

# SYDDANSK UNIVERSITET

SEMESTERPROJEKT I GRUNDLÆGGENDE STYRING AF ROBOTTER, (E17)

CIV. ROBOTTEKNOLOGI 1. SEMESTER

AFLEVERES 15. DECEMBER 2017

---

## Tegnerrobotten PRO1 - Gruppe 4

---

**Studerende:**

Anne-Charlotte Poulsen  
annpo17@student.sdu.dk  
14/03-1997

AnneCharlotte Poulsen

**Studerende:**

Daniel Tofte Schøn  
dscho15@student.sdu.dk  
12/09-1994

Daniel Tofte Schøn

**Studerende:**

Mirzet Traljesic  
mtral17@student.sdu.dk  
29/05-1996

Mirzet Traljesic

**Studerende:**

Lars Gylding Lindved  
lalin17@student.sdu.dk  
09/12-1987

Lars Lindved

**Studerende:**

Troels Zink Kristensen  
tkris17@student.sdu.dk  
30/04-1997

Troels Zink Kristensen

**Vejleder:**

Jan Petersen  
jpe@mmmi.sdu.dk

## 1 Abstract

This project looks at the drawing of images, on a plane surface, with pencil on paper using a delta robot; this is described later in the introduction in section 3. The pencil has to be sharpened automatically after a specified drawing-time or drawing-distance with an electric pencil sharpener. The project is divided into the following three sections: the physical properties of the pencil, the pencil sharpener, and the programming of the code.

By examining various factors such as the area the pencil can draw on; drawing by dots or/and lines; the force caused by the pencil; shading by greyscale and for how long the robot can draw before the pencil needs sharpening, it is possible to draw an accurate image with several shades of grey.

An electric circuit for the pencil sharpener is constructed, thus the voltage from the 12V power supply is transformed down to 6V with a voltage regulator.

The blade in the pencil sharpener is driven by an electric motor. The electric motor starts to rotate when the connection between an IR-diode and a phototransistor is blocked by the pencil, and stops rotating when the connection is re-established. The circuit is explained in section 6.

As the robot has to draw an image automatically, it has to be done through a programming language, *G-code*. This code tells the robot coordinates and movement instructions that allow it to draw the image. The robot will also sharpen the pencil when necessary.

It is possible to utilise all of the shades of grey in theory, but complicated in reality, as many factors have to be considered to draw a proper image with just few or several shades. However, commonly a few shades are enough to determine what the image depicts.

## Indhold

<b>1</b>	<b>Abstract</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Forord</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Indledning</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Projektbeskrivelse</b>	<b>4</b>
4.1	Problemformulering . . . . .	4
4.2	Krav til blyantens fysiske egenskaber . . . . .	5
4.3	Krav til blyantspidseren . . . . .	5
4.4	Krav til programmeringen . . . . .	5
<b>5</b>	<b>Blyantens fysiske egenskaber</b>	<b>6</b>
5.1	Teori . . . . .	6
5.2	Test . . . . .	8
5.3	Opsummering . . . . .	13
<b>6</b>	<b>Blyantspidseren</b>	<b>14</b>
6.1	Intro . . . . .	14
6.2	Spændingsregulerende kredsløb . . . . .	14
6.3	Detektionskredsløbet . . . . .	15
6.4	Termiske beregninger . . . . .	19
6.5	Test . . . . .	21
<b>7</b>	<b>Programmering</b>	<b>21</b>
7.1	Beskrivelse af indbyggede funktioner . . . . .	22
7.2	Mathematica-kode . . . . .	23
7.2.1	Introduktion . . . . .	23
7.2.2	Algoritmer . . . . .	24
<b>8</b>	<b>Konklusion</b>	<b>26</b>
<b>9</b>	<b>Perspektivering</b>	<b>27</b>
<b>10</b>	<b>Litteraturliste</b>	<b>28</b>
<b>11</b>	<b>Bilag</b>	<b>29</b>
11.1	Bilag fra Blyantspidseren . . . . .	29
11.2	Indhold på elektronisk bilag . . . . .	30

## 2 Forord

Rapporten er udarbejdet af Anne-Charlotte Poulsen, Daniel Tofte Schøn, Lars Gylding Lindved, Mirzet Traljesic og Troels Zink Kristensen.

Det er et projekt (RB-PRO1) på uddannelsen, Civilingeniør i Robotteknologi, på 1. semester 2017 v. Syddansk Universitet i Odense. Projektet dækker 10 ECTS point, hvor de to kurser, RB-FYE1 og RB-MAT1, anvendes som supplement til at udføre projektet.

Projektet blev udleveret d. 2. oktober 2017 og afsluttes med rapport d. 15. december 2017.

Der er altså givet en arbejdsperiode på ti uger og fire dage. Ud fra denne arbejdsperiode er en tidsplan udarbejdet, hvilket ses under *Tidsplan* i det elektroniske bilag (Zip-fil).

Vi vil gerne takke vores vejleder, Jan Petersen, for at have bistået os, samt vejledt os med stor engagement.

### Læsevejledning

Der skal gøres opmærksom på, at der igennem rapporten vil anvendes reference til kilder vha. slutnoter. Disse noter er sat ind under *Litteraturliste* og refereres i rapporten med tal-eksponenter indeni firkantede parenteser, således: <sup>[2]</sup>. Datablade refereres blot med det tilhørende navn. Databladene findes under *Datablade* i det elektroniske bilag (Zip-fil).

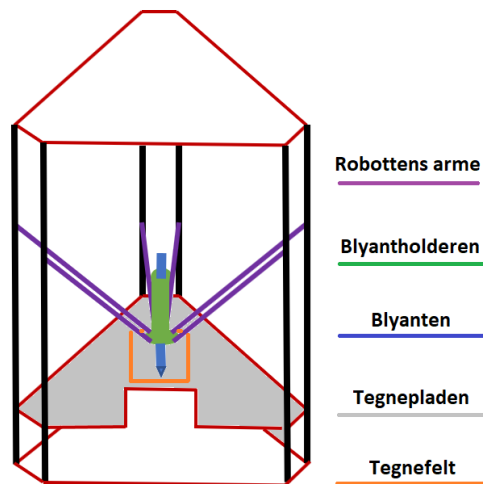
## 3 Indledning

Formålet med projektet er at konvertere digitale billeder til fysiske illustrationer. Det fungerer således, at et ønsket billede indsættes i et program på computeren, der omdannes til læsbar kode for robotten. Billedet tegnes på papir med en blyant, der styres af en robot. Robotten, benævnt deltarobot, er en type af parallelrobotter. En parallelrobot består af et forbindelsespunkt for tre arme (se figur 1), som kan bevæge sig inden for et tegnefelt.<sup>[1]</sup> Deltarobotten er lavet om til en 2D-robot og kan derfor kun tegne på en plan overflade. De tre arme styres af tre step-motorer, som bevæger en rem op og ned, hvorpå robotens arme er monteret fast til. I forbindelsespunktet er der en holder til blyanten, hvori en fjeder er monteret, hvorved blyanten kan afgive forskellige tryk (se sektion 5).

Deltarobotten tegner en illustration ud fra en tekstfil med G-kode. Dette programmeringssprog anvendes hyppigt inden for automation. G-koden består af fem forskellige værdier: N, G, X, Y og Z. Disse værdier angiver henholdsvis værdien for G-kode-nummer, type G-kode, X-position, Y-position og Z-position. I dette projekt er typen af G-kode inddelt i tre værdier, hvilket er G00, G01 og G98. G00 og G01 er to forskellige hastigheder, henholdsvis en luftbevægelse og tegnebevægelse. G98 er en indbygget kode, som automatisk fører blyanten ned i blyantspidseren. Ydermere er det muligt at regulere hastigheden for step-motorerne fra 1-999%.

Igennem rapporten vil deltrobotten benævnes som *robot(ten)*.

Figur 1 viser robotten med navngivning af udvalgte dele:



Figur 1: Tegnerrobotten

x

## 4 Projektbeskrivelse

### 4.1 Problemformulering

Projektgruppen vil vha. robotten afbilde et logo i sort/hvid ved prik- og stregetegning og brug af blyant. Tilmed skal robotten styre spidsningen af blyanten vha. en blyantspidser, når graden af afbildningen er visuelt utilstrækkelig gengivet. Ydermere, skal blyantspidseren aktiveres automatisk når blyanten isættes.

- Billeder nedskaleres til passende størrelse, således at hele billedet medtages uden at det beskæres. Som følge heraf, skal små detaljer på afbildningerne ikke forventes at være eksakt gengivet på trods af nedskalering.
- Der skal designes et kredsløb for blyantspidseren med en forsyningsspænding således, at motoren nominelt får et spændingsfald på 6V. Ydermere, skal blyantspidseren detektere blyanten vha. en lyssensor.
- Blyanten skal spidses vha. blyantspidseren efter en given tegnedistance, således at afbildningen ikke forringes af udtydelig farvetryk.
- For at komme fra billede til afbildning, skal robotten modtage bestemt G-kode genereret ud fra programmering i Mathematica.

Projektet udføres ud fra ovenfornævnte forudsætninger.

## 4.2 Krav til blyantens fysiske egenskaber

**Hårde** krav er markeret med fed og *bløde* krav er markeret med kursiv. Med **hårde** og *bløde* krav, menes der henholdsvis krav, som skal realiseres, og krav, som kan blive implementeret som ekstra tilføjelser.

- Blyanten skal spidses efter et bestemt antal prikker / bestemt distance
- Blyanten skal kunne tegne op til 5 forskellige gråtoner
- *Deltarobottens tegnehastighed skal indstilles således, at kvaliteten af billedet ikke forringes*
- Tegnefeltet skal afgrænses ud fra bevægelsesområdet for robotten

## 4.3 Krav til blyantspidseren

Det samme gælder for disse krav, angående fed og kursiv.

- Der skal designes et kredsløb, der nedregulerer forsyningsspændingens 12V til 6V.
- Der skal designes et kredsløb, der kan detektere, hvorvidt blyanten er nede i blyantspidseren eller ej
  - *Kredsløbet skal gerne kunne monteres i bunden af blyantspidseren, hvor batterierne lå tidligere*

## 4.4 Krav til programmeringen

Det samme gælder for disse krav, angående fed og kursiv.

- Det skal være muligt at eksportere et tekstdokument (.nc) med den ønskede G-kode, hvilket indebærer N-, G-, X-, Y- og Z-værdier, for et ønsket billede
- Efter blyanten spidses, skal den vertikale position for blyanten justeres
- Billedet skal være i formatet JPEG

## 5 Blyantens fysiske egenskaber

### 5.1 Teori

Følgende teori afsnit opstilles som supplement til *Test*, sektion 5.2:

- Generelt om blyant
- Tegnekraft
- Spidsning af blyant
- Tegneslid

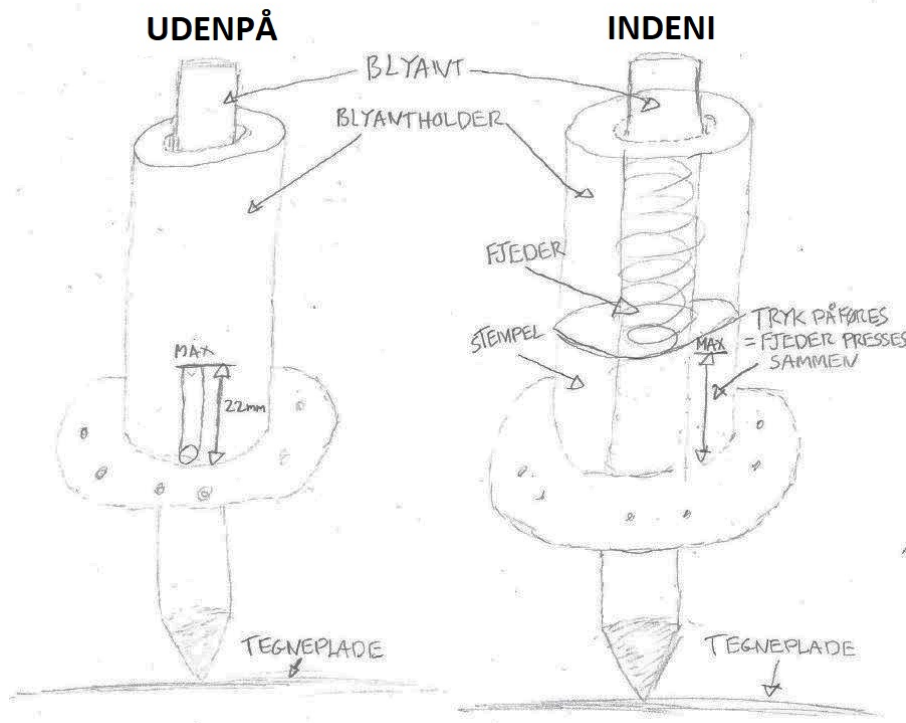
#### Generelt om blyant

Stiften i blyanten består af grafit og ler. En større andel af grafit i forhold til ler vil give en blødere blyant. Hårdhedsgraden af en blyant er kategoriseret efter følgende klassificering: **9H, 8H, 7H, 6H, 5H, 4H, 3H, 2H, H, F, HB, B, 2B, 3B, 4B, 5B, 6B, 7B, 8B, 9B**.

Hvor 9H er hårdest og 9B er blødest.<sup>[2]</sup>

I projektet er der som udgangspunkt arbejdet med blyanter af hårdhedsgrad 8B, hvilket er den anden blødeste inden for klassificeringen. Blyanten er monteret med skrue i et stempel, hvor blyantholderen er analog til en cylinder. Blyanten føres igennem et hul i blyantholderen, hvor der er monteret en fjeder, som hviler på stemplet. Derved er der affjedring, således blyantstiften ikke knækkes når den presses mod tegnepladen.

Figur 2 viser en illustration af denne blyantholder, udenpå og indeni:



Figur 2: Blyantholderen set udefra og indefra

Den kraft som fjederen udøver på tegnepladen, er beskrevet under *Tegnekraft*.

### Tegnekraft

Når blyanten tegner, føres den mod papiret på tegnepladen med en vinkelret kraft, benævnt tegnekraft. Dette resulterer i, at der overføres materiale fra blyant til papir. Tegnekraften afhænger af, hvor hårdt blyanten trykkes mod papiret, som reguleres af fjederen i blyantholderen. Blyantholderens højde styres gennem G-kodens Z-værdi, hvor Z0 svarer til, at spidsen af blyanten akkurat har kontakt med papiret, således fjederen ikke påvirkes. Når fjederen påvirkes skyldes det en negativ Z-værdi. Blyantholderens mekaniske begrænsning betyder, at fjederen kan arbejde i intervallet 0-22mm, svarende til [Z0 ; Z-22]. Til afgørelse af, hvilken grad tegnekraften afhænger af G-kodens Z-værdi, undersøges fjederens fjederkonstant eksperimentelt. Tegnekraften kan approximeres ved Hookes lov for den ideelle fjeder:  $F_h = -k \cdot x$ , hvor  $F_h$  er kraft,  $k$  er Hookes fjederkonstant og  $x$  er forskydning i forhold til hvileposition.

### Spidsning af blyant

Der er en indbygget G-kode til spidsning af blyanten, hvilket er koden G98. Denne indbyggede funktion fører blyanten ned i blyantspidseren, hvor blyanten bliver spidset ved et bestemt tidsinterval. Det er muligt at ændre Z-værdien for G98, hvilket bestemmer den kraft blyanten føres ned i blyantspidseren med. Det er muligt at spidse blyanten uden, at den bliver fuldstændig spids. Spidsningen afhænger af, hvor slidt blyanten er, og hvilken Z-værdi koden er sat til. Figur 3 illustrerer, hvordan blyanten spidses. Det sorte område er blyanten før spidsning, og det blå område er blyanten efter slid. Herefter spidses blyanten til det røde område, hvilket ikke fjerner noget af længden af blyanten, men gør blyantstiften (slidhøjden) større.



Figur 3: Spidsning af blyant

### Tegneslid

Slitagen mellem blyant og papir tilhører den del af tribologi, som på engelsk kaldes *adhesive wear*.<sup>[3]</sup> Dette er en slitageform mellem to materialer, der gnider mod hinanden, hvor det blødeste nedbrydes og klistrer til det andet. Blyanten nedbrydes og efterlader et spor af grafit på papiret. Det volumenmæssige slid, kan tilnærmelsesvis beskrives efter Archards formel for slitage<sup>[4]</sup>:

$$V(d) \approx F \cdot d \cdot \frac{K}{H}$$

Afsættet af volumen pr. distance findes ved at differentiere i forhold til  $d$ :

$$V'(d) \approx F \cdot \frac{K}{H}$$

Hvor  $V$  er volumen som slides væk,  $F$  er kraften der presses med,  $d$  er distancen der slides,  $K$  er en enhedsløs slidkonstant og  $H$  er hårdheden på materialet, som slides. Når kraften er konstant vil det volumenmæssige slid være lineært proportionelt med kraft gange distance, hvilket er arbejdet  $W$ . Blyantens hårdhedsgrad er omvendt proportional med det volumenmæssige slid.

Der afsættes forskellige mængder grafit på papiret for at opnå forskellige toner. Ved stregtegning eller priktegning kan dette f.eks. gøres ved at bruge forskellige værdier af  $V'(d)$  via tegnekraft.



## 5.2 Test

Ud fra ovenstående teori opstilles følgende test/forsøg af:

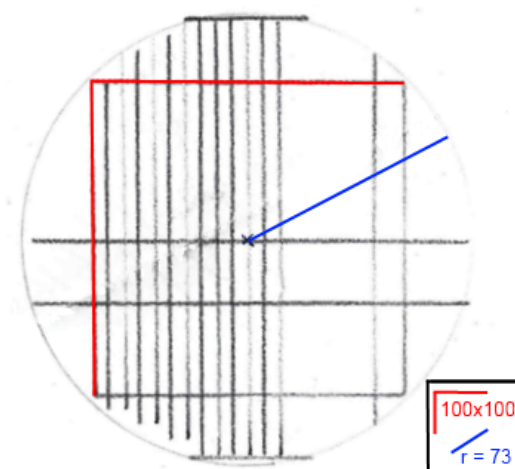
(Disse test/forsøg er opstillet på baggrund af kravene for blyanten, hvilket kan læses under projektbeskrivelsen ved **Krav til blyantens fysiske egenskaber** (se sektion 4.2).)

- Tegnefelt
- Tegnehastighed
- Prik- vs. stregtegning
- Spidsning af blyant
- Tegnekraft
- Gråskala
- Tegnedeistance

### Tegnefelt

En specifik G-kode fil overføres til robotten, hvorved test udføres for at bestemme de yderste positioner, som blyanten kan tegne i. På figur 4 er der vist, hvor disse grænser er placeret.

Blyanten kan tegne en kvadrat på maksimalt 100mm·100mm, men det er muligt at tegne uden for kvadraten. Det maksimale tegneområde har radius på 73mm, hvor kvadratens fire hjørner skærer cirkelns periferi. Eftervisning af radius på 73mm blev udført vha. en passer.



Figur 4: Tegnefelt

Ud fra ovenstående test, konkluderes det, at man ud fra programmeringsdelen af projektet, vil holde sig inden for kvadraten på 100mm·100mm.

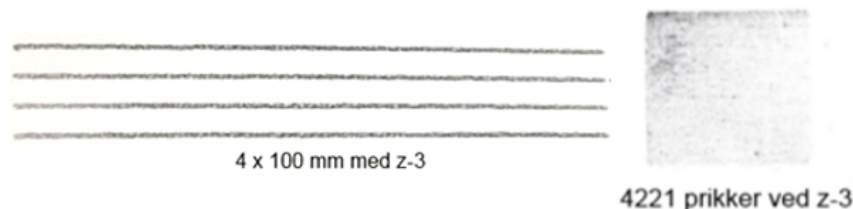
### Tegnehastighed

Test udføres om, hvorvidt tegnehastigheden forringer kvaliteten af illustrationen.

Tegnehastigheden sættes til 100%, 250%, 350%, 500% og 999%. Det viser sig, at hvis tegnehastigheden er højere end 250%, forekommer et anslagspunkt, som er mørkere end resten af illustrationen. Det gælder både for strege- og priktegning. Tegnehastigheden vælges derfor fremover til 250% fremfor 100% med hensyn til tegnetiden.

### Prik- vs. stregtegning

Der er foretaget forsøg på kvaliteten af streg- og priktegning med en 8B blyant. Afsættelsen fra blyantstiften ved stregtegning er mere konsekvent og jævn ift. priktegning (se figur 5). Der er observeret, at der kan opstå klæbende støv på blyantspidsen ved priktegning, som ændrer afsættelsen. Støvet bliver løbende slidt af ved stregtegning, og er derfor ikke et problem.



Figur 5: Streg- vs. priktegning

Hvis streg-og priktegning kombineres, fjernes støvet fra priktegning når der stregtegnes. En tegnemetode med udelukkende priktegning anvendes derfor ikke.

### Spidsning af blyant

Hvert forsøg blev udført med en fuldstændig spidsning. Se tabellen nedenfor (se tabel 1):

Tabel 1: Test omkring spidsning af blyant.

Z-VÆRDI/FORSØG	FORSØG 1	FORSØG 2	FORSØG 3	FORSØG 4	FORSØG 5
Z-30	0,5 mm	0,1 mm	0,4 mm	0 mm	0,2 mm
Z-35	0,6 mm	0,5 mm	0,5 mm	0,6 mm	0,5 mm
Z-40	2,1 mm	0,7 mm	1,9 mm	1,7 mm	1,4 mm

En hastighed på 250% og en Z-værdi på Z-35 spidser konsekvent  $\approx 0,5$  mm af blyantens længde. Z-30 og Z-40 er upålidelige, da udsvingene er for store, og derfor vælges Z-35.

### Tegnekraft

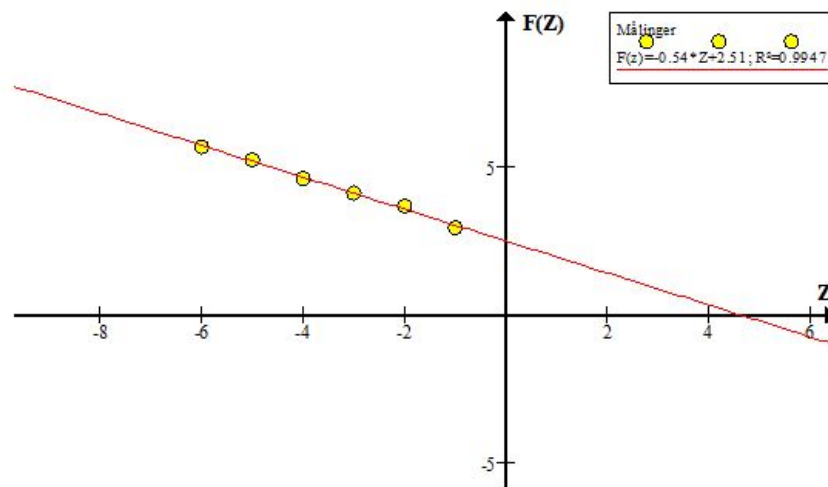
Fjederkonstanten skal bestemmes, mens fjederen er monteret i blyantholderen.

Den bestemmes ved en forsøgsopstilling, hvor blyanten monteres omvendt i blyantholderen, således enden peger mod tegnepladen. På tegnepladen placeres en kraftmåler. Robotten kalibreres så blyanten akkurat har kontakt med måleren. Måleren påvirkes med forskellige Z-værdier. Forsøget gentages tre gange og gennemsnittet ses i tabel 2:

Tabel 2: Gennemsnitlig kraft ved forskellige Z-værdier

Z-VÆRDI [mm]	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6
GENNEMSNIITSLIG KRAFT [N]	0	2,95	3,7	4,15	4,65	5,25	5,7

Tabel 2 afbildet som graf på figur 6:

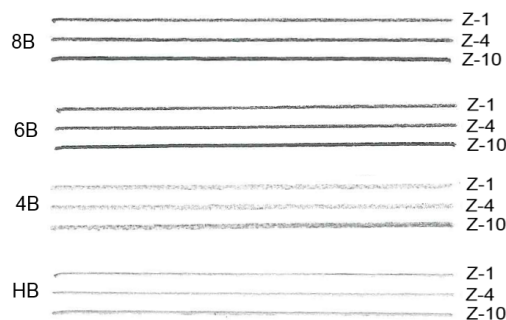


Figur 6: Gennemsnitkraft afbildet som graf

Funktionen for tegnekraften bestemmes ved regression til  $F(z) = -0,54z + 2,51$  med  $R^2 = 0,9947$ . Fjederkonstanten  $k$  kan findes som hældningen, der bestemmes ved at differentiere funktionen:  $k = \frac{d}{dz}(F(z)) = -0.54$ . Denne fjederkonstant gælder kun for  $Z$ -værdier mindre end -1, da man ud fra grafen (figur 6) kan aflæse, at funktionen ikke er lineær under  $Z=1$ . Fjederen opfylder ikke Hookes lov over  $Z=1$ , men opfører sig tilnærmelsesvis som en ideel fjeder i  $[-1; -6]$ .

### Gråskala

Der er udført forsøg med blyanter på hårdhedsgrad HB, 4B, 6B, 8B. Stregerne er lavet med  $Z$ -værdier på -1, -4 & -10. Figur 7 viser toneforskellen ved blyanterne:

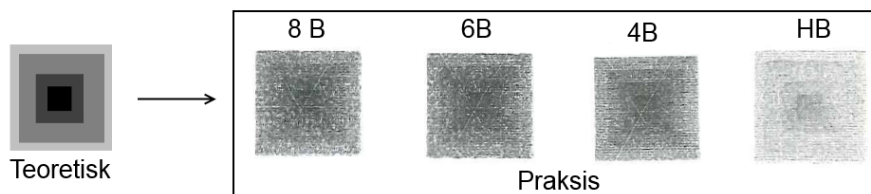


Figur 7: Toneforskellen ved de fire blyanter

Forskellige tegnekrafter giver ikke det forventede antal forskellige gråtoner, da der visuelt kun skelnes mellem lys eller mørk.

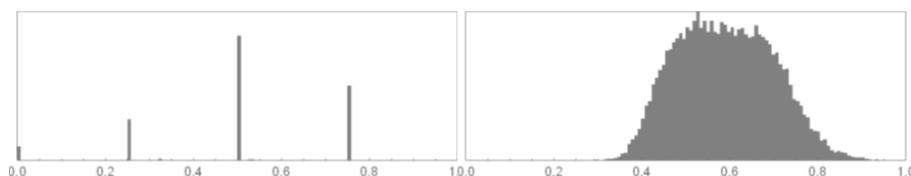
Eftersom det ikke virker at ændre kraften  $F$  i forhold til Archads formel,  $V'(d) \approx F \cdot \frac{K}{H}$ , forsøges det at repetere en streg ved samme  $Z$ -værdi, således afsættet af volumen pr. distance kan summeres. Der skal tegnes mest muligt mellem hver spidsning, hvorved tegnetiden optimeres. Det vides, at en større tegnekraft giver et større slid, og derfor skal tegnekraften være så lille som

muligt. Ud fra afsnittet omkring *Tegnekraft* skal der ikke tegnes med en Z-værdi på Z-1 eller større, samt ud fra *Spidsning af blyant (Test)* skal der spidses 0,5 mm. Derfor udføres test med de fire blyanter med Z-1,5, hvilket resulterer i et Z-interval på Z-1,5 til Z-1 (se figur 8).



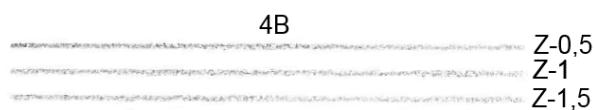
Figur 8: Her streges der oveni samme streger for at opnå flere gråtoner

Det vurderes visuelt, at repetition virker godt for 4B. Til sammenligning vurderes den indscannede illustration digitalt og objektivt gennem Mathematicas *ImageHistogram-funktion* og sammenlignes med det teoretiske histogram (se figur 9):



Figur 9: Teoretisk og praktisk histogram

Denne funktion plotter pixel-niveauerne for gråtonerne fra 0-1, hvor 0 er sort og 1 er hvid. Teoretisk er der fire toner, hvor der i praksis er mange forskellige toner. Selvom der er i praksis er mange toner, lægges der mere vægt på den visuelle vurdering. Derfor vælges metoden med at repetere streger som fremgangsmetode for at få gråtoner. 4B-blyanten testes i intervallet  $Z[-1,5 ; -0,5]$  (se figur 10):



Figur 10: Test af toneforskellen på 4B

Der er visuelt ingen toneforskel mellem Z-værdierne. Med repetitions-metoden er det nu en fordel fremfor en ulempe, da der kan startes på Z-1,5 og slides på længere distance, før tonen skifter. For at maksimere tegnedistancen vælges hårdhedsgraden 4B og en begyndelsesværdi på Z-1,5.

**Tegnedistance**

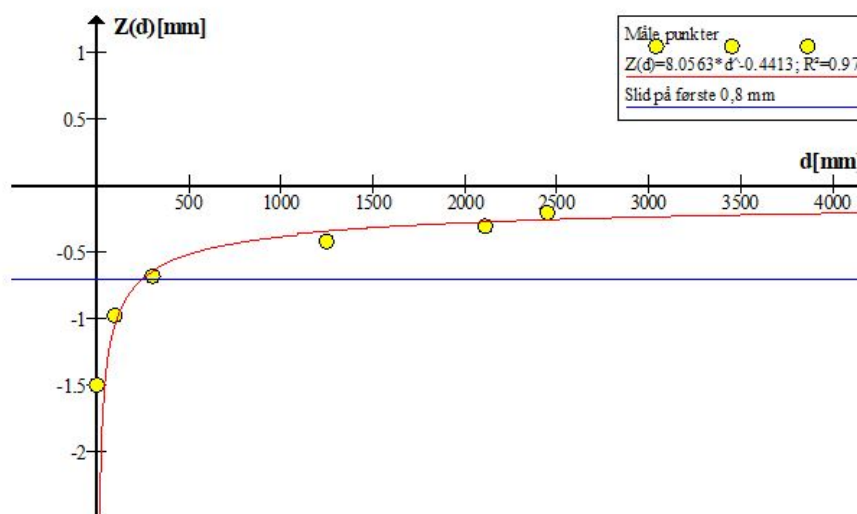
Det generelle slid på 4B fra ny-spidsset tilstand undersøges med begyndelsessværdi på Z-1,5.

Forsøget er gentaget tre gange og gennemsnittet ses i tabel 3:

Tabel 3: Gennemsnitlig slid for tegnedistance.

DISTANCE [mm]	0	100	300	1250	2112	2450
GENNEMSINITLIG SLID [mm]	0	0,516	0,817	1,08	1,20	1,30

Illustreret som graf ift. begyndelsessværdien på Z-1,5 (figur 11):



Figur 11: Der slides af ift. tegnedistancen

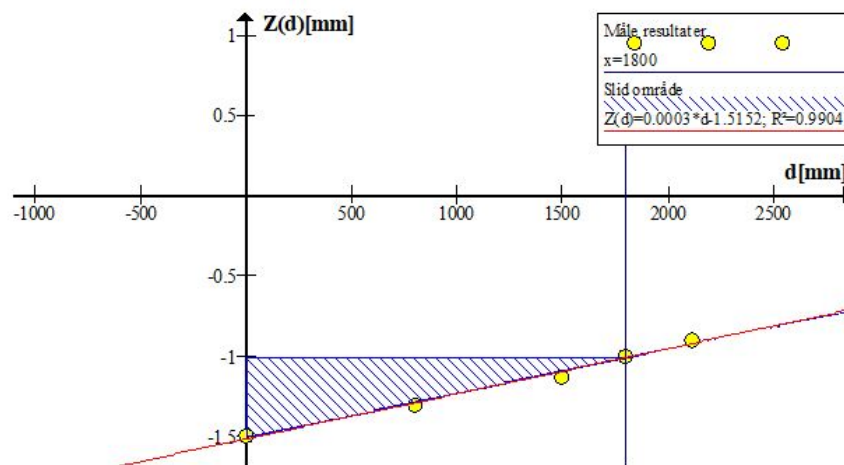
Efter en distance på 250mm er der slidt 0,8mm. Bemærk at de fire målepunkter for  $d \in [300; 2450] \text{ mm}$  er tilnærmelsesvis lineære. Det kan skyldes en lille tegnekraft og/eller at stiftens overfladeareal er blevet tilpas stort, så det volumenmæssige slid, gør, at slidhøjden (se *Spidsning af blyant (Teori)*) ændrer sig væsentligt langsommere og kurven derfor bliver tilnærmelsesvis lineær. Det kan være en mulighed at anvende de 0,8mm som et fast udgangsslid (kalibreringsslid). Det vil ensarte udgangspunktet, samt muligvis resultere i et lineært afsæt eller slid af blyantstiften.

I næste test foretages fra ny-spidsset blyant, hvor der kalibreringsslides 0,8mm. Herefter justeres blyanten ned mod tegnefladen for at kompensere for 0,8mm. Forsøget gentages tre gange og gennemsnittet ses herunder i tabel 4:

Tabel 4: Gennemsnitlig slid for tegnedistance med kalibreringsslid.

DISTANCE [mm]	0	800	1500	1800	2112
GENNEMSINITLIG SLID [mm]	0	0,2	0,367	0,5	0,6

Illustreret som graf ift. begyndelsesværdien på Z-1,5 (figur 12):



Figur 12: 0,5mm slid inden blyanten spidses

Der er linearitet, hvilket bekræftes ud fra  $R^2 = 0,9904$ . En gennemsnitlig spidsning af blyanten fjerner  $\approx 0,5\text{mm}$ ; derfor vælges det at slide 0,5mm af blyantspidsen, for derefter at spidse tilbage til samme slidflade som ved kalibreringssliddet (disse flader ses under *Spidsning af blyant* under teori). Figur 13 illustrerer det sorte område efter kalibreringssliddet, og det blå område efter sliddet. Herefter spidses der til det røde område, hvor slidhøjden bliver større, men ikke selve længden af blyanten.



Figur 13: Kalibreringssliddet på 0,8mm og tegnesliddet på 0,5mm

Grafisk aflæses 1800mm (figur 12), som tegnedistancen, hvor der efter kalibreringssliddet, slides 0,5mm yderligere af.

### 5.3 Opsummering

Herunder ses en oversigt over de beslutninger der er taget undervejs i sektion 5:

- Tegnehastigheden sættes til 250%
- Både prik- og stregtegning anvendes
- Blyanten spidses med G-koden G98 ved Z-35
- Der skal ikke benyttes Z-værdier større end -1
- Blyanten med hårdhedsgrad 4B anvendes
- Tegnedistancen sættes til 1800mm før blyanten spidses
- Dette er baseret ud fra et slid på 0,5mm

## 6 Blyantspidseren

### 6.1 Intro

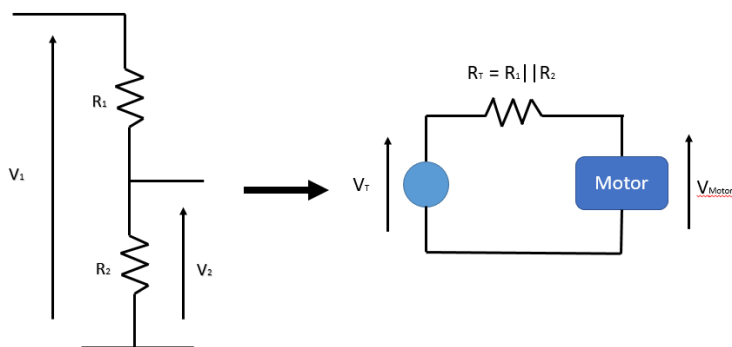
Der skal konstrueres et elektrisk kredsløb, der opfylder kravene til blyantspidseren (se sektion 4.3). Der er besluttet at konstruere kredsløbet i to dele; et spændingsregulerende kredsløb, og et detektionskredsløb. Undersektionerne omhandler kredsløbene og de overvejelser, som er foretaget undervejs.

### 6.2 Spændingsregulerende kredsløb

Robottens strømforsyning leverer nominelt 12V og 3,3A, hvilket konverteres til nominelt 6V. Dette fører til, at motoren ved et spændingsfald på nominelt 6V maksimalt trækker 1,7A. Den maksimale strøm måles ved spidsning af blyanten på Z-35.

#### Løsningsforslag 1

Princippet om spændingsdeling kan bruges til at nedregulere indgangsspændingen til detektionskredsløbet.



Figur 14: Illustration af spændingsdeling, og ækvivalente Thévenin kredsløb

- $V_T$ : Thévenin spændingen
- $R_T$ : Thévenin modstanden
- $V_{motor}$ : Spændingen over motoren

Spændingsfaldet over  $R_1$  og  $R_2$  skal nominelt være 6V. Ifølge spændingsdelings-princippet, skal modstandenes størrelser være ens:

$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V_2$$

Der kan med et spændingsfald på nominelt 6V over motoren maksimalt løbe en strøm på 1,7A. Dette resulterer i en strømdeling. Hvis modstandene  $R_1$  og  $R_2$  er lave nok, vil strømdelingen ikke have en betydning for spændingsdelingen. Derimod vil strømmen overstige begrænsningen fra forsyningsspændingen; idéen fravælges.

#### Løsningsforslag 2

Et kredsløb for en spændingsregulator konverter en høj indgangsspænding til en tilnærmelsesvis konstant udgangsspænding. **NB:** en spændingsregulator kan have en høj effektafsættelse, hvilket løses med en køleplade. Dette løsningsforslag benyttes.

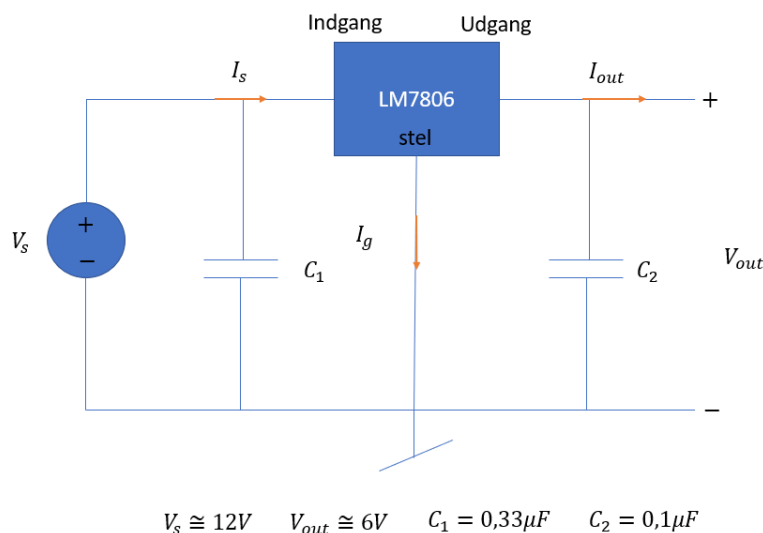
### Forslag til spændingsregulator

En LM7806-spændingsregulator er et integreret kredsløb, der kan levere en udgangsspænding på 5,7-6,3V; nominelt 6V. Den maksimale kapacitet er 2,2A og 8-21V for indgangen. Det er et let tilgængelig kredsløb og med en pris pr. enhed på omkring 4DKK<sup>[5]</sup>. Kredsløbet kræver to kondensatorer, hvis værdier er tilgængelig i databladet for LM7806.

S18V20F er en 6V spændingsregulator. Den maksimale kapacitet ved indgangen er 2A og 3-30V. S18V20F nedregulerer indgangsspændingen til 5,76-6,24V. Prisen pr. enhed er omkring 93DKK.<sup>[6]</sup>

Komponenten LM7806 vælges, da den ekstra nøjagtighed i udgangsspændingen ikke er nødvendig og kostprisen er lavere end S18V20F. Kondensatorerne til LM7806'eren er hhv.  $0,33\mu\text{F}$  på indgangen og  $0,1\mu\text{F}$  på udgangen, ifølge databladet for LM7806.

Det endelige kredsløb er illustreret på figur 15, hvor  $V_s$  er forsyningsspændingen og  $V_{out}$  er udgangsspændingen.



Figur 15: Kredsløbstegning af kredsløbet for spændingsregulatoren

## 6.3 Detektionskredsløbet

Kredsløbet fungerer som en elektrisk kontakt til motoren, således kontakten slutes, hvis blyanten er i blyantspidseren.

### Løsningsforslaget

Detektionskredsløbets hovedfunktion, er, at starte motoren på det tidspunkt blyanten bevæges ned i blyantspidseren. Dette løses med en fotodetektor, en operationsforstærker uden modkobling og en elektrisk kontakt.

Fotodetektoren består af en infrarød diode (IR-diode) og fototransistor, som peger direkte mod hinanden. Når IR-dioden exciterer fototransistorens base vil impedansen ideelt gå mod 0, og omvendt vil impedansen gå mod  $\infty$ , hvis blyanten blokerer for de infrarøde stråler. Eftersom fototransisto-



ren ikke er ideel, udnyttes det senere, at impedansen henholdsvis er lav og høj i de to overnævnte tilfælde.

Da fototransistoren ikke er ideel benyttes en operationsforstærker. Operationsforstærkeren vil uden modkobling forstærke differensen mellem den inverterende og ikke-inverterende indgang; ideelt uendeligt. Det analoge indgangssignal omdannes til et digitalt udgangssignal.

Operationsforstærkeren kobles til en spændingsdeling over fototransistoren og en modstand på den inverterende indgang, mens to ens modstande i serie kobles til den ikke-inverterende indgang. Der vil med denne kobling kunne opstå to scenarier:

**Scenarie 1:** Fototransistorens base belyses af IR dioden. Operationsforstærkerens udgangsspænding går mod 0V.

**Scenarie 2:** Blyanten blokerer for belysningen af fototransistoren. Operationsforstærkerens udgangsspænding går mod 6V.

Operationsforstærkerens udgangsspænding kobles til en selvspærende NPN MOSFET's Gate, med en tærskelspænding under 6V. En selvspærende MOSFET skal have en positiv spændingsforskel mellem Gate og Source for at lade strøm passere mellem Drain og Source. Motoren kobles til udgangsspændingen fra spændingsregulatoren til Drain, og Source til stel. Med denne kobling vil MOSFET'en være en elektrisk kontakt. [7] [8]

Motoren er teoretisk en spole. Hvis en spole afbrydes momentant opstår der et modsatrettet spændingsfald, hvilket skyldes den oplagrede feltenergi. Dette ses i ligningen for spændingen over spolen:

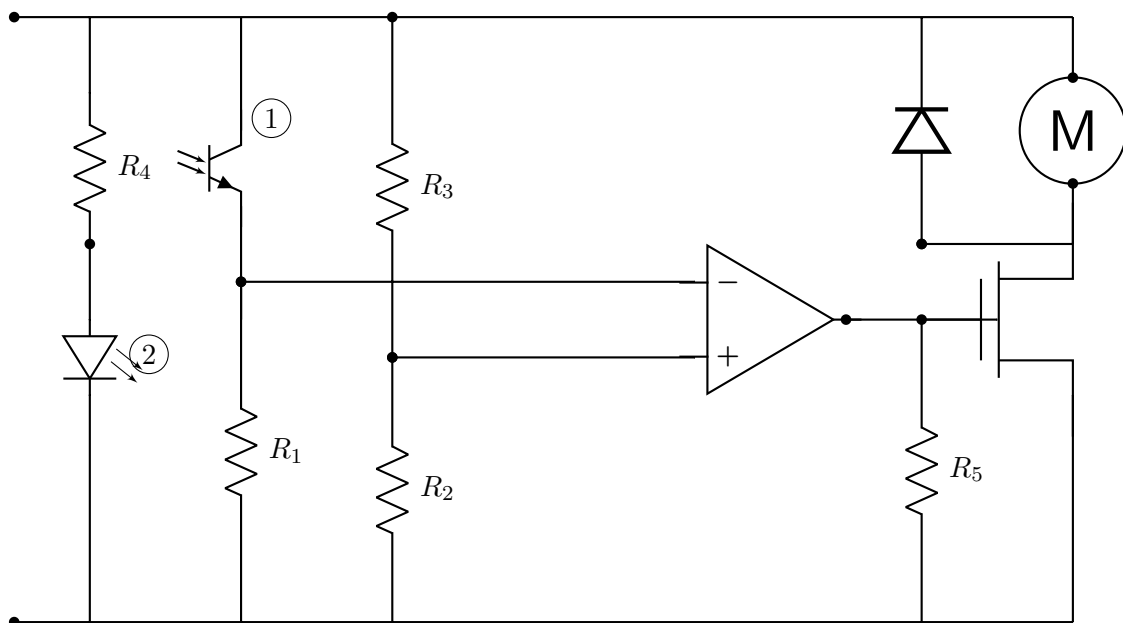
$$v(t) = L \frac{di(t)}{dt}$$

- $v(t)$ : Spænding som funktion af tiden
- $L$ : Spolens induktans
- $i(t)$ : Strøm som funktion af tiden

Det forårsager, at der ved en meget kort periode efter motoren er afbrudt, kan opstå et stort potentiale på Drain, som vil resultere i gennemslag igennem MOSFET'en. Dette undgås med en diode koblet parallelt med motoren, hvor spærreretningen er koblet til udgangsspændingen i kredsløbet for spændingsregulatoren. Dette sikrer, at dioden vil åbne, hvis potentialet på Drain er større end 6V. Kravet til dioden er, at reverse-bias skal være op til 6V, og dioden skal kunne tåle 1,7A, som er den maksimale strøm målt igennem motoren.[9]

MOSFET'en kapacitet skal aflades, hvilket sikrer, at motoren er afbrudt når fototransistoren og IR-dioden igen lyser på hinanden. MOSFET'en aflades ved at placere en høj modstand mellem Gate og stel, så strømmen ikke løber den vej, medmindre MOSFET'en er i cut-off tilstand. Der er derfor ukritisk placeret en 100 kΩ modstand mellem Gate og Stel.

Det endelige kredsløb for detektionskredsløbet er illustreret i figur 16.



Figur 16: Kredsløbstegning af dektektionskredsløb

- (1): Fototransistoren
- (2): IR-dioden
- (M): Motoren

### Valg af komponenter

Igennem afsnittet refereres til detektionskredsløbet på figur 16.

Kredsløbet opdeles i 3 underkredsløb: et sensorkredsløb, et komparator-kredsløb og en digital kontakt.

*Sensorkredsløbet* består af en IR-diode, en fototransistor og to modstande. IR-dioden, OP298A, sidder i serie med  $R_4$ , en SFR25-modstand. Fototransistoren, OP593A, sidder i serie med  $R_1$ , en SFR25-modstand. IR dioden og fototransistoren er valgt ud fra overvejelserne i *Bilag for Blyantspidseren*.

$R_4$  skal have en impedans, hvorledes der maksimalt er et spændingsfald på 2V over IR-dioden.

Ifølge *Bilag for Blyantspidseren* skal strømmen gennem dioden være 0,1A. I databladet for OP298A aflæses ved 0,1A et spændingsfald over dioden på 1,6V. Den indre impedans for IR-dioden beregnes (se ligning 1).

$$R_D = \frac{V_D}{I_D} = \frac{1,6V}{0,1A} = 16\Omega \quad (1)$$

- $R_D$ : IR-diodens indre impedans
- $V_D$ : Spændingsfaldet over IR-dioden
- $I_D$ : Strømmen igennem IR-dioden

Den laveste impedans for  $R_4$  beregnes, hvor der er et spændingsfald på 1,6V over IR-dioden:

$$\begin{aligned}
 V_D &= \frac{R_D}{R_4 + R_D} \cdot V_{out} \leftrightarrow \\
 1,6 &= \frac{16\Omega}{R_4 + 16\Omega} \cdot 6V \leftrightarrow \\
 R_4 &= \frac{R_D \cdot V_{in}}{V_D} - R_D \leftrightarrow \\
 R_4 &= \frac{16\Omega \cdot 6V}{1,6V} - 16\Omega = 44\Omega
 \end{aligned} \tag{2}$$

- $R_4$ : SFR25-modstanden
- $V_{out}$ : Udgangsspændingen for det spændingsregulerende kredsløb.

$R_4$  skal minimum have en impedans på 44Ω, se ligning 2, for at spændingsfaldet over IR-dioden er 1,6V. Der eksisterer ikke en SRF25-modstand med en impedans på 44Ω, af den grund vælges en SRF25-modstand på 47Ω:

$$V_{D_2} = \frac{16\Omega}{47\Omega + 16\Omega} \cdot 6V = 1,59V$$

- $V_{D_2}$ : Spændingsfaldet over IR dioden, hvor  $R_4$  er 47Ω

Da  $R_4$  er 47Ω, med en tolerance på ±5%, vil spændingsfaldet over IR-dioden være mellem 1,54-1,65V, alt efter modstandens reelle impedans.

*Komparatorkredsløbet* består af en operationsforstærker. Kravet til operationsforstærkeren, er, at den skal være en *general purpose* forstærker. Der er ingen krav til hastighed eller større funktionalitet. Derfor kan den vælges ukritisk, så længe den tolererer en indgangsspænding på 6V; der vælges en  $\mu a741$ .

*Den digital kontakt* er som tidligere nævnt i rapporten en MOSFET. En strømstyret Darlington-kobling kan også benyttes. Der vælges at bruge en selvspærrende MOSFET.

Kravet til MOSFET'en, er, at den skal identificere om der er en stor difference mellem dens Source og dens Gate. Ideelt vil operationsforstærkeren have en udgangsspænding på enten 0V eller 6V, men de praktiske værdier er målt til nominelt 1,8V og nominelt 5V. Derfor skal den valgte MOSFET ikke have en tærskelspænding på under 1,8V eller over 5V, da den henholdsvis vil være sluttet eller afbrudt. Der vælges en IRF540N, da den opfylder kravene.

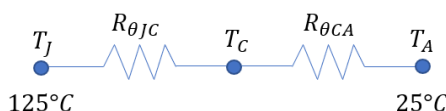
De valgte komponenter til kredsløbet er da fundet til at skulle være:

Tabel 5: Valgte komponenter til detektorkredsløbet

SYMBOLER	$R_1$ .	$R_2$ .	$R_3$ .	$R_4$ .	$R_5$ .
BESKRIVELSE	1,1k $\Omega$ .	10k $\Omega$ .	10k $\Omega$ .	240 $\Omega$ .	100k $\Omega$ .
SYMBOLER	BESKRIVELSE				
<i>Dioden</i>	1N4007.				
(1)	OP593.				
(2)	OP298.				
(M)	Motoren, FE-260-2295.				

## 6.4 Termiske beregninger

Det er essentielt at fortage termiske beregninger for et aktivt kredsløb, da effektafsættelsen kan være højere end temperaturløbet for kredsløbets komponenter. Hvis effektafsættelsen er for høj monteres en køleplade på komponenten. Kølepladen sidder i forlængelse med *komponentens indkapsling* (case) til luften. Køleplader har forskellige varmekapaciteter og, alt efter form og størrelse, forskellige afkølingsevner; der vælges en køleplade af rette type og størrelse.



Figur 17: Diagram over varmens bevægelse mellem knudepunkterne  $T_J$  til luft  $T_A$

### Termiske beregninger spændingsregulatoren

Figur 17 illustrer en analogi mellem temperaturudvekslingen og et elektrisk kredsløb. *Maksimum temperaturen for spændingsregulatorens knudepunkt* ( $T_J$ ) er analog til en indgangsspænding, og *luftens temperatur omkring spændingsregulatoren* ( $T_A$ ) til en udgangsspænding. Temperaturfaldet mellem knudepunkt  $T_J$  og  $T_C$  (case) er analog til et spændingsfald over *modstanden* ( $R_{\theta JC}$ ).

Temperaturforskellen mellem  $R_{\theta JC}$  og  $R_{\theta CA}$ , skal være nominelt 100 grader celsius.

Enheden for temperatursættelsen i modstandene er grader celsius per watt. Kølepladen beregnes ud fra det ønskede temperaturfald og spændingsregulatorens effektomsættelse.

Spændingsregulatorens *totale effektafsættelse* ( $P_{max}$ ), hvilket beregnes ud fra strømmen gennem spændingsregulatoren,  $I_S$  (se figur 15).  $I_S$  deles mellem *spændingsregulatorens udgangsstrøm* ( $I_{out}$ ) og *strømmen der løber til stel* ( $I_g$ ). Størrelsen på  $I_g$  findes i databladet for spændingsregulatoren.  $I_{out}$  er blyantspidserens maksimale belastningsstrøm på 1,7A. Indgangsspændingen er 12V og udgangsspændingen er 6V.

$$\begin{aligned}
I_s &= I_{out} + I_g \\
P_{max} &= V_S \cdot I_g + (V_S - V_{out}) \cdot I_{out} \leftrightarrow \\
P_{max} &= 12V \cdot 0,55A + 6V \cdot 1,7A = 10,86W \\
R_{\theta JA} &= R_{\theta JC} + R_{\theta CA} \\
T_J - T_A &= P_{max} \cdot R_{\theta max} = P_{max} \cdot (R_{\theta JC} + R_{\theta CA}) \leftrightarrow \\
R_{\theta CA} &= \frac{T_J - T_A}{P_{max}} - R_{\theta JC} \leftrightarrow \\
R_{\theta CA} &= \frac{125^\circ C - 25^\circ C}{10,86W} - 5 \frac{^\circ C}{W} = 4,2 \frac{^\circ C}{W}
\end{aligned} \tag{3}$$

Ud fra beregningen i ligning 3 kan man se, at der skal bruges en køleplade, der kan køle  $4,2 \frac{^\circ C}{W}$ .  
[10]

### Termiske bergninger for MOSFET

De termiske principper for en MOSFET er de samme som for spændingsregulatoren.<sup>[11]</sup> De nødvendige værdier for beregningerne findes i tabel 6.

Tabel 6: Værdier fra datablad for IRF540N

SYMBOLER	BESKRIVELSE
$R_{DS(on)} = 44m\Omega^*$	Impedansen af mosfeten når der er åbent mellem Drain og Source.
$I_{max} = 1,7A$	Den maximale ampere motoren trækker når den er tændt.
$R_{\theta JA} = 62 \frac{^\circ C}{W}^*$	Grader celsius mosfeten kan dissipere pr watt.
$T_J^*$	Temperaturen ved knudepunkt, som må være mellem $-25^\circ C$ og $175^\circ C$ .
$max(T_J) = 175^\circ C$	Maximum temperatur ved knudepunkt.
$T_A = 25^\circ C^*$	Omgivelsernes temperatur.

Effektafsættelsen for MOSFET'en, IRF540N, beregnes til at være:

$$\begin{aligned}
P_{max} &= R_{DS(on)} \cdot I_{max}^2 \leftrightarrow \\
P_{max} &= 44m\Omega \cdot 1,7A^2 = 127mW
\end{aligned}$$

Effektdissipationen ( $P_D$ ) beregnes:

$$\begin{aligned}
P_D &= \frac{max(T_J) - T_A}{R_{\theta JA}} \leftrightarrow \\
P_D &= \frac{175^\circ C - 25^\circ C}{62 \frac{^\circ C}{W}} = 2,42W
\end{aligned} \tag{4}$$

Effektdissipationen beregnet til 2,42W, se ligning 4.

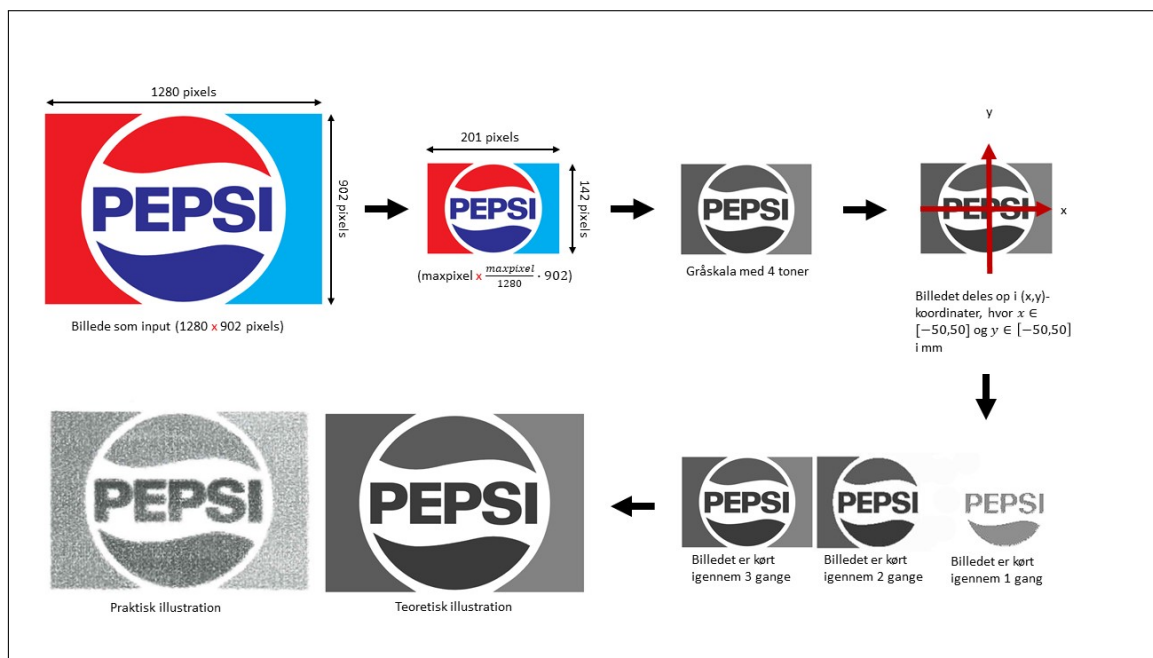
Der afsættes en effekt på 127mW i MOSFET'en, hvis der løber en strøm på 1,7A igennem den, og med en effektdissipationen på 2,42W, er en køleplade unødvendig.

## 6.5 Test

Der er konstrueret to kredsløb, henholdsvis et spændingsregulerende kredsløb og et detektionskredsløb. Til disse er der valgt komponenter, der opfylder de opstillede krav. Der udføres termiske beregninger på to af disse komponenter, da de muligvis kan gøre nytte af en køleplade. Efter konstruktion af kredsløbet testes der hvorvidt den ønskede funktionalitet opfyldes. Da robotten udfører spidsningskommandoen G98 med blyantspidsen monteret, observeres detektion af blyanten. Motoren aktiveres, og blyanten spidses; se *Video - 00:00:30-00:00:32* under elektronisk bilag.

## 7 Programmering

I dette afsnit beskrives programmeringen. Flowchartet for koden findes under *Flowchart* i det elektroniske bilag. Herunder ses et andet flowchart (figur 18), der udelukkende beskriver de trin billedet går igennem fra start til slut (For fuld størrelse: se *Flowchart2* i elektronisk bilag).



Figur 18: De trin et billede udsættes for igennem koden i Mathematica

## 7.1 Beskrivelse af indbyggede funktioner

Dette afsnit omhandler korte beskrivelser af de indbyggede funktioner i Mathematica, som er anvendt i koden (se tabel 7). Der er taget udgangspunkt i *Wolfram Documentation*<sup>[12]</sup> fra Mathematica til at beskrive funktionerne. Nogle af disse funktioner er beskrevet i flere detaljer og holdt op imod selve koden i sektion 7.2. De funktioner som ikke beskrives, kan holdes op imod hele koden under *Mathematica-kode* i det elektroniske bilag.

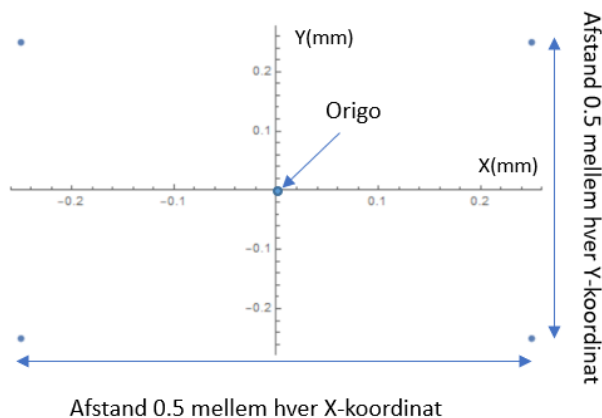
Tabel 7: Beskrivelse af indbyggede funktioner

INTERN FUNKTION	BESKRIVELSE
<i>Module</i>	Et Module som anvendes til at samle en masse funktioner, variabler o.l. under ét. I et <i>Module</i> har man skelnes der mellem som globale variabler (anvendes i hele koden) og lokale variabler (gælder kun i dette Module).
<i>ImageDimensions</i>	Giver pixel-dimensionerne henholdsvis længden og bredden for et billede.
<i>If</i>	En betingelse som returnerer en specificeret værdi, hvis betingelsen er sand og en anden specificeret værdi, hvis betingelsen er falsk.
<i>Which</i>	Minder om <i>If</i> , men her kan der indsættes uendelige mange betingelser, der returneres kun den betingelse, som er sand.
<i>ImageResize</i>	Ændrer størrelsen på billedets længde og bredde.
<i>Partition</i>	Inddeler en liste i under-lister med et brugerdefineret antal værdier i disse under-lister.
<i>Flatten</i>	Det omvendte af <i>Partition</i> , hvilket betyder, at den fjerner under-lister på et specifikt niveau af lister.
<i>Table</i>	Giver en liste af et specifikt udtryk, ud fra at udtrykket itereres et bestemt antal gange.
<i>ImageData</i>	Giver et sæt af de pixel-værdier som et billede består af, hvilket kan omsættes til en bestemt type værdier, som f.eks. bytes.
<i>ColorQuantize</i>	En tilnærmelse af et billede ud fra et n-antal farver.
<i>ColorConvert</i>	Ændrer billedets farvespecifikationer til en given type.
<i>Union</i>	Sorterer en liste og fjerner samtidig kopier af værdierne i listen.
<i>Sort</i>	Sorterer en liste ud fra et bestemt mønster.
<i>Nothing</i>	Returnerer intet, hvilket betyder, at der ingenting sker.
<i>Length</i>	Returnerer længden af en liste.
<i>ToString</i>	Konverterer et udtryk om til en streng/tekst.
<i>Export</i>	Eksporterer bestemte data til en bestemt filtype.

## 7.2 Mathematica-kode

### 7.2.1 Introduktion

Robotten kræver G-kode for at gengive et billede i gråtoner. Der skal derfor skrives et program, der omdanner et JPEG-billede til G-kode. Der vil igennem rapporten refereres til billedet, fremfor JPEG-billedet. Billedet skal muligvis nedskaleres før det konverteres til gråtoner. Hvis billedet nedskaleres skal det bibeholde proportionsforholdet mellem længden og bredden. Grundlaget for nedskaleringen skyldes, at der er valgt at arbejde på billeder med 201x201 pixels grundet tegnefeltet på 100mm·100mm med 0,5mm afstand mellem pixel-værdierne. Robotten kan tegne inden for en radius af 73mm fra origo, hvor origo er midten af tegnepladen. Ud fra dette koordinatsystem, er der valgt et kvadratisk tegneområde robotten skal arbejde inden for. Tegnefeltet går fra -50mm til 50mm i X- og Y-aksen, hvor afstanden mellem x-koordinaterne er 0,5mm, og det samme gælder for y-koordinaterne. Afstanden mellem hver enkelt X-koordinat og Y-koordinat for billedet er illustreret på figur 19:



Figur 19: Afstand for X- og Y-koordinater

Efter den potentielle nedskalering skal billedet konverteres til gråtoner, som maksimalt kan opdeles i 5. Hvis billedet eksempelvis er sort og hvidt, skal billedet opdeles i 2 gråtone. Programmet har to brugerdefinerede inputs: billedet og det antal gråtoner, som billedet tegnet med. Efter konvertering til gråtoner omskrives billedets pixelværdier til Z-koordinater. Z-koordinaterne er analog til, hvor hårdt blyanten trykker på tegnepladen. På baggrund af dette laves en tegnealgoritme, hvor den mørkeste tone tegnes op flest gange, mens den lyseste tone ikke tegnes. Hvis et billede opdeles i 4 gråtoner, vil den mørkeste tone tegnes tre gange, den næst-mørkeste to gange osv. I løbet af tegneprocessen vil blyanten slides, derfor spidses blyanten løbende for at bibeholde samme tryk på tegnepladen for tegnefeltet. Der vil muligvis være koordinater, hvor der ikke skal tegnes. Dette kræver, at robotten trækker blyanten vertikalt op og bevæger sig dernæst til næste koordinat; en såkaldt luftbevægelse.



### 7.2.2 Algoritmer

Den praktiske anvendelse af de indbyggede funktioner fra Mathematica forklares i dette afsnit. Det forventes, at tabel 7 er studeret for at forstå afsnittet.

#### Nedskalering af input-billedet

Kravet til billedet, er, at hverken længden eller bredden er større end 201 pixels. For at teste om billedet skal nedskaleres benyttes *ImageDimensions* på input-billedet. Derefter bruges *If* funktionen til at teste, om længden eller bredden er større end 201 pixels. Hvis dette er sandt, nedskaleres billedet proportionalt, så det passer i tegnefeltet. Der er 3 forskellige nedskaleringsscenarier, der skal testes for (se *flow-chart* under elektronisk bilag). *Which*-funktionen bruges til at teste, hvilket scenarie er sandt. Dernæst benyttes *ImageResize*-funktionen til at nedskalere billedet. Algoritmen for nedskalering ses under *Bilag fra Programming* i elektronisk bilag.

#### Billedekoordinater

Algoritmen for billedekoordinaterne er lavet ud fra, at det potentielt nedskalerede billedes midtpunkt er placeret i origo for tegnefeltet. Dermed deles billedet ligeligt op i de 4 kvadranter for koordinatsystemet. Eftersom billedet ikke altid udfylder hele tegnefeltet genereres koordinaterne ud fra dimensionerne på det potentielt nedskalerede billede. Den sidste information, er, at måden billedets pixelværdier læses på. Disse værdier læses fra venstre øverste hjørne, linje for linje, til højre nederste hjørne. Eftersom der er to koordinater pr. millimeter, inklusiv start-koordinaten, kan følgende intervaller opstilles:

$$X \in \left] -\frac{\text{billedbredden}}{4}, \frac{\text{billedbredden}}{4} \right[ ; \quad Y \in \left] \frac{\text{billedlængden}}{4}, -\frac{\text{billedlængden}}{4} \right[$$

Her svarer X-aksen af robottens tegnefelt til bredden af billedet og Y-aksen til højden af billedet. Med denne viden opstilles en koordinat-matrix vha. *Table*. Eftersom *Table* tæller startværdien med i iterationerne, skal der trækkes en pixel fra billedimensionerne, før dimensionerne bruges til at beregne intervallerne for iterationerne i *Table*-funktionen. Efter koordinaterne er genereret med *Table* fås en  $n \times m$ -matrice. *Flatten* og *Partition* benyttes således at matricen transformeres til en  $1 \times (n \cdot m)$ -matrice. Algoritmen for billedekoordinaterne ses under *Bilag fra Programming* i elektronisk bilag.

#### Gråtoner

Gråtone-algoritmen omdanner et 24-bit JPEG-billede til et 8-bit JPEG-billede ved brug af funktionen: *ColorConvert*. Det betyder, at billedet transformeres fra et RGB-billede til et gråtone-billede. Billedet går altså fra  $256^3$  mulige farvekombinationer til 256 farveintensiteter; derfor kan flere forskellige farver dele samme gråtone. Efter konverteringen til gråtoner benyttes *ColorQuantize* på det gråskalerede billede. Parameteren til *ColorQuantize* er en brugerdefineret størrelse, der bestemmer antallet af toner. Eftersom der er valgt et maksimalt antal af 5 gråtoner, kan den brugerdefinerede størrelse højst være 5 og mindst 2 – hvis mindre end 2 vil billedet være helt hvidt. Herefter læses pixelværdierne af *ImageData*, hvilket giver en matrice af pixelværdier. Der benyttes igen *Flatten* for at transformere pixelmatricen fra  $n \times m$  til  $1 \times (n \cdot m)$ . Algoritmen for gråtoner ses under *Bilag fra Programming* i elektronisk bilag.

Efter pixelmatricen er dannet, laves en ny matrice, hvor pixelmatricen sorteres efter mindste værdier først. Ydermere, slettes dubletter.

### Koordinatsæt

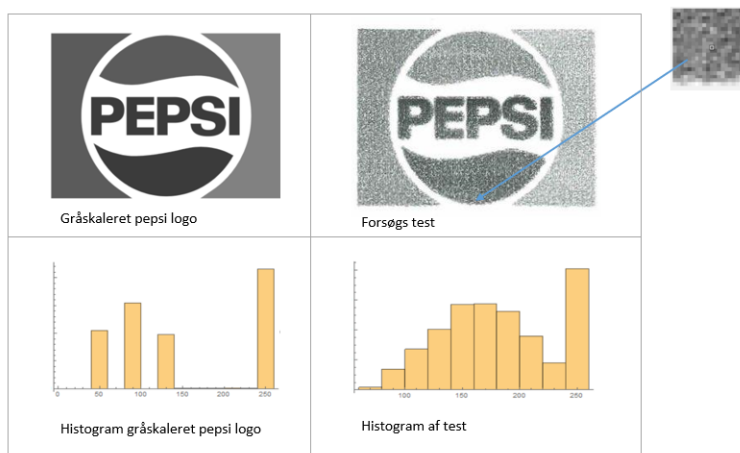
Algoritmen bag koordinatsæt-matricen er lavet på baggrund af den måde robotten tegner. Robotten skal som tidligere nævnt først tegne de mørkeste toner; derfor trækkes de mørkeste toner først ud af koordinatsæt-matricen. Næste omgang tegner robotten de mørkeste og næst-mørkeste toner, derfor trækkes disse toner ud i denne omgang. Dette mønster bliver ved indtil iterationen når den lyseste tone, hvor programmet stopper med at iterere. Dette betyder, at den lyseste tone betragtes værende hvid. Iterationsprincippet er inkorporeret ved hjælp af *Table* og *If*. Eftersom den mørkeste gråtone er det laveste tal i gråtone-matricen, tester *If*-funktionen om det pågældende pixelpunkt er mindre end/lig med den pågældende tone. Hvis testen fra *If*-funktionen er sand, indsættes et X, Y og en konstant Z-koordinat i koordinatsæt-matricen. Ellers er den falsk, og der sker ingenting. Efter *Table* benyttes *Flatten* og *Partition* til at transformere billedet fra en  $n \times m$ -matrice til  $1 \times (n \cdot m)$ -matrice. Algoritmen for koordinatsæt ses under *Bilag fra Programmering* i elektronisk bilag.

### G-kode konvertering

Den sidste algoritme konverterer koordinaterne til G-kode med spidsning og luftbevægelse inkorporeret. Spidsningen foregår ved, at en spidsningsværdi tælles op for hver gang blyanten prikker eller streger. Efter spidsningsværdien er itereret til 1800mm, vil blyanten spidses, Z-aksen korrigeres 0,5mm ned og spidsningsværdien nulstilles. Robotten skal lave en luftbevægelse, hvis afstanden mellem  $X_i$  og  $X_{(i+1)}$  er forskellig fra 0,5mm. Algoritmen for G-kode konvertering ses under *Bilag fra Programmering* i elektronisk bilag.

### Test af kode

Koden testes på et Pepsi-logo med 4 gråtoner, se figur 20. Testbilledet på figur 20 har ikke en konstant kontrast i forhold til det ideelle billede, hvilket ses på forskellen i de to histogrammer på figur 20. Histogrammet for det ideelle billede viser tydeligt 4 gråtone-opdelinger, hvor testbilledet viser en langt større opdeling af gråtoner. Det vurderes visuelt, at testbilledet giver en tilfredsstillende gengivelse af Pepsi-logoet.



Figur 20: Test af koden ved brug af et Pepsi-logo

## 8 Konklusion

Dette afsnit omfatter konklusion af problemformuleringen (se sektion 4.1).

Det er muligt at afbilde et logo i sort/hvid med op til fire toner vha. prik- og stregtegning (se *Video* under elektronisk bilag). Det har endda været muligt, at afbilde mere komplicerede billeder end logoer (se *Illustrationer* under elektronisk bilag). Når blyanten sliddes  $\approx 0,5\text{mm}$  føres den ned i blyantspidseren ved samme tryk hver gang, hvilket spidser den ønskede længde på  $\approx 0,5\text{mm}$ . Blyantspidseren starter automatisk ved detektion. Herefter korrigeres Z-værdien således blyanten altid tegner med samme tryk. Der er valgt at bruge en metode til skabelse af gråtoner, hvor der tegnes en eller adskillige gange oveni allerede eksisterende streger/prikker. Antal gentagelser afhænger af, hvor mange gråtoner der ønskes afbildet.

**De fire hovedpunkter fra problemformuleringen er markeret med grå baggrund:**

BILLEDER NEDSKALERES TIL PASSENDE STØRRELSE, SÅLEDES AT HELE BILLEDET MEDTAGES UDEN AT DET BESKÆRES. SOM FØLGE HERAF, SKAL SMÅ DETALJER PÅ AFBILDNINGERNE IKKE FORVENTES AT VÆRE EKSAKT GENGIVET.

Ud fra programmering i Mathematica er det muligt at nedskalere et billede til at være maksimalt 201x201 pixels, da tegnefeltet er 100x100mm med to pixels pr. mm. Det er muligt at beskære billedet således, at proportionsforholdet mellem billedets længde og bredde bibeholdes.

Det har ikke været muligt at gengive små detaljer på billeder med stor opløsning, da nedskalering til en lavere opløsning på 201x201 vil fjerne små detaljer.

DER SKAL KONSTRUERES ET KREDSLØB FOR BLYANTSPIDSEREN MED EN FORSYNINGSSPÆNDING SÅLEDES, AT MOTOREN NOMINELT FÅR EN UDGANGSSPÆNDING PÅ 6V. YDERMERE, SKAL BLYANTSPIDSEREN DETEKTERE BLYANTEN VHA. EN LYSSENSOR.

I stedet for ét kredsløb er der konstrueret to, henholdsvis et kredsløb, som regulerer fra  $\approx 12\text{V}$  til nominelt 6V, og et kredsløb der detekterer blyanten vha. en IR-diode og en fototransistor. Hvis blyanten bryder denne forbindelse sluttet kontakten, hvorefter der er et spændingsfald på nominelt 6V over motoren. Hvis den ikke brydes, afbrydes kontakten.

BLYANTEN SKAL SPIDSES VHA. BLYANTSPIDSEREN EFTER EN GIVEN TEGNEDISTANCE, SÅLEDES AT AFBILDNINGEN IKKE FORRINGES AF UDTYDELIG FARVETRYK.

Blyanten spidses altid efter 1800mm. Denne distance er bestemt ud fra, at der er linearitet efter kalibreringssliddet og 1800mm frem. Dvs. at sliddet er proportional med tegnedistancen inden for dette interval, hvilket fører til, at der ikke forekommer udtidelige farvetryk.

FOR AT KOMME FRA BILLEDE TIL AFBILDNING, SKAL ROBOTTEN MODTAGE BESTEMT G-KODE GENERERET UD FRA PROGRAMMERING I MATHEMATICA.

I Mathematica anvendes bestemte funktioner og algoritmer til at generere specificeret G-kode således, at N-, G-, X-, Y- og Z-værdierne eksporteres til en .nc-fil, som robotten kan læse.

## 9 Perspektivering

Dette afsnit omfatter idéer til ændringer og forbedringer til projektet. Forbedringen til højre hænger sammen med resultatet fra projektet til venstre.

### Resultat

1. Det er kun muligt at tegne få og tætliggende gråtoner (se figur 20, sektion 7)
2. Kun JPEG-billeder kan tegnes
3. Billedet tegnes fra venstre mod højre

### Forbedring

1. Mulighed for at genskabe flere toner i billedet
2. PNG-billeder skal kunne tegnes
3. Tegne billeder både fra højre til venstre og venstre til højre

#### 1. Forbedring

Resultatet for gråtoner blev således, at der tegnes over samme streger for at skelne mellem toner. En ønskværdig forbedring kunne være en fordeling af gråtonerne over hele spektret på histogrammet (se figur 20 under sektion 7). Hvis samme metode benyttes, kræver det at der er forskellige intervaller mellem hver tone, og de lysere toner kræver måske et lavere tryk. Et lavere tryk giver dog nødvendigvis ikke en lysere tone (se figur 10 under sektion 5). Den lyseste tone opnås i øjeblikket ved en enkelt streg. Denne er dog forholdsvis mørk, og sætter derfor en begrænsning for spektret over gråtonerne. Der findes muligvis en bedre løsning, men denne er endnu ikke fundet.

#### 2. Forbedring

Eftersom der er afgrænset til JPEG-billeder, kunne det være interessant at tegne andre formater, såsom PNG-billeder. Dette kunne gøres ved at ignorere Alpha-kanalen i et PNG-billede eller bruge den til omdannelsen af gråtoner. Indtil videre er dette problem omgået ved at konvertere andre billedformater, såsom PNG, til JPEG.

#### 3. Forbedring

Når robotten tegner med blyanten, tegnes der kun fra venstre mod højre. Tegnehastigheden kan optimeres således, at blyanten kan tegne begge veje, da blyanten ellers vil bevæge sig tilbage for at tegne fra venstre mod højre.

## 10 Litteraturliste

---

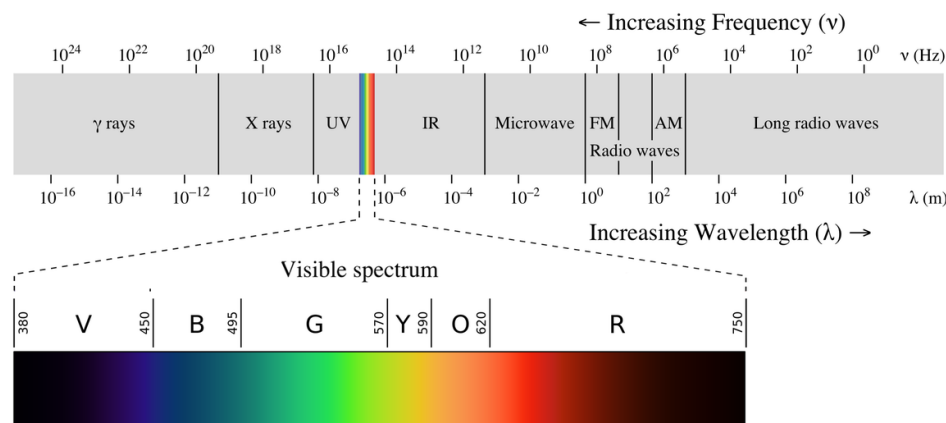
- [1] Delta Parallel Robot. Udgivet af Ilian Bonev. Internetadresse: <http://www.parallemic.org/Reviews/Review002.html>  
- Besøgt d. 01.12.2017
- [2] Blyant. Udgivet af Den store danske. Internetadresse: [http://denstoredanske.dk/It,\\_teknik\\_og\\_naturvidenskab/Kemi/Bl%C3%A6k\\_og\\_skriveredskaber/blyant](http://denstoredanske.dk/It,_teknik_og_naturvidenskab/Kemi/Bl%C3%A6k_og_skriveredskaber/blyant) - Besøgt d. 07.12.2017
- [3] Adhesive Wear — About Tribology. Udgivet af Tribonet. Internetadresse: <http://www.tribonet.org/wiki/adhesive-wear/> - Besøgt d. 07.12.2017
- [4] The Wear of Metals; Theory, Mechanism and Testing - s.6 formel 4.2. Udgivet af University of Cambridge. Internetadresse: <https://www.phase-trans.msm.cam.ac.uk/2011/JG/4.pdf> - Besøgt d. 07.12.2017
- [5] [https://dk.rs-online.com/web/p/products/6869842/?grossPrice=Ycm\\_mmc=DK-PLA-DS3A--google--PLA\\_DK\\_DK\\_Halvledere--Power\\_Management\\_Ic%27Er--PRODUCT+GROUPmatchtype=gclid=EAIaIQobChMI8XX-6j11wIVZijTCh19kwazEAYYASABEgLGH\\_DbwEgclsrc=aw.ds-Besøgt](https://dk.rs-online.com/web/p/products/6869842/?grossPrice=Ycm_mmc=DK-PLA-DS3A--google--PLA_DK_DK_Halvledere--Power_Management_Ic%27Er--PRODUCT+GROUPmatchtype=gclid=EAIaIQobChMI8XX-6j11wIVZijTCh19kwazEAYYASABEgLGH_DbwEgclsrc=aw.ds-Besøgt)06.12.2017
- [6] Pololu 6V Step-Up/Step-Down Voltage Regulator S18V20F6. Udgivet af Pololu Robotics and Electronics. Internetadresse: <https://www.pololu.com/product/2575> - Besøgt d. 13.12.2017
- [7] MOSFETs and How to Use Them — — AddOhms 11. AddOhms. 18.07.2014.  
Internetadresse: <https://www.youtube.com/watch?v=GrvvkYTW0k> - Besøgt d. 19.11.2017
- [8] MOSFET. Udgivet af Valle Thorø. Sidst opdateret: 27.08.2015.  
Internetadresse: [http://vthoroe.dk/Elektronik/Transistorer/MOSFET\\_Transistorer.pdf](http://vthoroe.dk/Elektronik/Transistorer/MOSFET_Transistorer.pdf) - Besøgt d. 19.11.2017
- [9] Inductance and Capacitance. R. Hambley, Allan: I: Electrical Engineering. 6. udg. Pearson, 2014.  
side 156-159.
- [10] PDF. Title: Understanding thermal dissipation and design of heatsink. Forfatter: Texas Instruments.  
Link: [www.ti.com/lit/an/slua462/slua462.pdf](http://www.ti.com/lit/an/slua462/slua462.pdf) . Læst d. 10. november 2017
- [11] MOSFETs and How to Use Them — — AddOhms 11. AddOhms. 18.07.2014. Internetadresse:  
<https://www.youtube.com/watch?v=GrvvkYTW0k> - Besøgt d. 19.11.2017
- [12] Wolfram, Stephen: Mathematica. 11.1. udg. Wolfram, 2017

## 11 Bilag

### 11.1 Bilag fra Blyantspidseren

Der benyttes en OP593A-fototransistor og en OP298A IR diode.

Der skulle anvendes en lysfølsom sensor i kredsløbet, hvis egenskab er at detektere om lyset blokeres af et objekt foran den; her en blyant. For at undgå lysforurening fra dets omgivelser, anvendes en fototransistor, hvis optiske indgang er følsom for lys i det infarøde spektrum.



Figur 21: Diagram over bølgelængder af lys

**Kilde:** [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EM\\_spectrumrevised.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EM_spectrumrevised.png)

**Besøgt:** 10.12.2017

Der skal altså anvendes en fototransistor der er følsom for optisk indgang for lys med bølgelængder over 750nm, se figur 21.

I databladet for OP593A aflæses, at responsen for optisk input er omkring 100% ved lys med bølgelængde omkring 850nm-880nm.

Der skal ud fra disse oplysninger om det optiske input findes en lysdiode, som emittere lys i spektrumet omkring 850nm-880nm.

IR dioden OP298A har karakteristika der passer godt med de krav der er stillet.

Der kan aflæses i databladet for OP298A, at den maksimale bølgelængde for lys den emitterer er 850nm±30nm. Da dette opfylder de stillede krav anvendes OP298A i kredsløbet.

Det aflæses i databladet for OP593A, at for at fototransistoren åbner skal den have et spændingsfald over collectoren på 0,4V, som fås ved en effekttilførsel på  $1,7 \frac{mW}{cm^2}$ . OP298A skal derfor excitere OP593's elektroner ved collectoren, med en effekt på  $1,7 \frac{mW}{cm^2}$  eller over.

Der kan aflæses i databladet for OP593A, at ved en distance på 3,6cm og en vinkel på 10° vil effektafgivelsen være mellem  $3-4,8 \frac{mW}{cm^2}$  for OP298, når der løber en strøm på 0,1A. Distancen fra OP298A og OP593A er 1,1cm. Da effekten pr  $cm^2$  vil falde i forhold til distance, må det antages

at effekttilførslen til OP593 vil ligge over  $4,8 \frac{mW}{cm^2}$ . Der kan konkluderes, at hvis OP298A og OP593A placeres overfor hinanden med en distance på under 3,6cm, og der løber en strøm på 0,1A gennem OP298A vil OP593A slutte.

## 11.2 Indhold på elektronisk bilag

Dette bilag omhandler beskrivelse af indholdet på det elektroniske bilag.

Det beskrives her i kronologisk rækkefølge:

### Bilag fra Programmering

Denne mappe indeholder billeder af de algoritmer, som forklares under sektion 7.2.2.

### Datablade

Herunder er alle datablade, som er anvendt gennem rapporten, indsat.

### Flowchart

Indeholder flowchartet for koden i Mathematica (*Flowchart*) samt det andet flowchart for billedet i fuld størrelse (*Flowchart2*).

### Illustrationer

Illustrationer af alt muligt forskelligt, som kunne falde interesse.

### Mathematica-kode

Al rå kode fra projektet i Mathematica.

### Tidsplan

Tidsplanen for hele projektet samt andre vigtige ting, som har krævet tid undervejs.

### Video

Videoen der viser afbildningen af Pepsi-logoet.