet har en egen separat jording fra høgskolebygget for å unngå støy på elektrisk utstyr andre plasser i bygget.

## **Appendiks D    Vedlegg**

Vedlegg 1	Retningslinjer for høyspennings laboratorium
Vedlegg 2	Kartlegging av tilsvarende laboratorier i Norge
Vedlegg 3	Test av ozonmåler og ventilasjonsanlegget
Vedlegg 4	Pristilbud fra bedrifter
Vedlegg 5	Varslingsplan lab