



DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

BACHELOROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering: Bachelor i ingeniørfag / Automatisering og elektronikkdesign	Vårsemesteret 2023 Åpen
Forfattere: Erlend Meyer Sørflaten [256445] Miriam Stensland [256804] Daniel Tandstad Andersen [253666]	
Oppgave av: Didrik Efjestad Fjereide Veileder: Tormod Drengstig	
Norsk tittel: Utvikling av maskinkontroller til CNC-fres Engelsk tittel: Development of Machine Controller for CNC Milling	
Studiepoeng: 20	
Emneord: UiS, Elektroteknikk, CNC-fres, G-Kode, Motordriver, Maskinkontroller, Subtraktiv Produksjon	Sidetall: 73 Vedlegg/Annet: 40 Stavanger 15. mai 2023

Sammendrag

Motivasjonen for oppgaven var å lage en maskinkontroller til en CNC-maskin for å kunne frese ut deler ved bruk av datamaskinstøttet design.

Arbeidet i bacheloroppgaven har gått ut på å lage en maskinkontroller til en CNC-maskin. Rapporten innebærer fremgangsmåte på hvordan en maskinkontroller lages. Det innebærer design, kobling av ledninger og komponenter, endebrytere, stegmotorer og brukergrensesnitt. Vi sammenligner maskinkontrolleren og brukergrensesnitt med en åpen kilde-programvare GRBL. Den benyttes som maskinkontroller med UGS som brukergrensesnitt.

CNC-maskinen er satt sammen av blant annet 3D-printede deler, stegmotorer med drivere og elektronisk utstyr som nødstop, aluminiumsprofiler, gjengestenger og plattform. De elektriske forbindelsene er organisert i et elektrisk panel for å holde det ryddig og oversiktlig. Maskinen styres med vår egen maskinkontroller og eget brukergrensesnitt. Ved å kjøre brukergrensesnittet fra Raspberry Pi med Arduino Uno via seriekommunikasjon, kan vi oversette G-kode til motorkommandoer. G-koden produseres i Fusion 360.

Resultatet er en forenklet maskinkontroller inspirert av GRBL. Maskinkontrolleren kan bevege et verktøy fritt innenfor et arbeidsområde. Resultatet er at vi kan bruke maskinkontrolleren til å tegne alle typer 2D-figurer som sirkler, diagonaler og firkanter på papir. Her er en link til en video, hvor vi sammenligner resultatet våres med GRBL og UGS.

Link til introduksjonsvideo: [YouTube - UiS B.Sc: Utvikling av CNC Fres](#)

Link til filer brukt i oppgaven: [Google Drive - CNC Fres](#)

Forord

Forfatterene av rapporten er Miriam Stensland, Erlend Meyer Sørflaten og Daniel Tanstad Andersen. Vi studerer Bachelor i Automatisering og elektronikkdesign ved instituttet for Data- og Elektroteknikk (IDE) på Universitet i Stavanger (UiS).

Vi har jobbet sammen for å utvikle en maskinkontroller og bygge en CNC-maskin. Det innebærer montering av maskinen, design og installasjon av el-tavle, utvikling og programmering av maskinkontrolleren i Arduino IDE [3], brukergrensesnitt i Python [17] og seriekommunikasjon.

I forbindelse med oppgaven, arbeidet og resultatet vil vi gi en takk til:

- **Tormod Drengstig**
for god oppfølging, inspill, utstyr og veiledning.
- **Didrik Efstad Fjereide**
for oppgaven, god oppfølging, design, veiledning, printing av deler til CNC-maskinen og annet laboratorieutstyr.
- **Romuald Karol Bernacki**
for lån av laboratorieutstyr, deler til maskin og teknisk hjelp.

Innhold

Sammendrag	i
Forord	ii
Innhold	iii
Forkortelser	viii
1 Introduksjon	1
1.1 Oppgavebeskrivelse	2
1.2 Om prosjektgruppen	3
1.3 Rapportens struktur	3
1.4 Om CNC-maskiner	4
1.4.1 Historie om CNC-styring	5
1.5 Problemstilling	6
1.6 Tilgjengelig programvare	8

INNHold

2	Beskrivelse av CNC-maskinen og utstyr	9
2.1	Maskinens struktur	9
2.2	Akser og koordinatsystem	12
2.3	Referansepunkter og maskinens nullpunkt	13
2.4	Raspberry Pi	17
2.5	Arduino Uno	17
2.6	Stegmotor	18
2.6.1	Hvordan fungerer en stegmotor?	19
2.6.2	Parametere til en stegmotor	20
2.6.3	Sammenligning av parametrene	22
2.6.4	Styring av stegmotor med mikrostepdriver	25
2.6.5	Gjengestang og kuleskrue	28
2.7	Endebryter	29
2.7.1	Kobling av endebryter	31
2.7.2	Normalt åpen eller lukket kobling av endebryter	31
2.7.3	Elektromagnetisk interferens	31
2.8	El-tavle	36
3	Programvare	37
3.1	G-kode	37

INNHold

3.2	CAM-Design	38
3.3	Brukergrensesnitt	40
3.4	Maskinkontrolleren	43
3.4.1	Akselerasjon	43
3.4.2	Koordinert kontroll av flere motorer	49
3.4.3	Utføring av g-kode	52
3.4.4	Signal-generering	54
4	GRBL og UGS	56
4.1	GRBL Struktur	56
4.2	GRBL's Statuser	56
4.3	Oversetter	58
4.3.1	Bue-produksjon	58
4.3.2	Planner	62
4.4	Bakgrunns-prosesser	62
4.4.1	Bresenham's algoritme	62
4.5	Kommunikasjon og innstillinger	65
5	Resultat og sammenligning	66
5.1	Fordeler og ulemper med maskinkontrollerene	66
5.2	Sammenligning av resultatet	67

INNHold

5.3 Forslag til videre arbeid og utvikling	70
6 Konklusjon	71
Bibliografi	75
Vedlegg	75
A Kode for brukergrensesnitt.	76
B Kode for maskinkontrolleren	90
C El-tavle	93
D G-kode	95
E GRBL Firmwaresettings	97
F Utstysrliste	99
G Datablad	100
G.1 ATmega328P	100
G.2 AVR446	101
G.3 Nema 17 Bipolar Step Motor	102
G.4 Sanyo Denki Step Motor	103

INNHALD

H ChatGPT	104
-----------	-----

Forkortelser

AMASS	Adaptive multi-axis smoothing system
CAD	Computer-aided design
CAM	Computer-aided manufacturing
CCW	Counterclockwise
CNC	Computerized numerical control
CPU	Central processing input
CW	Clockwise
EMI	Elektromagnetisk interferens
G-kode	Geometrisk kode
GUI	Graphical user interface
GND	Ground
IDE	Integrated development environment
ISR	Interrupt Service Routine
NC	Numerical control
PCB	Printed circuit board
PSU	Power Supply Unit
RPM	Revolutions per minute
USART	Universal synchronous/asynchronous receiver/transmitter
USB	Universal Serial bus
UGS	Universal G-code Sender
VCC	Voltage Common Collector
V DC	Voltage Direct Current

Kapittel 1

Introduksjon

I denne oppgaven tar vi for oss design, bygging og testing av en egenbygget CNC-maskin, samt programmering av maskinkontroller. Vi tar med de nødvendige komponentene for å sette sammen maskinen, samt tilhørende program som trengs for å kjøre maskinen. Det omfatter blant annet stegmotorer med drivere, maskinvare og maskinkontroller. I tillegg innebærer det en evaluering av det ferdige resultatet sammenlignet med eksisterende programvare GRBL. Gjennom oppgaven får vi en forståelse av design, bygging, testing og andre utfordringer involvert i å lage en CNC-maskin fra bunnen av.

Link til introduksjonsvideo:

[YouTube - UiS B.Sc: Utvikling av CNC Fres](#)

Filer brukt i oppgaven er tilgjengelig i linken under eller som vedlegg:

[Google Drive - CNC Fres](#)

Introduksjonen er inspirert av CHAT GPT, se figur H.1.

1.1 Oppgavebeskrivelse

1.1 Oppgavebeskrivelse

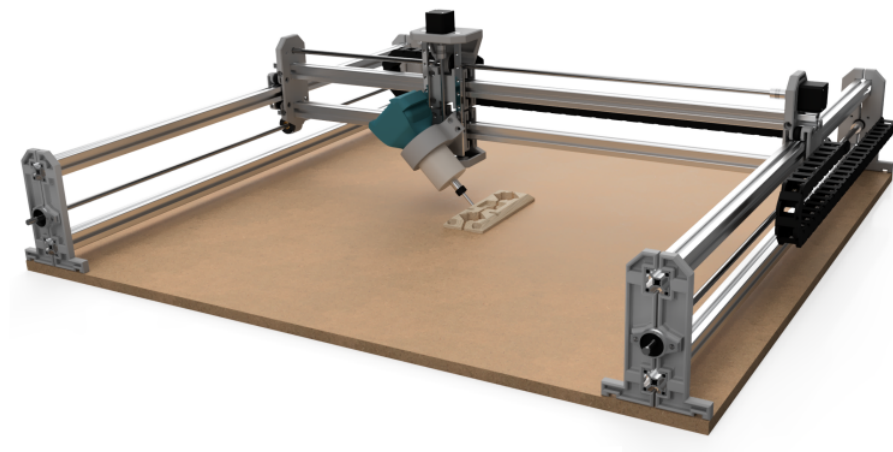
Denne bacheloroppaven, med tittelen «Utvikling av maskinkontroller for CNC fres», er utført av Daniel Tandstad Andersen, Erlend Meyer Sørflaten og Miriam Stensland, og omfatter følgende punkter hentet fra oppgavebeskrivelsen:

- Teoretisk forståelse: *Utforske teorien bak CNC-maskinen og dens operasjonelle prinsipper.*
- Montering av maskinen: *Gjennomgang av komponenter og monteringsprosessen for CNC-maskinen.*
- Design og installasjon av el-tavle: *Utforme og installere el-tavle samt generere el-tavle skjema.*
- Programmering av maskinkontrolleren: *Utvikle en maskinkontroller ved bruk av Python og C++ for oversetting av G-kode til motorkommandoer, styring av stegmotorer, innhenting av sensordata, sikkerhetsfunksjoner og brukergrensesnitt. I tillegg testing og implementering av allerede eksisterende maskinkontroller GRBL med UGS som brukergrensesnitt.*

Prosjektet kombinerer teori, praktisk arbeid, programmering og installasjon for å utvikle en maskinkontroller til en CNC-maskin. Målet er å oppnå bedre forståelse for maskinens drift og utforske mulighetene med en maskinkontroller. Resultatene vil bidra til en dypere forståelse i utvikling av maskinkontroller-teknologi og dens anvendelse.

Prosjektoppgaven er gitt av Didrik Efjestad Fjereide og Tormod Drenngstig.

1.2 Om prosjektgruppen



Figur 1.1: Figur av designet CNC-maskin, hentet fra oppgavebeskrivelsen.

1.2 Om prosjektgruppen

Vi er en gruppe på tre studenter innenfor ingeniørveien Automatisering og elektronikkdesign. Vi startet på studieprogrammet i 2020 og fullfører bachelor våren 2023.

1.3 Rapportens struktur

Oversikt over kapitlene:

- Kapittel 1: Introduksjon
- Kapittel 2: Beskrivelse av CNC-maskinen og utstyr
- Kapittel 3: Programvare
- Kapittel 4: GRBL og UGS
- Kapittel 5: Resultat og sammenligning
- Kapittel 6: Konklusjon

1.4 Om CNC-maskiner

1.4 Om CNC-maskiner

En verktøymaskin er en betegnelse på en maskin som bearbeider materialer. Eksempler på verktøymaskiner er dreiebenk, fresemaskin og slipemaskin. CNC-maskin brukes blant annet til å skjære ut og produsere deler av ulike materialer som for eksempel metall, tre eller plast.

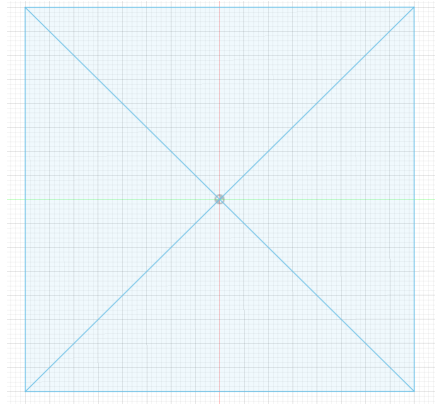
CNC-styring er forkortelse på *computerized numerical control*-styring, som på norsk er «*datamaskinbasert numerisk styring*». Styringen dreier seg om å bruke datamaskin til å automatisere maskineringsprosesser. Hensikten med å automatisere arbeidsoppgaver er blant annet å erstatte eller avlaste menneskelig arbeidskraft. I tillegg er resultatet mer nøyaktig, repeterbar og gjøres raskere enn menneskelig arbeidskraft.

Prosessen innebærer å bruke motorer til å bevege et verktøy som freser ut deler. CNC-styring opererer et maskinverktøy ved hjelp av kodede instruksjoner i maskinkontrollsystemet. Instruksjonene er kombinasjoner av tall, bokstaver og symboler som gis i en sekvensiell og logisk rekkefølge, se kode (1.2a) og figur (1.2b) for hvordan tegningen ser ut. Hva instruksjonene betyr kommer vi til senere i rapporten. Instruksjonene er samlet i et CNC-program (.nc fil).

1.4 Om CNC-maskiner

```
1 G92
2 G90
3 M17
4 G0 Z20 F2000
5 G0 X0 Y0 F5000
6 G0 Z0 F2000
7 G0 X40 Y0 F5000
8 G0 X40 Y-40
9 G0 X0 Y-40
10 G0 X0 Y0
11 G0 X40 Y-40
12 G0 Z20 F2000
13 G0 X40 Y0
14 G0 Z0 F2000
15 G0 X0 Y-40
16 G0 Z20 F2000
17 G0 X0 Y0 F4000
18 Z0 F2000
```

(a) G-kode av kvadrat (80 mm x 80 mm) med to diagonaler i kryss.



(b) Kvadrat med diagonaler i Fusion 360.

Figur 1.2: Eksempel på G-kode produsert i Fusion 360.

CNC-maskiner bruker intern mikroprosessor med minne-registre som lagrer rutiner som operatøren kan endre. Instruksjonene er lagret som programvare-instruksjoner som betyr at de logiske funksjonene kan endres av operatøren. Dette gjør CNC-maskinen allsidig.

Selve CNC-maskinen er sammensatt og består av datamaskin, aktuatorer og sensorer som samkjører om å følge en forhåndslaget vei i geometrisk kode (G-kode). G-koden inneholder instruksjoner om fart, bevegelseslengde og hvilken type bevegelse som skal gjøres.

1.4.1 Historie om CNC-styring

Hullkort og hullbånd oppsto på 1700-tallet originalt til bruk for automatisk veving. De ble brukt til å registrere data på ved å slå hull på kortet eller båndet. Informasjonen ble overført fra kortene eller båndene til datamaskinens minne ved elektromekanisk eller fotoelektrisk avlesning. Metodene ble

1.5 Problemstilling

mye brukt på 1960- og 70-tallet for blant annet å lese inn informasjon på datamaskiner, i form av *numerical control*-styring, forkortet til NC-styring. Disse metodene var langsomme ettersom det kun var 500-1500 tegn som ble lest hvert sekund.

Etterhvert ble det fra 60-tallet av vanlig å bruke CNC-styring istedenfor NC-styring. Det ble mer populært på 70-tallet, og enda mer på 80-tallet ved introduksjon av rimelige mikrodatamaskiner. Etterhvert ble hullkort og hullbånd helt erstattet av CNC-styring. I dag er innlesnings-hastigheten opptil flere millioner tegn i sekundet for blant annet DVD-er. Hullkort og hullbånd er derfor i dag erstattet av magnetiske og optiske datalagringsmedia, som er innebygd elektronisk lagring i datamaskinen [9].

CNC-styring er i dag svært betydelig i produksjonssektoren og for metallarbeid i industrien.

1.5 Problemstilling

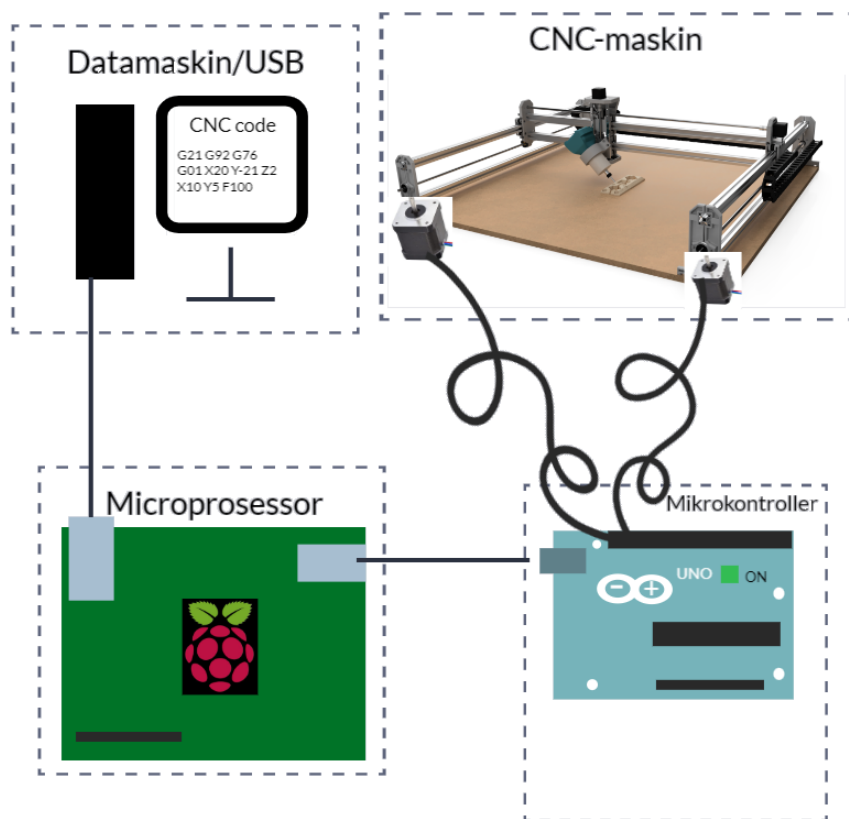
Dette prosjektet omhandler CNC-maskinen vist i figur (1.1). CNC-maskinen har fire frihetsgrader: lineærbevegelse i X-, Y- og Z-retning (translasjon), samt rotasjonsakse om Y-aksen.

Arbeidsområdet er 1000x100x100 mm og kan justeres. Målet med oppgaven er at bruker designer et produkt i et *computer aided*-program, forkortet CAD, som for eksempel *Autodesk Fusion 360*. CNC-maskinen skal deretter skjære bort materiale slik at det ferdige arbeidsstykket er igjen.

For å gjennomføre oppgaven trengs det en maskinkontroller for CNC-maskinen. Arbeidet består av kontrollering av stegmotorer, programmering, koblinger, el-tavle, endebrytere, generere G-kode og oversetting av G-kode til motor-kommandoer.

Figur (1.3) beskriver i enkle detaljer hvordan stegmotorene styres av mikrokontrolleren Arduino Uno, som kommuniserer med datamaskinen Raspberry Pi.

1.5 Problemstilling



Figur 1.3: Overordnet blokkdiagram av systemet. Det er trådløs kommunikasjon mellom datamaskinen og Raspberry Pi.

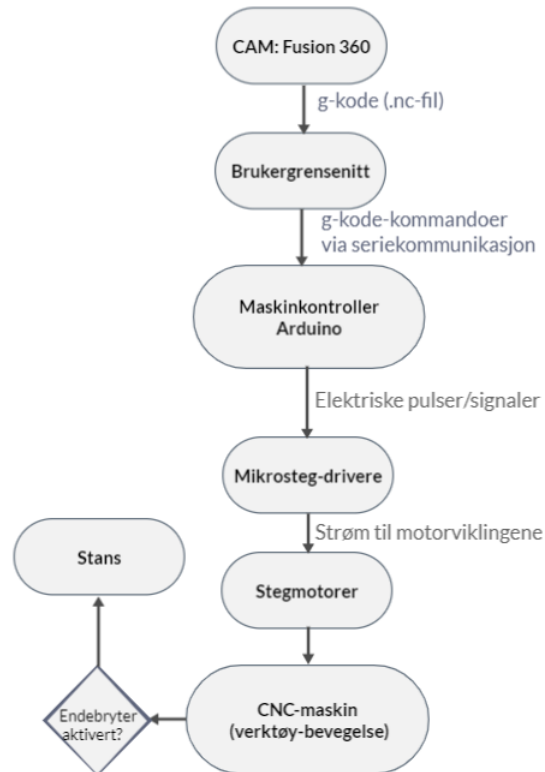
For å oppnå et godt resultat av CNC-styringen er det viktig å ta hensyn til verktøy-informasjon, material-spesifikasjoner (datablade), maskinsekvensen, arbeidsskisse og utregninger. I tillegg er det viktig å ha en god fremgangsmåte for programmeringen.

Det er også viktig å ta høyde for materialets størrelse, type, fasong, kvalitet, tilstand og hardhet. Målet er å bruke informasjonen for å etablere en effektiv og produktiv måte å frese ut et produkt på. For denne CNC-maskinen er det foreløpig ikke benyttet freseverktøy eller material, men det er brukt penn og papir.

Figur (1.4) viser flytskjema over hvordan oppgaven er løst, fra brukerens

1.6 Tilgjengelig programvare

produktdesign (G-kode) til CNC-maskinens resultat (produkt).



Figur 1.4: Flytskjema over prosessen.

1.6 Tilgjengelig programvare

I forbindelsen med å lage maskinkontrolleren brukes en tilgjengelig programvare GRBL som inspirasjon. GRBL er et åpent kildeprogram laget og utviklet over flere år, og brukes som inspirasjonen til utvikling av maskinkontrolleren. I tillegg er programmeringen av eget brukergrensesnitt inspirert av et ferdig brukergrensesnitt *Universal G-Code Sender*, forkortet UGS.

Kapittel 2

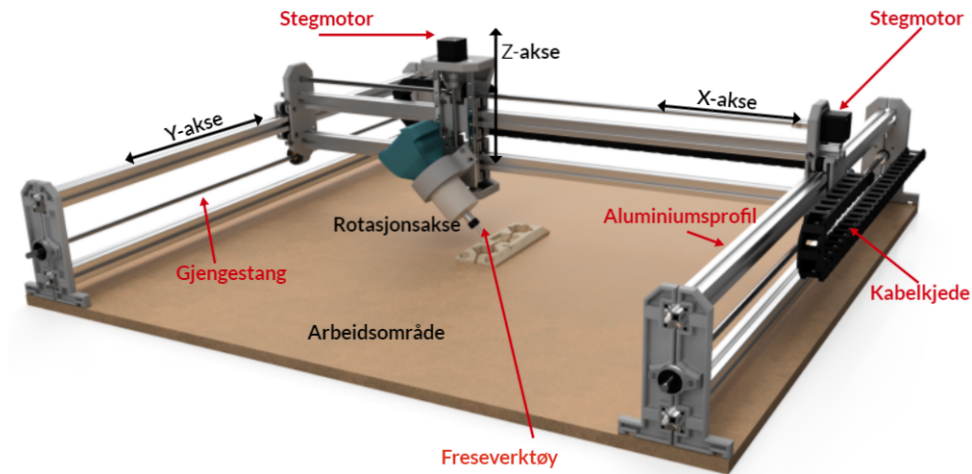
Beskrivelse av CNC-maskinen og utstyr

Dette kapitlet gir en beskrivelse av utstyr, komponenter i CNC-maskinen. Formålet med kapitlet er å klargjøre hvordan teori og komponenter henger sammen for å skape en fungerende CNC-maskin. Vi ønsker at leseren skal få en grundig forståelse av det utstyret som brukes og hvordan det fungerer for å produsere deler.

2.1 Maskinens struktur

Fra oppgavebeskrivelsen har vi fått et designutkast av maskinen, se figur (2.1). Figuren gir en oversikt over sentrale deler til CNC-maskinen. Det endelige resultatet av CNC-maskinen er vist i figur (2.2) og inneholder flere komponenter som er lagt til underveis i arbeidet.

2.1 Maskinens struktur

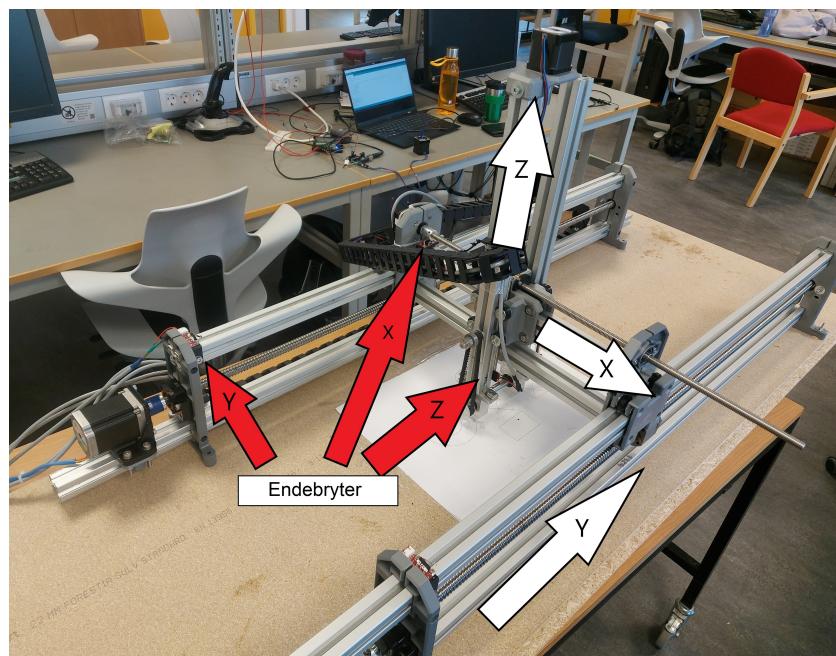


Figur 2.1: CNC-maskinen med noen sentrale komponenter. Det er to synlige stegmotorer på bildet, men det er totalt fire: to på Y-aksen, en på X-aksen og en på Z-aksen.

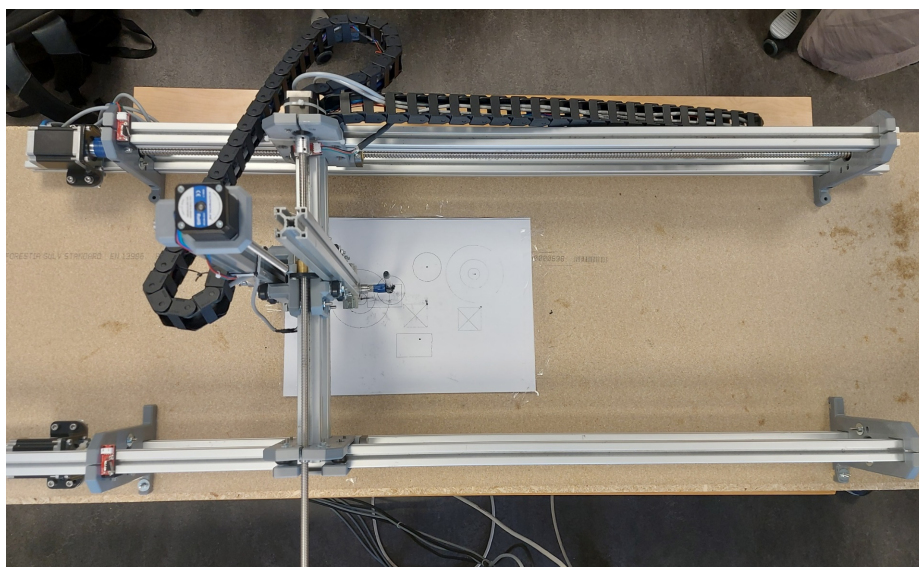
CNC-maskinen sin hovedstruktur er satt sammen av aluminiumsprofiler, gjengestenger og 3D-printede støttedeler festet på en sponplate. Vi opplevde problemer med ustabilitet og anbefaler derfor å finne en mer stabil måte å montere maskinen på. En forbedringsmulighet er å erstatte de 3D-printede plastdelene med aluminiumsprofiler for bedre stabilitet. Ved å implementere forbedringen blir CNC-maskinen mer robust og stabil. Forbedringen bidrar til å fjerne den uønskede vibrasjonen og dermed forbedre nøyaktigheten under kjøring av maskinen.

Figurene (2.2) og (2.3) viser resultatet av CNC-maskinen.

2.1 Maskinens struktur



Figur 2.2: CNC-maskinen som ble bygget i oppgaven, inkludert endebrytere.



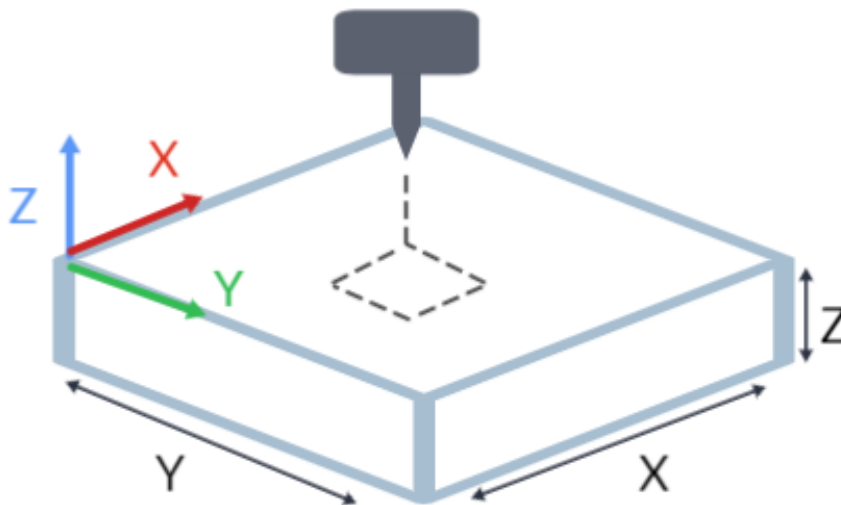
Figur 2.3: CNC-maskinen sett ovenfra.

2.2 Akser og koordinatsystem

Planen var å ha et arbeidsområde på 1000x1000x100 mm (lengde, bredde, høyde). Vi benyttet en sponplate som underlag. Arbeidsområdet ble justert etter sponplaten. Lengden og bredden på arbeidsområdet ble 1000x400 mm. Høyden ble av praktiske grunner justert til 60 mm. Hele arbeidsområdet er derfor 1000x400x60 mm.

2.2 Akser og koordinatsystem

CNC-maksinen beveger verktøyet langs X-, Y- og Z-aksene, se figur (2.4). Dersom verktøyet ikke beveger seg nøyaktig langs aksene, fører det til feilproduksjon. Kunnskap og forståelse om akser og koordinatsystemet er viktig for å utvikle maskinkontrolleren (programmet) som styrer stegmotorene. Koordinatsystemet fungerer som et hjelpemiddel for å vite hvor verktøyholderen er.



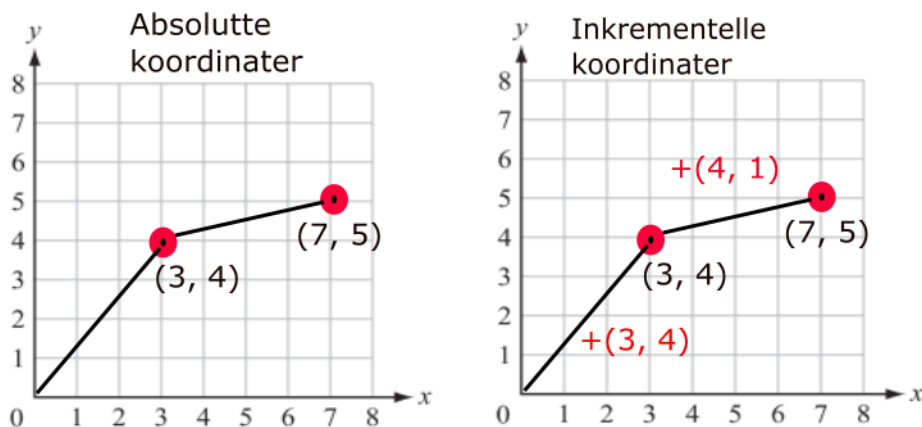
Figur 2.4: Verktøyet beveger seg langs X, Y og Z-aksene.

2.3 Referansepunkter og maskinens nullpunkt

Utviklingen av CNC-maskinen inneholder generelle matematiske prinsipper, hvor de mest relevante er trigonometri, geomteri og lineær algebra. Ved programmeringen av maskinkontrolleren representerer punktene i koordinatsystemet steder på arbeidsområdet. Informasjonen som finnes i en 2D- eller 3D-figur oversettes til G-kode ved bruk av koordinater og funksjoner. G-kode blir forklart senere.

2.3 Referansepunkter og maskinens nullpunkt

Det finnes generelt to prinsipper for å definere referansepunkt for CNC-maskinen: absolutte eller inkrementelle koordinater. Inkrementell koordinater beskriver en posisjon relativt til nåværende posisjon. Det betyr at maskinens nåværende posisjon brukes for å angi neste posisjon, se figur (2.5).



Figur 2.5: Absolutte og inkrementelle koordinater.

Dersom verktøyet beveger seg fra punktet origo $(0, 0)$ til $(3, 4)$ og deretter $(7, 5)$ kan det beregnes på en av følgende måter:

- Absolutte koordinater: Tar utgangspunkt i et fast referansepunkt origo og legger inn koordinatet som verktøyet skal gå til.

2.3 Referansepunkter og maskinens nullpunkt

- Inkrementelle koordinater: Referansepunkt endres til nåværende posisjon. Det vil si at (3, 4) vil være referansepunkt for bevegelse til (7, 5), og derfor må det legges til +4 på X-aksen og +1 på Y-aksen for å nå dette punktet: $(3, 5) + (4, 1) = (7, 5)$.

I programmet til maskinkontrolleren er det mulig å bytte mellom inkrementelle og absolutte koordinater ved hjelp av kommandoene «G90» og «G91». Se tabell (2.1) for oversikt over G-kode kommandoene.

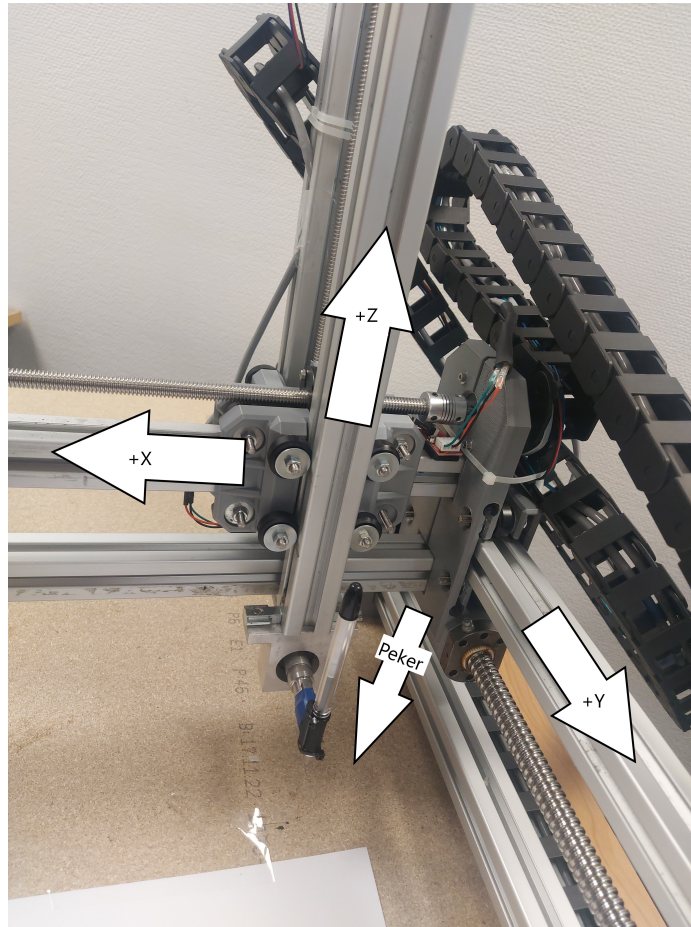
Tabell 2.1: Disse G-kode kommandoene benyttes i programmet.

G-kode	Beskrivelse
G0	Rask posisjonering
G1	Lineær bevegelse med spesifikk fart (F)
G2	Bevegelse i bue med spesifikk fart (F)
G3	Bevegelse i bue med spesifikk fart (F)
G90	Absolutt distanse modus
G91	Inkrementell distanse modus
G92	Sett referansepunkt
M17	Aktivere motorer
M18	Deaktivere motorer
M100	Hjelp
M114	Posisjon til verktøyet
M120	Hjemsyklus

I dette prosjektet benyttes en penn som verktøy, også kalt peker. Tuppen på pekeren er definert som arbeidspunktet, også kalt verktøykoordinatet. Bevegelsen av verktøyet foregår på de positive aksene av koordinatsystemet. Når CNC-maskinen starter er verktøykoordinatet et logisk nullpunkt. Deretter beveger CNC-maskinen verktøyet med referanse til dette logiske nullpunktet.

I figur (2.6) vises translasjonene X, Y og Z. Stegmotorene roterer gjengestengene slik at verktøyet beveger seg langs X-, Y- og Z-aksene (3-akse fresing). Bevegelserne er lineære hvor de kombinert sammen kan generere ulineære bevegelser i form av for eksempel sirkler. En mer avansert form for fresing er fem-akse fresing som lager mer komplekse og avanserte bevegelser. Det er da mulig å bevege maskinen i mer enn tre frihetsgrader.

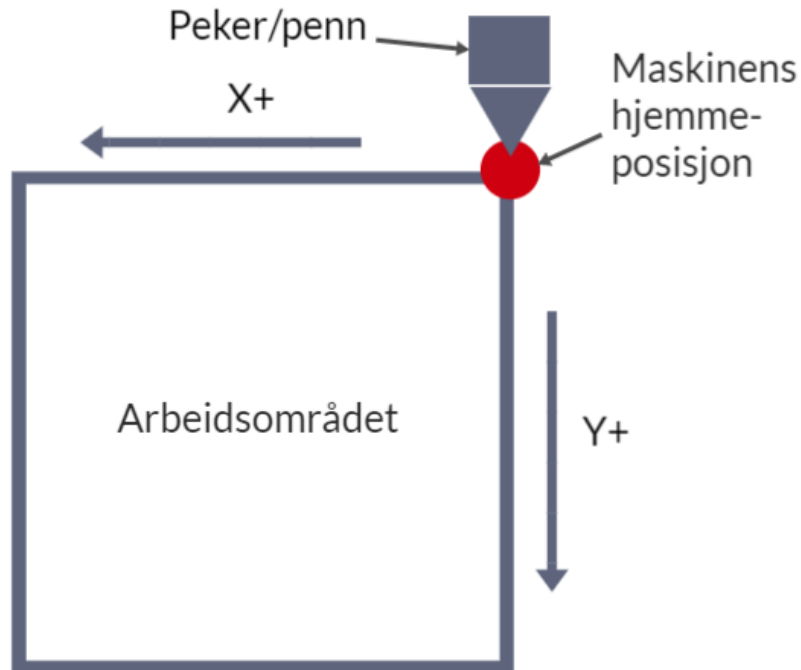
2.3 Referansepunkter og maskinens nullpunkt



Figur 2.6: Positive X-, Y- og Z-koordinater. Tuppen av pekeren er vendt nedover mot arbeidsområdet.

Maskinens hjemmeposisjon er punktet hvor X, Y og Z er null (origo). Posisjonen er oppe i høyre hjørnet og kalles også for nullposisjon, se figur (2.7). Hensikten med hjemmeposisjonen er å sikre at verktøyet ikke beveges utenfor arbeidsområdet. Vi vet lengden på aksene, og ved å starte i hjemmeposisjonen har programmet kontroll over hvor verktøyet befinner seg. Det sørger også for at bevegelsen ikke går lengre enn mulig. Hjemmeposisjonen er også hvor automatisk verktøy-forandring skjer. I denne maskinens tilfelle er det kun ett verktøy, og et eventuelt bytte må skje manuelt.

2.3 Referansepunkter og maskinens nullpunkt



Figur 2.7: Oversikt over arbeidsområdet i 2D (X, Y) med maskinens hjemmeposisjon. Hjemmeposisjonen er den røde prikken og er felles endepunkt for aksene. Dette er posisjonen til verktøyet etter hjemsyklusen er ferdig.

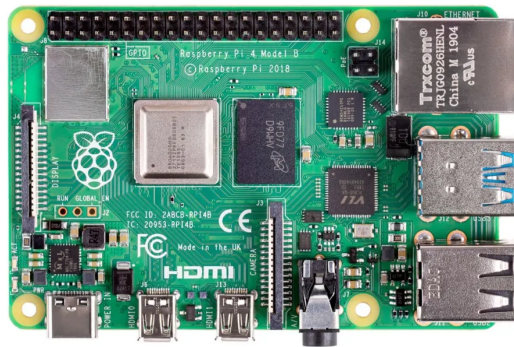
Hjemmeposisjonen er en del av maskinens fysiske oppbygning, og kalles derfor for et «fast» punkt. Maskinen returnerer til denne posisjonen automatisk for å kalibrere posisjonen til verktøyet. Vi benytter oss av hjemsyklus (eng: *homing*) ved hjelp av fysiske endebrytere. Etter hjemsyklus er utført er verktøyet ved hjemmeposisjonen.

Logisk nullpunkt er et justerbart referansepunkt. De justerbare referansepunktene kalles for «fleksible» eller «flytende» punkt. Etter at referansepunktet er satt, kjøres G-kode fra dette punktet. Logisk nullpunkt er justerbart, men maskinens nullposisjon er fast.

2.4 Raspberry Pi

2.4 Raspberry Pi

Raspberry Pi er en ettkortsdatamaskin. Det betyr at alle hovedkomponentene som prosessor, minne og tilkoblingsmuligheter er samlet på ett enkelt kretskort. Vi benytter Raspberry Pi 4 Model B for å trådløst styre maskinkontrolleren. Via brukergrensesnittet i Raspberry Pi brukes seriekommunikasjon (USB) med Arduino Uno. Arduino sender signaler til mikrostegetriverene som styrer stegmotorene.



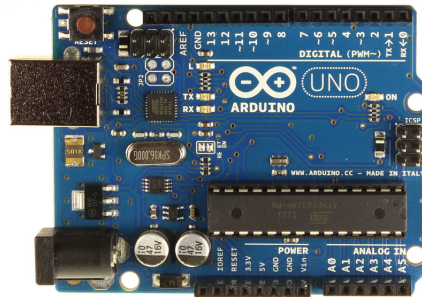
Figur 2.8: Raspberry Pi 4 Model B [18].

Det er mulig å bruke pinnene på Raspberry Pi til å styre stegmotorene. Det er ikke like effektivt som Arduino. Raspberry Pi er egnet til applikasjoner som krever mer kompleks databehandling, mens Arduino er spesialisert på sanntidskjøring. Sanntidskjøring er avgjørende i dette prosjektet, da det kreves rask respons på sanntidsdata fra sensorer.

2.5 Arduino Uno

Arduino Uno er en åpen maskinvare mikrokontroller-plattform. Den består av et kretskort med innebygd mikrokontroller og de nødvendige maskinvarekomponentene for å bruke mikrokontrolleren. Arduino er en plattform for enkle mikrokontroller oppgaver.

2.6 Stegmotor



Figur 2.9: Arduino Uno [5].

I denne oppgaven benyttes Arduino til å styre stegmotorene ved å lage en maskinkontroller vi har utviklet selv. I tillegg tester vi også ut med å installere en ferdiglagd G-kode tolk «GRBL» på kortet. GRBL er laget for å være på en 8-biters Atmel ATMEGA328 mikrokontroller, som er tilgjengelig på Arduino Uno. Arduino Uno er egnet til å styre stegmotorene til CNC-maskinen. Med Arduino Uno kan man programmere maskinen til å utføre komplekse oppgaver.

2.6 Stegmotor

Stegmotorene som brukes i prosjektet er bipolar synkron børsteløs likestrømsmotorer, som presist styres til ønsket posisjon med liten marginfeil. En stegmotor skiller seg fra andre elektriske motorer ved at den ikke roterer kontinuerlig, men heller beveger seg i diskrete trinn.

Stegmotorer blir ofte brukt i systemer som krever presis posisjonering og bevegelseskontroll. Presisjonen avhenger av applikasjon og krav til nøyaktighet. Stegmotor velges når kostnad er en viktig faktor og ved lav til moderat hastighet. På grunn av kostnad er stegmotor valgt.

Alternativet til en stegmotor er servomotor. De er bedre ved høy ytelse og når høy presisjon er nødvendig. Servomotorer har raskere respons og bedre akselerasjonsegenskaper enn stegmotorer. Stegmotorer er ikke 100% effektive ettersom noe av den elektriske kraften blir omgjort til varmeenergi. Ved lange driftsperioder kan varmen påvirke ytelsen til stegmotoren. Om varmegenereringen utgjør et problem eller ikke avhenger av omgivelsene der

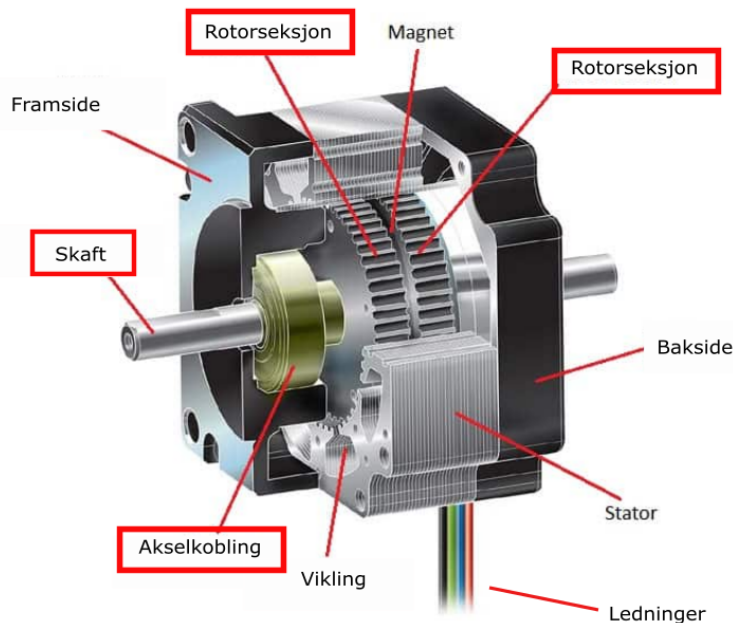
2.6 Stegmotor

motoren opererer. Servomotorer er designet med bedre varmhåndtering og er derfor bedre egnet til lang kontinuerlig drift.

Et forbedringsforslag er derfor å oppgradere til servomotorer dersom CNC-maskinen skal drives over lengre tid. I tillegg dersom CNC-maskinen skal utvikles videre og det stilles høyere krav til presisjon.

2.6.1 Hvordan fungerer en stegmotor?

En stegmotor er en elektrisk motor som går i trinn eller «steg». Når motoren mottar elektriske signal fra en styringsenhet roterer rotoren. Motoren er bygget opp av flere komponenter, se figur (2.10).

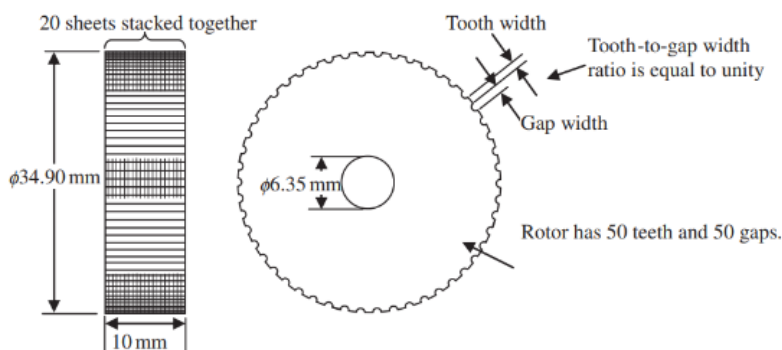


Figur 2.10: Bildet viser oppbyggingen til en stegmotor, og er hentet fra ISL Products [12]. Figuren inneholder mange komponenter, men de viktigste for oppgaven er rotor, skaft og akselkobling.

2.6 Stegmotor

Komponentene som er viktige å ha kunnskap om for å styre stegmotorene er rotor, akselkobling og skaft. En gjengestang kobles til rotoren, og ved hjelp av akselkobling kan stangen rotere med rotoren. Rotasjonen av gjengestangen gjør at verktøyet beveger seg i arbeidsområdet.

Rotoren omformer elektrisk kraft til mekanisk kraft. Rotoren befinner seg i midten av stegmotoren og består av tenner (steg), se figur (2.11). Den roterer alt etter hvilket ledningspar det sendes strøm gjennom. Det betyr i praksis at magnetfeltet skifter polaritet slik at rotorretningen snur.



Figur 2.11: Figuren er hentet fra boken «Creating Precision Robots» [14]. Bildet viser hvordan en 50-tenners rotor er satt sammen av 20 deler med permanentmagnetiske ark.

Rotoren er plassert inni statoren. Det er den magnetiske kraften mellom stator og rotor som produserer et dreiemoment på rotoren. Når strøm veksles på å sendes gjennom ledningsparene i statorviklingene, vil magnetiseringen i stator endre seg, og rotoren vil bevege seg. Dersom strømmen sendes sekvensielt i ledningsparene vil stegmotoren rotere.

2.6.2 Parametere til en stegmotor

For CNC-maskinen brukes det ulike stegmotorer for X-, Y- og Z-aksene. Det er fordi det stilles ulike krav til moment, hastighet og nøyaktighet. Når stegmotor velges, ser man på spenning, strøm og maks holdemoment. Parametrene er oppgitt i motorens datablad.

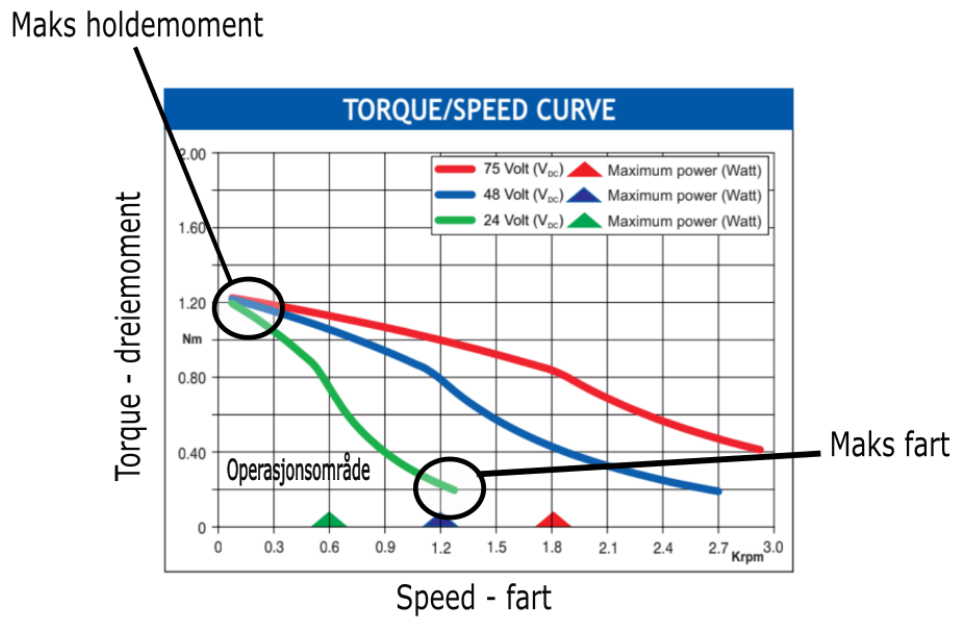
2.6 Stegmotor

- **Steg/vinkel:** Hvor mange grader ett steg tilsvarer. Vanligvis har en stegmotor 200 steg per rotasjon, altså 1.8° for hvert steg. Dette tilsvarer en full rotasjon på 360° . Antall steg per rotasjon kan justeres ved hjelp av en mikrostege-driver. Det gir høyere presisjon og økt kompleksitet. Steg/vinkel er viktig for å regne ut hvor mange millimeter verktøyet beveger seg i arbeidsområdet (mm/steg).
- **Strømforbruk:** Avhenger av motorens design og konstruksjon. Et høyt strømforbruk indikerer at motoren har et høyt holdemoment (eng: *holding torque*).
- **Holdemoment:** Mengden dreiemoment som kreves for å rotere et fullt steg når viklingene i en motor er aktivert, men rotor er stasjonær. Dreiemoment er en måleenhet for kraften som trengs for å rotere en gjenstand. Høyt holdemoment gjør at motoren beveger seg mer detaljert og nøyaktig ved å overvinne tregheten til lasten. Dette gjør at motoren kan holde en tyngre last og motsette seg eksterne krefter. Det resulterer i presis posisjonering som er viktig for CNC-maskiner.

En ulempe med stegmotoren er dreiemomentets begrensning ved høy fart. Maks dreiemoment oppnås ved lav hastighet, som er nyttig når tung last, som for eksempel verktøy, skal håndteres. Det er ikke kritisk for denne CNC-maskinen ettersom vi bruker en penn for testing.

Sammenhengen mellom dreiemoment og hastighet hentes fra databladet til stegmotoren, og presenteres i en dreiemoment/farts-kurve, se figur (2.12). Kurven er en referanse på hva stegmotoren kan oppnå, men parametrene varierer og avhenger av kombinasjonen av motor og mikrostege-driver.

2.6 Stegmotor



Figur 2.12: Grafen er hentet fra databladet til Y-stegmotor [19]. Den grønne grafen er relevant siden vi bruker 24 V.

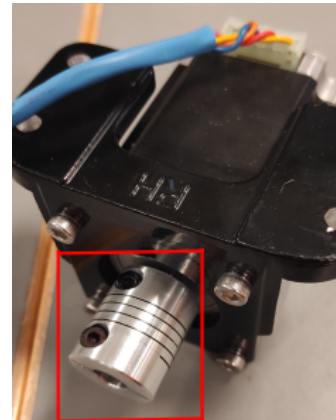
2.6.3 Sammenligning av parametrene

Y-stegmotor er vist i figurene nedenfor. Figur (2.13) viser motorens fire ledere og figur (2.14) viser skaftet som er festet på rotor.

2.6 Stegmotor



Figur 2.13: Y-stegmotor med ledningene.



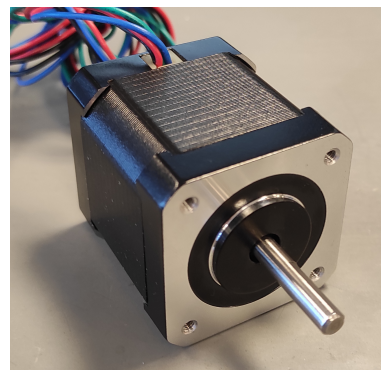
Figur 2.14: Skaftet mellom stegmotoren og gjengetestang.

I følge databladet har Y-stegmotor 1.8° per steg, med usikkerhet på 0.09° per steg [19]. Det betyr at 200 steg tilsvarer en rotasjon på 360° . Motorens maks strømtrekk er 4 A. I databladet er det oppgitt hvilke ledere som er koblet sammen. Oransje og blå, rød og gul. De fire ledningene omtales som de to ledningsparene, og er sentrale i korrekt styring av stegmotoren. Dette forklares senere i oppgaven.

X- og Z-stegmotor vises i figurene nedenfor.



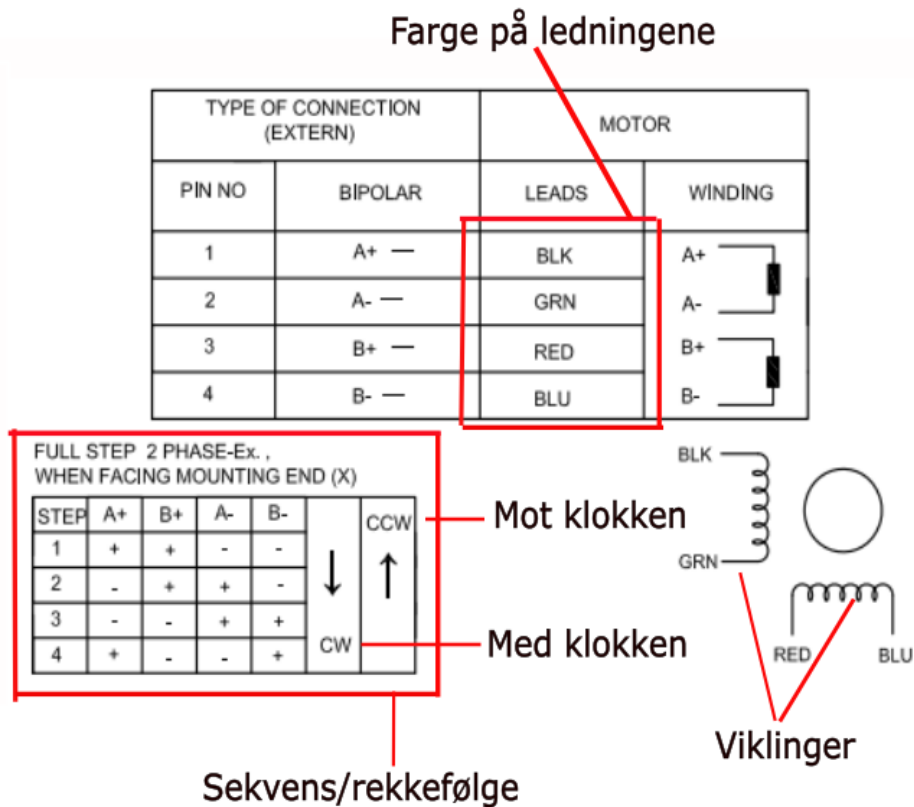
Figur 2.15: Ledningene til X- og Z-stegmotor.



Figur 2.16: Skaftet mellom stegmotoren og gjengetestang.

2.6 Stegmotor

Figur (2.15) viser baksiden av motoren og de fire ledningene. Figur (2.16) viser skaftet til motoren, som er en del mindre enn skaftet til Y-stegmotoren. I følge databladet har X- og Z-stegmotoren en steglengde 1.8° og 200 steg per rotasjon [20]. Usikkerheten er 5% av steglengden, som tilsvarer: $1.8^\circ \cdot 0.05 = 0.09^\circ$. Motorens maks strømtrekk er 2 A. I figur (2.17) vises viklingene og hvordan de henger sammen.



Figur 2.17: Informasjon om X- og Z-stegmotor er hentet fra databladet [20]. Viklingene viser hvilke ledninger som er koblet sammen, svart og grønn, rød og blå. I tillegg viser databladet hvilken sekvens ledningene må drives i for å gjøre et fullt steg. Ved å endre på rekkefølgen skiftes det mellom to retninger: rotasjon med (CW) eller mot klokken (CCW).

I tabell (2.2) er det oversikt over parametrene.

2.6 Stegmotor

Tabell 2.2: Oversikt over sentrale parametre for stegmotorene.

Parametre	Y-akse	X-akse	Z-akse
Steg/vinkel ($^{\circ}$)	1.8	1.8	1.8
Maks strømtrekk (A)	4.0	2.0	2.0
Spenning (V)	24	24	24
Maks holdemoment (Ncm)	165	59	59

Høyt strømtrekk assosieres med høyt holdemoment. Y-stegmotor har høyere strømtrekk og høyere holdemoment enn X- og Z-stegmotor. Det er en fordel når rotoren er stasjonær, ettersom mindre dreiemoment (eller momentkraft) kreves for å overvinne tregheten til lasten. Derfor kan Y-stegmotor være bedre egnet som Z-stegmotor dersom lasten (verktøyet) er for tung for Z-stegmotor i gravitasjonsfeltet. Dersom det er et problem når CNC-maskinen utvikles videre og et tyngre verktøy benyttes, er det en forbedringsmulighet å bytte ut disse motorene med motorer som har høyere holdemoment.

2.6.4 Styring av stegmotor med mikrosteedriver

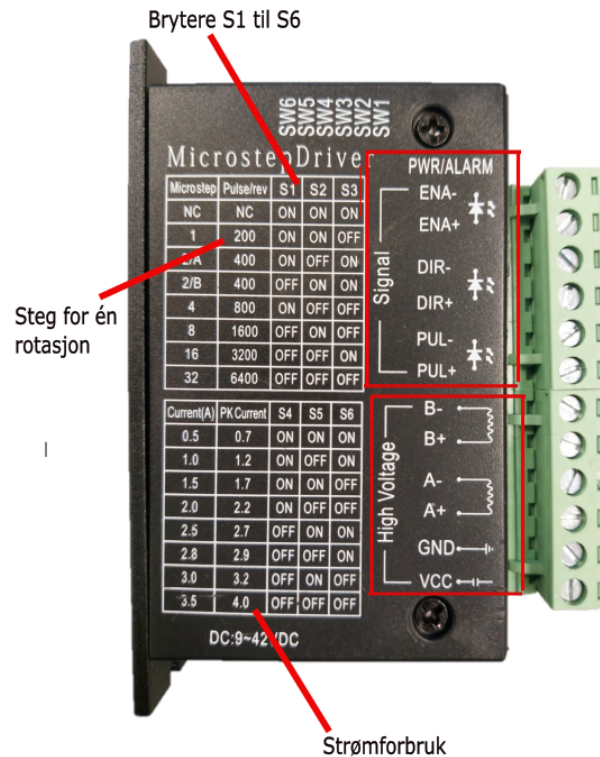
Stegmotoren styres ved hjelp av en mikrostege-driver. Driveren regulerer strømmen i spolene ved hjelp av to kontrollsignaler. Alternativet er å bruke driverkretser som halvbro- eller helbrodriverkretser. Det gir ikke like høy presisjon som en mikrostege-driver og er bedre egnet for enklere applikasjoner. Mikrostege-driver brukes for å oppnå mer nøyaktighet med å øke antall steg per rotasjon. Det er spesielt viktig for CNC-maskinen da det gir mulighet for et mer detaljert arbeid.

Mikrostege-driveren sender elektriske signaler til motorviklingene som fører til rotasjon med eller mot klokken. Feil sekvens fører til at rotoren henger fast på ett punkt i stedet for å bevege seg. Mikrostege-driveren håndterer dette ved å sende signal i rett sekvens til lederne. Farten til motoren endres ved å justere perioden til pulssignalene (instruksjonene) til mikrostege-driveren [10].

For å styre driveren benyttes Raspberry Pi og signalene fra Arduino. Signalene kobles til signal-delen på driveren. Mikrostege-driveren er koblet til kraftforsyning med VCC og GND, mens motorens viklinger (ledningspar)

2.6 Stegmotor

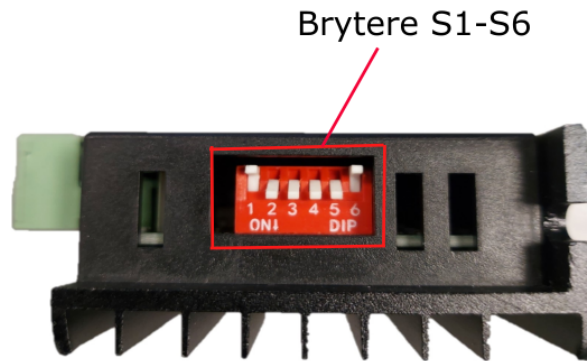
er koblet til A+, A-, B+ og B-, se figur (2.18). Inngangsspenningen er 9~42 V DC. Styresignalene til mikrostep-driveren er koblet til pinner på Arduino.



Figur 2.18: Viklingene til stegmotoren kobles til B-, B+, A- og A+. Et fullt steg til en motor med 200 steg, kan maks deles opp i 32 mikrostep. Dette tilsvarer 6400 mikrostep for en full rotasjon ($200 \cdot 32 = 6400$). Figuren viser også hvilken innstilling bryterne S1-S6 skal ha for å oppnå ønsket antall mikrostep og strømtrekk. Signalene kobles til pinner på Arduino.

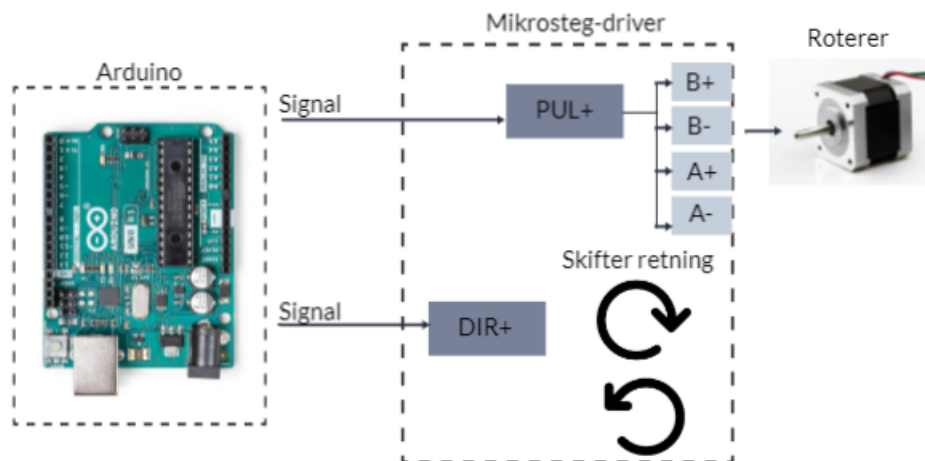
Bryterpanelet for bryterne S1-S6 er vist i figur (2.19).

2.6 Stegmotor



Figur 2.19: Brytere på mikrostep-driveren. De har to innstillinger: av eller på. De kombineres etter tabellen på mikrostep-driveren.

For å styre stegene brukes signal-inngangene. «PUL+» mottar elektriske puls-signal fra Arduino og mikrostep-driveren kontrollerer sekvensen til lederene slik at rotoren beveger seg med eller mot klokken. Når driveren mottar puls på «DIR+» skifter retningen. «PUL-», «DIR-» og «ENA-» parallellkobles til *ground* på Arduino.

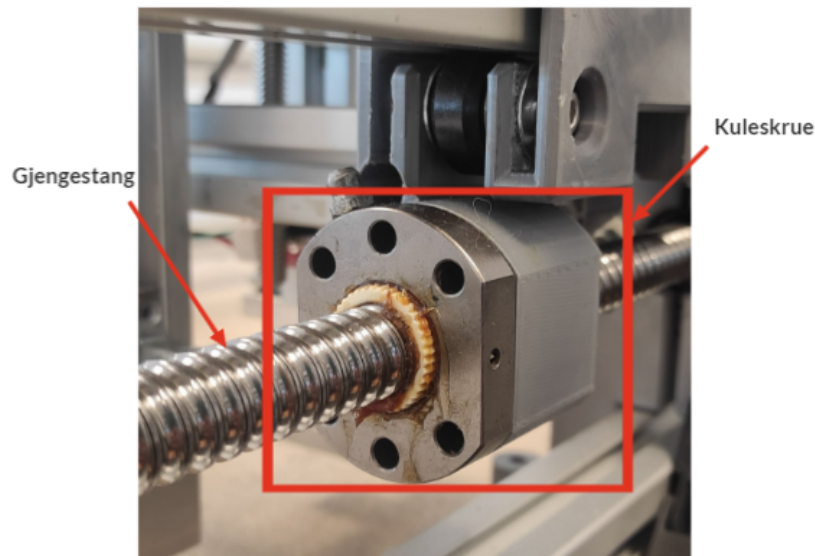


Figur 2.20: Puls-signalet (PUL+) får rotoren til å rotere, mens retnings-signalet (DIR+) endrer retningen.

2.6 Stegmotor

2.6.5 Gjengestang og kuleskrue

Gjengestangen er koblet til skaftet på stegmotoren. Skaftet er koblet til rotoren. Dette får stangen til å rotere og deretter kuleskruen til å bevege seg. Når kuleskruen beveger seg beveger også verktøyet seg i arbeidsområdet, se figur (2.21).



Figur 2.21: Kuleskruen er festet til gjengestangen.

Gjengestangen festet til Y-stegmotor har en stigning på 5 mm. Det er da mulig å regne steg/mm, lengde a. Ved bruk av mikrostep-driveren er det 400 steg/revolusjon. Utregning:

$$a = \frac{400 [\text{steg}]}{5 [\text{mm}]} = 80 [\text{steg/mm}] \quad (2.1)$$

Gjengestangen festet til X- og Z-stegmotor har en stigning på 2 mm. Utregning for steg/mm, lengde b, er da:

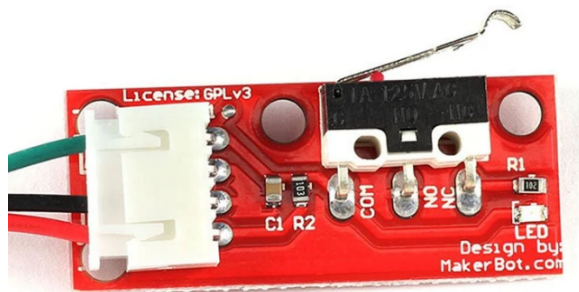
2.7 Endebryter

$$b = \frac{400 [\text{steg}]}{2 [\text{mm}]} = 200 [\text{steg/mm}] \quad (2.2)$$

Lengdene a og b er nødvendige for maskinkontroller-programmet for å bevege pennen ønsket lengde.

2.7 Endebryter

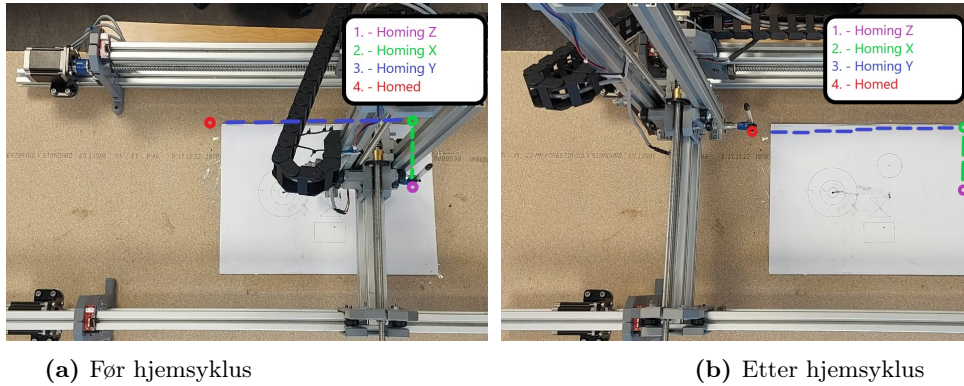
En viktig sikkerhetsfunksjon for CNC-maskinen er endebryterene. CNC-maskinen har tre mekaniske endestoppbrytere, se figur (2.22). Endebryterene plasseres på begynnelsen av hver akse (hjemmeposisjonen). Dette punktet brukes under hjemsyklusen.



Figur 2.22: Endebryteren som benyttets i prosjektet er designet av Makerbot [2] og kjøpes blant annet hos AliExpress [1].

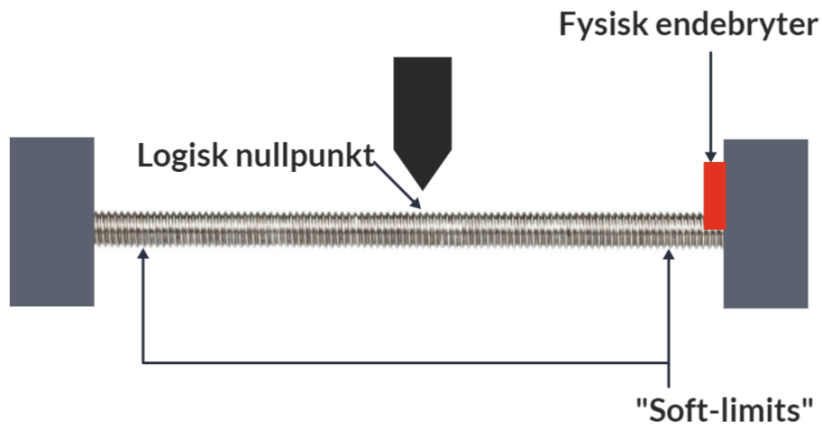
Hjemesyklus krever minst én endebryter for hver akse. Det er mulig å ha to endebrytere per akse for å hindre at motorene beveges utenfor grensene, men det er ikke nødvendig. For å spare tid, penger og kabler holder det å bruke én endebryter for hver akse og heller definere «programvare-grenser» (eng: *soft-limits*) i tillegg. Det er viktig å utføre hjemsyklus av maskinen ved oppstart for å kalibrere maskinen og få korrekt posisjon til verktøyet, se figur (2.23). Det hindrer kollisjon og sørger for at maskinkontroller-programmet vet hvor verktøyet befinner seg til en hver tid.

2.7 Endebryter



Figur 2.23: Hjemesyklus ved hjelp av endebryterene.
Z-akse utføres først, deretter X-akse og så Y-akse.

På engelsk kalles endebryterene for *hard-limits* som på norsk er «maskinvare-grenser». I tillegg til de fysiske endebryterene kan vi legge til «programvare-grenser» (eng: *soft-limits*). Maskinkontrolleren bruker programvare-grensene får å stanse kjøringen. Ved å sette koordinatene til programvare-grensene med en sikkerhetsdistanse på noen cm fra enden av aksene, hindres verktøyet i å gå for langt, se figur (2.24). Hvis verktøyet forsetter mot enden av aksene og forbi sikkerhetsdistansen så har det skjedd noe feil og brukeren har da tid til å bruke nødstop. Vi har ikke lagt til slike programvare-grenser i maskinkontrolleren, men GRBL bruker det.



Figur 2.24: Figuren viser hvor *soft-limits* og endebryter (*hard-limit*) er plassert. Logisk nullpunkt (startpunkt) plasseres innenfor området, definert av *soft-limits*.

2.7 Endebryter

2.7.1 Kobling av endebryter

Endebryteren er en normalt lukket bryter og har tre tilkoblinger: jord (GND), inngangsspenning (+Vcc) og signalet (S). Koblingskjema er i figurene (C.1) og (C.2) i vedlegg C.

2.7.2 Normalt åpen eller lukket kobling av endebryter

Bryteren i en elektrisk krets er enten åpen eller lukket. Vi bruker normalt lukket ettersom det fungerer som en innebygd sikkerhetsfunksjon. Hvis en ledning eller bryter er defekt blir kretsen åpnet/brutt og motorene stanser. Dersom bryteren hadde vært normalt åpen og en skade på ledningen oppstår, oppdages i verste tilfelle ikke dette før en skade allerede er gjort. Normalt lukket bryter reduserer risiko for uønskede hendelser.

2.7.3 Elektromagnetisk interferens

Ved implementering av endebryterene oppdages det støy. Frekvensen til støyet måles med oscilloskop. Støy oppstår mellom ledningene til bryterne og motorene, og fører til at endebryterne oppfører seg som berørt. Dette skyldes at ledningene tar opp elektromagnetisk interferens, forkortet EMI, fra motorene. Dette påvirker S-signalet på 5 V DC som sendes fra endebryterene. Dette løses med lavpass-filter og tvinnede ledninger.

Ettersom målet er så lav støy som mulig setter vi ønsket knekkfrekvens lavest mulig. Deretter tilpasses filteret etter hvilken motstand- og kondensatorverdi som er tilgjengelig. Vi velger en knekkfrekvens mellom 300 og 400 Hz og bruker formel for knekkfrekvens (2.3) til å finne verdiene til kondensatoren og motstanden .

$$\text{Knekkfrekvens: } f_c = \frac{1}{2\pi RC} \text{ [Hz]} \quad (2.3)$$

Ved å velge en kondensator med standardverdi på 100 nF finner vi verdien til motstanden etterpå. Først med knekkfrekvens på 300 Hz og deretter 400

2.7 Endebyrter

Hz. Deretter velges en tilgjengelig motstandsverdi mellom de to resultatene.

$$\begin{aligned}300 \text{ [Hz]} &= \frac{1}{2\pi \cdot 100n \cdot R} \\R &= \frac{1}{2\pi \cdot 100n \cdot 300} \text{ [\Omega]} \\R &= \underline{5305} \text{ [\Omega]} \tag{2.4}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}400 \text{ [Hz]} &= \frac{1}{2\pi \cdot 100n \cdot R} \\R &= \frac{1}{2\pi \cdot 100n \cdot 400} \text{ [\Omega]} \\R &= \underline{3979} \text{ [\Omega]} \tag{2.5}\end{aligned}$$

Vi velger fra standardtabell en motstand på 4700 Ω . Knekkfrekvensen er da 383.63 Hz (2.6).

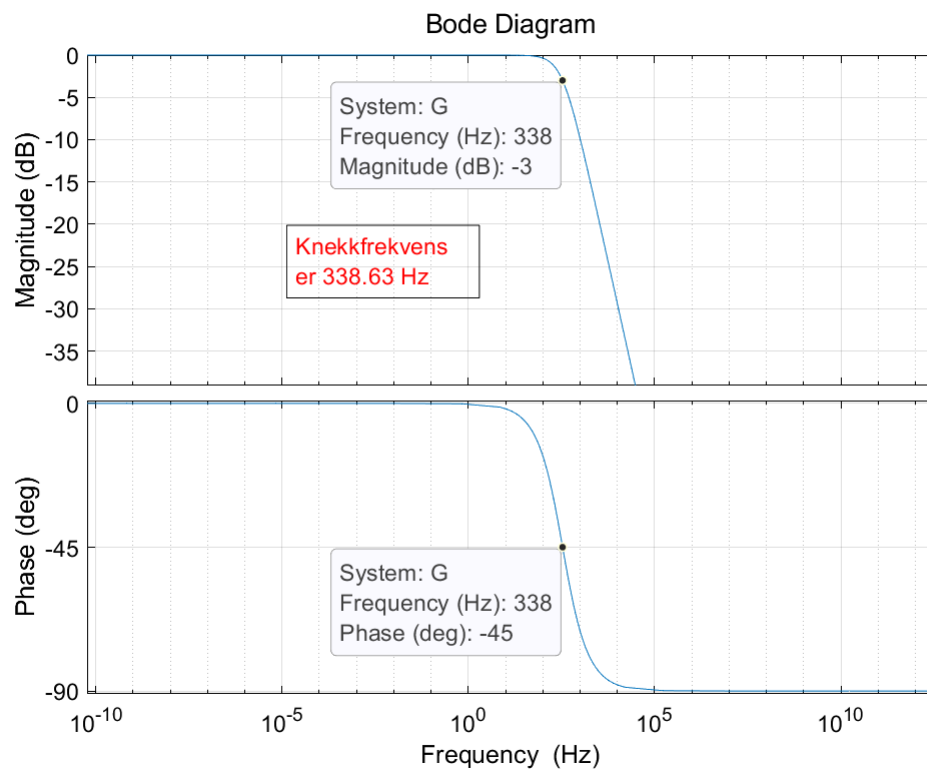
$$\begin{aligned}\text{Knekkfrekvens: } f_c &= \frac{1}{2\pi RC} \text{ [Hz]} \\f_c &= \frac{1}{2\pi \cdot 4700 \cdot 100n} \text{ [Hz]} \\f_c &= \underline{\underline{383.63}} \text{ [Hz]} \tag{2.6}\end{aligned}$$

Verdiene brukes i et *matlab script* og bruker funksjonen *bode* for å få opp frekvensresponsen, se kode (2.1) og resultatet i figur (2.25).

2.7 Endebyrter

Kode 2.1: *Matlab script* som gir frekvensrespons til filteret.

```
1 % Bode plot RC filter
2 R = 4700; % ohm
3 C = 100e-9; % Farad
4 T = R*C;
5 options = bodeoptions;
6 options.FreqUnits = 'Hz';
7 options.Title.FontSize = 16;
8 s = tf('s');
9 G = 1/(1+T*s);
10 bode(G, options)
11 grid on;
```



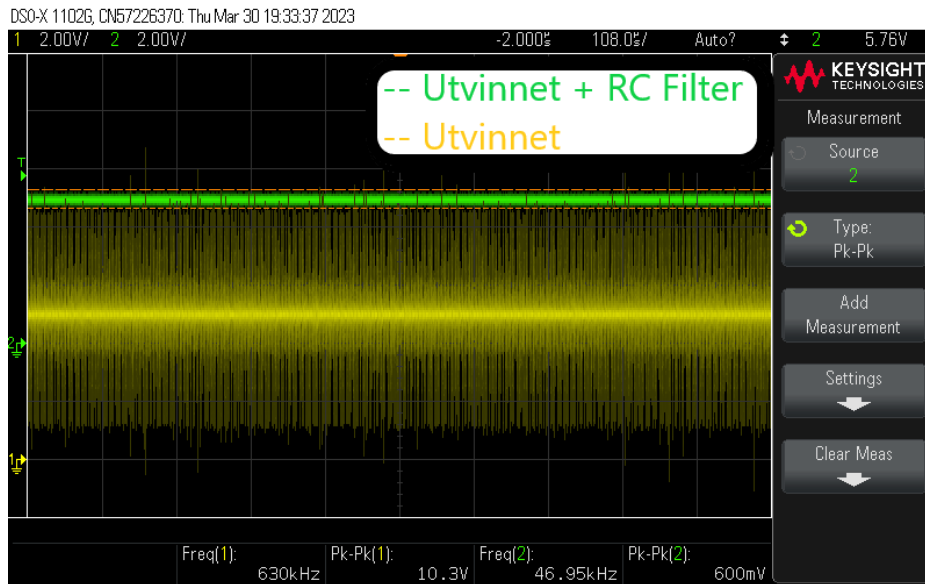
Figur 2.25: *Bode plot* som viser *Magnitude (dB)* og *Fase (grader)* mot *Frekvens (Hz)*. Knekkfrekvensen er 338 Hz ved -3dB og -45 grader.

I tillegg til filteret tvinnes ledningene for å redusere støyet. Det gjøres for å utnytte prinsippet om magnetisk feltkansellering. Når to ledninger er ved siden av hverandre oppstår det et magnetisk felt som forstyrrer signalene gjennom ledningene. Dersom ledningene tvinnes om hverandre, genereres

2.7 Endebyrter

det et magnetisk felt som går i motsatt retning. De magnetiske feltene kansellerer hverandre ut. Det fører til redusert EMI ved å forbedre den elektromagnetiske kompatibiliteten mellom ledningene som ligger ved siden av hverandre.

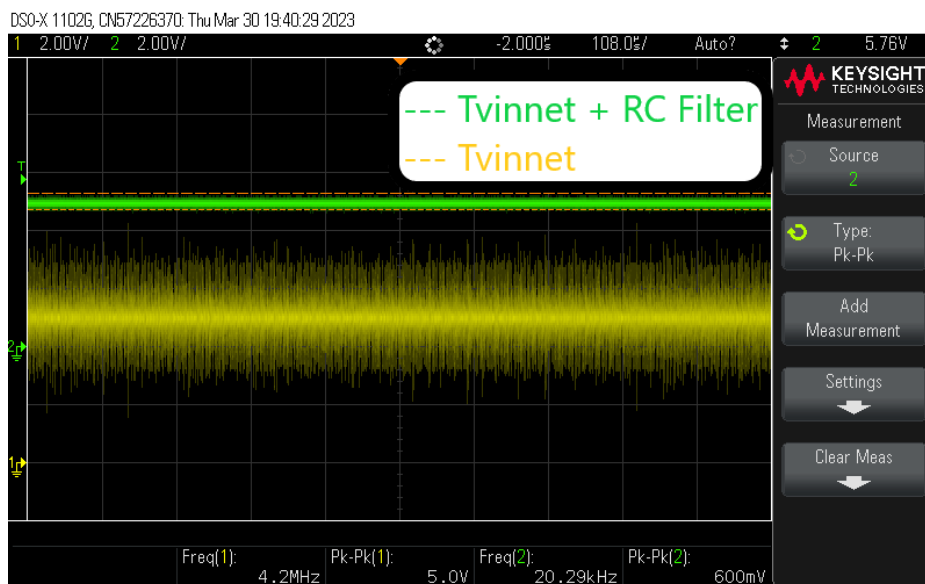
I figur (2.26) vises signalet uten tvinnede ledninger og resultatet av signalet uten tvinnede ledninger og lavpass-filter.



Figur 2.26: Oscilloskopmåling av signalet ved kjøring av maskinen. Gult signal er før støyreduksjon og grønt signal er etter støyreduksjon. Gult signal er målt uten bruk av lavpass-filter og uten tvinnede ledninger, mens grønt signal er målt med lavpass-filter og uten tvinnede ledninger. Maksimal estimert *peak to peak* støy på gult signal er 10.3 V, mens estimert *peak to peak* på grønt signal er 600 mV. Høye frekvenser er filtrert bort.

I figur (2.27) vises resultatet med tvinnede ledninger og lavpass-filter.

2.7 Endebyrter



Figur 2.27: Oscilloskopmåling ved kjøring av maskinen. Gult signal er før støyreduksjon og grønt signal er etter støyreduksjon. Gult signal er med tvinne ledninger. Grønt signal er med lavpass-filter og tvinne ledninger. Estimert *peak to peak* på gult signal er 5.0 V. Estimert *peak to peak* på grønt signal er 600 mV. Resultatet viser at lavpass-filteret og tvinne ledninger fungerer, og at de høye frekvensene er filtrert bort.

Med tvinne ledninger uten filter er støyen redusert fra *peak to peak* 10.3 V til 5.0 V. Støyen er fremdeles veldig høy ettersom vi ønsker lavest mulig støy. Det er derfor nødvendig å bruke lavpass-filter. Resultatet med lavpass-filter viser at støyen er redusert fra *peak to peak* 10.3 til 600 mV. Resultatet er 600 mV med eller uten tvinne ledninger fordi lavpass-filteret fjerner mer støy enn det tvinne ledninger gjør alene.

Det er mulig å gjøre mer for å redusere støy, men som ikke er nødvendig for driften av denne CNC-maskinen. Følgende alternativer er hentet fra «OpenBuilds» sin CNC-maskin [15]:

- **Isolere ledningene til stegmotorene**

Ledningene til endebyrterene og stegmotorene deler kabelkjede, som er en av grunnene til at støy oppstår under kjøring av maskinen. For å fjerne interferensen kan ledningene tvinnes og isoleres med lednings-skjold.

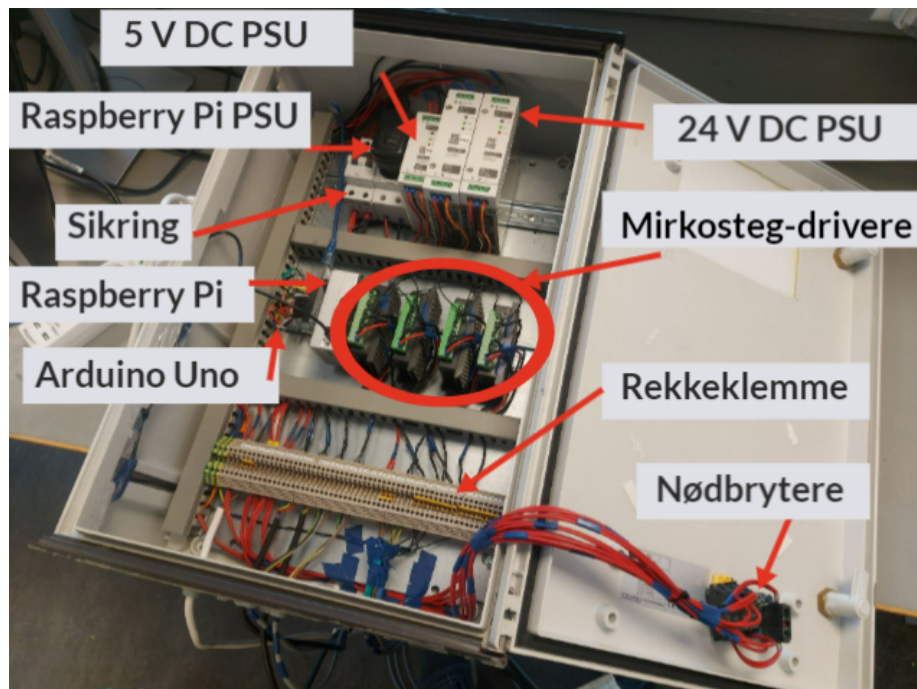
2.8 El-tavle

- **Ferittkjerner**

Ferittkjerner kan kobles på ledningene til stegmotorene og fjerne mer av det høy-frekvente støyet [23].

2.8 El-tavle

El-tavlen er utstyrt med strømbrytere og sikringer for å beskytte det elektriske systemet mot overbelastning og kortslutninger. Hvis det oppstår en feil i kretsen utløses kretsbyteren i sikringen og hindrer skade på komponentene i systemet. Koblingsskjemaet ligger i vedlegg C, figur (C.2). I figur (2.28) vises komponentene i el-tavlen.



Figur 2.28: El-tavlen til CNC-maskinen.

Kapittel 3

Programvare

Dette kapitlet forklarer utførelsen av maskinkontroll-programmet. Programmet lastes opp på Arduino og har som oppgave å tolke G-koden for å styre stegmotorene.

3.1 G-kode

G-kode, også kjent som «RS-274», står for «geometrisk kode». Koden gir instruksjoner til maskinkontrolleren som deretter forteller stegmotorene hvilken posisjon, hastighet, akselerasjon og bevegelse som skal følges.

Følgende liste gir informasjon om hva G-kode instruksjonene betyr:

- **G**: Kommando.
- **M**: Brukes for forskjellige funksjonskoder som frese og spindel-kontroll.
- **X**, **Y** og **Z**: Brukes til å gi absolutte eller inkrementelle posisjonskommandoer.
- **I**, **J** og **K**: Angir sentrum til en bue i henhold til X-, Y- og Z-aksene.

Tabell (D.2) i vedlegg D gir oversikt over G-kode instruksjonene og hva de betyr. Her er eksempler på de mest vanlige G-kode kommandoene:

3.2 CAM-Design

- **G90** - Absolutt koordinat
Beveger verktøyet til spesifisert X-, Y- eller Z-koordinat, se figur (2.5).
- **G91** - Inkrementell koordinat
Beveger verktøyet til nåværende koordinat pluss oppgitt X-, Y- eller Z-koordinat, se figur (2.5).
- **G0 / G00** - Hurtig posisjonering
Eksempel:
G90 % Absolutt koordinat
G0 X100 Y100 % Bevegelse med maks hastighet
Denne kommandoen brukes til å flytte verktøyet raskt. I eksempelet flytter maskinen verktøyet til absolutt posisjon X = 100 mm og Y = 100 mm fra fra origo med maks hastighet (*feedrate*).
- **G1 / G01** - Lineær interpolasjon
Eksempel:
G90 % Absolutt koordinat
G1 Z10 F300 % Bevegelse med hastighet 300 mm/min
Denne kommandoen brukes til å flytte verktøyet. I eksempelet flytter maskinen verktøyet til absolutt posisjon Z = 10 mm fra origo med hastighet på 300 mm/min.
- **G2 / G02** - Sirkulær interpolasjon med klokken
Mer om dette senere.
- **G3 / G03** - Sirkulær interpolasjon mot klokken
Mer om dette senere.

3.2 CAM-Design

Programvaren vi bruker til å lage G-kode med er «Fusion 360». Programvaren har en «CAM-modul» som gir oss muligheten til å designe 3D-modeller. I modulen velges verktøy, materialer, maskinbane og fresemetode. Fra 3D-modellen genereres det G-kode som inneholder de valgte innstillingene organisert etter linjenummer.

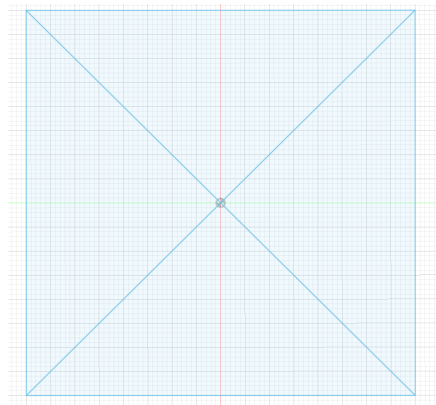
For å lage et kvadrat med diagonaler produseres det en skisse i Fusion 360. Deretter eksporteres skissen som en G-kode-fil med GRBL-standard.

3.2 CAM-Design

Filen inneholder en sekvens med kommandoer som maskinkontrolleren leser og utfører, se kode (3.1) og figur (3.1a) for skissen.

Kode (3.1) G-kode instruksjoner for et kvadrat med diagonaler.

```
1 G92
2 G90
3 M17
4 G0 Z20 F2000
5 G0 X0 Y0 F5000
6 G0 Z0 F2000
7 G0 X40 Y0 F5000
8 G0 X40 Y-40
9 G0 X0 Y-40
10 G0 X0 Y0
11 G0 X40 Y-40
12 G0 Z20 F2000
13 G0 X40 Y0
14 G0 Z0 F2000
15 G0 X0 Y-40
16 G0 Z20 F2000
17 G0 X0 Y0 F4000
18 Z0 F2000
```



(a) Skisse: kvadrat med diagonaler.

Figur 3.1: Eksempel på G-kode og skisse laget i Fusion 360.

Programmet i koden (3.1) inneholder G-kode instruksjoner for å lage et kvadrat med diagonaler. Koden er på 18 linjer og er lagret i en .nc-fil. Koden inneholder X-, Y- og Z-instruksjoner som forteller hvor verktøyet skal bevegese i arbeidsområdet. F-instruksjonene er *feedrate*. Tabell (D.2) i vedlegg D inneholder en oversikt over hva G- og M- instruksjonene betyr.

3.3 Brukergrensesnitt

3.3 Brukergrensesnitt

Det visuelle brukergrensesnittet, forkortet GUI (eng: *Graphical User Interface*), er laget i Python 3.10 [17]. Brukergrensesnittet kjøres enten med Windows 10 eller trådløst via Raspberry Pi 4B [18]. Vi benytter to brukergrensesnitt: vårt eget til maskinkontrolleren, se figur (3.3), og UGS. UGS fortelles det mer om senere.

Følgende Python-moduler er benyttet i programmeringen av brukergrensesnittet:

- **PySimpleGUI** til å lage det visuelle brukergrensesnittet [16].
- **Matplotlib** til å visualisere posisjonen til verktøyet i 2D og 3D [11].
- **Serial** til seriekommunikasjon mellom GUI og maskinkontroller [13].

Kode (3.2) tilsvarer kommunikasjonen mellom brukergrensesnittet og maskinkontrolleren (Arduino). Maskinkontrolleren bruker *Universal Serial Asynchronous Receiver Transmitter*, forkortet USART. USART er en seriell kommunikasjonsprotokoll med en bestemt overføringshastighet (eng: *baudrate*) [8].

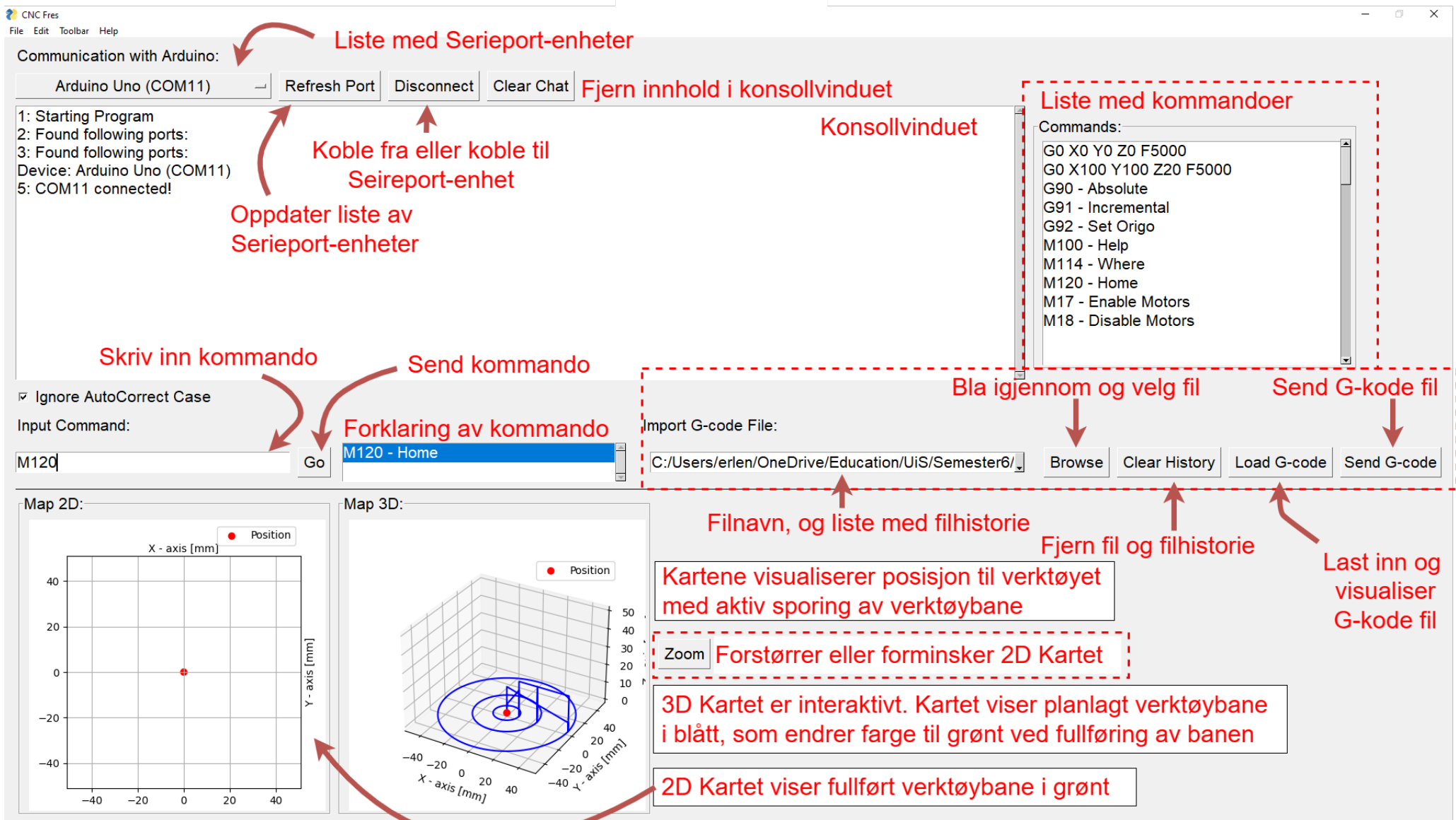
Kode 3.2: Seriekommunikasjon mellom brukergrensesnittet og maskinkontrolleren.

(a) Koden i Python.

```
1 import serial
2 ID = "COM10"
3 baud = 115200
4 s = serial.Serial(ID, baud)
```

(b) Koden i C++.

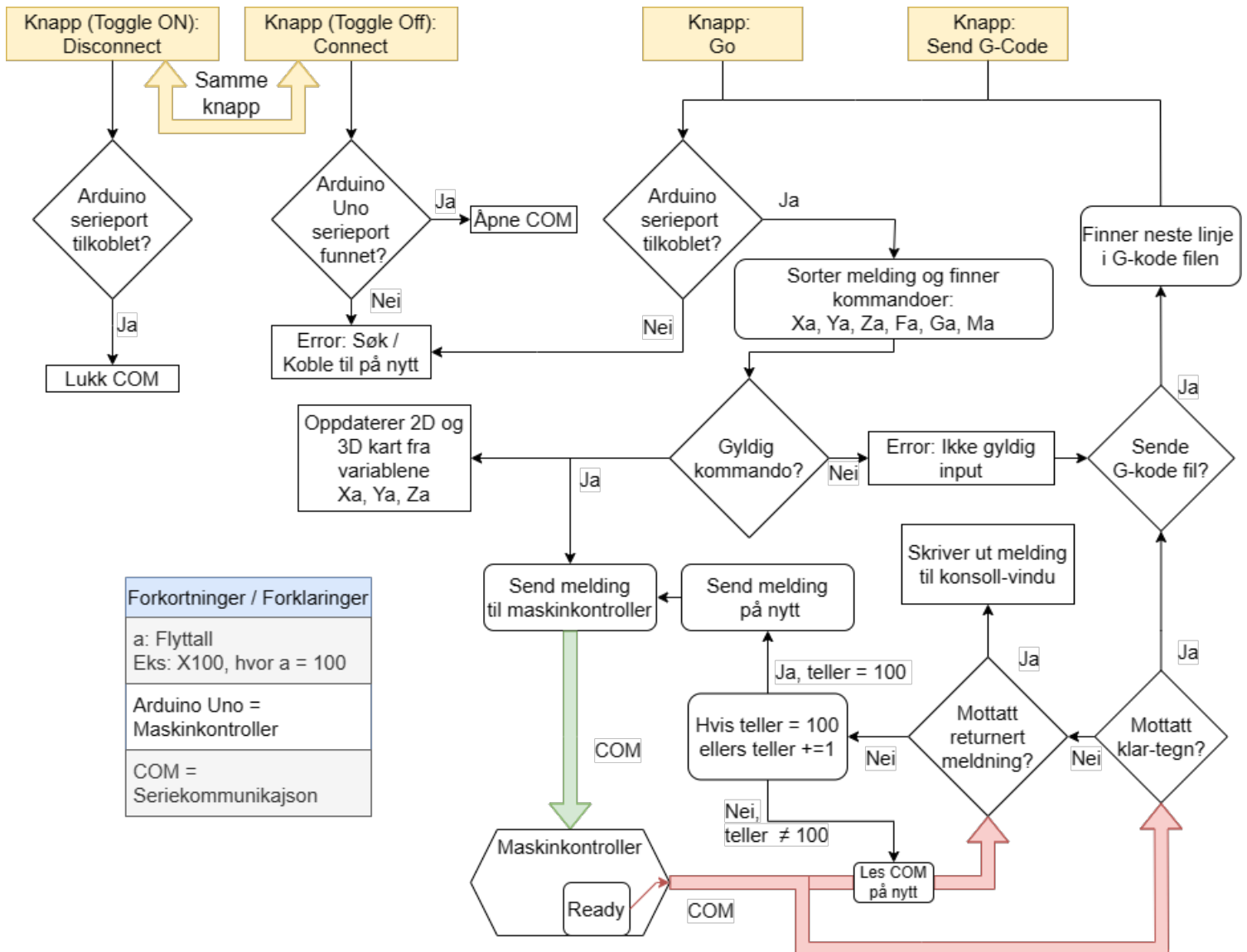
```
1
2 void setup() {
3     Serial.begin(115200);
4 }
```



Figur 3.3: Brukergrensesnittet.

3.3 Brukergrensesnitt

Figur (3.4) viser flytskjema over funksjonene til brukergrensesnittet.

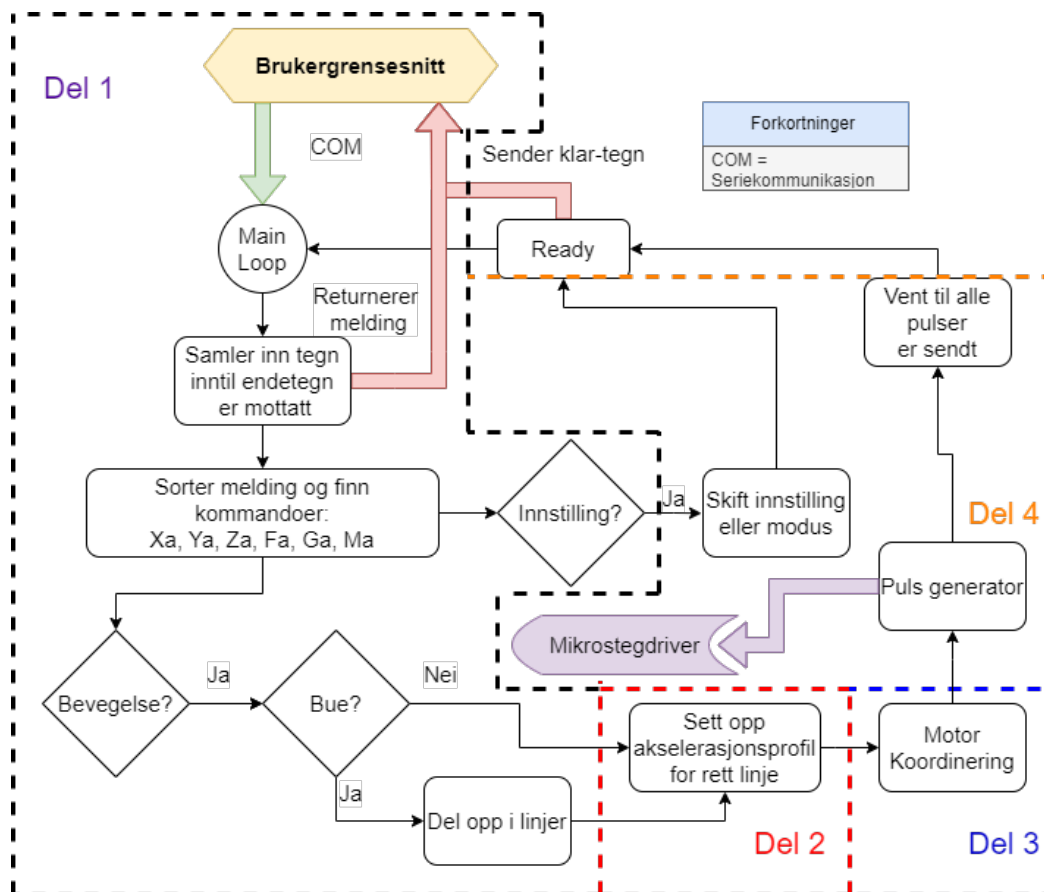


Figur 3.4: Flytskjema over brukergrensesnittet.

3.4 Maskinkontrolleren

3.4 Maskinkontrolleren

Første del av dette kapitlet tar for seg hvorfor akselerasjon er viktig og hvordan det implementeres. Deretter hvordan maskinkontrolleren styrer stegmotorene. Figur (3.5) viser flytskjema av maskinkontrolleren.



Figur 3.5: Flytskjema av maskinkontrolleren.

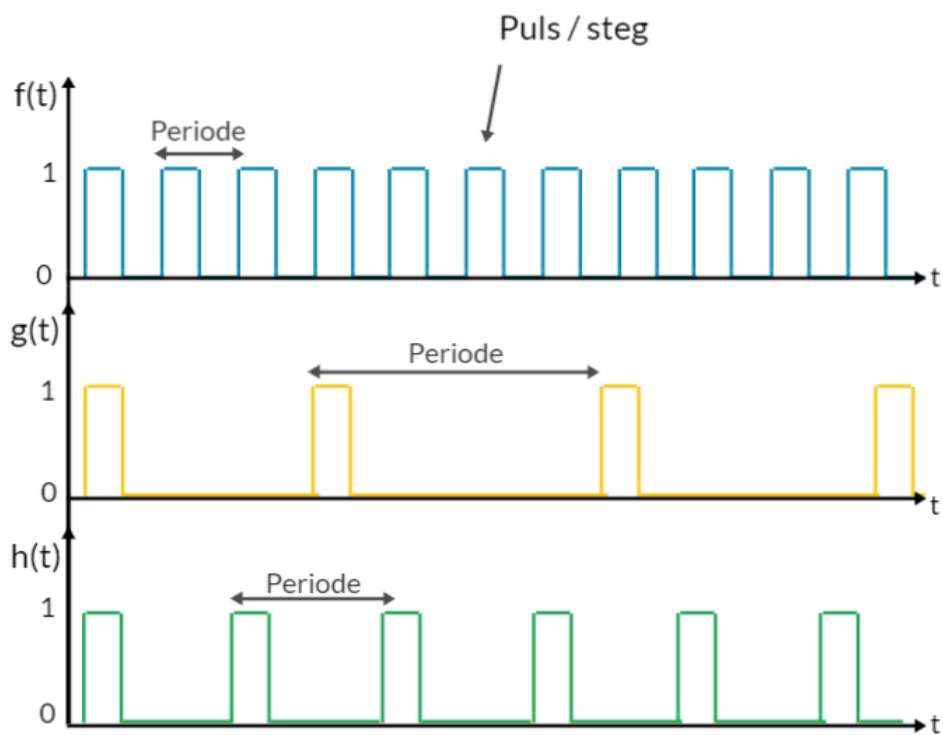
3.4.1 Akselerasjon

Dette delkapitlet tar for seg hva som skjer i del 2 i figur (3.5): sette opp akselerasjonsprofil for en rett linje.

3.4 Maskinkontrolleren

For å sørge for at stegmotorene kjører rett og med ønsket hastighet, sender vi pulssignaler som akselererer motorene. Når vi sender pulssignaler som er raskere enn det motoren håndterer kan motoren hoppe over steg eller i verste tilfelle stoppe opp. For å hindre at disse problemene oppstår benyttes akselerasjon ved hjelp av pulssignal.

Signalene sendes til mikrostep-driveren i form av et firkant-signal. Ved å endre perioden til firkant-signalet endres hastigheten til stegmotoren. Figur (3.6) viser hvordan firkant-signalet ser ut med ulik periode.

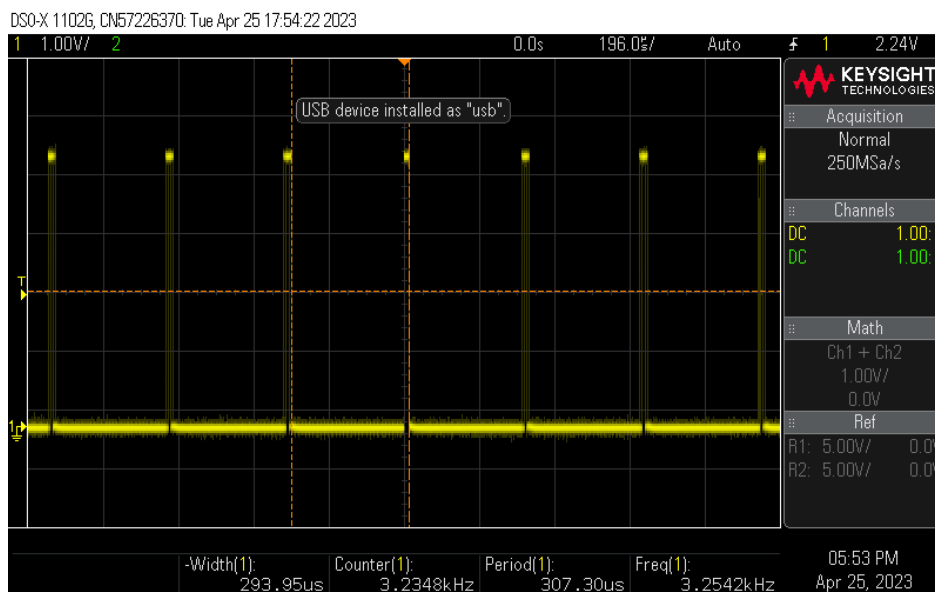


Figur 3.6: Firkant-signalene f , g og h har ulik periode mellom pulsene, som indikerer ulik hastighet. Disse signalene sendes til mikrostep-driverene som håndterer styringen av stegmotorene.

I kapitlet om mikrostep-driver (2.6.4) forklares det hvordan en mikrostep-driver styrer stegmotorene. Kode (B.1) i vedlegg B styrer stegmotorene.

3.4 Maskinkontrolleren

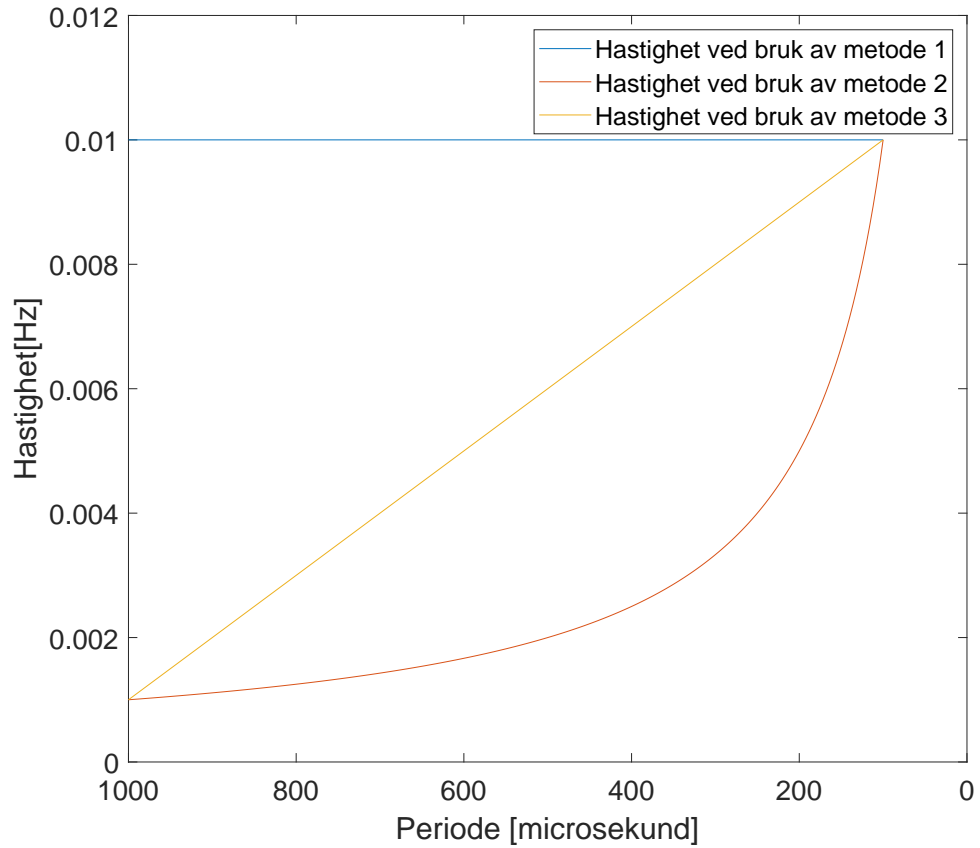
Firkant-signal genereres ved å endre på tiden mellom høy og lav flanke. Dette gir mulighet til å sette en ønsket hastighet til stegmotorene. Når pulssignalet har en fast periode mellom hver puls betyr det at det ikke er akselerasjon. Dette kaller vi for «metode 1». Ingen akselerasjon fører til at motorene ikke klarer å holde følge med signalet fra maskinkontrolleren. Fartsendringen er for rask for stegmotoren. Vi målte den laveste signalperioden som motoren klarte å følge med på til å være omtrent $307 \mu\text{s}$, se figur (3.7).



Figur 3.7: Pulssignalet produsert med kode (B.1) og er målt periode til metode 1.

I neste forsøk akselererer vi stegmotorene ved å endre perioden med ett fast antall sekunder. Dette kaller vi for «metode 2». Responsene til metodene 1 og 2 vises i figur (3.8) sammen med en lineær respons vi kaller for «metode 3». Metode 3 fortelles det mer om senere. Grafen viser hvordan metode 2 øker hastigheten med de største mengdene når perioden nærmer seg omtrent $100 \mu\text{s}$ (eksponentiell vekst). Dette gir de samme problemene som ved metode 1.

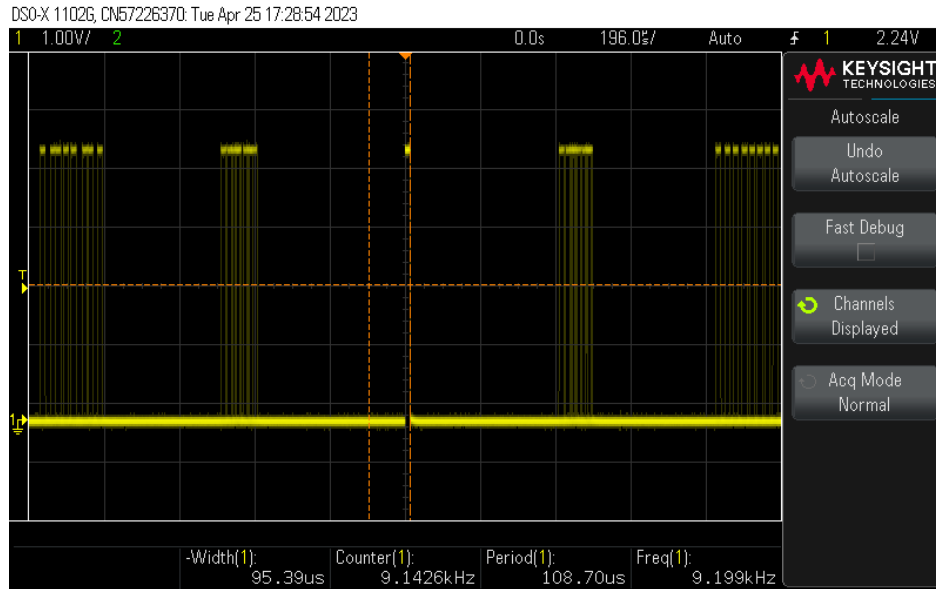
3.4 Maskinkontrolleren



Figur 3.8: Simulert hastighetsprofil ved bruk av kodene (B.1), (B.2) og (B.3) for metodene 1, 2 og 3. Metode 1 har ingen stigningstall. Metode 2 øker eksponentielt. Metode 3 har en lineær fartsøkning.

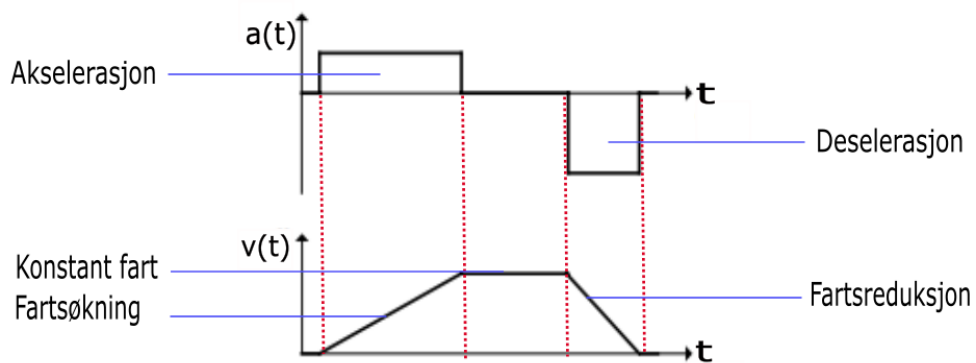
Laveste periode stegmotoren klarte å holde følge med ved bruk av Metode 2 er omtrent $109 \mu\text{s}$, se figur (3.8).

3.4 Maskinkontrolleren



Figur 3.9: Pulssignalet produsert med kode (B.2) og er målt periode til metode 2.

Metode 1 og 2 gir grunnlaget for den endelige metoden: metode 3. I en artikkel fra 2006 om lineær hastighetskontroll for stegmotorer forklares det hvordan akselerasjon kan oppnås [7]. I figur (3.10) vises det en fart- og akselerasjonsgraf.



Figur 3.10: Grafene viser sammenheng mellom akselerasjon og fart [7].

3.4 Maskinkontrolleren

Målet er å oppnå en lignende akselerasjons-profil for stegmotorene. Vi bruker formel (3.1) fra artikkelen.

n : antall pulser produsert.

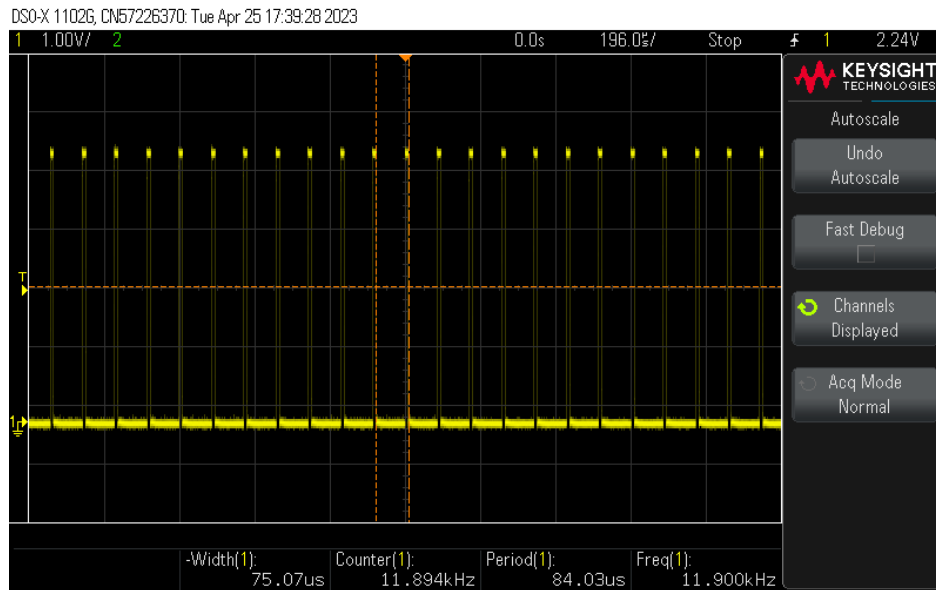
c_n : forsinkelsen for n -te steget.

$$c_n = c_{n-1} - \frac{2c_{n-1}}{4n - 1} \quad (3.1)$$

Kode 3.2: Implementering av formel (3.1) i maksinkontrolleren.

```
.55 if ( rampUpStepCount == 0 ) { // akselerasjonsfasen
.56     n++;
.57     d = d - (2 * d) / (4 * n + 1); // likning for cn i fra AVR
    datablad, her er cn skiftet om til d for delay for å
    enklere kunne følge koden.
.58     if ( d <= maxSpeed ) { // Sjekker om vi har nådd max
        hastighet
    }
```

Ved implementering av formel (3.1) holder motorene følge med en signalperiode på omtrent 84 μ s, se figur (3.11).



Figur 3.11: Pulssignalet produsert med kode (B.3) og er målt periode til metode 3.

3.4 Maskinkontrolleren

3.4.2 Koordinert kontroll av flere motorer

Dette delkapittelet tar for seg hva som skjer i del 3 i flytskjemaet av maskinkontrolleren, se figur (3.5).

For å kontrollere flere motorer samtidig er det viktig å ta hensyn til antall steg. Vi må sørge for at motorene utfører bevegelsene sine og stanser samtidig. Det er nødvendig slik at motorene kan utføre koordinerte bevegelser, som for eksempel å lage diagonal bevegelse. X- og Y-stegmotor bruker ulik mengde steg for samme distanse. X-stegmotor bruker 200 steg/mm og Y-stegmotor bruker 80 steg/mm. Derfor må utførelsestid økes for motoren som bruker kortest tid.

Kode 3.3: Koden finner hvilken motor som bruker lengst tid og deretter hvor mye tregere de andre motorene må kjøre.

```
.363 //-----  
.364 //-Justerer hastigheten slik at alle motorene starter og  
      stopper på samme tid-//  
.365  
.366 void adjustSpeedScales() {  
.367     float maxTime = 0;  
.368     for (int i = 0; i < NUM_STEPPERS; i++) {  
.369         if ( ! ( (1 << i) & remainingSteppersFlag) )  
.370             continue;  
.371         if ( steppers[i].estTimeForMove > maxTime )  
.372             maxTime = steppers[i].estTimeForMove;  
.373     }  
.374     if ( maxTime != 0 ) {  
.375         for (int i = 0; i < NUM_STEPPERS; i++) {  
.376             if ( ! ( (1 << i) & remainingSteppersFlag) )  
.377                 continue;  
.378             steppers[i].speedScale = maxTime / ...  
             steppers[i].estTimeForMove;  
.379             Serial.print("SpeedScaler: ");  
.380             Serial.print(steppers[i].speedScale);  
.381         }  
.382     }  
.383 }  
.384 //-----
```

Kode (3.3) brukes til å finne motoren som tar lengst tid. For å finne ut hvor mye lengre tid de andre motorene må ta utføres følgende utregninger:

MaxTime: Estimert tid for motoren som tar lengst tid.

estTimeForMove: Estimert tid for de andre motorene.

speedScale: Forholdstall for hvor mange ganger de raskere motoren beveger seg.

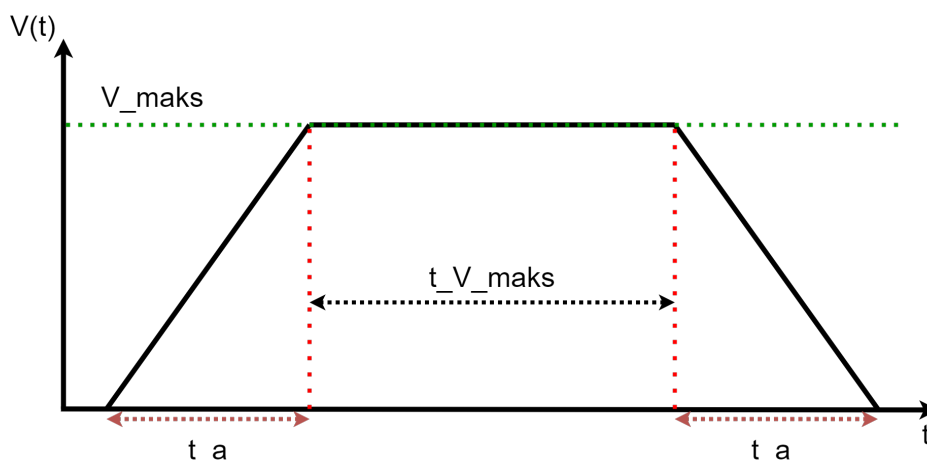
$$speedScale = \frac{MaxTime}{estTimeForMove} \quad (3.2)$$

3.4 Maskinkontrolleren

Eksempel: $MaxTime$ er 2000 s og $estTimerForMove$ er 1000 s, for X og Y motor. Da blir $speedScale$:

$$speedScale = \frac{MaxTime}{estTimerForMove} = \frac{2000\ s}{1000\ s} = 2$$

$SpeedScale$ multipliseres med perioden til Y-stegmotor slik at den stopper samtidig som X-stegmotor. For å regne ut $speedScale$, trenger vi utførelsestiden til hver motor. For å regne utførelsestiden trenger vi å vite tid gitt i graf (3.12):



Figur 3.12: For å regne ut utførelsestiden trenger vi t_a , tiden motorene akselererer og $t_{V_{maks}}$, tiden brukt i maks hastighet.

Formel (3.3) brukes for å finne $t_{V_{maks}}$:

Steg $_{V_{maks}}$: stegene som blir utført i maks hastighet.

Periode $_{min}$: minste periode.

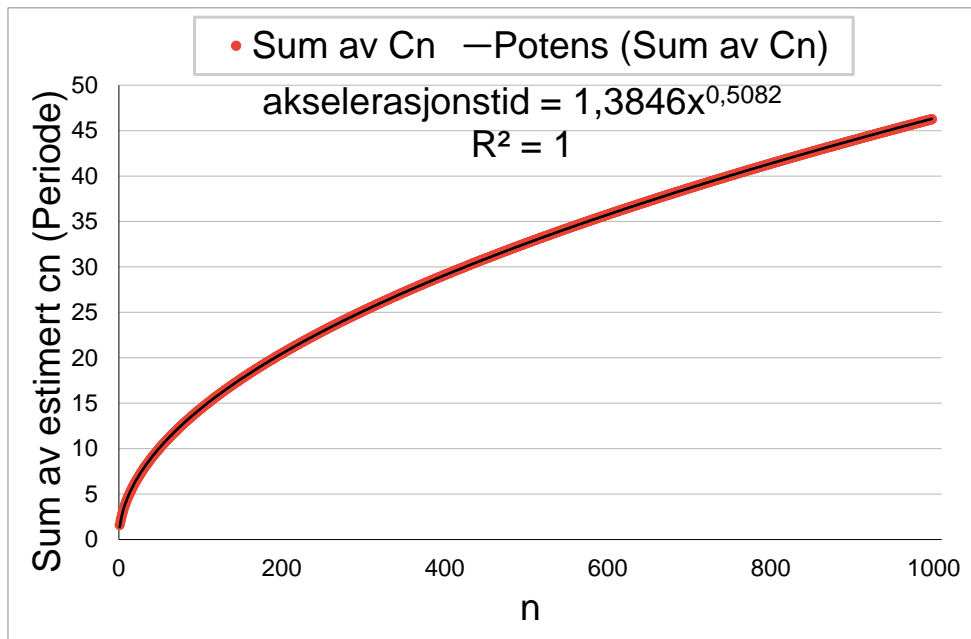
$$Steg_{V_{maks}} \cdot Periode_{min} = t_{V_{maks}} \quad (3.3)$$

For å finne t_a samler vi resultatene fra formel (3.1) og summerer dem:

3.4 Maskinkontrolleren

$$\sum_{k=0}^n c_k = t_a \quad (3.4)$$

Vi plotter verdiene fra formel (3.4) og får resultatet i figur (3.13):



Figur 3.13: Grafen viser resultat fra formel (3.4) og likning for t_a ved hjelp av regresjon.

Likningen (3.5) implementeres i kode (3.4).

$$t_a = 1,385 \cdot n^{0,508} \quad (3.5)$$

3.4 Maskinkontrolleren

Kode 3.4: Kode brukt for å regne ut total akselerasjonstid.

```
218     return s.c0 * 1.385*pow(numSteps ,0.508);
```

Resultatet brukes til å regne ut *estTimeForMove* (3.6) som gir muligheten til å finne *speedScale* (3.2).

$$estTimeForMove = t_a \cdot 2 + t_{V_{maks}} \quad (3.6)$$

3.4.3 Utføring av g-kode

Dette delkapittelet tar for seg hva som skjer i del 1 i flytskjemaet av maskinkontrolleren, se figur (3.5).

Maskinkontrolleren mottar G-kode fra brukergrensesnittet. «\n» er stopp-bit (eng: *stop-bit*) og skiller mellom linjene i G-kode filen. Det forteller maskinkontrolleren at én G-kode linje er motatt. Deretter sendes linjen videre til dekoding. Programmet leter etter G-kodeord som er bokstaver etterfulgt av tall (eks: G2, X10 og M20). Kode (3.5) finner «G0» eller «G1» etterfulgt av X-, Y-, Z- eller F-kommandoer.

Kode 3.5: Koden finner G0 eller G1 etterfulgt av X, Y, Z eller F kommandoer.

```
.616
.617 //=====
.618
.619 void processCommand() {
.620
.621     if(gittKommando[0]=='G'){
.622         G = true;
.623         M = false;
.624     }else if(gittKommando[0]=='M'){
.625         G = false;
.626         M = true;
.627     }
.628
.629     if(G==true){
.630         cmd = parseNumber('G',cmd);
.631         switch(cmd)
.632         {
.633             case 0: case 1:
.634                 {
.635                     feedrate(parseNumber('F',fr));
.636                     line(parseNumber('X',(mode_abs?px:0)),
.637                         parseNumber('Y',(mode_abs?py:0)),
.638                         parseNumber('Z',(mode_abs?pz:0)));
.639                     Serial.println(cmd);
.640                     break;
.641                 }
.642         }
.643     }
```

3.4 Maskinkontrolleren

For eksempel sender vi inn G-kode linje «G1 X10 Z5 F2000». Kode (3.5) vil sjekke om første tegn i linjen er en «G» og deretter se om den finne «0» eller «1». Deretter letes det etter hjelpe-ord som i dette tilfellet er «F». I koden brukes to funksjoner for dette:

Feedrate(): Tar inn og setter ny matehastighet (variabel: **nfr**) i [mm/min]. For å bruke det som periode konverterer vi det til [μ s/steg]. Vi bruker «a» og «b» som resultat fra (2.1) og (2.2). Nedenfor er det brukt «a».

$$\text{nfr [mm/min]} = \frac{\text{nfr [mm/min]} \cdot a [\text{steg/mm}]}{60000000} = \frac{\text{nfr [steg/min]} }{60000000} \quad (3.7)$$

$$\Rightarrow \frac{300000}{\text{nfr}} [\mu\text{s/steg}] = \text{periode for X og Z} \quad (3.8)$$

$$\Rightarrow \frac{750000}{\text{nfr}} [\mu\text{s/steg}] = \text{periode for Y} \quad (3.9)$$

parseNumber(): Brukes for å dele opp G-kodeord. Funksjonen tar inn to variabler: bokstaven som skal letes etter (her: F) og hva verdien er. Dersom et tall ikke blir funnet benyttes en standard verdi (eng: *default value*). Om «F» er med eller ikke letes det etter X, Y og Z. I eksemplet finner vi «X10» og «Z5» som sendes videre via «Line()» funksjonen.

Line(): Brukes for å planlegge antall pulser som trengs for antall millimeter bevegelse. For å konvertere brukes formlene (2.1) og (2.2). $\text{steg/mm} = \text{pulser/mm}$. Programmet sjekker også hvilken stegmotor som skal bevegges. I eksemplet har vi fått inn ordre for X- og Z-stegmotor, så Y-stegmotor bevegges ikke.

Etter at disse delene av programmet er utført vil pulsene bli sendt til akselerasjons planlegging (kap: 3.4.1) og motorkoordinering (kap: 3.4.2) før pulsene genereres.

3.4 Maskinkontrolleren

3.4.4 Signal-generering

Dette delkapittelet tar for seg hva som skjer i del 4 i flytskjemaet av maskinkontrolleren, se figur (3.5).

Informasjonem om Atmel328P er funnet i dette databladet [6]. I koden for signal-generatoren benyttes en tidsavbryter (eng: *Time-Interrupt*). Vi bruker «TIMER 1» i CTC. Det betyr at TIMER 1 bruker en teller basert på klokke-hastigheten til CPU-en. Hver gang telleren blir full aktiveres «ISR()» som står for *Interrupt-Service-Routine*. ISR() benyttes for å produsere pulssignalene som sendes til mikrostege-driverene. Deretter re-settes telleren.

Pseudokoden under viser hvordan vi bruker funksjonen ISR() for å produsere pulser for mikrossteg-driverene, samt bestemme når vi akselererer, har konstant fart og deselererer.

3.4 Maskinkontrolleren

Pseudokode 1 Koden viser hvordan puls-generatoren fungerer.

```
for  $i = 0, i < \text{AntallMotorer}, i++$  do
  if MotorSteg == 0 then
    Motore er ferdig
  end if
  if MotorStegGjort < TotalMotorSteg then
    LagPuls
    MotorStegGjort++
    if MotorStegGjort  $\leq$  TotalMotorSteg then
      MotorSteg = 0
    end if
  end if
  if Akselerer then
     $n++$ 
    regner  $cn$  fra formel (3.1)            $\triangleright$  Her brukes formel (3.1)
    if  $cn < \text{minPeriode}$  then
       $cn = \text{minPeriode}$ 
      StopAkselerer
    end if
    if NårIkkeTopHastighet then
      StoppAkselerer
    end if
  else if Deselerer then
    regner  $cn$  fra formel (3.1)            $\triangleright$  Her brukes formel 83.1)
     $n--$ 
  end if
  JusterPeriode for koordinerte bevegelser
end for
```

Kapittel 4

GRBL og UGS

Universal Gcode Sender, forkortet UGS, er et brukergrensesnitt som brukes til å kontrollere maskinkontrollere som for eksempel GRBL. GRBL er en åpen kildekode-programvare hentet fra github-siden «gnea» [21]. GRBL installeres på Arduino og fungerer for CNC-maskiner. Vi bruker UGS til å sende G-kode-instruksjoner til GRBL. GRBL oversetter G-koden og sender instruksjonene videre til mikrosteget-driverene som igjen kontrollerer stegmotorene.

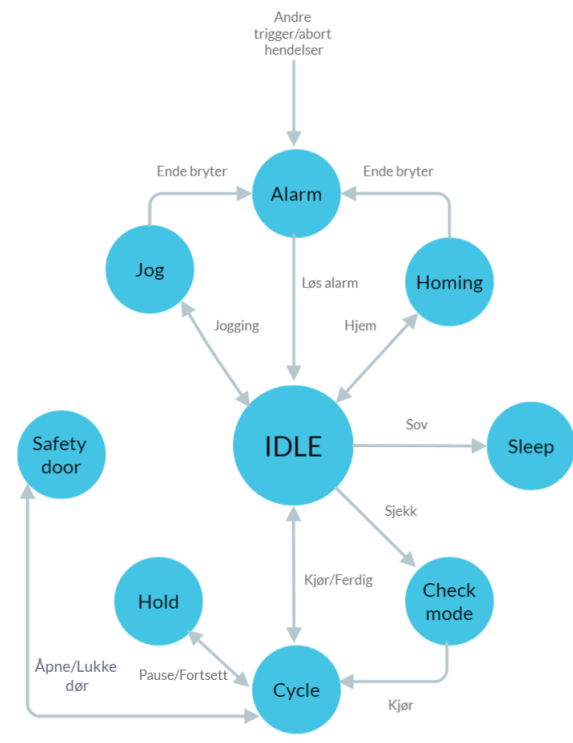
4.1 GRBL Struktur

GRBL sine systemer går innom tre forskjellige blokker: status-kontroller, oversetter og bakgrunns-prosesser. Status-kontroll er blokken som sender GRBL fra en status til den neste. Oversetter inneholder modulene som skal jobbe sammen om å oversette G-kode og sette opp en «plan» for hastighetskontroll. Bakgrunns-prosessene består av moduler som har spesifikke oppgaver. For eksempel filen *stepper.c* som genererer pulssignal.

4.2 GRBL's Stater

Diagrammet i figur (4.1) viser oversikt over statusene til GRBL.

4.2 GRBL's Statuser



Figur 4.1: Diagram som viser statusene til GRBL.

Status-kontroller består av tre deler:

- Initialisering, som er «Main» i programfilene.
- *Loopen*, som er «protocoll» i programfilene.
- Statusene, se figur (4.1).

De tre delene utgjør hoveddelen til GRBL og inneholder sanntids-kontroll og ordrer. Etter at GRBL er initialisert sender *Loopen* GRBL til diverse stasuser. *Loopen* ser etter alarmer, jogging eller overskriving for å sette «flagg». Flagg aktiverer diverse stasuser. For eksempel når statusen settes til «Jog», utfører ikke GRBL de samme planleggings-kravene som settes for normal kjøring. Dette skjer slik at joggingen av maskinen holdes i sanntid.

4.3 Oversetter

4.3 Oversetter

GRBL behandler G-kode gjennom fire steg:

- **Steg 1:** Initialiserer *parser block struct*. Her lagrer GRBL dataene den får fra lest G-kode.
 - Sjekker om det er JOG-kommando eller ikke.
- **Steg 2:** Importerer alle G-kode ord i blokk-linjen som for eksempel «G0».
 - Finner G- og M-kommandoer.
 - Sjekker G-kode instruksjonene først og deretter M-koden. Etterpå sjekkes andre bokstav-kommandoer.
 - Sjekker om det er feil i ordene.
 - Sjekker hvilke G-kode kommandoer det er og om de henger sammen.
- **Steg 3:** Sjekker kommandoer/verdier fra forrige steg for feil.
 - Hvis en feil finnes, dumpes blokken.
- **Steg 4:** Utfør koden!
 - Oppdaterer tilstand og utfører blokk i henhold til rekkefølgen blokken skal utføres i.

4.3.1 Bue-produksjon

Den mest krevende bevegelsen å produsere for GRBL er buer. Arduino har begrenset minne og prosessor-kraft. Det betyr at mellomregninger og operasjoner ikke kan bruke for mange ressurser slik at *timeren* blir avbrutt. Blir *timeren* avbrutt fører det til at stegmotorene mister steg og i verste tilfelle utfører feil bevegelse. GRBL fikser problemet ved å bruke approksimasjoner som tar mindre tid og minne. GRBL får derfor utført de nødvendige utregningene mellom stegene og planlegger bevegelser.

4.3 Oversetter

Først dekodes G-koden og det sjekkes om buen er mulig å gjennomføre. Deretter forberedes variabler som brukes senere. Følgende to eksempler på G-kode gir resultatet i figur (4.2):

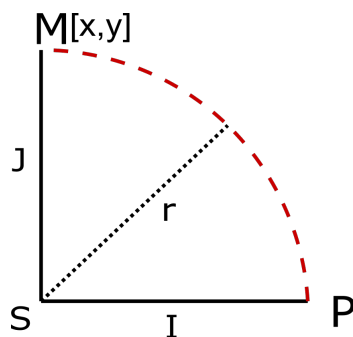
r: radius
S: sentrum (origo)
I og J: avvik fra sentrum
P: startpunkt
M: endepunkt

Eksempel 1:

G01 X10 Y0 F20 (startpunkt)
G03 X0 Y10 R10 (endepunkt og radius)

Eksempel 2:

G01 X10 Y0 F20 (startpunkt)
G03 X0 Y10 **I-10 J0.** (endepunkt og avviket fra buen til sentrum)



Figur 4.2: Eksempel 1 og 2 gir samme resultat. P er startpunkt og M er endepunkt. S er sentrum av sirkelen.

I eksempel 2 er $I = -10$ og $J = 0$. P er $(X, Y) = (10, 0)$. 10 er avviket fra S. Informasjonen forteller hvor S er i forhold til nåværende posisjon og hvor buen ender opp.

GRBL bruker likningene (4.1) og (4.2) for å finne I og J ved hjelp av r og Δ mellom P og M.

4.3 Oversetter

$$I = \frac{1}{2} \cdot \left(\Delta x - \frac{\Delta y \cdot \sqrt{4 \cdot r^2 - \Delta x^2 - \Delta y^2}}{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}} \right) \quad (4.1)$$

$$J = \frac{1}{2} \cdot \left(\Delta y + \frac{\Delta x \cdot \sqrt{4 \cdot r^2 - \Delta x^2 - \Delta y^2}}{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}} \right) \quad (4.2)$$

Dersom vi bruker eksempel 2 regnes r ut slik: $r = \sqrt{I^2 + J^2}$. Denne utregningen krever færre ressurser.

I GRBL er en bue bygget opp av mange korte linjer som kalles «segmenter». Formel (4.3) brukes for å dele opp buen. «bue-toleranse» bestemmes på forhånd og er vanligvis 0,002 mm. Bue-toleransen bestemmer lengden på segmentet. Lav toleranse gir en fin bue mens en høyere toleranse gir en grov bue.

$$\text{segmenter} = \frac{0.5 \cdot \theta \cdot r}{\sqrt{\text{bue-toleranse} \cdot (2 \cdot r - \text{bue-toleranse})}} \quad (4.3)$$

Vi bruker målene fra figur (4.2) i følgende eksempel: For å finne segmentene trenger vi vinkelen. GRBL setter opp en rekke variabler for dette:

- S (0, 0), sentrum
- Distansen fra S til P, ΔP (10 ,0)
- Distansen fra S til M, ΔM (0, 10)

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{10 \cdot 10 - 0 \cdot 0}{10 \cdot 0 + 0 \cdot 10}\right) = 1,57 \text{ rad}$$

1,57 rad brukes som vinkel i formel (4.3) med bue-toleranse på 0,002 mm:

4.3 Oversetter

$$\frac{0.5 \cdot 1,57 \cdot 10}{\sqrt{0,002 \cdot (2 \cdot 10 - 0,002)}} \approx 39 \text{ segmenter}$$

GRBL bruker vektorrotasjon med bruken av transformasjonsmatrisen, se formel (4.4). ΔM er den roterte vektoren, ΔP er original vektor og θ er den totale vinkelen ΔP roteres. For å lage buen utføres like mange vektorrotasjoner rundt S som det er segmenter. 39 segmenter tilsvarer 39 rotasjoner. Derfor skal ΔP roteres med $\theta/\text{segmenter}$.

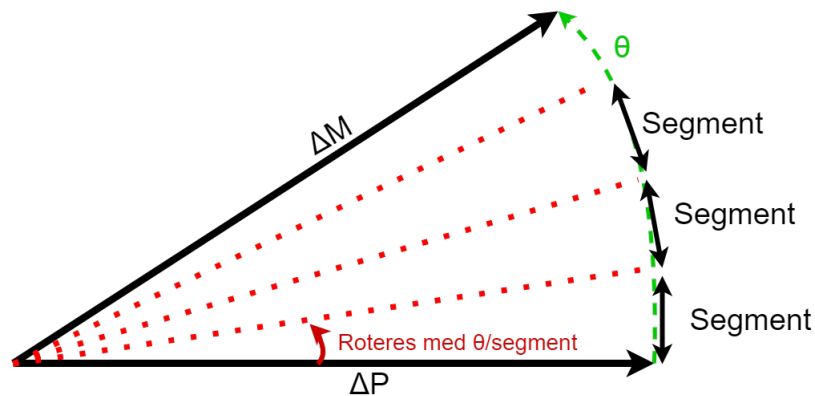
$$\Delta M = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \cdot \Delta P \quad (4.4)$$

Trigonometriske operasjoner er ressurskrevende og tar mellom 100 til 200 μs . GRBL bruker kun slike operasjoner for å fikse eventuelle avvik. Disse avvikene oppstår fordi GRBL bruker 2. og 3. ordens «taylor approksimasjon», se formel (4.5) og (4.6).

$$\cos_{approx} = 1 - \frac{(\theta/\text{segment})^2}{2} \quad (4.5)$$

$$\sin_{approx} = (\theta/\text{segment}) - \frac{(\theta/\text{segment})^3}{6} \quad (4.6)$$

Figur (4.3) viser hvordan en bue genereres med flere segmenter.



Figur 4.3: Figuren viser hvordan ΔP roteres for å produsere en bue.

4.4 Bakgrunns-prosesser

Ved å bruke formel (4.5) og (4.6) roteres vektoren med å regne ut formel (4.4). GRBL produserer deretter en linje til det gitte punktet og repetere prosessen til alle segmentene er fullførte.

4.3.2 Planner

Planleggeren (filnavn: *Planner*) til GRBL finjusterer individuelle bevegelser (blokker i GRBL) til en stor sammenhengende bevegelse. Først går den gjennom alle blokkene for å fylle opp *plan-bufferen*. Den fyller opp bufferen med G-kode linjer som sendes fra brukergrensesnittet. Deretter går den baklengs gjennom alle blokkene og passer på at slutt- og startfart for hver blokk er kompatible. På denne måten sikrer GRBL at bevegelsene vil kjøre etter hverandre uten å stoppe. Dette gir mindre produksjonstid og kontinuerlig bevegelse.

4.4 Bakgrunns-prosesser

Bakgrunns-prosessene er systemer og rutiner med en spesifikk oppgave. I GRBL er dette filer med navn som henger sammen med oppgaven de har (feks: *Stepper*).

4.4.1 Bresenham's algoritme

Informasjonen brukt i dette avsnittet er funnet hos Wikipedia [24] og i kilde-koden [21] til GRBL.

Dette er en algoritme for å tegne linjer som bruker forskjellig antall steg i X- og Y-aksen. For å bruke denne er det satt to krav:

1. Den ene aksen må ha flere steg enn den andre. Dvs $x_1 - x_0$ må være større eller mindre enn $y_1 - y_0$.
2. Linjen må ha en stigning større enn eller mindre enn 1. Dersom stigningen er mindre enn 1 er X-aksen dominerende og i motsatt tilfelle

4.4 Bakgrunns-prosesser

er Y-aksen dominerende.

Den dominerende aksene vil alltid ta et steg på linjen. Bresenham-algoritmen brukes for å finne ut om den ikke-dominerende aksene skal ta et steg eller ikke. Alt baseres rundt formelen for rette linjer:

$$y = mx + b, \text{ der } m = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

Bresenham viser at vi ønsker å velge steg som har kortest distanse til linjen som skal tegnes. For å beholde utregningene med kun heltall blir differansen (D) regnet ut slikt:

$$\Delta y = y_1 - y_0$$

$$\Delta x = x_1 - x_0$$

$$D = (2 \cdot \Delta y) - \Delta x$$

Kode nedenfor viser en versjon av bresenham-algoritmen hvor X er dominerende akse og Y øker eller minsker med 1, eller holdes statistisk.

4.4 Bakgrunns-prosesser

Pseudokode 2 Bresenham-algoritmen

```
function PLOTLINELOW(x0, y0, x1, y1)
  dx = x1 - x0
  dy = y1 - y0
  yi = 1
  if dy < 0 then
    yi = -1
    dy = -dy
  end if
  D = (2 * dy) - dx
  y = y0
  for x from x0 to x1 do
    plot(x, y)
    if D > 0 then
      y = y + yi
      D = D + (2 * (dy - dx))
    else
      D = D + 2*dy
    end if
  end for
end function
```

Pseudokode (2) er en imitasjon av hva som er implementert i GRBL. GRBLs variasjon inneholder flere deler slik at det fungerer for alle aksene.

En utfordring med bresenham-algoritmen er multi-akse bevegelser. Ved den ikke-dominante aksene oppstår det ujevne bevegelser som skaper vibrasjoner i motorene. Dette fikses med GRBLs egen implementering av «adaptive multi-axis smoothing system», forkortet AMASS. AMASS forbedrer oppløsningen til bresenham-algoritmen ved lave frekvenser uten å vrenge signalet til algoritmen.

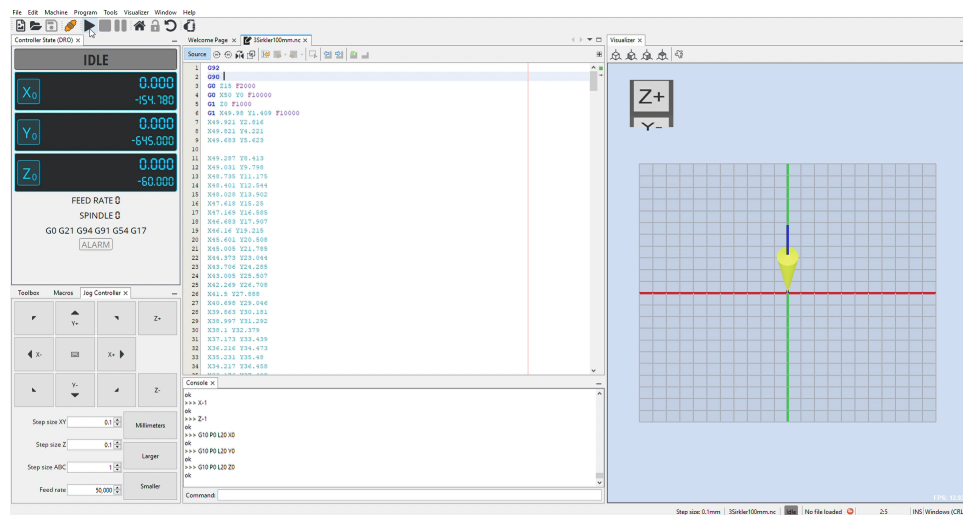
Til sammen dannes en avbruddsmetode som ikke utfører avansert mattematikk. Med bresenham-algoritmen bestemmes det hvilken motor som mottar pulser. Den første avbruddsmetoden blir deretter støttet opp av enda en avbruddsmetode som har som hovedoppgave å resette utgangs-portene til motorene.

4.5 Kommunikasjon og innstillinger

4.5 Kommunikasjon og innstillinger

Universal Gcode Sender, forkortet UGS, er et brukergrensesnitt som gir mulighet for sending av G-kode-kommandoer til CNC-maskinen. GRBL er en åpen kildekode-programvare som er utviklet for å kjøre på en Arduino-basert mikrokontroller.

I UGS endres de nødvendige innstillingene: *hard-limits*, *soft-limits*, *homing*, *feedrate*, *acceleration* osv. For å endre alle innstillinger i GRBL, kan en liste for innstillinger bli lastet opp. Innstillingene som ble brukt for vårt oppsett av GRBL finnes som vedlegg E i tabell (E.1).



Figur 4.4: Brukergrensesnittet UGS.

Kapittel 5

Resultat og sammenligning

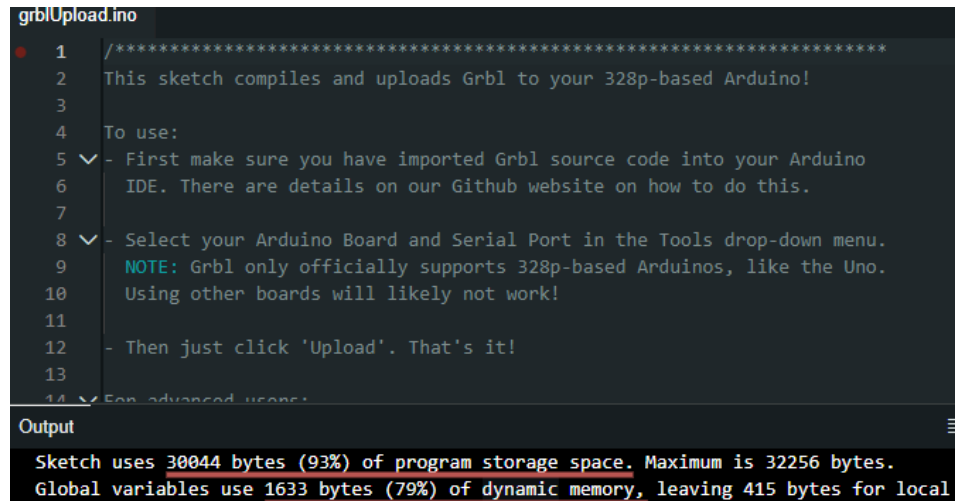
Det å utvikle en maskinkontroller er en kompleks og tidskrevende prosess. Vi har valgt å sammenligne maskinkontrolleren og brukergrensesnittet med GRBLs maskinkontroller og UGS som brukergrensesnitt.

5.1 Fordeler og ulemper med maskinkontrollerene

Ettehvert som flere frihetsgrader og stegmotorer legges til blir kodingen mer avansert. GRBL er utviklet over syv år [21]. En maskinkontroller utviklet over fire måneder er ikke like avansert. Vi har løst oppgaven med bruk av tre akser.

En viktig fordel med GRBL er at det er en ferdiglagd maskinkontroller som er kompatibel med Fusion 360. Ulempen er at GRBL er vanskelig å modifisere og tar mye minne- og lagringsplass på Arduino, se figur (5.1). GRBL tar 93% av programlagringsplassen og 79% av dynamisk minne, mens vår maskinkontroller tar 43% av programlagringsplassen og 32% av dynamisk minne. GRBL må også ha nok plass til midlertidig G-kode som er grunnen til at det er vanskelig å legge til flere funksjoner i GRBL. Løsningen er eventuelt å oppgradere maskinvaren fra Ardiono Uno til Arudino Mega [4].

5.2 Sammenligning av resultatet



```
grblUpload.ino
1  /*****
2  This sketch compiles and uploads Grbl to your 328p-based Arduino!
3
4  To use:
5  ✓ - First make sure you have imported Grbl source code into your Arduino
6    IDE. There are details on our Github website on how to do this.
7
8  ✓ - Select your Arduino Board and Serial Port in the Tools drop-down menu.
9    NOTE: Grbl only officially supports 328p-based Arduinos, like the Uno.
10   Using other boards will likely not work!
11
12   - Then just click 'Upload'. That's it!
13
14  ✓ For advanced users:
```

Output

Sketch uses 30044 bytes (93%) of program storage space. Maximum is 32256 bytes.
Global variables use 1633 bytes (79%) of dynamic memory, leaving 415 bytes for local

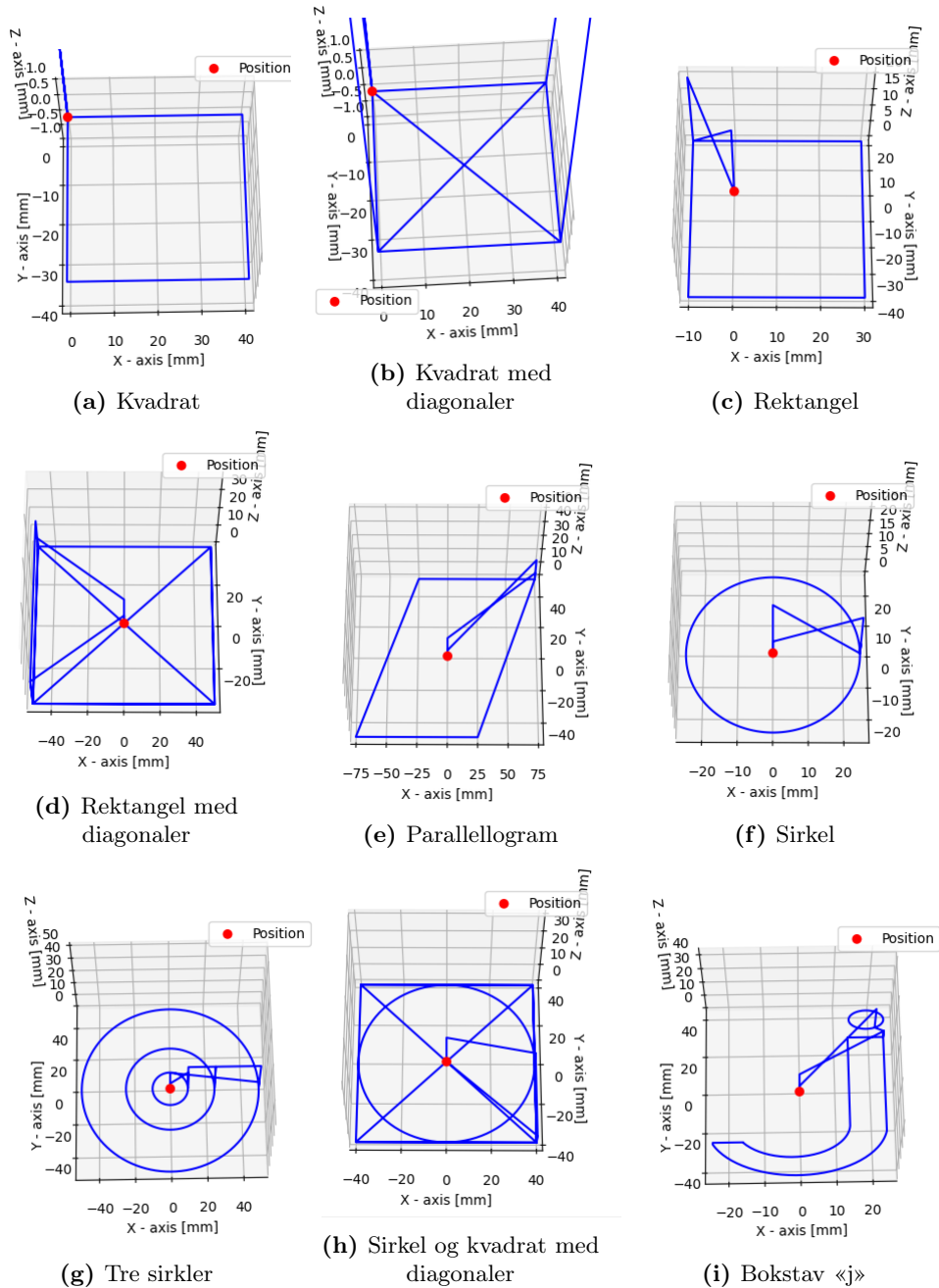
Figur 5.1: GRBL utnytter maskinvaren ettersom minnebruk og lagringsplassen nesten er fullt.

5.2 Sammenligning av resultatet

Vi sammenligner ved å teste vår maskinkontroller mot GRBL ved å måle utførelsestiden av samme G-kode fil. Vår maskinkontroller og GRBL har lik hastighet, forkortet F, med enheten millimeter per minutt [mm/min].

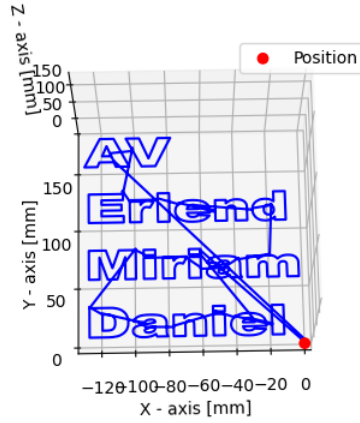
5.2 Sammenligning av resultatet

G-kode filer testes og figurene nedenfor visualiserer G-koden:



Figur 5.2: Disse G-kode figurene blir testet på begge maskinkontrollerene.

5.2 Sammenligning av resultatet



Figur 5.3: G-kode «Navn» testet med maskinkontrollerene.

Testene utføres ved å laste inn G-kode filen i brukergrensesnittene. Tiden starten når «Play» (▶) trykkes i UGS eller når «Send G-Code» trykkes i vårt GUI. Tiden stopper når maskinen er ferdig med kjøringen og tilbake til logisk nullpunkt. Resultatet er vist i tabell (5.1). G-kode filene er tilgjengelig i vedlegg D.

Tabell 5.1: G-kodene fra figur (5.2) og (5.3) testes med begge maskinkontrollerene. Resultatet er en sammenligning av utførelsestid i sekunder [s].

G-kode	GRBL, Tid [s]	Vår, Tid [s]
Kvadrat	26	26
Kvadrat med diagonaler	49	44
Rektangel	34	29
Rektangel med diagonaler	95	93
Parallelogram	49	62
Sirkel	21	149
Tre sirkler	63	441
Sirkel og kvadrat med diagonaler	98	217
Bokstav «j»	42	121
Navn	417	1425

5.3 Forslag til videre arbeid og utvikling

Resultatet viser at begge maskinkontrollerene har omtrent lik utførelsestid ved produksjon av firkanter og diagonaler. Når buer og/eller sirkler produseres bruker vår maskinkontroller mer tid. Tiden kan forbedres ved å implementere en «planlegger», se delkapittel 4.3.2.

Ved kjøring av lange og kompliserte G-kode filer som «Navn» brukte vår maskinkontroller nesten 24 minutter. GRBL brukte omtrent 7 minutter. Dette er ikke godt nok for en bedrift. Maskinkontrolleren er ikke spesielt konkurransedyktig ved tidskrevende prosjekter.

5.3 Forslag til videre arbeid og utvikling

Det finnes flere måter å forbedre og videreutvikle maskinkontrolleren og CNC-maskinen på:

- Maskinvare: Ved å oppgradere fra Arduino Uno til Arduino Mega kan flere motorer og sensorer kobles til. I tillegg utvides minnekapasiteten.
- Planlegging: Vår maskinkontroller har lang utførelsestid. Videreutvikling er å planlegge programutførelsen flere linjer med G-kode i forveien, slik at maskinen ikke stopper etter hver linje. Planlegging fører til at maskinen får økt produktivitet og effektivitet.
- Bedre verktøy: Bytte ut pennen og pennholderen med en bedre og mer stabil penn og pennholder, slik at tegningene blir jevnere. Etterhvert bytte ut pennen med et freseverktøy.
- Bedre materialer: Holde sammen CNC-maskinens struktur med aluminium istedenfor plast. Det gjør maskinen mer stabil og slitesterk.
- Større arbeidsområde: Utvidning av arbeidsområdet kan gjøre maskinen mer allsidig og øke potensialet.
- Tilpasningsevne: Legge til flere akser, sensorer og andre modifikasjoner. Det gjør det mulig å bearbeide flere typer materialer og utføre andre oppgaver.

Kapittel 6

Konklusjon

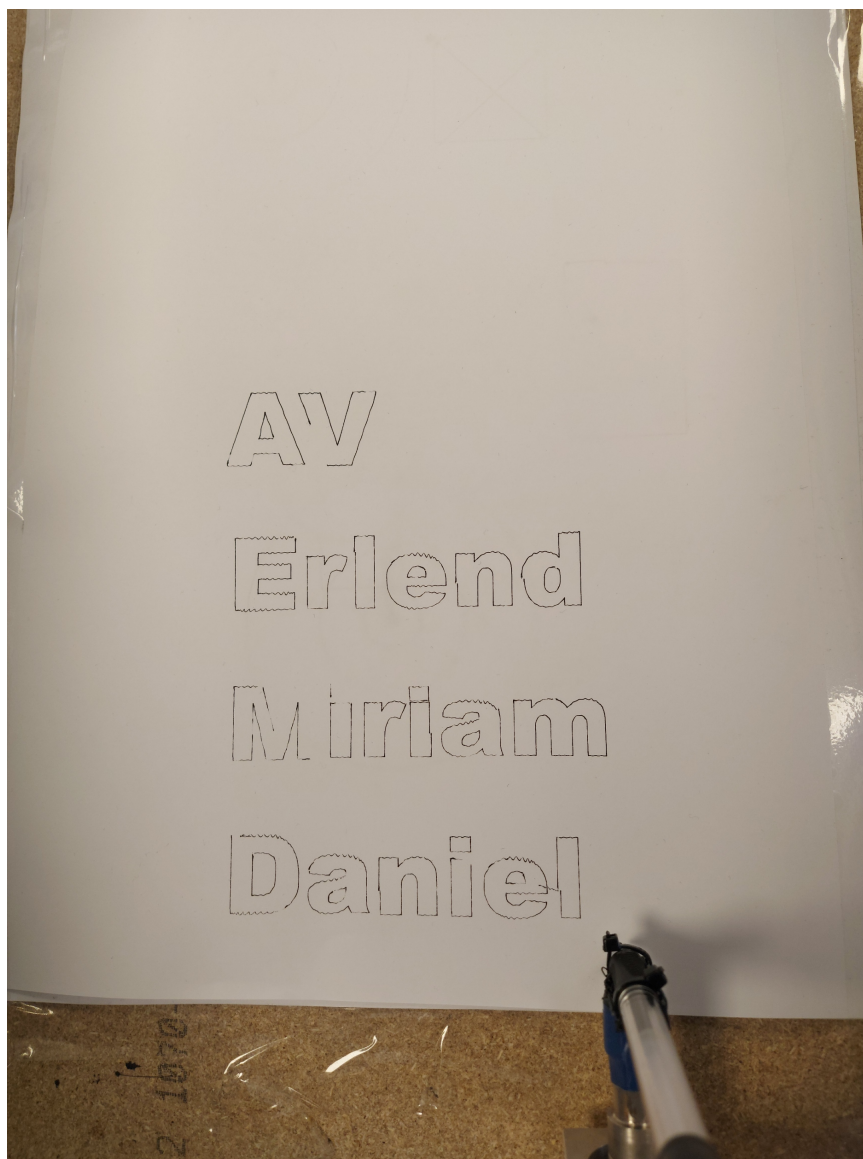
CNC-maskinen er en del av en avansert teknologi som har revolusjonert produksjonsindustrien. Ved å bruke datamaskiner med avansert programvare kan maskinen automatisere prosessen, redusere arbeidskostnader og produsere deler med høy presisjon.

I rapporten har vi designet, bygget og testet maskinkontroller og egenprodusert CNC-maskin. Vi har fått en dyp og god forståelse for hvordan en CNC-maskin fungerer og hva som må til for å sette sammen maskinen fra bunnen av. I tillegg har vi lært hvordan en egen maskinkontroller kan lages, og hvor krevende det blir jo mer komplisert CNC-maskinen fysisk blir.

Arbeidet viser at CNC-maskiner kan bygges selv med grunnleggende kunnskaper innenfor elektroteknikk, automatisering og programmering. Likevel er prosessen avansert og et godt resultat krever mye arbeid. Derfor er det brukt en ferdiglagd kontroller GRBL og et ferdig brukergrensesnitt UGS som fungerer utmerket til en selvlagd CNC-maskin.

I tillegg har vi foreslått videre utviklingsmuligheter til maskinen som flere frihetsgrader, oppgradering av maskinvare, bedre planlegging og automatisk verktøyskiftning.

Link til bonusvideo av kjøring av G-kodefilen «Navn»: [YouTube - UiS B.Sc: CNC Fres Bonus!](#)



Bibliografi

- [1] Aliexpress: Mechanical endstop limit switch. Hentet 21 Februar 2023. URL: <https://www.aliexpress.com/item/32980508075.html>.
- [2] Makerbot's hjemmeside. Hentet 21 Februar 2023. URL: <https://www.makerbot.com/>.
- [3] Arduino. Arduino ide software. Hentet 14. mars 2023. URL: <https://www.arduino.cc/en/software>.
- [4] Arduino. Arduino mega. Hentet 12. mai 2023. URL: <https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3#l0oxReviews>.
- [5] Arduino. Arduino uno. Hentet 13. mars 2023. URL: <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3#l0oxReviews>.
- [6] Atmel. Atmega328p datasheet. Hentet 5. mai 2023. URL: https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf.
- [7] Atmel. Avr446: Linear speed control of stepper motor, 2006. Hentet 13. april 2023. URL: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/Appnotes/doc8017.pdf>.
- [8] Electronicwings. Usart in arduino uno. Hentet 21. februar 2023. URL: <https://www.electronicwings.com/arduino/usart-in-arduino-uno>.
- [9] Lars Hallstrøm Eriksen. Verktøymaskiner, Jan 2023. Hentet: 16.01.23. URL: <https://snl.no/verktøymaskiner>.
- [10] Allan R. Hambley. *16.5 Stepper motors and brushless DC motors*, page 847–848. Pearson, 7 edition, 2019. Electrical engineering: Principles and applications, NY NY.

BIBLIOGRAFI

- [11] John D. Hunter and Michael Droettboom. matplotlib 3.7.1. Hentet 3. februar 2023. URL: <https://pypi.org/project/matplotlib/>.
- [12] islproducts. Stepper motor fundamentals, 2022. Bilde hentet 23. mars 2023. URL: <https://islproducts.com/design-note/stepper-motor-fundamentals/>.
- [13] Chris Liechti. Python serial port extension. Hentet 3. februar 2023. URL: <https://pypi.org/project/pyserial/>.
- [14] Francis Nickols and Yueh Jaw Lin. *Kapittel 4: Theory III The Stepper Motor and Its Control*, pages 50–54. Elsevier Science & Technology, 2018. Creating Precision Robots: A Project-Based Approach to the Study of Mechatronics and Robotics.
- [15] OpenBuilds. Electromagnetic interference (emi). Hentet 28. Mars 2023. URL: <https://docs.openbuilds.com/doku.php?id=docs:blackbox-4x:faq-emi>.
- [16] PySimpleGUI. Pysimplegui 4.60.4. Hentet 3. februar 2023. URL: <https://pypi.org/project/PySimpleGUI/>.
- [17] Python. Python nettside. Hentet 1. februar 2023. URL: <https://www.python.org/>.
- [18] RaspberryPi. Raspberry pi 4 model b. Hentet 13. mars 2023. URL: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberrypi-4-model-b/>.
- [19] RS. Sanyo denki 103h7 series hybrid, single shaft stepper motor, 24 v, bipolar, 1.65nm torque, 1.8°, 6.35mm shaft, 2023. Nedlastet PDF datablad, hentet: 13. januar 2023. URL: http://no.rs-online.com/web/p/stepper-motors/1366716?cm_mmc.
- [20] STEPPERONLINE. Nema 17 bipolar 59ncm (84oz.in) 2a 42x48mm 4 wires w/ 1m cable & connector, 2023. Nedlastet PDF datablad, Hentet: 19. januar 2023. URL: <https://www.omc-stepperonline.com/nema-17-bipolar-59ncm-84oz-in-2a-42x48mm-4-wires-w-1m-cable-connector-17hs19-2004s1>.
- [21] Sungeun «Sonny» Jeon and Simen Svale Skogsrud. Grbl hjemmeside. Hentet 16. mars 2023. URL: <https://github.com/gnea/grbl>.

BIBLIOGRAFI

- [22] Sungeun «Sonny» Jeon and Simen Svale Skogsrud. Grbl interface basics. Hentet 14. mars 2023. URL: <https://github.com/gnea/grbl/wiki/Grbl-v1.1-Interface>.
- [23] w2aew. Basics of ferrite beads, 2023. Hentet 1. mai 2023. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=81C4If0Nt3o>.
- [24] Wikipedia. Bresenham's line algorithm, 2023. Hentet 21. februar 2023. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Bresenham%27s_line_algorithm.

Vedlegg A

Kode for brukergrensesnitt.

Koden nedenfor er skrevet i Python 3.10. Tilgjengelig her: 

NB! Filene kan bare hentes med Adobe Acrobat.

Kode A.1: Brukergrensesnitt

```
. 1 import PySimpleGUI as sg
. 2 import serial
. 3 import time
. 4 import matplotlib
. 5 from matplotlib.backends.backend_tkagg import ...
.     FigureCanvasTkAgg
. 6 import matplotlib.pyplot as plt
. 7 from threading import Thread
. 8 # Imports from other files
. 9 import serial.tools.list_ports # Finds Arduino Uno Port
.10
.11
.12 # Runtime error:
.13 # "Main thread is not in main loop
.14 plt.switch_backend('agg')
.15
.16 # Windows:
.17 # deviceID = "COM10"
.18 # Rasbian:
.19 # deviceID = "/dev/ttyACM0"
.20 # Universal:
.21 # deviceID = ["COM10"]
.22 def check_ports():
.23     deviceID = []
.24     comValue = []
.25     ports = list(serial.tools.list_ports.comports())
.26     if not ports:
.27         deviceID = ["Null"]
.28     else:
.29         for p in ports:
.30             portInfo = f"Device: {p[1]}"
.31             print(portInfo)
.32             messages.append(portInfo)
.33             deviceID.append(p[1])
.34             comValue.append(p[0])
.35     return deviceID, comValue
.36
```

Kode for brukergrensesnitt.

```
.37
.38 # Baud Rate (how much data can you transfer per sec)
.39 # Standard: 9600, highest: 115200
.40 baudrate = 115200
.41
.42 # Sg theme
.43 sg.theme('Default1')
.44
.45 # Variables:
.46 cordX = [0.00, 0.00]
.47 cordY = [0.00, 0.00]
.48 cordZ = [0.00, 0.00]
.49 pos = [0.00, 0.00, 0.00]
.50 messages = []
.51 # The list of choices that are going to be searched
.52 choices = sorted(['G0 X0 Y0 Z0 F5000', 'G0 X100 Y100 Z20 ...
.53 F5000', 'M100 - Help', 'M120 - Home', 'M114 - Where',
.54 'M17 - Enable Motors', 'M18 - Disable ...
.55 Motors', 'G90 - Absolute', 'G91 - Incremental', 'G92 - ...
.56 Set Origo'])
.57
.58 # =====
.59
.60 def sort_serial(msg):
.61     # Sort output from arduino
.62     printable = []
.63     msg.replace("_", " ")
.64     #print(msg)
.65     cmdValueM = msg.find("M")
.66     cmdValueG = msg.find("G")
.67     doubleV = msg.find("<<")
.68     if cmdValueM > 0 or cmdValueG >= 0:
.69         if doubleV >= 0:
.70             cmd = msg[:doubleV-1].replace("<<","")
.71         else:
.72             cmd = ""
.73     else:
.74         if msg.find("<<") >= 0:
.75             msg = msg.replace("<<","")
.76             cmd = ""
.77     printable.append(cmd)
.78     doubleV += 1
.79     nymsg = msg[doubleV:]
.80     for i in range(nymsg.count("|")):
.81         msgValue = nymsg.find("|")
.82         printable.append(nymsg[:msgValue])
.83         msgValue += 1
.84         nymsg = nymsg[msgValue:]
.85     return printable
.86
.87 # =====
.88
.89
.90 def draw_figure(figure, canvas):
.91     figure_canvas_agg = FigureCanvasTkAgg(figure, canvas)
.92     figure_canvas_agg.draw()
.93     figure_canvas_agg.get_tk_widget().pack(side='top', ...
.94     fill='both', expand=1)
.95     return figure_canvas_agg
.96
.97 # =====
.98
.99
.100 def append_message(txt):
.101     global messages
.102     len_messages = str(len(messages) + 1)
.103     txt = len_messages + ": " + txt
.104     messages.append(txt)
.105
.106 # =====
.107
.108
.109 def setupSerial(baudRate, serialPortName):
.110     global serialPort
.111     try:
.112         if serialPort.isOpen():
.113             serialPort.close()
.114             time.sleep(1)
.115     except Exception as e:
.116         print("Error: {}".format(e))
```

Kode for brukergrensesnitt.

```
.117     try:
.118         serialPort = serial.Serial(port=serialPortName, ...
.119         baudrate=baudRate, timeout=0, rtscts=True)
.120         while not serialPort.inWaiting():
.121             break
.122         print("Serial port " + serialPortName + " opened ...
.123         Baudrate " + str(baudRate))
.124         try:
.125             if serialPort.isOpen():
.126                 intro3 = "{} ...
.127                 connected!".format(serialPort.port)
.128                 serialPort.flushInput() # Remove startup text
.129                 from Arduino print(intro3)
.130                 append_message(intro3)
.131                 time.sleep(2)
.132             else:
.133                 intro3 = "Connection failed."
.134                 append_message(intro3)
.135             except Exception as e:
.136                 print("Error: {}".format(e))
.137                 append_message(str(e))
.138             except FileNotFoundError:
.139                 serialPort.close()
.140                 intro4 = "{} closed!".format(serialPort.port)
.141                 print(intro4)
.142                 append_message(intro4)
.143             except Exception as e:
.144                 print("Error: {}".format(e))
.145                 append_message(str(e))
.146
.147 # =====
.148 def sendToArduino(stringToSend, window):
.149     # this adds the start- and end-markers before sending
.150     global serialPort
.151     serialPort.flushInput()
.152     stringWithMarkers = stringToSend + "\n"
.153     # print(stringWithMarkers)
.154     # serialPort.write(str.encode(wakeup))
.155     serialPort.write(stringWithMarkers.encode('utf-8')) #
.156     encode needed for Python3
.157     serialPort.flushOutput()
.158     print(stringWithMarkers.encode('utf-8'))
.159     append_message("Sending to Arduino: " + stringToSend)
.160     window['-OUTPUT-'].update('\n'.join(messages))
.161
.162     # Canvas updater
.163     x, y, z = findCords(stringToSend)
.164     if x != 0:
.165         cordX.append(float(x))
.166     else:
.167         cordX.append(cordX[-1])
.168     if y != 0:
.169         cordY.append(float(y))
.170     else:
.171         cordY.append(cordY[-1])
.172     if z != 0:
.173         cordZ.append(float(z))
.174     else:
.175         cordZ.append(cordZ[-1])
.176
.177 # =====
.178 def arduino_listen(window):
.179     global serialPort
.180     serialPort.flushInput()
.181     serialPort.flushOutput()
.182     msg = ""
.183     counterStop = 0
.184     try:
.185         while True:
.186             try:
.187                 serial_data = ...
.188                 serialPort.read().decode("utf-8")
.189                 msg_get = serial_data.strip()
```

Kode for brukergrensesnitt.

```
.193         if msg_get.find('>') ≥ 0:
.194             print("REC: " + msg_get + "")
.195             messages.append("Arduino - Done")
.196
.197     window['-OUTPUT-'].update('\n'.join(messages))
.198         break
.199     elif msg_get == "":
.200         counterStop +=1
.201     else:
.202         msg += msg_get
.203         print("MSG: " + msg_get + "")
.204         if window.is_closed() or counterStop == 1000:
.205             break
.206     except Exception as e:
.207         print("Mottat melding feilet: ")
.208         print(e)
.209         break
.210     #print(msg)
.211     newmsg = sort_serial(msg)
.212     for newermsg in newmsg:
.213         messages.append(newermsg)
.214     window['-OUTPUT-'].update('\n'.join(messages))
.215 except NameError:
.216     error1 = "Can't connect to Arduino: No port found"
.217     print(error1)
.218     append_message(error1)
.219 except Exception as e:
.220     error2 = "Can't connect to Arduino: Something else ...
.221     went wrong: {}".format(e)
.222     print(error2)
.223     append_message(error2)
.224
.225 # =====
.226
.227 def sendToArduino2(stringToSend, window):
.228     # this adds the start- and end-markers before sending
.229     global serialPort
.230     serialPort.flushInput()
.231     stringWithMarkers = stringToSend + "\n"
.232     serialPort.write(stringWithMarkers.encode('utf-8')) #
.233     encode needed for Python3
.234     serialPort.flushOutput()
.235
.236 # =====
.237
.238
.239 def arduino_listen2(window):
.240     global serialPort
.241     serialPort.flushInput()
.242     serialPort.flushOutput()
.243     msg = ""
.244     counterStop = 0
.245     try:
.246         while True:
.247             try:
.248                 serial_data = ...
.249                 serialPort.read().decode("utf-8")
.250                 msg_get = serial_data.strip()
.251                 if msg_get.find('>') ≥ 0:
.252                     break
.253                 elif msg_get == "":
.254                     counterStop +=1
.255                 else:
.256                     msg += msg_get
.257                 if window.is_closed() or counterStop == 1000:
.258                     break
.259             except Exception as e:
.260                 pass
.261
.262     all_MSG2 = []
.263     for newermsg in msg:
.264         all_MSG2.append(newermsg)
.265     newmsg = sort_serial(msg)
.266     all_MSG = []
.267     for newermsg in newmsg:
.268         #messages.append(newermsg)
.269
.270
.271
```


Kode for brukergrensesnitt.

```
.272         all_MSG.append(newermsg)
.273         return all_MSG, all_MSG
.274     except NameError:
.275         pass
.276
.277     #error1 = "Can't connect to Arduino: No port found"
.278
.279
.280     except Exception as e:
.281         pass
.282     #error2 = "Can't connect to Arduino: Something else
went wrong: {}".format(e)
.283
.284 # =====
.285
.286
.287
.288 def showMsg(msg, window):
.289     for i in msg:
.290         append_message(i)
.291     window['-OUTPUT-'].update('\n'.join(messages))
.292
.293 # =====
.294
.295
.296 def findCords(msg):
.297     print(msg)
.298     if msg.find("X") >= 0:
.299         corX = ""
.300         for i in msg[msg.find("X")+1:]:
.301             if i.isnumeric() or i == "." or i == "-":
.302                 corX += i
.303             else:
.304                 break
.305
.306     else:
.307         corX = cordX[-1]
.308     if msg.find("Y") >= 0:
.309         corY = ""
.310         for i in msg[msg.find("Y")+1:]:
.311             if i.isnumeric() or i == "." or i == "-":
.312                 corY += i
.313             else:
.314                 break
.315
.316     else:
.317         corY = cordY[-1]
.318     if msg.find("Z") >= 0:
.319         corZ = ""
.320         for i in msg[msg.find("Z")+1:]:
.321             if i.isnumeric() or i == "." or i == "-":
.322                 corZ += i
.323             else:
.324                 break
.325
.326     else:
.327         corZ = cordZ[-1]
.328     print("X{}, Y{}, Z{}".format(corX, corY, corZ))
.329     return corX, corY, corZ
.330
.331 # =====
.332
.333 def sendGcode(file, window):
.334     global serialPort, cordX, cordY, cordZ
.335     try:
.336         f = open(file, "r")
.337         append_message("Reading file: " + f.name)
.338         serialPort.write("G92 G90 M17".encode("utf-8")) #
Reset current position and set it to 0,0,0
.339         serialPort.flushInput() # Flush startup text in
serial input
.340         time.sleep(1) # Wait for grbl to nitalize
l_count = 0
.341         cordX = [0.00, 0.00]
.342         cordY = [0.00, 0.00]
.343         cordZ = [0.00, 0.00]
.344
.345         for line in f:
.346             serialPort.flushInput() # Flush startup text in
serial input
.347             #time.sleep(0.1)
.348             linje = line.strip() # Strip all EOL characters
for consistency
.349             print('Sending: ' + linje)
.350             repeat = True
.351             while repeat:
.352                 try:
```

Kode for brukergrensesnitt.

```
.353         sendToArduino(linje, window)
.354         messages.append("Arduino - Received and ...
.355     working: " + linje)
.356     window['-OUTPUT-'].update('\n'.join(messages))
.357         repeat = False
.358     except Exception as e:
.359         if not serialPort.isOpen():
.360             repeat = False
.361     didn't receive: {}".format(e)
.362         print(error2)
.363         append_message(error2)
.364     try:
.365         while 1:
.366             grb_out = ...
.367             serialPort.read().decode("utf-8")
.368             grbl_out = grb_out.strip() # Wait for
.369             grbl response with carriage return
.370             if grbl_out.find('>') >= 0:
.371                 print("REC<" + str(l_count) + ": " ...
.372                 + grbl_out + "")
.373                 messages.append("Arduino - Done")
.374             window['-OUTPUT-'].update('\n'.join(messages))
.375             break
.376             elif grbl_out == "":
.377                 pass
.378             else:
.379                 print("MSG: " + grbl_out + "")
.380                 l_count += 1
.381             except Exception as e:
.382                 error2 = "Continuing, but didn't received ...
.383             stopbit for Arduino: {}".format(e)
.384                 print(error2)
.385                 append_message(error2)
.386                 messages.append("Done sending: " + file)
.387                 window['-OUTPUT-'].update('\n'.join(messages))
.388             except Exception as e:
.389                 error2 = "Can't upload Gcode: {}".format(e)
.390                 print(error2)
.391                 append_message(error2)
.392             # =====
.393             # Load G-code visual
.394             def append_x(string):
.395                 global xarr, yarr
.396                 pulsX = float(string[1:])
.397                 xarr.append(pulsX)
.398             def append_y(string):
.399                 global xarr, yarr
.400                 pulsY = float(string[1:])
.401                 yarr.append(pulsY)
.402             def append_z(string):
.403                 global xarr, yarr, zarr
.404                 pulsZ= float(string[1:])
.405                 zarr.append(pulsZ)
.406             def animer_filen(fil):
.407                 gkodefil = open(fil, 'r')
.408                 linjer = gkodefil.readlines()
.409                 xyklar = False
.410                 xyzklar = False
.411                 zklar = False
.412                 xklar = False
.413                 yklar = False
.414                 z1 = False
.415                 z2 = False
.416                 teller = 0
.417                 teller1 = 0
.418                 teller2 = 0
.419                 teller3 = 0
.420                 for line in range(0, len(linjer)):
.421                     linje = linjer[line]
.422                     linjesplit = linje.split()
```

Kode for brukergrensesnitt.

```
.427     lengde = len(linjesplit)
.428
.429     if 'X' in linje:
.430         if 'Y' in linje:
.431             if 'Z' in linje:
.432                 xyzklar = True
.433                 xyklar = False
.434                 if not 'Z' in linje:
.435                     xyklar = True
.436             else:
.437                 xyklar = False
.438                 xyzklar = False
.439
.440         if 'X' in linje and not 'Y' in linje and not 'Z' ...
.441     in linje:
.442         xklar = True
.443     in linje:
.444         yklar = True
.445     in linje:
.446         zklar = True
.447     for i in range(0, lengde):
.448         string = linjesplit[i]
.449         if xklar or yklar or zklar:
.450             forrige_x = xarr[-1]
.451             forrige_y = yarr[-1]
.452             forrige_z = zarr[-1]
.453             if string[0] == 'X':
.454                 teller1 += 1
.455                 append_x(string)
.456                 yarr.append(forrige_y)
.457                 zarr.append(forrige_z)
.458             if string[0] == 'Y':
.459                 teller1 += 1
.460                 append_y(string)
.461                 xarr.append(forrige_x)
.462                 zarr.append(forrige_z)
.463             if string[0] == 'Z':
.464                 teller1 += 1
.465                 append_z(string)
.466                 xarr.append(forrige_x)
.467                 yarr.append(forrige_y)
.468         elif xyzklar and not xyklar: # Dersom alle i
.469     linjen: (ofte der de aldri alle på samme linje!)
.470             if string[0] == 'X':
.471                 append_x(string)
.472             if string[0] == 'Y':
.473                 append_y(string)
.474             if string[0] == 'Z':
.475                 append_z(string)
.476         elif xyklar and (not xyzklar and not xklar and ...
.477     not yklar and not zklar):
.478             if string[0] == 'X':
.479                 append_x(string)
.480                 z1 = True
.481             if string[0] == 'Y':
.482                 append_y(string)
.483                 z2 = True
.484             if z1 and z2:
.485                 teller3 += 1
.486                 forrige_z = zarr[-1]
.487                 append_z(str(forrige_z))
.488                 z1 = False
.489                 z2 = False
.490             elif string[0] == 'G':
.491                 pass
.492                 # print('G-kategori:', string)
.493             elif string[0] == 'Z':
.494                 pass
.495                 # print('Z-kategori:', string)
.496                 # print('Flytt z-akse motoren lengde: ',
.497     string[1:])
.498             elif string[0] == 'F':
.499                 pass
.500                 # print('F-kategori:', string)
.501                 # print('Farten er: ', string[1:])
```

Kode for brukergrensesnitt.

```
.500         xyklar = False
.501         xyzklar = False
.502         xklar = False
.503         yklar = False
.504         zklar = False
.505     return xarr, yarr, zarr
.506
.507 # =====
.508
.509
.510
.511 def main():
.512     # Variables:
.513     canvas_update = 100
.514     input_width = 30
.515     num_items_to_show = 2
.516     lenThreads = 0
.517
.518     # Canvas
.519     firstTime = True
.520     zoom2DPlot = False
.521
.522
.523     # Threads
.524     threads = [] # Creates an array for threads
.525
.526     # Start Program Loop
.527     intro1 = "Starting Program"
.528     print(intro1)
.529     append_message(intro1)
.530
.531     # Check Ports
.532     intro2 = "Found following ports:"
.533     print(intro2)
.534     append_message(intro2)
.535     deviceID, comValue = check_ports()
.536     # ---- Menu Definition ----
.537     menu_def = [
.538         ['&File', ['&Open', 'Ctrl-O', '&Save', ...
.539         Ctrl-S', '&Properties', 'E&xit']],
.540         ['&Edit', ['&Paste', ['Special', 'Normal', ], ...
.541         'Undo', 'Options:this_is_a_menu_key']],
.542         ['&Toolbar', ['---', 'Command &1', 'Command &2', ...
.543         '---', 'Command &3', 'Command &4']],
.544         ['&Help', ['&About...']]
.545     ]
.546     layout = [
.547         [sg.Menu(menu_def, tearoff=True, font='_ 12', ...
.548         key='-MENUBAR-')],
.549         [sg.Text('Communication with Arduino:'),
.550         [sg.OptionMenu(deviceID, ...
.551         default_value=deviceID[0], s=(25, 2), key='-OPTION-'), ...
.552         sg.Button('Refresh Port'),
.553         sg.Button("Connect", key='-BC-'), ...
.554         sg.Button('Clear Chat'),
.555         [sg.Multiline(size=(110, 15), autoscroll=True, ...
.556         auto_refresh=True, key='-OUTPUT-'), ...
.557         sg.Column([[sg.Frame('Commands:',
.558         [[sg.Column([[sg.ListBox([choices[i] for i in ...
.559         range(len(choices))], key='-CMD-LIST-', size=(100, ...
.560         80)]]], scrollable=True,
.561         vertical_scroll_only=True,
.562         size=(400, 300)]]]]], pad=(0, 0)),],
.563         [sg.CB('Ignore AutoCorrect Case', k='-IGNORE ...
.564         CASE-', default=True)],
.565         [sg.Text('Input Command:'), sg.Text('Import G-code ...
.566         File:', pad=(670, 0))],
.567         [sg.Input(size=(input_width, 1), ...
.568         enable_events=True, key='-IN-'), sg.Button('Go'),
.569         sg.pin(sg.Col([[sg.ListBox(values=[], ...
.570         size=(input_width, num_items_to_show), enable_events=True,
.571         key='-BOX-', ...
.572         select_mode=sg.LISTBOX_SELECT_MODE_SINGLE, ...
.573         no_scrollbar=False)]],
.574         key='-BOX-CONTAINER-',
.575         visible=True)), ...
.576         sg.Combo(sorted(sg.user_settings_get_entry('-filenames-', ...
.577         [])),
```

Kode for brukergrensesnitt.

```
.561 default_value=sg.user_settings_get_entry('-last ...
. filename-', ''), size=(40, 10), pad=(20, 10),
. key='-FILENAME-', enable_events=True, ...
.562 tooltip='Input file path', sg.FileBrowse(),
. sg.B('Clear History'), sg.Button('Load G-code', ...
.563 bind_return_key=True),
. sg.Button('Send G-code')],
.564 [sg.HorizontalSeparator()],
.565 [sg.VStretch(), sg.Column([[sg.Frame('Map 2D:', ...
.566 [[sg.Column([[sg.Canvas(size=(1, 1), key='-CANVAS-', )]],
. size=(400, 400)]])]], pad=(0, 0)),
.567 sg.Column([[sg.Frame('Map 3D:', ...
.568 [[sg.Column([[sg.Canvas(size=(1, 1), key='-CANVAS2-')]],
. size=(400, 400)]])]], pad=(0, 0)), sg.Button("Zoom")],
.569 [sg.HorizontalSeparator()]]
.570 window = sg.Window('CNC Fres', layout, size=(1030, ...
.571 770), return_keyboard_events=True,
.572 finalize=True, font=('Helvetica', ...
.573 16), grab_anywhere=True)
.574 list_element: sg.Listbox = window.Element('-BOX-')
.575 # Store listbox element for easier access and to get to
. docstrings
.576 prediction_list, input_text, sel_item = [], "", 0
.577 # Fullscreen
.578 window.Maximize()
.579 # Canvas
.580 canvas_elem = window['-CANVAS-']
.581 canvas = canvas_elem.TKCanvas
.582 figsize = (4, 4)
.583 fig, ax = plt.subplots(num=1, figsize=figsize, dpi=100)
.584 ax.grid(True)
.585 ax.set_xlim(-5, 105)
.586 ax.set_ylim(-5, 105)
.587 ax.set_xlabel("X - axis [mm]")
.588 ax.set_ylabel("Y - axis [mm]")
.589 fig_agg = draw_figure(fig, canvas)
.590 # Canvas2
.591 canvas_elem2 = window['-CANVAS2-']
.592 canvas2 = canvas_elem2.TKCanvas
.593 figsize = (4, 4)
.594 #fig2, ax2 = plt.figure(figsize=figsize, dpi=100)
.595 fig2 = plt.figure(num=2, figsize=figsize,)
.596 ax2 = fig2.add_subplot(111, projection='3d')
.597 ax2.grid(True)
.598 ax2.set_xlim(-5, 1005)
.599 ax2.set_ylim(-5, 1005)
.600 ax2.set_zlim(-5, 70)
.601 ax2.set_xlabel("X - axis [mm]")
.602 ax2.set_ylabel("Y - axis [mm]")
.603 ax2.set_zlabel("Z - axis [mm]")
.604 #global xarr, yarr, zarr
.605 fig_agg2 = draw_figure(fig2, canvas2)
.606 # Element key binds:
.607 window['-IN-'].bind("<Return>", "Enter") # Enter
.608 window['-BOX-'].bind("<Return>", "Enter") # Enter
.609 window['-CMD-LIST-'].bind("<Double-Button-1>", ...
.610 "DoubleClick") # Double
.611 click
.612 while True: # Event Loop
.613 # Applying messages
.614 window['-OUTPUT-'].update('\n'.join(messages))
.615 # Starting events and timeout
.616 event, values = window.read(timeout=10, ...
.617 timeout_key='-TIMEOUT-')
.618 # Check events:
.619 if event in (sg.WIN_CLOSED, 'Exit'):
.620 # Closing window
.621 break
.622 if event == "Refresh Port":
.623 print(intro2)
.624 append_message(intro2)
.625
```

Kode for brukergrensesnitt.

```
.626         deviceID, comValue = check_ports()
.627     window['-OUTPUT-'].update('\n'.join(messages))
.628     for i in range(len(deviceID)):
.629         window['-OPTION-'].update(deviceID[i])
.630
.631     if event == "-BC-":
.632         try:
.633             # Connect to Arduino / Can do this via button
.634             # print("Option")
.635             comDesc = values['-OPTION-']
.636             # print(comDesc)
.637             findComValue = deviceID.index(comDesc)
.638             # print(findComValue)
.639             comID = comValue[findComValue]
.640             if not serialPort.isOpen():
.641                 try:
.642                     thread_setupSerial = ...
.643                     Thread(target=setupSerial, args=(baudrate, comID,))
.644                         threads.append(thread_setupSerial)
.645                         lenThreads = len(threads) - 1
.646                         threads[lenThreads].start()
.647                         time.sleep(0.2)
.648                         if serialPort.isOpen():
.649                             print("Connection worked")
.650
.651                 except Exception as e:
.652                     errorConnect = "Connection failed: ..."
.653                     print(errorConnect)
.654                     append_message(errorConnect)
.655
.656             window['-OUTPUT-'].update('\n'.join(messages))
.657             else:
.658                 # Disconnect from arduino
.659                 try:
.660                     time.sleep(0.2)
.661                     if serialPort.isOpen():
.662                         serialPort.close()
.663                         textDisconnect = ...
.664                         "Disconnecting from port..."
.665                         print(textDisconnect)
.666                         append_message(textDisconnect)
.667
.668             window['-OUTPUT-'].update('\n'.join(messages))
.669             window["-BC-"].update("Connect")
.670             except Exception as e:
.671                 errorConnect = "Disconnection ...
.672                 failed: {}".format(e)
.673                 print(errorConnect)
.674                 append_message(errorConnect)
.675
.676             window['-OUTPUT-'].update('\n'.join(messages))
.677             except Exception as e:
.678                 try:
.679                     # Connect to Arduino / Can do this via
.680                     button
.681                         # print("Option")
.682                         comDesc = values['-OPTION-']
.683                         # print(comDesc)
.684                         findComValue = deviceID.index(comDesc)
.685                         # print(findComValue)
.686                         comID = comValue[findComValue]
.687                         try:
.688                             thread_setupSerial = ...
.689                             Thread(target=setupSerial, args=(baudrate, comID,))
.690                                 threads.append(thread_setupSerial)
.691                                 lenThreads = len(threads) - 1
.692                                 threads[lenThreads].start()
.693                                 time.sleep(0.2)
.694                                 if serialPort.isOpen():
.695                                     print("Connection worked")
.696
.697                             except Exception as e:
.698                                 errorConnect = "Connection failed: ..."
.699                                 print(errorConnect)
.700                                 append_message(errorConnect)
.701                                 ...
```

Kode for brukergrensesnitt.

```
.
.
.694 window['-OUTPUT-'].update('\n'.join(messages))
.695     except Exception as e:
.696         errorConnect = "Connection failed: ...
.697         {}.format(e)
.698         print(errorConnect)
.699         append_message(errorConnect)
.700 window['-OUTPUT-'].update('\n'.join(messages))
.701     if event in (sg.WIN_CLOSED, 'Go') or event == ...
.702     '-IN-' + '_Enter':
.703         # Something in "Input Command"+ press enter or
.704         Gobutton is pressed
.705         #global cordX, cordY, cordZ
.706         send_text = str(values['-IN-'])
.707         len_text = len(send_text)
.708         print(len_text, ": Input is ", send_text)
.709         try:
.710             if send_text[0] == "(" and send_text[-2:] ...
.711             == ",)":
.712                 send_text = send_text[2:-3]
.713                 print("input changed to ", send_text)
.714             if send_text[0] == "{" and send_text[-1:] ...
.715             == "}":
.716                 send_text = send_text[2:-2]
.717                 print("input changed to ", send_text)
.718                 # Command Senter;
.719                 if send_text == 'M100 - Help':
.720                     msg_echo = 'M100'
.721                     append_message(msg_echo)
.722                     sendToArduino(msg_echo, window)
.723                     arduino_listen(window)
.724                 elif send_text == 'M120 - Home':
.725                     msg_echo = 'M120'
.726                     append_message(msg_echo)
.727                     sendToArduino(msg_echo, window)
.728                     arduino_listen(window)
.729                 elif send_text == 'M114 - Where':
.730                     msg_echo = 'M114'
.731                     append_message(msg_echo)
.732                     sendToArduino(msg_echo, window)
.733                     arduino_listen(window)
.734                 elif send_text == 'M17 - Enable Motors':
.735                     msg_echo = 'M17'
.736                     append_message(msg_echo)
.737                     sendToArduino(msg_echo, window)
.738                     arduino_listen(window)
.739                 elif send_text == 'M18 - Disable Motors':
.740                     msg_echo = 'M18'
.741                     append_message(msg_echo)
.742                     sendToArduino(msg_echo, window)
.743                     arduino_listen(window)
.744                 elif send_text == 'G90 - Absolute':
.745                     msg_echo = 'G90'
.746                     append_message(msg_echo)
.747                     sendToArduino(msg_echo, window)
.748                     arduino_listen(window)
.749                 elif send_text == 'G91 - Incremental':
.750                     msg_echo = 'G91'
.751                     append_message(msg_echo)
.752                     sendToArduino(msg_echo, window)
.753                     arduino_listen(window)
.754                 elif send_text == 'G92 - Set Origo':
.755                     msg_echo = 'G92'
.756                     append_message(msg_echo)
.757                     sendToArduino(msg_echo, window)
.758                     arduino_listen(window)
.759                 else:
.760                     # Sender til Arduino
.761                     append_message(send_text)
.762                     sendToArduino(send_text, window)
.763                     arduino_listen(window)
.764         except Exception as e:
.765             print(e)
.766             send_text = 'Error: {}'.format(e)
.767             print(f"input changed to {send_text}")
.768             append_message(send_text)
```

Kode for brukergrensesnitt.

```
.765         window['-IN-'].update('') # Empty Input Box
.766         window['-BOX-'].update('') # Empty Auto Correct
.767         window['-OUTPUT-'].update('\n'.join(messages))
.768     if event == 'Clear Chat':
.769         messages.clear()
.770         window['-OUTPUT-'].update('')
.771     if event == 'Arduino COM':
.772         setupSerial(baudrate, deviceID)
.773     if event == sg.WINDOW_CLOSED:
.774         break
.775     elif event in (sg.WIN_CLOSED, 'Escape'):
.776         window['-IN-'].update('')
.777     elif event.startswith('Down') and ...
.778     len(prediction_list):
.779         sel_item = (sel_item + 1) % len(prediction_list)
.780         list_element.update(set_to_index=sel_item, ...
.781         scroll_to_index=sel_item)
.782     elif event.startswith('Up') and len(prediction_list):
.783         sel_item = (sel_item + (len(prediction_list) - ...
.784         1)) % len(prediction_list)
.785         list_element.update(set_to_index=sel_item, ...
.786         scroll_to_index=sel_item)
.787     elif event == '\r':
.788         if len(values['-BOX-']) > 0:
.789             window['-IN-'].update(value=values['-BOX-'])
.790         elif event == '-IN-':
.791             text = values['-IN-'] if not values['-IGNORE ...
.792             CASE-'] else values['-IN-'].lower()
.793             if text == input_text:
.794                 continue
.795             else:
.796                 input_text = text
.797                 prediction_list = []
.798             if text:
.799                 if values['-IGNORE CASE-']:
.800                     prediction_list = [item for item in ...
.801                     choices if item.lower().startswith(text)]
.802                 else:
.803                     prediction_list = [item for item in ...
.804                     choices if item.startswith(text)]
.805                 list_element.update(values=prediction_list)
.806                 sel_item = 0
.807                 list_element.update(set_to_index=sel_item)
.808     elif event == '-BOX-' + '_Enter':
.809         window['-IN-'].update(value=values['-BOX-'])
.810         window['-IN-'].set_focus()
.811     elif event == '-CMD-LIST-' + '_DoubleClick':
.812         window['-IN-'].update(value=values['-CMD-LIST-'])
.813         window['-IN-'].set_focus()
.814     elif event == 'Zoom':
.815         if zoom2DPlot:
.816             zoom2DPlot = False
.817         else:
.818             zoom2DPlot = True
.819     elif event == 'Send G-code':
.820         if values['-FILENAME-']:
.821             # Changing / updating filename
.822             print("Filename changed to: " + ...
.823             str(values['-FILENAME-']))
.824         window['-FILENAME-'].set_tooltip(str(values['-FILENAME-']))
.825         # Remembering last filename
.826         sg.user_settings_set_entry('-filenames-', ...
.827         list(
.828         set(sg.user_settings_get_entry('-filenames-', []) + ...
.829         [values['-FILENAME-'], ]))
.830         sg.user_settings_set_entry('-last ...
.831         filename-', values['-FILENAME-'])
.832         # Getting new filename
.833         file = values['-FILENAME-']
.834         print("File loaded: " + file)
.835         append_message("File loaded: " + file)
.836         # sendGcode(file, window)
.837         thread_sendGcode = ...
.838         Thread(target=sendGcode, args=(file, window,))
.839         threads.append(thread_sendGcode)
```


Kode for brukergrensesnitt.


```
.830         lenThreads = len(threads) - 1
.831         threads[lenThreads].start()
.832     else:
.833         txt = "No File found / added"
.834         print(txt)
.835         append_message(txt)
.836     elif event == '-FILENAME-':
.837         print("Filename changed to: " + ...
.838         str(values['-FILENAME-']))
.839     window['-FILENAME-'].set_tooltip(str(values['-FILENAME-']))
.840     messages.append("File changed to: " + ...
.841     str(values['-FILENAME-']))
.842     window['-OUTPUT-'].update('\n'.join(messages))
.843     elif event == 'Load G-code':
.844         global xarr, yarr, zarr
.845         if values['-FILENAME-']:
.846             # Endre/oppdatere filnavn
.847             print("Filename changed to: " + ...
.848             str(values['-FILENAME-']))
.849     window['-FILENAME-'].set_tooltip(str(values['-FILENAME-']))
.850     # Husk forrige filnavn
.851     sg.user_settings_set_entry('-filenames-', []) ...
.852     list(set(sg.user_settings_get_entry('-filenames-', []) ...
.853     + [values['-FILENAME-'], ]))
.854     sg.user_settings_set_entry('-last ...
.855     filename-', values['-FILENAME-'])
.856     # Hente det nye filnavnet:
.857     fil = values['-FILENAME-']
.858     append_message('File loaded: ' + fil)
.859     # Animer filen:
.860     try:
.861         # Canvas 1
.862         filpath = values['-FILENAME-']
.863         xarr, yarr, zarr = [0.00], [0.00], [0.00]
.864         xarr, yarr, zarr = animer_fil(filpath)
.865         plt.figure(num=1)
.866         ax.set_xlim(min(xarr) - 1, max(xarr) + 1)
.867         ax.set_ylim(min(yarr) - 1, max(yarr) + 1)
.868         zoom2DPlot = True
.869
.870         # Canvas 2
.871         plt.figure(num=2)
.872         ax2.axes.set_xlim3d(left=min(xarr) - ...
.873         1, right=max(xarr) + 1)
.874         ax2.axes.set_ylim3d(bottom=min(yarr) - ...
.875         1, top=max(yarr) + 1)
.876         ax2.axes.set_zlim3d(bottom=min(zarr) - ...
.877         1, top=max(yarr) + 1)
.878         plt.plot(xarr, yarr, zarr)
.879         fig_agg2.draw()
.880     except Exception as e:
.881         print(e)
.882         #plt.show()
.883         #window.disable()
.884     else:
.885         append_message('Ingen fil funnet / lagt til')
.886     elif event == 'Clear History':
.887         sg.user_settings_set_entry('-filenames-', [])
.888         sg.user_settings_set_entry('-last filename-', '')
.889         window['-FILENAME-'].update(values=[], value='')
.890     elif event == '-TIMEOUT-':
.891         # Canvas update
.892         if canvas_update == 100:
.893             # Canvas 1
.894             global cordX, cordY, cordZ
.895             # current position
.896             ax.cla()
.897             ax.grid(True)
.898             ax.set_xlim(-2, 503)
.899             ax.set_ylim(-3, 1003)
.900             try:
.901                 filpath = values['-FILENAME-']
```

Kode for brukergrensesnitt.

```
.901         xarr, yarr, zarr = [0.00], [0.00], [0.00]
.902         xarr, yarr, zarr = animer_filen(filpath)
.903         x1, y1, z1 = cordX[-1], cordY[-1], ...
.904     cordZ[-1]         if zoom2DPlot == True:
.905                       ax.set_xlim(min(xarr) - 1, ...
.906     max(xarr) + 1)     ax.set_ylim(min(yarr) - 1, ...
.907     max(yarr) + 1)   except Exception as e:
.908                       x1, y1, z1 = [0.00], [0.00], [0.00]
.909                       print("her")
.910                       print(e)
.911                       ax.set_xlabel("X - axis [mm]")
.912                       ax.set_ylabel("Y - axis [mm]")
.913                       ax.yaxis.set_label_position('right')
.914                       ax.xaxis.set_label_position('top')
.915                       try:
.916                           plt.figure(num=1)
.917                           for i in range(len(cordX)):
.918                               if i != len(cordX):
.919                                   plt.plot(cordX[i:i+2], ...
.920     cordY[i:i+2], 'g', linestyle="--")
.921                               else:
.922                                   break
.923                       except Exception as e:
.924                           print(e)
.925     label='Position', alpha=1, edgecolors='none')
.926     ax.legend()
.927     ax.legend(bbox_to_anchor=(1, 1.15))
.928     fig_agg.draw()
.929     # Canvas 2
.930     x, y, z = cordX[-1], cordY[-1], cordZ[-1]
.931     ax2.cla()
.932     ax2.grid(True)
.933     ax2.set_xlim(-0, 505)
.934     ax2.set_ylim(-0, 1005)
.935     ax2.set_zlim(-0, 70)
.936     ax2.set_xlabel("X - axis [mm]")
.937     ax2.set_ylabel("Y - axis [mm]")
.938     ax2.set_zlabel("Z - axis [mm]")
.939     try:
.940         filpath = values['-FILENAME-']
.941         xarr, yarr, zarr = [0.00], [0.00], [0.00]
.942         xarr, yarr, zarr = animer_filen(filpath)
.943         plt.figure(num=2)
.944         ax2.axes.set_xlim3d(left=min(xarr)-1, ...
.945     right=max(xarr)+1)
.946     ax2.axes.set_ylim3d(bottom=min(yarr)-1, top=max(yarr)+1)
.947     ax2.axes.set_zlim3d(bottom=min(zarr)-1, top=max(yarr)+1)
.948     plt.plot(xarr, yarr, zarr, 'b')
.949     for i in range(len(cordX)):
.950         if i != len(cordX):
.951             plt.plot(cordX[i:i + 2], ...
.952     cordY[i:i + 2], 'g', linestyle="--")
.953         else:
.954             break
.955     except Exception as e:
.956         pass
.957         #print(e)
.958     ax2.scatter(x, y, z, c='Red', s=50.0, ...
.959     label='Position', alpha=1, edgecolors='none')
.960     ax2.legend()
.961     fig_agg2.draw()
.962     canvas_update = 0
.963     else:
.964         canvas_update = canvas_update + 1
.965     window['-OUTPUT-'].update('\n'.join(messages))
.966     window.close()
.967 if __name__ == '__main__':
.968     main()
.969     print("Ending program")
```

Vedlegg B

Kode for maskinkontrolleren

Koden nedenfor er skrevet i Arduino IDE (modifisert C++). Kan hentes her. NB! Filen kan bare hentes med Adobe Acrobat. 

Kode B.1: Skript som produserer firkant-puls. Gir mulighet for å utføre bevegelse av motor med konstant hastighet.

```
1 #define DIR_PIN      2
2 #define STEP_PIN    3
3 #define ENABLE_PIN  4
4
5 void setup() {
6   pinMode(DIR_PIN,   OUTPUT);
7   pinMode(STEP_PIN,  OUTPUT);
8   pinMode(ENABLE_PIN, OUTPUT);
9   digitalWrite(ENABLE_PIN, LOW);
10 }
11
12 void loop() {
13   // Her vil firkantpuls bli produsert
14   digitalWrite(STEP_PIN, HIGH);
15   // Her blir bredden på pulsen satt.
16   delayMicroseconds(10);
17   digitalWrite(STEP_PIN, LOW);
18   // Her vil lengden på den lave perioden av pulsen bli satt.
19   delay(1);
20 }
```

Kode B.2: Denne koden viser hvordan vi implementerte simpel akkselerasjon.

```
1 #define DIR_PIN      2
2 #define STEP_PIN    3
3 #define ENABLE_PIN  4
4
5 void setup() {
6   pinMode(STEP_PIN,  OUTPUT);
7   pinMode(DIR_PIN,   OUTPUT);
8   pinMode(ENABLE_PIN, OUTPUT);
9 }
10
```

Kode for maskinkontrolleren

```
.11 void simpleAccel(int steps) {
.12     int lowSpeed = 2000; //Her blir laveste hastighet satt, også
.13     kjent som høyest periode mellom høy flanke.
.14     int highSpeed = 100; // Her blir høyest hastighet satt, som
        da er laveste periode mellom høy flanke.
.15     int change = 2; // Hvor mye perioden endres i mikrosekunder
.16
.17     // Setter opp akselerasjons-rampe og deselerasjonsrampe
.18     int rampUpStop = (lowSpeed - highSpeed) / change;
.19     if ( rampUpStop > steps / 2 )
.20         rampUpStop = steps / 2;
.21     int rampDownStart = steps - rampUpStop;
.22     int d = lowSpeed;
.23
.24     // Utfører steg ved å produsere firkant-pulsene og deretter
        sette ny periode for å øke/redusere hastigheten for
        motoren
.25     for (int i = 0; i < steps; i++) {
.26         digitalWrite(STEP_PIN, HIGH);
.27         delayMicroseconds(10);
.28         digitalWrite(STEP_PIN, LOW);
.29         delayMicroseconds(d);
.30         if ( i < rampUpStop )
.31             d -= change;
.32         else if ( i > rampDownStart )
.33             d += change;
.34     }
.35 }
.36
.37 void loop() {
.38     digitalWrite(DIR_PIN, LOW);
.39     simpleAccel(2400);
.40     digitalWrite(DIR_PIN, HIGH);
.41     simpleAccel(2400);
.42
.43     while (true);
.44
.45 }
```

Kode B.3: I denne koden er det implementert utrengninger for å oppnå konstant akselerasjon.

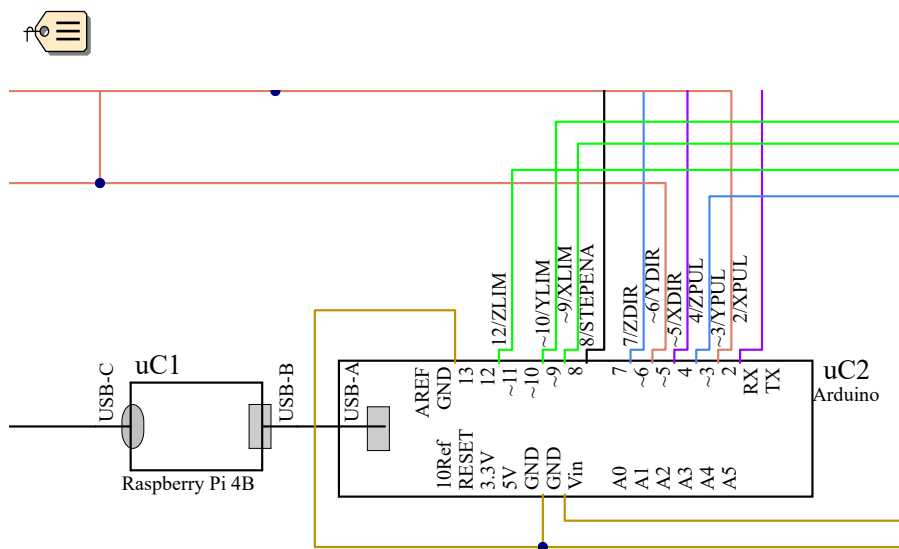
```
1 #define DIR_PIN          2
2 #define STEP_PIN        3
3 #define ENABLE_PIN      4
4
5 #define STEP_HIGH       PORTD |= 0b00001000;
6 #define STEP_LOW       PORTD &= ~0b00001000;
7
8 #define TIMER1_INTERRUPTS_ON    TIMSK1 |= (1 << OCIE1A);
9 #define TIMER1_INTERRUPTS_OFF  TIMSK1 &= ~(1 << OCIE1A);
10
11 unsigned int c0;
12
13 void setup() {
14     pinMode(STEP_PIN,    OUTPUT);
15     pinMode(DIR_PIN,    OUTPUT);
16     pinMode(ENABLE_PIN, OUTPUT);
17
18     noInterrupts();
19     TCCR1A = 0;
20     TCCR1B = 0;
21     TCNT1 = 0;
22     OCR1A = 1000;
23     TCCR1B |= (1 << WGM12);
24     TCCR1B |= ((1 << CS11) | (1 << CS10));
25     interrupts();
26
27     c0 = 1600; // Dette var lowSpeed i forrige kode, nå skiftet
        til c0 for å stemme oversens med formler fra AVR sitt
        datablad. Det er start hastigheten til motoren.
28 }
29
30 volatile int dir = 0;
31 volatile unsigned int maxSpeed = 10; // Maks hastighet satt
```

Kode for maskinkontrolleren

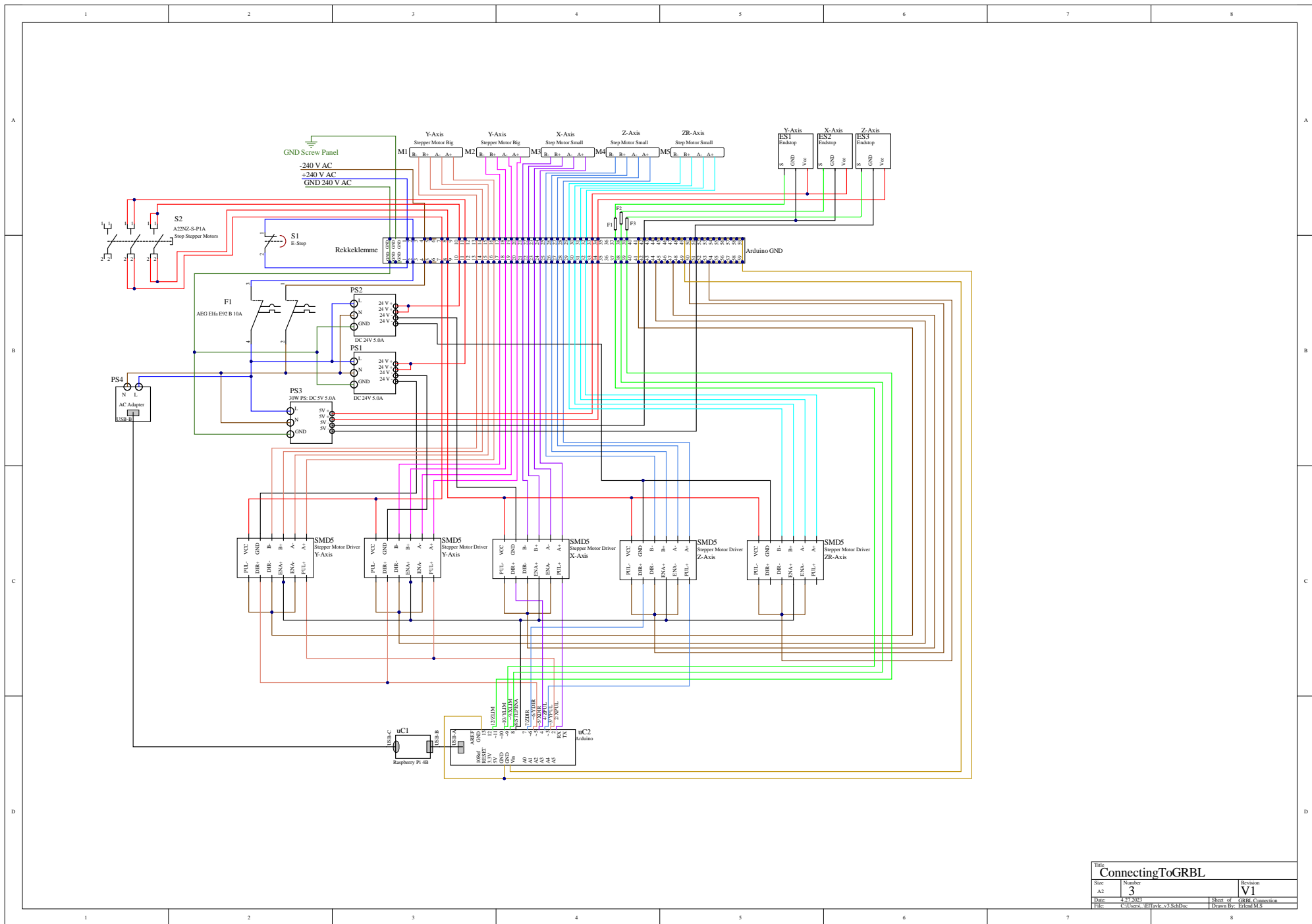
```
    som minste lav periode i microsekunder
. 32 volatile unsigned long n = 0;
. 33 volatile float d;
. 34 volatile unsigned long stepCount = 0;
. 35 volatile unsigned long rampUpStepCount = 0;
. 36 volatile unsigned long totalSteps = 0;
. 37 volatile int stepPosition = 0;
. 38
. 39 volatile bool movementDone = false;
. 40
. 41 ISR(TIMER1_COMPA_vect) // Denne blir kalt for å utføre
    stegene, dvs produsere pulsene som sendes videre
. 42 {
. 43     if ( stepCount < totalSteps ) {
. 44         STEP_HIGH
. 45         delayMicroseconds(10); // standard 10 micro sekunder slik
            at mikrosteg driver skal kunne detekte høy flanke
. 46         STEP_LOW
. 47         stepCount++;
. 48         stepPosition += dir;
. 49     }
. 50     else {
. 51         movementDone = true;
. 52         TIMER1_INTERRUPTS_OFF
. 53     }
. 54     if ( rampUpStepCount == 0 ) { // akselerasjonsfasen
. 55         n++;
. 56         d = d - (2 * d) / (4 * n + 1); // likning for cn i fra AVR
. 57         datablad, her er cn skiftet om til d for delay for å
            enklere kunne følge koden.
. 58         if ( d < maxSpeed ) { // Sjekker om vi har nådd max
            hastighet
. 59             d = maxSpeed;
. 60             rampUpStepCount = stepCount;
. 61         }
. 62         if ( stepCount ≥ totalSteps / 2 ) { // halveispunktet
. 63             rampUpStepCount = stepCount;
. 64         }
. 65     }
. 66     else if ( stepCount ≥ totalSteps - rampUpStepCount ) { //
            deakselerasjons fasen
. 67         n--;
. 68         d = (d * (4 * n + 1)) / (4 * n + 1 - 2);
. 69     }
. 70     OCR1A = d;
. 71 }
. 72 }
. 73
. 74 void moveNSteps(long steps) {
. 75     digitalWrite(DIR_PIN, steps < 0 ? HIGH : LOW);
. 76     dir = steps > 0 ? 1 : -1;
. 77     totalSteps = abs(steps);
. 78     d = c0;
. 79     OCR1A = d;
. 80     stepCount = 0;
. 81     n = 0;
. 82     rampUpStepCount = 0;
. 83     movementDone = false;
. 84     TIMER1_INTERRUPTS_ON
. 85 }
. 86
. 87 void moveToPosition(long p, bool wait = true) {
. 88     moveNSteps(p - stepPosition);
. 89     while ( wait && ! movementDone );
. 90 }
. 91
. 92 void loop() {
. 93     maxSpeed = 20;
. 94     moveToPosition( 0 );
. 95     moveToPosition(10000);
. 96     while (true);
. 97 }
. 98
. 99
. 100
. 101
. 102 }
```

Vedlegg C

El-tavle



Figur C.1: Koblingskjema til Arduino Uno.



Figur C.2: Koblingskjema av el-tavle.

Title			ConnectingToGRBL		
Size	Number	Revision			
A2	3	V1			
Date:	4.3.2023	Sheet of	GRBL Connection		
File:	C:\Users\jefavle\Documents	Drawn By:	Jefavle.MS		

Vedlegg D

G-kode

Tabell D.1: G-kode filer. Filene kan bare hentes med Adobe Acrobat


G-kode	Fil
Kvadrat	
Kvadrat med diagonaler	
Rektangel	
Rektangel med diagonaler	
Parallelogram	
Sirkel	
Tre sirkler	
Sirkel og kvadrat med diagonaler	
Bokstav «J»	
Navn	

Tabell D.2: Tabell for G-kode kommandoer. Sammenligner kommandoer mellom GRBL og vår maskinkontroller.

G-kode	Beskrivelse	GRBL	Vår
G0	Rask posisjonering	✓	✓
G1	Lineær bevegelse med spesifikk fart (F)	✓	✓
G2, G3	Bevegelse i bue med spesifikk fart	✓	✓
G4	Dveling (eng: dwell)	✓	
G17, G18, G19	Velg et plan for buene (?)	✓	
G20	Imperiske enheter	✓	
G21	Metriske enheter	✓	
G28	Gå til forhåndsdefinert posisjon	✓	
G28.2	Homing / Hjemmesyklus	✓	
G40, G43, G49	Akseptert, men ignorert	✓	
G45-G49	Akseptert, men ignorert	✓	
G90	Absolutt distanse modus	✓	✓
G91	Inkrementell distanse modus	✓	✓
G91.1	Bue radius modus	✓	
G92	Sett referansepunkt		✓
M0	Pause og stanse program - i karbidbevegelse vil dette tillate bruker å kjøre programmet igjen	✓	
M1	Sov (stopp) (eng: sleep, optional stop)	✓	
M3	Spindel på		
M2	Pause og stanse program	✓	
M5	Spindel av		
M6	Verktøy-bytte		
M7, M9	Akseptert, men ignorert	✓	
M17	Aktivere motorer		✓
M18	Deaktivere motorer		✓
M30	Pause og stanse program - i karbidbevegelse kan denne føre maskinen tilbake til maskinens opprinnelse	✓	
M100	Hjelp		✓
M114	Posisjon til verktøyet		✓
M120	Homing / Hjemesyklus		✓

Vedlegg E

GRBL Firmwaresettings

Innstillinger for GRBL, vist tabellen E.1 under, er tilgjengelig [her](#) [drive.google.com/...] eller på taggen. 

Tabell E.1: Liste med instillinger til GRBL. Verdiene i kolumnen *Value* ble brukt i vårt oppsett av GRBL. Tabell hentet fra GRBL i github [22].

\$x Setting	Value	Description	Unit
0	30	Step pulse time	microseconds
1	35	Step idle delay	milliseconds
2	0	Step pulse invert	mask
3	2	Step direction invert	mask
4	0	Invert step enable pin	boolean
5	0	Invert limit pins	boolean
6	0	Invert probe pin	boolean
10	1	Status report options	mask
11	0.010	Juntion deviation	millimeters
12	0.002	Arc tolerance	millimeters
13	0	Report in inches	boolean
20	1	Soft limits enable	boolean
21	1	Hard limits enable	boolean
22	1	Homing cycle enable	boolean
23	3	Homing direction invert	mask
24	25.000	Homing locate feed rate	millimeters/minute
25	500.000	Homing search seek rate	millimeters/minute
26	244	Homing switch debounce delay	milliseconds
27	5.000	Homing switch pull-off distance	millimeters
30	1000	Maximum spindle speed	rounds per minute
31	1000	Minimum spindle speed	rounds per minute
32	0	Lase-mode enable	boolean
100	200.000	X-axis travel resolution	steps/millimeter
101	80.000	Y-axis travel resolution	steps/millimeter
102	200.000	Z-axis travel resolution	steps/millimeter
110	5000.000	X-axis maximum feedrate	millimeters/minute
111	15000.000	Y-axis maximum feedrate	millimeters/minute
112	300.000	Z-axis maximum feedrate	millimeters/minute
120	10.000	X-axis acceleration	millimeters/seconds ²
121	10.000	Y-axis acceleration	millimeters/seconds ²
122	10.000	Z-axis acceleration	millimeters/seconds ²
130	225.000	X-axis maximum travel (soft-limit)	millimeters
131	1000.000	Y-axis maximum travel (soft-limit)	millimeters
132	63.000	Z-axis maximum travel (soft-limit)	millimeters

Vedlegg F

Utstyrliste

	Antall
El-tavle	1
Kraftforsyning 24V	2
Kraftforsyning 5V	1
Kraftforsyning (12V)	1
Mikrosteg driver	4
Motor y akse	2
Motor x akse	1
Motor z akse	1
Raspberry PI 4B	1
Arduino UNO	1
Gjengestang stor	2
Gjengestang liten	2
Grensebrytere	4
Nødbryter	2

Vedlegg G

Datablad

G.1 ATmega328P

$$\text{Error}[\%] = \left(\frac{\text{BaudRate}_{\text{Closest Match}}}{\text{BaudRate}} - 1 \right) \times 100\%$$

Table 19-9. Examples of UBRRn Settings for Commonly Used Oscillator Frequencies

Baud Rate (bps)	$f_{\text{osc}} = 1.0000\text{MHz}$				$f_{\text{osc}} = 1.8432\text{MHz}$				$f_{\text{osc}} = 2.0000\text{MHz}$			
	U2Xn = 0		U2Xn = 1		U2Xn = 0		U2Xn = 1		U2Xn = 0		U2Xn = 1	
	UBRRn	Error	UBRRn	Error	UBRRn	Error	UBRRn	Error	UBRRn	Error	UBRRn	Error
2400	25	0.2%	51	0.2%	47	0.0%	95	0.0%	51	0.2%	103	0.2%
4800	12	0.2%	25	0.2%	23	0.0%	47	0.0%	25	0.2%	51	0.2%
9600	6	-7.0%	12	0.2%	11	0.0%	23	0.0%	12	0.2%	25	0.2%
14.4k	3	8.5%	8	-3.5%	7	0.0%	15	0.0%	8	-3.5%	16	2.1%
19.2k	2	8.5%	6	-7.0%	5	0.0%	11	0.0%	6	-7.0%	12	0.2%
28.8k	1	8.5%	3	8.5%	3	0.0%	7	0.0%	3	8.5%	8	-3.5%
38.4k	1	-18.6%	2	8.5%	2	0.0%	5	0.0%	2	8.5%	6	-7.0%
57.6k	0	8.5%	1	8.5%	1	0.0%	3	0.0%	1	8.5%	3	8.5%
76.8k	-	-	1	-18.6%	1	-25.0%	2	0.0%	1	-18.6%	2	8.5%
115.2k	-	-	0	8.5%	0	0.0%	1	0.0%	0	8.5%	1	8.5%
230.4k	-	-	-	-	-	-	0	0.0%	-	-	-	-
250k	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.0%
Max. ⁽¹⁾	62.5kbps		125kbps		115.2kbps		230.4kbps		125kbps		250kbps	

Note: 1. UBRRn = 0, error = 0.0%

Figur G.1: Tabell av overføringshastigheter med feil i %, hentet fra databladet ATmega328P [6]. ATmega328p er mikrokontrolleren som håndterer USB-seriell grensesnitt på Arduino Uno.

G.2 AVR446

2.3.1 Exact calculations of the inter-step delay

The first counter delay c_0 as well as succeeding counter delays c_n , are given by (see appendix for details):

$$c_0 = \frac{1}{t_t} \sqrt{\frac{2\alpha}{\dot{\omega}}} \quad c_n = c_0 (\sqrt{n+1} - \sqrt{n})$$

The computational power of a microcontroller is limited, and calculating two square roots is time consuming. Therefore an approximation with less computational complexity is considered.

The counter value at the time n , using Taylor series approximation for the inter-step delay (see appendix for details) is given by:

$$c_n = c_{n-1} - \frac{2c_{n-1}}{4n+1}$$

This calculation is much faster than the double square root, but introduces an error of 0.44 at $n=1$. A way to compensate for this error is by multiplying c_0 with 0,676.

2.3.2 Change in acceleration

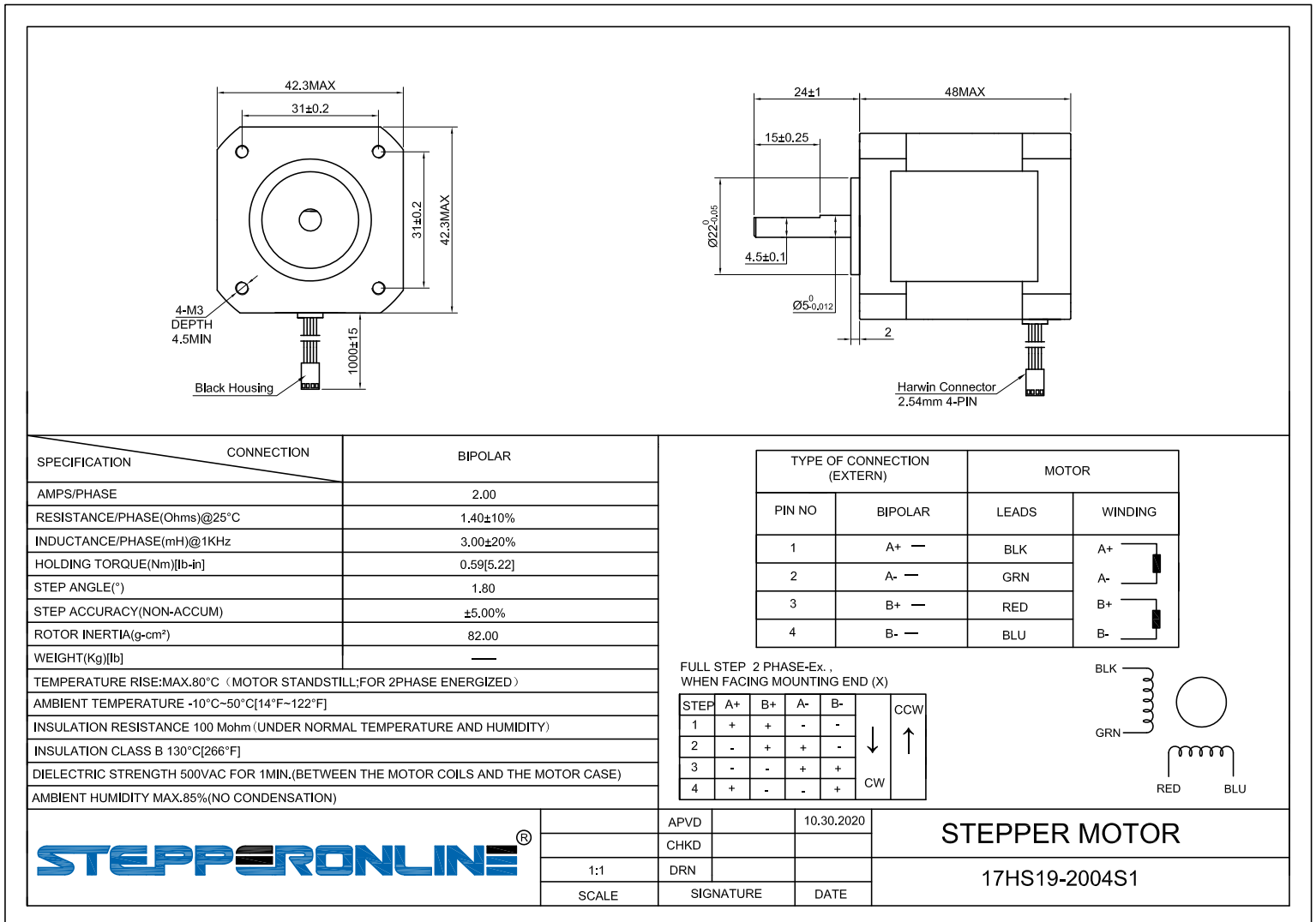
As shown in the appendix, the acceleration is given by c_0 and n . If a change in acceleration (or deceleration) is done, a new n must be calculated.

The time t_n and n as a function of the motor acceleration, speed and step angle are given by

Figur G.2: Formel brukt for utregning av akselerasjon i pulssignalene. Hentet fra databladet AVR446 [7]

G.3 Nema 17 Bipolar Step Motor

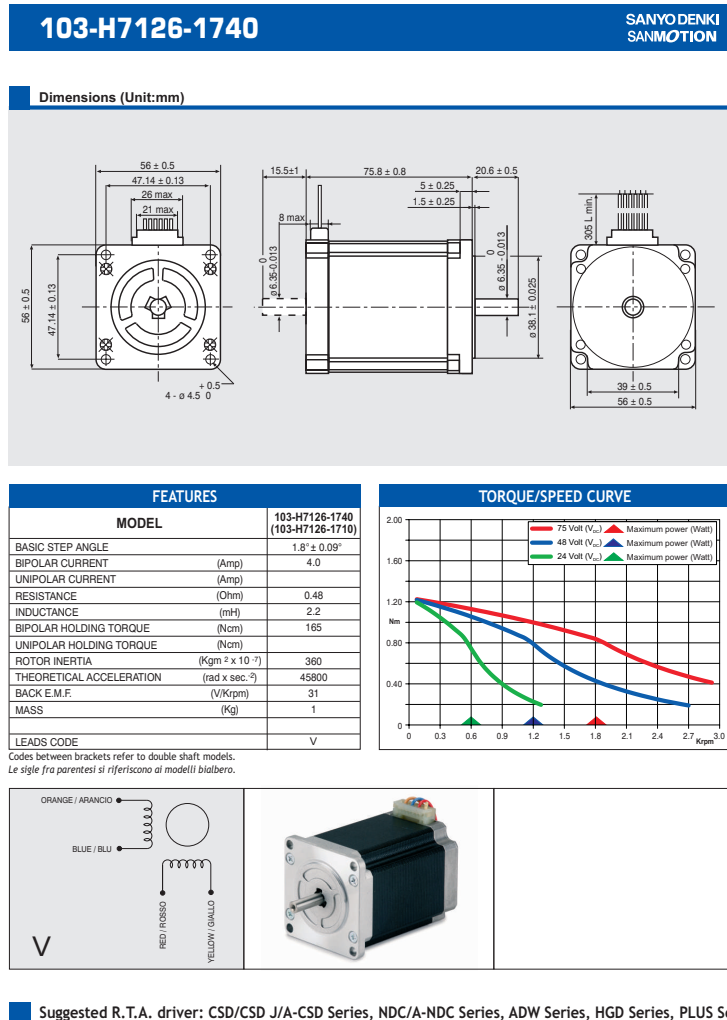
G.3 Nema 17 Bipolar Step Motor



Figur G.3: Datablad for X- og Z-stegmotor. Hentet fra databladet Nema 17 [20].

G.4 Sanyo Denki Step Motor

G.4 Sanyo Denki Step Motor



Suggested R.T.A. driver: CSD/CSD J/A-CSD Series, NDC/A-NDC Series, ADW Series, HGD Series, PLUS Series.



R.T.A. s.r.l.
Via E. Mattei - Fraz. Divisa
27020 MARCIGNAGO (PV) ITALY
Tel. +39.0382.929.855 - Fax +39.0382.929.150
www.rta.it

R.T.A. Deutschland GmbH
Bühlster Straße 34
40599 DÜSSELDORF (Germany)
Tel. +49.211.749.668.60 - Fax +49.211.749.668.66
www.rta-deutschland.de

R.T.A. IBERICA-Motion Control Systems S.L.
C/Generat 22, 1^o 3^o
08850 GAVA - BARCELONA (Spain)
Tel. +34.936.388.805 - Fax +34.936.334.595
www.rta-iberica.es

Figur G.4: Datablad for Y-stegmotor. Hentet fra databladet 103-H7126-1740 [19].

Vedlegg H

ChatGPT

En CNC-maskin (Computer Numerical Control) er en avansert datamaskinstyrt maskin som er utbredt i moderne produksjonsindustri. Maskinen er i stand til å utføre høy presisjonsarbeid på en rekke materialer, og den kan automatisere produksjonsprosessen og redusere arbeidskostnader.



I denne bacheloroppgaven vil vi ta for oss design, bygging og testing av en egen CNC-maskin. Vi vil undersøke de grunnleggende prinsippene bak en CNC-maskin, og gjøre en analyse av eksisterende design for å utvikle vårt eget design.

Videre vil vi utforske ulike materialer og komponenter som vil være nødvendige for å bygge maskinen. Dette vil omfatte valg av motordesign, styresystem, elektronikk og materialer for å konstruere maskinens ramme og bevegelige deler.

Vi vil også programmere maskinens kontrollsystem og verktøybaner for å kunne utføre ulike oppgaver og tester. Dette vil inkludere testing av maskinens hastighet, nøyaktighet og kapasitet.

Til slutt vil vi evaluere effektiviteten og kvaliteten på den ferdige maskinen, og sammenligne den med eksisterende kommersielle CNC-maskiner. Gjennom denne oppgaven vil vi få en grundig forståelse av design, bygging og testing av en egen CNC-maskin, samt de utfordringene som er involvert i å lage en maskin fra bunnen av.

Figur H.1: Inspirasjon til introduksjon ved hjelp av CHATGPT.