

Fakultet for teknologi, naturvitenskap og maritime fag  
Institutt for realfag og industrisystemer

# Testrapporter utført av MINRAD

Martin Haugerud, Stian Birkeland, Magnus Neumann,  
Magnus Tangen, André Tøftum, Victoria Reinskou

22. mai 2023

## Sammendrag

Vedlegget består av: test av utlevert materiell, komponent og engineering tester, og valideringstester. 'Komponent og engineering tester' består av: test av materialer, konsepter og modelleringsanalyser. Valideringstester består av tester som skal validere krav og er gjennomgått ved FAT<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup>FAT finnes i eksternt vedlegg 'PDR, CDR & FAT'

## Innhold

0.0.1	Test av elevasjonsaktuator . . . . .	5
0.0.2	Test av avstandsmåler . . . . .	7
0.0.3	Test av lufttrykksensor . . . . .	10
0.1	Avfyringskrets versjon A . . . . .	12
0.2	Avfyringskrets versjon B . . . . .	14
0.3	Avfyringskrets versjon C . . . . .	15
0.4	Drivmotorstyring . . . . .	17
0.5	EMC test av drivmotor . . . . .	19
0.6	EMC test av magnetventil . . . . .	25
0.7	Asimut nøyaktighet . . . . .	28
0.8	Avfiring fjærkraft . . . . .	30
0.9	Luftstrøm . . . . .	32
0.10	Kraft lineær aktuator . . . . .	33
0.11	Luftavfiring . . . . .	35
0.12	Strekktest av polymer, versjon A . . . . .	36
0.13	Strekktest av kryssfiner, versjon A . . . . .	44
0.14	Burn off test karbonfiber kompositt, versjon A . . . . .	50
0.15	Statisk analyse av høyre motorfeste, versjon A . . . . .	53
0.16	Statisk analyse av holder til asimutmotor, versjon A . . . . .	56
0.17	Statisk analyse av holder til asimutmotor, versjon B . . . . .	60
0.18	Strekktest karbonfiber kompositt, versjon A . . . . .	63
0.19	Test av sveis, versjon A . . . . .	67
0.20	Test av sveis, versjon B . . . . .	70
<b>1</b>	<b>Valideringstester</b>	<b>72</b>
1.1	Avfiring . . . . .	78
1.2	Testkjøring . . . . .	83
1.3	Statussjekk . . . . .	87
1.4	Sikringstest . . . . .	88
1.5	Sikringstest . . . . .	90
1.6	Kamouflasje . . . . .	92
1.7	Uavhengighet og kommersielt tilgjengelige deler . . . . .	95
1.8	Risikoanalyse . . . . .	96
1.9	Interface dokumentasjonstest . . . . .	97
1.10	Brukerveiledning . . . . .	98
1.11	Beltestramming . . . . .	99
1.12	Fremkommelighetstest . . . . .	101
1.13	Langtids loggføringstest . . . . .	103
1.14	Mobilstyringstest . . . . .	104
1.15	Statuslogg test . . . . .	105
1.16	Laser test . . . . .	106

## Figurer

1	Krets for avfyringsmekanisme . . . . .	12
2	Simulering av avfyringsmekanisme . . . . .	13



3	Kretstegning av magnetventil uten flyback diode, t.v. og med flyback diode t.h.	15
4	Simulering av magnetventil med og uten flyback-diode. . . . .	16
5	Oppsett til EMC test av drivmotor. . . . .	20
6	Resultat av EMC test uten tiltak. . . . .	21
7	Resultat av EMC test med tiltak. . . . .	22
8	Heat map av komponentene på EMxpert EHX Near Field Scanner. . . . .	23
9	Sammenligning av fig. 7 (blå) og fig. 6 (rød). . . . .	24
10	Bruk av aluminiumsfolie for skjerming . . . . .	26
11	Oppsett til EMC test av magnetventil. . . . .	26
12	Prosjektil, fjær og løp. . . . .	31
13	Testoppsett for M_F_A. . . . .	34
14	Oppsett av teststaver i nylon 12. . . . .	36
15	Restultat strekktest Nylon 12. . . . .	38
16	Restultat strekktest Tough PLA. . . . .	39
17	Restultat strekktest ABS. . . . .	40
18	Restultat strekktest N0_1. . . . .	41
19	Nylon 12 teststav: Ny teststav, t.v. og strekt teststav . . . . .	43
20	Oppsett av teststaver i kryssfiner. . . . .	44
21	Resultat strekktest kryssfiner. . . . .	46
22	Restultat strekktest K90_1. . . . .	47
23	Strekt teststav K90_4 i testapparatet. . . . .	49
24	Restultat burn off test kompositt. . . . .	51
25	Karbon teststykke: Nytt teststykke 1 t.v. og ferdig varmet teststykke. . . . .	52
26	Høyre motorholder i kryssfiner. . . . .	53
27	Laster og låsinger til høyre motorholder. . . . .	54
28	Mesh til høyre motorholder. . . . .	55
29	FEM-analyse resultat til høyre motorholder. . . . .	55
30	Asimutbrakett i grønt. . . . .	56
31	Lasting og låsinger av sammenstillingen. . . . .	57
32	Mesh i sammenstillingen. Blått med midtnoder. Orange uten midtnoder. . . . .	58
33	Spenningsforekomster i braketten. . . . .	59
34	Grønne piler indikerer 1.5 mm translasjon. . . . .	61
35	Spenningsforekomster i braketten. . . . .	62
36	Sikkerhetsfaktor i braketten. . . . .	62
37	Definering av punkter via kamera for å se forlengelse. . . . .	64
38	Resultat strekktest karbon nr 1. . . . .	65
39	Alle resultatene ved strekktest karbon. . . . .	66
40	t.v. Utstyr til sveisetest. t.h. Tildekket teststykke. . . . .	67
41	Sprekk markert med gul sirkel. . . . .	68
42	Sprekk i mikroskop. . . . .	69
43	Ferdig godkjent sveis. . . . .	71
44	Resultat testskyting versjon A. . . . .	80
45	VT-2-1, ved start av navigasjon. . . . .	84
46	VT-2-1, under navigasjon. . . . .	85
47	VT-2-3, ved avfyringsposisjon. . . . .	86
48	Låsearm i pleksiglass etter feilet test øverst. Sterkere og godkjent låsearm nederst.	91
49	Restultat fargetest på blank overflate. . . . .	93
50	Plate til fargetest der høyre halvdel er våtslipt. . . . .	93

51	KLV med slakt belte. . . . .	99
52	KLV med stramt belte. . . . .	99
53	Manøvrering over et konstruksjonsvirke. . . . .	101

### 0.0.1 Test av elevasjonsaktuator

Tabell 1: Test informasjon

TEST ID	D_TaE_C
Krav ID	FK-03
Programvare	Arduino IDE
Testutstyr	2057 024B linjæraktuator, MCBL2805 bevegelseskontroller, ledninger, ekstern 24 V strømforsyning, ledninger, Arduino Mega, laptop, kode
Dato	21. mars 2023
Utført av	André Evant Tøftum

#### Rasjonale

Etter at linjæraktuator for sikting ved elevasjon har blitt installert i loddrett retning, er vi interessert i å se om aktuatoren har nok kraft til å elevere missiltårnet.

#### Testoppsett

Linjæraktuatoren er festet til missiltårnet i loddrett retning, og er koblet til bevegelseskontrolleren. Denne er videre koblet til 24 V ekstern strømforsyning, felles jord, og en digital pinne på Arduino Mega, som er koblet til laptop.

#### Utførelse

For å kontrollere at linjæraktuatoren har kapasitet til å bevege missiltårnet ble det testet puls-bredde signaler som tilsvarer forskjellig hastighet og retning. Her vil et PWM signal under 127 tilsvare en bevegelse med klokka, der et større avvik fra 127 tilsvare høyere hastighet. Det samme gjelder i motsatt retning for et PWM signal over 127. Aktuatoren vil her bevege en typ mutter som missiltårnet er festet til.

```
int motorPin = 8;
String inString = "";

void setup() {
  pinMode(motorPin, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Serial ready");
  analogWrite(motorPin, 127);
}

void loop() {
  // Read serial input as PWM 0-255
  while (Serial.available() > 0) {
    int inChar = Serial.read();
    delay(2);
    if (isDigit(inChar)) {
```

```
    inString += (char)inChar;
}
if (inChar == '\n') {
    int inInt = inString.toInt();
    if (256 > inInt >= 0 ){
        analogWrite(motorPin, inInt); }
    Serial.println(inInt);
    inString = "";
    delay(2);
}
}
}
```

## Resultat

Aktuatoren hadde i begynnelsen problemer med å elevere mutteren fra nederste posisjon med maks hastighet, og klarte ikke konsist å bevege tårnet uten manuell hjelp. Fra øverste posisjon oppstod samme problem, kun motsatt, der mutteren ikke konsist ble senket helt ned uten manuell hjelp. Det oppstod også irregulærheter ved hastighet, som vil si at vi ikke nødvendigvis vil ha en konstant lineær ned/oppgang, som kan gjøre det mer komplisert å sikte inkrementalt.

Tabell 2: Test resultat

Forventet	Konsis og bestemt bevegelse
Faktisk	Ukonsis og irregulær bevegelse
Status	Ikke godkjent

Det må merkes at etter fem suksessfulle gjennomføringer sluttet aktuatoren å fungere. Alle kabler ble kontrollert, og koden var den samme. Aktuatoren ble også særdeles varm, uten å ha beveget seg på en stund. Dette kan være tegn slitte ledninger inne i aktuatoren, og må bli studert nøyer ved en annen anledning.

Konklusjonen etter denne testen er at det mekaniske holder opp, men at det elektriske/ programmering av bevegelseskontrolleren må bekreftes på nytt, og testes videre.

## 0.0.2 Test av avstandsmåler

Tabell 3: Test informasjon

TEST ID	D-TaL_C
Krav ID	FK-02, FK-03
Programvare	Arduino IDE
Testutstyr	Benewake TF-02 Pro LiDAR, ledninger, Arduino Mega, laptop, kode
Dato	12. april 2023
Utført av	André Evant Tøftum

### Rasjonale

For å forsikre treffsikkerhet under avfiring av projektiler er man nødt til å vite 3 ting; utgangshastighet, utgangsvinkel og motstand i prosjektil. Der utgangshastighet og luftmotstand/tyngdekraft på prosjektil er antatt tilnærmet konstant i vårt system, kan man kun regulere prosjektilbane ved bruk av utgangsvinkel. Denne vinkelen vil man kunne utregne ved bruk av trigonometri og avstanden til målet.

### Testoppsett

LiDARen er rangert for opp til 40 meter avstand i et innendørs miljø, som gir oss et avstandsbuffer på ytterlige 20 meter, der vårt system kun har krav om å treffe mål på opp til 20 meter unna. Ut fra LiDARen er vi interessert i to verdier: avstand, og signalintensitet. Funksjonen til avstand er implisitt, men signalintensitet er også en faktor her. Signalintensitet oppgis på en verdi mellom 0 og 65535, og gir oss en pekepinn på intensiteten av lys som når tilbake til LiDARen. Dette kan tolkes som hvor sikker LiDARen er på avstanden den oppgir. LiDARen har 4 kabler; Jord, vcc (+5 V), TX (3.3 V) og RX (3.3 V). Disse kan kobles rett opp til en mikrokontroller for å måle avstand og signalintensitet. Signalintensitet er effektivt en indikator på hvor sikker LiDARen er på avstanden den gir ut. Under testing av LiDAR ble kablene RX koblet til Arduino TX1, TX koblet til Arduino RX1, og jord og vcc respektivt.

### Utførelse

LiDARen ble testet på avstander mellom 0 og 21 meter både inne og utendørs. Det ble målt opp avstander med målebånd, og målingene ble sammenlignet med data fra LiDAR.

### Kode

Koden har blitt anskaffet fra LiDAR produsent Benewake, og er kompatibel med TF-02 Pro. Arduino tar inn 9 bytes fra Software Serial port 1, med en baudrate på 115200. Først gjøres det en sjekk på at det er nok bytes tilgjengelig i bufferet. De to første er header bytes, og er en indikasjon på start av pakken. Byte 3 og 4 gir til sammen avstand, byte 5 og 6 gir signalintensitet, byte 7 og 8 gir innvendig temperatur på LiDAR. Byte nr 9 er en checksum, og kan brukes for å forsikre at datapakken er komplett. LiDARen har en default baud rate på 115200 baud. LiDARen har en oppgitt nøyaktighet på  $\pm 5$  cm på avstander mellom 0.10 og 5 meter, og  $\pm 1$  prosent på avstander mellom 5 og 40 meter.

```
/*
 * Author: Benewake
 * Date: 2017-06-20
 * Version: 1.0
 * Description: Example code for using the RB-Ben-01 with an Arduino Mega.
 * Product: RB-Ben-01: http://www.robotshop.com/en/benewake-tf01-lidar-led-rangefinder-
 * Datasheet: RB-Ben-01: http://www.robotshop.com/media/files/pdf/benewake-tf01-lidar-l
 */
// Constants
const int HEADER = 0x59;
// Variables
int TF01_pix;
int dist, strength;
long a, b, c, d, e, f, check, i;
void setup() {
  // Set serial interfaces
  Serial.begin(9600);
  Serial1.begin(115200); //Lidar serial
  Serial.println("Begin");
}
void loop() {
  //Serial.println("Start");
  // Check if at least 9 bytes are available
  if (Serial1.available() >= 9) {
    // Check for first header byte
    if (Serial1.read() == HEADER) {
      // Check for second header byte
      if (Serial1.read() == HEADER) {
        // Read all 6 data bytes
        a = Serial1.read();
        b = Serial1.read();
        c = Serial1.read();
        d = Serial1.read();
        e = Serial1.read();
        f = Serial1.read();
        // Read checksum byte
        check = (a + b + c + d + e + f + HEADER + HEADER);
        // Compare lower 8 bytes of checksum
        if (Serial1.read() == (check & 0xff)) {
          // Calculate distance
          dist = (a + (b * 256));
          // Calculate signal strength
          strength = (c + (d * 256));
          // Display results to USB serial port
          Serial.print("dist = ");
          Serial.print(dist);
          Serial.print("\t");
          Serial.print("strength = ");

```

```
        Serial.print(strength);  
        Serial.print("\n");  
    }  
}  
}  
}
```

## Resultat

LiDARen ga oss bra nok avlesninger til å være sikre på avstandene til mål. Under innendørs testing fikk vi nøyaktige målinger med mindre enn én cm feilmargin på opp til 5 meter. Ved lengre avstander var målingene konsise, men signalintensiteten ble drastisk senket på avstander over 15 meter. Dette er sannsynligvis grunnet høy lysforurensning i testrommet. God nøyaktighet, lav intensitet på avstander over 15 meter. Testet i dronesonen, mye lysforurensning. Under utendørs testing hadde LiDARen konsise målinger og sterk signalintensitet opp til 5 meter. Ved avstander opp til 8 meter sank signalintensiteten, men avstandsmålingen holdt seg konsis. På avstander over 8 meter falt signalintensiteten så lavt at avstandsmålinger ble unøyaktige. Dette er trolig også grunnet høy lysforurensning, der målet var hvitt, og det var lyst og mye snø utendørs. Når signalintensitet sank for lavt leste LiDARen av avstander på 4500 cm, altså 45 meter. Dette er dokumentert i brukermanualen som en feilsikring dersom signalintensiteten faller for lavt, og må bemerkes at er en tiltenkt funksjon, ikke feil i kode eller i LiDARen.

Tabell 4: Test resultat

Forventet	Nøyaktig og pålitelig avstandsmåling
Faktisk	Nøyaktig, men upålitelige målinger i omgivelser med høy lysforurensning på lengre avstande
Status	Godkjent

### 0.0.3 Test av lufttrykksensor

Tabell 5: Test informasjon

TEST ID	D-TaT_C
Krav ID	FK-07, FK-09
Programvare	Arduino IDE
Testutstyr	Pressure tranducer sender, vlufftrykktank, ledninger, , Arduino Mega 2560, laptop, kode
Dato	3. mars 2023
Utført av	André Evant Tøftum

#### Rasjonale

Det har blitt anskaffet en trykkmåler sensor for å monitorere trykket i lufttanken for å forsikre nok trykk til å avfyre missiler.

#### Testoppsett

Sensoren kobles til vcc (+5 V), Gnd, og en analog port (A0). Vi bruker analog read til å lese signalet og skalerer det til volt. Deretter kan vi bruke Map funksjonen til å finne verdiene i PSI og Bar. Den integrerte Map funksjonen støtter ikke floating points, så vi ble nødt til å laste ned et bibliotek kalt MapFloat.

#### Utførelse

Sensoren leser av trykket i systemet, og sender ut ett volt signal som skalerer lineært med trykket. Systemet vil antageligvis ikke ha større trykk enn 6 bar/87PSI, men det ble kjøpt en sensor som måler opp til 200 PSI grunnet overflødighet og at den var billigere. Ved 0 PSI vil volt være lik 0.5, ved 100 PSI er volt lik 2.5, og ved 200 PSI er volt lik 4.5. Dette tilsvarer en ligning der  $PSI = (Volt * 50) - 25$ . Trykket som ble gitt til lufttrykkmåleren ble modulert ved å skru på ventilen fra lufttrykktanken.

```
#include "MapFloat.h"
void setup() {
  // initialize serial communication at 9600 bits per second:
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  // read the input on analog pin 0:
  int sensorValue = analogRead(A0);
  // Convert the analog reading (which goes from 0 - 1023) to a voltage (0 - 5V):
  float voltage = sensorValue * (5.0 / 1023.0);

  float BAR = mapFloat(voltage, 0.5, 4.5, 0, 13.7895);
  float PSI = mapFloat(voltage, 0.5, 4.5, 0, 200);
```



```
Serial.print("Voltage: ");
Serial.print(voltage);
Serial.print("\t");
Serial.print("Bar: ");
Serial.print(BAR);
Serial.print("\t");
Serial.print("PSI: ");
Serial.print(PSI);
Serial.print("\t");
Serial.println();

delay(250);
}
```

## Resultat

Koden var i stand til å gi ut målinger med umerkbar ventetid, og høy nøyaktighet. Denne dataen kan sendes til GUI for å vise status til operatør.

Tabell 6: Test resultat

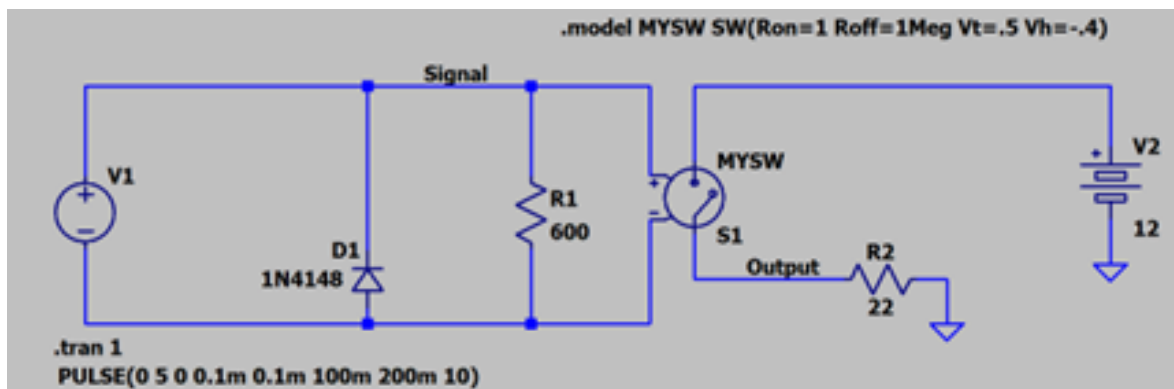
Forventet	Konsise og pålitelige trykkmålinger
Faktisk	Konsise og pålitelige trykkmålinger
Status	Godkjent

## 0.1 Avfyringskrets versjon A

TEST ID	E_AK_A
Krav ID	FK-01
Programvare	LTSpice
Testutstyr	-
Dato	10. februar 2023
Utført av	Magnus Tangen, Victoria Reinskou

### Introduksjon og utførelse

Denne testen innebærer den elektroniske avfyringsmekanismen til prosjektilene. Et 5 V avfyringsignal blir sendt fra mikrokontroller, til relékretsene som vist i fig. 1. Her vises kretsen for kun ett prosjektil, grunnet plass. Mikrokontrolleren er ikke kraftig nok til å drive magnetventilene selv, det er derfor inkludert et relé som gir magnetventilene tilgang til en ekstra spenningskilde. Dette reléet styres av mikrokontrolleren.



Figur 1: Krets for avfyringsmekanisme

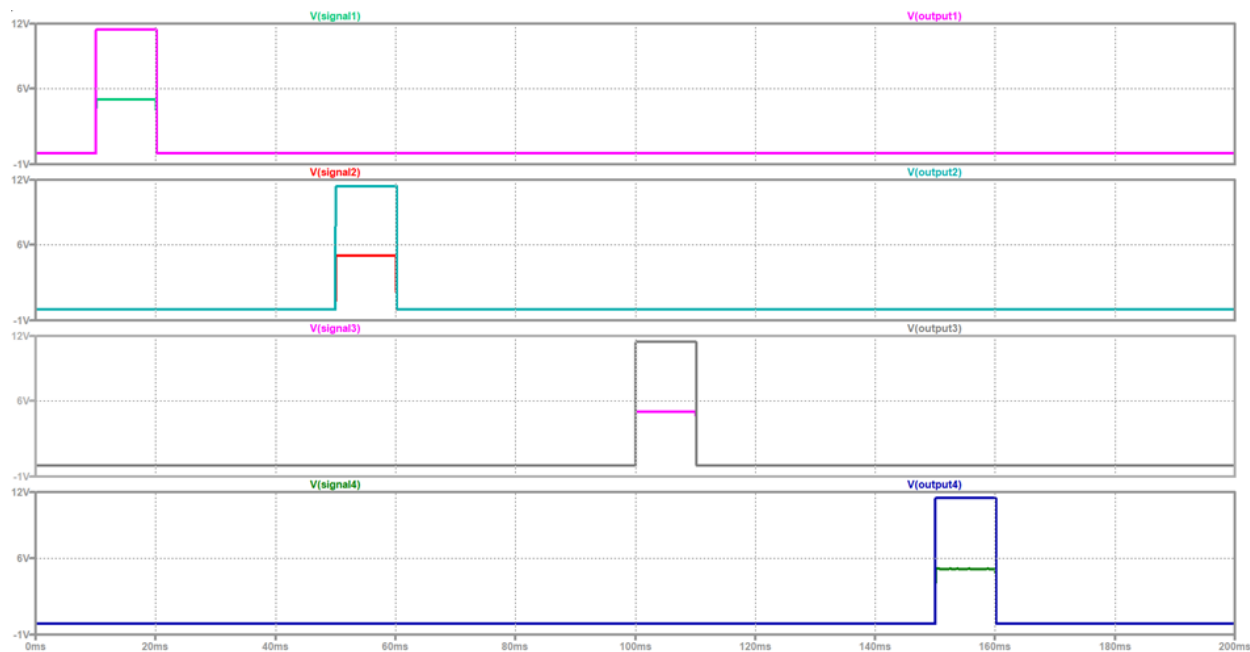
Et signal 'V1' lukker reléet og det legges spenning over lasten så lengen bryteren er nede. En flyback diode er plassert i parallell med reléet for å unngå spike i spenningen. Dette er fordi spenningen over spolen er proporsjonal med den deriverte av strømmen som går gjennom den. Det fører til at spenningen blir

$$V = L \frac{di}{dt} = -L \frac{I_m}{\Delta t}, \quad (1)$$

der  $I_m$  er maks strøm gjennom spolen. Det vil legge seg en veldig høy spenning over spolen fordi kretsen brytes i  $t_0$  og dette kan resultere i skader på andre komponenter. 'R1' representerer spolen, men kun for å indikere at det legger seg spenning over.

## Resultat

Inngangssignalet  $V(\text{signal})$  lukker reléet, som fører til at det legger seg 12 V over lasten  $V(\text{output})$  som vist i fig. 2. Simuleringen viser at når inngangssignalet er på, i 10 ms, så er det også spenning over lasten.



Figur 2: Simulering av avfyringsmekanisme

Tabell 7: Test resultat

Forventet	Signal til reléaktivert lastspenning
Faktisk	Signal til reléaktivert lastspenning
Status	Godkjent

## 0.2 Avfyringskrets versjon B

TEST ID	E_AK_B
Krav ID	FK-01, FK-11
Programvare	LTSpice
Testutstyr	24V Magnetventil, batteri, ledninger
Dato	27. februar 2023
Utført av	Magnus Tangen, Victoria Reinskou

### Rasjonale

På slutten av første iterasjon ble det kjent at magnetventilene ikke var kraftige nok til å oppnå FK-02 om rekkevidden til prosjektilet. Disse ble da byttet med en kraftigere type som var større og trengte høyere spenning (24 V).

### Utførelse

Simuleringen av avfyringskretsen ble gjennomgått på nytt med samme oppsett som 'Avfyringskrets versjon A'.

### Resultat

Tabell 8: Test resultat

Forventet	Signal til reléaktivert lastspenning
Faktisk	Signal til reléaktivert lastspenning
Status	Godkjent

### 0.3 Avfyringskrets versjon C

TEST ID	E_AK_C
Krav ID	FK-01
Programvare	LTSpice
Testutstyr	-
Dato	13. april 2023
Utført av	Magnus Tangen

#### Rasjonale

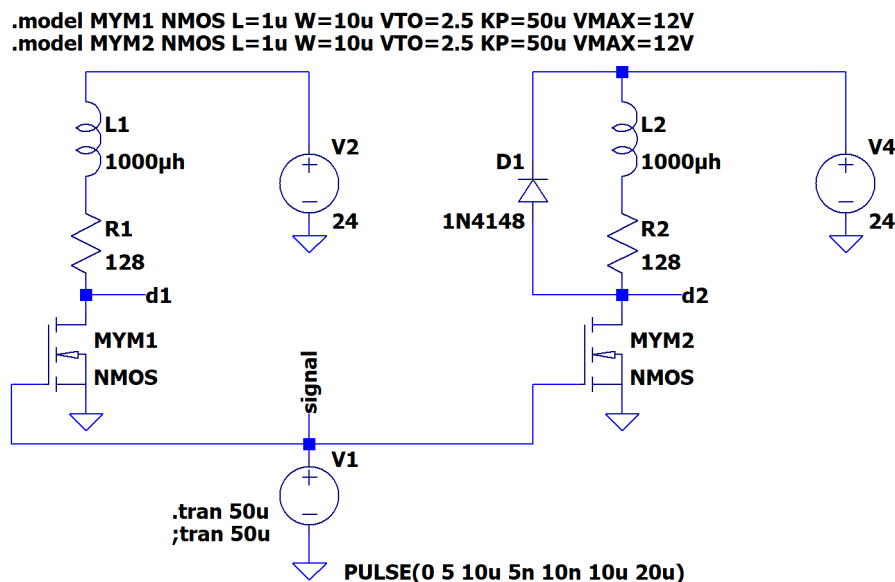
Bakgrunnen for denne testen er unøyaktigheten og faglig feil i 'Avfyringskrets versjon A'. Denne testen viser hvorfor det implementeres en flyback diode grunnet induksjonsspenninger.

#### Testoppsett

Magnetventilen er en induktiv last og kan simuleres med én motstand og én spole. For simpelhetens skyld, så ser vi bort i fra parasittisk<sup>2</sup> motstand, -kapasitans og -induktans. Magnetventilen har en effekt på 4.5 W og inngangspenning på 24 V. Vi får dermed en motstand på

$$R = \frac{V^2}{P} = \frac{24^2 \text{ V}}{4.5 \text{ W}} = 128 \Omega. \quad (2)$$

Det var ikke oppgitt spoleverdi i datablad, så en spoleverdi på 1000  $\mu\text{H}$  ble valgt. For å teste induksjonsspenningen ble det valgt å bruke en pulsgenerator sammen med en generell N-MOSFET som vist i fig. 3.



Figur 3: Kretstegning av magnetventil uten flyback diode, t.v. og med flyback diode t.h.

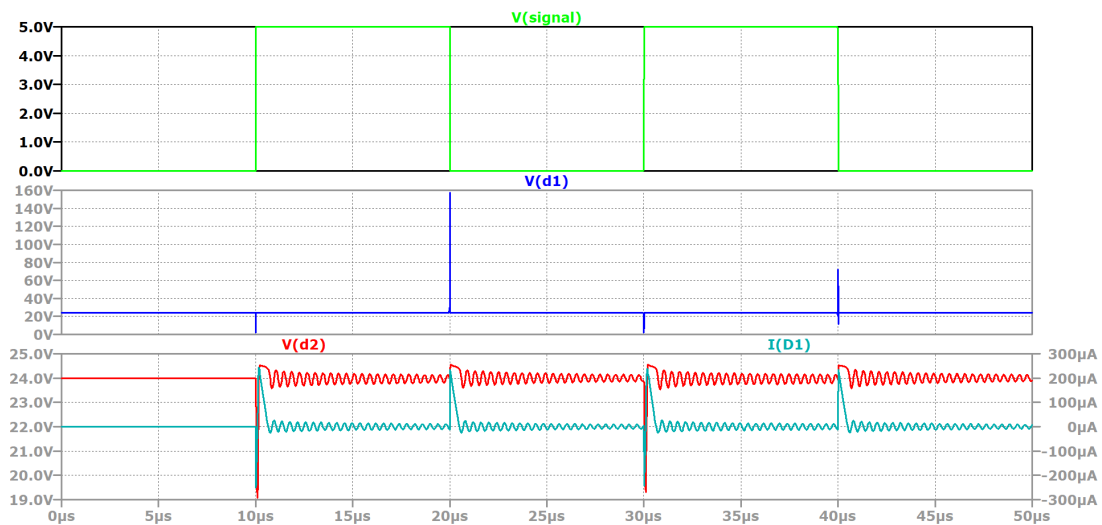
<sup>2</sup>Uunngåelig og uønsket

## Utførelse

Et høyt signal på 5 V fra spenningskilden V1 på  $10 \mu\text{s}$  blir sendt til GATE på NMOS. Kretsen lukkes mellom DRAIN og SOURCE. Videre kommer det et lavt signal fra spenningskilden som fører til at kretsen åpnes.

## Resultat

Simuleringen viser at det oppstår en reversspenning  $V(d1)$  over spolen, opp til 160 V når kretsen åpnes uten flyback diode. Ved bruk av flyback diode holder spenningen  $V(d2)$  seg stabil rundt 24 V. Strømmen går da gjennom dioden  $I(D1)$  når tilstanden til spolen endres.



Figur 4: Simulering av magnetventil med og uten flyback-diode.

Tabell 9: Test resultat, flyback diode

Forventet	Unngå induksjonsspenning
Faktisk	Unngått induksjonsspenning
Status	Godkjent

## 0.4 Drivmotorstyring

TEST ID	DE.DMS
Krav ID	FK-05
Programvare	-
Testutstyr	Drivmotor, motorkontroller, Arduino, 12 V spenningskilde, ledninger, laptop, vekt
Dato	8. mars 2023
Utført av	André Tøftum, Victoria Reinskou, Magnus Tangen

### Rasjonale

Målet med testen er å kunne styre motoren med Arduino mikrokontroller. Her ønskes det at den skal kunne gå med og mot klokken (framover og bakover) på ulike hastigheter. Motoren skal kunne endre hastighet og den skal kunne bremse.

### Utførelse

EM-176A motordriveren ble koblet til Pittman GM14904S013 motoren med pluss, minus, og drivsignal; og 12 V til motordriveren. Videre var en laptop med Arduino IDE også koblet til motordriveren. Scriptet under ble kjørt:

```
int motorPin = 6;
String inString = "";

void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
    pinMode(motorPin, OUTPUT);
    Serial.begin(9600);
    Serial.println("Serial ready");
    analogWrite(motorPin, 127);
}

void loop() {
    // Skriv inn PWM signalet du vil sende, mellom 0 og 255
    while (Serial.available() > 0) {
        int inChar = Serial.read();
        delay(2);
        if (isDigit(inChar)) {
            inString += (char)inChar; }
        if (inChar == '\n') {
            int inInt = inString.toInt();
            if (256 > inInt >= 0 ){
                analogWrite(motorPin, inInt);
                Serial.println(inInt);
            }
        }
    }
}
```

```
    inString = "";  
    delay(2);  
  }  
}  
}
```

Etter at oppkoblingen var ferdig og spenningskilden satt på, ble et PWM signal på 10 sendt fra Arduino. Akslingen begynte så å rotere veldig sakte, og høyere signal ble sendt gradvis. Ved høyere signaler, (50-100), begynte motoren å riste voldsomt. Grunnen til dette var at det ikke var plassert last på motoren, dermed ble **Motor load compensation** økt til det sluttet å riste. Ved ca 120 og oppover til 255 roterte akslingen på sin maks hastighet, uten last. Videre ble det oppdaget at motoren stoppet helt ved stor hastighetsendring, og spenningskilden ga fra seg en feilmelding. **Ramp/s** ble derfor justert opp fra 1 til 3 sekunder, noe som ga motoren lengre til å utføre store endringer. Dermed ble responsen mer stabil. **Current lim/A** ble satt til ca 5 da ekstern spennings signal ble brukt. **Set value scale** ble ignorert<sup>3</sup>.

For å teste om motoren kunne bremse ble et høyt signal sendt inn til motorkontrolleren sin egen bremsinngang. Deretter ble akslingen på motoren rotert med håndkraft.

Tabell 10: Brems

Tilstand	Resultat
Spenning av	Roterer lett
Spenning på (Freewheel)	Roterer hardt
Brems på	Roterer ikke

En subjektiv test som vist i tabell 10 tilsier at bremsen fungerer på motoren. Rotering av akslingen uten at det tilført spenning er lett. Rotering av akslingen med tilført spenning (uten rotasjonssignal) er hardere. Akslingen roterte ikke da brems ble satt på.

## Konklusjon

Motoren kan styres som ønsket. Dette innebærer framover og bakover på ulike hastigheter og brems. Hastigheten til motoren kan også endres etter behov. Når motoren skal implementeres på kampluftvernet må motoren kalibreres på nytt grunnet nytt dreiemoment.

Tabell 11: Test resultat

Forventet	Komplett styring av motor
Faktisk	Komplett styring av motor
Status	Godkjent

---

<sup>3</sup>**Motor load compensation, Ramp/s, Current/A** og **Set value scale** er forklart i datablad [1]



## 0.5 EMC test av drivmotor

TEST ID	E-EMC_A
Krav ID	N/A
Programvare	-
Testutstyr	Keysight CXA N9000B, EMxpert EHX Near Field Scanner, Arduino Mega 2560, spenningskilde, diverse ledninger, motor, motorkontroller
Dato	18. april 2023
Utført av	Victoria Reinskou, Magnus Tangen

### Rasjonale

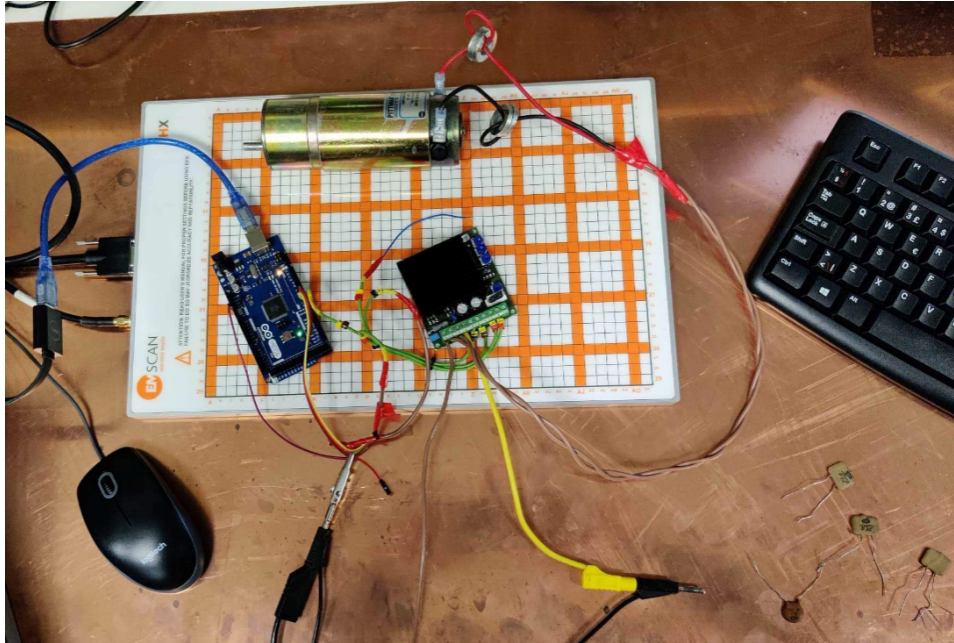
Hensikten med denne testen var å måle hvor mye elektromagnetisk interferens (EMI) som produseres av drivmotorene, og måten det er koblet. Nærmere bestemt var det ønskelig å få et innblikk i hvilke frekvenser som kunne være problematiske, samt undersøke om enkle og billige løsninger ville være hensiktsmessige å implementere.

### Hypotese

Børstemotorer er kjent for å produsere støy i form av høyfrekvente lysbuer [2]. Disse frekvensene har da mulighet til å forstyrre andre komponenter og hindre at de fungerer som de skal. Det var derfor bekymring om dette kunne være et problem.

### Testoppsett

Som vist i fig. 5 var drivmotoren koblet til motorkontrolleren, som videre var koblet til mikrokontroller og spenningskilde på 12 V (utenfor bildet). Hele kretsen, med de aktuelle komponentene, var plassert oppå EMxpert EHX Near Field Scanner; et Brett som kan måle elektromagnetisk interferens. Dette brettet var videre koblet til spektrumanalysatoren; Keysight CXA N9000B.



Figur 5: Oppsett til EMC test av drivmotor.

### Utførelse

PWM signaler mellom 0 og 120<sup>4</sup> ble sendt til drivmotoren for å simulere framdrift av kamp-  
luftvernet. Etter noen få innledende tester bestemte vi at motoren skulle kjøres på PWM =  
120, da dette, i teorien, vil produsere flest lysbuer. Motoren ble da kjørt i denne hastigheten  
mens spektrumanalysatoren scannet for elektromagnetisk interferens.

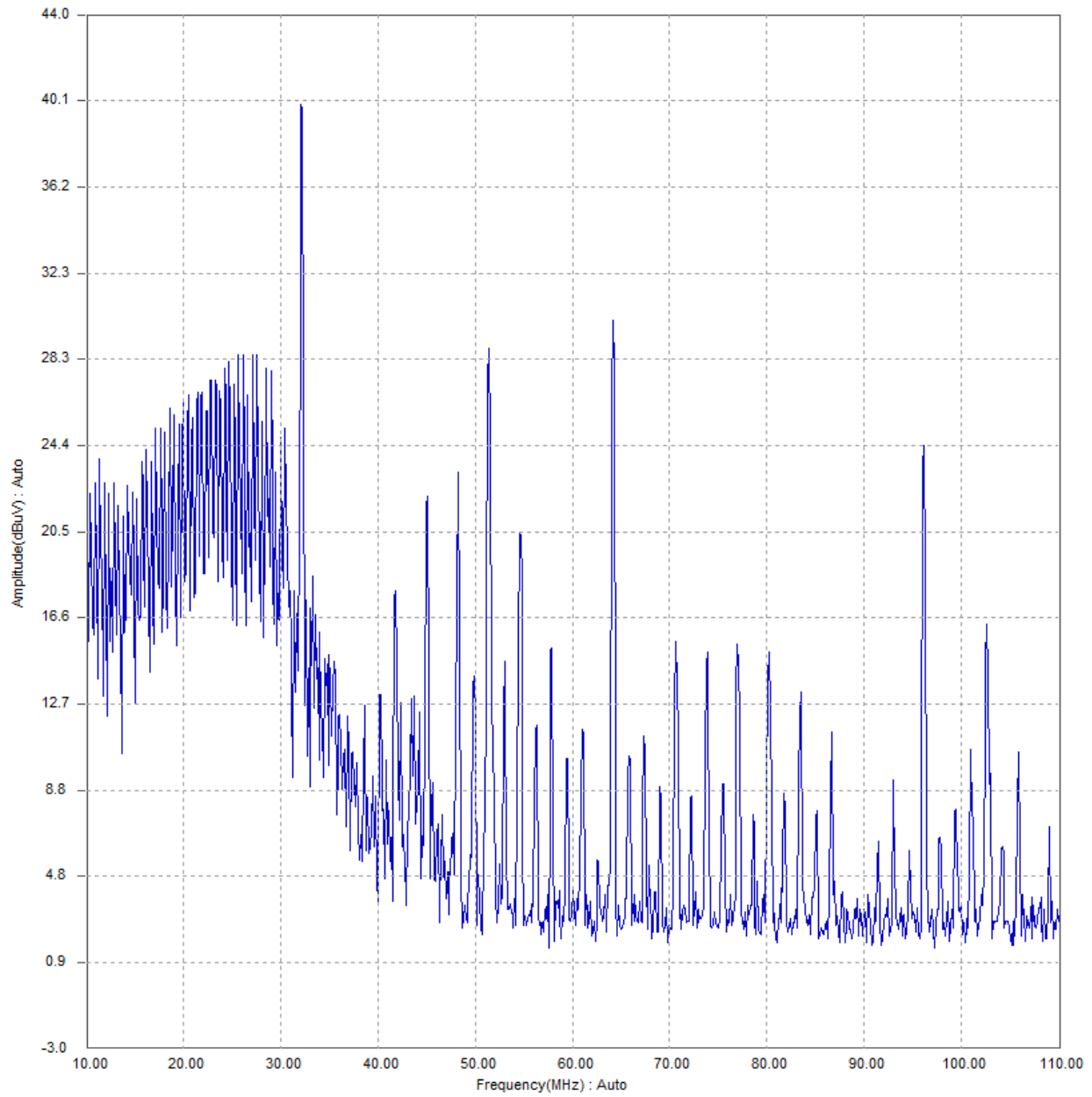
Det ble kjørt flere tester med og uten enkle tiltak mot EMI. Disse tiltakene besto av å  
feste en 100  $\mu\text{F}$  kondensator mellom polene på drivmotoren, tvinne sammen ledningene mellom  
motorkontroller og drivmotor, i tillegg til at det ble satt på en tiltenkt ferritkjerne på hver av  
ledningene. Oppsettet er vist i fig. 5.

### Resultat

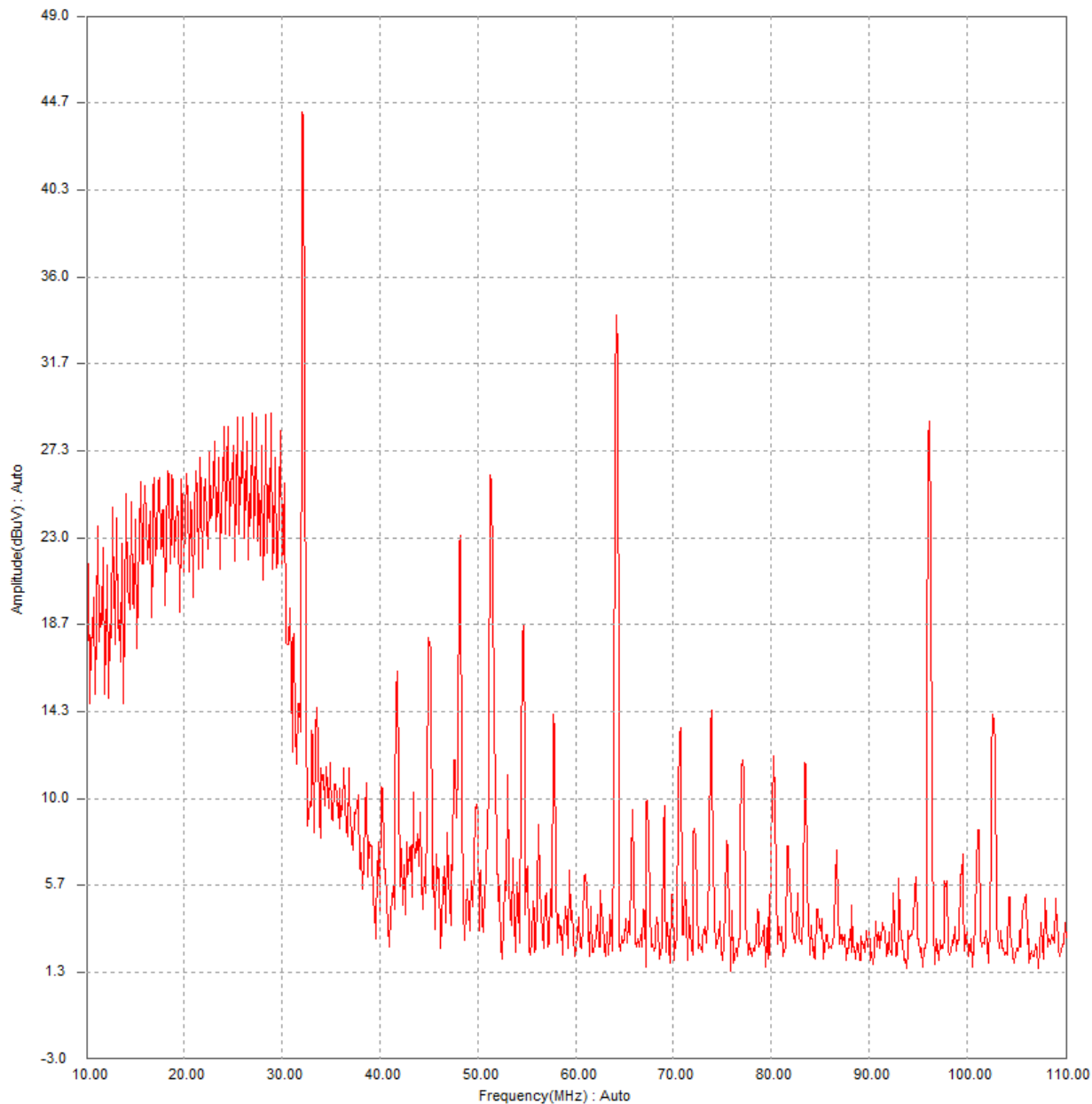
Under er resultat av spektrumanalysen vist i fig. 6 og i fig. 7, henholdsvis uten, og med tiltakene.

---

<sup>4</sup>Uten last vil motoren nå topphastighet ved PWM = 120.

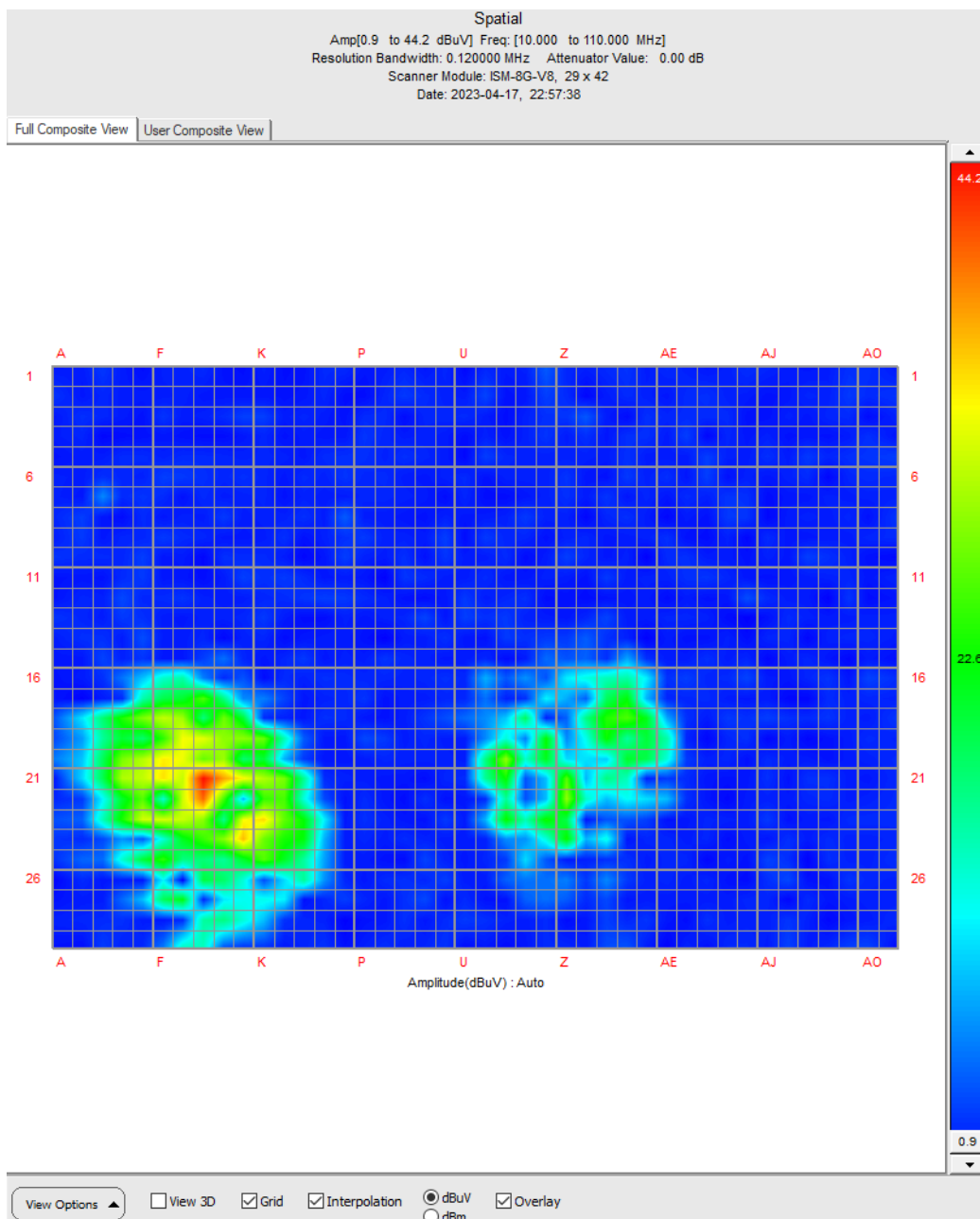


Figur 6: Resultat av EMC test uten tiltak.

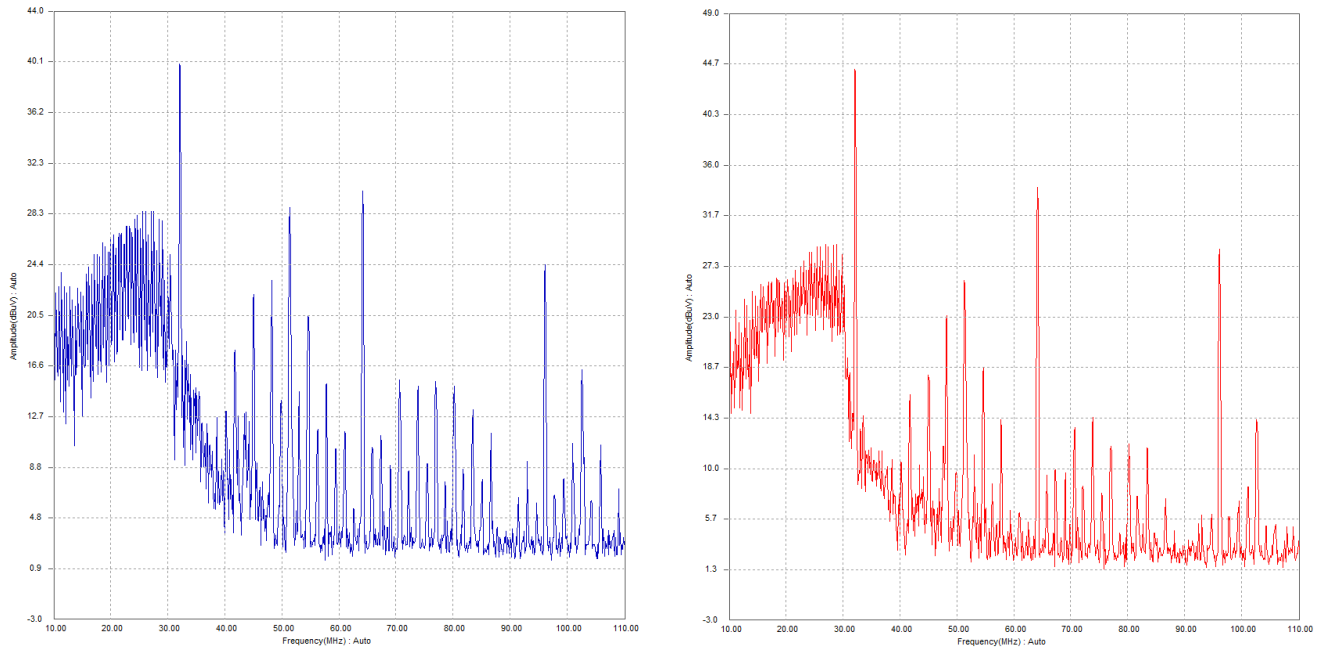


Figur 7: Resultat av EMC test med tiltak.

Komponentene var stasjonære under hele testen, vist i fig 5 og fig. 8 viser 'heat map' etter en typisk test.



Figur 8: Heat map av komponentene på EMxpert EHX Near Field Scanner.



Figur 9: Sammenligning av fig. 7 (blå) og fig. 6 (rød).

### Observasjoner:

- Amplituden og hyppigheten på frekvensene mellom 10 MHz og 30 MHz, er noe redusert; med peak-to-peak på 20 dBuV (blå) til 14 dBuV (rød).
- Frekvensene mellom 70 MHz og 85 MHz, har også sunket noe. Fra ca. 15.5 dBuV (blå) til 14 dBuV (rød).
- Intensiteten mellom de underharmoniske har blitt noe redusert, mens toppene har blitt noe høyere.
- Figur 8 viser at område med høyest intensitet er rundt krystallelementet på mikrokontroller.
- Drivmotor synes ikke på heatmap. Dette impliserer at motoren støyer svært lite.
- Den høyeste amplituden er lokalisert ved 32 Mhz, som er dobbelt av klokkefrekvens til Arduino Mega 2560.
- Klokkefrekvensen til Arduino Mega 2560, på 16 MHz, synes ikke.

Ut ifra følgende observasjoner er det vanskelig å bedømme om tiltakene har påvirket resultatet da forskjellene er relativt svake. Det kan tyde på at det ikke er tiltakene som har endret frekvensspekteret, men heller tilfeldigheter. Likevel, var det mikrokontrolleren som utga mest støy i denne testen, som tyder på at EMI grunnet lysbuer ikke er et problem.

### Diskusjon

Det ble ikke gjort nok undersøkelse av de tiltenkte ferrittkjernene, før de ble laget. De har mest sannsynlig skapt mer støy, enn dempet.

## 0.6 EMC test av magnetventil

TEST ID	E_EMCMV
Krav ID	N/A
Programvare	N/A
Testutstyr	Keysight CXA N9000B, HP11941A CLOSE-FIELD PROBE 9 kHz-30 MHz, spenningskilde, relémodul, mikrokontroller, diverse ledninger, spenningsregulator (12-24 V), magnetventil, aluminiumsfolie, plastfolie
Dato	25. april 2023
Utført av	Victoria Reinskou, Magnus Tangen

### Rasjonale

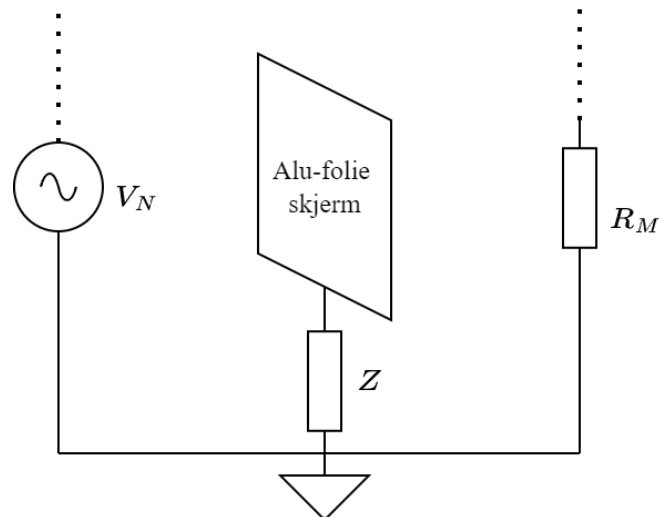
Bakgrunnen for denne testen var å se hvilke frekvenser som kunne være problematiske for magnetventilene, og samtidig undersøke muligheten for å dempe disse med skjerming. Det var et ønske om å måle den utstrålte EMI-en som kommer av endret spoletilstand.

Etttersom at det er allerede er en spenningsdemper innebygd i magnetventilen, var det ikke bekymring for EMC tilknyttet reversspenning ved åpning og lukking av den induktiv lasten. Grunnet strukturen til magnetventilen, vil det magnetiske feltet være konsentrert rundt spolen, mens det elektriske feltet som produseres, vil bre seg utover. Spolen er et av de største bidragsyterne til intensitet av det elektriske feltet og utstrålt EMI [3].

Ved å skjerme kilden til støy og/eller mottakeren med aluminiumsfolie, vil dette bidra til å redusere høyimpedans elektrisk felt. Dette vil fungere som et Faraday bur. Lavimpedans magnetisk felt derimot, vil gå rett igjennom.

### Aluminiumsfolie til bruk for skjerming

Ved å anta at spolen har en lav strøm og en høy spenning, vil den utgi et dominerende elektrisk felt i nærfeltet, der  $E/H > 377 \Omega$ . Intensiteten til det elektriske feltet vil dempes med en hastighet på  $(1/r)^3$ , der  $r$  er avstanden fra kilden. Mens magnetfeltet vil avta med  $(1/r)^2$ . Dette tilsier at intensitet vil dempes ved større avstand fra kilden men for ytterlig demping av elektriske felt, kan skjerming brukes som vist i fig. 10

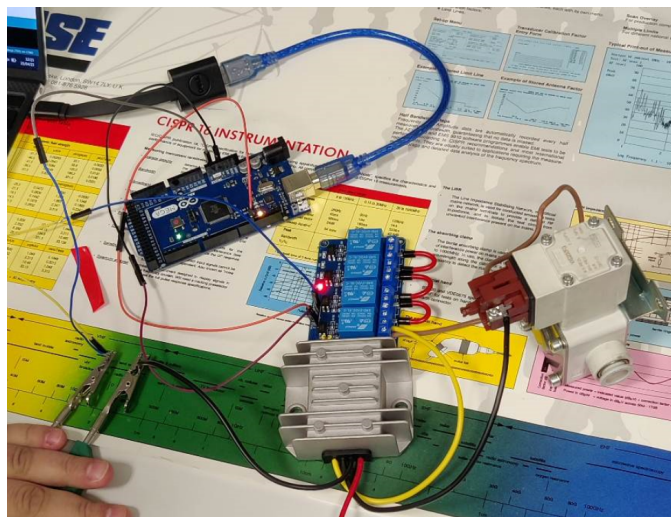


Figur 10: Bruk av aluminiumsfolie for skjerming

En mottaker,  $R_M$ , kan skjermes for støy fra en kilde,  $V_N$ , ved å plassere en skjerm mellom dem, som vist i fig. 10. For best effekt bør hele støykilden <sup>5</sup> tildekkes av skjermen. Her er det viktig at skjermen også jordes med lavest mulig impedans,  $Z$ , ettersom at det elektriske feltet skal dempes. Dersom den ikke jordes, vil skjermingen fungere som en svevende metallplate, som kan føre til enda sterke kapazitiv kobling<sup>6</sup>.

### Testoppsett

Spenningskilden til systemet ble satt til 12 V for å simulere batteriet til kampluftvernet. Videre ble denne spenningen opptransformert til 24 V, slik at magnetventilen kunne få riktig spenningstilførsel. Til å styre ventilen ble mikrokontroller og tilhørende programvare brukt. Den styrte da relémodulen som videre åpnet og lukket magnetventilen. Hele oppsettet er vist i fig. 11, forutenom spenningskilden.



Figur 11: Oppsett til EMC test av magnetventil.

<sup>5</sup>I dette tilfelle er det enklere å blokkere støykilden selv, fremfor å skjermes mottaker. Men dette vil variere utifra om kilden også skal f.eks sende informasjon trådløst.

<sup>6</sup>Støy oppstår grunnet det elektriske feltet, når kilde og mottaker er for nære hverandre.



## Utførelse

For å teste om det elektriske feltet ville produsere støy ble magnetventilen åpnet og lukket med intervaller på 250 ms, selv om det under skyting kun vil åpnes og lukkes én gang per utskytning. Når ventilen er lukket går det ikke strøm i kretsen og magnetfeltet eksisterer ikke. Intervallene skaper derfor et pulserende elektrisk felt, som en probe kunne rettes mot. Proben, tilkoblet spektrumanalysatoren, kunne da fange opp frekvensene i problemområdet som videre kunne analyseres. Ettersom at spektrumanalysatoren måler fortløpende med proben, var et kontinuerlig skiftende elektrisk felt nødvendig. Området proben målte var fra kHz til GHz, og det ble målt en kontroll av rommet til sammenligning.

## Resultat

Ved å sammenligne frekvensene målt i rommet, med de målt ved magnetventilen, var differansen minimal. Det ble derfor konkludert at frekvensene produsert av magnetventilen, var lavere enn det proben kunne måle. Det viser dog at verken styrken eller endringen i det elektriske feltet (produsert av magnetventilen), var høye nok til at det kunne ha innvirkning på andre komponenter.

## Diskusjon

Det ble diskutert mulige scenarier som kunne hatt en betydning. Om magnetventilen hadde åpnet og lukket seg med en frekvens i MHz området, eller i kHz området. Dette utelukkes derimot, ettersom at formålet er å skyte ett og ett prosjektil av gangen; ikke tusen.

I ettertid burde testen blitt gjort med en 'frequency mask trigger' som utløses basert på spektrale hendelser. Da kan spikerene detekteres uavhengig av tiden de eksisterer.

## 0.7 Asimut nøyaktighet

TEST ID	M.ASLA
Krav ID	FK-03
Programvare	-
Testutstyr	Stridsvogn, laser, 12 V batteri
Dato	11. januar 2023
Utført av	Martin Haugerud, Stian Birkeland

### Rasjonale

For å kunne sikre tilstrekkelig treffsikkerhet mot målet, er vi blant annet avhengige av å kunne rette prosjektilene mot riktig asimut. Dette kan gjøres på to måter: Første måten er å fast-montere utskytningssystemet i stridsvognen og utelukkende ha dette individuelt styrt i vertikal retning. Den andre måten vil være å la dette systemet rotere uavhengig av stridsvognen. For å verifisere mulighetene for det første alternativene, er vi nødt til å finne ut om stridsvognen i seg selv kan rotere nøyaktig nok. En utfordring her er at beltene opererer i ledd på 18mm som kan gi en hakkete bevegelse. For oppnå en tilstrekkelig nøyaktighet, vil vi være nødt til å kunne endre vinkelen med høyest:

$$\text{Vinkel} = \tan^{-1} \left( \frac{0.3 \text{ m}}{20 \text{ m}} \right) = 0.86^\circ. \quad (3)$$

Denne verdien tar utgangspunkt i null avvik i prosjektilbane i horisontal retning. Det betyr av vi må ha nøyaktighet bedre enn dette ettersom vi trenger litt spillerom her.

### Testoppsett

Laseren ble festet på stridsvognen slik at den pekte i retning fremover. Nøyaktigheten på retningen, krever ikke så høy toleranse da det ikke er selve retningen som ble målt, men heller endringen. Det ble derimot tatt hensyn til at den ikke kunne forskyve seg.

### Utførelse

Ved å feste den medfølgende laseren på stridsvognen, kan vi markere på veggen alle rotasjoner som blir gjort med høy nøyaktighet. Forsøket gjøres på en distanse på 4 meter og krever da et maksimum avvik på 6 cm. Fremgangsmåten er å påføre så små som mulig impulser med 12 V som vil gi bevegelse. Ved for små impulser, vil stridsvognen ikke kunne bevege seg, eventuelt falle tilbake til utgangspunktet.

### Resultat

Resultatene varierte fra 7 cm til 15 cm med 14 cm som utpreget typetall. Vinkel vi da kommer frem til vil da bli:

$$\text{Vinkel} = \tan^{-1} \left( \frac{0.15 \text{ m}}{4 \text{ m}} \right) = 2.15^\circ. \quad (4)$$

Tabell 12: Test resultat

Forventet	6 cm
Faktisk	15 cm
Status	Ikke godkjent

Dette ansees som langt unna tilstrekkelig toleranse for avfiring med fast asimut på utskytningssystemet med de gamle motorene.

## 0.8 Avfyring fjærkraft

TEST ID	E_AF_a
Krav ID	FK-01, FK-02, FK-03
Programvare	-
Testutstyr	Rør, 18mm og 25mm, fjær, prosjektil 5 gram, utløser
Dato	6. mars 2023
Utført av	Stian Birkeland, Martin Haugerud

### Rasjonale

En av de mer fremtredende kraftkildene for å kunne avfyre prosjektiler, er å bruke en spiralfjær. Derfor vil vi utføre et praktisk forsøk for å undersøke muligheten rundt dette, samt oppdage flere fordeler eller ulemper enn det vi hadde sett for oss. Det mest naturlige da vil være å ha en fjær og prosjektil med samme diameter. Disse kan så enten tres utenpå et stabiliserende løp, eventuelt ligge etter hverandre inni et rør.

### Testoppsett

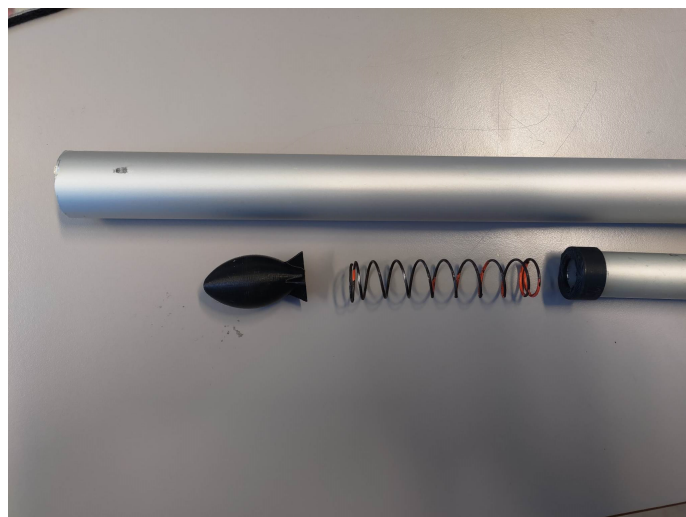
Som det lettest gjenprøvbare, valgte vi sistnevnte. Men en liten mekanisme i enden for å sperre røret, la vi prosjektil, fjær og deretter et mindre rør inn i den andre enden. Prosjektilet ble holdt igjen av mekanismen som igjen sperret for fjæra og det mindre røret.

### Utførelse

For å utøve kraft på fjæra, ble det mindre røret presset inn mot den. Ved å slippe utløsermekanismen, kunne vi da overføre nesten all potensiell energi i fjæra til kinetisk energi i prosjektilet. Dette ble gjentatt nok ganger frem til vi fikk et resultat som vi følte kunne representerer konseptet.

Fjæra vi bruker blir målt til en fjærkonstant på  $k = 4,5\text{kN/m}$  ved 3 forskjellige posisjoner. Ved avfyring vil denne trykkes fra en nullposisjon på  $x = 70\text{mm}$  til en avfyringsposisjon på  $x = 10\text{mm}$ . Dette gir potensiell energi lik:

$$\begin{aligned} E_p &= \frac{1}{2} \\ kx^2 &= 0.5 \times 4500 \frac{\text{N}}{\text{m}} \times 0.06 \text{ m}^2 \\ &= 8.1 \text{ J} \end{aligned} \tag{5}$$



Figur 12: Prosjektil, fjær og løp.

## Resultat

Ved avfiring, kunne både prosjektil og fjær skyte ut av løpet. Når fjæra også kommer ut, understreker det at ikke all energi gikk over til prosjektilet. I og med at fjæra bare spratt ut og landet noen centimeter etter løpet, velger vi å se bort i fra dette. Hovedproblemet her er den forstyrrende effekten som utløsermekanismen hadde på prosjektilet. Ved de fleste avfiringene, ville prosjektilet ikke gå rett frem, men til tider så mye som 30 grader ut til siden. Når det samtidig er snakk om en kort distanse med en såpass kraftig fjær på et så lett prosjektil, ble denne testen sett på som mislykket.

Tabell 13: Test resultat

Forventet	15 m lengde
Faktisk	7.3 m lengde
Status	Ikke godkjent

## 0.9 Luftstrøm

TEST ID	M.F.A
Krav ID	FK-02
Programvare	-
Testutstyr	Magnetventil SMC, magnetventil Fruugo litermål, gummihanske Vileda multisense str M/L, trykktank.
Dato	17. mars 2023
Utført av	Stian Birkeland, André Tøftum

### Rasjonale

Med tanke på at luftstrømmen er så sentral for utskytningshastigheten, er det fornuftig å finne den eksakte verdien av denne. Dette er også viktig for å verifisere at magnetventilene oppnår de verdiene som er gitt av produsenten.

### Testoppsett

Tanken trykkes og den medfølgende regulatoren settes til 5 bar. Luftslange kobles mellom tank og magnetventil. Deretter teipes en gummihanske på uttak av magnetventil slik at dette blir tett. Litermålet fylles halvfult med vann og den fastteipede og tomme gummihansken senkes ned. Vannstanden merkes til senere.

### Utførelse

Hensikten med dette oppsettet er å blåse opp gummihansken med en gitt impuls med lufttrykk fra magnetventilen og deretter måle volumøkningen av hansken i vann. Impulsen settes til 0,25 sekunder.

### Resultat

Tabell 14: Test resultat, Fruugo magnetventil

Forventet	$0.01 \frac{m^3}{s}$
Faktisk	$0.0028 \frac{m^3}{s}$
Status	Ikke godkjent

Resultatet viser at magnetventil fra Fruugo ikke når opp til kravene vi setter. Av denne grunn, blir de levert tilbake til produsent.

## 0.10 Kraft lineær aktuator

TEST ID	M_F_A
Krav ID	FK-02, FK-03
Programvare	-
Testutstyr	Lineæraktuator med kuleskrue og braketter, ny skrue, Arduino, Keysigt U8001A 24V strømkilde, ledninger, kjøkkenvekt og rør.
Dato	17. mars 2023
Utført av	Stian Birkeland, André Tøftum

### Rasjonale

I alle konsepter vi utvikler, har vi tatt utgangspunkt i å kunne bruke den medfølgende lineær aktuatoren til elevasjon av avfyringsløp. For å sikre at dette er mulig, er vi nødt til å sjekke at denne er kraftig nok for de nåværende konseptene samt finne designparametere for videre konsepter. Den har en enkel rolle: Å utøve kraft i en bestemt retning, vi ønsker å finne dens maksimale kraft. Dette forsøket utføres i et stadie hvor vi ikke har hatt mulighet til å programmere kontrolleren. Det er også vanskelig å si forutse egenskapene til denne da selve spindelen mangler kuler. Friksjonsmaterialet består da av selve skruen mot plast i spindelen, noe som gir høyere motstand enn originalt. Det kan hende vi får mulighet til å oppgradere styrken i motoren senere, men dette er noe vi ikke kan ta utgangspunkt i.

### Testoppsett

Ved å sette en kjøkkenvekt på høykant opp mot en vegg, vil denne kunne vise kreftene som blir påført i horisontal retning. Lineæraktuatoren settes på en boks slik at den kommer opp fra gulvet og treffer rett på vekten. Det sendes et signal til aktuatoren om å dytte spindelen med brakett ut mot et rør og deretter mot vekta. Det tas hensyn til at eventuelle dårlige toleranser på den sylindriske formen på skruen, ikke ikke skaper motstand ut mot røret. Vi får dermed en avlesning i gram fra vekta. Testene utføres 5 ganger og gjennomsnittet oppgis.

### Utførelse

Testen utføres med to forskjellige skruer. Først den originale, for å finne kreftene denne kan utføre. Deretter tester vi en M8 gjengestang som er boret opp med strammemuligheter til motoren. Sistnevnte er laget for å se om det er forbedringspotensiale opp mot den originale skruen. Bakgrunnen for dette er motstanden som den originale kuleskruen har siden den mangler flere kuler. M8 gjenger har også lavere stigning, 1.25 mm mot den originale 2.3 mm. Dette gir i praksis en lavere utveksling.

### Resultat

Til tross for et veldig bra resultat på 4400 gram på vekta, ble de resterende forsøkene veldig varierende. Ved enkelte forsøk, viste vekten så lite som 698 gram. Dette understreker hvor konsis den originale løsningen er, men viser også at den har et forbedringspotensiale. Den nye løsningen



Figur 13: Testoppsett for M.F.A.

Tabell 15: Test resultat, original skrue

Forventet	20 N
Faktisk	26.5 N
Status	Godkjent

Tabell 16: Test resultat, ny skrue

Forventet	25 N
Faktisk	6.9 N - 43.2 N
Status	Ikke godkjent

har et klart potensial, men det er tydelig at det ikke går an å lage av billig gjengestang som man finner i metallavfall. Grunnlaget for de varierende resultatene ansees å være på grunn av ukonsise gjenger og uforutsigbar friksjon mot mutter. Av denne grunn, ble forsøket på denne gjort med mutteren på flere steder på gjengestangen som kan forklare de ukonsise resultatene. Dersom behovet for større krefter skulle melde seg, er muligheten å lage av høyere kvalitet med innkjøpte emner.



## 0.11 Luftavfyring

TEST ID	M_PoC Luft_A
Krav ID	FK-01
Programvare	-
Testutstyr	Nerf piler, magnetventil, trykkluft, luftslanger, 12 V batteri
Dato	17. januar 2023
Utført av	Martin Haugerud, Stian Birkeland

### Rasjonale

For å verifisere at vi kan avfyre prosjektiler med trykkluft fra magnetventil, er det viktig å gjøre forsøk på dette. For at forsøket skal kunne utføres raskest mulig i prosjektet, er det valgt å bruke midlertidige deler som vi kunne anskaffes raskt.

### Testoppsett

Dette innebærer magnetventil med ukjent kapasitet og utslippshastighet. Som prosjektiler, har vi valgt å bruke innkjøpte Nerf Elite 2.0. Alle slanger som er brukt, har 4 mm indre diameter. Trykkluft, ble hentet ut fra systemet til universitetet. Magnetventil aktiveres med et 9 V batteri, noe som gjør at åpningshastighet kan avvike fra normal operasjon. Prosjektilet tres på slangen som igjen holdes i en fast vinkel, slakt oppover.

### Utførelse

For avfyring, aktiveres magnetventilen som gir trykkluft ut til slangen og deretter skyvekraft til prosjektilet. Det vil observeres hvordan variabler som trykkluft, avfyringsvinkel og prosjektilets egenskaper endrer bane, stabilitet og lengde for avfyringen.

### Resultat

Tabell 17: Test resultat

Forventet	20 m
Faktisk	16 m
Status	Ikke godkjent

Ved en rekke testfyringer, fant vi ut av flere variabler som vi må passe på videre i designfasen. Vi fikk noen testavfyringer med rett og fin bane, men en rekke forekjellige avvik ved andre. Noen prosjektiler splittet seg i avfyringsøyeblikket slik at de ikke kunne få krefter nok til å forlate løpet. Ved andre tilfeller, gikk prosjektilet rett i bakken etter en ustabil begynnelse. Luftrykket var også avtagende da universitetets kompressor ikke var påslått.

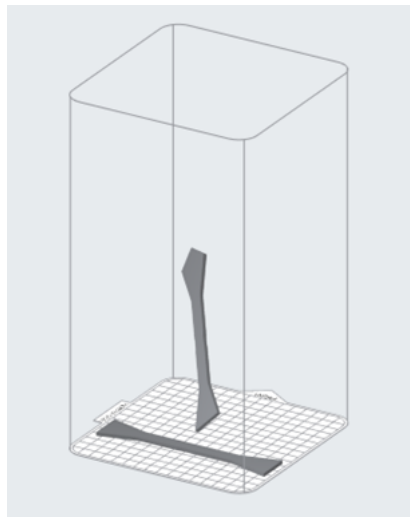
Dette gir en en rekke konklusjoner: Prosjektilene må være robuste med tanke på å kunne ta i mot høyt trykk internt. I tillegg trenger vi stabiliserende finner for å sikre oss mot ustabilitet i lufta. Noen flere selvfølgeligheter som utpekes er behovet for en rett avfyringsrampe og et konsist luftrykk.

## 0.12 Strekktest av polymer, versjon A

TEST ID	M_SP_A
Krav ID	-
Programvare	-
Testutstyr	LLOYD Instruments LR10K, Mahr GmbH – Esslingen 16EWR (skyvelære)
Dato	27. april 2023
Mål med test	Undersøke strekkfasthet og E-modul til Nylon 12, Tough PLA og ABS
Standard	Tatt utgangspunkt i ASTM D 638-02A
Utført av	Mini Guardian og MINRAD
Utført av	Karine Christensen og Martin Haugerud

Når man skal designe deler som skal produseres ved hjelp av 3D-printing, er det viktig å ha kunnskap om materialenes egenskaper. Det er mulig å finne datablader på produsentenes nettsider, men med tanke på alle faktorene som spiller inn på kvaliteten til en 3D-print er det ikke sikkert disse verdiene er reelle for det valgte produktet. Derfor er det nødvendig å utføre denne typen test, som gir en oversikt over blant annet materialets strekkfasthet og E-modul. Materialene benyttet i denne testen er Nylon 12, Tough PLA og ABS.

Det ble printet til sammen 46 teststaver hvorav ti er av Nylon 12, 18 av Tough PLA og 18 av ABS. Nylon 12 teststavene ble printet i to orienteringer, der fem var liggende mens fem er vridd 45 grader i x og y-retning som vist i fig. 14. Tough PLA og ABS teststavene ble printet i tre orienteringer der seks var stående, seks var liggende og seks staver var på skrå med en 45 graders vinkel med bunnplaten.



Figur 14: Oppsett av teststaver i nylon 12.

Pinterne som ble brukt til å produsere teststavene er av typene Formlabs Fuse 1+ og Ultimaker S5. Førstnevnte er en Selective Laser Sintering (SLS) printer som benytter nylon pulver. Ultimaker S5 er en Fused Deposition Modelling (FDM) printer som tar i bruk filament i form av en tråd, som i dette tilfelle vil si Tough PLA og ABS.

En viktig ting å huske på i forbindelse med 3D-printing, er at innstillingene man setter i

printerens slicer-program vil påvirke egenskapene til det ferdige produktet. Dette er innstillinger som lagtykkelse, grad av innfill og printer temperatur.

For å printe teststaver i SLS-printeren Formlabs Fusin 1+, ble slicer-programmet PreForm benyttet. Materialet som benyttes her kommer i form av pulver og blir sintret av en 30W Ytterbium fiber laser [4]. Lagtykkelsen er dermed omkring 110 mikron. Produktet som printes i en SLS-printer vil ha 100% innfill.

Printing med FDM skjer ved smelting av en plasttråd som igjennom ekstrudering blir legges lagvis for å danne ønsket form. Printerens viktigste innstillinger i denne testen var satt som tabell 18 viser.

Tabell 18: Print innstillinger FDM

	Tough PLA	ABS
Linjehøyde	0.1 mm	0.1 mm
Infill	100 %	100 %
Print temperatur	210°C	240°C
Byggeplate temperatur	60°C	85°C
Print hastighet	30.00 mm/s	30.0 mm/s
Viftemengde	100 %	2.0 %

Alle teststavene er printet med utgangspunkt i samme 3D-modell og skal ha tilnærmet samme tverrsnittareal, kun avvik fra 3D-printerne. Samtlige teststaver har et gage-område, eller test-område, på 80mm. Maskinen brukt til testene er en LLOYD Instruments LR10K på USNs materialteknisk lab.

Fra produsentens datablader, finner man materialenes teoretiske strekkfasthet og E-modul. Disse er som vist i tabell 19.

Tabell 19: Polymer verdier hentet fra datablad

	Nylon 12 [5]	Tough PLA [6]	ABS [7]
Strekkfasthet	50 MPa	33.4 - 47.5 MPa	38.1 MPa
E-modul	1850 MPa	2696 - 2797 MPa	1699 - 1962 MPa

På grunn av usikkerheter rundt produsentens testmetoder, er det ønskelig å utføre strekktester for å bekrefte verdiene. Verdiene vist i tabell er derfor testens hypotese.

Før start av test må teststavene nummereres og kontrollmåles for å få et så nøyaktig mål på tverrsnittet som mulig. Når målingene er logget kan emnet plasseres i maskinen og testen utføres. Testen utføres ved at maskinen strekker teststaven med en økende kraft helt til emnet kommer til brudd. I dette tilfellet trekker maskinen med en hastighet på 25 mm/s. Informasjon om kraft brukt og forlengelse før brudd logges av maskinen og blir vist i en kurve etter endt operasjon. Disse verdiene benyttes til å finne den maksimale spenningen materialet tåler, samt materialets E-modul. Etter endt test må informasjonen og kurven lagres og bruddets retning og plassering må undersøkes. Samtlige av de 46 stavene ble testet på samme måte og resultatene kan sees i fig. 15, 16 og 17.

Til venstre i tabellene ser man materialet som er benyttet, samt hvilken orientering staven er printet i. Som nevnt er det printet seks teststaver i hver av de tre orienteringene av PLA og

Nylon 12:	Test nummer	Bredden (mm)	Tykkelse (mm)	Areal (mm <sup>2</sup> )	Kraft (N)	Forlengelse (mm)	Spenning (Mpa)	E-modul (Mpa)	Brudttype
Liggende (0)	NO_1	10.18	3.11	31.66	1708.00	10.74	53.95	739.63	XGM
	NO_2	10.16	3.13	31.80	1607.00	10.21	50.53	738.10	LGM
	NO_3	10.13	2.97	30.09	1551.00	10.24	51.55	753.63	XGM
	NO_4	10.18	3.16	32.17	1675.00	10.21	52.07	772.58	XGM
	NO_5	10.19	3.11	31.69	1622.00	10.44	51.18	678.35	LGM
	Gjennomsnitt	10.17	3.10	31.48	1632.60	10.37	51.86	736.46	
	N45_1	10.11	2.97	30.03	1398.00	8.43	46.56	441.94	LGM
Skråstilt (45)	N45_2	10.13	2.97	30.09	1478.00	10.26	49.13	383.05	AGM
	N45_3	10.13	2.89	29.28	1399.00	8.57	47.79	446.30	LGM
	N45_4	10.16	2.92	29.67	1507.00	10.49	50.80	387.39	XTB
	N45_5	10.10	2.93	29.59	1493.00	9.75	50.45	414.00	XGM
	Gjennomsnitt	10.13	2.94	29.73	1455.00	9.50	48.94	414.54	

Figur 15: Restultat strekktest Nylon 12.

ABS, mens for Nylon 12 er det printet fem staver i hver av de to orienteringene. Hver teststav

Tough PLA:	Test nummer	Bredde (mm)	Tykkelse (mm)	Areal (mm <sup>2</sup> )	Kraft (N)	Forlengelse (mm)	Spenning (Mpa)	E-modul (Mpa)	Bruddtype
Liggende (0)	PLA0_1	10.20	2.92	29.78	1587.00	8.04	53.28	870.43	LGM
	PLA0_2	10.10	3.01	30.40	1632.00	8.30	53.68	851.62	LGM
	PLA0_3	10.10	3.00	30.30	1631.00	7.67	53.83	933.17	LGM
	PLA0_4	10.15	3.03	30.75	1608.00	8.06	52.29	907.11	LGM
	PLA0_5	10.16	3.01	30.58	1535.00	7.70	50.19	893.69	LGM
	PLA0_6	10.19	3.04	30.98	1576.00	7.02	50.88	966.45	LGM
	Gjennomsnitt	10.15	3.00	30.47	1594.83	7.80	52.36	903.74	
Skråstilt (45)	PLA45_1	10.11	2.93	29.62	1164.00	6.16	39.29	916.90	AGT
	PLA45_2	10.13	3.08	31.20	1365.00	7.45	43.75	794.94	AIT
	PLA45_3	10.13	3.04	30.80	1398.00	7.24	45.40	898.96	AGM
	PLA45_4	10.12	3.01	30.46	1351.00	7.70	44.35	848.00	AGB
	PLA45_5	10.12	3.02	30.56	1367.00	6.49	44.73	884.72	AGM
	PLA45_6	10.12	3.09	31.27	1289.00	6.56	41.22	864.34	AGT
	Gjennomsnitt	10.12	3.03	30.65	1322.33	6.93	43.12	867.98	
Stående (90)	PLA90_1	10.17	2.92	29.70	1003.00	4.93	33.78	815.07	LGM
	PLA90_2	10.04	2.78	27.91	736.20	3.36	26.38	627.83	LGM
	PLA90_3	10.13	2.94	29.78	960.50	4.64	32.25	781.59	LGM
	PLA90_4	10.15	2.99	30.35	1094.00	5.44	36.05	801.35	LGM
	PLA90_5	10.06	2.95	29.68	937.70	5.62	31.60	876.39	LGM
	PLA90_6	10.08	2.95	29.74	1070.00	5.78	35.98	856.36	LTT
	Gjennomsnitt	10.11	2.92	29.53	966.90	4.96	32.67	793.10	

Figur 16: Restultat strekktest Tough PLA.

er tildelt sitt eget testnummer, som kan sees i den andre kolonnen fra venstre. Videre ser man

ABS:	Test nummer	Bredde (mm)	Tykkelse (mm)	Areal (mm <sup>2</sup> )	Kraft (N)	Forlengelse (mm)	Spenning (Mpa)	E-modul (Mpa)	Bruddtype
Liggende (0)	ABS0_1	10.16	2.94	29.87	1110.00	7.05	37.16	562.06	XGM
	ABS0_2	10.15	2.95	29.94	1089.00	7.36	36.37	582.00	AGM
	ABS0_3	10.12	2.92	29.55	1112.00	7.27	37.63	587.44	LGM
	ABS0_4	10.07	2.95	29.71	1110.00	7.58	37.37	563.72	XGM
	ABS0_5	10.00	2.95	29.50	1131.00	7.63	38.34	692.62	LGM
	ABS0_6	10.02	2.96	29.66	1075.00	6.98	36.25	661.90	AGM
	Gjennomsnitt	10.09	2.95	29.70	1104.50	7.31	37.19	608.29	
Skråstilt (45)	ABS45_1	9.93	3.02	29.99	463.90	5.13	15.47	408.84	AIT
	ABS45_2	9.99	3.03	30.27	481.40	3.50	15.90	578.87	AIT
	ABS45_3	9.99	3.01	30.07	437.20	3.64	14.54	438.04	AIT
	ABS45_4	9.94	2.96	29.42	199.90	1.86	6.79	291.59	AGB
	ABS45_5	9.92	3.00	29.76	363.20	3.37	12.20	327.99	AIT
	ABS45_6	9.97	3.03	30.21	495.90	4.67	16.42	462.70	AIT
	Gjennomsnitt	9.96	3.01	29.95	406.92	3.70	13.55	418.01	
Stående (90)	ABS90_1	9.90	2.99	29.60	498.20	4.75	16.83	478.89	LIT
	ABS90_2	10.00	3.02	30.20	267.00	3.93	8.84	296.48	LIT
	ABS90_3	9.99	3.02	30.17	359.30	3.83	11.91	395.91	LIT
	ABS90_4	9.98	3.00	29.94	389.90	4.26	13.02	352.93	LIT
	ABS90_5	10.01	2.98	29.83	401.30	4.08	13.45	416.34	LIT
	ABS90_6	10.02	3.01	30.16	345.60	3.74	11.46	357.46	LIT
	Gjennomsnitt	9.98	3.00	29.98	376.88	4.10	12.59	383.00	

Figur 17: Resultat strekktest ABS.

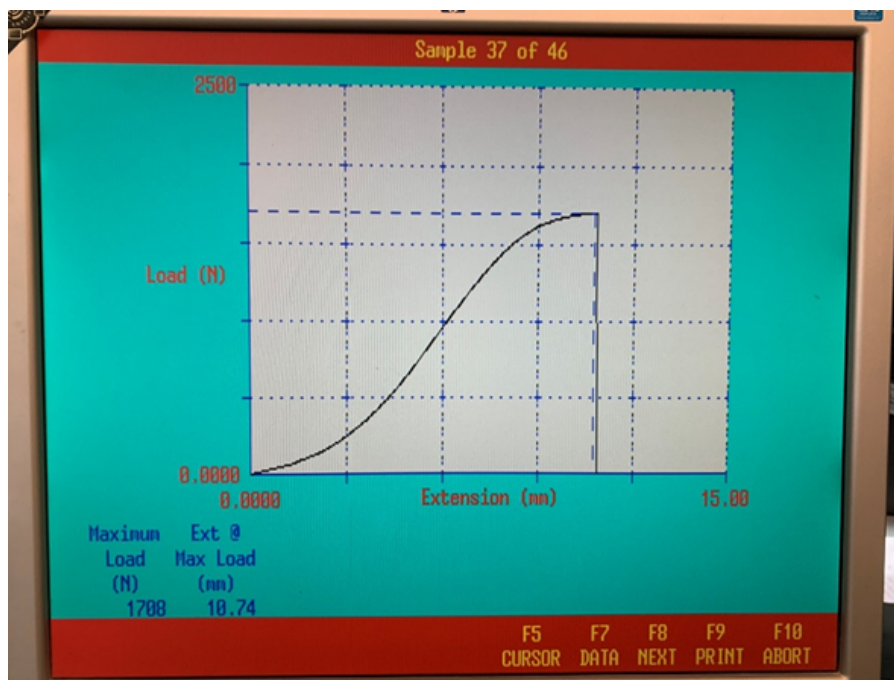
loggingen av bredde, tykkelse og tverrsnitt, før verdiene for kraft og forlengelse gitt av maskinen

sees. Deretter er strekkfasthet og E-modul regnet ut. Helt til høyre ser man bruddtype. Dette er en beskrivelse av hvordan bruddet som oppsto i teststaven ser ut og hvor det var plassert. Definisjonene av de forskjellige bokstavene kan sees i tabell 20.

Tabell 20: Bruddtyper ved strekktest.

Bruddretning	Område	Plassering
L(Lateral)	I(In grip)	T(Top)
A(Angular)	T(Transition)	M(Middle)
X(Not lateral or angular)	G(Gage)	B(Bottom)

Dette betyr at et brudd merket med «LGM» var et lateralt brudd i gage-området midt på staven.



Figur 18: Resultat strekktest N0\_1.

Figur 18 viser skjermen med informasjon man får fra maskinen etter en utført strekk-test. Verdiene for maks kraft brukt, og maks forlengelse før brudd kan sees med blå skrift.

En tilnærming til E-modulen ble regnet ut for samtlige 46 tester på samme forenklede måte som utregningen av E-modulen til teststav N0\_1 regnes ut her:

Vi vet at E-modulen er stigningstallet til kurven i spenning-tøyning-grafen og at  $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$  (Hookes lov), dermed er vi nødt til å finne disse verdiene.

Vi velger oss to punkter på grafen der kurven er tilnærmet lineær og finner kraften og forlengelsen her. Med en load axis på maks 2500N delt opp i fem deler, vil hver linje i vertikal retning representere 500N. Siden den mest lineære delen av kurven er mellom 500 og 1000 N, vil det være disse punktene som benyttes i utregningen. Extension axis er også delt inn i fem deler, med en maks verdi på 15mm. Dette betyr at hver linje i horisontal retning representerer 3mm. I de valgte punktene gir dette disse verdiene for kraft og forlengelse:

$$F_1 = 500 \text{ N}$$

$$F_2 = 1000 \text{ N}$$

$$X_1 = 4.30 \text{ mm}$$

$$X_2 = 6.1 \text{ mm}$$

$$L = 80.00 \text{ mm}$$

$$L_1 = L + X_1 = 80.00 + 4.30 = 84.30 \text{ mm}$$

$$A = 31.6 \text{ mm}^2$$

E-modul beregnes ut ifra 6. Denne er kommet frem til ved å sette inn formlene for forlengelse ( $\epsilon$ ) og spenning ( $\sigma$ ) inn i den originale formelen for E-modul.

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

$$\epsilon = \frac{X}{L}$$

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

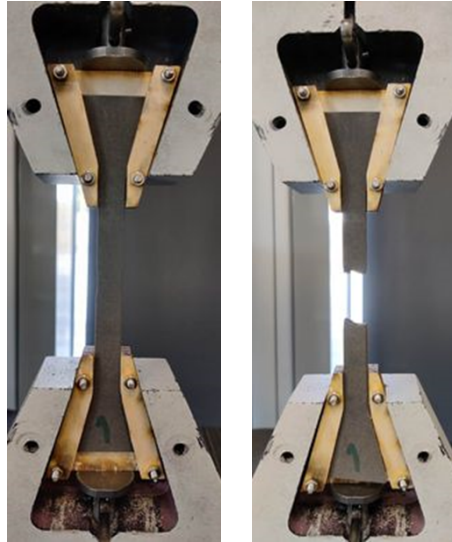
$$E = \frac{\frac{F_2 - F_1}{A}}{\frac{X_2 - X_1}{L_1}} \quad (6)$$

$$E = \frac{\frac{1000 - 500}{31,66}}{\frac{6,10 - 4,30}{84,30}}$$

$$E = 739.63 \text{ MPa}$$

I fig. 19 ser vi et bilde av hvordan teststavene festes i strekk-test-maskinen og et bilde av bruddet som oppsto på teststav N0.1.





Figur 19: Nylon 12 teststav: Ny teststav, t.v. og strekt teststav

Bruddet på N0.1 er av typen «XGM», som betyr at det er hverken lateralt eller angulært og befinner seg i gage-området og midt på staven.

Det konkluderes med at strekkfastheten til polymermaterialer varierer veldig ut ifra hvilket material det er og orienteringen det printes i.

For Nylon 12 viser liggende seg som den sterkeste orienteringen. Her oppnås et gjennomsnitt på 51.86 MPA, mens orienteringen på skråstilt oppnår 48.94 MPA i gjennomsnitt. Dette samsvarer godt med verdien for strekkfastheten fra databladet som var på 50 MPA. Nylon 12 er det materialet i testen som har jevnest strekkfasthet uansett orientering.

For Tough PLA er også liggende klart sterkest med et gjennomsnitt på 52.36 MPA. Variasjonen mellom orienteringene er klart større enn for Nylon 12 samtidig som det er mindre enn for ABS. Skråstilt og stående oppnådde henholdsvis gjennomsnittlig 43.12 MPA og 32.67 MPA. Verdiene for strekkfastheten samsvarer også her godt med verdiene fra databladet som var på 33.4 - 47.5 MPA. De store forskjellene i strekkfastheten skyldes orienteringen av printen.

For ABS er igjen liggende klart sterkest med en gjennomsnittlig strekkfasthet på 37.19 MPA. Både stående og skråstilt er betraktelig svakere med en gjennomsnittlig strekkfasthet på henholdsvis 12.59 MPA og 13.55 MPA. Med unntak av flat orientering, samsvarer disse verdiene dårlig med verdiene fra databladet som var på 38.1 MPA. Siden nesten samtlige brudd på teststaver i ABS i skrå og stående orientering er av typen AIT eller LIT, som vil si at de røk i den øvre innfestingen, er en potensiell feilkilde her. Resultatene er derfor noe usikre. Den mest sannsynlige feilkilden er dårlig adhesjon mellom lagene og eventuelt printfeil.

Resultatene for E-modul er jevnt over mye lavere enn oppgitt E-modul. Dette kan skyldes at utregningene er gjort på en forenklet måte grunnet u-lineær spenning-tøyning kurve. Andre faktorer som kan ha spilt en rolle er printens orientering og adhesjon mellom lagene.

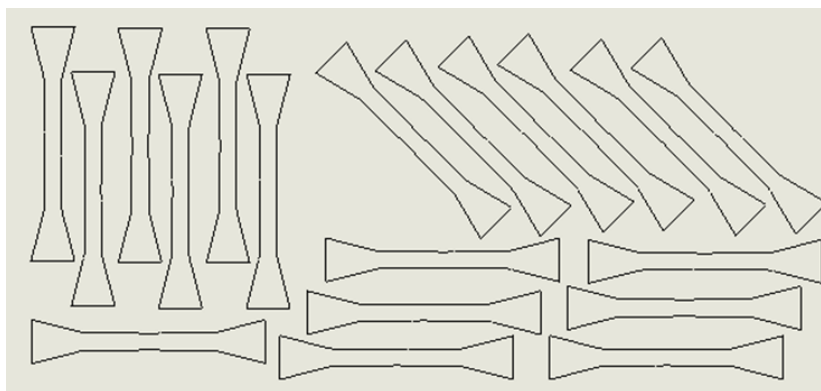
Ut ifra disse resultatene kan man se at Nylon 12 viser seg å ha den høyeste strekkfastheten av disse materialene. ABS ga helt klart de svakeste resultatene i testingen. Tough PLA har testens høyeste og jevneste E-modul, noe som tilsier at dette materialet har mest motstand mot elastisk deformasjon. ABS har testens laveste E-modul og har dermed minst motstand mot elastisk deformasjon. Materialenes strekkfasthet ser ut til å samsvare godt med oppgitte verdier mens E-modulen viser et større avvik.

### 0.13 Strekktest av kryssfiner, versjon A

TEST ID	M_SK_A
Krav ID	-
Programvare	-
Testutstyr	LLOYD Instruments LR10K, Mahr GmbH – Esslingen 16EWR (skyvelære)
Dato	03. mai 2023
Mål med test	Undersøke strekkfasthet og E-modul til kryssfiner
Standard	Tatt utgangspunkt i ASTM D 3500-90
Utført av	Martin Haugerud

Når man skal designe deler som skal produseres er det viktig å ha kunnskap om materiales egenskaper. Det er ikke mulig å finne datablader på forhandlerens nettsider, derfor er det nødvendig å teste materialet. Om det hadde vært et datablad hadde en slik test fortsatt vært aktuell med tanke på alle faktorene som spiller inn på kvaliteten som for eksempel lagringen. Denne typen test gir en oversikt over blant annet materialets strekkfasthet og E-modul. Materialet benyttet i denne testen er 3 lags kryssfiner av bjørk.

Det ble skjært ut til sammen 19 teststaver, hvorav en var for å korrigere måle-området til maskinen, seks var med langsgående fiber, seks med fiber i vinkel på 45 grader og seks med fiber på tvers. Nevnte fiberretninger er gitt i de to ytterste lagene da det midtre laget ligger 90 grader på de ytterste. Hvordan disse orienteringene ble skjært ut er vist i fig. 20.



Figur 20: Oppsett av teststaver i kryssfiner.

Laserkutteren som ble brukt til å produsere teststavene er av typen Epilog Laser Fusion M2. Denne har en 75 W laser som skjærer eller graverer blant annet kryssfiner. Laser skaper varme, også noe i partiet som ikke blir skjært vekk, men med riktige innstillinger som f.eks. hastighet, avstand og styrke så blir denne faktoren minimert.

Alle teststavene er produsert med utgangspunkt i samme 3D-modell og skal ha tilnærmet samme tverrsnittareal, kun avvik fra laserkutteren og eventuelle ujevnheter i kryssfinerplaten. Samtlige teststaver har et gage-område, eller test-område, på 80mm. Maskinen brukt til testene er en LLOYD Instruments LR10K på USNs materialteknisk lab.

Grunnen til de forskjellige orienteringene som er valgt å teste er at fibrene i treverket gjør så materialet er anisotropisk. Noe som vil si at det vil ha høyere styrke i en retning enn i en annen. Hypotesen i dette tilfelle er jo mere fiber i strekkretning jo sterkere materiale.

Før start av test må teststavene nummereres og kontrollmåles for å få et så nøyaktig mål på tverrsnittet som mulig. Når målingene er logget kan emnet plasseres i maskinen og testen utføres. Testen utføres ved at maskinen strekker teststaven med en økende kraft helt til emnet kommer til brudd. I dette tilfellet trekker maskinen med en hastighet på 0.625 mm/s.

Informasjon om kraft brukt og forlengelse før brudd logges av maskinen og blir vist i en kurve etter endt operasjon. Disse verdiene benyttes til å finne den maksimale spenningen materialet tåler, samt materialets E-modul. Etter endt test må informasjonen og kurven lagres og bruddets retning og plassering må undersøkes. Samtlige av de 18 stavene ble testet på samme måte og resultatene kan sees i fig. 21.

Kryssfiner	Test nummer	Bredde (mm)	Tykkelse (mm)	Areal (mm <sup>2</sup> )	Kraft (N)	Forlengelse (mm)	Spenning (Mpa)	E-modul (Mpa)	Bruddtype
Langs (0)	K0_1	9.88	3.32	32.80	2643.00	3.54	80.58	2470.58	XTT
	K0_2	9.88	3.32	32.80	2632.00	3.72	80.24	2192.85	XTB
	K0_3	9.88	3.34	33.00	2869.00	3.35	86.94	2795.98	XGT
	K0_4	9.74	3.30	32.14	3125.00	3.79	97.22	2737.47	XIT
	K0_5	9.79	3.36	32.89	1984.00	2.97	60.31	2503.11	XTB
	K0_6	9.88	3.35	33.10	1540.00	2.69	46.53	1961.94	XGM
	Gjennomsnitt	9.84	3.33	32.79	2465.50	3.34	75.30	2443.66	
Skrå (45)	K45_1	9.77	3.34	32.63	650.00	2.12	19.92	723.52	XGT
	K45_2	9.74	3.32	32.34	630.20	2.34	19.49	711.78	XGT
	K45_3	9.76	3.35	32.70	564.60	1.94	17.27	747.18	XGM
	K45_4	9.75	3.32	32.37	620.30	2.04	19.16	743.38	XGT
	K45_5	9.85	3.34	32.90	693.50	2.53	21.08	634.88	XGB
	K45_6	9.75	3.34	32.57	702.70	2.24	21.58	703.08	XGB
	Gjennomsnitt	9.77	3.34	32.58	643.55	2.20	19.75	710.64	
Tverr (90)	K90_1	9.95	3.34	33.23	2001.00	3.67	60.21	1805.11	LTB
	K90_2	9.92	3.32	32.93	2285.00	3.70	69.38	1879.78	LTT
	K90_3	9.89	3.34	33.03	2446.00	3.71	74.05	1957.41	LGT
	K90_4	9.88	3.30	32.60	1979.00	3.23	60.70	1976.53	LGM
	K90_5	9.90	3.31	32.77	1986.00	2.95	60.61	2068.20	XGM
	K90_6	9.89	3.26	32.24	1884.00	2.94	58.43	2059.65	LTB
	Gjennomsnitt	9.91	3.31	32.80	2096.83	3.37	63.90	1957.78	

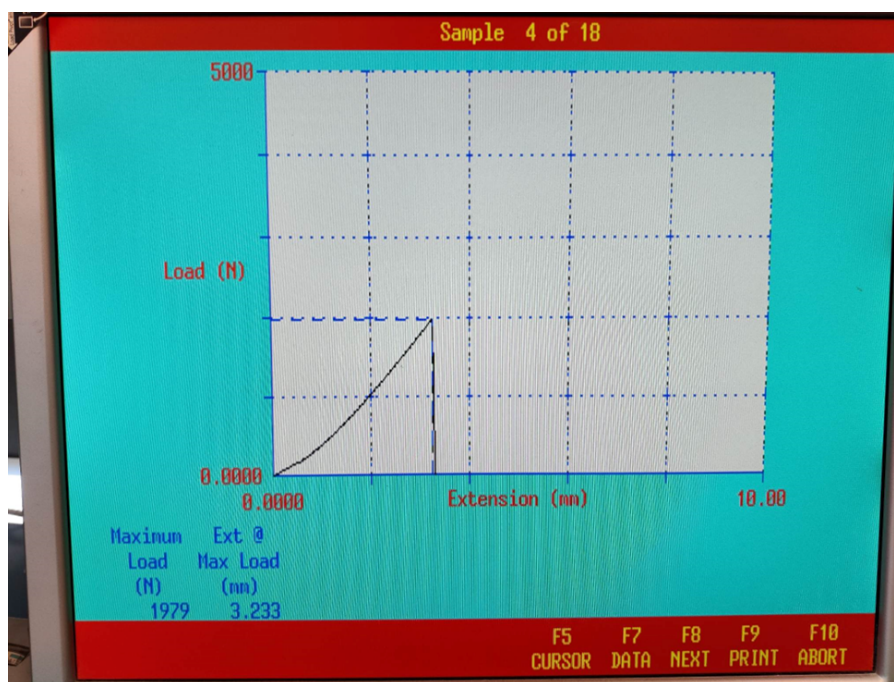
Figur 21: Resultat strekktest kryssfiner.

Til venstre i tabellene ser man materialet som er benyttet, samt hvilken orientering staven er printet i. Som nevnt er det printet seks teststaver i hver av de tre orienteringene av PLA og ABS, mens for Nylon 12 er det printet fem staver i hver av de to orienteringene. Hver teststav er tildelt sitt eget testnummer, som kan sees i den andre kolonnen fra venstre. Videre ser man loggingen av bredde, tykkelse og tverrsnitt, før verdiene for kraft og forlengelse gitt av maskinen sees. Deretter er strekkfasthet og E-modul regnet ut. Helt til høyre ser man bruddtype. Dette er en beskrivelse av hvordan bruddet som oppsto i teststaven ser ut og hvor det var plassert. Definisjonene av de forskjellige bokstavene kan sees i tabell 21.

Tabell 21: Bruddtyper ved strekktest.

Bruddretning	Område	Plassering
L(Lateral)	I(In grip	T(Top)
A(Angular)	T(Transition)	M(Middle)
X(Not lateral or angular)	G(Gage)	B(Bottom)

Dette betyr at et brudd merket med «LGM» var et lateralt brudd i gage-området midt på staven.



Figur 22: Restultat strekktest K90\_1.

Figur 22 viser skjermen med informasjon man får fra maskinen etter en utført strekk-test. Verdiene for maks kraft brukt, og maks forlengelse før brudd kan sees med blå skrift.

E-modulen ble regnet ut for samtlige 18 tester på samme forenklete måte som utregningen av E-modulen til teststav K90\_4 regnes ut her:

Vi vet at E-modulen er stigningstallet til kurven i spenning-tøyning-grafen og at  $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$  (Hookes lov), dermed er vi nødt til å finne disse verdiene.

Vi velger oss to punkter på grafen der kurven er tilnærmet lineær og finner kraften og forlengelsen her. Med en load axis på maks 5000 N delt opp i fem deler, vil hver linje i vertikal retning

representere 1000 N. Extension axis er på maks 10 mm, slik at hver strek er 2 mm. Siden den mest lineære delen av kurven er fra 2 mm og til 3.233 mm, vil det være disse punktene som benyttes i utregningen. I de valgte punktene gir dette disse verdiene for kraft og forlengelse:

$$F_1 = 1010 \text{ N}$$

$$F_2 = 1979 \text{ N}$$

$$X_1 = 2.000 \text{ mm}$$

$$X_2 = 3.233 \text{ mm}$$

$$L = 80.000 \text{ mm}$$

$$L_1 = L + X_1 = 80.000 + 2.000 = 82.000 \text{ mm}$$

$$A = 32.604 \text{ mm}^2$$

E-modul beregnes ut ifra 7. Denne er kommet frem til ved å sette inn formlene for forlengelse ( $\epsilon$ ) og spenning ( $\sigma$ ) inn i den originale formelen for E-modul.

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

$$\epsilon = \frac{X}{L}$$

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

$$E = \frac{\frac{F_2 - F_1}{A}}{\frac{X_2 - X_1}{L_1}} \quad (7)$$

$$E = \frac{\frac{1979 - 1010}{32.604}}{\frac{3.233 - 2.000}{82.000}}$$

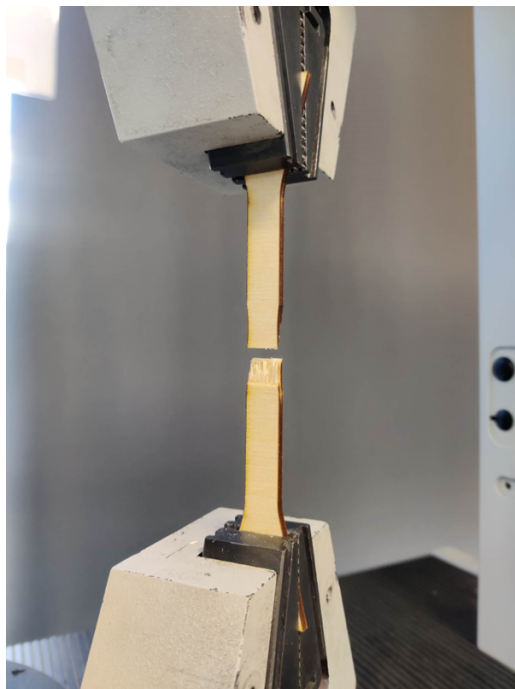
$$E = 1928.32 \text{ MPa}$$

Figur 23 viser et bilde av hvordan teststavene festes i strekk-test-maskinen og et bilde av bruddet som oppsto på teststav K90\_4:

Bruddet på K90\_4 er av typen «LGM», som betyr at det er lateralt og befinner seg i gageområdet og midt på staven.

Det konkluderes med at strekkfastheten til kryssfiner varierer veldig med orienteringen til fiberne. I tillegg har verdier som fuktighet og mengde kvist i materialet mye å si.

Sterkeste orientering i forhold til strekkfasthet viser seg å være som forutsett, den retningen hvor to av lagene hadde orientering langs staven. Her oppnås et gjennomsnitt på 75.3 MPa. Mens orienteringen med kun det midterste laget langs strekkretningen fikk et gjennomsnitt



Figur 23: Strekt teststav K90\_4 i testapparatet.

på 63.9 MPa. Den dårligste retningen var der alle lagene hadde en 45 graders vinkel mellom strekkretning og fibre. Denne fikk en gjennomsnittlig strekkfasthet på kun 19.75 MPa.

Resultatene for E-modul varierer også mye i forhold til diverse orienteringer. Innenfor E-modul ble resultatene at den langsliggende fiber i to av lagene var sterkest, den med kun midterste lag langsgående var i midten. Igjen ble resultatet lavest for den orienteringen hvor ingen av lagene lå med fiberretning lik strekkretningen.

Resultatene gir oss informasjon om hvor viktig orientering er når det gjelder kryssfiner. I tillegg viser de hvor stor forskjell det kan være i areal, strekkfasthet og E-modul selv i lik orientering.

## 0.14 Burn off test karbonfiber kompositt, versjon A

TEST ID	M.BOK.A
Krav ID	-
Programvare	-
Testutstyr	Nabertherm L3/S (Varmeovn), Mahr GmbH – Esslingen 16EWR (Skyvelære), Sartorius BA2100S (Vekt)
Dato	5. mai 2023
Mål med test	Undersøke vektprosent av fiber i karbon kompositt
Standard	Tatt utgangspunkt i ASTM D 2584-94
Utført av	Martin Haugerud

Under en designprosess er det viktig å ha kunnskap om eventuelle materialer som kan brukes. For å kunne regne på egenskapene til et komposittprodukt kan det være lønnsomt å vite vektprosenten av fiber. Dette blant annet for å kunne benytte «rule of mixture», som er en måte å finne ut av egenskapene til et kompositt ved å vite hvor fiber det er i forhold til matrise.

Burn off testen er en test som benytter varme for å fjerne epoxy-matrisen i kompositten, slik at i dette tilfelle, kun karbon blir igjen. Det ble testet med 5 teststykker, på ca. 25 mm \* 25 mm. Disse blir først veid, så utsatt for høy temperatur før de ble veid igjen.

Teststykkene er av samme plate som eventuelle deler vil bli laget ut ifra grunnet store forskjeller i ulike plater. Denne platen er av 4 lag med HexPly 8552 LM7, som har herdet i en autoklave. Lagene ble lagt i samme retning. Disse ble frest ut med en CNC 6040Z fres, med en 1.5mm tykk fres. Hstigheten på fresen var 20000 RPM og 350 mm/min mating.



Karbon	Test nummer	Bredde (mm)	Tykkelse (mm)	Høyde (mm)	Volum (mm <sup>3</sup> )	Tetthet (g/cm <sup>3</sup> )	Start-vekt (g)	Sluttvekt (g)	Vektprosent fiber	Vektprosent matrise
	K_1	25.50	25.22	0.99	636.68	1.29	0.82	0.54	65.85	34.15
	K_2	25.38	25.15	0.95	606.39	1.39	0.84	0.55	65.48	34.52
	K_3	25.35	25.23	0.98	626.79	1.32	0.83	0.55	66.27	33.73
	K_4	25.46	25.17	0.95	608.79	1.36	0.83	0.54	65.06	34.94
	K_5	25.42	25.17	0.97	620.63	1.35	0.84	0.55	65.48	34.52
	Gjennomsnitt	25.42	25.19	0.97	619.85	1.34	0.83	0.55	65.63	34.37

Figur 24: Resultat burn off test kompositt.

Til venstre i tabellen ser man materialet som er benyttet. Hvert teststykke blir tildelt hvert sitt testnummer som kan sees i den andre kolonnen fra venstre. Videre ser man logging av bredde, tykkelse, høyde og volum. Deretter er det logging av tetthet, start og sluttvekt. Tilslutt er det vektprosent i fiber og matrise.



Figur 25: Karbon teststykke: Nytt teststykke 1 t.v. og ferdig varmet teststykke.

Figur 25 viser et teststykke før og etter testen. Bildet etter testen viser alle lagene i teststykket, da disse er lette å skille når matrisen er borte.

Testen viser at gjennomsnittlig vektprosent av fiber i denne platen er 65.63%. Noe som er litt mer enn vanlig for denne pre-preg karbonfibertypen, er vanligvis 63%. En mulig grunn for dette er at noe av matrisen ble presset utenfor karbonfiberen under prosessen i autoklaven. En annen viktig parameter som ble regnet ut når denne testen ble utført er tettheten. Gjennomsnittlig tetthet viste seg å være  $1.34 \text{ mm}^3$ .

## 0.15 Statisk analyse av høyre motorfeste, versjon A

TEST ID	M.SWhM.A
Krav ID	-
Programvare	SolidWorks
Testutstyr	Høyre motorholder assambly (3D tegning)
Dato	17. april 2023
Mål med test	Undersøke om asimutbrakett tåler krefter fra asimutmotor og kanonring.
Utført av	Martin Haugerud

### Rasjonale

For å forhindre materielle skader på grunn av underdimensjoneringer, er det viktig å gjøre beregninger på dette på forhånd. En god metode å gjøre dette på, er Finite element method (FEM) analyse. En komponent velegnet til denne prosessen er motorholderne til drivmotorene. Motorholderne er designet slik at de kan bli produsert i ulike materialer.

### Modell informasjon

Modellen analysen er utført på inneholder to deler, disse er motorholder og et C-feste, disse er vist i fig. 26. C-feste er til for å fordele kreftene fra skruene som går inn i motoren på ett større areal.

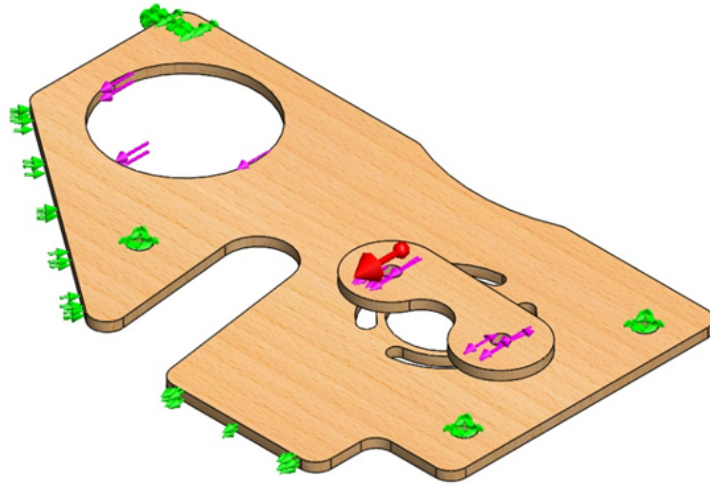


Figur 26: Høyre motorholder i kryssfiner.

Materialet til modellen er kryssfiner, som er egendefinert i SolidWorks ut ifra de laveste gjennomsnittresultatene i strekktesten av kryssfiner 0.13. Under en FEM analyse er det hovedsakelig tre viktige punkter utenom materialdefinerings. disse er; Laster, låsinger og meshing.

### Laster og låsinger

Laster og låsinger blir definert på flater for at programmet skal kunne beregne hvordan kreftene vil oppføre seg. Alle laster og låsinger er synlig på fig.



Figur 27: Laster og låsinger til høyre motorholder.

Laster som er definert:

- Rød pil - Gravitasjonskrefter fra modellen i seg selv
- Lilla piler i samme retning som rød pil - Gravitasjonskrefter fra motorene
- Lilla piler på C-brakett som peker i to retninger - Maksimalt moment motorene klarer å kjøre

Låsinger som er definert

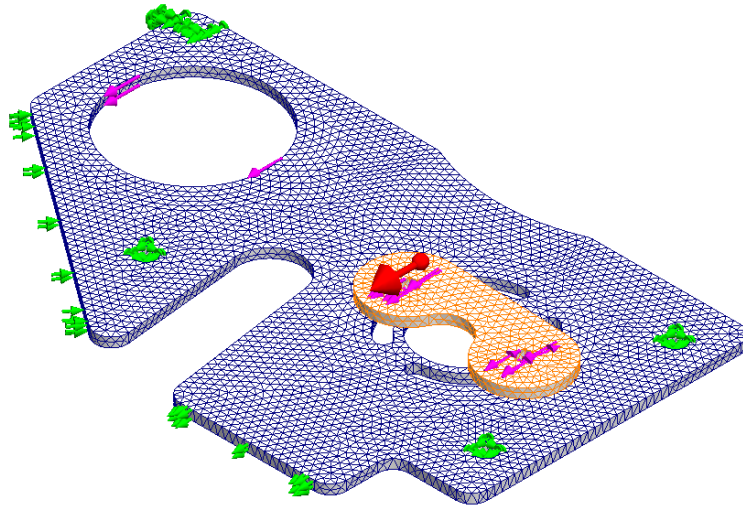
- Grønne piler i skruehull - Fastmontert
- Grønne piler på flate flater - Glideflater

Forholdet imellom C-braketten og motorholderen er definert som bondedda friksjonen imellom disse gjør så de vil oppføre seg slik.

## Meshing

Defineringen av hvor nøye programvaren skal være, skjer under meshing. På denne måten defineres hvor stor hvert element i hele meshet eller nettet er. I tillegg blir det definert om det skal være på midtnoder eller ikke.

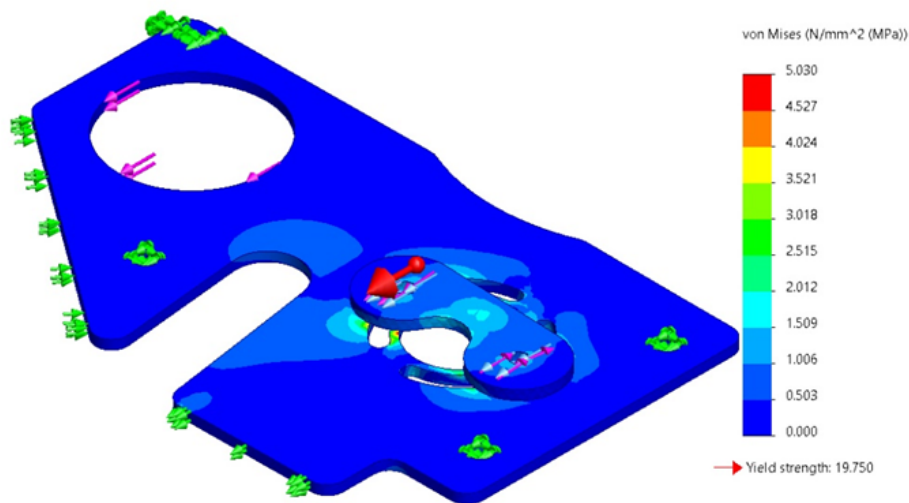
Resultatet blir mer nøyaktig med finere mesh, mens det tar lengre tid å gjennomføre analysen. Derfor blir det benyttet fint mesh med midtnoder på motorholderen, mens noe grovere mesh uten midtnoder på C-festet. Analysen er utført for å se om selve motorbraketten holder, ikke C-festet da denne er overdimensjonert. Meshet er vist i fig. 28, der blått betyr at midtnoder er brukt, mens oransje betyr det ikke er midtnoder.



Figur 28: Mesh til høyre motorholder.

## Resultat

Analysen ga oss resultat om hvordan spenningen fordeler seg i delene, dette er vist i fig. 29. Det punktet med høyest spenning opplever en spenning på 5,03 MPa. Kryssfineren tåler 19,75 MPa, som betyr at vi får en sikkerhetsfaktor på  $S.F. = \frac{19,75}{5,03} = 3,9$ .



Figur 29: FEM-analyse resultat til høyre motorholder.

En minimum sikkerhetsfaktor for dette produktet er satt til 2. Dette er med tanke på ujevnhettene som kan være i materialet og uventede krefter på holderen ved kjøring over for eksempel en sten.

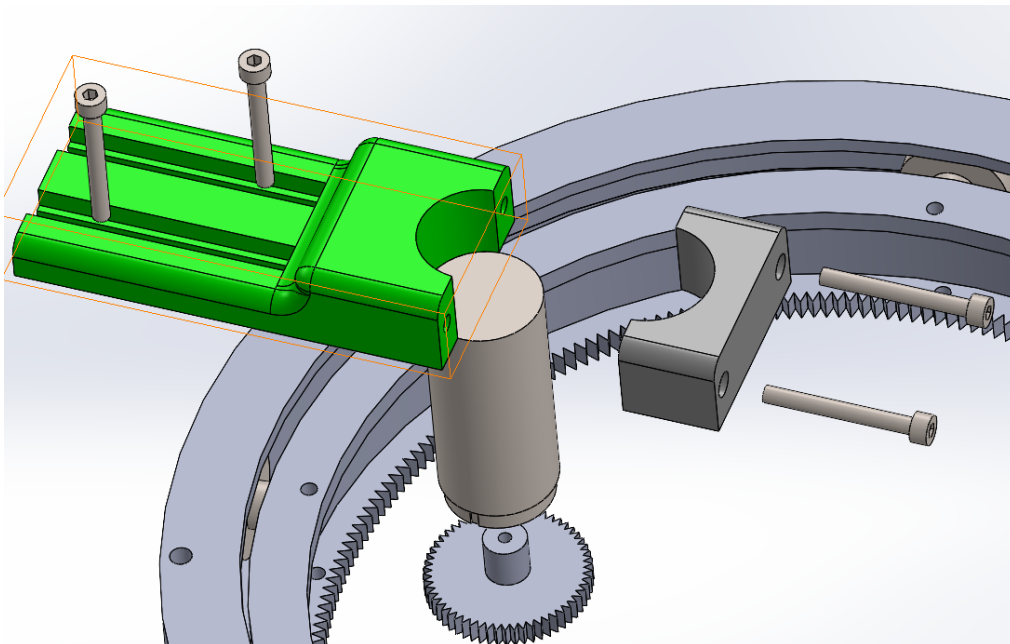
En sikkerhetsfaktor på 3,9 er da mer enn godt nok. Det resultatet er godt nok til at en analyse på venstre motorholder ikke vil være nødvendig.

## 0.16 Statisk analyse av holder til asimutmotor, versjon A

TEST ID	M.SWah_A
Krav ID	-
Programvare	SolidWorks
Testutstyr	Høyre motorholder assambly (3D tegning)
Dato	11. mai 2023
Mål med test	Undersøke om motorholder tåler kreftene fra motorene.
Utført av	Stian Birkeland

### Rasjonale

For å forhindre materielle skader på grunn av underdimensjoneringer, er det viktig å gjøre beregninger på dette på forhånd. En god metode å gjøre dette på, er Finite element method (FEM). En komponent velegnet til denne prosessen er holderen til asimutmotoren. Denne motoren skal svinge tårnet for horisontal innsikting mot målet. For å holde denne, ble det først tiltenkt å CNC-frese en brakett, men det ble ansett som mulig å bruke en 3D printet utgave. Materielet ble da valgt til Tough PLA, testet i 'Strekktest av polymer. Bakgrunnen for dette valget, er strekktestene som viste at dette hadde høyest E-modul. Dette er viktig i en sammensetning med lite toleranse for elastisk deformasjon.



Figur 30: Asimutbrakett i grønt.

### Modell informasjon

Braketten ble først designet i en komponent, for så splittet i en indre og ytre del. Som vist i fig.30, er det den indre komponenten som skal testes. Motoren legges i uthulingen og festes med den ytre delen med to skruer. Så festes hele sammensetningen til bunnplaten med to skruer i

de bakre sporene. Disse sporene gjør det mulig å justere tannhjulets avstand til kanonringen. Slik forsvant behovet for nøyaktig oppmålte hull.

### Testoppsett

Det ble laget en komponent som representerer motoren og tannhjulet for å kunne overføre kreftene fra tannhjulet til braketten på riktig måte. Samtidig ble det også laget en kloss som representerer bunnplaten for å forenkle simulasjonen. Det ble også bestemt å bruke modeller av skruene fremfor å la SolidWorks modellere disse automatisk. Dette fordi automatiske fikk problemer ved store forskyvninger ved senere forsøk.

### Laster og låsinger

Laster som er definert:

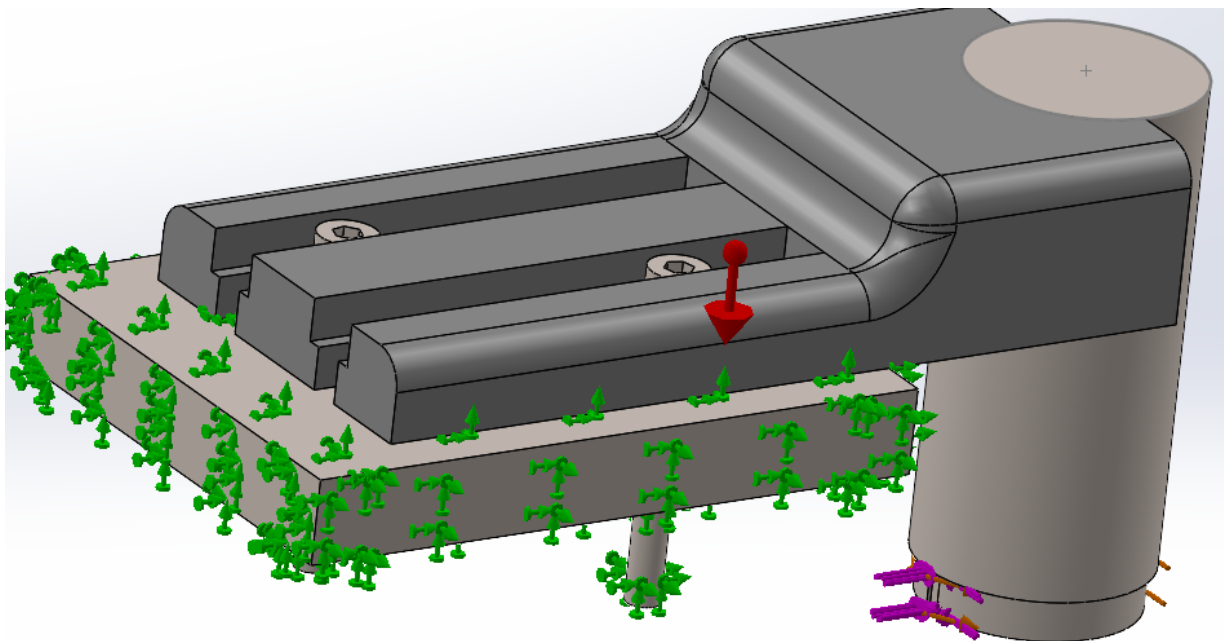
- Rød pil - Gravitasjonskrefter fra modellen i seg selv
- Lilla piler på angrepspunkt - Krefter som tannhjuler utøver på motoren ved rotasjon.
- Lilla piler rundt tannhjul - Dreiemoment som representer motorens maksimale ytelse.

Låsinger som er definert:

- Grønne piler på platen - Fastmonert
- Grønne piler på skruene - Fastmonert

Interaksjoner som er definert:

- Motor og brakett - Bonded, da disse er klemt sammen av den ytre braketten.
- Brakett og bunnplate - Contact med 0.2 i friksjonskoeffisient da dette er typisk friksjon mellom stål og plast.
- Skruer og brakett - Bonded, da disse er klemt sammen.

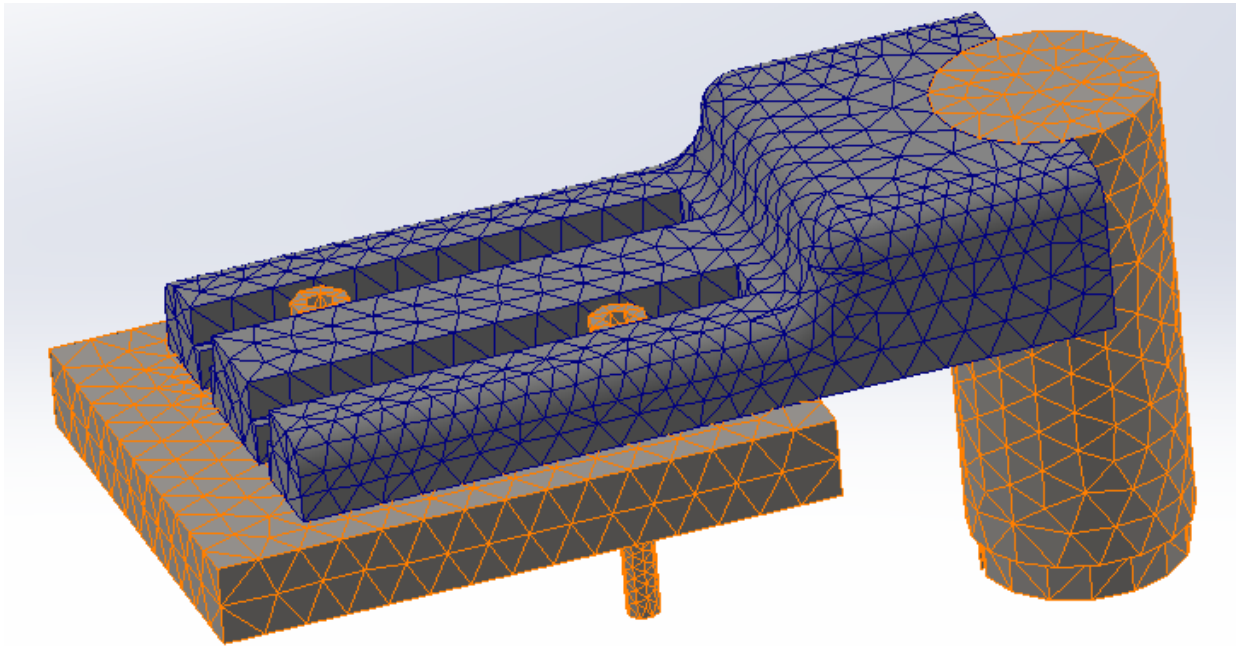


Figur 31: Lasting og låsinger av sammenstillingen.



## Meshing

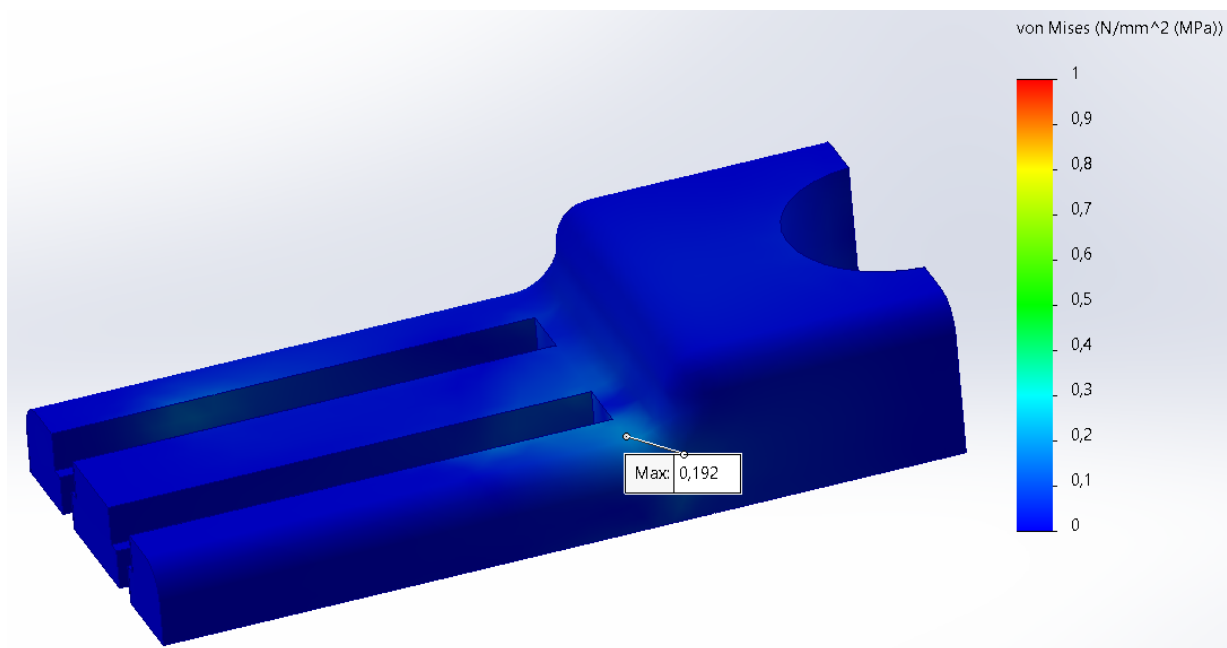
Meshingen ble delt opp komponenter i små deler som separat ble beregnet mot belastninger og vridninger. Jo finere disse delene var, jo mer nøyaktig kunne beregningene foregå. Ettersom det er selve braketten som undersøkes her, er det naturlig å ha finere mesh på denne. Dette gjøres ved å sette denne komponenten til *High* og de resterende delene til *Draft*. Det som da skjer er at meshet i braketten for midtnoder, som gir ytterligere kontaktpunkter mot nærliggende mesh.



Figur 32: Mesh i sammenstillingen. Blått med midtnoder. Orange uten midtnoder.



## Resultat



Figur 33: Spenningsforekomster i braketten.

De lave spenningsforekomstene som resulterte, gjorde at man kan se bort i fra skader på denne ved ordinært bruk. Dette betyr også at vi kan redusere strammingen av skruene som fester braketten i bunnplaten. Formålet med dette, blir klart i neste test. Ytterligere info finnes i eksternt vedlegg 'Styrkeberegning Asimut brakett Operativ'.

## 0.17 Statisk analyse av holder til asimutmotor, versjon B

TEST ID	M.SWah_A
Krav ID	-
Programvare	SolidWorks
Testutstyr	Høyre motorholder assambly (3D tegning)
Dato	11. mai 2023
Mål med test	Undersøke om motorholder tåler kreftene fra motorene.
Utført av	Stian Birkeland

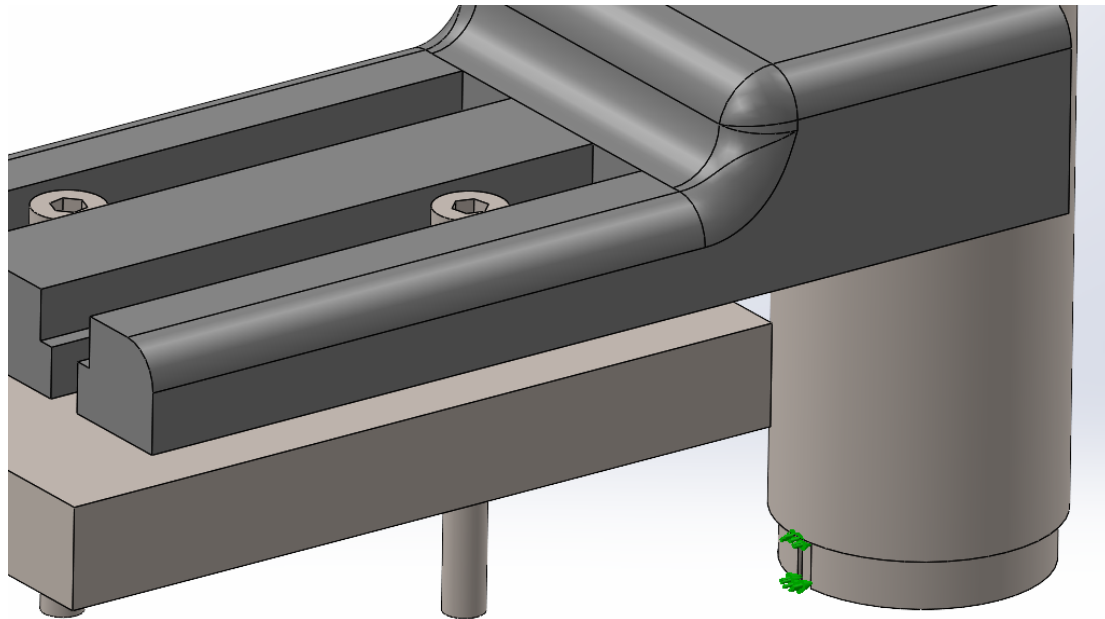
### Rasjonale

Med asimutbraketten godkjent for normale operasjoner, vil det være hensiktsmessig å simulere om den kan tåle belastninger utover normalt bruk. Siden KLVen er en manøvrerende maskin, er det alltid en risiko for at denne kan kollidere med andre objekter. Det kan også oppstå klemfare ved tårnet som en roterende del. Da vil det være mange komponenter som er utsatt for skader som kan være vanskelig å erstatte. Braketten kan enkelt 3D printes. Formålet med denne nye testen blir da å undersøke om denne kan ofre seg for å forhindre skader på andre systemer.

### Testoppsett

Testoppsett i versjon B er stort sett likt som versjon A. Kreftene fra motoren reduseres av en 1.5 mm forskyvning av tannhjulet i retning vekk fra tennene i kanonringen. Dette simulerer situasjoner hvor en ytre kraft påvirker kanontårnet til rotasjon og tannhjulet ikke klarer rotere med. Det vil også komme sideveis krefter av dette, men disse utelukkes så lenge komponenten viser at den vil svikte uten.

## Laster og låsinger



Figur 34: Grønne piler indikerer 1.5 mm translasjon.

Laster som er definert:

- Grønne piler - 1.5 mm translasjon for å gå klar av tannring.

Låsinger som er definert:

- Platen - Fastmontert
- Skruene - Fastmontert

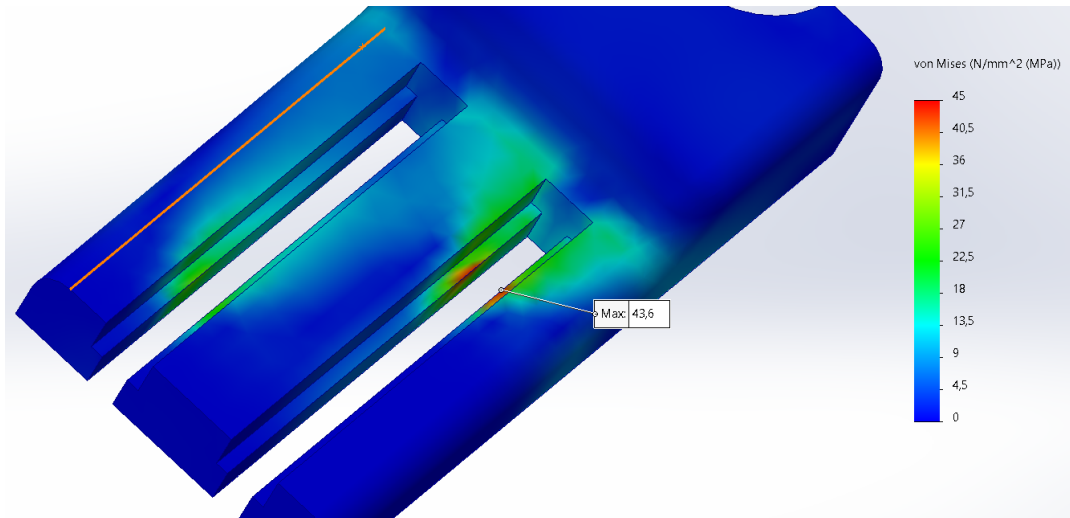
Interaksjoner som er definert:

- Motor og brakett - Bonded, da disse er klemt sammen av den ytre braketten.
- Brakett og bunnplate - Contact med 0.2 i friksjonskoeffisient da dette er typisk friksjon mellom stål og plast.
- Skruer og brakett - Bonded, da disse er klemt sammen.

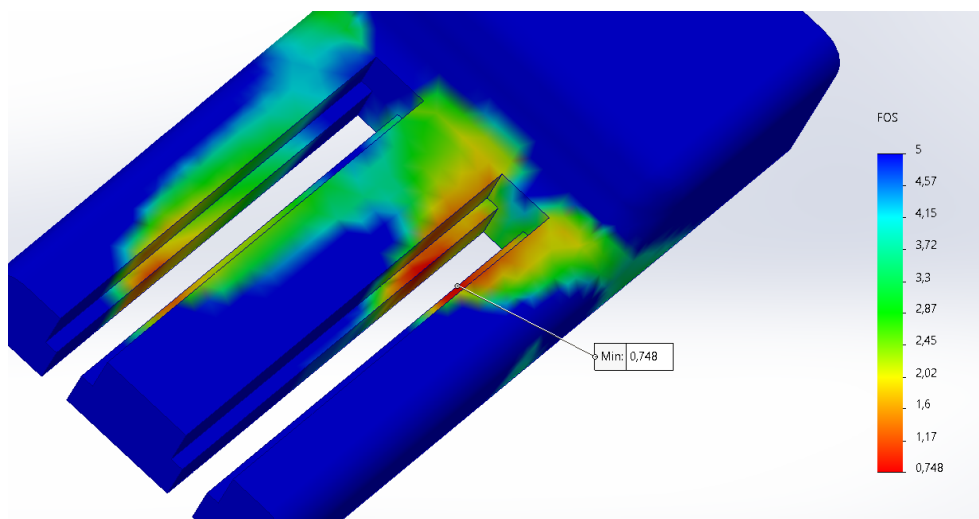
## Meshing

Meshingen gjøres på samme måte som test A. Denne ble delt opp komponenter i små deler som separat ble beregnet mot belastninger og vridninger. Jo finere disse delene var, jo mer nøyaktig kunne beregningene foregå. Ettersom det er selve braketten som undersøkes her, er det naturlig å ha finere mesh på denne. Dette gjøres ved å sette denne komponenten til *High* og de resterende delene til *Draft*. Det som da skjer er at meshet i braketten for midtnoder, som gir ytterligere kontaktpunkter mot nærliggende mesh.

## Resultat



Figur 35: Spenningsforekomster i braketten.



Figur 36: Sikkerhetsfaktor i braketten.

Siden en tvangsrotasjon av tårnet gjorde at braketten ga etter og muligens ble ødelagt, vil det være naturlig å anta at denne kan ofre seg for mer vitale komponenter. Dette er en ønskelig egenskap da denne er lettprodusert og lett og bytte. Dette, sammen med resultater fra analyse versjon A, gjør også at man kan eksperimentere med lettere stramming av skruene mot platen. Slik kan den lettere vri seg unna i en uønsket situasjon. Ytterligere info finnes i eksternt vedlegg 'Styrkeberegning Asimut brakett Destruktiv'.

## 0.18 Strekktest karbonfiber kompositt, versjon A

TEST ID	M_SKK_A
Krav ID	-
Programvare	-
Testutstyr	Esslingen 16EWR (Skyvelære), XXXXXXXX (strekktestmaskin)
Dato	12. mai 2023
Mål med test	Undersøke strekkfasthet av karbon kompositt
Standard	Tatt utgangspunkt i ASTM D-3039
Utført av	Martin Haugerud, Stian Birkeland og Kåre Særen

Under en designprosess er det viktig å ha kunnskap om eventuelle materialer som kan brukes. Derfor er strekktest en god måte å finne blandt annet strekkfasthet og E-modul på.

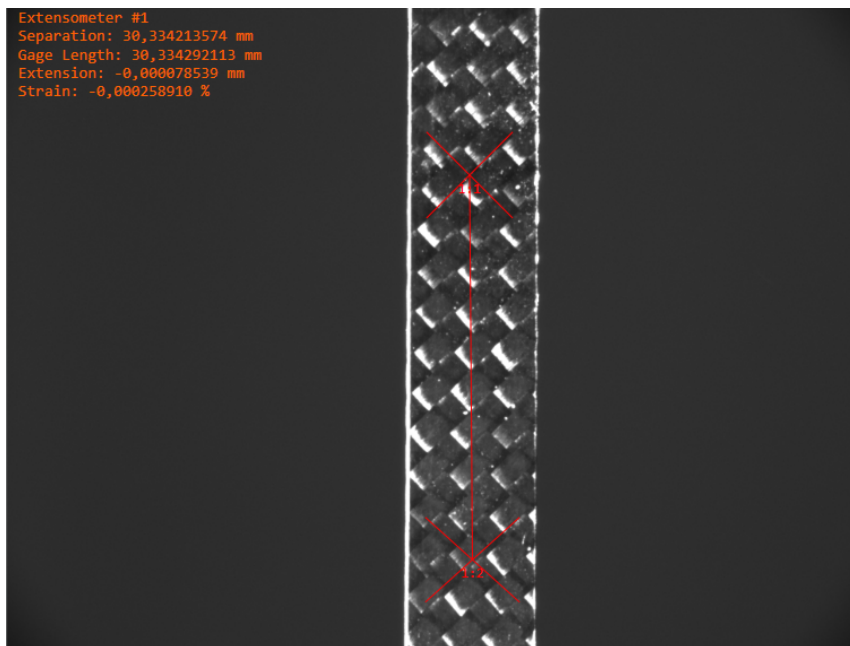
Strekktesten ble tatt av tre staver laget av samme plate med 4 lag med HexPly 8552 LM7, som har herdet i en autoklave. Lagene ble lagt i samme retning. Disse ble frest ut med en CNC 6040Z fres, med en 1.5mm tykk fres. Hstigheten på fresen var 20000 RPM og 350 mm/min mating. Stavene har en størrelse på 10x120mm.

Strekktesten blir utført i en slik retning at bibrene ligger i en  $\pm 45^\circ$  orientering. Ut ifra en tommelfingerregel vil da strekkfastheten være rundt en fjerdedel av oppgitte spenning i datablad. Som vil si  $\frac{979}{4} = 195.8MPa$  [8].

Før start av test må teststavene nummereres og kontrollmåles for å få et så nøyaktig mål på tverrsnittet som mulig. Når målingene er logget kan emnet plasseres i maskinen og testen utføres. Testen utføres ved at maskinen strekker teststaven med en økende kraft helt til emnet kommer til brudd. I dette tilfellet trekker maskinen med en hastighet på 2 mm/s. I tillegg for å få mer rette resultater er det her også sjekket luftfuktigheten og temperaturen, før disse verdiene er skrevet inn til maskinen.

Maskinen slet med å få gripe i strekkstavene, dermed ble abrasivt papir benyttet innenfor gripet, slik som beskrevet i standarden. I dette tilfelle ble smergelpapir med P120 brukt.

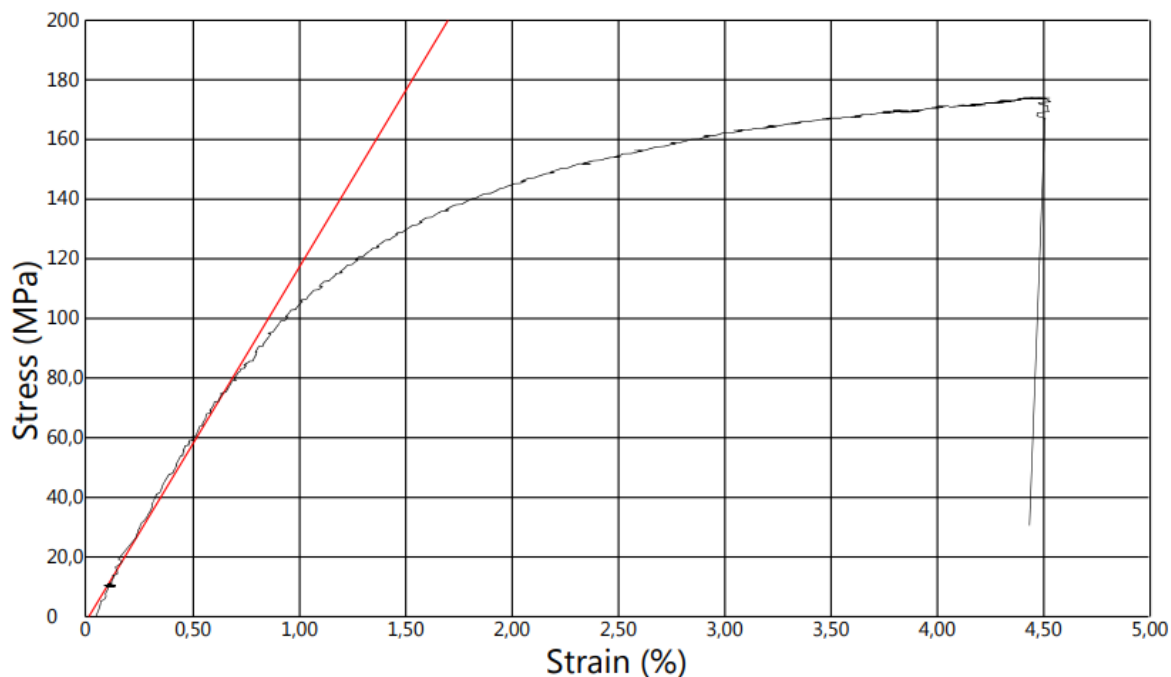
Maskinen i denne testen bruker et veldig presist kamera til å se etter forlengelse mens en lastsensor på selve maskinen kjenner etter kraften som brukes. inne i programvaren til maskinen definerer man to punkter som maskinen skal følge med på under testingen, dette kan sees i fig. 37. Etter definering av disse punktene startes strekkingen.



Figur 37: Definerings av punkter via kamera for å se forlengelse.

Resultatene til teststav nr. 1 er vist i fig. 38. Her er en graf for forholdet imellom spenning og forlengelse vist. I tillegg til data om størrelse på testemnet og verdier fått ut av testen. E-modulen blir her regnet ut av maskinen i forhold til området med 25-50% av spenningen i grafen.

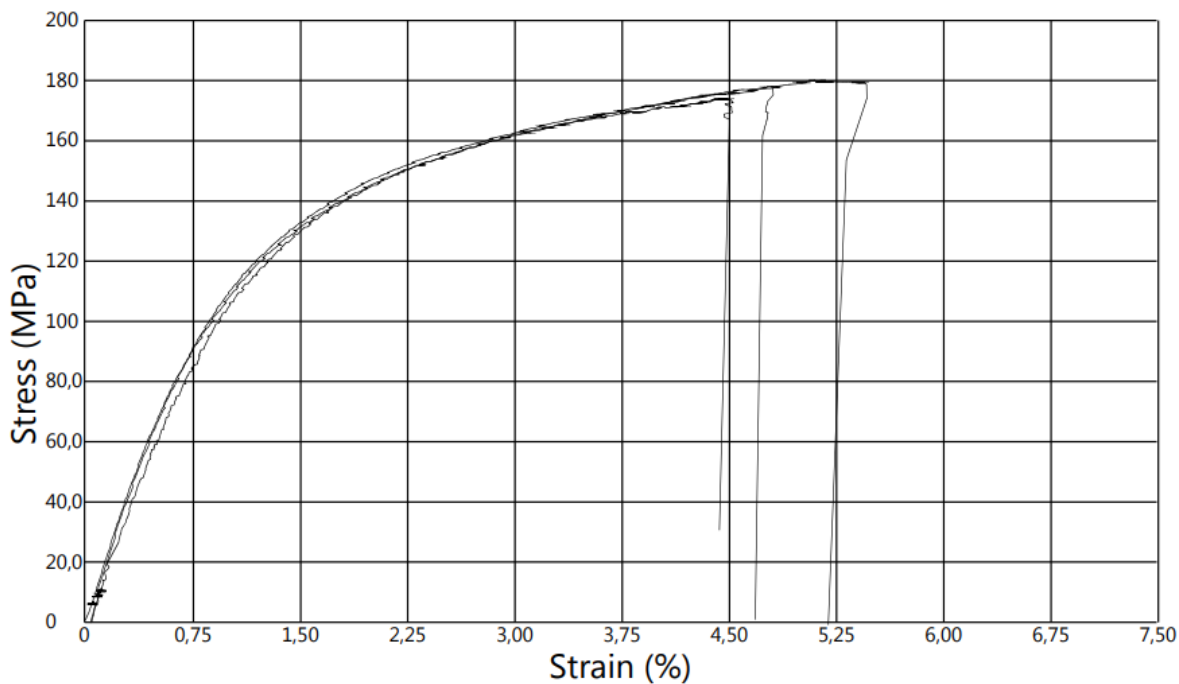
Specimen No.	Width mm	Thickness mm	Ultimate Force N	Ultimate Stress MPa	Ultimate Strain %	Failure mode	Modulus GPa
1	10,3	0,950	1700	174	4,45	LGB	11,8
Average	10,3	0,950	1700	174	4,45		11,8
SD			N/A	N/A	N/A		N/A
CoV		N/A	N/A	N/A	N/A		N/A



Figur 38: Resultat strekktest karbon nr 1.

Grafen over er ikke lineær hele veien, dette skyldes at når matrisen sprekker opp så blir det en bue. Ellers er grafen fin og nøyaktig. Grunnen til at det holdt med 3 teststaver i dette tilfelle var hvor like resultater de ga. Figur 39 viser de tre grafene lagt oppå hverandre og en tabell øverst hvor all dataen står inkludert gjennomsnittlig verdier av testingen.

Specimen No.	Width mm	Thickness mm	Ultimate Force N	Ultimate Stress MPa	Ultimate Strain %	Failure mode	Modulus GPa
1	10,3	0,950	1700	174	4,45	LGB	11,8
2	10,3	0,950	1740	178	4,81	AGT	14,1
3	10,3	0,950	1760	180	5,11	AGT	13,4
Average	10,3	0,950	1730	177	4,79		13,1
SD			30,6	3,13	0,332		1,16
CoV		0,00	1,77	1,77	6,92		8,88



Figur 39: Alle resultatene ved strekktest karbon.

Som vi ser i figuren ble gjennomsnittlig strekkfasthet på 177 MPa, noe som er litt under det utregnede på 195.8 MPa. mens E-modulen er på gjennomsnittlig 13.1 GPa. Disse verdiene understreker hvor spesielt materiale dette er med tanke på hvor lite det veier.



## 0.19 Test av sveis, versjon A

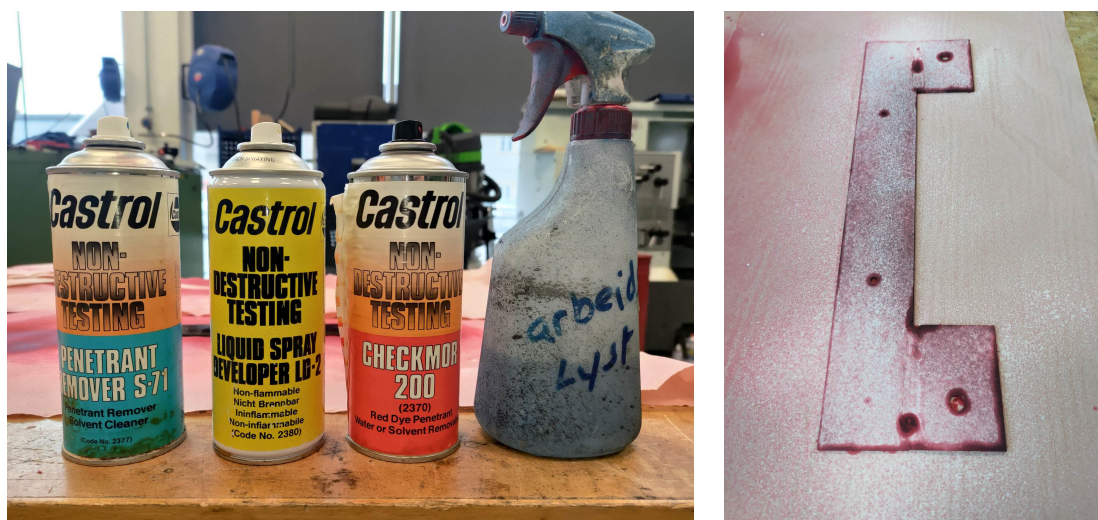
TEST ID	M_VP_a
Programvare	-
Testutstyr	UV lampe, Castrol NDT Liquid spray developer LD-2, Castrol NDT checkmor 200, Castrol NDT penetrant remover S-71, isoprpanol
Dato	11. mai 2023
Utført av	Stian Birkeland, Martin Haugerud

### Rasjonale

For å montere hele avfiringstårnet på kampluftvernvgonen, var det behov for å sette sammen en brakett, i stål, ved bruk av sveising. Fra fagmateriell [9], ser vi at potensielle faremomenter er varme og kalde sprekker samt porer. Det finnes mange måter å teste dette på, både destruktive og ikke-destruktive. En av de ikke-destruktive måtene er væskepenetrerende testing.

### Testoppsett

Før test, ble stålet vasket med isopropanol for å være helt fri fra støv og kjemikalier. Det ble lagt ut beskyttende papir på bordet under teststykket for å unngå søl med spray.



Figur 40: t.v. Utstyr til sveisetest. t.h. Tildekket teststykke.

### Utførelse

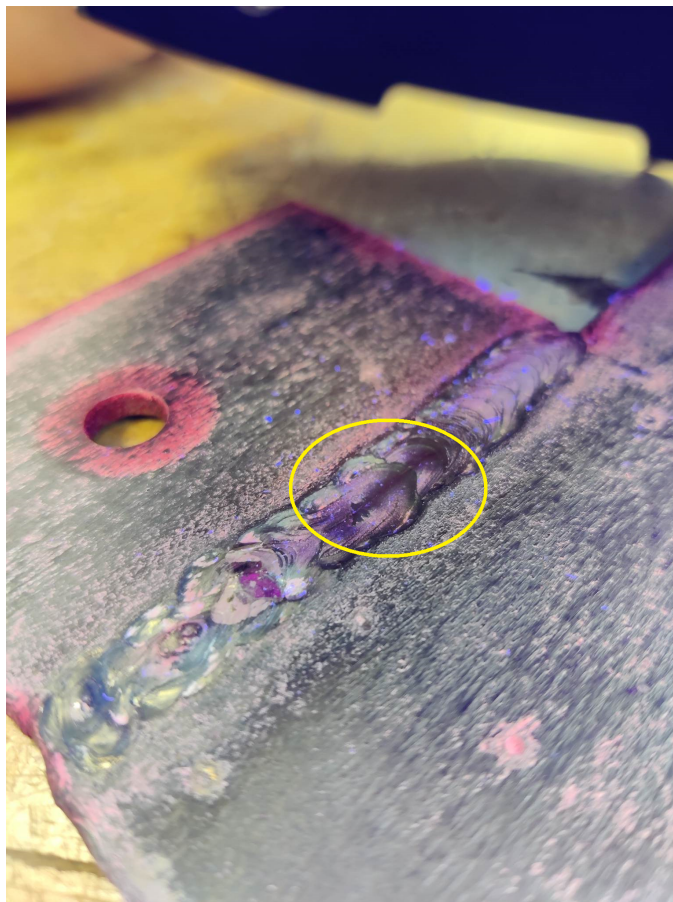
Dette foregår ved å spraye en væske på sveisen og det nærliggende metallet som referanse. Dette skal ligge i 20 minutter for å sette seg i fordypninger. Deretter skal det tørkes grovt av fra overflater og behandles med et nytt stoff på spray som reagerer med det tidligere påførte. Etter nye 5 minutter, skal alt grovt tørkes av igjen og belyses med UV lys. Dette UV lyset vil gjøre all gjenværende væske tydelig slik at man raskt og enkelt kan observere fordypninger av ulike årsaker.

## Resultat

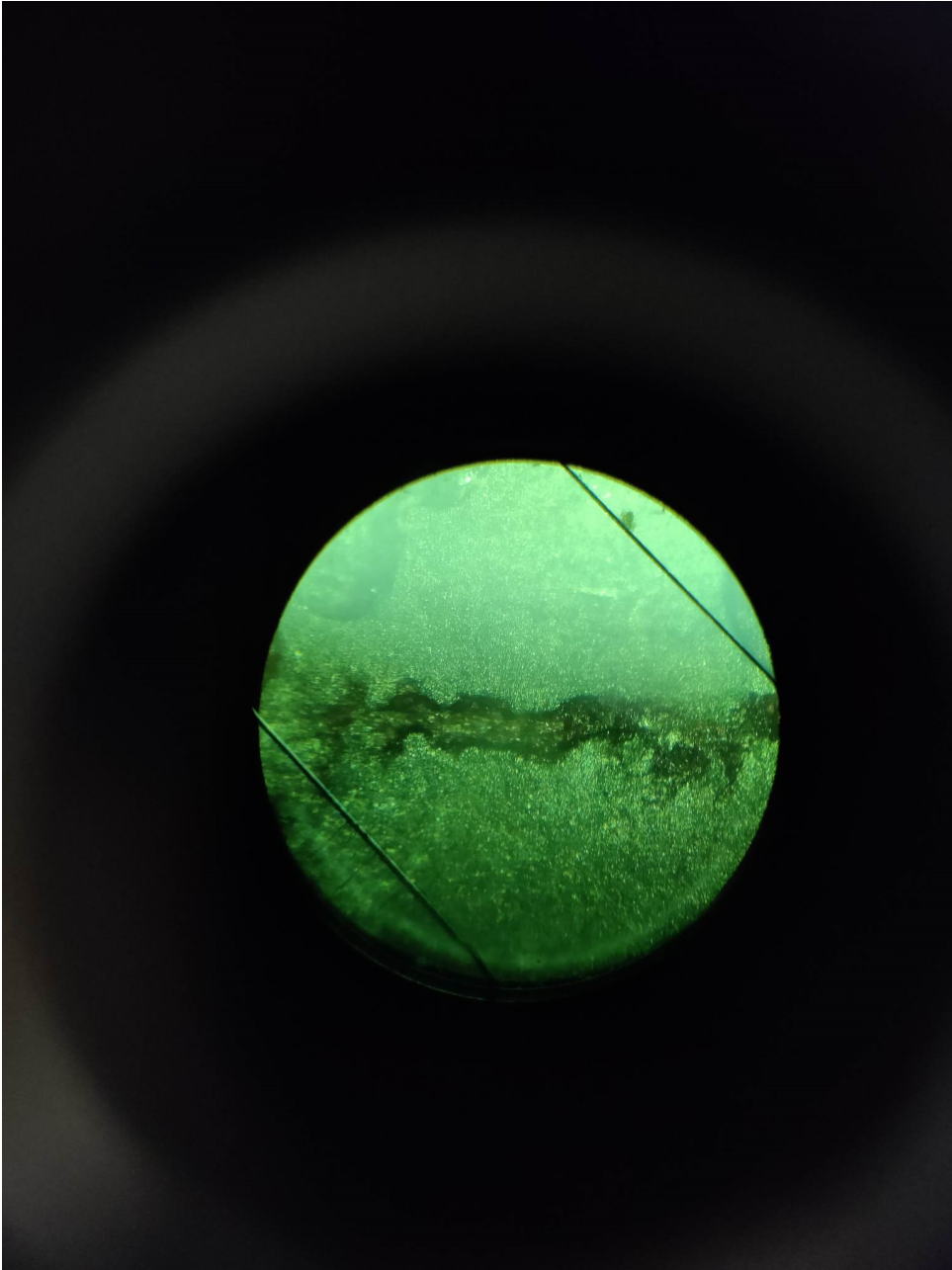
Ved belysning med UV lampen, kom det til syne en liten sprekk i midten av sveisen. Denne ble synlig med en lilla farge takket være spraybehandlingen. Siden gjenskinnet var veldig svakt, ble den undersøket nærmere under mikroskop.

Tabell 22: Test resultat

Forventet	Ingen spenningskonsentrerende formasjoner.
Faktisk	Sprekk.
Status	Ikke godkjent.



Figur 41: Sprekk markert med gul sirkel.



Figur 42: Sprekk i mikroskop.

## 0.20 Test av sveis, versjon B

TEST ID	M.VP_b
Programvare	-
Testutstyr	UV lampe, Castrol NDT Liquid spray developer LD-2, Castrol NDT checkmor 200, Castrol NDT penetrant remover S-71, isoprpanol
Dato	11. mai 2023
Utført av	Stian Birkeland, Martin Haugerud

### Rasjonale

Etter et sveiseforsøk med en sprekkdannelse, har den aktuelle vært utført på nytt. Dette for å unngå komponenter som er spesielt utsatt for tretthetsbrudd som starter i slike formasjoner [10].

### Testoppsett

Før test, ble stålet vasket med isopropanol for å være helt fri fra resterende testspray. Det ble lagt ut nytt beskyttende papir på bordet under teststykket for å unngå søl med spray.

### Utførelse

På samme måte som versjon A, foregår dette ved å spraye en væske på sveisen og det nærliggende metallet som referanse. Dette skal ligge i 20 minutter for å sette seg i fordypninger. Deretter skal det tørkes grovt av fra overflater og behandles med et nytt stoff på spray som reagerer med det tidligere påførte. Etter nye 5 minutter, skal alt grovt tørkes av igjen og belyses med UV lys. Dette UV lyset vil gjøre all gjenværende væske tydelig slik at man raskt og enkelt kan observere fordypninger av ulike årsaker.

### Resultat

Denne gangen kom det ingen sprekker til syne. Vi godkjenner derfor sveisen.

Tabell 23: Test resultat

Forventet	Ingen spenningskonsentrerende formasjoner.
Faktisk	Ingen sprekke eller porer større enn grunnmaterialet.
Status	Godkjent



Figur 43: Ferdig godkjent sveis.

# 1 Valideringstester



Test-nr.	Test	Forklaring	Vellykket resultat	Forventet resultat	Krav	Dato bestått (ikke bestått)
VT1	Testskyting	Prosjektil utløses mot et forhåndsbestemt mål.	Treff av målet.	Treff av målet.	FK-01 FK-02 FK-03 FK-04	Godkjent 07.05.20
VT-1-1	Testskyting	4 prosjektiler utløses.	4 utløste avfyringer.	Avfyringer utført.	FK-01	Godkjent 07.05.20
VT-1-2	Testskyting	Elektrisk signal til mekanisk system for avfyring.	4 aktiverte avfyringer.	Aktiveringer for avfyring utført.	FK-01	Godkjent 07.05.20
VT-1-3	Testskyting	Treffsikkertest med skyting mot mål plassert på 2 meters avstand.	Treff av innenfor radius av 30 cm av målet.	Treff av mål innenfor en radius på 30 cm.	FK-02 FK-03	Godkjent 07.05.20
VT-1-4	Testskyting	Treffsikkertest med skyting mot mål plassert på 6.5 meters avstand.	Treff av innenfor radius av 30 cm av målet.	Treff av mål innenfor en radius på 30 cm.	FK-02 FK-03	Godkjent 07.05.20
VT-1-5	Testskyting	Treffsikkertest med skyting mot mål plassert på 11 meters avstand.	Treff av innenfor radius av 30 cm av målet.	Treff av mål innenfor en radius på 30 cm.	FK-02 FK-03	Ikke godkjent
VT-1-6	Testskyting	Treffsikkertest med skyting mot mål plassert på 15.5 meters avstand.	Treff av innenfor radius av 30 cm av målet.	Treff av mål innenfor en radius på 30 cm.	FK-02 FK-03	Ikke godkjent
VT-1-7	Testskyting	Treffsikkertest med skyting mot mål plassert på 20 meters avstand.	Treff av innenfor radius av 30 cm av målet.	Treff av mål innenfor en radius på 30 cm.	FK-02 FK-03	Ikke godkjent
VT-2	Testkjøring	Stridsvogn navigeres til en ønsket destinasjon via GUI.	Navigert til destinasjon.	Vellykket navigasjon.	FK-04 FK-05 FK-06	Godkjent 10.05.23
VT-2-1	Testkjøring	Stridsvogn navigeres til en ønsket destinasjon med hinder den må navigere utenom.	Navigert over eller utenom hinder til destinasjon.	Navigert til destinasjon.	FK-04 FK-05	Godkjent 10.05.23
VT-2-2	Testkjøring	Prøve å forstyrre navigasjon ved å sende flere kommandoer fra GUI samtidig. Høyre, tilbake, venstre, frem, avfyr, armér.	Kjøretøyet håndterer flere signaler samtidig uten uforventet manøvrering.	Kjøretøyet håndterer flere signaler samtidig uten uforventet manøvrering.	FK-04	Godkjent 10.05.23
VT-2-3	Testkjøring	Stridsvogn navigeres til en forhåndsbestemt destinasjon og skyter mot mål via GUI.	Navigert til destinasjon og avfyrt prosjektil.	Vellykket navigasjon og avfyring.	FK-06	Godkjent 10.05.23

VT-3	Statussjekk	Sjekk systemets operative status. Sammenlign med status i GUI.	Alle undersystemer viser riktig operativ status.	Systemer samsvarer med hverandre.	FK-07 FK-09 FK-12	Godkjent 07.05.23
VT-3-1	Statussjekk	Sjekk fremdrifts-systemets operative status. Sammenlign med status i GUI.	Systemet viser riktig operativ status.	Fremdriftssystem fungerer. Status i GUI viser at det fungerer.	FK-07	Godkjent 07.05.23
VT-3-2	Statussjekk	Sjekk - avfyringsloggens operative historie. Sammenlign med status i GUI.	Systemet viser riktig operativ avfyrings historie.	GUI viser antall avfyringer og tidspunkter.	FK-09	Ikke godkjent
VT-4	Sikringstest	Sikrings status undersøkes. Prosjektiler forsøkes å avfyres med sikringer fortsatt aktivert. Både mekaniske, elektriske og begge.	Prosjektiler avfyres ikke.	Ingen avfyring.	FK-10 FK-11	Godkjent 15.05.23
VT-4-1	Sikringstest	Status på mekanisk sikring undersøkes. Prosjektiler forsøkes å avfyres med mekanisk sikring, fortsatt aktivert.	Prosjektiler holdes igjen, til tross for drivkraft.	Ingen avfyring.	FK-10	Godkjent 15.05.23
VT-4-2	Sikringstest	Status på elektrisk sikring undersøkes. Prosjektiler forsøkes å avfyres med elektrisk sikring, fortsatt aktivert.	Prosjektiler får ikke drivkraft.	Ingen avfyring.	FK-11	Godkjent 15.05.23
VT-4-3	Sikringstest	Status på elektrisk og mekanisk sikring undersøkes. Prosjektiler forsøkes å avfyres med elektrisk og mekanisk sikring, fortsatt aktivert.	Prosjektiler får ikke drivkraft, og mekanisk sikring forblir i stengt posisjon.	Ingen avfyring.	FK-10 FK-11	Godkjent 15.05.23
VT-5	Kamouflasjetest	Systemets eksteriør observeres og sjekkes for malte/umalte overflater.	Alle «Ikke-funksjonelle» overflater er olivengrønne.	Eksteriør er kamouflert	FK-13	Godkjent 09.05.23
VT-5-1	Kamouflasjetest	Eksteriørfargen testes med fargetester som brukes i butikk.	Utkommende fargekode er tilsvarende olivengrønn.	Farge tilsvarende olivengrønn.	FK-13	Bestått 09.05.23
VT-6	Tilgjengelighetstest	Det undersøkes tilgjengelighet av alle brukte komponenter.	Alle komponenter er kommersielt tilgjengelig.	Alle komponenter kan fremskapes av innkjøpte elementer og verktøy som finnes på USN.	IFK-01 IFK-02	Bestått 16.05.23
VT-7	Dokumentasjonstest	Risikoanalysen vurderes av kunde.	Analyse vurderes «godkjent» av	Analysen forventes godkjent	IFK-03	Bestått 16.05.23



			ekstern veileder.			
VT-8	Interface dokumentasjonstest	Dokumentasjon på Interface mellom brukergrensesnitt og fysisk system gjennomgås av kunde.	Dokumentasjon godkjennes av ekstern veileder	Dokumentasjon forventes godkjent.	IFK-04	Godkjent 16.05.23
VT-9	Dokumentasjonstest	Brukerveiledning gjennomgås av kunde som deretter prøver systemets funksjoner under tilstedeværende sikkerhetsoppsyn.	Dokumentasjon godkjennes av ekstern veileder	Mulig for nesten alle å lære seg bruk av systemet.	IFK-05	Godkjent 16.05.23
VT-10	Beltestrammings-test.	Beltene slakkes, før det kjøres i 30 s, mens det sjekkes om drivhjulenes tenner opper over spor i beltene.	Beltene holdes kontinuerlig stramme, og drivhjulenes tenner hopper ikke på beltens spor.	Drivhjulets tenner hopper ikke på beltens spor.	FK-14	Godkjent 10.05.23
VT-11	Kamera-test.	Teste at kamera for innsikting har godt signal og oppløsning mot GUI.	Mål kan identifiseres via kamera.	Mål kan identifiseres via kamera.	FK-15	Utgår
VT-12	Fremkommelighets-test.	Verifisere at systemet klarer å komme over elementer her representert av en 5 cm høy dørstokk.	Systemet klarer å klatre over en 5 cm høy kant.	Systemet klarer å klatre over en 5 cm høy kant.	FK-17	Godkjent 07.05.23
VT-13	Langtidsloggføring-test.	Sjekke at alle avfyringer tidligere gjort ligger inne i logg.	Alle avfyringer kan spores i nedført digital logg.	Antall avfyringer under test matcher med digital logg.	FK-18	Utgår
VT-14	Ladetest.	Se til at systemet kan lade seg selv med nye prosjektiler.	Systemet kan lade seg selv og deretter avfyres med 4 nye prosjektiler.	Systemet kan lade seg selv og deretter avfyres med 4 nye prosjektiler.	FK-19	Utgår
VT-15	Lystest.	Teste at vognens lys, lyser tilstrekkelig. Utføres i mørkt rom.	Navigasjon i mørket skal være mulig.	Forbedret utseende og funksjon av lys.	FK-20	Utgår
VT-16	Lydtest.	Høre om systemet spiller lyd før prosjektilavfyring.	Lyd skal indikere at prosjektil avfyres.	Lyd høres ut som reell missil-avfyring.	FK-21	Utgår
VT-17	Mobilstyrings-test	Systemet forsøkes å styres med GUI gjennom en mobiltelefon.	Bevegelse og innsikting kan styres gjennom mobiltelefon.	Systemet kan brukes med mobiltelefon ved siden av original GUI.	FK-22	Godkjent 07.05.23
VT-18	Detaljert loggførings-test.	Sammenligne integrert og separat loggføring av forsøkte avfyringer.	GUI kan vise alle forsøkte avfyringer og deres status.	Man kan se om et prosjektil har blitt avfyrt, feilslått	FK-23	Avvik

				avfiring og tidspunkt.		
VT-19	Statuslogg-test.	Sammenligne integrert og separat loggføring av systemstatus.	GUI kan vise korrekte tidspunkter ang. endringer i system.	Man kan gå inn i GUI for å se tidspunkter rundt endringer i system.	FK-24	Ikke godkjent
VT-20	Visuell test	Laser pekes mot et forhåndsbestemt mål.	Laser er synlig på mål.	Laser er synlig på mål.	FK-8	Godkjent 07.05.23
VT-20-1	Visuell test	Laser peker mot et mål 2 m unna.	Laser er synlig på mål.	Laser er synlig på mål.	FK-8	Godkjent 07.05.23
VT-20-2	Visuell test	Laser peker mot et mål 6.5 m unna.	Laser er synlig på mål.	Laser er synlig på mål.	FK-8	Godkjent 07.05.23
VT-20-3	Visuell test	Laser peker mot et mål 11 m unna.	Laser er synlig på mål.	Laser er synlig på mål.	FK-8	Godkjent 07.05.23
VT-20-4	Visuell test	Laser peker mot et mål 15.5 m unna.	Laser er synlig på mål.	Laser er synlig på mål.	FK-8	Godkjent 07.05.23
VT-20-5	Visuell test	Laser peker mot et mål 20 m unna.	Laser er synlig på mål.	Laser er synlig på mål.	FK-8	Godkjent 07.05.23

Krav	Test
FK-01	VT-1, VT-1-1, VT-1-2
FK-02	VT-1, VT-1-3, VT-1-4, VT-1-5, VT-1-6, VT-1-7
FK-03	VT-1, VT-1-3, VT-1-4, VT-1-5, VT-1-6, VT-1-7
FK-04	VT-1, VT-2, VT-2-1, VT-2-2
FK-05	VT-2, VT-2-1
FK-06	VT-2, VT-2-3
FK-07	VT-3, VT-3.1,
FK-08	VT-20, VT-20-1, VT-20-2, VT-20-3, VT-20-4, VT-20-5
FK-09	VT-3, VT-3-2
FK-10	VT-4, VT-4-1, VT-4-3
FK-11	VT-4, VT-4-2, VT-4-3
FK-12	VT-3
FK-13	VT-5, VT-5-1
FK-14	VT-10
FK-15	VT-11
FK-16	Kravet bortfaller.
FK-17	VT-12
FK-18	VT-13
FK-19	VT-14
FK-20	VT-15
FK-21	VT-16
FK-22	VT-17
FK-23	VT-18
FK-24	VT-19
IFK-01	VT-6
IFK-02	VT-6
IFK-03	VT-7
IFK-04	VT-8
IFK-05	VT-9

## 1.1 Avfyring

### Versjon A

Test ID	VT-1, VT-1-1, VT-1-2, VT-1-3, VT-1-4, VT-1-5, VT-1-6, VT-1-7
Krav	FK-1, FK-2, FK-3, FK-4
Testutstyr	KLV, multimeter, 50 m målebånd, 2 m tommestokk, mål
Dato	07. mai 2023
Utført av	MINRAD

### Rasjonale

For å nå kravene om skyting må dette naturligvis testes. Det er flere krav som omhandler avfyring. Dermed ble det satt opp flere tester rundt dette også.

### Utførelse

Siden det er mange deltester innenfor VT-1 så viser tabell 24 hva hver av deltestene innebærer.

Tabell 24: Ulike deltesters mening.

Testnummer	Forklaring
VT-1	Prosjektil utløses mot et forhåndsbestemt mål (blir godkjent om 75% av avfyringene treffer mål)
VT-1-1	Prosjektil avfyres
VT-1-2	Elektrisk signal kommer til mekanisk system for avfyring
VT-1-3	Treffsikkertest med skyting mot mål plassert på 2 meters avstand
VT-1-4	Treffsikkertest med skyting mot mål plassert på 6,5 meters avstand
VT-1-5	Treffsikkertest med skyting mot mål plassert på 11 meters avstand
VT-1-6	Treffsikkertest med skyting mot mål plassert på 15,5 meters avstand
VT-1-7	Treffsikkertest med skyting mot mål plassert på 20 meters avstand

Testskytingene ble utført med skarpe prosjektil, mot et mål laget av en ekstrudert polystyren plate. Platen er 120 cm høy og 60 cm bred. Det ble malt på en sort sirkel for å indikere blinken, med en grønn prikk i midten, senter av blinken ligger 90 cm opp fra bunnen av platen.

Lufttrykket brukt i testene er på 9 bar. 10 bar er kommersielt tilgjengelig, dermed holder trykket seg høyt nok til 4 avfyringer med 9 bar. Avfyringene ble utført med GUI, i form av Arduino app på en mobiltelefon. Prosjektilene brukt til testen er av typen PLA, med bly-tupp.

Startet med å sikte inn laseren til den siden vi skulle skyte med, deretter siktet over målet for å treffe høydemessig. Se tabell 25 for hvor mye over senter av målet laseren peker ved ulike avstander.

Tabell 25: Høydejustering av laser over mål før avfyring.

Avstand til mål	Laserens høyde over senter av mål
2 m	10 cm
6.5 m	50 cm
11 m	90 cm
15.5 m	200 cm
20 m	250 cm

Det finnes flere grunner til målene vist i tabell 25. Avstandene til målet er satt av ønsket om fem ulike distanse-målinger, med lik avstand imellom de ulike målene. Høydejusteringen er funnet frem til ved å skyte i samme lengde som avstanden til målet og justere opp til prosjektilet nærmet seg midten av målet. Dette er da gjort før testingen. En plausibel grunn høydejusteringene avviker mye imellom 11 m og 15.5 m men mindre imellom 15.5 meter og 20 m, kan være på grunn av slitasje innvendig i prosjektilene. Dette vil bli bedre ved bruk av karbonfiber missilene, da dette er et mer slitesterkt materiale enn PLA.

Resultatene fra skytingen kan sees i fig. 44. VT-1 står ikke i figuren grunnet denne blir godkjent om alle deltester blir godkjent. VT-1-1 er ikke i figuren da denne kun krever avfyringer, denne blir godkjent om alle forsøkte avfyringer faktisk blir afyrt. VT-1-2 er heller ikke i figuren da denne testen går ut på å sjekke signal til mekanisk system fra elektrisk system.

Testen for VT-1-2 ble gjennomført ved å måle signalet til magnetventilen som skulle skyte, for å verifisere at det kommer 24 V til de. Alle avfyringene hadde 24 V.

VT-1-3	Test number	Senteravstand (mm)	VT-1-4	Test number	Senteravstand (mm)	VT-1-5	Test number	Senteravstand (mm)	VT-1-6	Test number	Senteravstand (mm)	VT-1-7	Test number	Senteravstand (mm)
	V2_1	150		V6_5_1	160		V11_1	250		V15_5_1	N/A		V20_1	N/A
	V2_2	100		V6_5_2	175		V11_2	200		V15_5_2	N/A		V20_2	N/A
	V2_3	95		V6_5_3	155		V11_3	N/A		V15_5_3	N/A		V20_3	N/A
	V2_4	125		V6_5_4	200		V11_4	285		V15_5_4	N/A		V20_4	N/A
	V2_5	130		V6_5_5	190		V11_5	N/A		V15_5_5	N/A		V20_5	N/A
	Average	120		Average	176		Average	N/A		Average	N/A		Average	N/A
	MV2_1	70		MV6_5_1	80		MV11_1	130		MV15_5_1	160		MV20_1	170
	MV2_2	35		MV6_5_2	35		MV11_2	150		MV15_5_2	230		MV20_2	150
	MV2_3	50		MV6_5_3	105		MV11_3	100		MV15_5_3	105		MV20_3	270
	MV2_4	55		MV6_5_4	30		MV11_4	100		MV15_5_4	65		MV20_4	130
	MV2_5	55		MV6_5_5	40		MV11_5	55		MV15_5_5	95		MV20_5	210
	Average	53		Average	58		Average	107		Average	131		Average	186
	MH2_1	30		MH6_5_1	35		MH11_1	130		MH15_5_1	100		MH20_1	200
	MH2_2	25		MH6_5_2	50		MH11_2	75		MH15_5_2	85		MH20_2	180
	MH2_3	45		MH6_5_3	85		MH11_3	120		MH15_5_3	130		MH20_3	215
	MH2_4	65		MH6_5_4	40		MH11_4	100		MH15_5_4	45		MH20_4	220
	MH2_5	60		MH6_5_5	100		MH11_5	105		MH15_5_5	200		MH20_5	100
	Average	45		Average	62		Average	106		Average	112		Average	183
	H2_1	100		H6_5_1	165		H11_1	N/A		H15_5_1	N/A		H20_1	N/A
	H2_2	105		H6_5_2	180		H11_2	250		H15_5_2	N/A		H20_2	N/A
	H2_3	120		H6_5_3	145		H11_3	265		H15_5_3	N/A		H20_3	N/A
	H2_4	85		H6_5_4	190		H11_4	235		H15_5_4	N/A		H20_4	N/A
	H2_5	115		H6_5_5	185		H11_5	280		H15_5_5	N/A		H20_5	N/A
	Average	105		Average	173		Average	N/A		Average	N/A		Average	N/A

Figur 44: Resultat testskyting versjon A.

## Resultat

Tabell 26: Test resultat VT-1

Forventet	75% av prosjektilene treffer målet
Faktisk	$(20+20+17+10)/100 \times 100 = 77\%$ av prosjektilene traff målet
Status	Godkjent

Tabell 27: Test resultat VT-1-1

Forventet	Forsøkte avfyringer blir avfyrt
Faktisk	Forsøkte avfyringer blir avfyrt
Status	Godkjent

Tabell 28: Test resultat VT-1-2

Forventet	24 V til magnetventil
Faktisk	24 V til magnetventil
Status	Godkjent

Tabell 29: Test resultat VT-1-3

Forventet	20 av 20 avfyringer treffer innenfor målet
Faktisk	20 av 20 avfyrte prosjektiler traff målet
Status	Godkjent

Tabell 30: Test resultat VT-1-4

Forventet	20 av 20 avfyringer treffer innenfor målet
Faktisk	20 av 20 avfyrte prosjektiler traff målet
Status	Godkjent

Tabell 31: Test resultat VT-1-5

Forventet	20 av 20 avfyringer treffer innenfor målet
Faktisk	17 av 20 avfyrte prosjektiler traff målet
Status	Ikke godkjent

Tabell 32: Test resultat VT-1-6

Forventet	20 av 20 avfyringer treffer innenfor målet
Faktisk	10 av 20 avfyrte prosjektiler traff målet
Status	Ikke godkjent

Tabell 33: Test resultat VT-1-7

Forventet	20 av 20 avfyringer treffer innenfor målet
Faktisk	10 av 20 avfyrte prosjektiler traff målet
Status	Ikke godkjent

Ikke alle testene ble godkjent, noen plausible grunner for dette er slark mellom løp og festepunkt i tårnet, samt ikke-parallele løp. Laserne ble stilt inn i forhold til de to indre løpene.



## 1.2 Testkjøring

### Versjon A

Test ID	VT-2, VT-2-1, VT-2-2, VT-2-3
Krav	FK-04, FK-05, FK-06
Testutstyr	KLV, NERF-prosjektil, GUI, Avgrenset område.
Dato	10. mai 2023
Utført av	MINRAD

## Rasjonale

Tre av kravene til denne bacheloroppgave er blant annet:

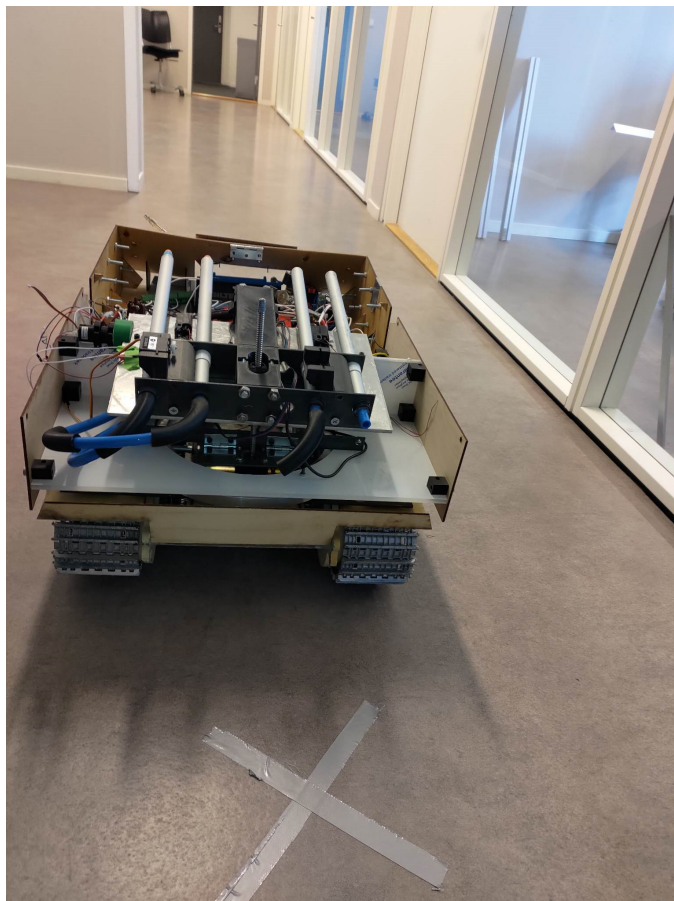
- FK-04 - Systemet skal styres av en operatør fra et eksternt grafisk brukerinterface (GUI).
- FK-05 - Operatør skal kunne styre kampluftvernet (KLV) til bestemt posisjon.
- FK-06 - Operatør skal kunne styre KLV til bestemt posisjon og utløse prosjektil.

For å verifisere oppnåelsen av disse kravene, er det viktig å kjøre en valideringstest. Dette er krav som omhandler KLVens fleksible rolle knyttet opp mot mobilitet og effektivt rollebytte til et avfyrende luftvern. VT-2-2 utgår nesten på grunnlag av hvordan GUI er utformet. Her vil det ikke være mulig å gi signal for armering og avfiring mens man er i manøvreringmodus. På bakgrunn av joystickens utforming, vil det heller ikke være mulig å gi motsigende signaler som f.eks. høyre og venstre samtidig. Det vil derimot fortsatt testes hvordan KLVen reagerer på kombinasjoner av retning (Frem/tilbake.) og styring (Høyre/venstre.).

## Utførelse

Tabell 34: Ulike deltesters mening.

Testnummer	Forklaring
VT-2	Stridsvogn navigeres til en ønsket destinasjon via GUI. (blir godkjent om alle deltester blir godkjent).
VT-2-1	Stridsvogn navigeres til en ønsket destinasjon med hinder den må navigere utenom.
VT-2-2	Prøve å forstyrre navigasjon ved å sende flere kommandoer fra GUI samtidig. Høyre, tilbake, venstre, frem, avfyr, armér.
VT-2-3	Stridsvogn navigeres til en forhåndsbestemt destinasjon og skyter mot mål via GUI.



Figur 45: VT-2-1, ved start av navigasjon.

Disse testene kjøres separat, men i samme scenario. Dette for å effektivisere utførelsen. Startpunkt blir ved printer og destinasjonen ved dør i enden av gang i andre etasje på innovasjonsloftet. Dette gir en distanse på 10 meter. Begge deler markeres på gulvet med teip. For hindere, utnyttes stoler langs sidene som KLVen må kjøre sikksakk for å unngå. Det legges også opp til et rett strekke hvor det sjekkes om beltene kan gå helt likt. Ettersom presisjon ved avfiring ikke er et mål ved denne testen, blir det bare utnyttet Nerf prosjektiler for å avfyre mot et mål.



Figur 46: VT-2-1, under navigasjon.

## Resultat

Tabell 35: Test resultat VT-2

Forventet	Godkjent VT-2-1, VT-2-2 og VT-2-3.
Faktisk	VT-2-1, VT-2-2 og VT-2-3 godkjent.
Status	Godkjent

Tabell 36: Test resultat VT-2-1

Forventet	Vellykket navigasjon til destinasjon via GUI
Faktisk	Ankommet destinasjon for egen maskin styrt via forenklet GUI.
Status	Godkjent

Tabell 37: Test resultat VT-2-2

Forventet	KLV navigerer utenom hinder mot målet.
Faktisk	Vellykket navigasjon utenom hindre.
Status	Godkjent

Tabell 38: Test resultat VT-2-3

Forventet	Navigasjon forstyres ikke av rotete kommandoer. fra GUI.
Faktisk	Navigasjon ikke forhindret av rotete kommandoer.
Status	Godkjent



Figur 47: VT-2-3, ved avfyriingsposisjon.

## 1.3 Statussjekk

### Versjon A

Test ID	VT-3
Krav	FK-07, FK-09, FK-12
Testutstyr	KLV, Arduino, arduino IDE
Dato	7. mai 2023
Utført av	MINRAD

### Rasjonale

For å verifisere at systemstatus stemmer overens med hva som vises digitalt, er det hensiktsmessig med en test som gjennomgår dette.

### Utførelse

Testen består av å fysisk teste de forskjellige delene av systemet, hvor det verifiseres at det som vises digitalt, samsvarer med faktiske forhold. Her skal systemstatus testes, fremdriftssystem og avfyrringsystem skal testes på KLV, samt sjekke at det samsvarer digitalt. Den gjennomføres med Arduino IDE og KLV.

### Resultat

Tabell 39: Test Resultat VT-3

Test ID	VT-3
Beskrivelse	Samsvar imellom systemer
Status	Godkjent

Tabell 40: Test Resultat VT-3-1

Test ID	VT-3-1
Beskrivelse	Fremdriftssystem fungerer
Status	Godkjent

Tabell 41: Test Resultat VT-3-2

Test ID	VT-3-2
Beskrivelse	Gui Viser antall utskytninger
Status	Ikke godkjent

## 1.4 Sikringstest

### Versjon A

Test ID	VT-4, VT-4-1, VT-4-2, VT-4-3
Krav	FK-10, FK-11
Testutstyr	Kanister, KLV, Skarpt prosjektil, Avgrenset område.
Dato	15. mai 2023
Utført av	MINRAD

### Rasjonale

To av kravene til denne bacheloroppgaven er blant annet:

- FK-10 - Systemet skal ha en mekanisk sikring mot uønsket avfiring av prosjektiler.
- FK-11 - Systemet skal ha en elektrisk sikring mot uønsket avfiring av prosjektiler.

For å verifisere oppnåelsen av disse kravene, kjører vi en fysisk validersingstest. Disse kravene omhandler sikringer mot uønskede avfiring og er essensielle for å ha en fornuftig tilnærming til HMS. VT-4-1 blir en test hvor resultatet er noe mer uforutsigbart, ettersom det er usikkerhet knyttet rundt strekkfasthet av benyttede materialer og nøyktig kraft i prosjektilet. Denne vil derfor gjøres mer iterativ.

### Utførelse

Tabell 42: Ulike deltesters mening.

Testnummer	Forklaring
VT-4	Sikringers status undersøkes. Prosjektiler forsøkes å avfyres med sikringer fortsatt aktivert. Både mekaniske, elektriske og begge. (blir godkjent om alle deltester blir godkjent).
VT-4-1	Status på mekanisk sikring undersøkes. Prosjektiler forsøkes å avfyres med mekanisk sikring, fortsatt aktivert.
VT-4-2	Status på elektrisk sikring undersøkes. Prosjektiler forsøkes å avfyres med elektrisk sikring, fortsatt aktivert.
VT-4-3	Status på elektrisk og mekanisk sikring undersøkes. Prosjektiler forsøkes å avfyres med elektrisk og mekanisk sikring, fortsatt aktivert.

Testene ble utført med gradvis økende trykk opp mot 6 bar og et manuelt åpningsintervall av magnetventilene. Grunnlaget for dette som høyeste trykk, var at dette var det som var tilgjengelig på Krona, der testen ble utført. For å kunne si at testen er godkjent ved bruk av 9 bar, velger vi å utelukke støtdempende materiale på lokket som skal stoppe prosjektilet. Dersom det blir godkjent uten dette ved 6 bar, vil vi anta at det er godkjent med ved fullt trykk.

## Resultat

Tabell 43: Test resultat VT-4

Forventet	Godkjent VT-4-1, VT-4-2 og VT-4-3.
Faktisk	VT-4-1, VT-4-2 og VT-4-3 godkjent.
Status	Ikke godkjent

Tabell 44: Test resultat VT-4-1

Forventet	Prosjektiler holdes igjen, til tross for drivkraft.
Faktisk	Prosjektiler avfyres, men holdes ikke igjen av mekanisk sikring.
Status	Ikke godkjent

Tabell 45: Test resultat VT-4-2

Forventet	Prosjektiler får ikke drivkraft.
Faktisk	Magnetventiler åpner seg ikke.
Status	Godkjent

Tabell 46: Test resultat VT-4-3

Forventet	Prosjektiler får ikke drivkraft, og mekanisk sikring forblir i stengt posisjon.
Faktisk	Magnetventiler åpner seg ikke og mekanisk sikring forblir i stengt posisjon.
Status	Godkjent

## 1.5 Sikringstest

### Versjon B

Test ID	VT-4, VT-4-1,
Krav	FK-10
Testutstyr	Kanister, låsearm i metall, KLV, Skarpt prosjektil, Avgrenset område.
Dato	15. mai 2023
Utført av	MINRAD

### Rasjonale

Et av kravene til denne bacheloroppgaven er:

- FK-10 - Systemet skal ha en mekanisk sikring mot uønsket avfyring av prosjektiler.

Da tidligere mekanisk sikring, hadde for svakt materiale i nøkkelkomponent, ble det nødvendig å kjøre valideringstest VT-4-1 på nytt. Denne gangen er nøkkelkomponenten byttet ut til et sterkere materiale.

### Utførelse

Tabell 47: Ulike deltesters mening.

Testnummer	Forklaring
VT-4	Sikrings status undersøkes. Prosjektiler forsøkes å avfyres med sikringer fortsatt aktivert. Både mekaniske, elektriske og begge. (blir godkjent om alle deltester blir godkjent).
VT-4-1	Status på mekanisk sikring undersøkes. Prosjektiler forsøkes å avfyres med mekanisk sikring, fortsatt aktivert.

Testen ble utført med gradvis økende trykk opp mot 6 bar og et manuelt åpningsintervall av magnetventilene. Grunnlaget for dette som høyeste trykk, var at dette var det som var tilgjengelig på Krona, der testen ble utført. For å kunne si at testen er godkjent ved bruk av 9 bar, velger vi å utelukke støtdempende materiale på lokket som skal stoppe prosjektilet. Dersom det blir godkjent uten dette ved 6 bar, vil vi anta at det er godkjent med ved fullt trykk.

### Resultat

Tabell 48: Test resultat VT-4

Forventet	Godkjent VT-4-1, VT-4-2 og VT-4-3.
Faktisk	VT-4-1, VT-4-2 og VT-4-3 godkjent.
Status	Godkjent



Tabell 49: Test resultat VT-4-1

Forventet	Prosjektiler holdes igjen, til tross for drivkraft.
Faktisk	Prosjektiler avfyres og holdes igjen av mekanisk sikring.
Status	Godkjent



Figur 48: Låsearm i pleksiglass etter feilet test øverst. Sterkere og godkjent låsearm nederst.

## 1.6 Kamouflasje

### Versjon A

Test ID	VT-5, VT-5-1
Krav	FK-13
Testutstyr	KLV, KONICA MINOLTA Spectrophotometer CM-2300d
Dato	09. mai 2023
Utført av	Martin Haugerud

### Rasjonale

Krav FK-13 lyder som følger: KLV skal ha olivengrønn farge. Ut ifra dette ble det ved CDR fastsatt at Alle utvendige "Ikke-funksjonelleflater skal lakkres med en farge som kan minne om umodne grønne oliven.

### Utførelse

#### VT-5

Ser over KLV om alle tvendige flater er lakkert i henhold til tabell 50.

Tabell 50: Utvendige flater som skal/ikke skal lakkres.

Skal bli lakkert	Skal ikke bli lakkert
Karosseri (deler)	Hjulbolter
Hengsler	Belter
Blanke bolter (ved lakkert karosseri)	GUI
Tårn/Kanister	Av/På bryter
	Hjul

Alle lakerte flater som sjekkes ble deretter logget i tabell 51, for å holde kontroll over diverse flater. deretter ble tabellene sammenlignet for å sjekke om flatene som skulle ha blitt lakkerte er det, og motsatt.

Tabell 51: Utvendige flater som er/ikke er lakkerte.

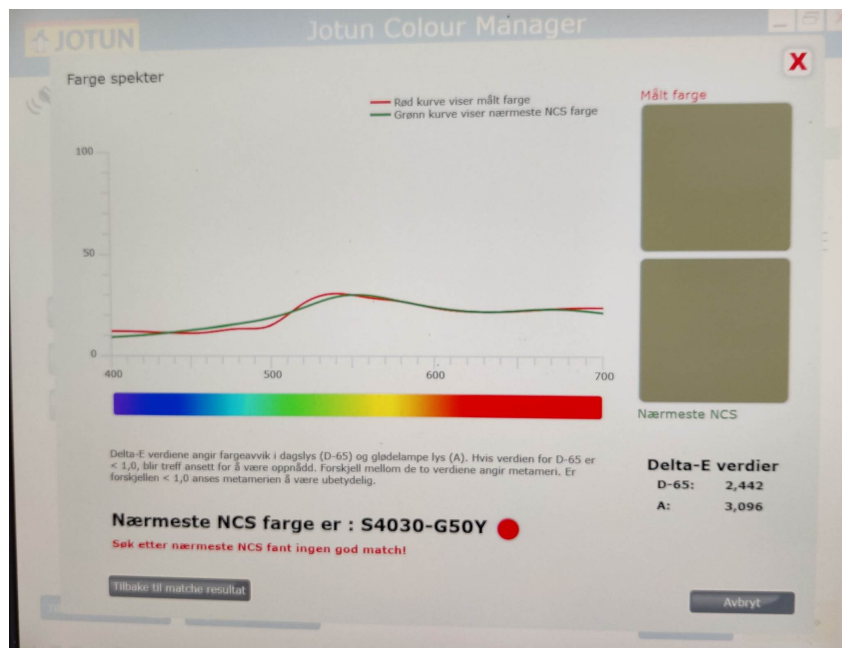
Har blitt lakkert	Har ikke blitt lakkert
Karosseri (deler)	Hjulbolter
Hengsler	Belter
Blanke bolter (ved lakkert karosseri)	GUI
Tårn/Kanister	Av/På bryter
	Hjul

## VT-5-1

Denne testen ble gjort på en plexiglass-plate med en diameter på 245mm og en tykkelse på 6mm. Den ene flaten ble lakkert to lag med Multona 600 602. Deretter fikk lakken herde i et døgn i et rom med 20°C.

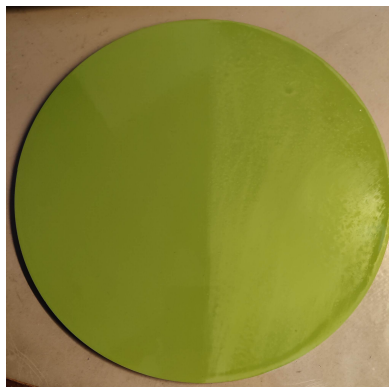
Et spektrofotometer fungerer ved at et sterkt hvitt lys blir sendt ned mot flaten. Deretter reflekteres deler av lyset, samtidig som en del blir absorbert. En sensor merker så hva som blir reflektert, og ut ifra dette finner den en kompatibel farge.

Spektrofotometeret blir så brukt for å analysere fargen av platen. Figur 49 viser dataen som spektrofotometeret gir til pc'en. Som vist ble dette ingen god match, nærmeste Natural Colour System (NCS) er S 4030-G50Y.



Figur 49: Resultat fargetest på blank overflate.

En mulig grunn til at den ikke fant en god match kan være at platen var for blank. Dermed ble platen våtslipt med 1000 grid våtslipepapir, som kan sees i høyre del av platen i fig. 50.



Figur 50: Plate til fargetest der høyre halvdel er våtslipt.

Deretter ble samme Måte brukt for å sjekke farge på den matte delen som på den flaten som var blank. Nå ble resultatet NCS S 4040-G60Y. Testen ble utført fem ganger på både slipt og uslipt plate, med likt resultat per del hver gang. Tabell 52 viser Oversikt over fargekodene i NCS og hva denne fargen heter.

Tabell 52: Resultat fargekodetest.

	Blank overflate	Matt overflate
NCS	S 4030-G50Y	S 4040-G60Y
Engelsk navn	Avocado [11]	Sycamore [12]
Norsk navn	Avokado	Platan

Farge med navn "Avokadobetyr det samme som avokado-grønn siden det er den grønne delen av avokado man sikter til. Fargen med navn Platansikter til bladene til trærne i platanslekten, disse er grønne.

## Resultat

Tabell 53: Test resultat VT-5

Forventet	Alle flater som beskrevet i venstre kolonne i tabell 50 er lakkert.
Faktisk	Alle flater som er beskrevet er lakkert.
Status	Godkjent

Tabell 54: Test resultat VT-5-1

Forventet	Grønn farge
Faktisk	Avokadogrønn / Platanus blader(grønn)
Status	Godkjent

## 1.7 Uavhengighet og kommersielt tilgjengelige deler

### Versjon A

Test ID	VT-6
Krav	IFK-01, IFK-02
Testutstyr	Regnskap, Stian Solberg
Dato	16. mai 2023
Utført av	MINRAD

### Rasjonale

Det var et ønske fra oppdragsgiver, KDA, om at bachelorprosjektet skulle fullføres uten bruk av deres teknologi, samt at alle komponenter skulle være kommersielt tilgjengelig. Det vil si at alle komponentene som er brukt til å lage KLV skal enten kunne kjøpes av privatpersoner eller så skal det være mulig å produsere delene ved hjelp av tegninger som MINRAD har laget. Dette inkluderer ikke deler som ble utlevert sammen med stridsvognen i begynnelsen av prosjektet, da oppgaven gikk ut på å videreutvikle utlevert materiale.

### Utførelse

I regnskapet er det notert hvor materiell er innhentet fra. Dette inkluderer: Kjell & Company, Amazon, NetOnNet, Udemy, RS Components, Digikey, Biltema, Thansen, Farnell, Elfa Distrelec, Byggmax, Coop OBS, Easycomposite, Tess, Bilxtra og Tools. Det er i tillegg brukt maskiner som 3D-printer, CNC-fres, laserkutter og Tungsten Inert Gas(TIG) sveiseapparat til å produsere en rekke komponenter. Disse komponentene er beskrevet i detalj i hovedrapporten. Resterende komponenter er utlevert av KDA (sammen stridsvogn) eller USN.

### Resultat

Tabell 55: Test resultat VT-6

Forventet	Alle komponenter som er brukt til å produsere KLV kan fremskapes av innkjøpte elementer og/eller med verktøy som finnes på USN.
Faktisk	Ekstern veileder godkjente dokumentasjon.
Status	Godkjent

## 1.8 Risikoanalyse

### Versjon A

Test ID	VT-7
Krav	IFK-03
Testutstyr	Risikoanalyse, Stian Solberg
Dato	16. mai 2023
Utført av	MINRAD

### Rasjonale

For å redusere risikoen for personskader og skader på materiell ved bruk av KLV, er det et krav om at gruppen skal lage en risikoanalyse som beskriver restrisiko og middigerte risikoer. Denne analysen inneholder risikoer tilknyttet testskyting av skarpe missiler, og fremvisning av KLV på messer. Alle risikoene er tildelt en alvorlighetsgrad på skala fra 1 til 25, som er beregnet ut ifra sannsynligheten og konsekvenser. Risikoer av høy, moderat, og lav grad er merket henholdsvis rødt, gul, og grønt.

### Utførelse

Risikoanalysen ble gjennomgått av kunden for vurdering om analysen var tilstrekkelig nok.

### Resultat

Tabell 56: Test resultat VT-7

Forventet	Risikoplanalysen vurderes som 'godkjent' og tilstrekkelig nok av ekstern veileder.
Faktisk	Godkjent av ekstern veileder.
Status	Godkjent

## 1.9 Interface dokumentasjonstest

### Versjon A

Test ID	VT-8
Krav	IFK-04
Testutstyr	Interface dokumentasjon, Stian Solberg
Dato	16. mai 2023
Utført av	MINRAD

### Rasjonale

For videreføring av bacheloroppgaven er det ønskelig med en dokumentasjon av interface mellom brukergrensesnitt og det fysiske systemet. Alle interfacer i systemet skal dokumenteres.

### Utførelse

Interfacedokumentasjonen vil gjennomgås av oppdragsgiver. Her vil oppdragsgiver ha mulighet til å komme med innspill om endringer, og eventuelle endringer bli gjort fortløpende.

### Resultat

Tabell 57: Test resultat VT-8

Test ID	VT-8
Beskrivelse	Interface imellom systemer skal dokumenteres
Resultat	Godkjent

## 1.10 Brukerveiledning

### Versjon A

Test ID	VT-9
Krav	IFK-05
Testutstyr	Brukerveiledning, Stian Solberg
Dato	16. mai 2023
Utført av	MINRAD

### Rasjonale

For at kunden skal kunne bruke kampluftvernet på en trygg og sikker måte, er det nødvendig med en brukerveiledning. Ved hjelp av en brukerveiledning, skal enhver autorisert person lære seg å bruke kampluftvernets funksjoner. Dette innebærer blant annet fremdrift, rotasjon, elevasjon og avfiring.

### Utførelse

Brukerveiledning ble utlevert til kunden. Denne ble gjennomgått av kunde og deretter prøvde kunden å operere kampluftvernets funksjoner under tilstedeværende sikkerhetsoppsyn. Dette kommer grunnet ønske om å utelukket sikkerhetshull i tidlig fase.

### Resultat

Tabell 58: Test resultat

Forventet	Godkjent brukerveiledning med noen oppklaringer
Faktisk	Status revideres etter gjennomgang og tilbakemelding
Status	Godkjent



## 1.11 Beltestramming

### Versjon A

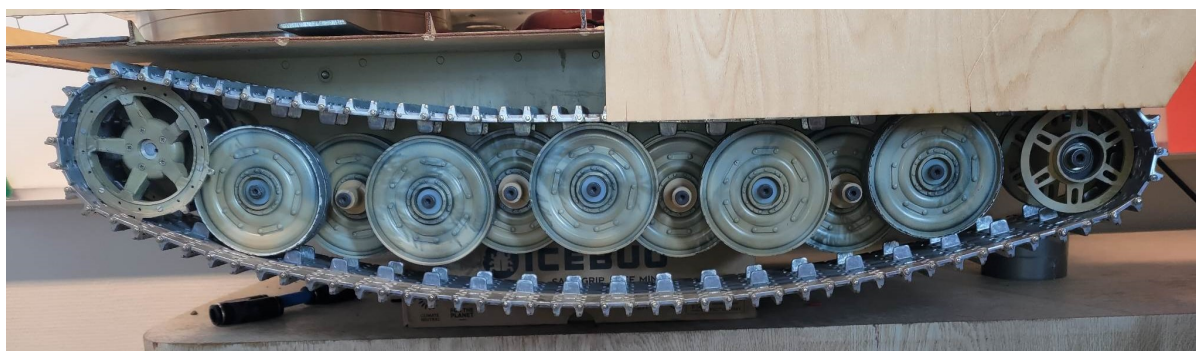
Test ID	VT-10
Krav	FK-14
Testutstyr	KLV
Dato	10. mai 2023
Utført av	MINRAD

### Rasjonale

Testen ble laget for å undersøke om beltene er stramme nok for bruk. Det vil si stramme nok til at tennene på drivhjulene ikke hopper over noen spor på beltene. Dette vil ha mye å si for levetiden til belte/ drivhjul til KLV.

### Utførelse

Beltene blir slakket opp som vist i fig. 51, for hånd. Deretter ble beltestrammemekanismen sluppet og fjærene fikk stramme beltet igjen.



Figur 51: KLV med slakt belte.



Figur 52: KLV med stramt belte.

Figur 52 viser KLVèn belte strammet av fjæren. Hjølet til venstre i figuren er drivhjølet. Da beltet var blitt stramt igjen ble beltene kjørt i 30 s i friluft, slik som i figuren. Deretter ble den kjørt i 30 s på gulvet. Da KLVèn ble kjørt ble det hørt etter om drivhjølets tenner hoppet over enkelte spor i beltet.

Dette ble utført fem ganger, hvorav alle forsøkene ga samme resultat, nemlig ingen tegn til hopping over spor.

## Resultat

Tabell 59: Test resultat VT-10

Forventet	Beltet er tilstrekkelig strammet
Faktisk	Beltet er tilstrekkelig strammet
Status	Godkjent

## 1.12 Fremkommelighetstest

### Versjon A

Test ID	VT-12
Krav	FK-17
Testutstyr	KLV med styring, 48 mm x 148 mm konstruksjonsvirke, Dedikert og avgrenset område.
Dato	7. mai 2023
Utført av	MINRAD

### Rasjonale

FK-17 Systemet skal ha fremkommelighet tilsvarende forsering av en dørstokk på 5 cm høyde. Dette er et sentralt krav for å sikre at fremkommeligheten opprettholdes fra det tidligere utleverte materiale.

### Utførelse

Tabell 60: Ulike deltesters mening.

Testnummer	Forklaring
VT-2	Verifisere at systemet klarer å komme over elementer her representert av en 5 cm høy dørstokk.



Figur 53: Manøvrering over et konstruksjonsvirke.

Denne testen gjøres ved å enkelt nok legge et standard 48 mm x 148 mm konstruksjonsvirke på bakken og forsøke å navigere KLVen over denne. Det gjøres oppmerksom på at dette fraviker med 2 mm høyde fra kravet, men dette ansees å utlignes av grus og ujevnheter på bakken som påvirker høyden på denne.

## Resultat

Tabell 61: Test resultat VT-12

Forventet	Vellykket manøvrering over et 48 mm x 148 mm konstruksjonsvirke.
Faktisk	Kommet seg over 48 mm høyt hinder, fremover og bakover.
Status	Godkjent

## 1.13 Langtids loggføringstest

### Versjon A

Test ID	VT-13
Krav	FK-18
Testutstyr	Brukergrensesnitt, Ekstern enhet
Dato	07. mai 2023
Utført av	MINRAD

### Rasjonale

Test for loggføring av avfyringer vil være nødvendig for å sikre at funksjonaliteten består gjennom prosjektets levetid.

### Utførelse

Test av loggføring gjøres ved at faktiske og simulerte avfyringer gjennomgås. Det vil da også bli sjekket om tilstrekkelig informasjon er blitt loggført, og om loggføringen aktivt lagrer dette.

### Resultat

Tabell 62: Test resultat VT-13

Forventet	Mer detaljert loggføring mot txt.fil med informasjon rundt forsøkte missilavfyringer.
Faktisk	Ingen loggføring.
Status	Ikke godkjent.

## 1.14 Mobilstyringstest

### Versjon A

Test ID	VT-17
Krav	FK-22
Testutstyr	Risikoanalyse, Stian Solberg
Dato	7. mai 2023
Utført av	MINRAD

### Rasjonale

For økt tilgjengelighet, ble det valgt å sette opp kravet:

- FK-17 - Systemet skal kunne styres med mobiltelefon.

### Utførelse

Ved testskyting ble det gjennomført avfyringer og enkel manøvrering ved bruk av en Android telefon. Det ble brukt kabel mellom PC og Arduino og bluetooth kobling mellom Mobiltelefon og PC. Dette ble brukt til å gi kommandoer som:

- Avsikring
- Avfyring.
- Frem/tilbake
- Rotere

### Resultat

Samtlige gitte kommandoer ble utført av KLVen.

Tabell 63: Test resultat VT-7

Forventet	KLV kan styres av mobiltelefon.
Faktisk	KLV styrt av Mobiltelefon.
Status	Godkjent.

## 1.15 Statuslogg test

### Versjon A

Test ID	VT-19
Krav	FK-24
Testutstyr	Grafisk brukergrensesnitt, KLV
Dato	16. mai 2023
Utført av	MINRAD

### Rasjonale

For å verifisere at de ulike modusene fungerer som de skal, er det nødvendig med en test som indikerer at modusskift i GUI samsvarer med endringer på KLV

### Utførelse

Verifisering av endringstidspunkt I GUI. bekreftelse av tidspunkt og dato.

### Resultat

Tabell 64: Test resultat

Forventet	Modusskift lagres i form av en txt fil på ekstern enhet
Faktisk	ikke implementert
Status	Ikke Godkjent

## 1.16 Laser test

### Versjon A

Test ID	VT-20, VT-20-1, VT20-2, VT-20-3, VT-20-4, VT-20-5
Krav	FK-8
Laser	KLV
Dato	07. mai 2023
Utført av	MINRAD

### Rasjonale

Det er fremlagt et krav om visuelt støttestøttfunksjon for sikte i form av laser. Hensikten med denne rapporten er å gjennomgå funksjonalitetene til laser samt sjekke visuelt synlighet av laser på mål.

### Utførelse

Testen utføres ved ett bevegelig mål slik at distance fra KLV endres inkrementelt. Det er ønskelig med en synlighet på opptil 20m da dette er lengdekravet for avfiring. VT-20 er godkjent dersom alle underkrav blir godkjent.

### Resultat

Tabell 65: Test Resultat VT-20-1

Test ID	VT-20-1, VT-20-2, VT-20-3, VT-20-4, VT-20-5
Beskrivelse	Laser synlig på mål ved 2 m, 6.5 m, 11 m , 16.5 m, 20 m
Forventet	Laser skal være synlig fra 2 til og med 20 meter
Status	Godkjent



## Referanser

- [1] Electromen, *EM-176A DC-MOTOR CONTROLLER 12/24Vdc 10A*.
- [2] P. Ghadi, "Dc motors with electromagnetic compatibility (emc).," 8. nov, 2021.
- [3] Vishay, *Reducing EMI With Vishay's IHLE Power Inductor*, 2016.
- [4] "Explore formlabs 3d printers." Formlabs, 2023.
- [5] Formlabs, *Nylon 12 Powder*, 19. aug, 2020.
- [6] Ultimaker, *Ultimaker Tough PLA, Technical data sheet*, 9. mai, 2022.
- [7] Ultimaker, *Ultimaker ABS, Technical data sheet*, 19. aug, 2020.
- [8] Jettacloud, *HexPly 8552, product data*, 25. sep, 2018.
- [9] S. Kalpakjin, S. R. Schmid, and K. S. V. Sekar, *MANUFACTURING, Engineering and Technology*. 7 ed., 2014.
- [10] J. E. Shigley, R. G. Budynas, and J. K. Nisbett, *Shigleys MECHANICAL ENGINEERING DESIGN*. McGraw-Hill, 11 ed., 2020.
- [11] "Natural color system s 4030-g50y hex code." HEXTORAL, 2023.
- [12] "Natural color system s 4040-g60y hex code." HEXTORAL, 2023.