




Universitetet  
i Stavanger

**DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET**  
**BACHELOROPPGAVE**

Studieprogram/spesialisering: Maskin ingeniør	Vår semesteret, 2021 Åpen / Konfidensiell
Forfatter: Simen Auset	
Fagansvarlig: <i>Hirpa G. Lemu</i> , UiS. Veileder(e):	
Tittel på bacheloroppgaven: Design og konstruksjon av en vaffelsteke robot Engelsk tittel: Design and construction of a waffle cooking robot.	
Studiepoeng: 20 poeng. Essay i vitenskapsteori/etikk er inkludert.	
Emneord: Vaffelrobot	Sidetall: 64 + vedlegg/annet: 90 Stavanger 15.5.2021

## **Forord**

Bachelor oppgaven ble plukket ut blant en rekke ulike forslag til oppgaver som ble lagt frem for maskiningeniørstudentene ved Universitet i Stavanger våren 2021. Oppgaven virket spennende og interessant å jobbe med. Ved å steke en vaffel utfører man mange bevegelser og det ved å lage en vaffel robot/maskin som skal automatisere stekeprosessen, må man bryte ned alle funksjonene. Å bryte alle funksjonene ned i mindre deler får man utfordre sin kreativitet og ta fatt på utfordringer som skal løses. Ideen bak oppgaven kommer fra en lærer som synes det går for mye tid med på vaffelsteking på lærerværelset når de har vaffeldag. Resultatet skal bli en automatisert vaffelrobot for bruk av studenter og lærere ved UIS. Det er ikke lagt noen krav til hvordan man skal løse oppgaven og dermed står man i utgangspunktet fritt til å finne løsninger. Ideen om å jobbe mot et produkt som er i stand til å samkjøre de ulike prosessene inspirerte meg til å velge denne oppgaven. En utfordring i innovativ tenkning, ingeniørfaglig forståelse og skapervilje. Grunnet bosituasjon vil hoveddelen av oppgaven utføres hjemme i Sirdal, ved unntak av tilfeller hvor mer avansert utstyr blir nødvendig under produksjon av roboten.

Takk til *Hirpa G. Lemu* som hadde tro på prosjektet.

Takk til Per Henrik Liland for lån av sveiseapparat.



## Innholdsfortegnelse

<b>Figurliste</b>	<i>iv</i>
<b>Sammendrag</b>	<b>1</b>
<b>1 Innledning</b>	<b>2</b>
1.1 Historie	2
1.2 Formål	2
1.3 Omfang	2
1.4 Begrensninger	3
1.5 Oppgavens struktur	3
<b>2 Mulighetsstudie og analyse</b>	<b>4</b>
2.1 Vaffelrørettransport	4
2.2 Røre dosering	7
2.3 Hoved konstruksjon og material	8
2.4 Fjerne stekt vaffel	8
2.5 Vaffellagring/Servering	11
2.6 Styre system/ Drivlinje	11
2.7 Vaffeljern	13
2.8 Studie av elektronikk	14
2.9 Oppsummert system design	15
2.9.1 Kundens behov	16
<b>3 Produktplanlegging</b>	<b>16</b>
3.1 Vaffelsteking	16
3.2 Røre transport skrue	18
3.3 Røre doserings system	21
3.4 Hoved konstruksjon	22
3.5 Mekanisme for åpning av jern og fjerning av vaffel	24
3.5.1 Mekanisme til vaffel serveringsbrett	26
3.5.2 Ombygging vaffeljern	27
3.5.3 Det ferdig designede produktet	29
3.5.4 Elektriske komponenter til Styresystem	29
3.5.5 Oppkobling	34
3.5.6 Program kode	35
3.6 Beregninger	37
3.6.1 Hovedkonstruksjon	37
3.6.2 Øvre jerns mekanisme	40
3.6.3 Rørettransportskrue	43

3.6.4	Lager	45
3.6.5	Servo	46
<b>4</b>	<b>Produksjon</b>	<b>48</b>
4.1	<i>Helse miljø og sikkerhet</i>	48
4.2	<i>Mekanisk</i>	48
4.3	<i>Elektronikk</i>	54
<b>5</b>	<b>Diskusjon</b>	<b>56</b>
5.1	<i>Identifisere kundens behov og fastslå produktets spesifikasjoner</i>	56
5.2	<i>Lage og velge produktets konsepter</i>	57
5.3	<i>Produkttesting</i>	57
5.4	<i>Produktplanlegging</i>	57
5.5	<i>Produksjon</i>	58
5.6	<i>Kostnader og materiell</i>	60
<b>6</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>61</b>
<b>7</b>	<b>Literaturliste</b>	<b>62</b>
<b>8</b>	<b>Vedlegg</b>	<b>65</b>
8.1	<i>Vedlegg A: Forstudie rapport</i>	65
8.2	<i>Vedlegg B: Arbeidstegninger</i>	71
8.3	<i>Vedlegg C: Dokumentasjon standard komponenter</i>	102
8.3.1	Elektronikk	102
8.3.2	Lager	122
8.4	<i>Vedlegg D: Produksjon</i>	124

## Figurliste

<i>Figur 1 Forstudie nedbrutt i vaffelrobotens hovedelementer</i>	4
<i>Figur 2 a til venstre viser en vaffelrøre sprøyte [3] og (b) til høyre viser ventil åpning og røre i fritt fall ned på vaffeljern [4]</i>	5
<i>Figur 3 a og b, Impeller pumpe [5] til venstre og robotarm [6]</i>	5
<i>Figur 4 Arkimedes skrue [8]</i>	6
<i>Figur 5 Eget bilde av gammel kjøkkenvekt</i>	7
<i>Figur 6 Elektrisk aktuator [8]</i>	9
<i>Figur 7a til venstre og 6 b [5] til høyre</i>	9
<i>Figur 8 Vaffelmaskin konsept med veggmonteringsfeste</i>	16
<i>Figur 9 Design tre</i>	18
<i>Figur 10a til venstre viser oppbygning av kant på skruens spiral, b viser skruen i sin helhet uten den oppbygde kanten</i>	19
<i>Figur 11 Feste for rørebeholder</i>	20
<i>Figur 12a til venstre kobling skrue og b til høyre aksling</i>	21
<i>Figur 13 Røre doserings system</i>	22
<i>Figur 14 Hoved konstruksjon</i>	23
<i>Figur 15a til venstre veggfeste, b til høyre fot til bord/gulv</i>	24
<i>Figur 16 a til venstre trapesgjengestag med opplagring, b til høyre viser hele systemet montert på robot</i>	25
<i>Figur 17a til venstre viser opplagring og plassering på hovedramme, b til venstre viser robotens nedre jern montert</i>	26
<i>Figur 18 Serveringsbrett mekanisme</i>	27
<i>Figur 19 Nedre jern</i>	28
<i>Figur 20 Pynteplate i front av øvrejern</i>	28
<i>Figur 21 Viser hengsle til øvre jern samt gjennomføring i lokket</i>	28
<i>Figur 22a til venstre ferdig deign med fot, b til høyre veggmontert</i>	29
<i>Figur 24 Servo til serveringsbrett sett ovenifra</i>	47
<i>Figur 35 a Vaffeljern demontering til venstre 34b materiell til høyre</i>	48
<i>Figur 36a til venstre viser tilpasning av feste i øvre jern 36b ti høyre viser startfasen på hovedramme</i>	49
<i>Figur 37a til venstre viser hovedrammens for, 36b til venstre viser forten montert på hovedrammen</i>	49

<i>Figur 38a til venstre viser konstruksjon av serveringsbrett 38b til høyre viser prøvemontering på hovedrammen</i>	50
<i>Figur 39a til venstre viser en ferdig hovedramme 39b til høyre viser prøvemontering aksling til røretransport</i>	50
<i>Figur 40a til venstre viser nedre jern, 40b til venstre viser akslinger kappet og klar for videre bearbeiding</i>	51
<i>Figur 41a til venstre univeristets dreiebenk, 41b til høyre strimler for tilvirkning av røretransportskrue</i>	52
<i>Figur 42a til venstre over viser robot prøvemontert 42b til venstre viser aksiallageret på trapesgjengestaget.</i>	52
<i>Figur 43a til venstre og b til høyre viser vaffelrobotens tilstand ved produksjons stopp.</i>	53
<i>Figur 44a og b viser det elektriske styresystemet</i>	54
<i>Figur 45a over viser oppkobling og prøve kjøring av en Nema 17 motor b til høyre viser justering av strømtrekk for å beskytte motoren.</i>	54
<i>Figur 46 Prøvemontering i strømskap på hovedramme</i>	55
<i>Figur 47 Produktutviklings faser [26]</i>	56
<i>Figur 48 Kost av endring [27]</i>	60

## Sammendrag

Denne bachelor handler om en produktutviklings prosess. Spesifikasjoner på det ønskede produktet ble gitt i oppgavebeskrivelsen som sier *design og produksjon av en vaffel steke robot*. Roboten er tiltenkt brukt av lærere og studenter ved Universitet i Stavanger, den har som formål å steke vafler uten innblanding av bruker under steke-prosessen. Dette for å frigjøre brukeren fra kontinuerlig oppsyn ved vaffelsteking. Det skal kun lages en utgave av vaffelmaskinen, dette er faktor som har påvirket konseptvalgene og enkelte tungvinne design ble valgt for å fremme et mekanisk preg på roboten. Produktutviklingen starter med å se på forskjellige designløsninger og konsepter som kan brukes under utviklingen av produktet. Løsningene evalueres og analyseres for å gjøre gode valg som blir tatt med videre i utviklingen. Når konseptene er fastsatt begynner produktplanleggingen, her blir delene designet og en plan for produksjon blir lagt. I denne fasen blir det også gjort beregninger på design valgene og arbeidstegninger blir laget for delene som må produseres. Det elektriske komponentene og styresystemet til vaffelroboten blir også planlagt under denne delen av oppgaven. Videre følger produksjonen som for oppgaven gikk bra frem til det ble klart at enkelte designvalg var svært tidkrevende å gjennomføre. Det ble gjort en vurdering om å endre design, men ble besluttet å fortsette med den planlagte løsningen da dette ikke ble avdekket på et tidlig nok stadium. Vaffelroboten ble ikke ferdig til innleverings fristen. Erfaringer fra oppgaven viser at det er viktig å komme tidlig i gang med de tre første fasene i produktutviklingen som er å identifisere kundens behov, fastslå produktets spesifikasjoner og finne konseptløsninger. Det vil kunne peile prosjektet inn på riktig kurs tidlig. Det vil gi mer tid til å analysere konseptvalgene, noe som anbefales å gjøre sammen med kunde for å sikre at sluttbrukerens konkrete behov er tilfredsstilt. De negative sidene ved å ikke komme tidlig i gang med disse fasene blir tydelige gjennom oppgaven. Kommunikasjon med kunde som er veileder for denne oppgaven vil være et viktig hjelpemiddel for sikre at man jobber i riktig retning under oppgavegjennomføringen, i denne oppgaven ble det gjort flere valg uten konferering med kunden, det gjorde at gjennomføringen og slutt produktet avvirket noe fra brukerens ønske. Det viser seg også at tid brukt på planlegging er tid spart ved produksjon.

# 1 Innledning

## 1.1 Historie

Automatisering hadde sin opprinnelse helt tilbake på 1700 tallet under den industrielle revolusjonen. Her ble i hovedsak muskelkraft byttet ut med maskiner. Det store gjennombruddet for automatiseringen kom først på 1920 tallet med Henry Fords bilfabrikk. [1] Siden den gang har utviklingen kommet langt og automatiserte produkter finnes overalt rundt oss. Økonomiske krefter har vært en drivfaktor underveis i utvikling, noen ganger har produkter blitt utviklet for å dekke eksisterende behov. Det finnes også mange tilfeller hvor produkter er blitt utviklet for å dekke et ikke eksisterende behov. Iphone som kom i 2007 er et godt eksempel på dette. Produktet ble utviklet med berøringsskjerm i et marked hvor dette ikke eksisterte. Det ble en suksess og kun få år etterpå var dette noe alle hadde, eller ønsket å skaffe seg. Støvsugereren har også gått igjennom en utviklingsprosess fra feiing med kost og brett til dagens støvsugerrobot. For vaffelsteking har det vært lite utvikling siden grekerne begynte å steke kaker mellom to jernplater. På middelalderen ble jernene utviklet med mønster og det var ikke uvanlig å bruke våpenskjold og andre emblemer som dekor på vaffelplatene. I 1869 tok amerikaneren Cornelius Swearthout patent på et elektrifisert vaffeljern omtrent slik vi kjenner det i dag. [2] Det har siden den gang blitt en vanlig gjenstand i de fleste husstander. Men noe videre utvikling av den manuelle steke prosessen har det ikke vært.

## 1.2 Formål

Vaffelsteking kan være en langtrukken prosess dersom man skal lage mange vaffler. Det er ifred med å endre seg for lærere og elever ved UIS. Formålet med denne oppgaven er å lage en automatisert vaffelsteke robot. Man skal kun tilføre vaffelrøre deretter skal roboten være istand til å steke flere vaffler uten innvirkning fra brukeren. Det ferdige produktet skal være så kompakt at den kan stå på ett bord eller vegg/tak monteres, samtidig som det er trygt og enkelt å anvende for alle eventuelle brukere.

## 1.3 Omfang

Vaffel roboten skal designes, beregnes, og produseres. Det vil bli tatt utgangspunkt i et standard vaffeljern som vil bli modifisert og implementert som et nøkkelement i et system som består av flere komponenter. Et styresystem må også brukes for å få alle komponentene til å fungere i samspill. Roboten vil bestå av en blanding egenproduserte og kjøpte deler og målet er å framstille en prototype som har ett mekanisk preg assistert av elektronikk.

## 1.4 Begrensninger

Gjennom arbeidet med oppgaven vil man ha tilgang på verkstedet ved Universitet i Stavanger. Her finnes det meste av utstyr som trengs for å lage vaffelroboten. Delene av arbeidet man trenger spesielt verktøy eller maskiner til, kan utføres der. Det legges opp til at mye av arbeidet foregår hjemme da også covid-19 situasjonen tidvis kan kreve det. Robotens størrelse skal være slik at den kan plasseres på et bord eller vegg/tak monteres. Robotens funksjon begrenses ved at den kun skal steke vafler ikke lage røre. Et gjennomsnittlig vaffeljern veier cirka 2- 3 kg, derfor vil hoved strukturen for vaffelmaskinen sannsynligvis bli noe overdimensjonert. Vurdering og beregning vil gjøres på konstruksjonens antatt svakeste og mest utsatte punkter, altså ikke en fullverdig analyse av hele konstruksjonen. De elektriske systemet vil forsøkes og holdes enkelt uten for mye følere og sensorer i ønske om å forenkle systemets kompleksitet. Kostander forsøkes å holdes nede, men både material og komponenter må kjøpes inn før produksjon.

## 1.5 Oppgavens struktur

For å kunne løse denne problemstillingen brytes vaffelstekingens prosessen ned i ett blokk diagram for å danne oversikt over de forskjellige prosessene. Ett forstudie av lignende roboter og maskiner følger etterpå for å hente inspirasjon og for å se om det finnes noen lignende løsninger som kan passe til akkurat denne oppgaven. Mulighets studiet analyseres for å finne de beste løsningene. Analysen brukes videre til å sette opp et design tre. Design treet brukes under produktplanleggingen som innebærer design og produksjonsplanlegging av de valgte løsningene. Beregninger som er gjort underveis i produktplanlegging vil komme i kappitelet etter. Den neste delen av oppgaven er produksjons delen hvor roboten tilverkes og sammenstilles. Produksjonsdelen etterfølges av en diskusjon og konklusjon. Forstudie rapport, arbeidstegninger brukt for egen produksjon, produkt spesifikasjoner og bilder fra fra produksjonen som ikke ble tatt med i oppgaven finnes som vedlegg.

Outsource = Flagge ut arbeid til noen andre

Pitch = gjenge stigning

CNC maskin = computer numerical controlled ( stryng ved hjelp av datamaskin.)

RPM = Rotasjon per minutt

PMW = Pulsbredde modulasjon (en type signal brukt ved elektronikk styring)

Resistivitet = motstand ohm ( måles med et multimeter )

## 2 Mulighetsstudie og analyse

En vaffelrobot har som hovedformål å gi brukerne spiseklare vaffer. Under er de forskjellige prosessene som inngår i automatiseringen delt inn i fem hoved deler som vist på figur 1 under



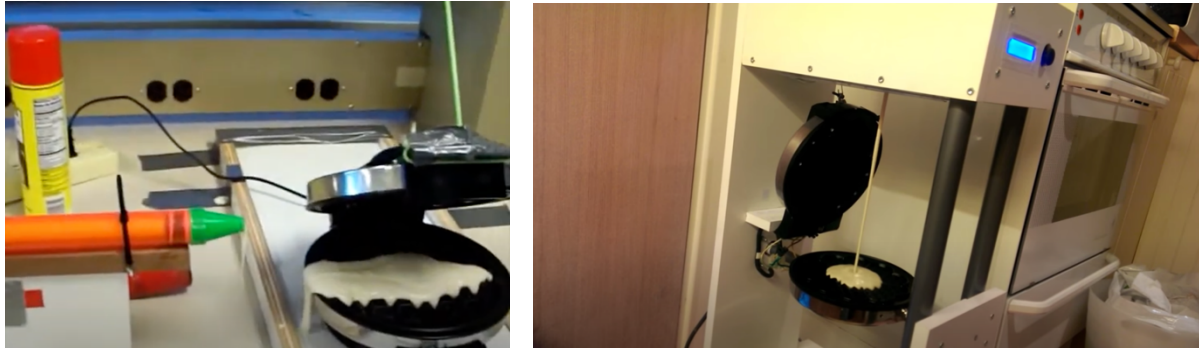
Figur 1 Forstudie nedbrutt i vaffelrobotens hovedelementer

### 2.1 Vaffelrøretransport

#### Mulighetsstudie

Ved å se nærmere på vaffelrøre transport finnes det mange alternativer, en innovativ løsning kan man se på figur 2 a [3] under hvor det er benyttet en stor sprøyte som blir presset sammen. En annen løsning er å plassere røren over jernet og lage en ventil som åpner en gitt tid og slipper røren ned på nederste del av vaffel jernet. Denne løsningen kan man se på figur 2 b [4]





*Figur 2 a til venstre viser en vaffelrøre sprøyte [3] og (b) til høyre viser ventil åpning og røre i fritt fall ned på vaffeljern [4]*

En magnetisk impeller pumpe kunne man også valgt å benytte seg av. Da vil man stå friere med tanke på plassering av røre beholder og ville ved hjelp av slanger kunne lede røren til ønsket sted, pumpen er vist på figur 3 a [5] under. En slik pumpe ville gjort renhold mere utfordrende, en prosedyre for rengjøring av pumpe og slanger måtte blitt utarbeidet. En robot arm som utfører alle operasjonene i vaffel-steke prosessen, til og med vaffelrøretransporten kunne også vært en mulighet. Man kan i figur 3 b under [6] se et eksempel på dette.



*Figur 3 a og b, Impeller pumpe [5] til venstre og robotarm [6]*

En gammel oppfinnelse som heter Arkimedes skrue virket interessant, vist på figur 4 under. Den ble utviklet for å transportere vann oppover av den greske vitenskaps mannen Arkimedes helt tilbake til 2-300 år før Kristus. [7] Av skrues prinsipp er det blitt laget et utall varianter for eksempel et rør tvinnert rundt en aksling eller ett rør delt i to på langs under skruen. For komplett røretransport må det også her utvikles en metode for dosering av røre, det vil gjelde for alle løsningene utenom robotarmen som kan benytte en ause med ønsket volum.



*Figur 4 Arkimedes skruer [8]*

#### Analyse

Arkimedes skruen ble valgt som løsning for røre transport. Skruen blir plassert ned i en rørebeholder, den blir drevet rundt ved hjelp av en elmotor. Røren transporteres oppover og slippes ned i et målebeger som ved hjelp av en mekanisme stanser skruen når riktig mengde røre er nådd. Nøyaktig samme mengde røre til hver vaffel blir lettere å oppnå og skruen og rørebeholdere vil være lett å fjerne for rengjøring i en oppvaskmaskin. Antatt lettere enn alternativene, som ventil i en fastmontert røre beholder som på figur 2 b, eller impellerpumpen på figur 3a. Dette vil være enklere for en førstegangsbruker av roboten å finne ut av, i motsetning til demontering av impellerpumpen selv om også disse er relativt enkle å rengjøre, og ved hjelp av vann rengjøres grovt bare ved å spyle gjennom systemet tilstrekkelig. Sprøyten i figur 2 a ble uaktuell da dette ville være en dårlig og ufullstendig løsning for denne oppgaven da den måtte videreutvikles om man ville steke mere en vaffel, samtidig vil den lage en del søl. Arkimedes skruen ble foretrukket foran en impellerpumpe på grunn av de sanitære utfordringene ved flere brukere av maskinen. Den ble også foretrukket foran tanken grunnet enklere rengjøring. Skruen lages i rustfritt syrefast stål da det ikke vil korrodere ved gjentatte runder i oppvaskmaskinen, materialet er også godkjent for bruk i mat produksjon. Her vil man kunne se om den er rengjort eller ikke uten å måtte demontere noe som helst. Basert på studie av slike skruer i bruk kan det forventes noe søl fra skruen og det må vurderes ettermontering av en røre oppsamler løsning om det skulle bli nødvendig. Valget av arkimedes skruen er ikke det mest innovative, men vil være med på å gi roboten ett estetisk særpreget og enkel rengjøring.

## 2.2 Røre dosering

### Mulighetsstudie

Dersom ett alternativ som krever røre dosering velges, vil det si at røren ikke kan gå direkte fra pumpe eller fall fra overliggende beholder. Da kunne ett alternativ være bruke en digital vekt som sender ett signal til en elektronisk styring for å veie mengden røre. Når ønsket vekt er nådd stopper fyllingen. Videre må begeret helles inn på vaffeljernet når det passer inn i steke-syklusen, dette gjelder for alle alternativene nevnt her. En gammeldags vekt som vist på figur 5 under med vippe prinsipp kan også være en mulighet som da ved riktig mengde røre berører en mikro bryter eller mekanisk kobler ut fylle mekanismen. Nivå måler med flottør er også en mulighet, i industrien finnes en mengde avanserte alternativer.



*Figur 5 Eget bilde av gammel kjøkkenvekt*

En vaffel antas å ha ett rørevolum på ca 1 dl avhengig av vaffeljern type. Det vil sammen med kostnad utelukke mer avanserte målesystem fra industri. Bruk av flottør vil måtte være i kontakt med rører og gi et ekstra objekt som må rengjøres for hver gang jernet er i bruk. Det vil også kunne komplisere måten røren blir helt inn på jernet da flottøren og dens elektronikk vil måtte kunne være med på de nødvendige bevegelsene. Bruk av vektcelle er mulighet, men den mekaniske vekten som kun trenger en mikro bryter for å signalisere at rørebeget er fullt vil være å foretrekke. Den vil gi brukeren mulighet til å se hva som skjer underveis i røre transporten og gi et estetisk preg til roboten. Må kompletteres med ett system for å helle røren inn på jernet som må designes videre.

## 2.3 Hoved konstruksjon og material

### Mulighetsstudie

Flere materialer ble vurdert og kunne blitt valgt da ikke hele roboten vil være i kontakt med mat. Men av estetiske grunner var det metall som var det foretrukne materialet. Både rustfritt, konstruksjons stål og aluminium er lette å bearbeide og vil kunne fungere bra til formålet.

### Analyse

Materialvalg for hovedrammen ble rustfritt stål. Dette vil gi ett renslig uttrykk samtidig som det er lett å jobbe med. Det vil ikke behøve overflate behandling i etterkant slik konstruksjons stål ville gjort, samtidig som metall sammenføynings utstyr vil være lettere tilgjengelig en ved bruk av aluminium. En hovedramme i firkantør med braketter og tilpasninger for alle øvrige funksjoner vil gi en solid konstruksjon. Miljøet den skal brukes i gjør at størrelsen ikke er avgjørende så lenge den kan vegg eller takmonteres. Velger å lage et feste for veggmontering istedenfor takmontering da det gjør montering lettere og ved å produsere flere veggfester kan maskinen flyttes mellom flere lokasjoner. En fot for bruk på et bord eller på gulv vil også produseres for å lette arbeid på robot underveis og fleksibilitet dersom bruksområde endres. Transport skruen vil komme i kontakt med røren før vaffelen stekes. Materialvalget for skruen er derfor 316L rustfritt stål også kjent som kirurgisk eller syrefast stål. Det er ett austenittisk ikke magnetisk stål som er mere motstandsdyktig mot ytre påkjenninger som sure miljøer. Det er en ståltype som ofte blir brukt som konstruksjonsstål og i rør. Den vil ikke gi fra seg metalliske stoffer til røren, en annen legering av denne ståltypen kalt 18/8 legert med 18% krom og 8% nikkel er vanlig brukt til gryter og kasseroller. Mens 316L inneholder 12–30 %) og nikkel (7–30 %) samt andre metaller, ofte molybden (2–3 %) og kan også brukes i mat produksjon [9]

## 2.4 Fjerne stekt vaffel

### Mulighetsstudie

Øvrejern:

For å løfte øvre vaffeljern er det mange alternativer som er blitt benyttet tidligere. En liten vinsj som trekker jernet åpent ved hjelp av wire som går gjennom trinser er en løsning.



Figur 6 Elektrisk aktuator [8]

En elektrisk aktuator som på figur 6 over [10] kan være en mulighet, montert direkte på øvre jern mot ramme bak eller via en arm for å tilpasses til aktuatorens vandring om nødvendig. Robotarm med tilpasset verktøy vil også kunne programmeres til denne jobben. En vippearmontert på jernet, men istedenfor en elektrisk aktuator blir bevegelsen igangsatt av en elmotor festet i et trapesgjengestag som Z-aksen på en 3D-printer. Mutteren på trapesgjengestaget trekker eller drar i armen for å åpne jernet. Jernet må ikke være hengslet som det er tradisjonelt sett, men kan løftes rett opp fra nedre jern med aktuatoren eller ett trapesgjengestag og guide skinner montert på hver side for stabilitet.

Nedre jern:

Når vaffelen er stekt og skal fjernes fra det varme jernet er det en løsning som lar tyngdekraften gjøre jobben, når øvre del av jernet er åpent vil nedre del vri seg 180 grader som vist på figur 7a under [4]



Figur 7a til venstre og 6 b [5] til høyre

Det ble vurdert en løsning med arm og ett verktøy slik som figur 5 b viser. En annen løsning som ble vurdert, var å bore luftkanaler i jernet og bruke trykk for å løfte vaffelen løs. For deretter å bli dratt til siden av en gaffel eller egnet utstyr. Røre i luftkanalene vil kunne skape problemer på sikt. Prøve å gjøre det motsatte ble også vurdert. Da var tanken å lage en arm som ble plassert over vaffel med gummi mansjetter mot vaffelen og bruke en liten støvsuger motor til å danne ett undertrykk så vaffel skulle suge seg fast i arm og kunne løftes til siden. Stekefett må påføres mellom hver vaffel. En spray benyttes til dette med slange og dyser som retter strålen mot øvre og nedre jern. En enkel løsning er å bruke ekstra smør i vaffelrøren, eller la brukeren spraye overflatene og la det være nok til neste bruker setter i gang. Dette må undersøkes nærmere.

## Analyse

### Øvrejern:

Elektriske aktuatorer viser seg å være relativt kostbare. En vinsj med wire virker som ett spennende alternativ, men vil ikke se så fint ut og spoling av wire på trommel kan føre til feilspoling og oppbygning på trommel, dette kan gi unøyaktighet til systemet. Ved å løfte øvre jern av uten hengsler fryktes det at vaffelen ikke vil slippe taket på samme måte som ved bruk av tradisjonell side hengslet åpning. Alternativet med bruk av et trapesgjengestag på en arm montert fra øvre jern til hovedramme som en vippe velges som beste alternativ. Da vil kraftarm monteres med en hengsle mot trapesgjengestag som kan dra eller trekke i armen som igjen åpner og lukker øvre vaffeljern.

### Nedrejern:

Boring av luftkanaler i jernet eller en arm med vakum for å løfte av vaffel virker som en svært avansert løsning med stor fare for svikt. Ligger vaffelen igjen på jernet når neste runde med røre blir hullet på vil det skape store problemer som gjør maskinen upålitelig for brukeren. Ved bruk av en robotarm med gaffel/verktøy vil man også kunne støte på utfordringer, vaflene kan bli forskjellige mens robot armen gjør nøyaktig samme bevegelse hver gang. Da virker løsningen hvor tyngdekraften virker på vaffelen mest pålitelig når flere vaffer skal lages etter hverandre. Nedre del av jernet må plasseres på en aksling som roterer 180 grader fra utgangs posisjon for å la vaffelen falle av. Før jernet roterer tilbake og er klart for påfyll av røre igjen.



## 2.5 Vaffellagring/Servering

### Mulighetsstudie

Vaffelroboten skulle kunne brukes av førstegangsbrukere som ikke har operert den før. Det var derfor fint med ett signalement på at steke prosessen er ferdig og det er trygt å forsyne seg selv med vafler fra serveringsbrett/tallerken. Ved å sette en leddet arm under serveringsbrettet vil man kunne avslutte en steke syklus med armen i utslått posisjon. En ny papptallerken kunne da bli plassert av neste bruker før neste igangsettelse av maskinen. Alternativer til dette er å signalisere dette med diodelys eller en ringeklokke/ alarm. Man kan også la være å gjøre noe her og la det være opp til brukeren å følge med på prosessen.

### Analyse

En arm som kjører vaflene ut mot bruker, samtidig som en lydalarm vil fortelle bruker at vaflene er ferdig stekt vil gjøre det enklere for bruker samtidig som man kan la maskinen jobbe uten tilsyn i påvente av signal om ferdig stekt vaffel.

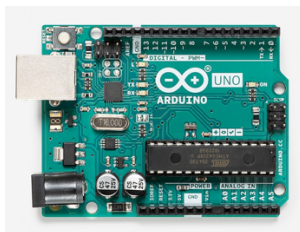
## 2.6 Styre system/ Drivlinje

### Mulighetsstudie

Samkjøring av flere prosesser var målet. Dette kan gjøres på flere måter. I utgangspunktet var en hovedsakelig mekanisk løsning foretrukket. Ved å benytte en stor tannkrans som utgangspunkt og la den bli drevet av en liten elektromotor, resten skulle være mekanisk nesten som ett urverk. En runde på tannkransen skulle tidsmessig være en steke syklus. De andre prosessene som skal gjøres underveis skulle kobles inn og ut med mekaniske løsninger drevet av nettopp denne store tannkransen. Da en steke syklus, ville tilsvart en runde på hjulet ville man ha mulighet for å feste anordninger for å helle røre fra målebeger over på vaffeljern eller spraye stekefett. Man kunne også brukt deler av en tannkrans montert på den drivende tannkrans i en annen høyde for å drive andre funksjoner. Da ville vaffeljern være montert over tannkrans og serveringsbrett i midten av tannkransen. En noe mer elektrifisert løsning kunne være å beholde prinsippet med den mekaniske tannkransen, men bruke servoer for inn utkobling av tannhjul som driver prosessene videre fra tannkransen. Dette ville være en bedre løsning som gjør at man kunne beholde prinsippet med en særdeles mekanisk innretning. Man vil også kunne bruke samme prinsipp fra drivverk til røretransport og vaffelfjernings prosess. Utfordring her ville blitt inn utkobling av bevegende tannhjul mot stillestående tannhjul som

kan medføre utfordringer når det kommer til nøyaktighet på ønskede bevegelser og påkjenninger tannhjulenes tenner ved inngrep. Et enda mer elektrifisert system vil gi stor mulighet for finjustering og det vil være lettere å justere en prosess, uten å påvirke en annen. Systemet vil da ha en motor eller servo til hver av operasjonene. Samtidig som man ved hjelp av mikro bryter kan stoppe en operasjon i ønsket posisjon. Ved denne løsningen vil man kunne beholde det mekaniske preget over roboten, men samtidig få en samkjørt prosess som gir rom for endringer i prosessen underveis om det skulle bli nødvendig. Det vil da være mulig å komplettere bruker Interface med å velge brytere og en LCD-skjerm.

Hendels basert styring kunne også vært en form for elektrisk styring. Det er da koblet opp på en måte som tilsier at når en hendelse inntreffer kan den neste hendelsen skje. Selve styringen som lar brukeren operere vaffeljernet kunne gjøres ved hjelp av en Arduino, Rasberry Pi eller Adafruit mikro kontroller som på Figur 7 under (det finnes mange leverandører på markedet). Dette er små utviklings baserte krets kort som er laget for sammensetting og bruk i forskjellige systemer. Når man kjøper ett slikt kretskort er det klart for programmering rett ut av esken. Kontakter for strømtilførsel og tilkobling til en datamaskin er klargjort på kretskortet sammen med mulighet for tilkobling av flere komponenter som da kan styres av mikro kontrolleren. Her er det mange muligheter og det finnes masse tilhørende komponenter med god tilgjengelighet. Programmeringsspråket til Arduino er basert på C++ og gjøres i et eget Arduino IDE (Integrated Development Environment) [11]



*Figure 7 Programmerbar Arduino mikro kontroller [11]*

## Analyse

De to første nesten helmekaniske løsninger ble valgt bort. Ulempene med disse systemene var veldig mange bevegelige deler med lite rom for justering. Det ble vanskelig å finne gode løsninger på alle prosessene. Høye krav til presisjon ved utarbeiding av roboten samtidig ville kosten blitt høy om det måtte outsources produksjon av tannhjul og andre deler. Mulighet for justeringer ville nesten ikke være til stede etter ferdigstilling av roboten. Hendelses basert styring vil ikke gi samme spillerom for justering som en mikro kontrollers programmering og bruk av LCD som Interface mot bruker vil være mere komplisert. Løsningen med elektrisk



styring av hvert mekaniske komponent vil gi spillerom for justering av funksjonalitet og samspill på alle prosessene. Ved å benytte det elektrifiserte systemet sammen med en mikro kontroller vil man få et veldig funksjonelt system som for eksempel lukker og slår av vaffeljern mellom brukere, kan kjøre flere steke sykluser uten stopp. Grensesnittet for brukeren av systemet plasseres lett tilgjengelig på hovedrammen. Utfordring med dette systemet er at det er består av mange komponenter og krever programmering. Men basert på alternativene for styring virker det allikevel til å være den beste løsningen for prosjektet. Forskjellige varianter har blitt vurdert, men de alternativene det er størst tilgang på er tilegnet for proff industriell bruk. For eksempel en siemens PLS (programbar logisk styring) som er veldig kostbar. Elektriske komponenter som skal styres av Arduinoen må velges ut. En modul laget for en 3D-printer vil kunne passe prosjektet fint og er laget for å kunne kontrollere flere små motorer og servoer i kun en modul.

## 2.7 Vaffeljern

### Mulighetsstudie

Til steking finnes det utallige vaffeljern på markedet. Vaffeljernet måtte ha gode innfestnings muligheter i hengslene for videre ombygging. Det var hovedkriteriet samtidig som en termostat for finjustering av vaffelens steketemperatur er et pluss for å den justeringsmuligheten. Det finnes jern i forskjellige størrelser, det finnes også doble jern som steker to og to vafler samtidig.

### Analyse

Etter besøk i to el-vare forhandlere for å kikke nærmere på hengsler og konstruksjon, falt valget på et Wilfa Bell på 1400 w. Dette er et enkelt vaffeljern som vil passe godt til oppgaven. Det har en 6 hjerters steikeform med en diameter på 23 cm. Dette er det største vaffeljernet som steker enkle vafler i tillegg skal ett slipp belegg gjøre at behovet for påføring av stekefett frafaller. Det var ikke så stor forskjell på hengslene mellom de forskjellige vaffeljernene, men de hadde alle til felles at det vil kreve omfattende modifisering for å tilpasses til en automatisert steke robot.

## 2.8 Studie av elektronikk

### DC motorer

DC (Direct Current) eller likestrøms motorer er to kablede (strøm forsyning og jording) kontinuerlig roterende motorer. Ved å sette strøm på kablende vil motoren rotere, og retningen på motoren kan endres ved å skifte polaritet. Det er vanlig at DC motorer roterer med høy hastighet og blir brukt i mange applikasjoner som kjølevifter, fjernstyrte biler etc. Ved å bruke PWM (pulsbredde modulasjon) kan hastigheten på en slik motor reguleres. Motoren vil da tilføres pulser som slår av og på motoren. Hvor lenge pulsene gir strøm til motoren vil avgjøre motorens hastighet. Ved 50% av tiden på og 50% av tiden av vil motorens hastighet tilsvare halvparten av maxfart. Pulsene er så hurtige at de ikke kan observers. Det finnes flere motorer med utveksling som kan gi lavere rotasjonshastighet og høyere moment. [12]

### Servo Motorer

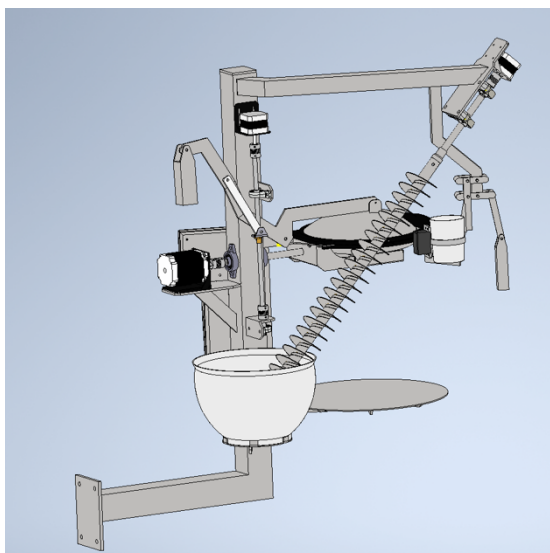
En servomotor er en sammensetning av fire ting, likestrøms motor, utveksling, kontroll krets og en posisjons sensor. I industrien er servomotorer kjent som motorene som mest presise. Sammenlignet med en vanlig likestrøms motor vil en servo normalt ha tre ledninger (strøm forsyning, jording og signal). Servoen tilfører et kontinuerlig strømsignal og kontrollkretsen regulerer strømtrekket for å drive motoren. Servoer er designet for spesifikke oppgaver der nøyaktighet spiller større rolle uten behov for fri rotasjon. Eksempler kan være ved bruk i en robotarm eller til styringen av en radiostyrt bil. Noen servoer kan rotere 360 grader, de er bygd opp annerledes og har istedenfor å benytte input signal til å fortelle posisjonen. Bruker den inputsignalet til å finne forholdet mellom output og farten til servoen for å avgjøre posisjonen. Mest vanlig er servoer med 180 graders bevegelse, på disse servoene blir det gitt et input signal som representerer en output posisjon for servoen, som da roterer til den satte posisjonen. PWM signalet blir også brukt til å kontrollere servoer og lengden på de positive pulsene avgjør posisjonen. En nøytral puls holder servoens aksling i senter posisjon. Ved å øke lengden på pulsene vil servoen rotere med klokken. Reduseres pulsens lengde vil den rotere mot klokken. En servo trenger alltid et signal selv om det betyr at den skal stå i ro. Når servoen står i gitt posisjon vil den motarbeide krefter som jobber for å få den ut av posisjon. Kan gi raske bevegelser med høyt dreiemoment. [12]

## Stepper Motorer

Den vanligste formen for steppermotor har en rotor som er permanent magnetisk, mens stator er en elektromagnet som magnetiseres av en vikling. Denne viklingen består av to strømkretser, slik at magnetiseringen av stator bestemmes av strømmen i to ledningspar. Når det går en gitt strøm i hver av ledningsparene, vil rotoren stå stabilt i en gitt stilling. Dersom strømretningen i det ene ledningsparet vendes, vil rotoren forflytte seg en viss vinkel til den ene siden, mens den vil forflyttes samme vinkel til den andre siden dersom strømretningen i det andre ledningsparet vendes. Ved sekvensielt å vende strømmen i de to ledningsparene, vil dermed motoren drives trinnvis rundt. Vanligvis er motoren laget slik at en omdreining er delt opp i mange trinn, for eksempel 48, 96 eller mer. Antall trinn vil alltid være et multiplum av fire. Styringen av strømmen i viklingen foregår oftest elektronisk. En slik motor vil kunne stå stille å gi en holde imot krefter som virker på den, i motsetning til en likestrøms motor som ville brenne spolene. De tette steppene gjør at motorene har mye moment for sin størrelse og er svært nøyaktige, men med lavere rotasjonshastighet. Blir mye brukt i 3D printere og CNC maskiner. [13]

### 2.9 Oppsummert system design

Vaffelroboten med de valgte løsningene blir funksjonaliteten som beskrevet her. Hovedkonstruksjon laget av rustfritt firkantrør, en elmotor plassert i topp av Arkimedes skrue for å drive skruen. Ett målebeger på en vippe som er balansert slik at man kan tilpasse røremengden ved å tilføre vekt på en side av vippen plassert under toppen av skruen. En mikro switch stanser elmotor(skrue) når ønsket mengde er nådd. En servo assisterer tømning av målebeger inn på jern. Et trapesgjenget stag som i figur assistert av en elmotor som trekker i en påmontert arm festet i øverste del av vaffeljernet, jernet åpnes. En elmotor styrer rotasjon av nederste jern for fjerning av stekt vaffel og en servo brukes til operasjon av serveringsarm. Figur 8 under viser vaffelsteke roboten med de valgte løsningene.



*Figur 8 Vaffelmaskin konsept med veggmonteringsfeste*

### 2.9.1 Kundens behov

Ved å fortsette arbeide med det valgte konseptet for vaffelroboten anses det å besvare kundens behov for funksjonalitet. Konseptet vil kunne gi spiseklare vafles med minimal innsats fra brukeren under steking. Rengjøring vil kunne gjøres enkelt og det gir rom for forskjellige brukere uten noen form for forhånds kunnskaper.

## 3 Produktplanlegging

Inventor har blitt brukt til utvikling av konseptet og til å lage arbeidstegninger. Bilder fra Inventor som illustrerer de forskjellige komponentene er vedlagt. Arbeidstegningene finnes i Vedlegg B.

Produkt spesifikasjonene er vedlagt i Vedlegg C

Beregningene utført i produktplanleggingen ligger i delkapittel 3.6 Beregninger.

### 3.1 Vaffelsteking

Vaffeljernet kjøpes inn og prøve stekes for å få en mengde informasjon som kan bli nyttig senere i planleggingen. Spesielt vil tider for oppvarming av jern, steketid, røremengde og om en vanlig røresammensetning vil gjøre at vaffel slipper fra jernet som avertert vil være av interesse for å kunne gå videre med de designvalgene som er gjort. Det vil også være nødvendig informasjon for programmering av roboten. Dette må det redegjøres for før vaffeljernet demonteres for videre inspeksjon og tilpasning til vaffelroboten. For å sikre konsistente resultater benyttes Toro vaffelmix. For å ta høyde for variasjon i steke prosessen

er det utført ti tester for å undersøke hver av variablene nevnt ovenfor, gjennomsnittet er presentert nedenfor. Romtemperatur under testene var 20 grader.

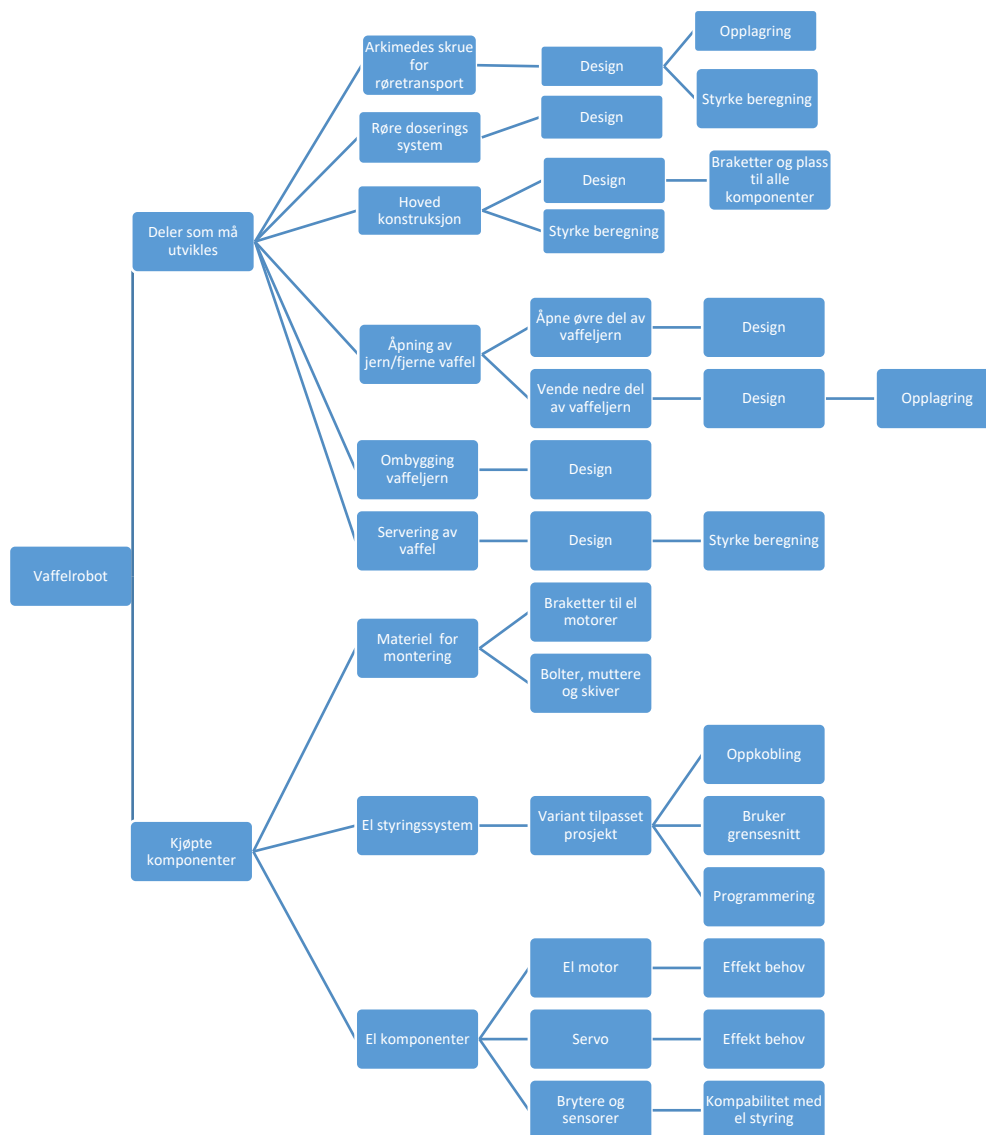
Oppvarming: 2 min 30 sek

Steketid: 3 min 15 sek (termostat innstilt i midtposisjon)

Perfekt røredosering: 0,1 Liter

Ifølge brukerveiledningen er kun behov for smøring av jernet ved førstegangsbruk. Etter å ha gjennomført tester med standard Toro vaffelrøresammensetning ble det avdekket at dette ikke var tilstrekkelig. Det ble gjennomført forsøk der mengden margarin ble økt med henholdsvis 5%, 10% og 15%. Undersøkelsene viste at ved å tilsette 10% ekstra margarin slapp vaflene som ønsket når lokket ble åpnet, og nedre del av jernet ble rotert 180 grader.

Anbefalt oppskrift på røren vil bli hengt opp på vegg ved siden av vaffelrobot sammen med bruksanvisning. Vaffeljernet ble demontert og inspisert. Det ble avdekket behov for mekanisk tilpasning for at jernet skal være kompatibelt med design løsningen for vaffelroboten. Det vil også være nødvendig å forlenge ledninger mellom øvre og nedre jern.



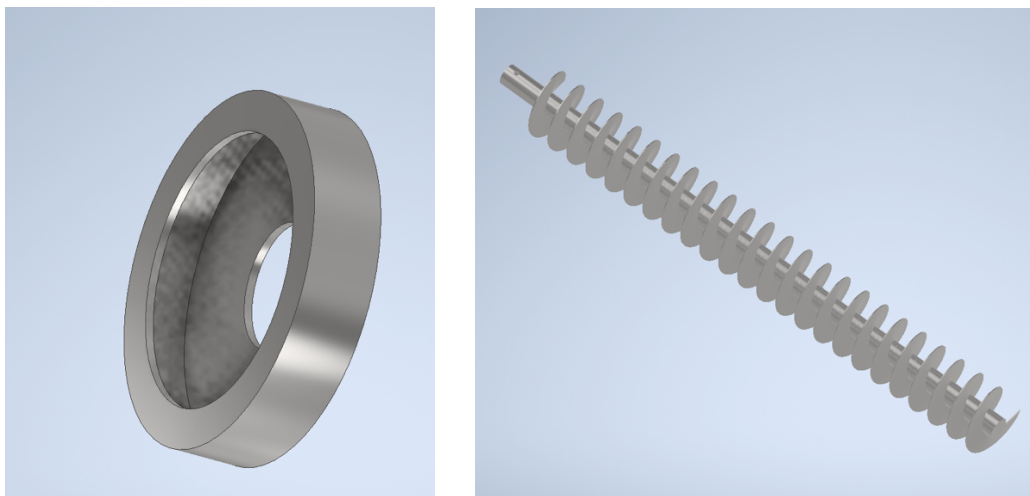
Figur 9 Design tre

Figur 9 viser et design tre utviklet for å danne en oversikt over alle komponentene. Her er de forskjellige systemene vaffelroboten består av delt opp systematisk og hensyn som må tas ved de forskjellige delene belyses.

### 3.2 Røre transport skruer

Formålet med skruen er å transportere røren fra beholder over i røremålebegeret. Skruen settes sammen av skiver med diameter 62mm med et innvendig hull på 22mm og et snitt som deler skiven fra ytterkant inn mot senterhull. Skivene med en tykkelse på 1,5mm plasseres ut

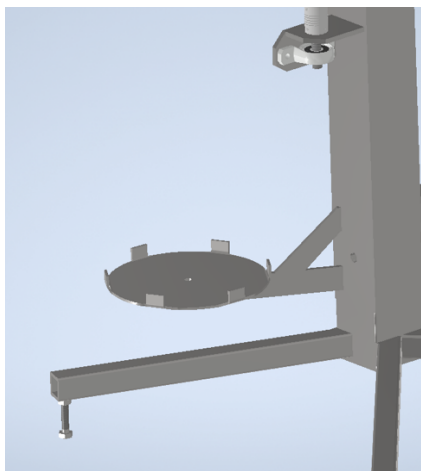
med 24mm pitch. Hver skive må derfor bearbejdes slik at når skiven plasseres på røret og røret holdes vertikalt vil det være 20mm fra nedre del av snitt som da vil gå i spiral rundt røret til øvre del av snitt 20mm høyere hvor den må sammenføres med neste skive. Dette vil sammen med et 21mm rør i senter av skivene danne røre transport skruen. For å kunne transportere røren oppover langs skruen må den kompletteres med en kant vinkelrett på skivene. En 8mm høy kant med tykkelse 1mm sammenføres med de nederste skivene. 10mm kant benyttes på skruens del som er over røre beholderen. Figur 10a under illustrerer det som beskrives over, her modellert uten stigning og røret i senter av skruen. Figur 10b viser hele skruen uten den oppbygde kanten, hull for montering mot aksling vises i toppen av skruen.



*Figur 10a til venstre viser oppbygning av kant på skruens spiral, b viser skruen i sin helhet uten den oppbygde kanten*

Strimler kappes på 1000x8 mm fra plater og bøyes rundt spiralen dannet av skivene og sammenføres langs kanten. En ny «Topp» skive med diameterer 62mm med ett senter hull på 54mm sammenføres vinkelrett på toppen av kanten for å gi røre transporten høyere kapasitet og forhindre søl ved ujevnheter i de håndbearbejdede diskene. Disse skivene må også snittes og vil følge spiralen oppover og må skjøtes for hver runde rundt røret i senter. Toppen av røret blir maskinert til en innvendig diameter på 17,50mm, slik at det passer på koblingen mellom skrue og aksling. Skivene må være runde og nøyaktig kappet for å få en god sammenføyning i de tynne metall platene. Hverken universitetet eller lokal blikkenslager hadde utstyr for å gjøre dette. Jobben ble derfor satt bort til Steis Mekaniske verksted som kunne vannskjære de ønskede skivene. Vannskjæring er en teknologi som pumper vann med ett voldsomt trykk på opp til 3800bar som konsentreres til en stråle på 1mm. Ved skjæring i metall tilsettes sand i vannet som gir en voldsom skjærkapasitet. CNC maskinen programmeres med ønskede mål og gir ett resultat som ikke trenger videre bearbejding.

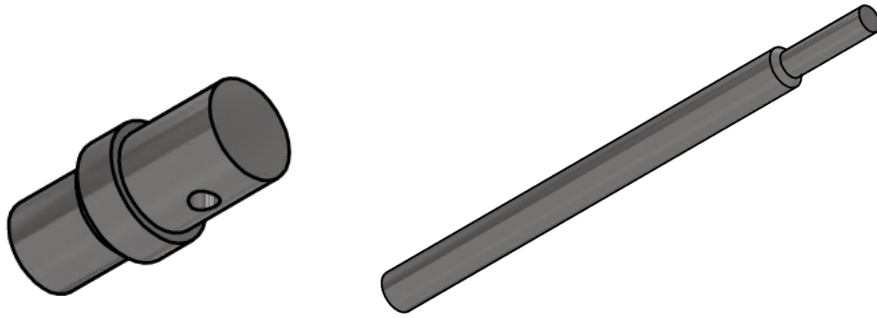
Kanten på 8mm og 10mm kan kappes fra plater i universitetets verksted. Topp skiven finnes i sortimentet til Alf i Larsen. Metal sammenføyning av delene vil bli utført med et TIG sveiseapparat. Ved sveising av tynnplater må det benyttes en Wolfram elektrode på 1,6mm sammen med en 1,6mm 316l tilsatstråd. Wolfram slipes slik at tuppen blir spiss for å få en konsentrert lysbue for minst mulig varmeutvikling i metallet rundt smeltebad som kan gi spenninger og deformasjon av emnene. Skruen henter røren fra en rørebeholder, her tas det utgangspunkt i en 5 liters plastbolle, beholderens feste tilpasses til akkurat denne bollen. En solid brakett fra hoveddrammen kompletteres med en rund plate som er tilpasset bunnen på plastbollen som figur Figur 11 under viser. De bøyde kantene skal hindre at bollen beveger seg.



*Figur 11 Feste for rørebeholder*

Opplagring og sammenkobling med elmotor blir gjort på braketten på hovedarmens horisontal arm. En aksling må bearbeides for å passe kobling mot elmotor på 8mm og en overgang mot skruen må tilvirkes. Aksling, skrue og kobling må prøvemonteres før sammenføyning og kapping av akslingens nøyaktige lengde for å sikre at skruen kommer helt ned i rørebeholder og får med all røren. Akslingen brukt blir 12mm i henhold til beregningene utført. Kobling mellom aksling og skrue er vist på Figur 12a under. Hullet i koblingen er for hurtig montering av skruen mot koblingen som er sammenføyd med akslingen. Figur 12b viser akslingen klargjort for kobling mot elmotor.



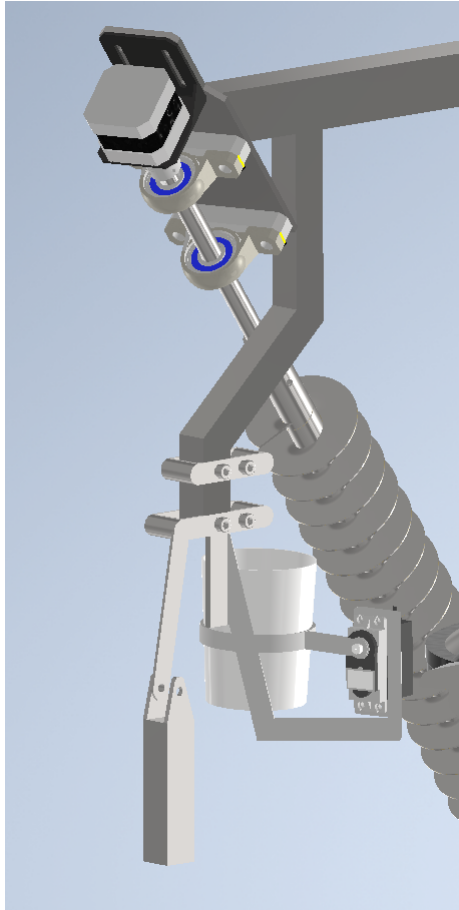


*Figur 12a til venstre kobling skrue og b til høyre aksling*

Røretransportskruen opplagres av to lagerblokker av typen KP001 og er oppgitt til å tåle 5100N dynamisk og 2400N statisk belastning som langt overgår behovet ved bruk i roboten. Lager blokkene kan ses på figur 13 under neste avsnitt.

### 3.3 Røre doserings system

Formålet med vekten er å gi styresystemet beskjed om at ønsket mengde røre er nådd og skruens bevegelse kan stanse. Utformingen er som på en gammel kjøkkenvekt hvor motvekten kan justeres inn ved å legge til vekt (fylle med bly) til balansen blir optimal. Når det blir overvekt på røre siden av vekten og den vipper over i den retningen vil en mikro switch sende signal til styre enheten. Servoen vil ved gitt signal beveges 160 grader og tippe røren fra beholder inn på jern i riktig steg i stekeyklusen. Koppen må sentreres under skruens utløp i toppen for å unngå søl av røre.

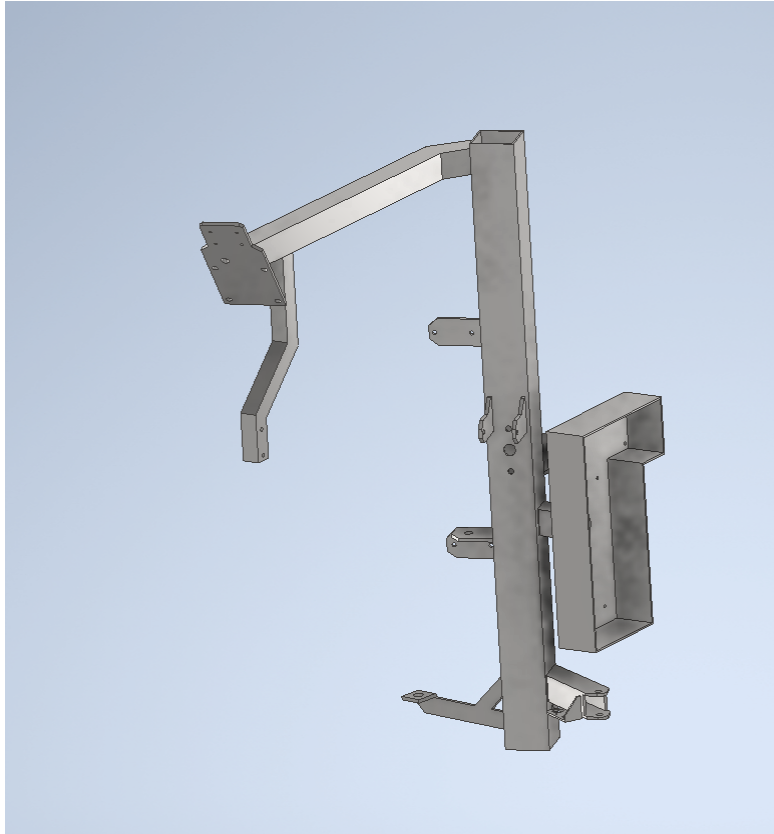


*Figur 13 Røre doserings system*

Figur 13 over viser systemet for røredosering. Selve vektstangen/vippen i systemet lages fra 2mm plate og 12mm rør. Amen ut til røreholder og servo tilvirkes fra en 4 mm plate.

### 3.4 Hoved konstruksjon

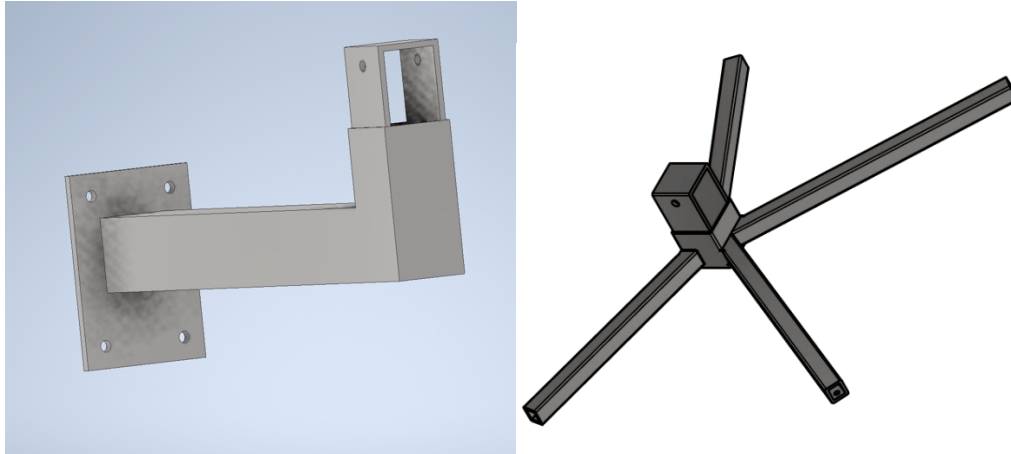
Hoved konstruksjonen lages i firkantør i forskjellige dimensjoner henholdsvis 50x50x3mm, 30x30x3mm og 20x20x3mm for å oppnå estetisk robusthet som nevnt i Mulighetsstudie og analyse. Braketter for innfesting av andre komponenter tilpasses fra en 4mm plate foruten om braketter til servoer, strømskap og mikroswitch som blir tilpasset fra en 2 mm plate.



*Figur 14 Hoved konstruksjon*

Figur 14 over viser designet av hoved konstruksjonen med braketter og innfesting til de forskjellige komponenter som trengs for automatisering av roboten. Avstand fra serveringsbrett til laveste punkt på roterende nedre vaffeljern for å gi plass til en haug med vafler på serveringsbrettet sammen med vinkling på røre transport brakett for å treffe nøyaktig med skruen i rørebeholder er tatt i betraktning ved utarbeiding av tegningen. Strømskapet inntegnet skal romme styresystemet og de elektriske komponentene som hører til.

To alternativer for plassering av robot designes. En fot for bruk på gulv eller ett bord sammen med ett alternativ som muliggjør veggmontering. Som Figur 15 under viser er det designet slik at øverste del av fot/feste vil gå inn i robotens hovedramme hvor den kan festes med en 8mm bolt. Foten på Figur 15 b vil også få en mutter festet på hver for med en bolt som kan justeres for å kunne vatre roboten opp ved eventuelle skjevheter i underlaget.

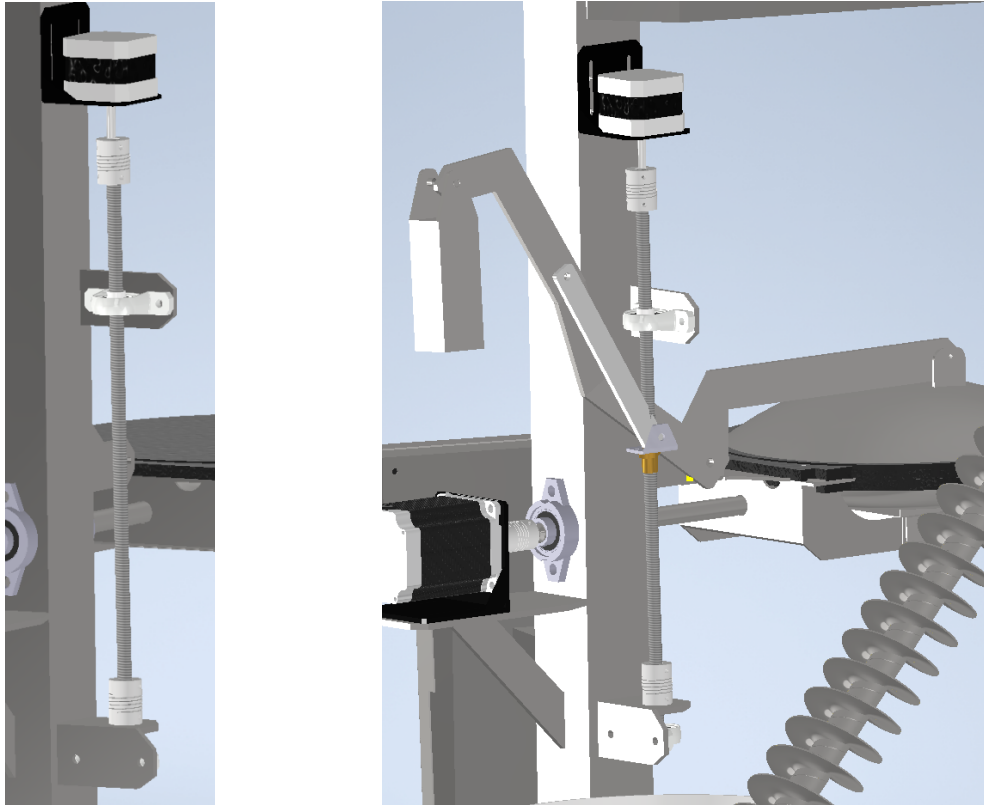


*Figur 15a til venstre veggfeste, b til høyre fot til bord/gulv*

### 3.5 Mekanisme for åpning av jern og fjerning av vaffel

#### Øvre vaffeljern

Fester for montering av lager til trapesgjengestag vil være en del av hoved konstruksjonen. Lagrene for opplagring, trapesgjengestaget og elmotor vil beskrives under standard komponenter. Armens funksjon er å fungere som en kraftarm som trekker jernet i åpen posisjon og lukker det igjen. Assistert av bevegelse fra trapesgjengestaget og staget som forbinder de. Jernet skal i fullt åpen posisjon gi plass til rotasjon av nedre vaffeljern. Armen er designet slik at det kan benyttes en motvekt på motsatt side av vaffeljernet for å redusere belastning og effekt behov på elektronikk. Armen for åpning av jernet tilpasses fra en 4mm plate. Det samme gjelder staget som forbinder armen til trapesgjengestaget. Armen går fra øvre vaffeljern til hengslingspunkt for øvrejern, deretter mellom trapesgjengestaget og hoveddrammen. Deretter blir det vinklet ut for at forbindelsen skal treffe mutter og feste på trapesgjengestaget.. Det blir her ikke ansett som nødvendig med opplagring av armen som vil bevege seg sammen med hengslene fra øvre jern. Figur 16 a til venstre viser trapesgjengestag og opplagring mens 16 b viser hele systemet montert på roboten her med en motvekt for å lette belastninger på trapesgjengestag. Den nedre kobling vist på figur 16b er plassert over et aksialt lager for å ta opp krefter som må overvinnnes når jernet lukkes. Trapesgjengestaget har en pitch eller stigning på 2mm per rotasjon.



*Figur 16 a til venstre trapesgjengestag med opplagring, b til høyre viser hele systemet montert på robot*

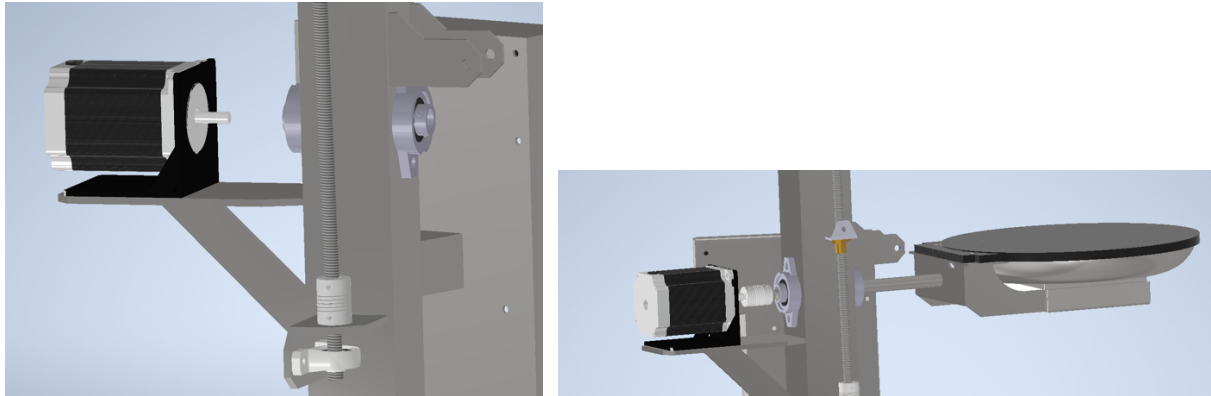
Det vertikale trapes gjengestagets radielle belastning opplagres i to lagerblokker. Lager innsats kan byttes ut med et kjent fabrikat om det ikke varer ut vaffelmaskinens levetid. Lager av tilsvarende indre diameter og ytre diameter mellom 22-26mm som antas å være sirka størrelse på dette lageret finnes ikke som innsats i SKF katalogen da innsats lager har minste bor diameter på 12mm. SKF har oppgitt dynamisk belastnings kapasitet fra minste (22mm ytre diameter) på 1990N og største (26mm ytre diameter) på 3900N på vanlige kulelagre med 8mm bor. Statisk belastning gitt i tabell er 780N og 1760N. [14] Antar at det uspesifiserte lageret vil ligge i nedre sjiktet av dette. Applikasjonen der lageret er tiltenkt vil det ikke bli utsatt for så store belastninger. For de aksille kreftene blir et lager av type uxell F8-16M benyttet. Lageret er oppgitt til å kunne tåle en aksial statisk belastning på 3KN og 2,5KN dynamisk ved rotasjons hastigheter opp til 4000 o/min. [15]

#### Nedre vaffeljern

Nedre jern skal rotere 180 grader for å fjerne den stekte vaffelen. Designet er slik at nedre jern er festet til en aksling som går igjennom hovedrammen og er opplagret på hver side.

Rotasjonen blir drevet av en elmotor. Her vil det være viktig å påse at det blir nok plass til rotasjonen og at den ikke kommer i konflikt med andre elementer av roboten.

Figur 17a under viser elmotor montert på hovedrammen med brakett sammen med opplagring før montering av nedrejern figur 17b under til høyre er aksling og nedre jern montert

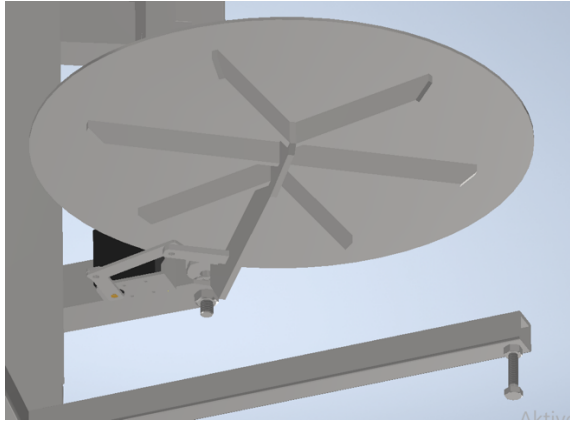


*Figur 17a til venstre viser opplagring og plassering på hovedramme, b til venstre viser robotens nedre jern montert*

En lagerblokk plasseres på hver side av hoveddrammens for opplagring av nedre vaffeljern. Lagerblokken er oppgitt til å tåle 1900N statisk belastning, som vil bli tilfelle ved bruk i vaffelroboten tatt i betraktning den lave omdreiningens hastigheten. Basert på beregninger vil kapasiteten være tilstrekkelig.

### 3.5.1 Mekanisme til vaffel serveringsbrett

Serveringsbrettet designes rundt og skal stå sentrert under vaffeljernet. En tallerken skal plasseres på brettet før igangsetting av maskinen. Serveringsbrettet er relativt stort i forhold til vaffel, men ved steking av mange vafler kan behovet for en stop kant bli aktuelt og må vurderes etter testkjøring for å forhindre at vafler faller ned. En servo er festet i braketten på hovedrammen som bevege forbindelsen mellom hovedrammen og serveringsbrettet. Her vil 90 ° rotasjon på servo bevege serveringsbrettet ut foran LCD som vil være den naturlige plassen for bruker å stille seg opp for henting av vafler og igangsetting av neste steke syklus. Figur 18 under viser det planlagte designet.

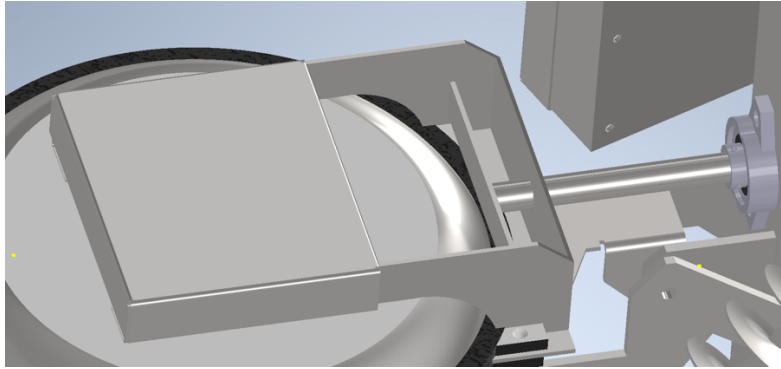


*Figur 18 Serveringsbrett mekanisme*

Serveringsbrettet og forbindelsen mellom servo og serveringsbrett tilvirkes av en 2mm plate mens rammen under blir laget av en 4mm plate. Serveringsbrettet festes i hovedrammens arm for serveringsbrett og hviler på ett aksial lager som vil gi mindre friksjon ved bevegelse. Et uxell F8-16M aksiallager benyttes under festet på serveringsbrettet. Lageret er oppgitt til å kunne tåle en aksial statisk belastning på 3KN og 2,5KN dynamisk ved rotasjons hastigheter opp til 4000 o/min. [15] Det er rimelig å anta det er langt mere en belastningene det vil bli utsatt for. Med tanke på bevegelses mønsteret serveringsbrettet vil ha og den lave vekten estimert maks 3 kg med vafler ville det fungert bra uten bruk av lager til denne applikasjonen, men ved å benytte det unngås slitasje på stålet og sikrer at servoen alltid opererer under like forhold.

### 3.5.2 Ombygging vaffeljern

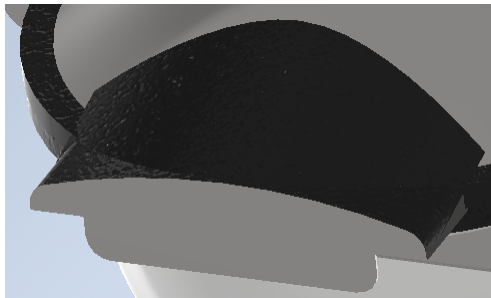
For å tilpasse vaffeljernet til roboten må nye innfestninger lages da det ikke lengre vil stå stasjonært på et bord. Original plastikk fjernes, og en ramme må tilvirkes som vist på figur 19 under. Designet er gjort slik for å danne en stabil ramme som dekker elektronikk med ett lokk og som passer i eksisterende hull i jernet. Ved å ha rammens vanger på høykant gir det mere styrke til konstruksjonen som muliggjør sammenføyning med aksling og rotasjon. Rammen lages av en 2 mm plate, dekselet lages av en 1mm plate.



*Figur 19 Nedre jern*

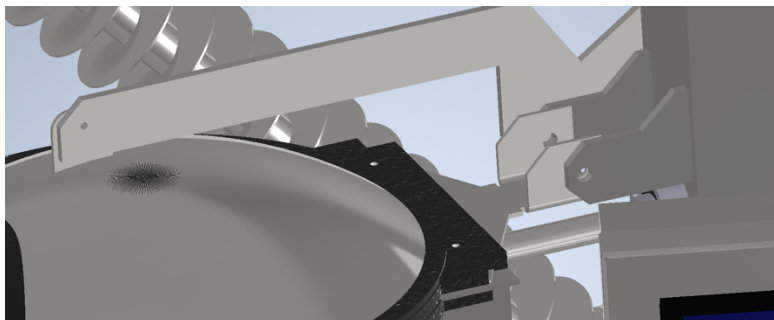
#### Øvre jern

Håndtaket fjernes fra fronten av vaffeljernet og erstattes med en pynteplate i 1mm metall for å hindre at folk løfter i jernet ved flytting av robot eller under steking. Pynteplaten vises på figur 20 under.



*Figur 20 Pynteplate i front av øvrejern*

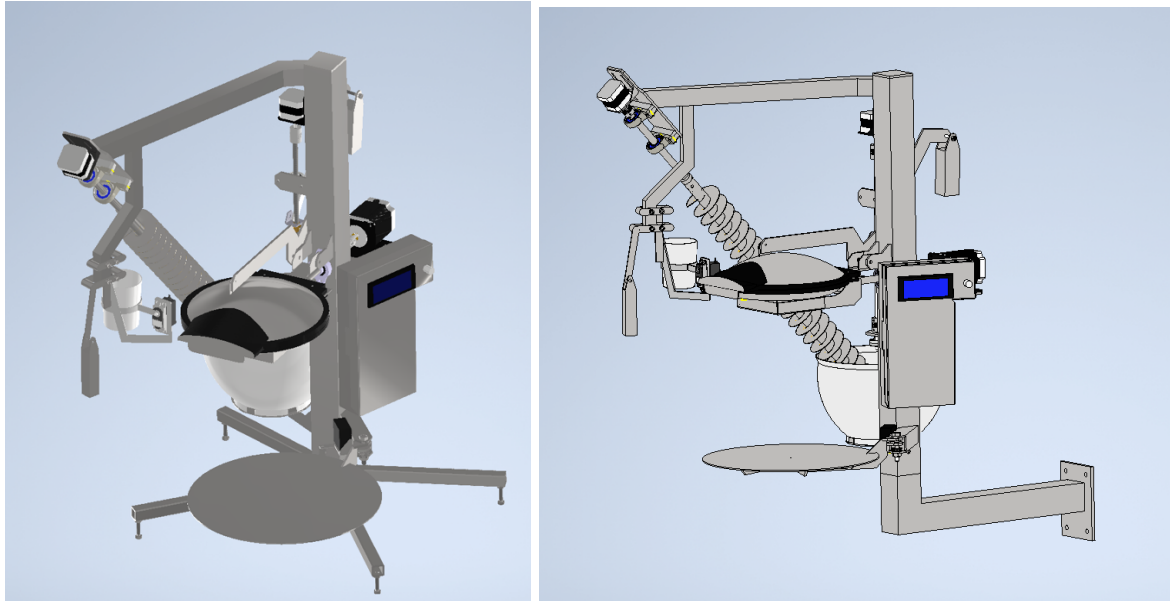
En ny hengsle må designes. For at nedre jern skal kunne rotere er det viktig at avstanden til hoveddrummen blir tilstrekkelig og at jernet kommer bort fra nedre jerns rotasjons bane ved åpning. Hengselen tilpasses jernets opprinnelige festepunkter. Tilvirkes av en 2 mm plate. Under det originale lokket legges en plate som fordeler belastningen fra løftepunktet der armen for åpning av øvrejern er festet. En gjennomføring i lokket må lages som danner festepunktet. Både hengselen og gjennomføringen i lokket vises på figur 21 under



*Figur 21 Viser hengsle til øvre jern samt gjennomføring i lokket*



### 3.5.3 Det ferdig designede produktet



*Figur 22a til venstre ferdig deign med fot, b til høyre veggmontert*

Figur 22a til venstre over viser det ferdig designede produktet med foten for bruk på gul eller bord. Figur 22b til høyre over viser også det ferdig designede produktet her med veggeste.

### 3.5.4 Elektriske komponenter til Styresystem

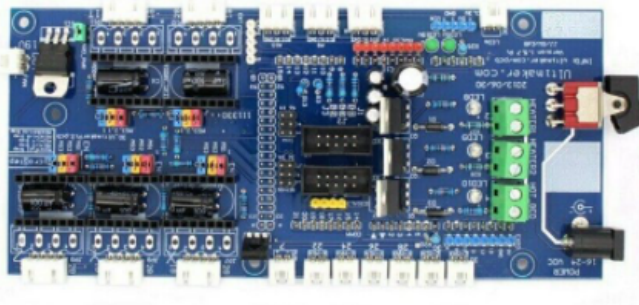
#### Mikrokontroller

Arduino due er et kretskort basert på en 32 bit ARM core mikro kontroller. Den har 54 digitale in/utganger og er perfekt for større prosjekter. Kretskortet inneholder alt som trengs for å kunne gå direkte i gang med programering etter tilkobling med en mikro usb mot datamaskin. Etterpå vil programmet være lagret i kortet og kun strømforsyning vil være nødvendig for at programkoden skal kjøre. Spesisifikasjoner for kretskortet er gitt vedlegg C. [16] Arduino due er laget for å passe til flere applikasjoner og det finnes flere moduler tilpasset akkurat dette kretskortet. For å kunne benytte Arduinoen til vaffelroboten må den kobles opp mot andre moduler. Kortet i seg selv kan ikke levere nok strøm til applikasjonene som trengs der. En motor av typen Nema 17 som er den minste motoren brukt vil kunne kreve opp mot 1A kontinuerlig. Dette overgår kortets maksimale output på 800mA. Det vil derfor være nødvendig å koble til en modul som Ultimaker modulen beskrevet under som har egen strømforsyning for å sikre nok strøm leveranse til komponentene. For programmering brukes

en mikro usb tilkobling som også kan forsyne Arduinoen med strøm til å kjøre programkoden. Ved bruk sammen med Ultimaker blir Arduinoe forsynt med strøm derfra.

#### Ultimaker 1.5.7

Dette er en modul som er laget for 3D printere. Den har utganger til 5 stepper motorer med 4 pin JST xh kontakter. 7 stykk 2 pin xh kontakter tiltenkt ende brytere. Mulighet for tilkobling av 2 servoer og er klargjort for tilkobling av LCD med velgebryter og lys signal med IDC kontakt. Modulen har en rekke flere tilkoblingsmuligheter tiltenkt ved bruk i 3d printer, men som ikke er nødvendig til vaffelroboten. Den er kompatibel Arduino due og Arduino Mega og monteres direkte på toppen av mikro kontrolleren. Den forsynes med egen strømtilførsel på mellom 15-19v og maks 90W. Hver utgang på modulen er linket opp mot utgangene i Arduinoen og tilrettelagt for enkel tilkopling av komponenter. Stepper motorene trenger en driver og på dette kortet er det tilpasset for bruk sammen med Pololu drivere som kan monteres direkte i kortet. Ved bruk av denne modulen vil alle nødvendige applikasjoner samles i ett kort istedenfor bruk av flere moduler koblet mot Arduinoen. Figur 23 under viser et bilde av modulen. [17]



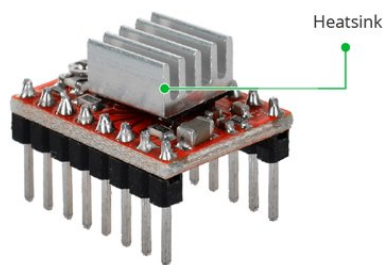
*Figur 23 Ultimaker 1.5.7 kretskort/modul [17]*

#### LCD display

Kompatibelt med Ultimaker 1.5.7 IDC kontakt og opereres med 5 volt som. Den er utstyrt med en SD-minnekort-slott for innlastning av printer program som ikke vil bli tatt i bruk på vaffelroboten. Displayet satt opp på ett kretskort med en velgebryter og en liten høyttaler for å kunne lage lydsignaler.

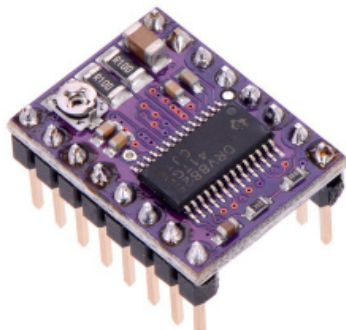
#### Stepper motor drivere

Pololu A4988 benyttes til å drive Nema 17 motorene og vises på figuren under. Driverene passer direkte opp i Ultimaker 1.5.7 kretskortet og vil med sin kapasitet på 1A kontinuerlig strømtrekk og topper på opptil til 2A passe bra til Nema 17 motorene. Det klarer den uten aktiv kjøling som ved å bruke en vifte. Logisk volt fra arduino er 3,3 volt og operasjons spenningen fra strømforsyningen er i henhold til spesifikasjonene for driveren. Figur 24 under viser driveren med en heatsink montert som skal lede varmeutvikling under drift mot luftspaltene i kjøle-ribbene da de kan bli svært varme under drift. Heatsink brukes på begge driverne før drift av systemet.



*Figur 24 med bilde av driveren [18]*

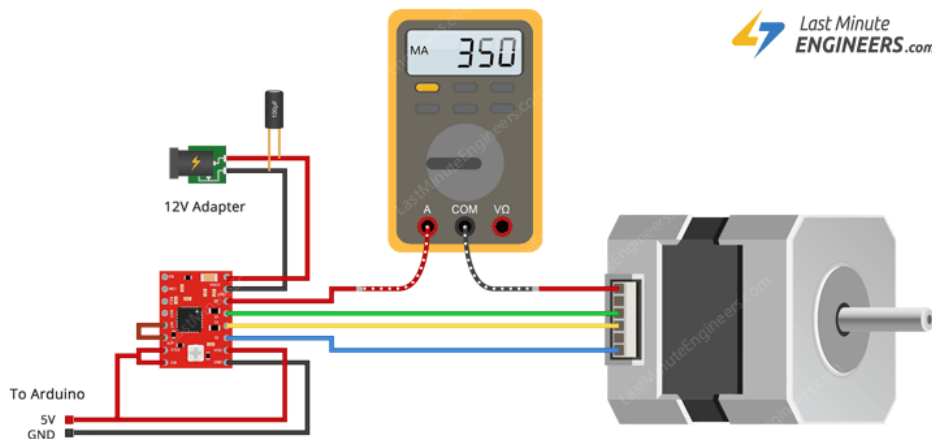
DVR 8825



*Figur 25 med bilde av DVR 8825 [18]*

Driver brukes sammen med den store motoren Nema 23 og er den største driveren som passer direkte ned i Ultimaker modulen. Figur 25 viser hvordan den ser ut. Man kunne benyttet en egen stepper driver modul for å øke motorens kapasitet dersom det var nødvendig. Driveren er for liten til å gi motoren nok strøm til å yte maks effekt. Men vil med maks 1,5A strømtrekk under kontinuerlig drift og topper på opptil 2,2A gjøre at Nema 23 motoren bli betydelig sterkere en ett oppsett med A4988 og Nema 17. Ved å benytte aktiv kjøling vil man kunne øke strømtrekket og motorens kapasitet dersom det viser seg å bli nødvendig.

Begge typer drivere må justeres før de settes i drift og gjøres på ett lite potensiometer plassert på toppen av driverne. Ved å koble systemet som på figur 26 under, ikke ha rotasjon på motoren og sette stepper motoren i full step mode via et program vil man ved å koble amperemeteret i serie med en av motorens spoler kunne måle det reelle strømtrekket. [19]



Figur 26 Oppkobling for justering av strømtrekk på driver [19]

## Steppermotorer

Steppermotorene Nema 17 og 23 er begge oppgitt med 200 stepp per rotasjon. Det vil gi de muligheten til å rotere kontrollert ett stepp på 1,8 grader. Motorens rotasjon kan programmeres både i form av rotasjon og hastighet, sammen med holde kraften motorene har når de står i ro vil de være perfekte for vaffelmaskinen. Nema 17 benyttes til den vertikale trapes gjengestaget og til røretransport skruen. Til rotasjon av vaffeljernets nedre del benyttes en Nema 23 med noe høyere kapasitet, elmotorene ble levert uten riktig tilkobling til Ultimaker modulen.

Begge elmotor typen overgår effekt behovet til sin applikasjon og er kompatible med det øvrige styresystemet når overgang til riktig tilkobling er utført ( JST XH)

## Mikro bryter

Bryteren vippen til røredosering skal operere blir av typen vist på figur 27 under. Her kan man koble til med krets normalt brutt eller krets normalt tilsluttet.



Figur 27 Mikro bryter

### Servo Motorer

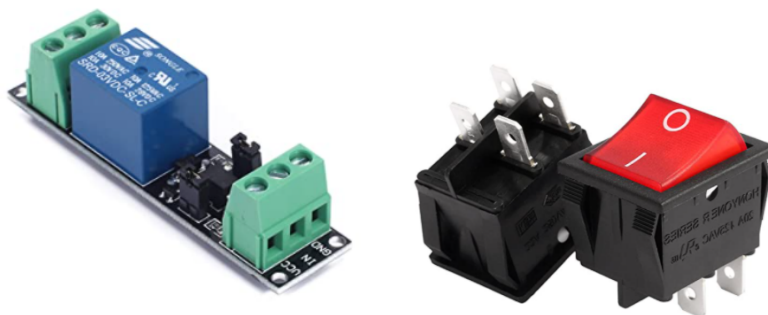
Til røremålebegeret benyttes en servomotor av typen DS04.

Den er oppgitt med maks dreiemoment på 5,5kg/cm fra rotasjonspunktet som vil være tilstrekkelig til å løfte røremålebegeret inn over vaffeljernet. Hastighet på bevegelse er oppgitt til 45 RPM men dette kan reguleres med programkoden. Operasjons spenning 5 volt.

Til serveringsbrettet er en servo fra Kjell og company uten modellbetegnelse, denne er oppgitt til å klare 15 kg /cm fra rotasjonspunkt som vil være tilstrekkelig til planlagt bevegelse av serveringsbrettet. Operasjons spenning 5-7,2 volt.

### Relé og strøm bryter

Styring av strømtilførselen til vaffeljernet programmeres via mikro kontroller. Mikro kontroller og ultimaker modul har ikke kapasitet til å levere i nærheten av de 1400W eller strømtrekket på litt over 6A som vaffeljernet trenger. Et relé som det på figur 28a under trenger et styresignal på 3,3 volt og vil da fungere som en fjernstyrt bryter. Når en spole mottar styre strømmen fra Arduino skapes et magnetfelt som aktiviserer bryteren i releet. Det vil si at man ved hjelp av et relé og svak strøm kan bryte eller slutte kretser med mye høyere effekt. [20] Dette releet har sin maks begrensing på 10 A og vises på figuren til venstre nedenfor. [21]

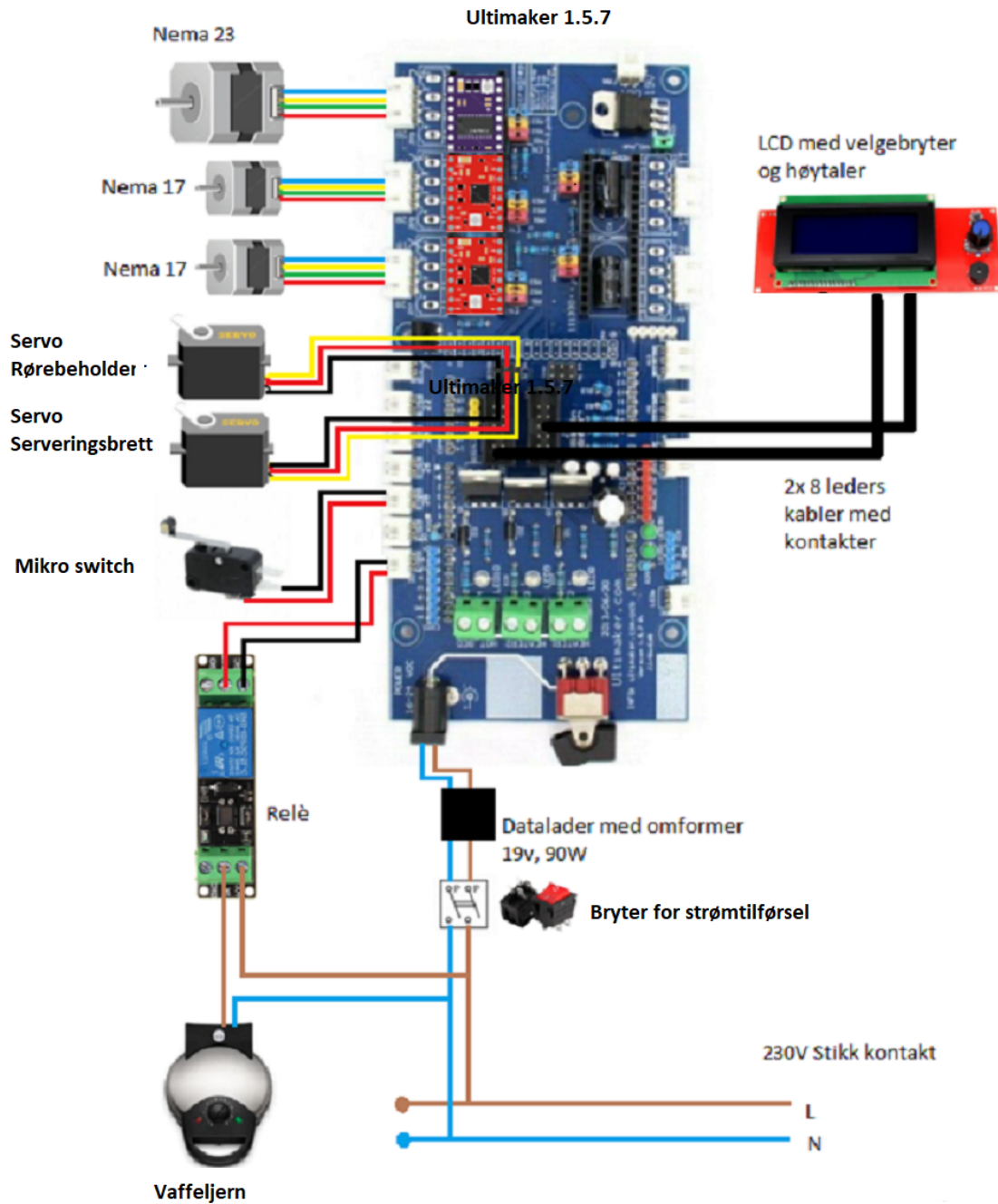


Figur 28 a Relé til venstre og 32b bryter til høyre [21]

En 10A strømbryter med lys for å bryte strømmen fra strømnettet inn til roboten. En 10ampere bryter vil tåle en total effekt på 2300W. Med robotens spesifikasjoner vil dette være tilstrekkelig kapasitet på bryteren. Figur 28b over til høyre viser et bilde av bryteren.

### 3.5.5 Oppkobling

Tilkobling til Ultimaker 1.5.7 planlegges som vist på figur 29 under. Det finnes ingen dokumentasjon som kan fortelle hvilken utgang på Ultimaker som går til hvilken pinne i Arduino due. Det blir nødvendig å bruke multimeter og måle resistivitet for å kartlegge dette og må uansett fastsettes før program kode utvikles. Servoene har eget tilkoblingspunkt på ultimaker der strømmen blir regulert ned til 5v. LCD har egne kontakter og kobles til der. Data-lader med 19V og 90W beregnet på en HP-bærebær datamaskin brukes som strømforsyning. Tilkobling mot ultimaker må kappes og termineres direkte. Maks strømtrekk 4,75A som gir god margin da ikke alle funksjoner kjøres samtidig på vaffelmaskinen. En 4 pin JST xh kobling må brukes ved tilkobling fra stepper motorene til ultimaker modulen. JST 2 pin brukes for tilkobling av mikro bryter. For å forlenge ledningene mellom øvre og nedre jern brukes Wago eller skjøtehylser beregnet for 1,5 kvadrat ledninger. Over synlige skjøter brukes en krympestrømpe som beskyttelse. Det er en beskyttelses strømpe som tres på ledning før sammenkobling. Strømpen krymper når varme tilføres og danner en tett beskyttelse rundt kableten som er skjøtet.

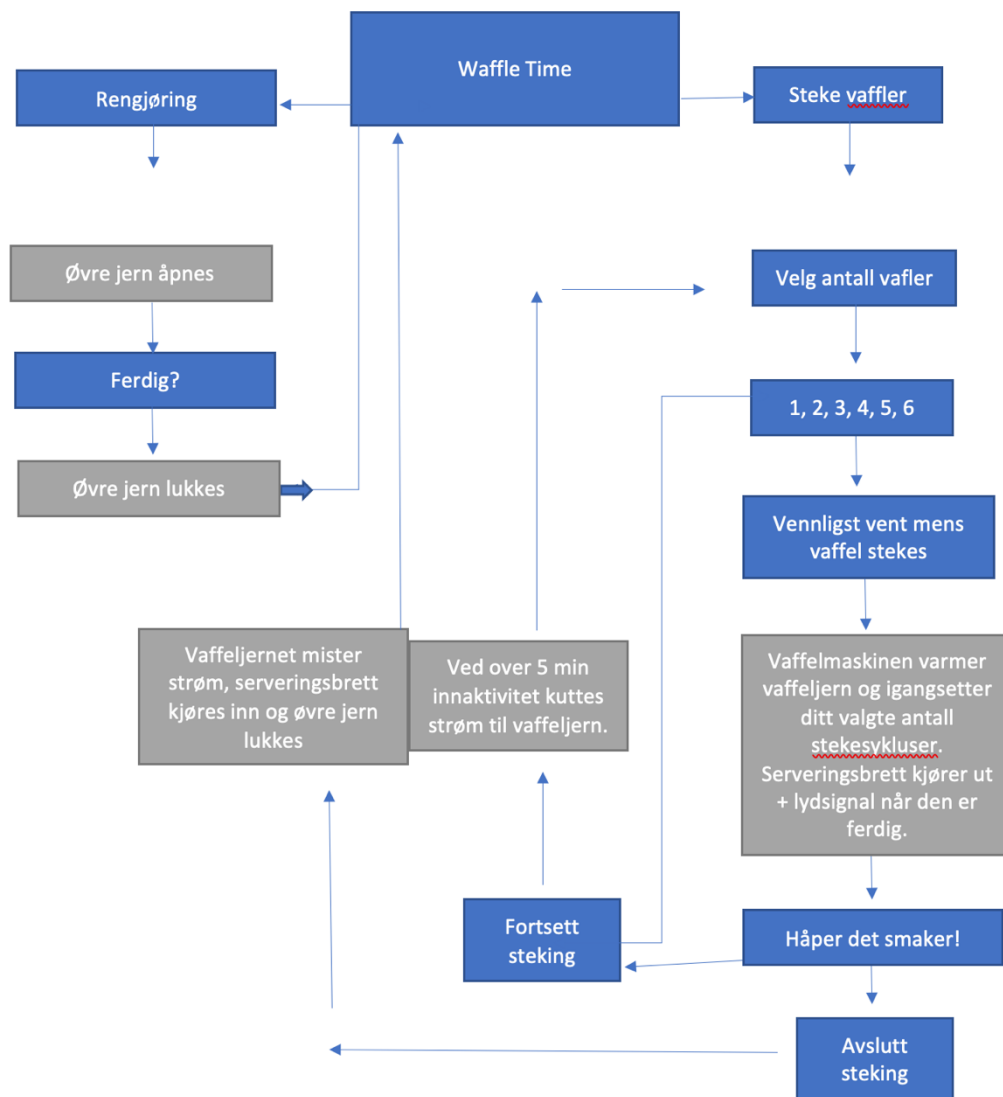


Figur 29 Koblings skjema.

### 3.5.6 Program kode

Program koden planlegges med struktur som vist på figur 30 under. Hvor de blå feltene representerer beskjeder gitt i LCD skjerm og de grå feltene representerer hva vaffelmaskinen skal utføre. Dette er gir en forenklet oversikt over funksjonalitet. Programkoden i sin helhet utvikles etter produksjons prosessen er ferdig for å kunne teste og finjustere funksjoner direkte.





Figur 30 Brukergrensesnitt diagram

Risiko med planlagt oppsett:

Når en stepper motor er avslått glemmer den sin posisjon, men vil ved oppstart gå til nærmeste stepp å holde seg der. Dette vil gjøre at ved planlagt bruk vil begge motorene ha en lik fysisk startposisjon hver gang maskinen startes og programmeringen kan gjøres basert på samme utgangspunkt (startposisjon). En risiko ved denne taktikken uten bruk av endebrytere for maskinens fysiske endeposisjoner er dersom strømmen til styringen brytes midtveis i en bevegelse. Skruer man da på strømmen igjen uten å fysisk føre vaffelmaskinen til sin opprinnelige start punkt, vil programmet starte forfra igjen og kan føre til at maskinen prøver å operere utenfor sine fysiske begrensninger å ødelegges. En bruksanvisning på maskinens virkemåte må lamineres å henges på veggen ved siden av vaffelroboten.



### 3.6 Beregninger

Beregninger er utført ved utarbeiding av designet av vaffelrobot på noen av de antatt mest belastede punkter samt behov for effekt i elektronikk (elmotor, servo).

#### 3.6.1 Hovedkonstruksjon

Horisontalarm

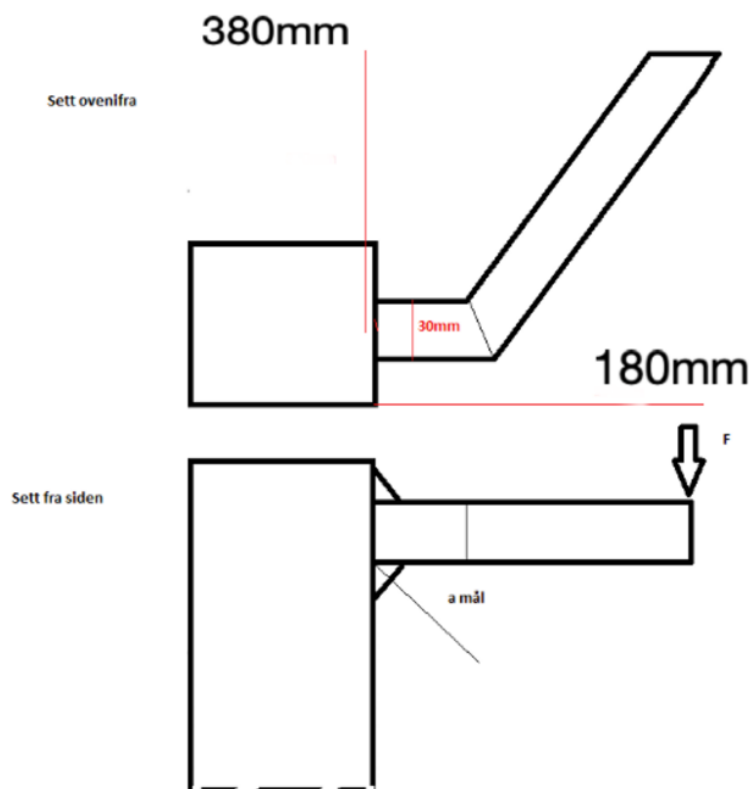
Forenklet beregningsmodell ved å beregne med kun sammenføyning over og under firkant profil.

Horisontal firkantprofil dimensjoner: 30x30x3mm

$L = 30\text{mm}$ ,  $B = 30\text{mm}$

Vertikalt firkantprofil dimensjoner: 50x50x3mm

Sammenføyningens bredde:  $w = L = 30\text{mm}$



Figur 31 Hoveddrammens horisontale arm sammenføyd med vertikal arm

a mål 4mm som er sammenføyningens høyde målt som illustrert på figur 31

Lengde mtp bøyning;  $L = 180\text{mm}$

Lengde mtp skjærkrefter  $L_1 = 380\text{mm}$

Beregner med en  $F$  på  $100\text{N} = 10\text{kg}$  (reelt maks  $4\text{kg}$ ) for å få en konservativ beregning.

AISI 316L:

$R = 210\text{Mpa}$ , Flyte grense,

$$\sigma_b = \frac{M_b}{w_b} * y, \text{ Bøyesspenning}$$

$M_b = F * L$ , maks bøyemoment

$$\text{Tversnittmodul ved bøyning, } W_b = \frac{w * h^2}{6}$$

Tillat spenning,  $\sigma_{till} = \frac{R_e}{n}$ ,  $n$  er sikkerhetsfaktor, 2 benyttes for beregningen [22]

Beregning av horisontal arm bøyesspenninger:

$$I = \left( \frac{30 * 30^3}{12} - \frac{24 * 24^3}{12} \right) = 39852\text{mm}^4$$

$$W_b = \frac{I}{c} = \frac{39852\text{mm}^4}{15\text{mm}} = 2656.8\text{mm}^3$$

$C$  = avstanden fra nøytralakse til ytre element.

$$M_b = 100\text{N} * 180\text{mm} = 1,8 * 10^4\text{MPa}$$

Bøyesspenning:

$$\sigma_b = \frac{M_b}{w_b} = \frac{1,8 * 10^4\text{MPa}}{2656,8\text{mm}^3} = 6,78\text{MPa}$$

Tillat spenning med sikkerhetsfaktor 2:

$$\sigma_{till} = \frac{R}{n} = \frac{210\text{MPa}}{2} = 105\text{MPa}$$

$\sigma_b = 6,78\text{MPa} \ll \sigma_{till} = 105\text{MPa}$  DVS horisontal arm er ok med tanke på bøyning. [22]

Beregning av horisontal arm sammenføyning med tanke på bøyning:

Sammenføyningen er utsatt for bøyesspenninger grunnet et momentpar som oppstår ved at kreftene som virker på den horisontale armen prøver å rotere armen om senter av innfestningspunktet. Momentparet er gitt ved: Hvor  $F''$  er et torsjons lignende kraftpar.

$$M = F \left( h + \frac{a}{\sqrt{2}} \right) = F * L \Rightarrow F'' = \frac{F * L}{h + \frac{a}{\sqrt{2}}} = \frac{1,8 * 10^4}{30 + \frac{4}{\sqrt{2}}} = 548,3\text{N} = 0,55\text{KN}$$

Nominell spenning: ( $l = L$  som er sammenføyningens bredde)

$$\sigma = \frac{F''}{A_{snitt}} = \frac{F''}{a * l} = \frac{548,3\text{N}}{4\text{mm} * 30\text{mm}} = 4,57\text{MPa}$$

$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} = 3,23 \text{ MPa}$ , ( $\tau_{\parallel} = 0$ ) som er skjærspenning parallelt med sammenføyning

Ekvivalent spenning:

$\sigma_e = \sqrt{2}\sigma = 6,46 \text{ MPa} \ll \sigma_{till} = 105 \text{ MPa}$ . Sveisen er OK med tanke på bøyespenning.  
[22]

Beregning av sammenføyning med tanke på torsjon:

Sveisen er utsatt for skjærkraft og vridemoment.

Primær skjærspenning:  $\tau' = \frac{F}{A_{snitt}} = \frac{F}{2 \cdot l \cdot a} = \frac{100 \text{ N}}{2 \cdot 30 \text{ mm} \cdot 4 \text{ mm}} = 0,4166 \text{ MPa}$

Vridemomentet som virker om sveisens tyngdepunkt, er gitt ved:

$M_v = F \cdot \left(L + \frac{l}{2}\right) = 100 \left(180 \text{ mm} + \frac{30 \text{ mm}}{2}\right) = 19500 \text{ N}$ . Hvor (L er armens lengde, l er sveisens bredde)

$w_v = \frac{b \cdot h^3}{6} = 135000 \text{ mm}^3$ , Motstandsmoment

Sekundær skjærspenning:  $\tau'' = \frac{M_v}{w_v} = \frac{19500 \text{ N}}{135000 \text{ mm}^3} = 0,144 \text{ MPa}$

Kraft per lengdeenhet defineres:

$q = \text{kraft per lengdeenhet}$

$q' = \tau'_v \cdot a = \frac{F}{2L_w} = \frac{100 \text{ N}}{2 \cdot 30} = \frac{1,67 \text{ N}}{\text{mm}}$ , jevn over sveisens lengde

$q'' = \tau''_v \cdot a = \frac{M_v}{w_v} \cdot a = \frac{19500 \text{ N}}{135000 \text{ mm}^3} \cdot 4$   
 $= \frac{0,58 \text{ N}}{\text{mm}}$ , største belastning på h. armens hjørner.

$Q = q' + q'' = 2,25$

Dekomponering av enhetskraften i Q i x og y retning:

$Q_x = Q \sin \theta$     $Q_y = Q \cos \theta$ ,  $\theta = \tan^{-1} \frac{h}{l} = \frac{1}{4} \pi$     $Q_x = \frac{1,59 \text{ N}}{\text{mm}}$ ,    $Q_y = \frac{1,125 \text{ N}}{\text{mm}}$

Ved dekomponering av  $Q_y$  i krefter som virker vinkelrett på a-mål og parallelt med a-mål.

$\sigma_{\perp} = \frac{Q_y}{\sqrt{2}a}$     $\tau_{\perp} = \frac{Q_y}{\sqrt{2}a} = 0,562 \text{ MPa}$ ,  $\tau_{\parallel} = Q_x \cdot a = 4,5 \text{ MPa}$

Ekvivalent spenning:

$\sigma_e = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 7,87 \text{ MPa} \ll \sigma_{til} = \frac{R_e}{n} = 105 \text{ MPa}$  Med sikkerhetsfaktor på 2

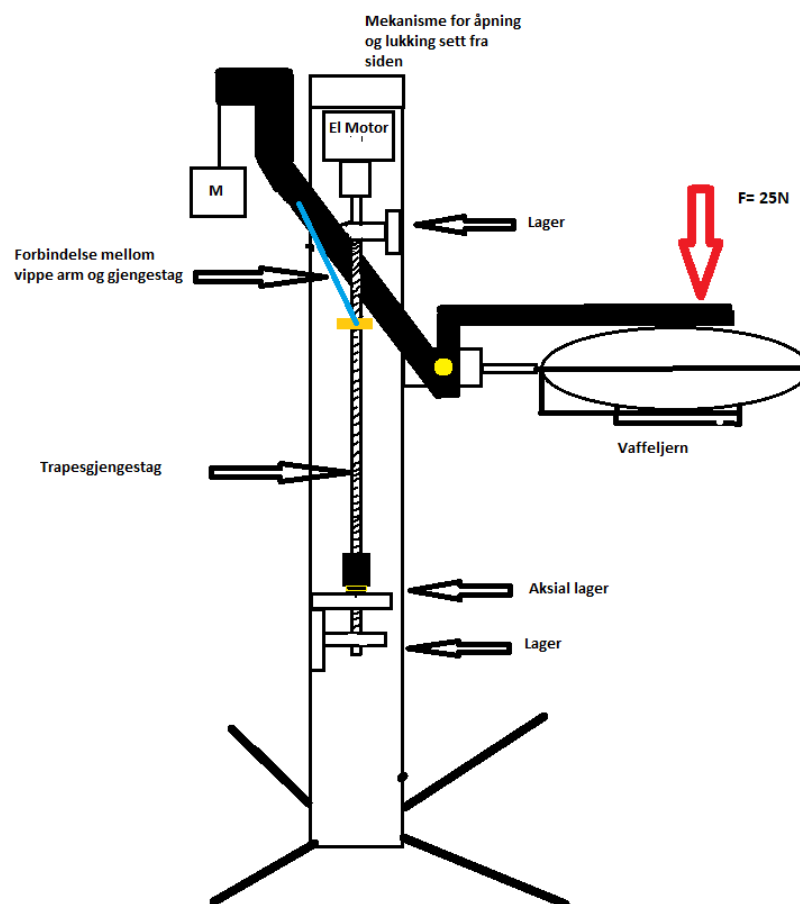
vil dette si at styrken er OK. [22]

Basert på disse resultatene kan man si at vaffelrobotens konstruksjon er noe overdimensjonert da beregningen er veldig konservativ og fremdeles langt unna materialets kapasitet vil det ikke være behov for å beregne flere av brakettene/festene på vaffelroboten. De er alle mindre belastet en modell som ble beregnet over i tillegg til at sammenføyningen går rundt hele brakettene/festene noe som vil gi sammenføyningen sterkere.

### 3.6.2 Øvre jerns mekanisme

Øvre del av vaffeljernet vil bli hengslet mot hoved konstruksjonens brakett. Hengslende vil være overdimensjonert sammenlignet med de originale festene.

Mekanismen for åpning illustreres i figur 32 under hvor den gule prikken på armen symboliserer rotasjonspunktet.



Figur 32 Mekanisme for åpning av øvre vaffeljern

Øvre vaffeljern veier ca 1,5 kg originalt med bruker 2 kg i beregningene for å kompensere for eventuelle tilpasninger / forsterkninger. En vaffel består av ca 1 dl røre, og kan teoretisk brenne seg fast i øvre jern. Mekanismen skal være tilstrekkelig sterk til å løfte med seg

vaffelen. For å unngå bøying av trapesgjengestag og minske belastning på elmotor er det designet en mulighet til å plassere en motvekt på motsatt side av vaffeljernet.

Mekanismens spesifikasjoner:

4 mm ståltykkelse

Flatjern på høykant = h, høyde 25mm

Avstand rotasjonspunkt til vaffeljern feste = lv = 185 mm

Avstand rotasjonspunkt til forbindelsen med trapesgjengestag = lg = 110mm

Avstand rotasjonspunkt motvekt = lm = 150mm

Avstand øvre og nedre opplagringspung for trapesgjengestang = A = 300mm

Vekt øvre jern 2kg = 19,62N

$R_e = 210 \text{ MPa}$

Øvrejerns arm

$\sigma_b = \frac{M}{W_b}$ ,  $W_b = \frac{I}{\frac{h}{2}}$ , hvor I er arealmomentet og h er høyden på flatjernet.

M = momentet armen er utsatt for. Ved å tenke at armen er 1m og all last er i en ende vil vi ha en konservativ beregning. Antatt belastning dobles for å illustrere at armen er i likevekt og tilsvarende vaffel jernets vekt blir brukt som motvekt.

$$M = F * L = 50N * 500mm = 25000Nmm, \quad W = \frac{I_y}{\frac{h}{2}} = \frac{\frac{bh^3}{12}}{\frac{h}{2}} = \frac{4 * 25^3}{25}$$
$$= 416,66mm^3$$

$$\sigma_b = \frac{25000Nmm}{416,66mm^3} = 60 \text{ MPa}$$

$\sigma_{till} = \frac{R_e}{n} = 105MPa \gg \sigma_b = 60MPa$ , n gir sikkerhetsfaktoren som her er på 2. Det betyr at armen brukt vil tåle påkjenningene den blir utsatt for under bruk på vaffelmaskinen.

Trapesgjengestag og effekt behov elmotor:

Trapesgjengestaget er koblet til øvrejernsarm med et forbindelses stag. Øvre arm er også designet for bruk av en motvekt til jernet. Det vil si at belastningene som virker på trapesgjengestaget ikke vil være spesielt store. Under gjøres en beregning for å være sikker på at gjengestaget vil tåle med en estimert last mye høyere en den faktisk vil være.

Gjengestigning =  $s = 2\text{mm}$

Skruens midt diameter =  $6\text{mm}$

Kontakt diameter skrue hals og underlag =  $d_c = 20\text{mm}$  (Minimum)

Radius ytre mål =  $r_p = 4\text{mm}$

Diameter ytre mål =  $d_p = 8\text{mm}$

Friksjons koeffisienter:  $\mu_s = 0,1$  tørr kontakt mellom skrue og mutter,  $\mu_c = 0,08$  mellom mutterflens og aksial lager.

$W = 40,2\text{N}$  som tilsvarer sirka  $4\text{kg}$  som vil gi en konservativ beregning.

Finner momentet som skal til for å bevege lasten:

$$\tan\beta = \frac{s}{\pi * d_p} = \frac{2}{\pi * 8} = 0,07958$$

$$M = W_{rp} \left( \frac{\mu_s + \tan\beta}{1 - \mu_s \tan\beta} + \frac{rc}{r_p} * \mu_c \right) = 40,2\text{N} * \frac{8\text{mm}}{2} \left( \frac{0,1 + 0,07958}{1 - 0,1 * 0,07958} + \frac{20}{4} * 0,08 \right)$$

$$M = 93,42\text{Nmm.}$$

$93,42\text{Nmm}$  er momentet elmotoren må levere til trapesgjengestaget som er innenfor spesifikasjoner for elmotor Nema 17 og det er uten bruk av motvekt.

[23]

### 3.6.2.1 Nedre jern

Her er sveise forbindelse ikke beregnet basert på funn ved utregning av hoveddrammens sammenføyninger og med de lave belastningene anses det som unødvendig. Akslingens nødvendige dimensjon blir beregnet under.

Avstand fra opplagringspunkt til nedre jerns innfestning =  $l = 120\text{mm}$

Belastning fra øvre og nedre jern maks (mer en forventet belastning)  $F = 50\text{N}$

Antar ST 37 med flytegrense =  $Re = 235\text{MPa}$

Finner ut nødvendig diameter på akslingen med sikkerhetsfaktor på 2:

$$\sigma_{b \text{ maks}} = \frac{M}{\frac{\pi * D^3}{32}} \leq \frac{Re}{2} = 117,5\text{MPa} \quad M = F * l = 50\text{N} * 240\text{mm} = 12000\text{Nmm}$$

$$D^3 = \frac{M * 32}{\sigma_{b \text{ maks}} * \pi} = \frac{12000\text{Nmm} * 32}{117,5\text{MPa} * \pi} = 520,13, \quad D = \sqrt[3]{1040,26} = 10,13 \text{ mm}$$

Planlagt aksling er på  $12 \text{ mm}$  og vil være tilstrekkelig ved bruk av sikkerhetsfaktor på 2. [24]

Effekt behov elmotor for nedrejern

Modellerer vaffeljernet som en stang med rotasjonspunkt i senter

Vekt av nedre vaffeljern maks 2,5 kg

Vaffeljernets diameter = 250 mm = 0,25m

Masse treghetsmoment =  $I = \frac{1}{12} ML^2$

Ved å beregne at vaffelens nedre jern snur seg 180 grader på 3 sek tilsvarer det 10RPM eller rotasjoner per min.

$$\alpha = \frac{\text{rad}}{\text{s}}, \quad \frac{\text{rad}}{\text{s}} = \frac{\text{RPM} * 2\pi}{60} = \frac{\pi}{3}$$

$$\tau_{\text{vaffeljern}} = I * \alpha = \frac{ML^2}{12} * \alpha = \frac{2,5\text{kg} * 0,25^2}{12} * \frac{\pi}{3} = 0,013635\text{Nm} = 13,6\text{Nmm}$$

$$\tau_{\text{aksling}} = I * \alpha = \frac{MR^2}{2} * \alpha = \frac{0,5\text{kg} * 0,006\text{m}^2}{2} * \frac{\pi}{3} = 1,57 * 10^{-3}\text{Nm} = 1,57\text{Nmm}$$

Ved rotasjon tilbake dersom vaffel ikke slipper taket men henger fra en side av jernet:

Krefter påført av vaffel antatt sirka 1500Nmm = 1,5N, 115mm = 0,115m fra senter =

$$\tau_{\text{vaffel}} = F * R = 1 * 0,15 = 0,225\text{Nm} = 225\text{Nmm}$$

$$\tau_{\text{tot}} = 13,6 + 1,57 + 225 = 240,17\text{Nmm}$$

249,2Nmm vil være behovet for moment gitt fra motor. Lite konservativt at jernet blir like godt sentrert som i denne beregningen. Grunnet eventuelle brå bevegelser programmert for å sikre at vaffel faller ned vil denne overdimensjoneres noe i forhold til beregningene.

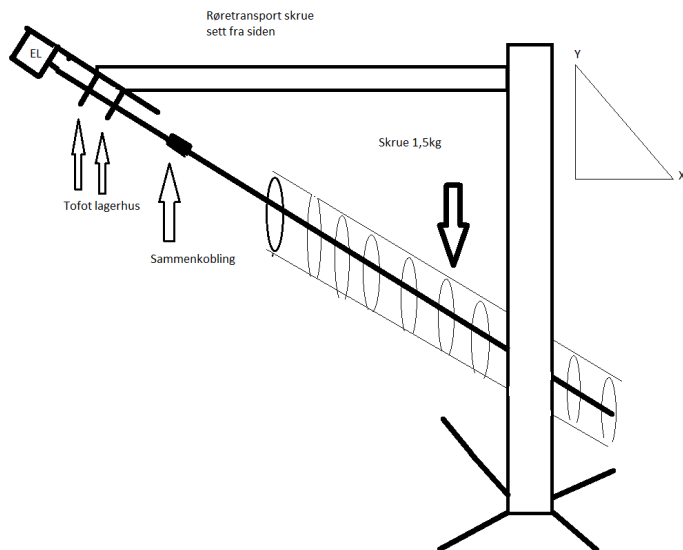
[24]

### 3.6.3 Røretransportskrue

Røretransportskruen er festet i en sammenkobling med aksling fra elmotor som figur 33 under illustrerer. Finner akslingens diameter og sjekker aksling og skrue med tanke på flytegrense.

Samt finner nødvendig moment i motor.

Diameter aksling:



Figur 33 Rørettransportskruer modell

Akslings lengde 180mm

Skrue lengde 570mm

Vekt skruer 1,5kg = 15N

Ved å ikke ta høyde for at akslingen og skrues vinkel og anta all last i enden av skruen vil man få en mere konservativ beregning.

Finner ut nødvendig diameter på akslingen med sikkerhet mot flyting på 2:

$$\sigma_{b maks} = \frac{M}{\frac{\pi \cdot D^3}{32}} \leq \frac{Re}{2} = 117,5 \text{ Mpa} \quad M = F * l + l \text{ avstan kobling til lager) =}$$

$$15 \text{ N} * 700 \text{ mm} = 10500 \text{ Nmm}$$

$$D^3 = \frac{M * 32}{\sigma_{b maks} * \pi} = \frac{10500 \text{ Nmm} * 32}{117,5 \text{ Mpa} * \pi} = 910,23, \quad D = \sqrt[3]{910,23} = 9,69 \text{ mm}$$

Planlagt 12 mm vil være ok.

[24]

Effekt behov elmotor skruer:

Beregning gjøres med en diameter på diskene på 70mm, vekt på 2 kg og

ved å anta maks 100 RPM for å unngå søl av røre og sikre at motor har nok effekt.

Skruen modelleres her som en solid disk.

$$\alpha = \frac{\text{rad}}{\text{s}}, \quad \frac{\text{rad}}{\text{s}} = \frac{\text{RPM} * 2\pi}{60} = \frac{10}{3} \pi$$



$$I = \frac{MR^2}{2}$$

$$\tau_{skrue} = I * \alpha = \frac{MR^2}{2} * \alpha = \frac{2kg * 0,035^2}{2} * \frac{10}{3}\pi = 0,0123NM = 12,6Nmm$$

Dett er langt under elmotorens kapasitet. Her er det ikke tatt høyde for aksling og transport av selve røeren som vil tilføre ytterlige effekt behov.

### 3.6.4 Lager

Opplagring nedrejern:

Nedrejens vekt er omtrent 1,5 kg som tilsvarer sirka 15N. Akslingen mellom nedre jern og lageret er ca 0,09meter. Ved å bruke 35N som lagerets radielle belastning vil man ha en konservativ beregning.

Fr = radial belastning

Fa = aksial belastning

X = radial faktor (0,6 for enradet sporkulelager)

Y = aksial faktor (0,5 for enradet sporkulelager)

Lager er oppgitt med 4606N dynamisk og 1900N statisk kapasitet

Ved å benytte: Ekvivalent lagerbelastning:  $P = XF_r + YF_a$

Det gir ekvivalent lager belastning:  $P = 0,6 * 35N + 0,5 * 0 = 21N$

Når den

Statisk bære evne:

s = en faktor i SKF katalog og er under normal drift lik 1.

C = statiske bæretallet til lageret.

$s * P \leq C$   $1 * 21N \leq 1900N$  som betyr at statisk bæreevne er ok

Levetiden for lageret kan uttrykkes:  $L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^a$

$$L_{10} = \left( \frac{4606N}{21N} \right)^3 = 1,055 * 10^{13} \text{ omdreiningar som vil bety at levetiden er uendelig.}$$

$L_{10}$  = nominell levetid med 90% sikkerhet. Gitt i millioner omdr

a = 3 for kulelager

[25]

Opplagring røretransportskrue:

Basert på beregningen over og de lave belastningene er det rimelig å anta at lageret vil ha tilstrekkelig kapasitet

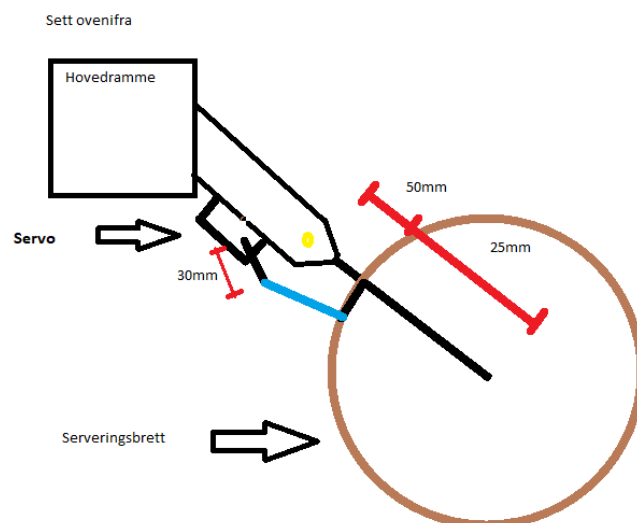
Opplagring trapesgjengestag:

Finnes ingen spesifikasjoner på det planlagte lageret brukt for de radielle belastningene.

Opplagring serveringsbrett:

Trøstelageret for de aksielle kreftene er oppgitt til 2,5KN dynamisk og 3KN statisk og vil ikke bli belastet i nærheten av sin kapasitet da motvekten på øvrejern arm vil gjøre at belastningen er svært lav er det rimelig å anta at lageret vil takle belastningene det blir utsatt for.

### 3.6.5 Servo



Figur 34 Serveringsbrett sett ovenifra

Servo til serveringsbrett:

Mekanismen er illustrert på figur 34 over

Ved å kalkulere denne som en bjelke rundt endepunktet får vi:

Avstand serveringsbrett til rotasjonspunkt =  $L = 300\text{mm}$

Avstand rotasjonspunkt festepunkt:  $50\text{mm}$

Avstand fra servo til forbindelse (blå på figur)  $30\text{mm}$

$$\tau_{\text{Rotasjonspunk}} = I * \alpha = \frac{ML^2}{3} * \alpha = \frac{4\text{kg} * 0,3\text{m}^2}{3} * \frac{\pi}{3} = 0,1256\text{NM}$$

$50\text{mm}$  fra rotasjonspunkt tilsvarer dette:

$$F = \frac{M}{L} = \frac{0,1256\text{NM}}{0,05\text{m}} = 2,51\text{N} = \frac{2,51\text{N}}{9,81} = 0,25\text{kg}$$

Servo er oppgitt  $17\text{kg/cm}$ :

$$17\text{kg}/3\text{cm} = 5,56\text{ kg}$$

Det betyr at servo vil ha krefter nok.

Det er ikke tatt hensyn til bevegelses hastighet, som kan justeres med programmering.

Servo røredosering:

Armen for tipping av røre på vaffeljern montert direkte på servo.

*Figur 23 Servo til serveringsbrett sett ovenifra*

Avstand servo til senter av røre målebeger =  $70\text{mm}$

Antatt vekt på rørebeholder + røre =  $0,3\text{kg}$

Servo oppgitt effekt:  $5,5\text{kg/cm}$

$$5,5\text{kg}/7\text{cm} = 0,78\text{kg}$$

Det vil si at med en avstand på  $7\text{ cm}$  fra rotasjonspunktet kan servoen løfte  $0,78\text{ kg}$ . Servoen har nok kapasitet til ønsket applikasjon.

## 4 Produksjon

Hele produksjons prosessen finnes i vedlegg D

### 4.1 Helse miljø og sikkerhet

Sikkerheten under arbeide må ivaretas. Derfor følges universitets prosedyrer med tanke på bruk av personlig verneutstyr ved alt utført arbeid, uavhengig av hvor det utføres. Arbeidet som involverer roterende sponfraskillende utstyr eller metall sammenføyning vil kreve bruk av vernebriller/ sveisemaske, hørselvern og hansker. Kjeledress i ett anti flamme stoff benyttes også ved sliping kapping og sammenføyning. Avsug er ikke tilgjengelig der sammenføyning er planlagt utført, men god lufting vil erstatte avsug.

### 4.2 Mekanisk

Utstyrer brukt under produksjon av deler er en vinkelsliper, bord slipe maskin, TIG sveiseapparat, dreiebenk, platesaks og en hånd holdt boremaskin. Sammen med diverse håndverktøy.



*Figur 24 a Vaffeljern demontering til venstre 34b materiell til høyre*

Ovenfor til venstre viser figur vaffeljern etter test steking ved starten av demontering for videre inspeksjon. Til høyre er noen av de innkjøpte materialene.



*Figur 25a til venstre viser tilpasning av feste i øvre jern 36b ti høyre viser startfasen på hoveddramme*

Figur 36a over viser tilpasning av ny hengsle til øvrejern mens figur 36b viser hoveddrammens horisontale arm som er blitt sammenføyd med den vertikale. Det er blitt laget hull for trekking av ledninger til røretransportskrue og mikro bryter før den horisontale armen ble plassert og sammenføyd. Til sammenføring av robot brukes et TIG sveiseapparat med 3,2mm wolfram elektrode sammen med 3,2mm 316l tilsetningstråd og argon dekk-gass.



*Figur 26a til venstre viser hoveddrammens for, 36b til venstre viser forten montert på hoveddrammen*



Foten for bord eller gulv plassering ble prioritert da den ville gjøre roboten lettere å plassere ved videre arbeid. Foten er avbildet på figur 37a ovenfor. Figur 37b viser forten prøvemontert på hovedrammen.



*Figur 27a til venstre viser konstruksjon av serveringsbrett 38b til høyre viser prøvemontering på hovedrammen*



*Figur 28a til venstre viser en ferdig hovedramme 39b til høyre viser prøvemontering aksling til røretransport*

Figur 39a over viser en ferdig hoved ramme med alle innfestninger og braketter, til høyre viser figur 39b prøvemontering av akslingen til røretransportskruen for å verifisere tilpasning.



*Figur 29a til venstre viser nedre jern, 40b til venstre viser akslinger kappet og klar for videre bearbeiding*

Til venstre over på figur 40a er nedre jerns ramme prøve montert og klar for sammenføring med aksling. Til høyre over på figur 40b er akslinger grov kappet og klar for bearbeiding i dreiebank.





*Figur 30a til venstre universitetets dreiebenk, 41b til høyre strimler for tilvirkning av røretransportskrue*

Over til venstre på figur 41a bearbejdes en av akslingene til roboten, på figuren ovenfor til høyre er strimler for å danne en kant på røretransportskruen kappet i universitetets platesaks. Begge robotens akslinger samt sammenkoblinger ble bearbejdet og tilvirket i dreiebenk.



*Figur 31a til venstre over viser robot prøvemontert 42b til venstre viser aksiallageret på trapsgjengestaget.*

På figur 42a over til venstre er roboten avbildet med åpningsmekanismen av øvrejern i åpen posisjon, til høyre vises aksial lageret til trapsgjengestaget som skal ta opp de aksiale kreftene ved lukking av jern ved bruk av motvekt.

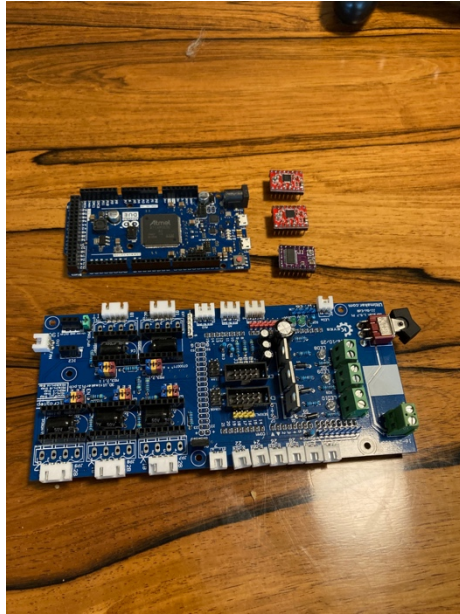
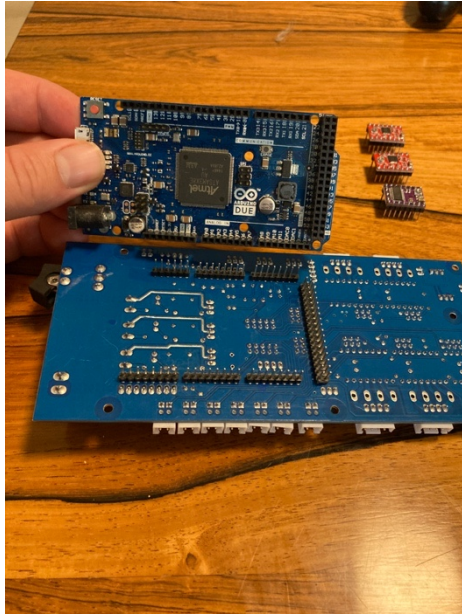




*Figur 32a til venstre og b til høyre viser vaffelrobotens tilstand ved produksjons stopp.*

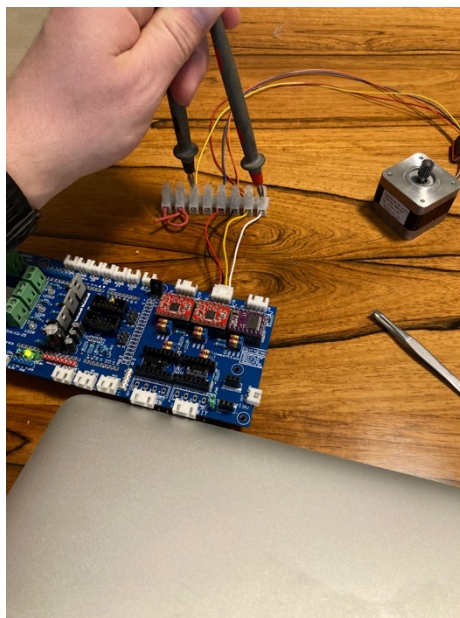
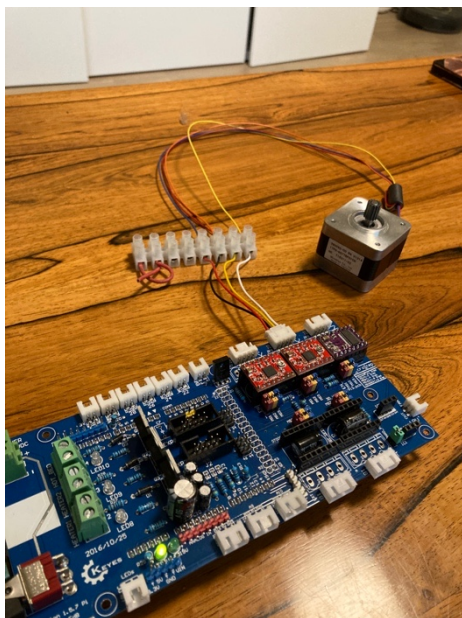
Figur 43a og b over viser vaffelrobotens tilstand ved oppgavens slutt. Her mangler det fremdeles flere viktige element som motvekt til vippe, hull til lcd og velgebryter på deksel til strømskap, motvekt til øvre jerns arm og fullføring av røretransport skrue som her er demonstrert og montert for å gi et best mulig visuelt bilde av et ferdig produkt.

### 4.3 Elektronikk



*Figur 33a og b viser det elektriske styresystemet*

Figur 33 a og b over viser det elektriske styresystemet klar til montering. Arduino due monteres på baksiden av Ultimaker 1.5.7 mens stepper driverne plasseres i de designerte holderne på toppen.



*Figur 34a over viser oppkobling og prøve kjøring av en Nema 17 motor b til høyre viser justering av strømtrekk for å beskytte motoren.*

Figur 34 a over til venstre viser oppkobling og prøvekjøring av en av Nema 17 motorene som skal benyttes på roboten, til høyre blir strømtrekket justert for å beskytte motoren mot overbelastning under bruk.



*Figur 35 Prøvemontering i strømskap på hovedramme*

Figur 35 over viser prøvemontering av de elektriske komponentene i robotens strømskap på hovedrammen. Her avbildet med rele for strøm styringen av vaffeljernet og systemets strømbryter oppå strømskapet.

Midlertidig Pinout diagram (mangler lcd):

Kontakt Ultimaker: Utgang på Arduino Due

Stepper1(23): Step 37 dir 39

Stepper2(17): Step 23 dir 25

Stepper3(17): Step 31 dir 33

Servo1: 36

Servo2: 34

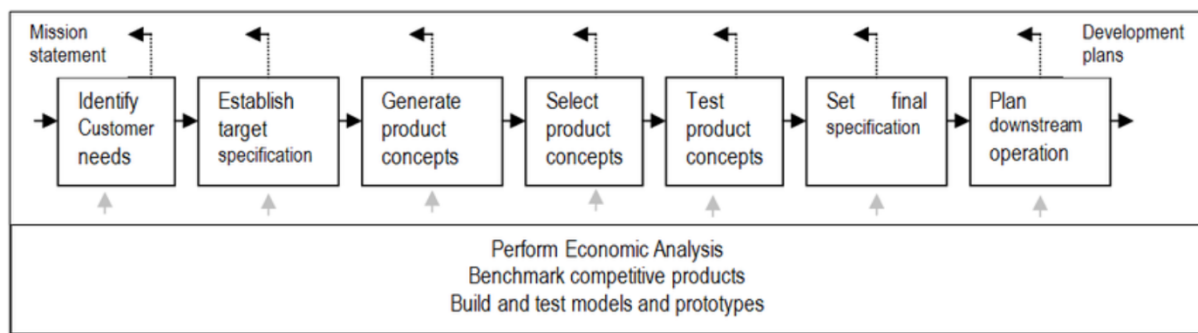
LCD kontakter og utganger må kartlegges før videre programmering.



## 5 Diskusjon

Produktutvikling kan deles opp i flere faser. En vanlig måte å gjøre dette på er illustrert i figur 43. I de første fasene innhenter man kundens behov og spesifiserer produktets spesifikasjoner. I innledningen ble det belyst hvordan automatisering og utvikling av nye produkter drives frem som følge av brukerens ønsker, og et samfunn som stadig jager mindre manuelt krevende løsninger.

Det er vanlig at det jobbes i flere av fasene samtidig, men ved ny informasjon eller endrede produktbehov må man gå tilbake for å sikre at alle krav er tilfredsstilt før arbeidet i neste fase kan fortsette.



Figur 36 Produktutviklings faser [26]

### 5.1 Identifisere kundens behov og fastslå produktets spesifikasjoner

I oppgavebeskrivelsen gitt fra UiS ble kundens behov skissert. Beskrivelsen var design og produksjon av en vaffel steke robot. UiS ønsket å få spesialdesignet et produkt med antatt begrenset kommersiell verdi, det ble derfor vurdert at det ikke var behov for noen markedsundersøkelse.

Som det kommer frem i oppgavebeskrivelsen ovenfor var det kun krav til at vaffelroboten skulle være tak- eller veggmontert, og at den skulle være helautomatisert uten behov for innblanding fra brukeren ved steking. Basert på dette ble de oppgitte spesifikasjonene til roboten brukt til å danne grunnlaget for et konsept. Før man går videre fra fase to der man etablerer produktspesifikasjonene bør man fremlegge disse for kunden, for å verifisere at dette tilfredsstiller kundens behov. Dersom kundens behov ikke er fullt ut ivaretatt i produktspesifikasjonen, risikerer man å utvikle produkter som ikke samsvarer med kundens behov og forventninger. Dette kan medføre behov for endringer av produktet senere i pr

## 5.2 Lage og velge produktets konsepter

For å danne produktkonseptene ble det utført en mulighetsstudie av lignende prosjekter og funksjoner som kunne tilpasses til dette prosjektet. Vaffelsteking innebærer flere operasjoner. For operasjonene ble det vurdert en rekke løsninger. Den neste fasen er utvelgelse av konsept. Innen tre uker etter oppgavetildeling skulle det vært levert en forstudierapport som dannet grunnlaget for utvelgelse av konsept sammen med veilederne. På daværende tidspunkt var konseptet for vaffelroboten umodent, og derfor ble det presentert et forslag om å bruke en eksisterende robotarm som ville redusere mengden produktplanlegging og omfanget av produksjonsdelen. Ettersom at bruk av robotarmen ville resulterte i et sluttprodukt som ikke kunne tak- eller veggmonteres, ble det besluttet å gå bort fra dette ettersom at denne løsningen ikke ville tilfredsstillte kundens opprinnelige krav til produktet.

Det ble besluttet å gå videre med et konsept uten robotarm. I det videre arbeidet med konseptet ble det lagt vekt på at produktet skulle inneholde designelementer som oppfattes spennende for personer med interesse for mekanikk. Eksempler på slike designelementer er arkimedesskruen og trapesgjengestaget. Det ble også lagt vekt på at designet skulle være brukervennlig, og lett å holde rent. Dette ble veiet høyere enn designets produserbarhet. Denne vurderingen ble gjort på bakgrunn av at det kun skulle produseres og leveres en enkelt enhet.

## 5.3 Produkttesting

I denne fasen skal de valgte konseptene verifiseres opp mot kundens krav. De opprinnelige kravene for oppgaven ble møtt med det valgte designet. Det ble valgt ut et vaffeljernet for innkjøp og prøvesteking for å samle data til programmering av styresystem og for å sikre at de øvrige konseptvalgene ville fungere i praksis. I denne fasen kan det være nyttig å involvere kunden i produkttestingen. På den måten vil man sikre at kundens krav er ivaretatt.

## 5.4 Produktplanlegging

Produktplanleggingen begynte med demontering av vaffeljernet for å se hva slags tilpasninger som måtte gjøres for å implementere jernet i roboten. De forskjellige konseptene ble delt opp i mindre systemer noe som gjorde det enklere å holde oversikten over alle tegningene. Det ble fokusert på tilrettelegging for produksjon, og tegninger for produksjonsprosessen. For de som kjenner designet godt er dette tilstrekkelig for å gi en god oversikt. Det er mulig å lage

sammensetningstegning av et komplett design av typen exploded view. En slik tegning gir et godt visuelt bilde av hvordan delene skal monteres sammen, også for personer med begrenset kjennskap til produktet.

Det ble i denne fasen også gjort undersøkelser på produkter som måtte kjøpes inn, både materiell for produksjon og komponenter til styresystemet. Enkelte av de innkjøpte produktene hadde begrenset produktinformasjon. Bestillinger av produkter ble derfor gjort underveis i produktplanleggingen, for å fysisk få produktet og sikre at de harmonerer med planen. Ved å vente til hele planleggingsfasen er ferdig og samle alle innkjøp til et minimalt antall bestillinger ville frakt kostnader blitt redusert. Materialvalgene ble gjort på grunnlag av design. For å verifisere marginene i designet ble det gjennomført beregninger for utvalgte komponenter. Beregningene som ble gjennomført bekreftet at det var betydelige marginer i designet. Det er ikke gjort beregninger av alle komponentene i systemet, men basert på marginene i de beregningene som er gjennomført er det rimelig å anta at det er tilstrekkelig marginer i designet som helhet.

Det er laget en plan for oppkobling og brukergrensesnitt mellom bruker og robot. Oppkoblingsplanen fungert bra ved testkjøring av elmotorer, selv om den da ikke kunne følges til det fulle. Brukergrensesnitt diagrammet vil være et godt utgangspunkt for programmeringen, det kan anvendes for å oppnå ønsket virkemåte og vil komme godt med i programmeringsprosessen.

## 5.5 Produksjon

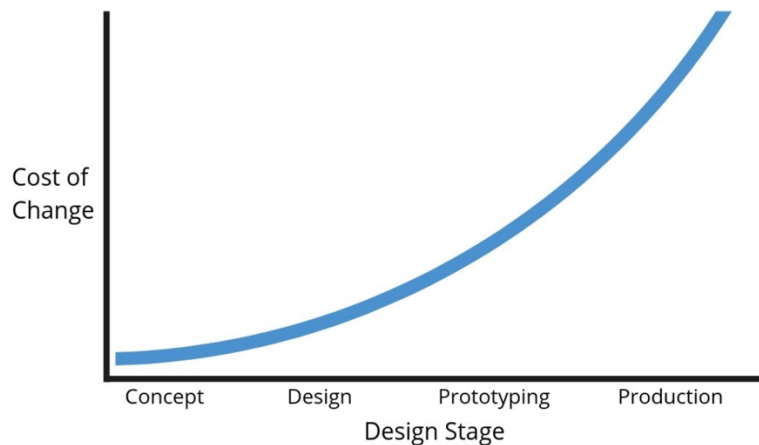
Innledningsvis ble produksjonen av vaffelroboten gjennomført i henhold til planen. Det oppstod utfordringer med produksjonen av røretransportskruen, noe som diskuteres senere i dette delkapittelet.

Tegningene dannet et godt grunnlag for å gjennomføre produksjonen. Enkelte av de innkjøpte produktene ble kjøpt inn til tross for at de var dårlig spesifisert av leverandøren. Dette innebar en økt risiko for utviklingen, men grunnet begrensede ressurser ble det vurdert å være det beste alternativet fra et økonomisk perspektiv. Dette medførte et behov for ekstra arbeid ved tilpasning til robot som ikke var mulig å gjøre før delene var fysisk til stede.

Ved oppstart av på oppgaven ble det utført en forstudierapport. I denne rapporten ble det laget en plan for gjennomføringen av oppgaven. Tidsbruken på de forskjellige deloppgavene i tidsplanen ble undervurdert, og det var ikke lagt inn slingringsmonn i planen. Som følge av dette var det ikke mulig å gjennomføre produktutviklingen innen den satte tidsrammen.

Dersom man tar i betraktning arbeidet som er lagt ned i vaffelroboten er det behov for relativt lite arbeid for å fullføre produktet, som per i dag kun mangler røretransportskrue, oppkobling og programmering for å bli en estetisk stilig og fungerende vaffelrobot.

Kundens negative tilbakemeldinger kan trolig knyttes til designerens ønske for å produsere en estetisk tilfredsstillende robot, og at dette har gått foran kundens behov for en fungerende vaffelrobot. Det estetiske er jo også subjektivt og noe kunden ikke har lagt føringer for. Selv om produksjonen opplevdes effektiv har de krevende designvalgene påvirket tidsbruken. I de designvalgene som ble gjort, ble det valgt en løsning for produksjon av røretransportsystemet som innebærer svært mange komplekse deler med strenge toleranser. Det er mulig å erstatte dette med et enklere system som baserer seg på en tank som er plassert over vaffeljernet. Ved å bruke en tank med en ventil og en slange som fører vaffelrøret ned til jernet. Dette systemet kan man enkelt styre fra Arduino. Analysen utført i kapittel 2 Mulighetsstudie og analyse tok ikke høyde for kompleksiteten og tidsbruken ved produksjon av systemene. Fokuset havnet på det estetiske sammen med mulighet for enkel rengjøring. En grundigere analyse og et tettere samarbeid med kunden kunne potensielt avdekket dette og resultert i et ferdig sluttprodukt grunnet en mindre tidkrevende planlegging og produksjonsprosess. Som vist på **Feil! Fant ikke referanseilden.** vil en slik endring av konseptet bli mer kostbar utover i produktets utvikling. Denne oppgaven tar ikke høyde for de økonomiske kostnadene, men det er en sterk sammenheng mellom kostnader og tidsbruk. Ved å endre konsept eller designløsning tidlig vil det ikke kreve like mye ekstraarbeid som ved å endre konseptet senere i prosessen. Endrer man konsept må man tilbake i fasene i utviklingsprosessen og gjennomgå disse på nytt. Det medfører at mye arbeid som er gjort vil måtte forkastes og gjøres på nytt.



*Figur 37 Kost av endring [27]*

Underveis i produksjonen ble det klart at det ville være veldig tidkrevende å fullføre produksjonen av vaffelroboten med de valgte designløsningene. Men vurderingen ble på det tidspunktet at det ikke ville være tid igjen til å endre konsept og planlegge på nytt med alt det medfører. Ved fullføring av roboten i etterkant vil det bli en vurdering om konseptet skal byttes mot løsningen nevnt over eller ved å fortsette på den utarbeidede planen fra oppgaven. Det ble valgt å se bort fra kostnader allerede i forstudierapporten. Det ville vært gunstig og satt opp et budsjett som det ble tatt høyde for i analysen av designmuligheter. Deler som ikke finnes tilgjengelig for salg må spesialproduseres, dette kan endre kostnadsbildet betraktelig, og burde blitt vektlagt mer. Innkjøp av materiell og produkter til oppgaven ble gjort uten samarbeid med kunde. Dette var ikke den opprinnelige planen, men ved kjøp av svært mange komponenter i perioden med produktplanlegging ble det gjort for å sikre raskere fremdrift i denne fasen. Det fungerte bra at delene var raskt tilgjengelig for nødvendige tester og verifisering. Arbeidet med produksjon ble ikke utført på universitets verksted grunnet bosituasjon. Ved å utføre produksjonen der ville man fått nyttig veiledning ved behov, samtidig som samarbeidet med kunden kunne blitt bedre ivaretatt underveis i prosessen.

## 5.6 Kostnader og materiell

Det ble i forstudierapporten ikke vektlagt kostnader og materialbruk. Det ble vurdert at det ikke skulle tas hensyn til dette ved utarbeiding av oppgaven. Det kunne med fordel ha blitt med og kunne vært til hjelp ved utvelgelse av konsepter samtidig som det ville vært interessant å se de faktiske kostnadene opp mot budsjettet.



## 6 Konklusjon

Som nevnt i kapittel 6 **Feil! Fant ikke referanseilden.** består produktutviklingen av flere faser hvor alle har en viktig rolle for å oppnå suksess, men ved komme tidlig i gang med de tre første fasene som er å identifisere kundens behov, fastslå produktets spesifikasjoner og finne konseptløsninger vil man kunne peile prosjektet inn på riktig kurs tidlig. Da vil man kunne disponere mer av tiden på å velge riktige løsninger samtidig som at man sikrer at arbeidet som blir gjort etter konseptutvelgelsen er målrettet mot kundens eller målgruppens ønsker og behov.

En god dialog med kunden eller grundige markedsundersøkelser for andre produkter vil være avgjørende for et vellykket resultat. Da et bra produkt i seg selv ikke vil være til nytte dersom det ikke tilfredsstiller sluttbrukerens konkrete behov. Kommunikasjonen med kunden, som for denne oppgaven er veileder, vil være viktig og må anses som et godt hjelpemiddel når en slik oppgave skal gjennomføres og burde benyttes. Produksjonsprosessens gjennomføring vil i stor grad avhenge av arbeidet som er nedlagt i de foregående fasene i produksjonsutviklingen. Med en detaljert og gjennomført god plan vil produksjonen kunne foregå på en effektiv måte og tiden brukt på planlegging vil spare tid under produksjon. I denne oppgaven ble det brukt både mekaniske og elektriske løsninger som gjorde at mye tid gikk med på planleggingen av det elektriske styresystemet for å sikre kompatibilitet mellom komponenter, samtidig som det skulle tilpasses de mekaniske løsningene før produksjonen kunne starte. Arbeidet med oppgaven har vært en lærerik prosess som har gitt ett mer helhetlig bilde av produktutviklings prosessen og hvorfor alle fasene er viktige. Under utviklingen som ble gjennomført i dette prosjektet ble det veldig tydelig hvordan arbeidet som ble gjort i de tre første fasene hadde en negativ påvirkning senere i prosessen.

## 7 Literaturliste

- [1 P. B. Andersen, "www.SNL.no," Store norske leksikon, 26 8 2018. [Online]. Available:  
] <https://snl.no/automatisering>. [Accessed 10 5 2021].
- [2 Tine Handel, "Tine Handel," 2016. [Online]. Available:  
] [https://www.tinehandel.no/tine\\_esa/cc/zEnonicDetails.jsp?key=473652](https://www.tinehandel.no/tine_esa/cc/zEnonicDetails.jsp?key=473652).
- [3 Canmoose730, "Youtube.com," Canmoose730, 18 April 2012. [Online]. Available:  
] <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=wcK9PS31BvU>. [Accessed 10 Februar 2021].
- [4 J. E. Stranden, "Youtube," joneivinds, 23 April 2014. [Online]. Available:  
] <https://www.youtube.com/watch?v=3vsYRR3wIkk>. [Accessed 10 Februar 2021].
- [5 Bryggselv, "Bryggselv.no," [Online]. Available:  
] <https://www.bryggselv.no/brewferm/400746/pump-in-20-magnetdrevet-pumpe>.  
[Accessed 10 Februar 2021].
- [6 A. Rai, "Youtube.com," Universitetet i Agder, 2 Juni 2015. [Online]. Available:  
] <https://www.youtube.com/watch?v=KKEMybjhsk4>. [Accessed 10 Februar 2021].
- [7 K. E. Aubert, "Store Norske Leksikon," 31 Oktober 2019. [Online]. Available:  
] <https://snl.no/Arkimedes>. [Accessed 10 Februar 2021].
- [8 M. Theiler, "Wikipedia," 8 Juni 2018. [Online]. Available:  
] [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Archimedische\\_Schraube\\_Norden\\_Mth\\_6183.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Archimedische_Schraube_Norden_Mth_6183.JPG). [Accessed 10 Februar 2021].
- [9 W. D.-R. D. G. Callister, Materials science and engineering, John Wiley & Sons inc,  
] 2014.
- [1 Supermagneter.no, "Supermagneter.no," [Online]. Available:  
0] <https://supermagneter.no/lineaer-aktuator-150kg-12-v-id788>. [Accessed 10 4 2021].
- [1 Nettside, "https://www.arduino.cc/," [Online]. Available: [https://store.arduino.cc/arduino-](https://store.arduino.cc/arduino-1)  
1] [uno-rev3](https://store.arduino.cc/arduino-1). [Accessed 15 Februar 2021].

- [1 Unknown, "www.Totemmaker.net," Otterlei Group AS, [Online]. Available:  
2] <https://totemmaker.net/blog/electric-motor-comparison-stepper-vs-servo-vs-dc/>.  
[Accessed 12 4 2021].
- [1 P. B. Andresen, "www.snl.no," Store norske leksikon, 15 2 2019. [Online]. Available:  
3] <https://snl.no/steppermotor>. [Accessed 11 04 2021].
- [1 Unknown, "www.skf.com," SKF, [Online]. Available:  
4] <https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings>. [Accessed 11 4 2021].
- [1 Unknown, "www.amazone.com," Amazone inc, 2021. [Online]. Available:  
5] <https://www.amazon.com/Uxcell-a13042400ux0485-Single-Direction-Bearing/dp/B00DUW47IQ>. [Accessed 2021 4 5].
- [1 "arduino.cc," [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/arduino-due>. [Accessed Søndag  
6] Mars 2021].
- [1 Unknown, "www.reprap.com," Reprap developement community, 6 7 2019. [Online].  
7] Available: [https://reprap.org/wiki/Ultimaker%27s\\_v1.5.7\\_PCB](https://reprap.org/wiki/Ultimaker%27s_v1.5.7_PCB). [Accessed 24 2 2021].
- [1 Unknown, "www.pololu.com," Pololu corporation, [Online]. Available:  
8] <https://www.pololu.com/product/2982/specs>. [Accessed 5 4 2021].
- [1 Unknown, "www.lastminuteengineer.com," lastminute, 2021. [Online]. Available:  
9] <https://lastminuteengineers.com/a4988-stepper-motor-driver-arduino-tutorial/>. [Accessed  
10 4 2021].
- [2 Fra leksikon papirutgave, "www.snl.no," Store norske leksikon, 9 1 2021. [Online].  
0] Available: <https://snl.no/re%C3%A9>. [Accessed 3 29 2021].
- [2 Unknown, "www.Bangood.com," [Online]. Available: [https://www.banggood.com/5pcs-1-3V-1-Channl-Relay-Isolated-Drive-Control-Module-High-Level-Driver-Board-p-1415775.html?utm\\_source=googleshopping&utm\\_medium=cpc\\_organic&gmcCountry=NO&utm\\_content=minha&utm\\_campaign=minha-no-en-pc&currency=NOK&cur\\_warehouse=CN](https://www.banggood.com/5pcs-1-3V-1-Channl-Relay-Isolated-Drive-Control-Module-High-Level-Driver-Board-p-1415775.html?utm_source=googleshopping&utm_medium=cpc_organic&gmcCountry=NO&utm_content=minha&utm_campaign=minha-no-en-pc&currency=NOK&cur_warehouse=CN). [Accessed 1 4 2021].

- [2 H. G. Lemu, "Dimensjonering av maskinelementer," in *Kompendium i fag MSK210*  
2] *Maskin konstruksjon*, Stavanger, UIS, 2020, pp. 183-190.
- [2 H. G. Lemu, "Dimensjonering av maskinelementer," in *Kompendium i fag MSK 210*  
3] *Maskinkonstruksjon*, Stavanger, Universitet i stavanger, 2020, pp. 97-102.
- [2 H. G. Lemu, "Dimensjonering av maskinelementer," in *Kompendium for fa MSK 210*  
4] *Maskinkonstruksjon*, Stavanger, UIS, 2020, pp. 65-78.
- [2 H. G. Lemu, "Dimensjonering av maskinelementer," in *Dimensjonering av*  
5] *maskinelementer*, stavanger, UIS, 2020, pp. 125-131.
- [2 K. T. & S. D. Eppinger, "Product design and development," in *Product design and*  
6] *development*, New York, McGraw hill, 2012, pp. 1-20.
- [2 Arrotek, "www.arrotek.com," [Online]. Available: [https://www.arrotek.com/how-design-  
7\] changes-impact-medical-device-product-development-costs-and-time-to-market/](https://www.arrotek.com/how-design-changes-impact-medical-device-product-development-costs-and-time-to-market/).  
[Accessed 10 5 2021].

## 8 Vedlegg

### 8.1 Vedlegg A: Forstudie rapport

 Universitetet i Stavanger	
<b>DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET</b> <b>FORSTUDIERAPPORT TIL BACHELOROPPGAVE</b>	
Studieprogram/spesialisering: Maskin	Vår semesteret, 2021 Åpen / Konfidensiell
Forfatter: Simen Auset	
Fagansvarlig: <i>Hirpa G. Lemu</i> , UiS. Veileder(e): <i>Hirpa G. Lemu</i> , UiS.	
Tittel på bacheloroppgaven: Design and construction of a waffle cooking robot	
Studiepoeng: 20 poeng. Essay i vitenskapsteori/etikk er inkludert.	
Emneord: Tannhjul, flere komponenter i samspill, elektronikk.	Sidetall: + vedlegg/annet: ..... Stavanger, .....

## **Forord**

Bachelor oppgaven plukket jeg ut av blant en rekke ulike forslag til oppgaver som ble lagt frem for oss maskiningeniørstudenter. Ved første øyenkast virket oppgaven utfordrende, ved å tenke gjennom alle prosessene som faktisk gjøres ved en så «enkel» ting som å steke en vaffel er det ganske mange. Bryter man ned alle prosessene som skal automatiseres til mindre oppgaver vil man i denne oppgaven virkelig få utfolde sin kreativitet og ta fatt på mange utfordringer. Alle prosessene står man fritt til å finne løsninger på. Tanken på å jobbe mot et produkt som er i stand til å samkjøre alle disse løsningene inspirerte meg til å velge denne oppgaven. En utfordring i innovativ tenkning, ingeniørfaglig forståelse og skapervilje.

## Innhold

### **Problemstilling**      **67**

*Mål og delmål*..... 67

*Omfang*..... 67

*Begrensinger* ..... 68

*Tidsbruk*..... 69

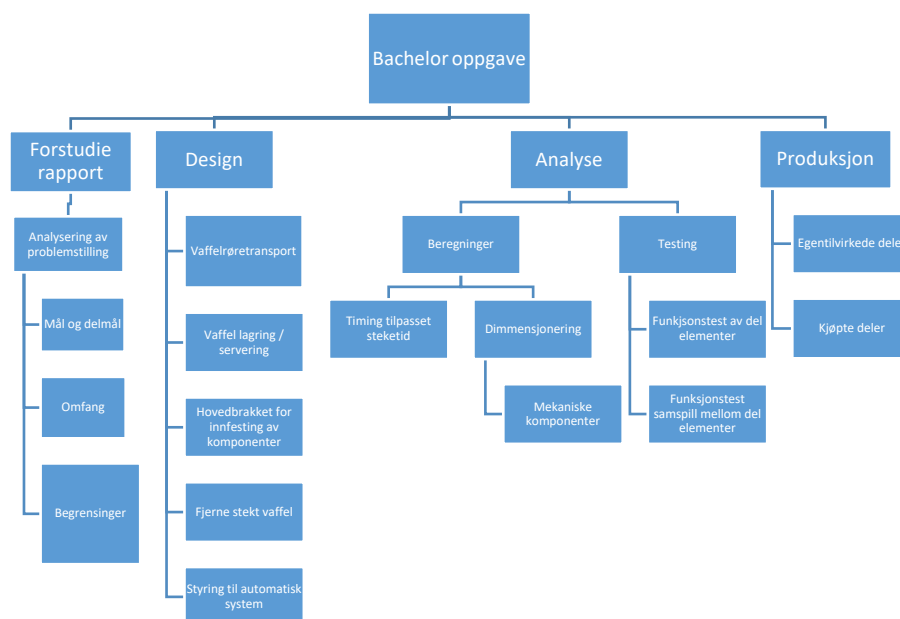
### **Litteraturliste**      **70**

## Problemstilling

### Mål og delmål

Formålet med denne oppgaven er å automatisere vaffelsteke prosessen. Man skal kun tilføre vaffelrøre deretter skal maskinen/roboten være automatisert nok til å steke flere vaffler uten innvirkning av brukeren. Det ferdige produktet skal være kompakt nok til å kunne stå på ett bord eller vegg monteres, samtidig som det er trygt å anvende for alle eventuelle brukere. Ved å gjøre dette er hovedmålet er å vise forståelse for produksjonsprosesser og maskinkonstruksjon. En idé skal realiseres gjennom design, analyse og produksjon.

**Figur 1 viser en prosjektnedbrytnings struktur av oppgaven. Her presenteres hovedkategorier og underkategorier. Her er det med hensikt valgt å utelate en del underkategorier for å forenkle modellen og gi bedre oversikt.**



Figur 38 Prosjektnedbrytning struktur (PNS)

### Omfang



Sett bort fra grunn ideen må hele oppgaven designes, beregnes og produseres. Det vil bli tatt utgangspunkt i ett standar vaffeljern som vil bli modifisert og implementert som ett nøkkel element i ett system som består av flere av prosesser. Som figur 1 viser vil systemet bli delt opp slik at hver hoveddel består av en prosess. Det vil bli brukt både kjøpte og selvlagde deler da enkelte komponenter må spesial tilpasses for dette prosjektet.

Selve hovedbraketten for innfesting av de forskjellige komponentene vil bli laget av aluminium. En el motor med tilhørende styring vil være nødvendig for å drive systemet, og en metode for å bestemme en steakesyklus må lages i forbindelse med inn utkobling av elmotor. Vaffelrøre transport vil gjøres ved hjelp av en arkimedes skrue som fyller ett målebeger, når begeret er fullt må skruen stoppe og røren er klar for å bli helt på vaffeljernet når det passer i prosessen. Det må også lages en metode for åpning/ lukking av vaffeljernet samt fjerning av stekt vaffel. Det skal gjøres ved å åpne øverste del 90 grader for deretter vende nederste del av vaffeljernet 180 grader. Innventor vil blir brukt for design av deler som ikke kan kjøpes. Arkemedes skruen kan være vanskelig å finne i riktig utførelse og må kanskje 3D printes i ett material som kan være i kontakt med mat.

Her er det flere utfordringer som man kan støte på underveis som ikke vil være gjenkjennelige før ved prøvesteking og testing.

### Begrensinger

Løsningene valgt for oppgaven gir opphav om ett ønske om å ikke dra nytte av alle godene med elektronikk, men etterstrebe å beholde en del mekaniske prosesser. Håpet er at det vil gi en estetisk stilig maskin/robot samtidig som det underbygger maskiningeniør linjen. Gjennom arbeidet med oppgaven vil man ha tilgang på verkstedet ved Universitet i Stavanger. Her finnes det meste av utstyr som trengs for å lage vaffelroboten. Delene av arbeidet man trenger spesielt verktøy eller maskiner til, kan utføres der. Men grunnet mange studenter og simultane prosjektoppgaver antas det likevel at verkstedet på Universitet i Stavanger vil ha begrenset kapasitet. Det legges derfor opp til at mye av arbeidet foregår hjemme da covid-19 situasjonen tidvis krever det. Siden en stor del av prosjektet består i testing og montering av ulike smådeler anses dette som en overkommelig utfordring. Med god planlegging og eventuell reservasjon av ønsket verkstedsutstyr vil det nok la seg gjøre.

Det gjøres oppmerksom på at alle ideene som er lagt frem er ikke kommet lengre en tegnebrettet, mulige avvik fra planen kan forekomme om valg av løsning viser seg spesielt dårlig eller ugunstig. Dimensjonering begrenses til systemets antatt svakeste punkter eller ved behov. Deler vil bli kjøpt inn underveis på en måte som er økonomisk gjennomførbar. Kostnaden ved prosjektet antas å ikke bli av betydelige summer og derfor vil heller ikke pris for deler og produksjon bli vektlagt eller diskutert. Kostnadsstruktur (CBS) utgår som følger av dette.

### Tidsbruk

Figur 2 viser en oversikt over planlagt tidsbruk for bachelor oppgaven. Det er vanskelig å annslå nøyaktig tids bruk for det forskjellig fasene av oppgaven da det i stor grad vil overlappes hverandre underveis. Spesielt i tilfeller hvor testing viser at man må gjøre noe annerledes. Alle underkategorier er ikke tatt med for å gi en bedre oversikt. Men også her vil jo ferdigstilling av prosjektet være avhengig av at alle deler av maskinen er fullført får å oppnå ferdigstilling.

NR	Aktivitet	Start	Slutt	Antall dager	15.jan	30.jan	15.feb	30.02.2021	15.mar	30.mar	15.apr	30.apr	15.mai
1	Forstudierapport	15.01.2021	08.02.2021	24	█								
2	Design	26.01.2021	26.03.2021	59		█							
3	Bestilling av deler	20.01.2021	14.03.2021	53	█								
4	Beregning	14.02.2021	20.04.2021	65			█						
5	Produksjon	20.02.2021	20.04.2021	59			█						
6	Testing	01.04.2021	20.04.2021	19						█			
7	Rapportskriving	15.02.2021	01.05.2021	75			█						
8	Avslutning	01.05.2021	15.05.2021	14								█	

Figur 39 Tidsplan

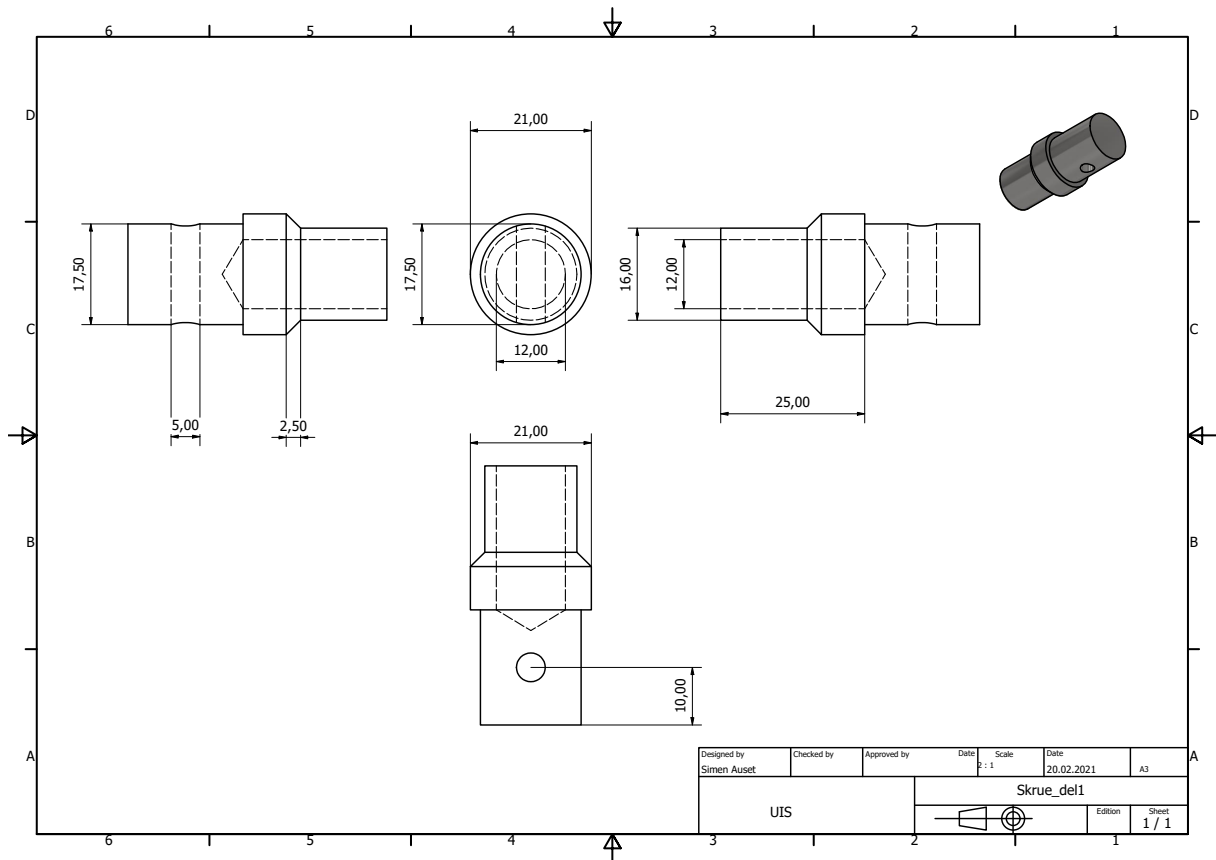
Figur 1 Prosjektnedbrytning struktur (PNS) .....	67
Figur 2 Tidsplan .....	69

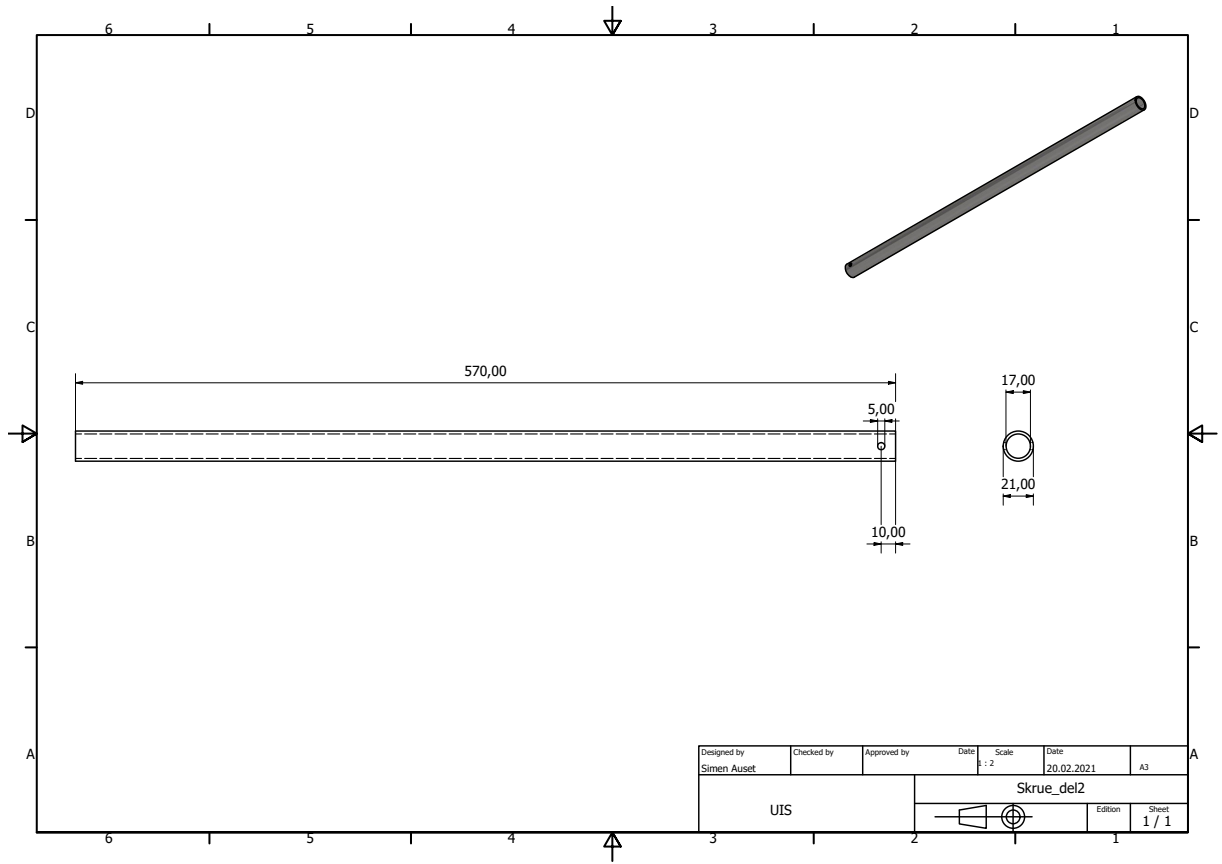
### **Litteraturliste**

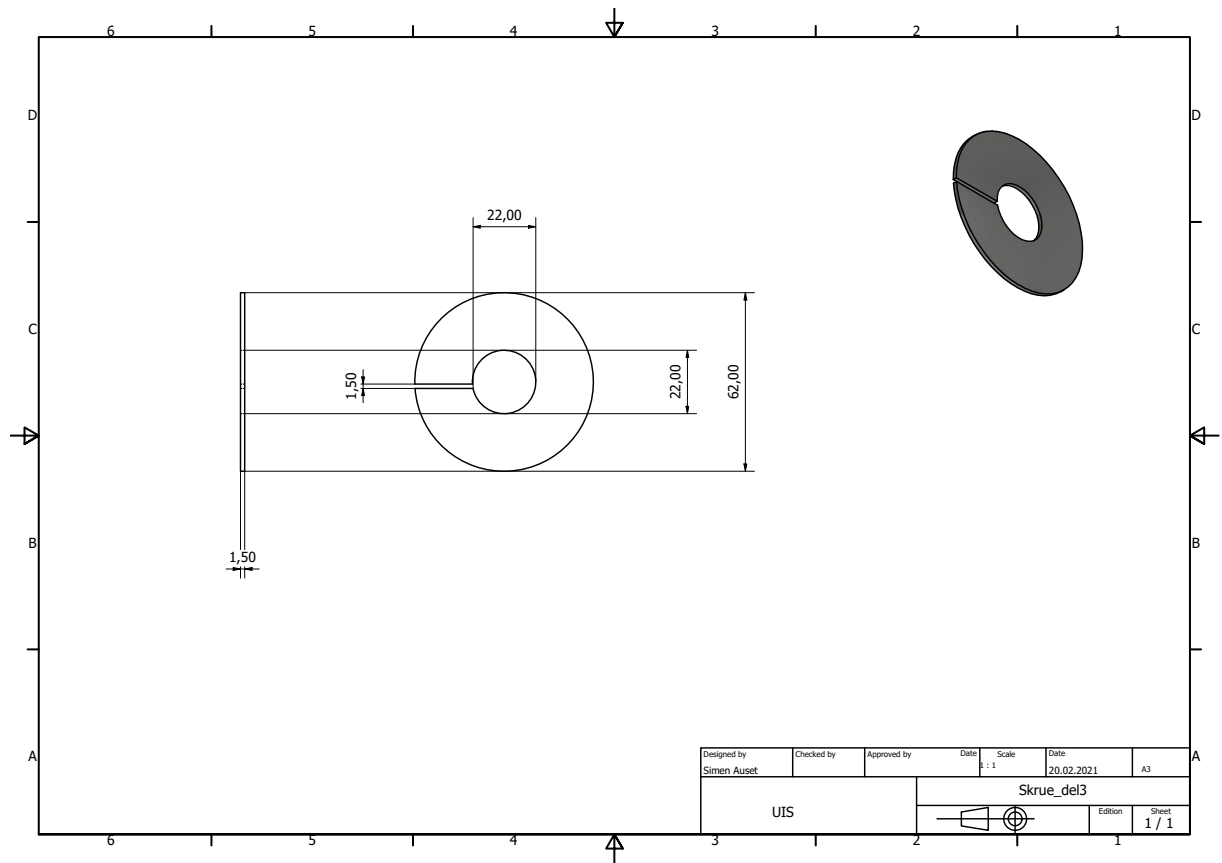
Ingen referanser brukt til å skrive denne rapporten. Ved grundigere forstudie i jakten på løsninger og eventuell faginformasjon for beregninger som må gjøres etter hvert vil referanser tilkomme.

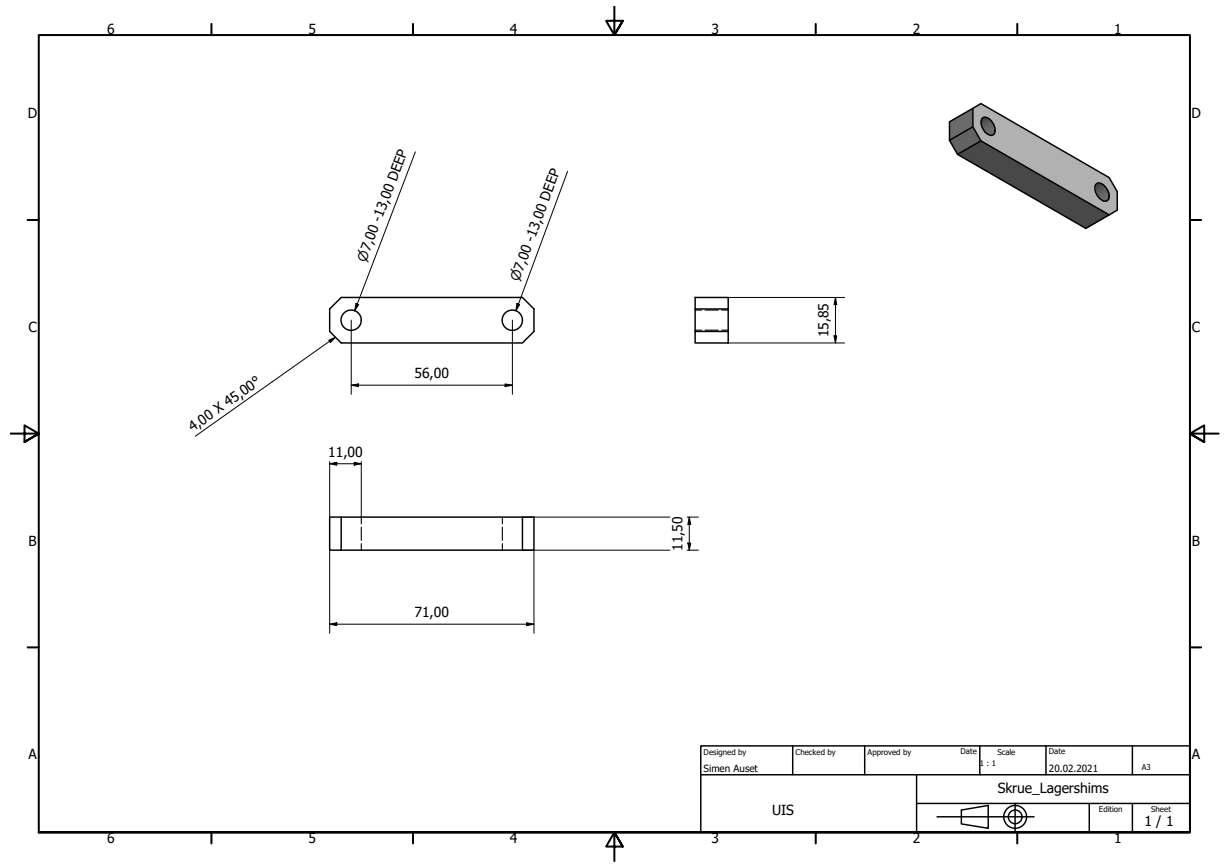
## 8.2 Vedlegg B: Arbeidstegninger

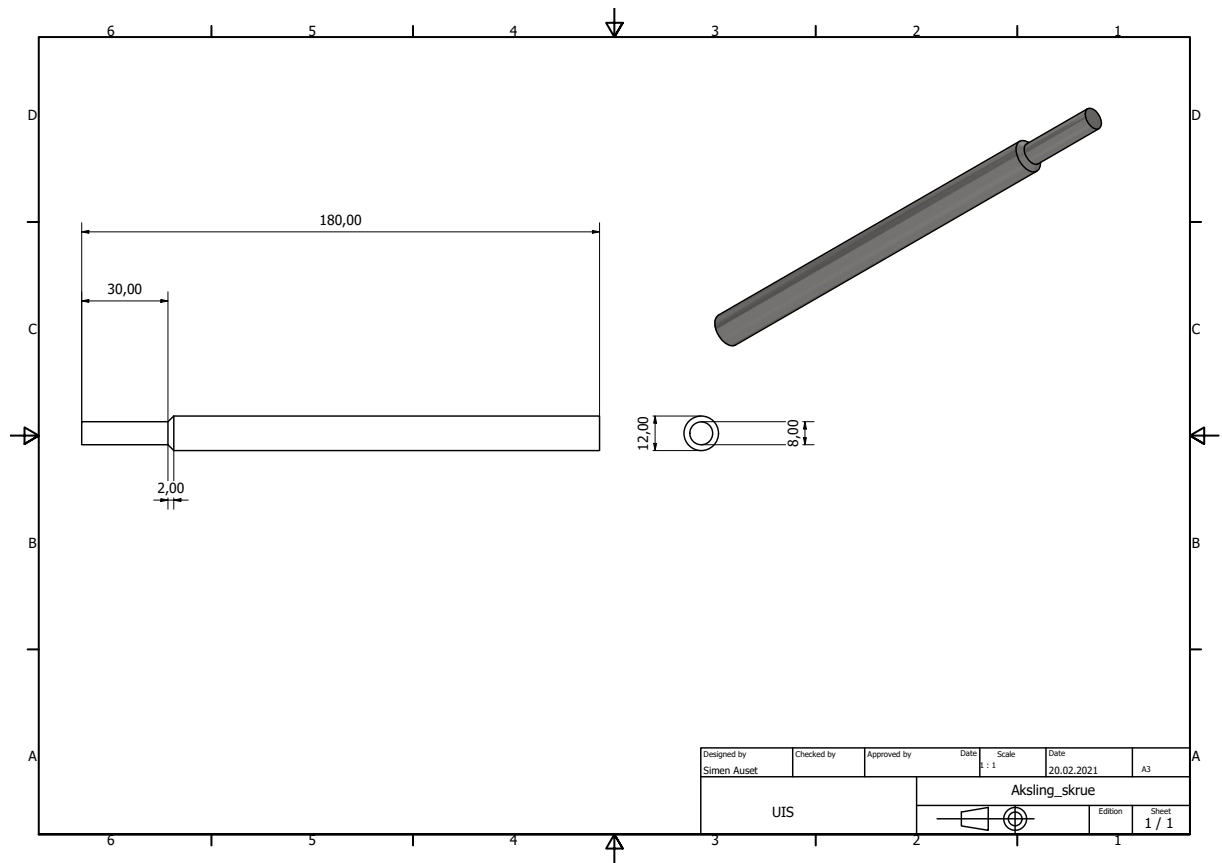
### Røretransportskrue





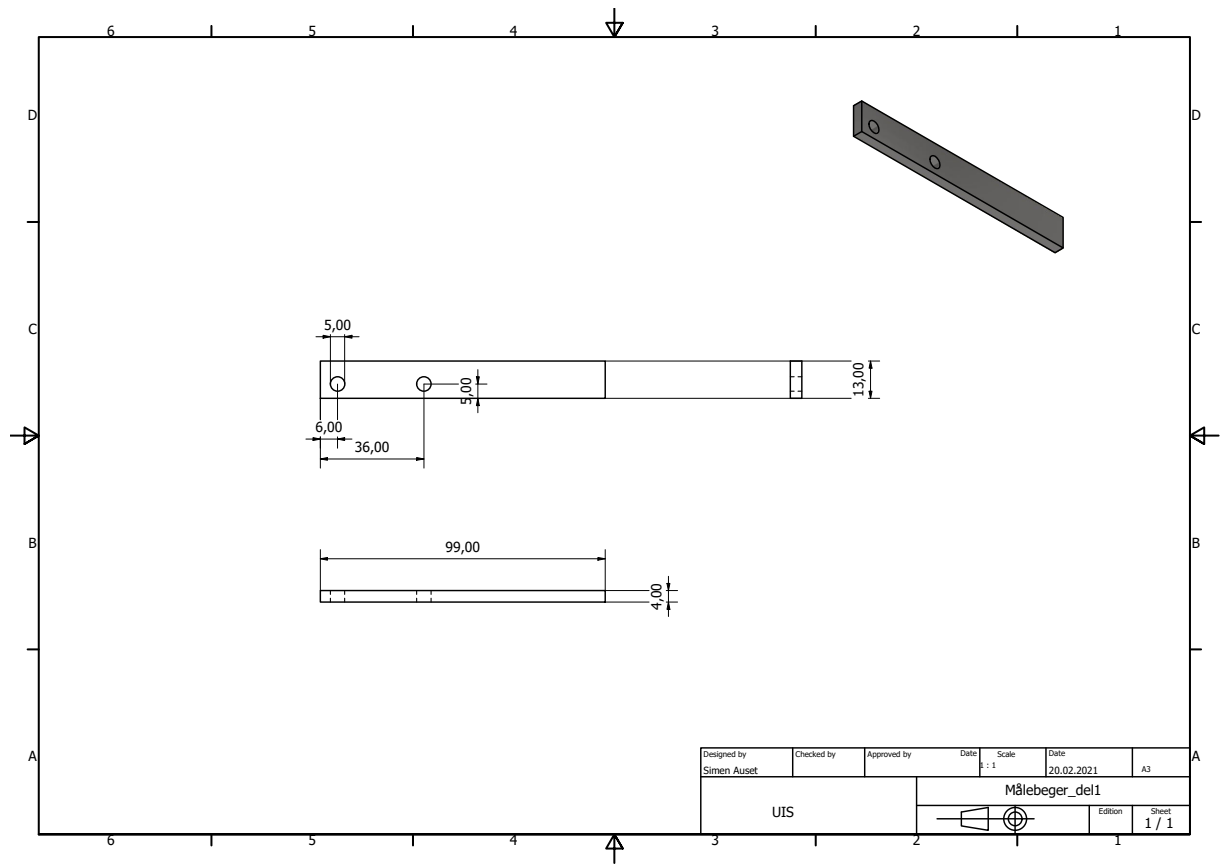


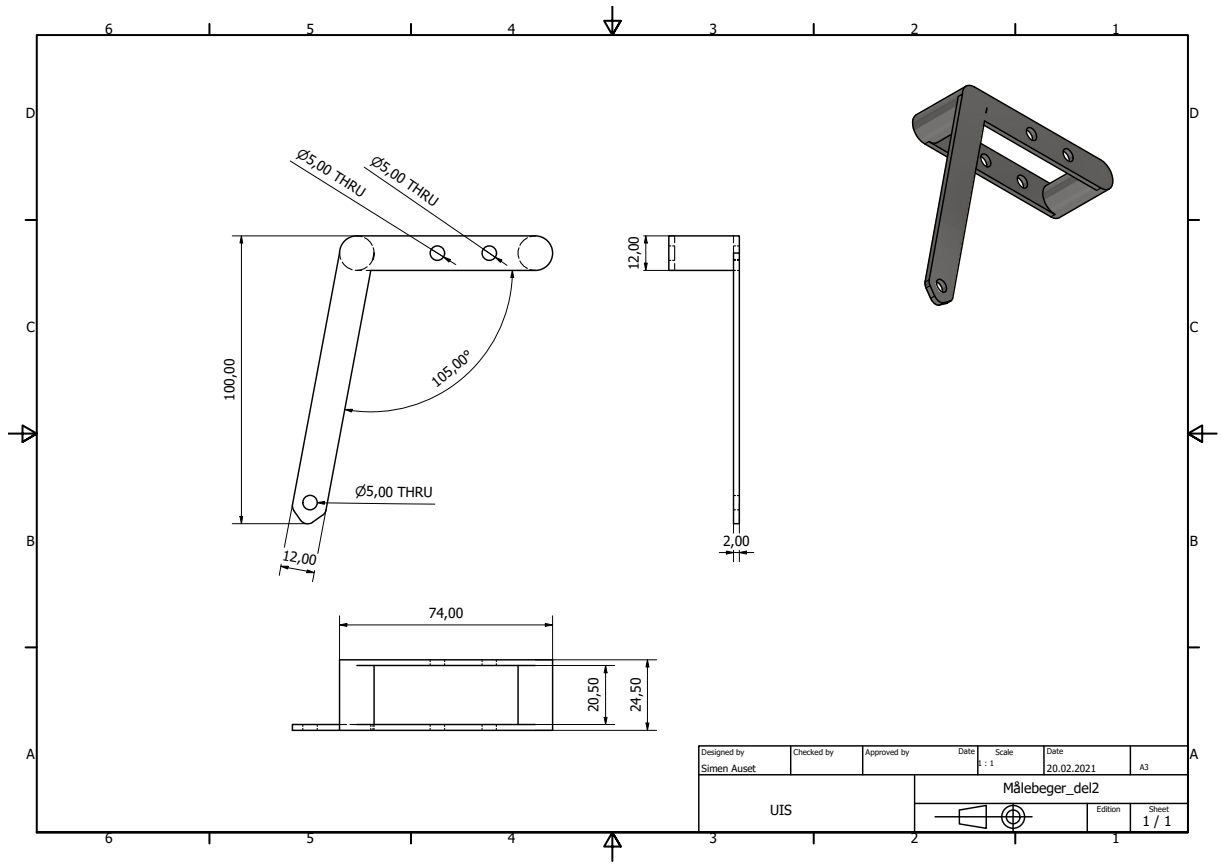


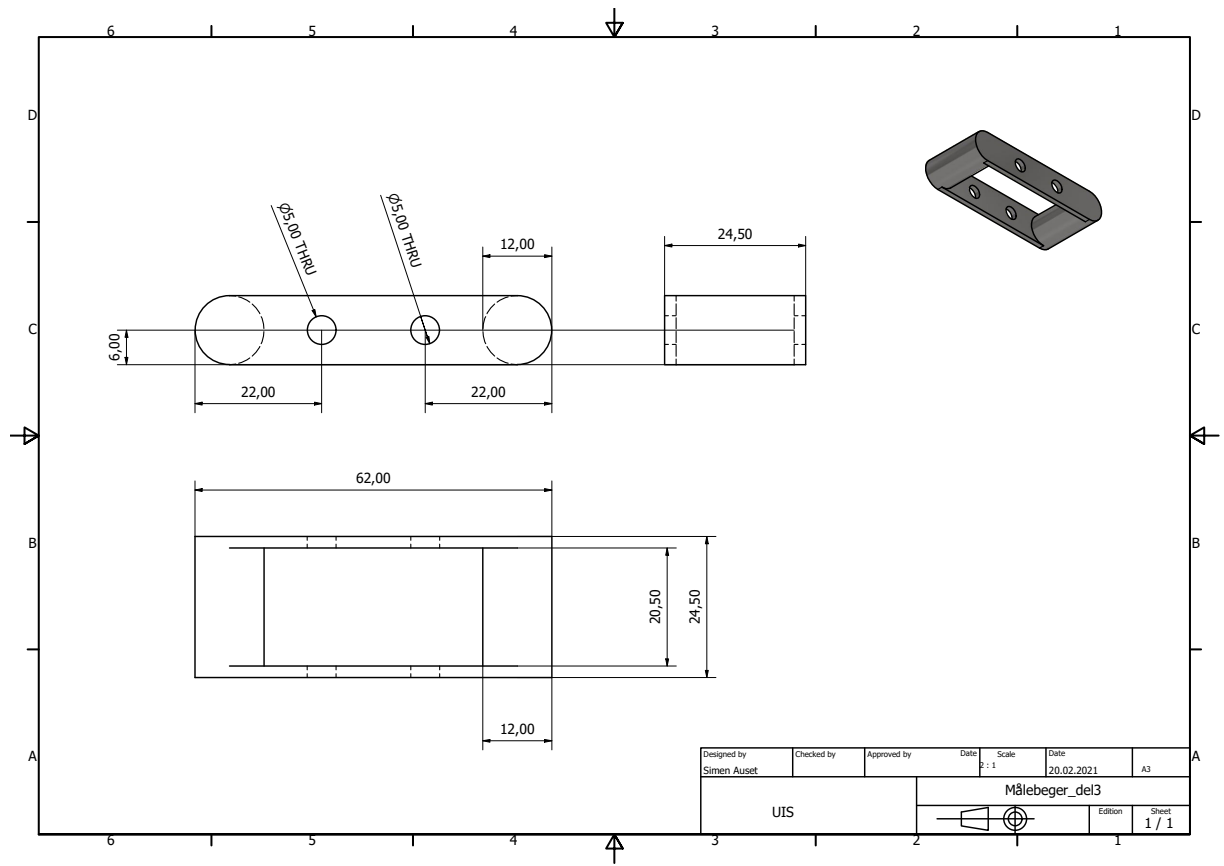


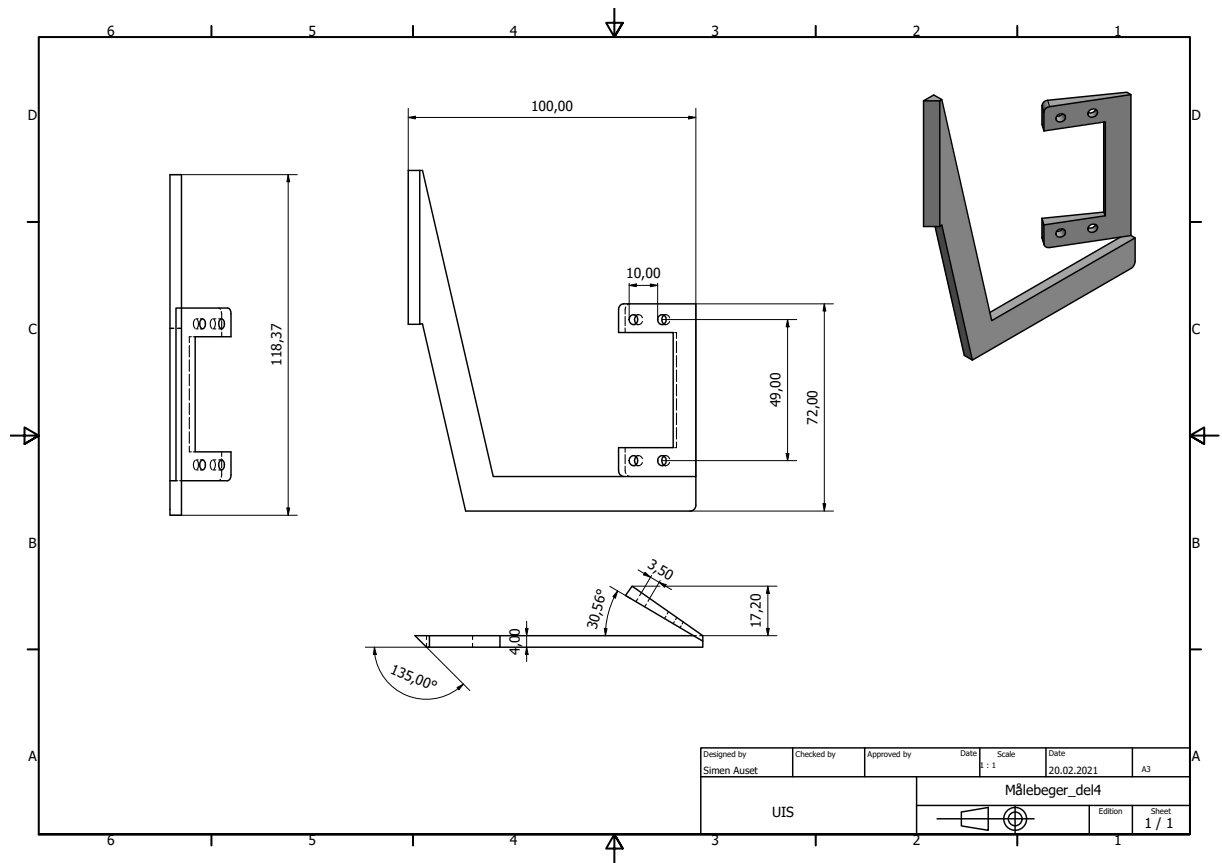
Røredoseringsystem



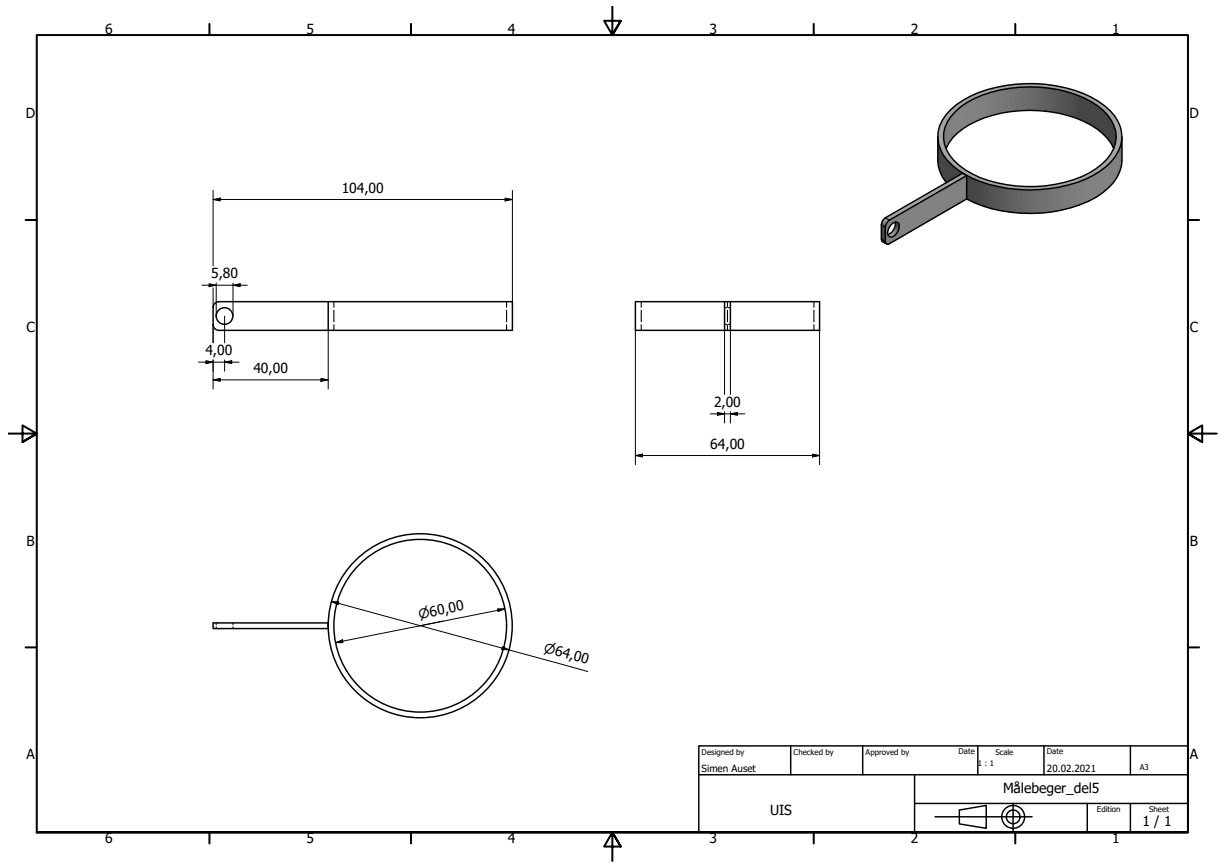


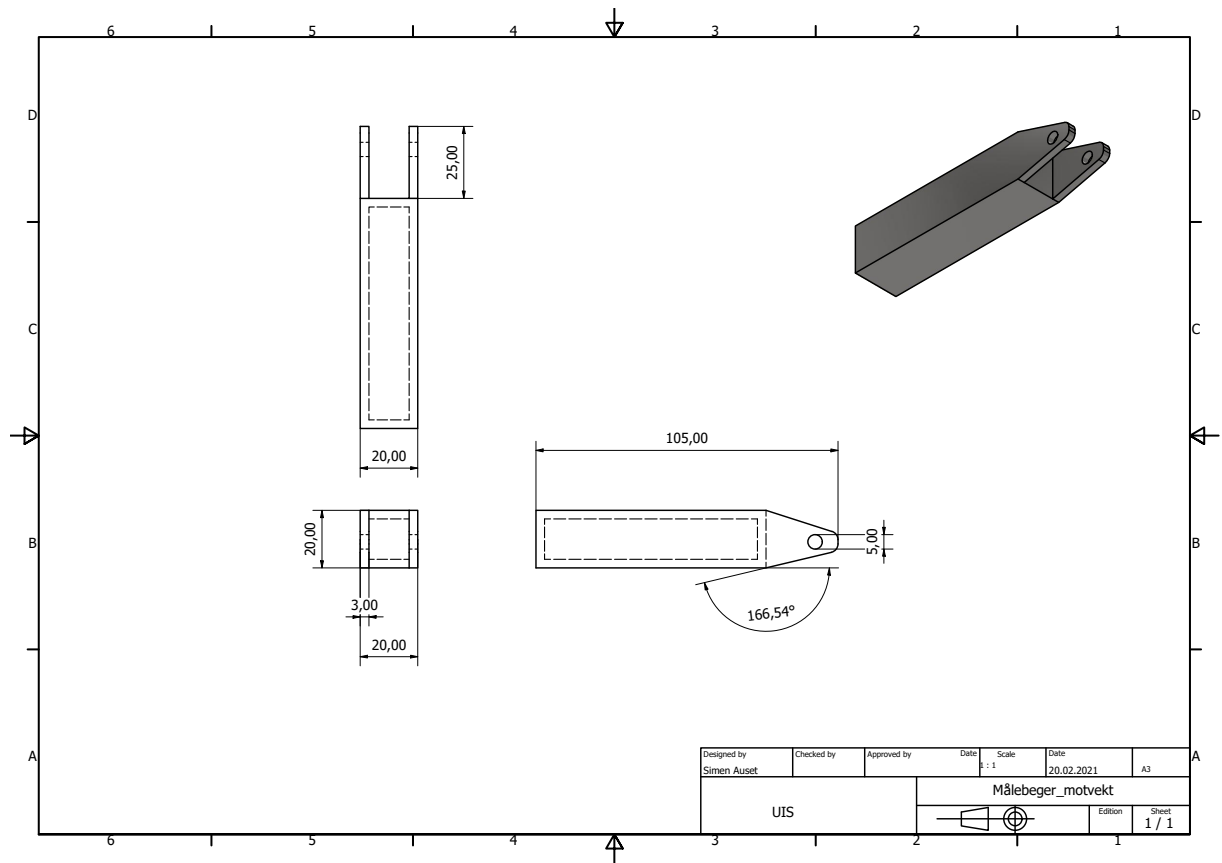






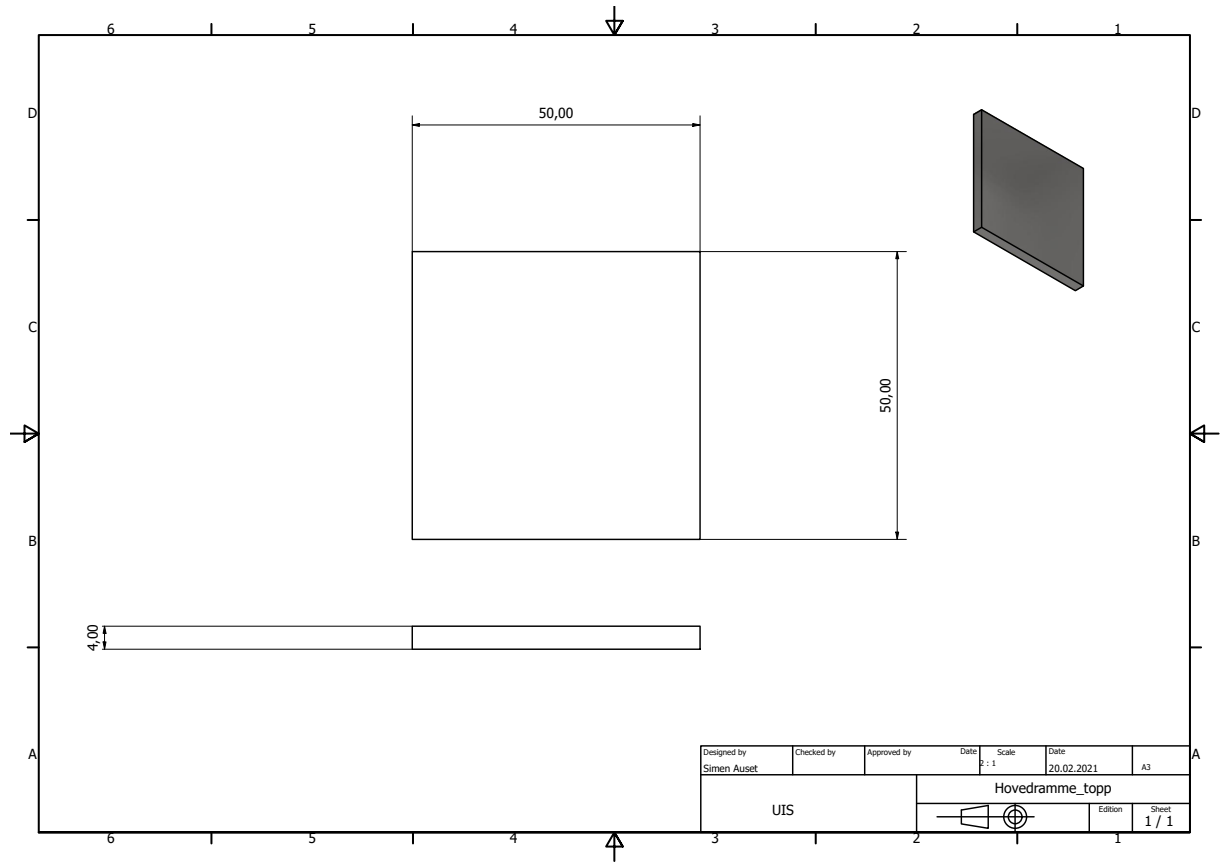
Designed by Simen Auset	Checked by	Approved by	Date : 1	Scale	Date 20.02.2021	A3
UIS			Målebeger_del4		Edition	Sheet 1 / 1



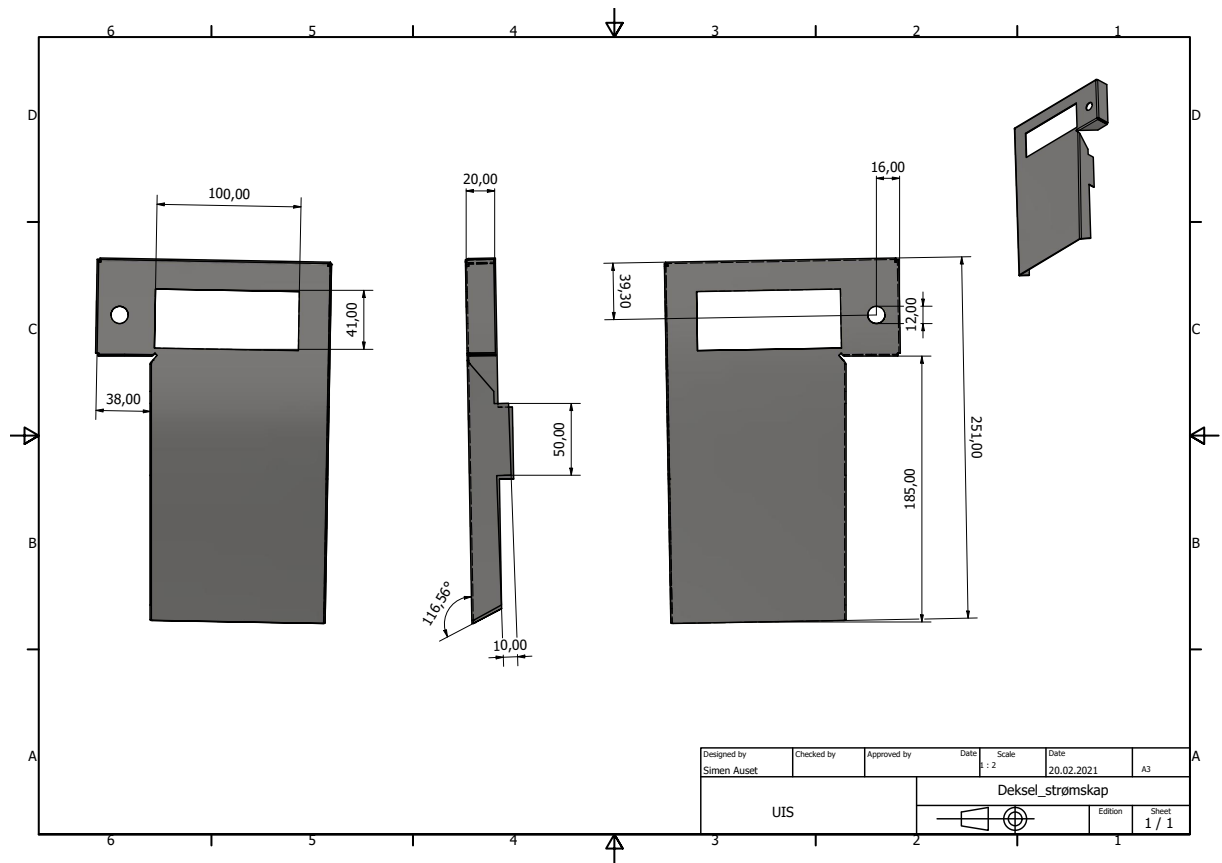


Hovedkonstruksjon

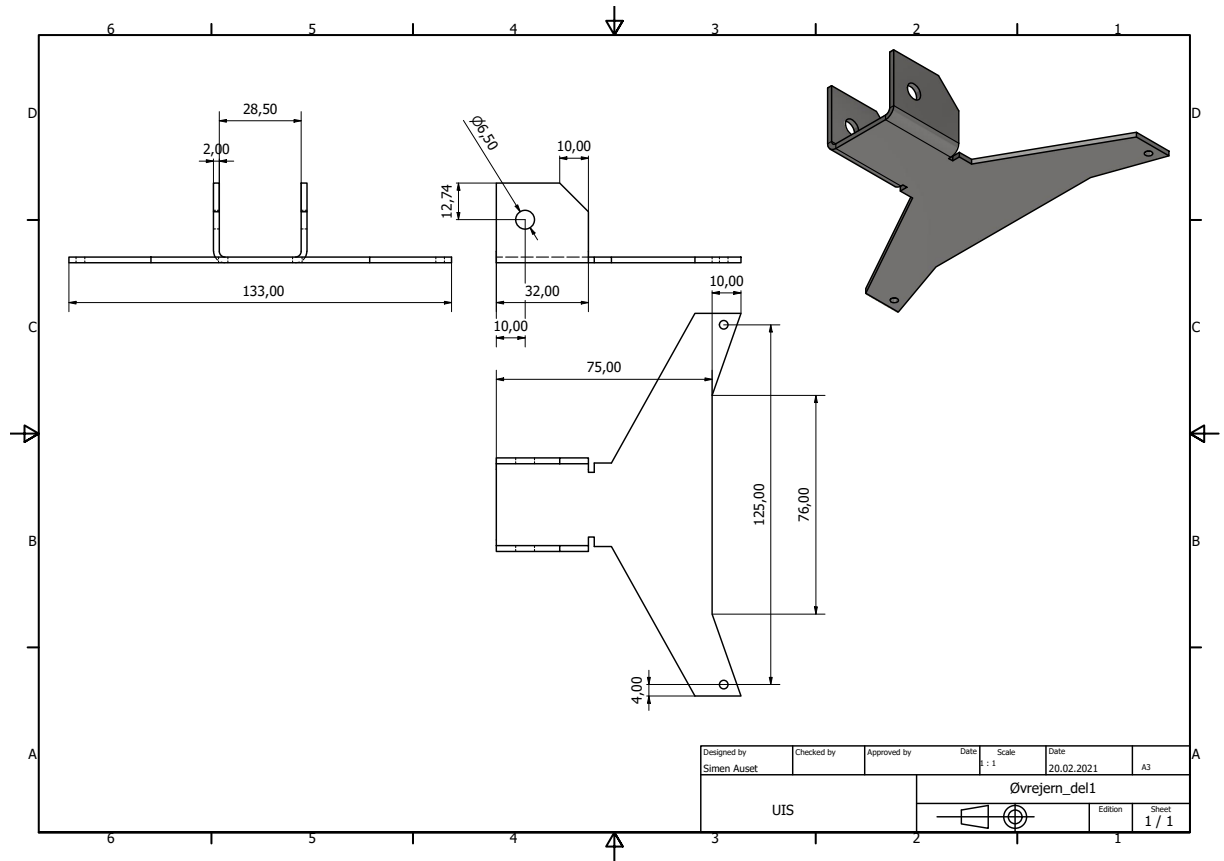


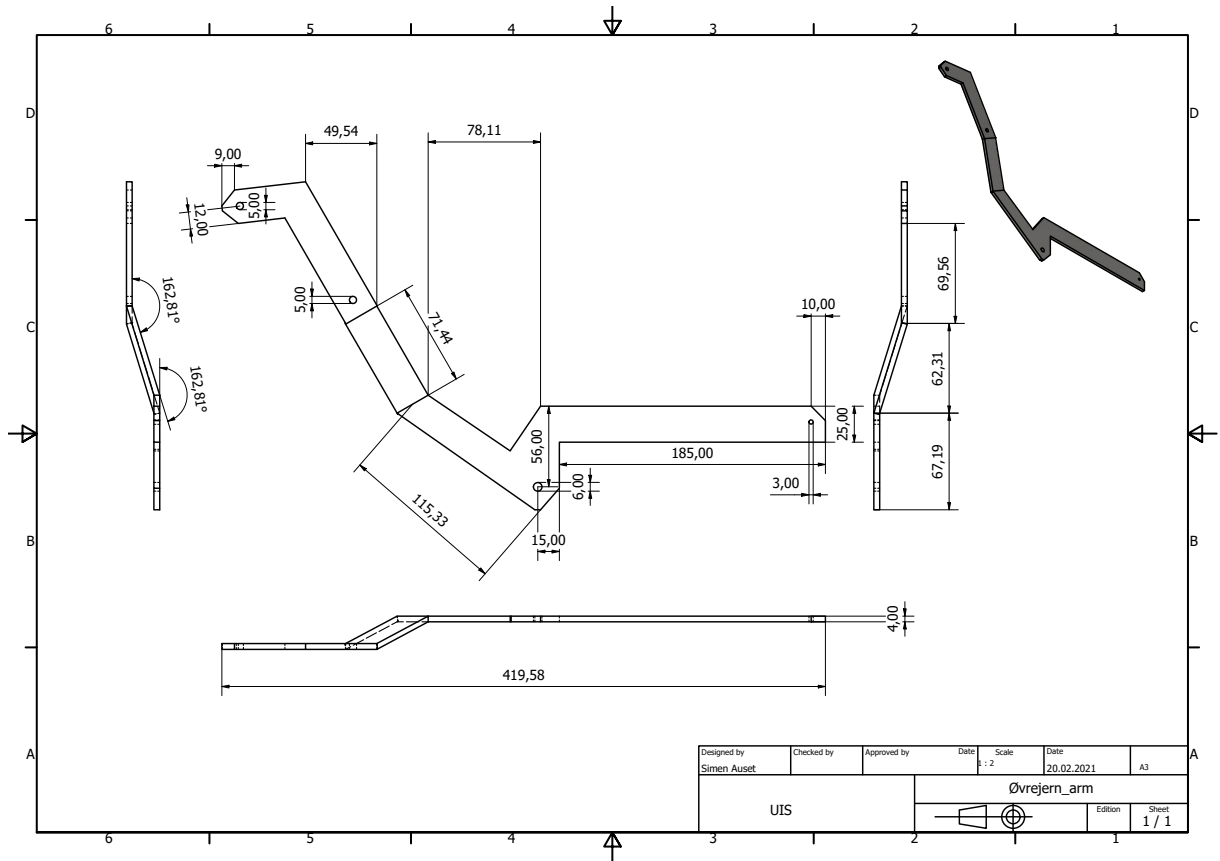


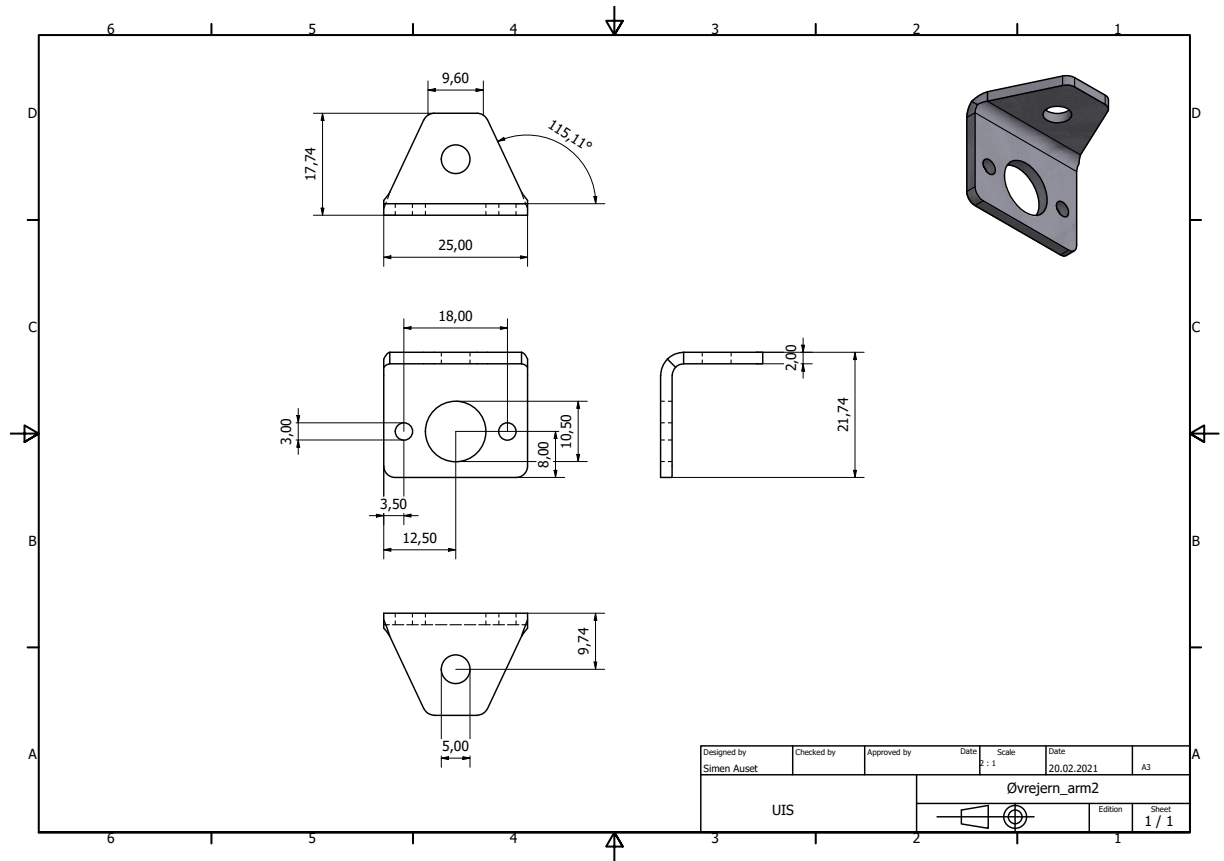


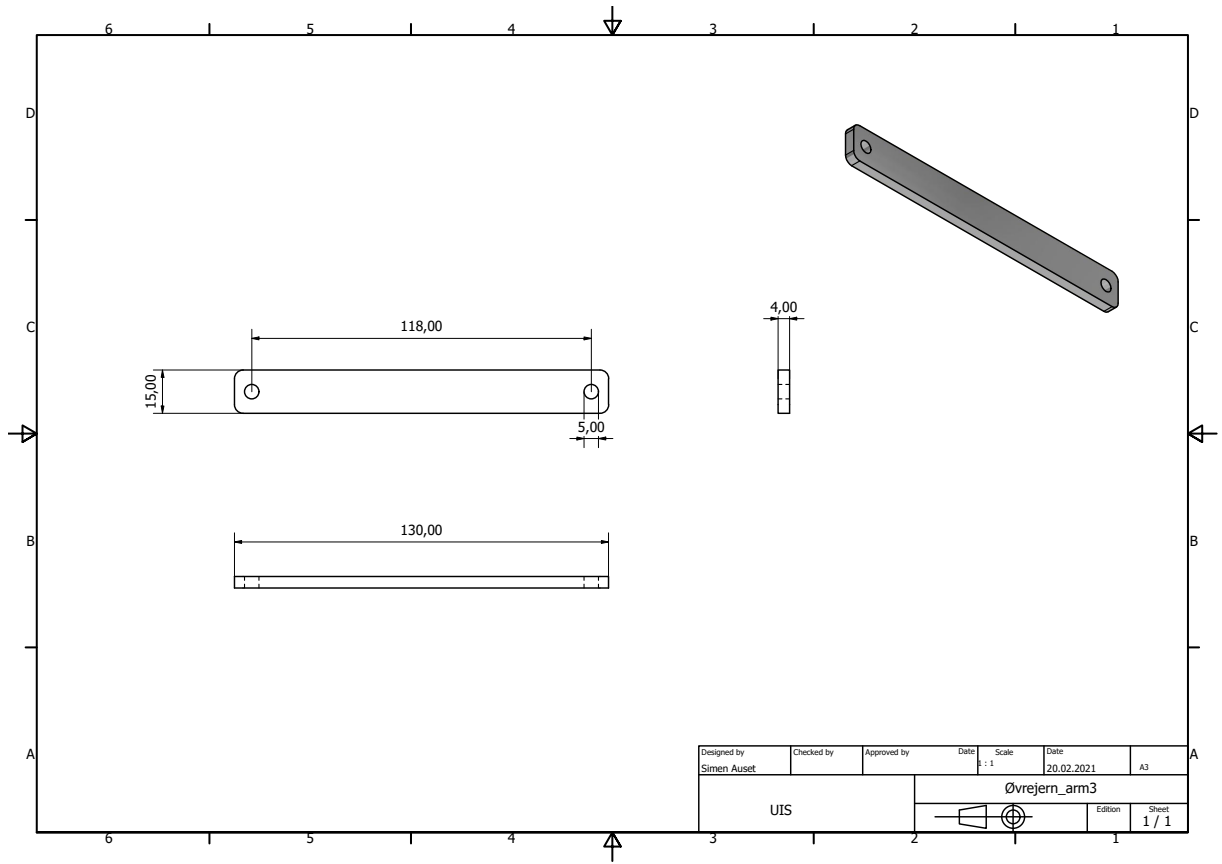


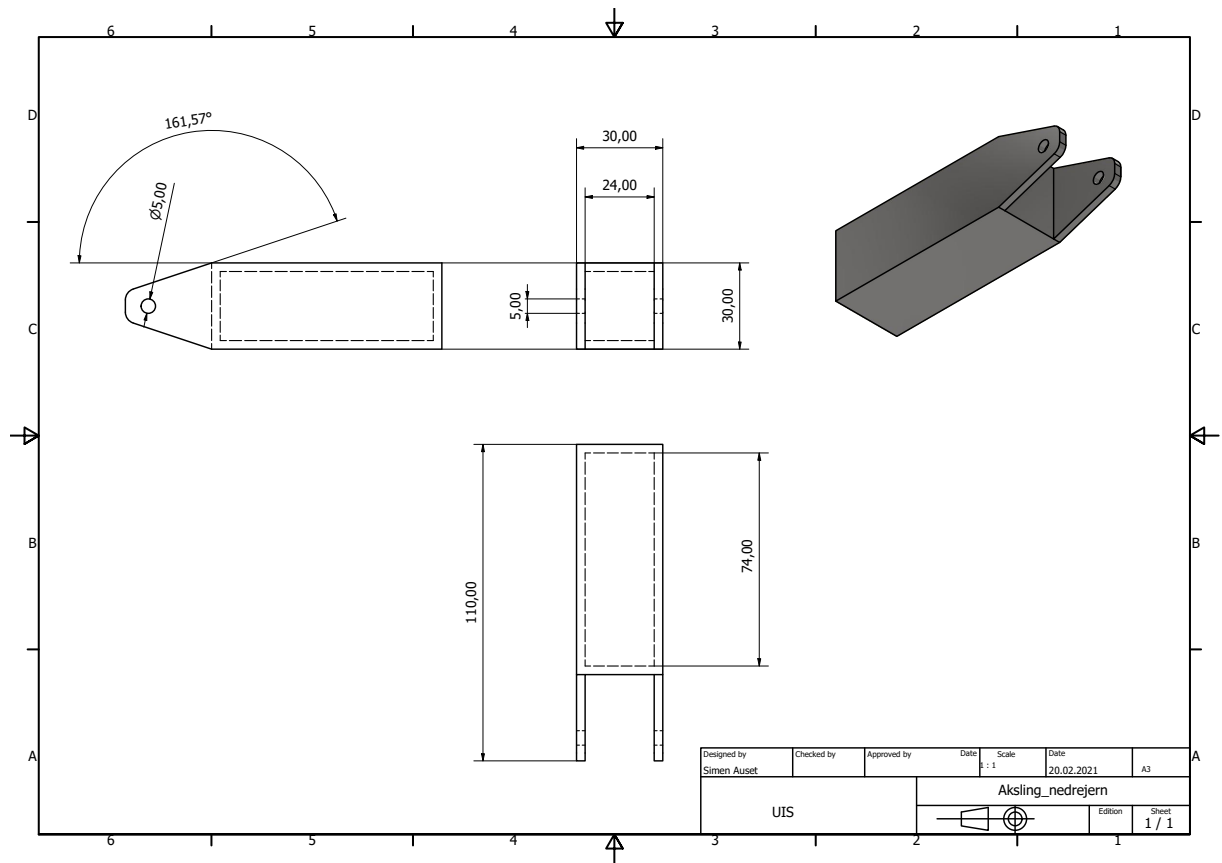
Øvre jern



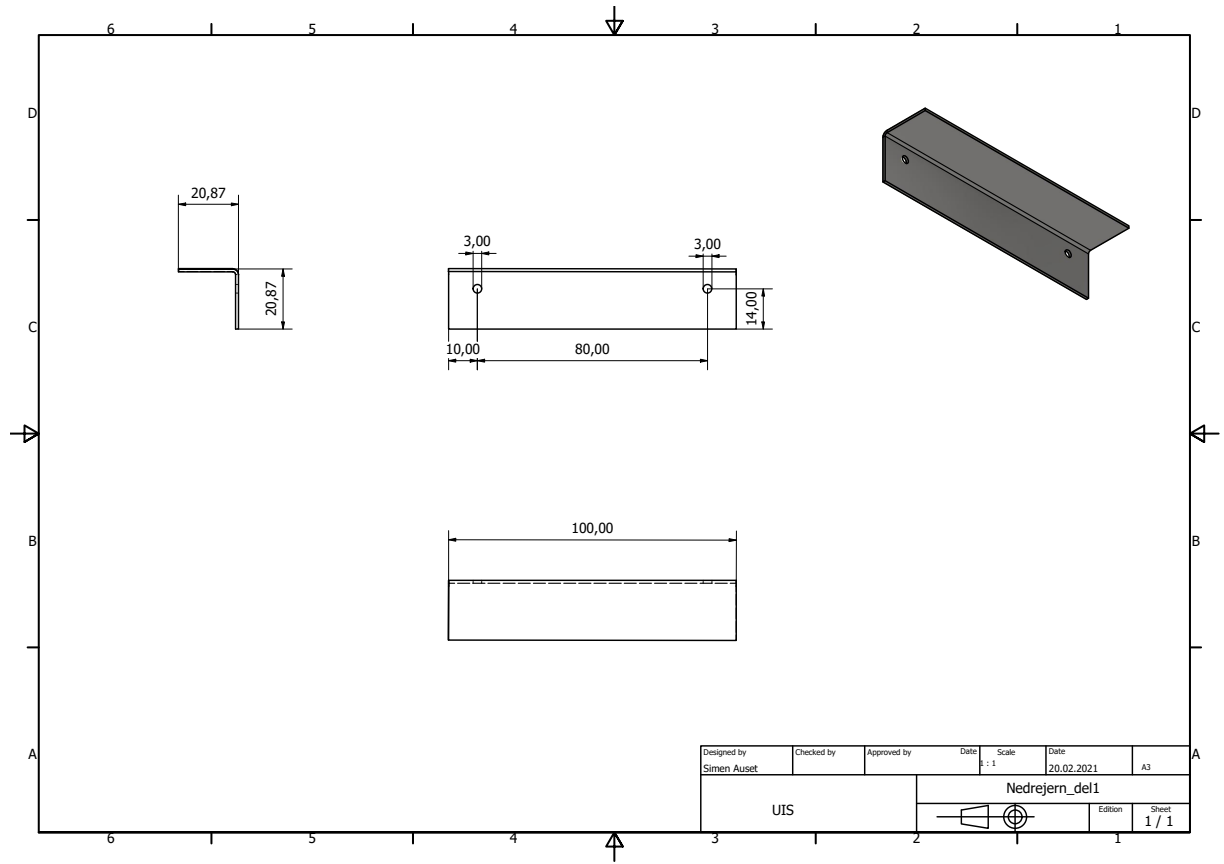


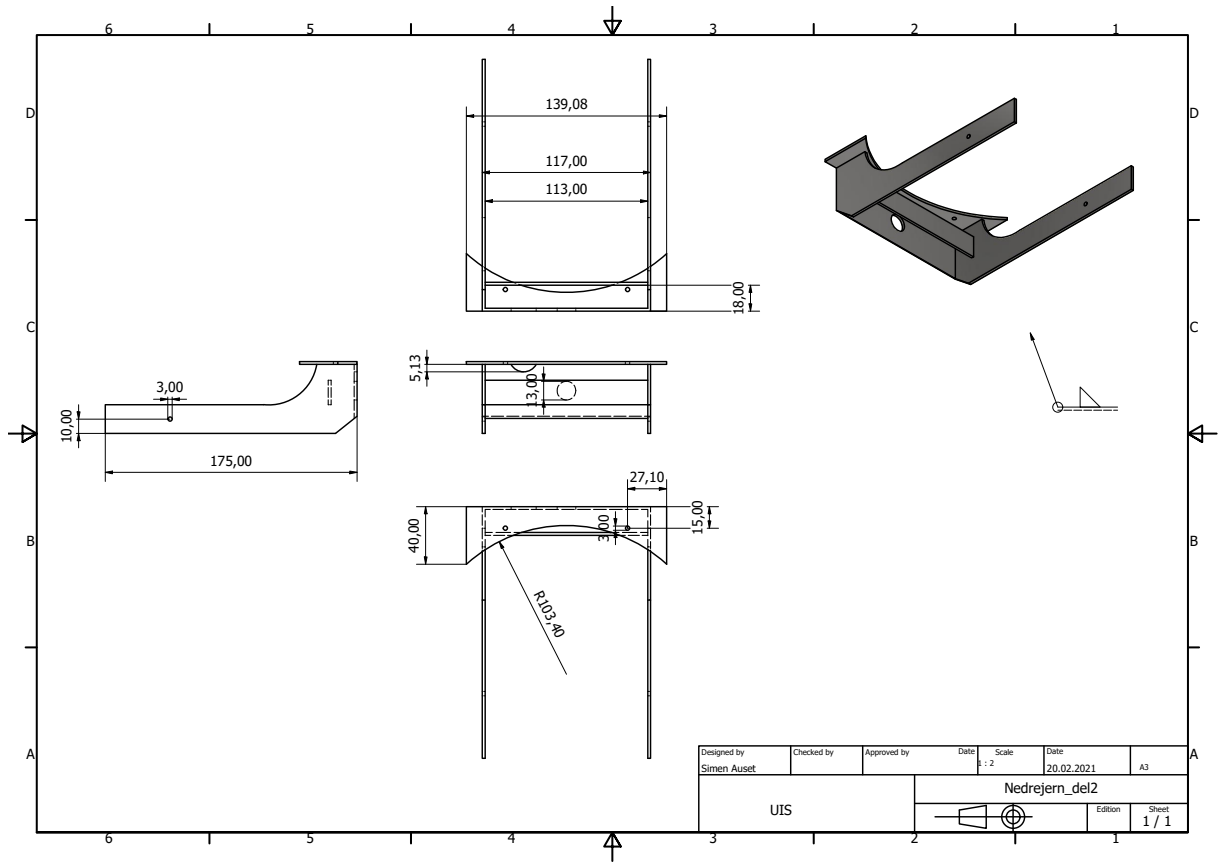




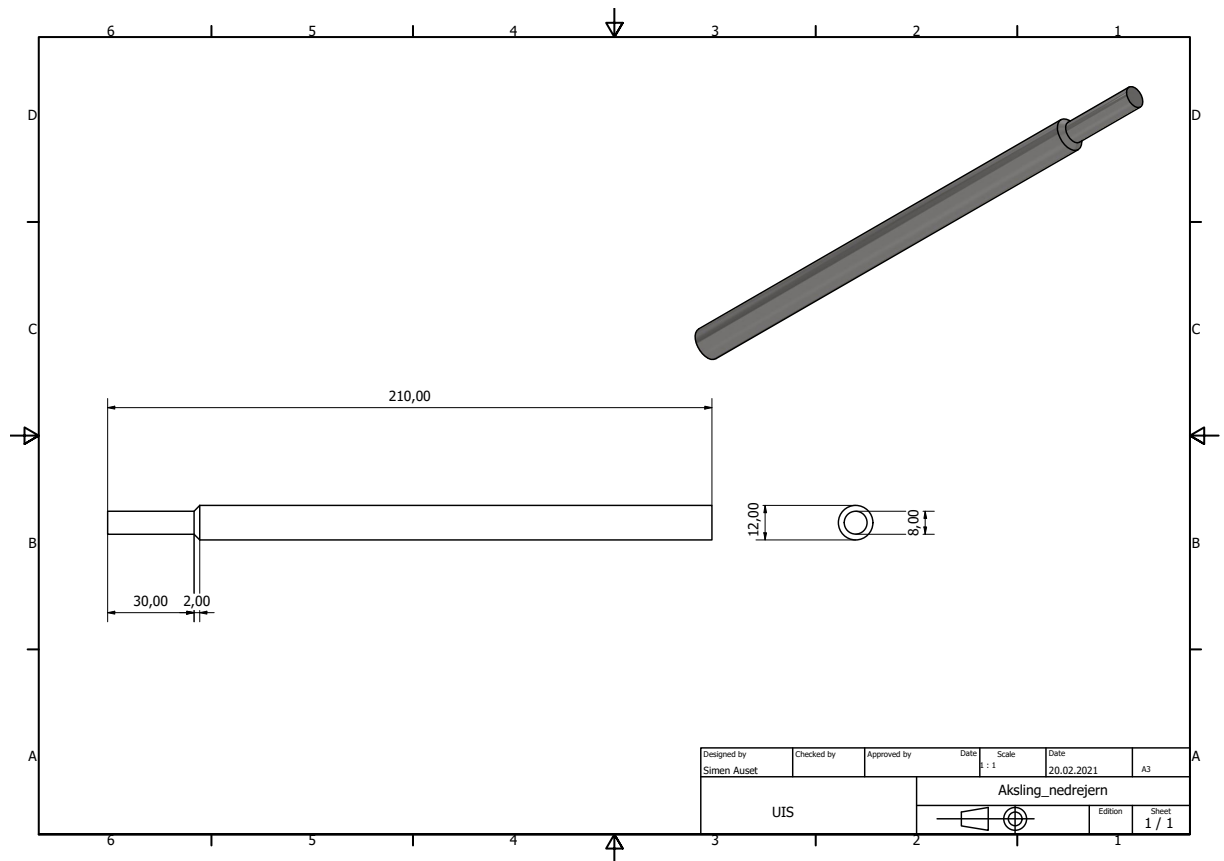


Nedre jern

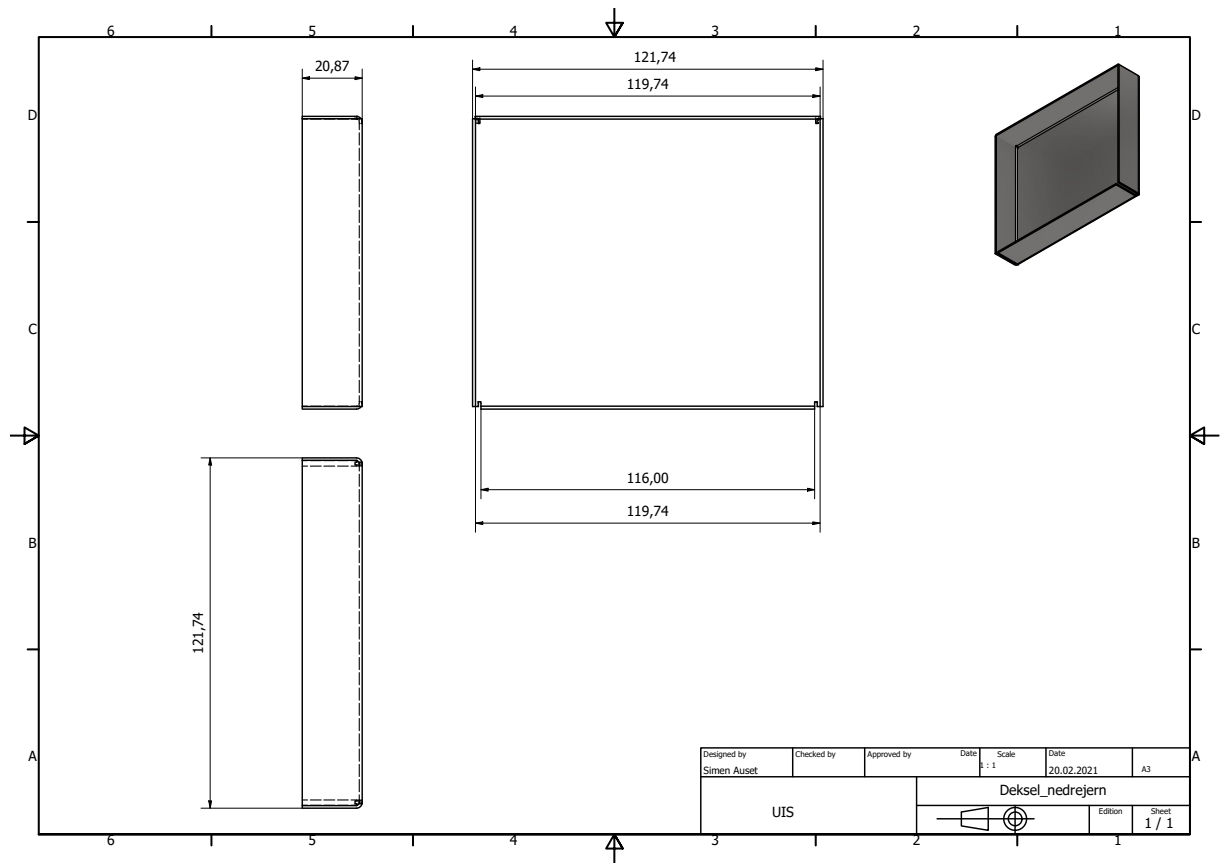




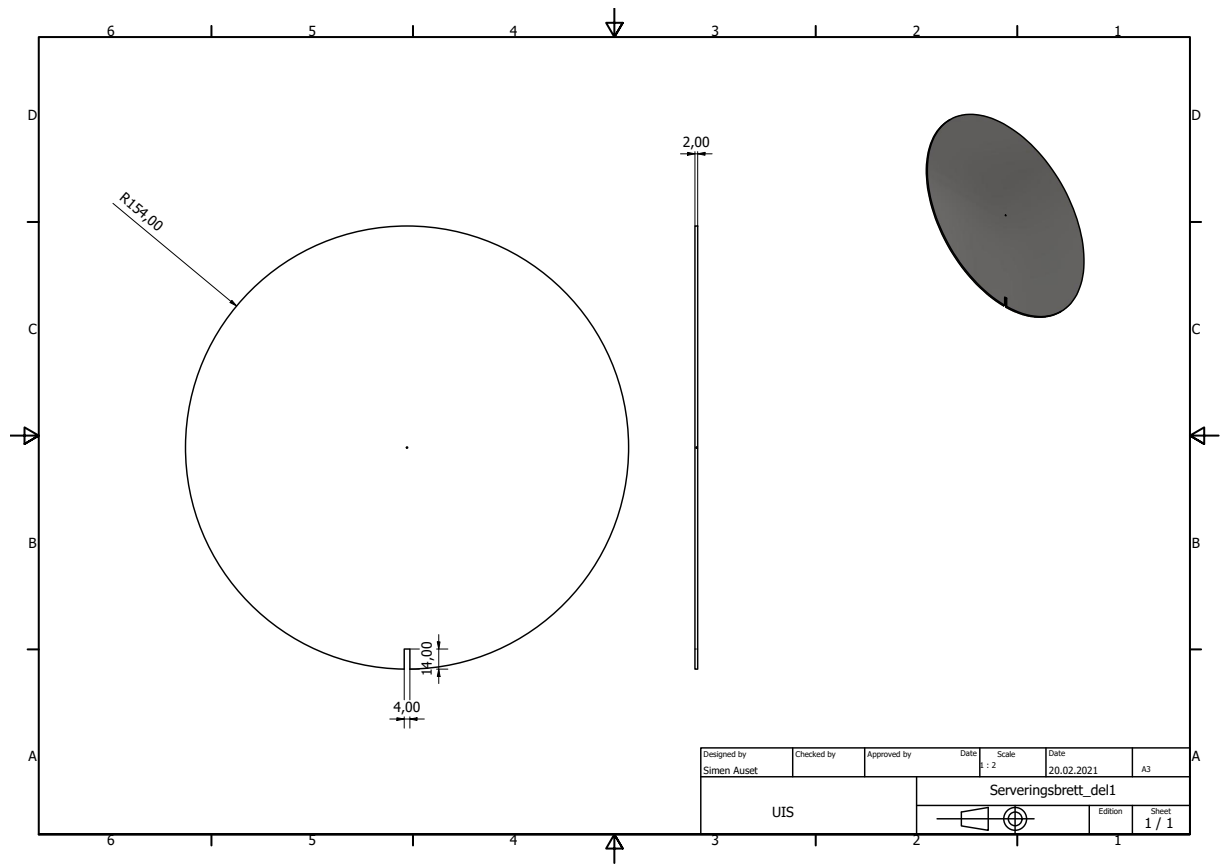


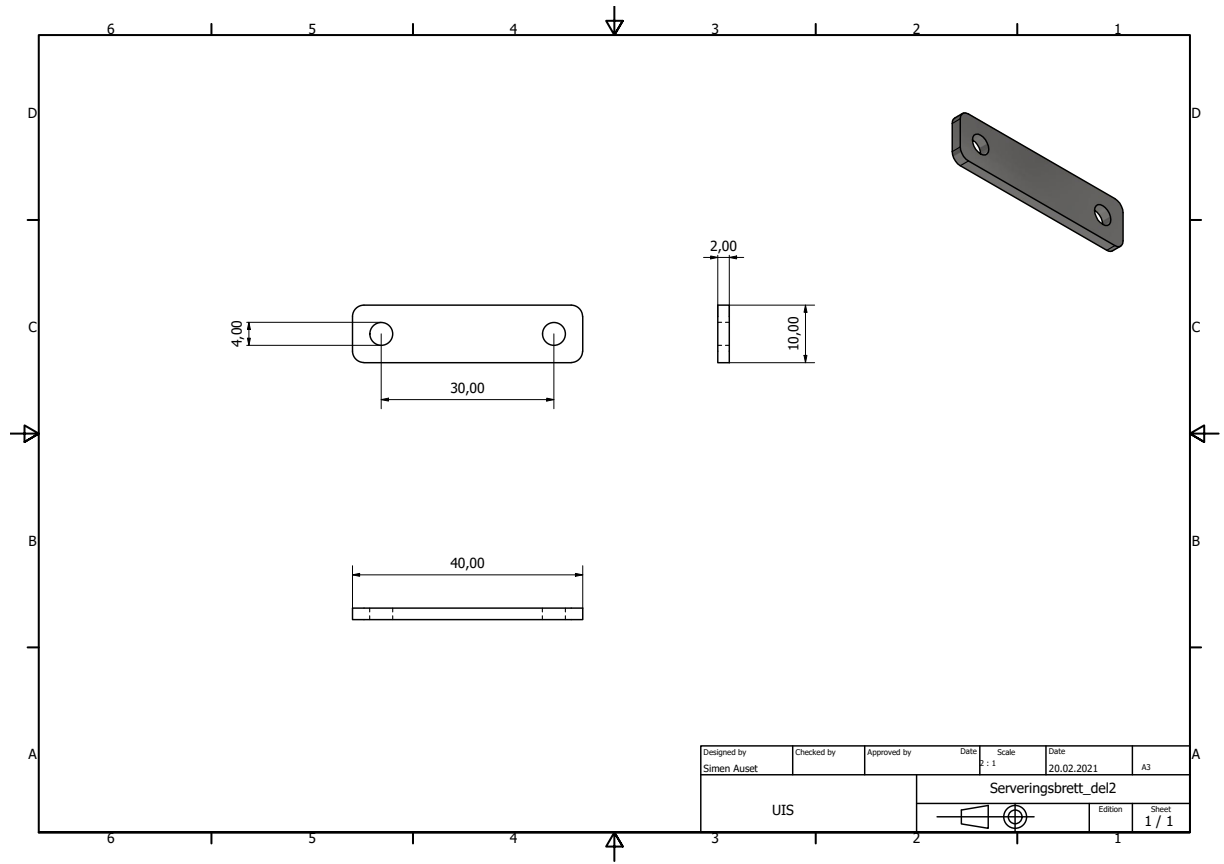


Designed by Simen Auset	Checked by	Approved by	Date : 1	Scale	Date 20.02.2021	A3
UIS			Aksling_nedrejern			
					Edition	Sheet 1 / 1

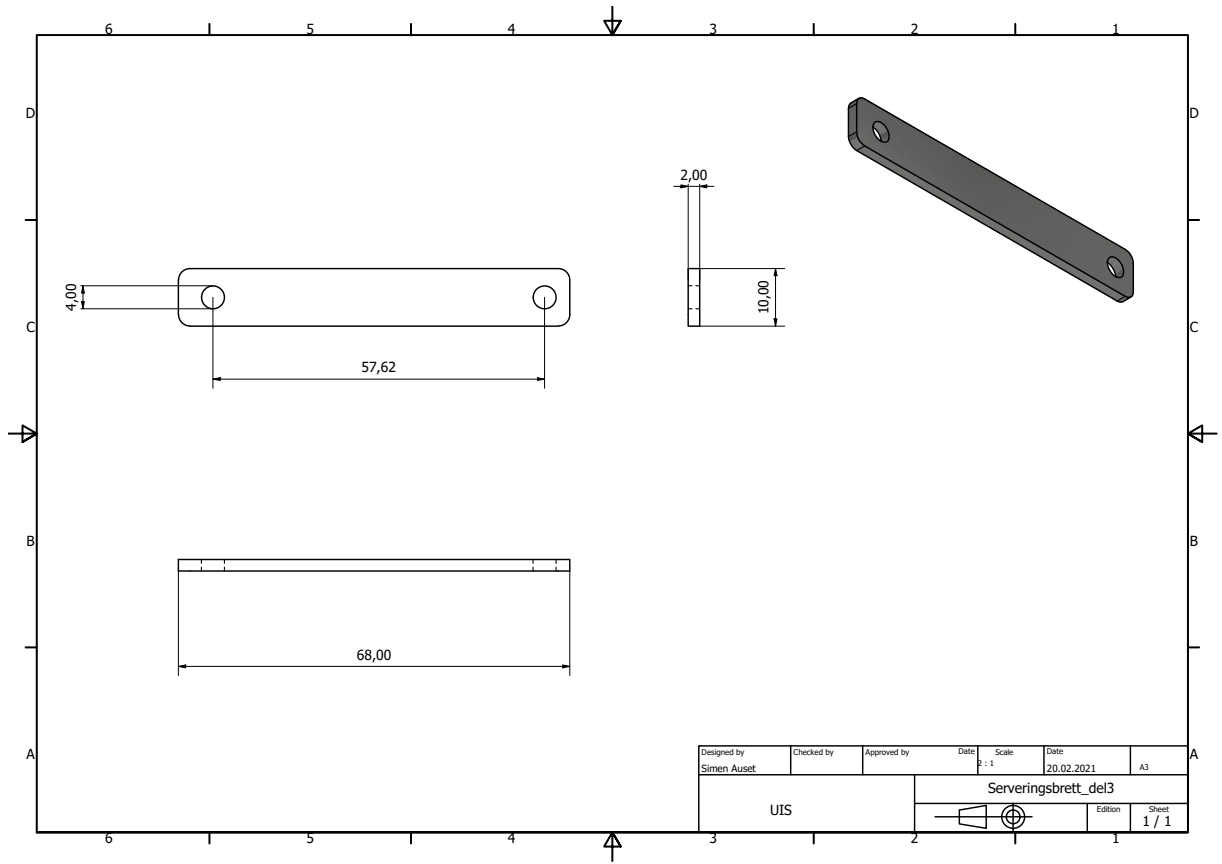


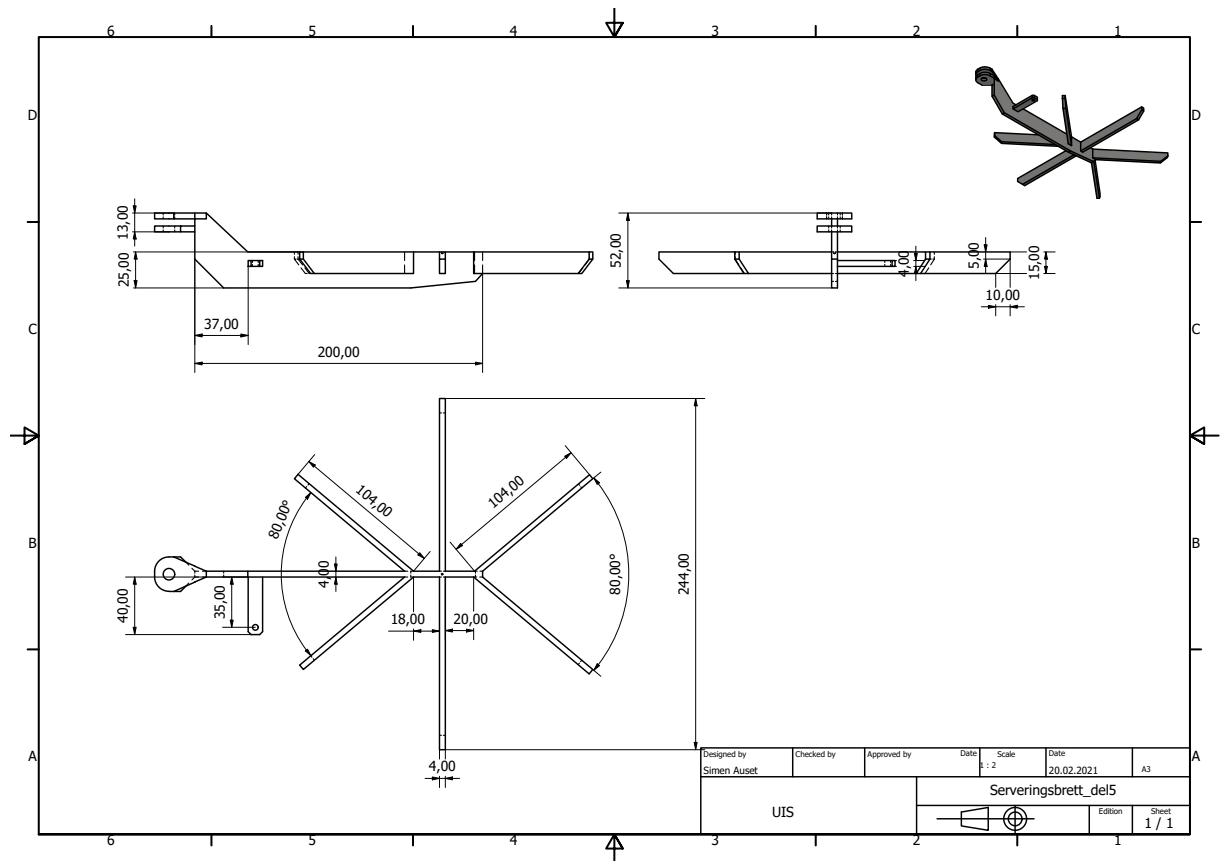
Serveringsbrett



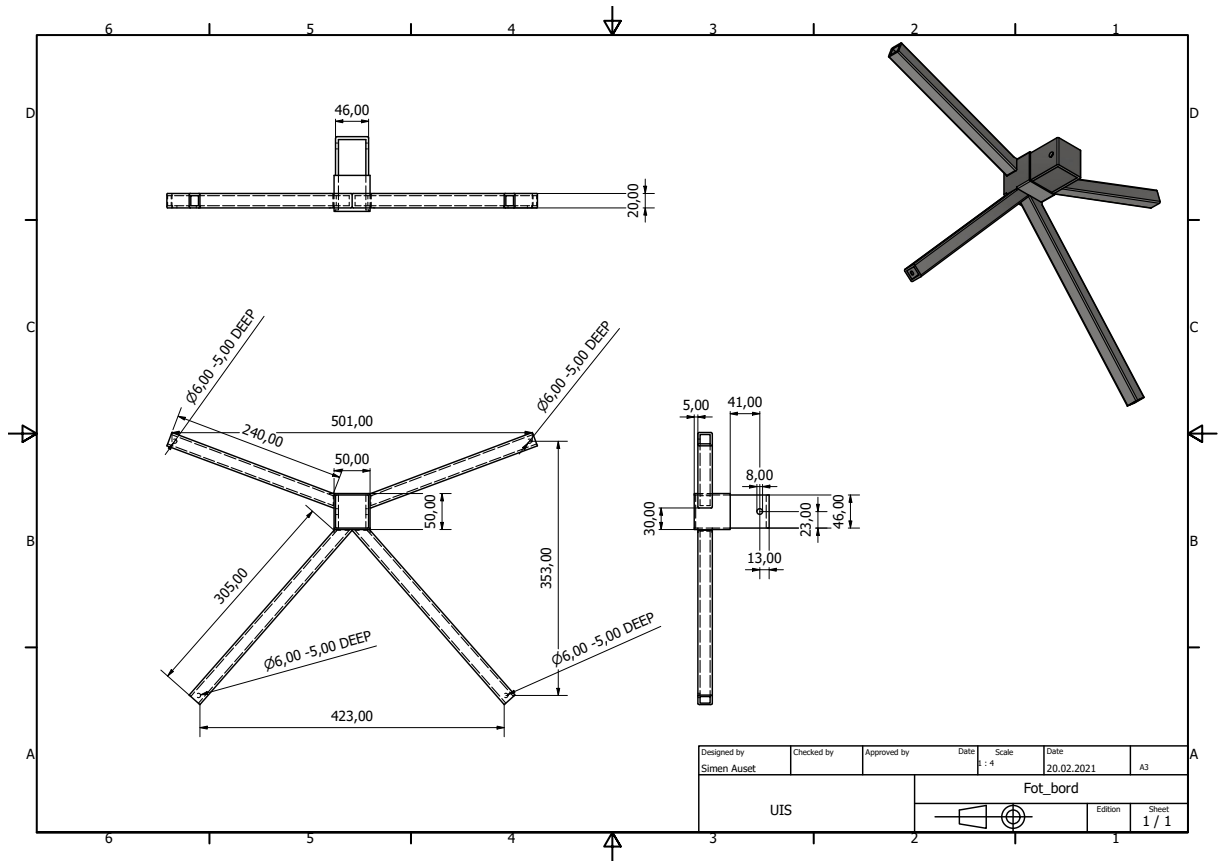


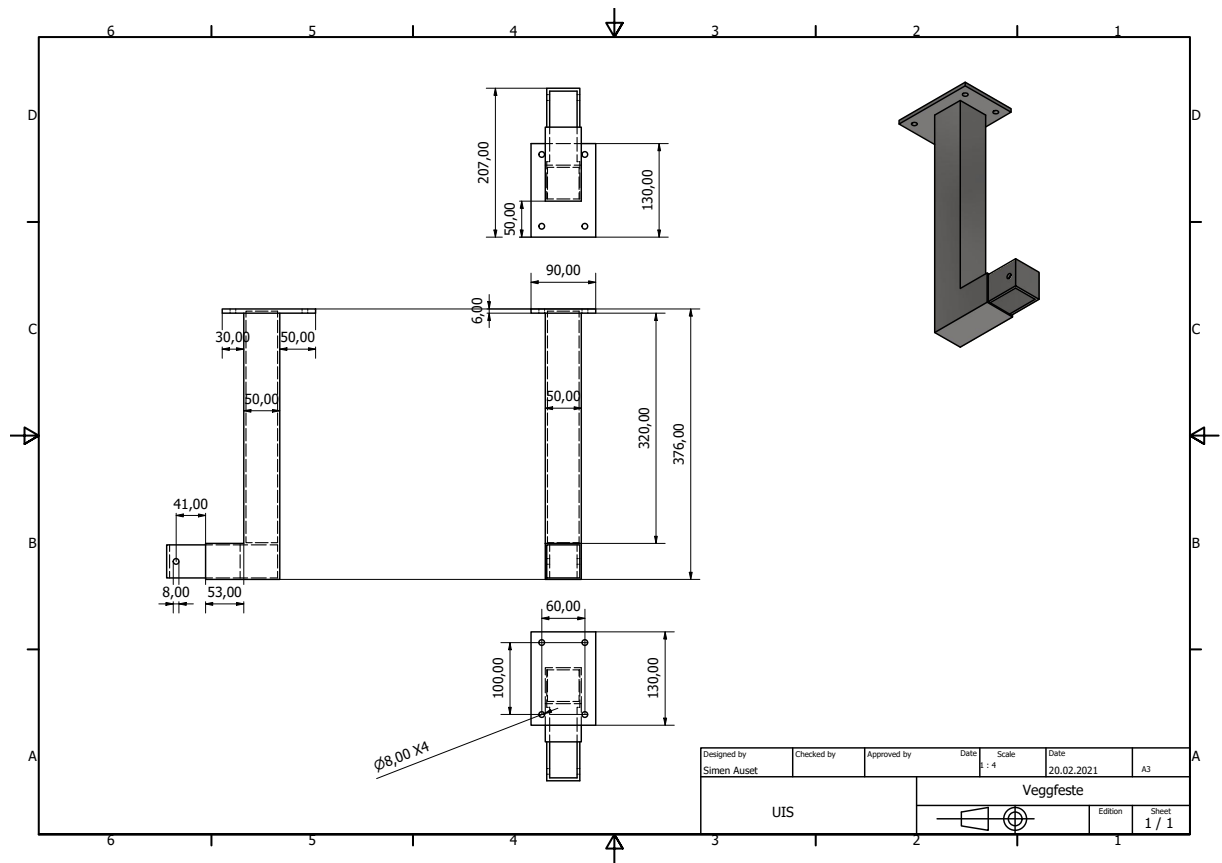
Designed by Simen Auset	Checked by	Approved by	Date 20.02.2021	Scale 1:1	Date 20.02.2021	A3
UIS			Serveringsbrett_del2		Edition	Sheet 1 / 1





Veggfeste/ Fot



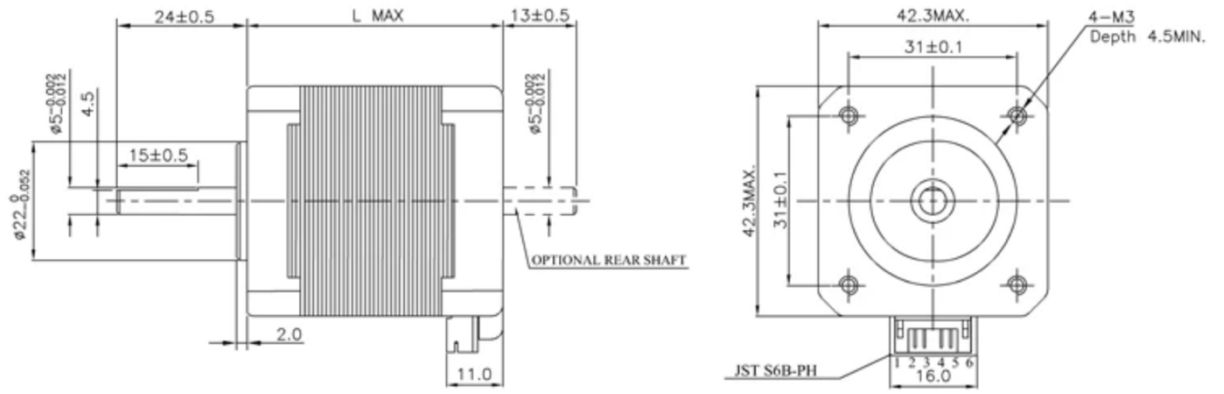


Brakett til steppermotor Nema 17

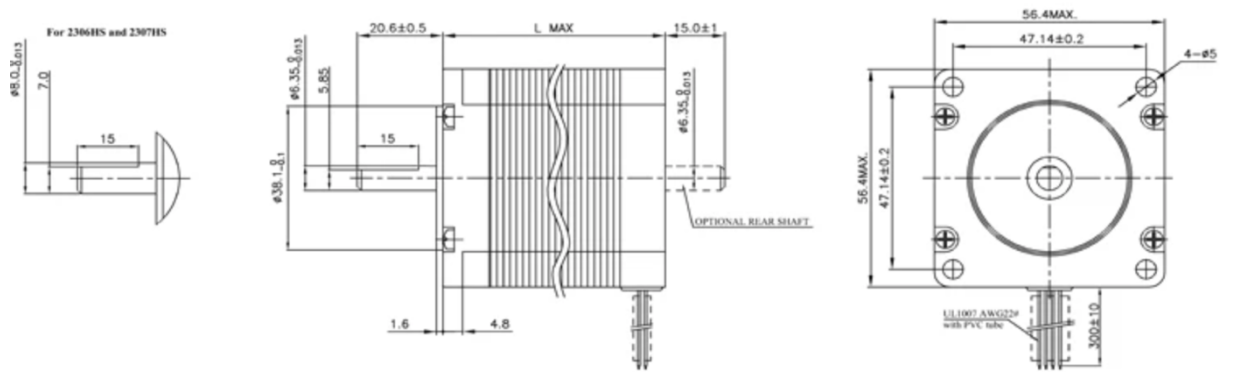








Nema 23 Steppermotor

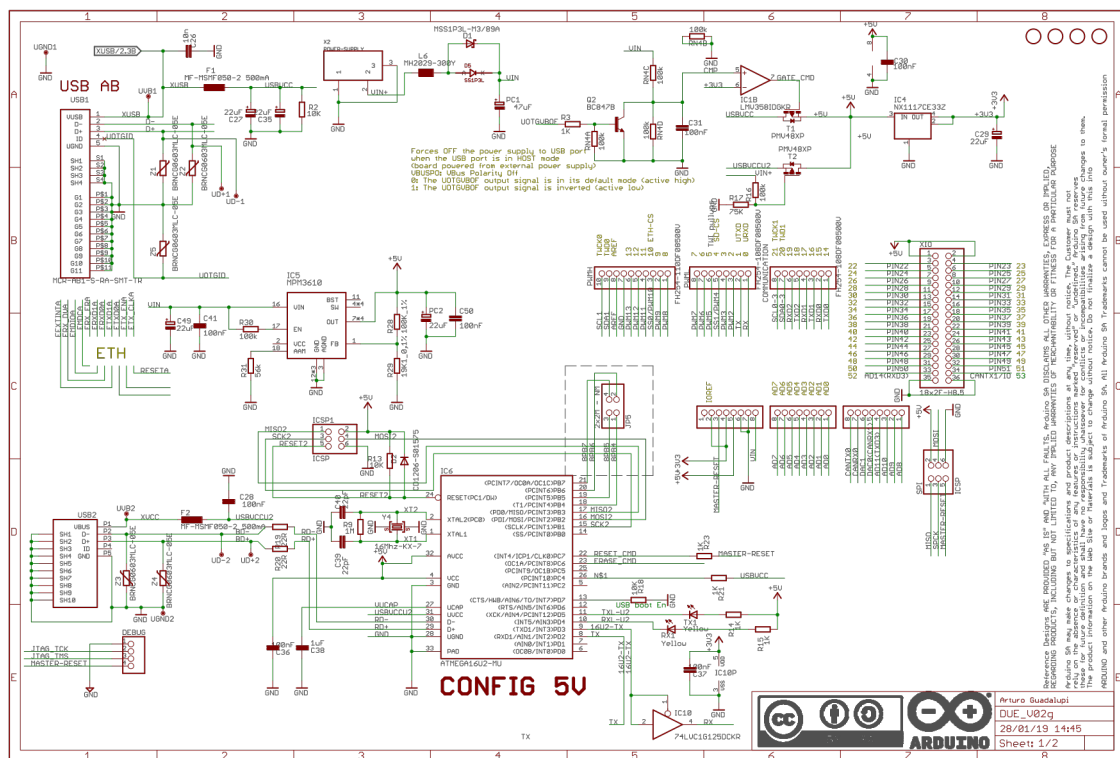


### 8.3 Vedlegg C: Dokumentasjon standard komponenter

#### 8.3.1 Elektronikk

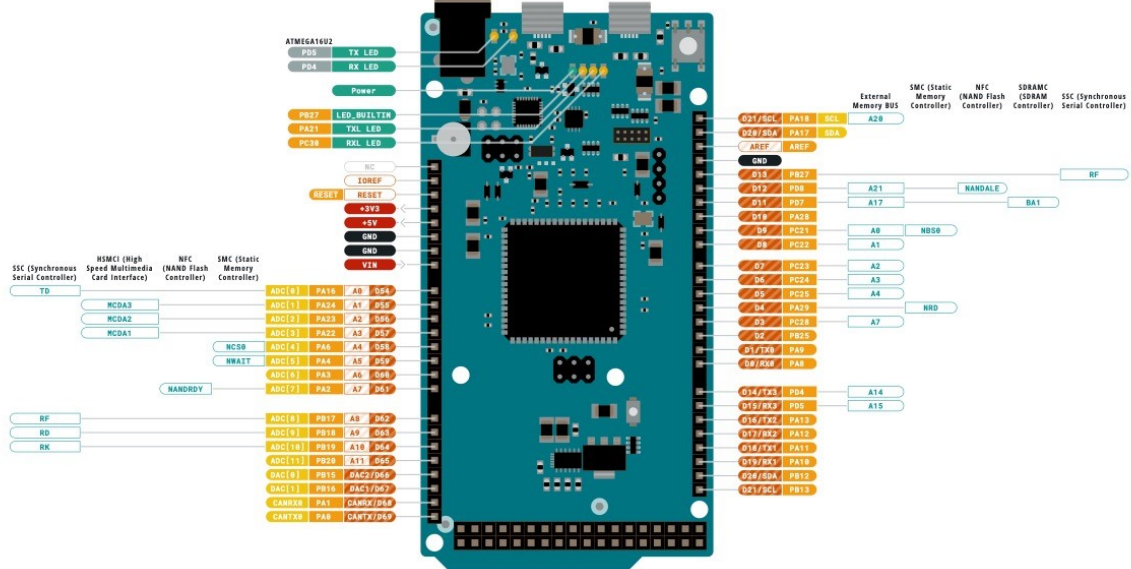
Arduino Due

Microcontroller	AT91SAM3X8E
Operating Voltage	3.3V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-16V
Digital I/O Pins	54 (of which 12 provide PWM output)
Analog Input Pins	12
Analog Output Pins	2 (DAC)
Total DC Output Current on all I/O lines	130 mA
DC Current for 3.3V Pin	800 mA
DC Current for 5V Pin	800 mA
Flash Memory	512 KB all available for the user applications
SRAM	96 KB (two banks: 64KB and 32KB)
Clock Speed	84 MHz
Length	101.52 mm
Width	53.3 mm
Weight	36 g



Pinout diagram





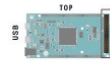
- Ground
- Power
- LED
- Internal Pin
- SWD Pin
- Digital Pin
- Analog Pin
- Other Pin
- Microcontroller's Port
- Default
- Analog
- Communication
- Timer
- Interrupt
- Memory

**TOTAL DC OUTPUT** current per I/O lines is 130mA  
**VIN** 6-20 V input to the board

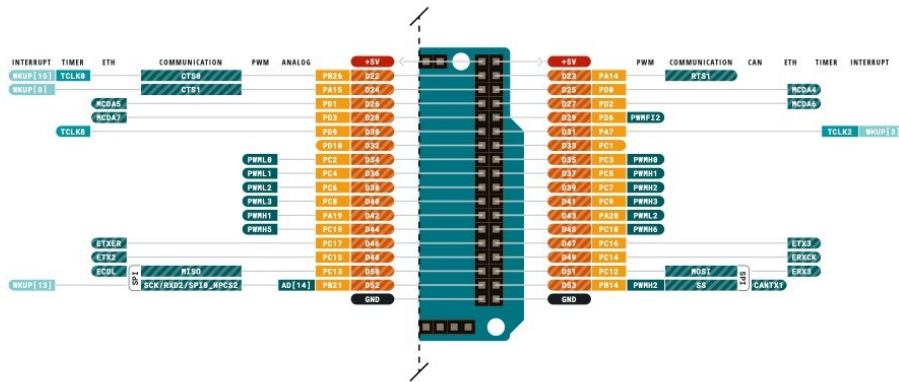
The ADC's channel 15 is not available because connected to the ATSAM3X8E temperature sensor  
To check the maximum currents applicable per pins please see the datasheet at [STORE.ARDUINO.CC/ARDUINO-DUE](http://STORE.ARDUINO.CC/ARDUINO-DUE)

ARDUINO.CC  
Last update: 16/12/2020

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/> or send a letter to Creative Commons, PO Box 1888, Mountain View, CA 94041, USA.



### Digital pins D22-D53



- Ground
- Power
- LED
- Internal Pin
- SWD Pin
- Digital Pin
- Analog Pin
- Other Pin
- Microcontroller's Port
- Default
- Analog
- Communication
- Timer
- Interrupt
- Memory

**TOTAL DC OUTPUT** current per I/O lines is 130mA  
**VIN** 6-20 V input to the board

The ADC's channel 15 is not available because connected to the ATSAM3X8E temperature sensor  
To check the maximum currents applicable per pins please see the datasheet at [STORE.ARDUINO.CC/ARDUINO-DUE](http://STORE.ARDUINO.CC/ARDUINO-DUE)

ARDUINO.CC  
Last update: 16/12/2020

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/> or send a letter to Creative Commons, PO Box 1888, Mountain View, CA 94041, USA.









## Pinout of Extension connectors

Arduino pins as seen from above, the gray box with the text is also the orientation part of the connector

		EXP1		
GND	5 (PWM)	16 (TX2)	17 (RX2)	18 (TX1)
5V	6 (PWM)	21 (SCL)	20 (SDA)	19 (RX1)

		EXP2		
GND	38	40	42	50 MISO
5V	3.3V	51 MOSI	53 SS	52 SCK

EXP3 PWM					
5V	GND	13	12	11	10 9 8

EXP4 - Unmarked Analog					
A12 (Digital 66)	A14 (Digital 68)	A13 (Digital 67)	A15 (Digital 69)	5V	GND

Analog												
3.3V	5V	GND	GND	VIN (Arduino supply)	A0 (Digital 54)	A1 (Digital 55)	A2 (Digital 56)	A3 (Digital 57)	A4 (Digital 58)	A5 (Digital 59)	A6 (Digital 60)	A7 (Digital 61)

## Specifications

- [Arduino Mega Shield](#)
- Plug in all motors with simple 4-way JST connectors.
- Made for [Ultimaker's UltiStepper Driver](#).
- Compatible with [Pololu stepper driver boards](#).
- Controls up to 5 stepper motors (3 for the X, Y and Z axis one for an extruder (the "E axis"), optionally you can add another axis by adding a Pololu stepper driver.
- Configurable step sizes by placing jumpers
- 3x 55 Amp MOSFETs outputs (with LED indicators. Actual current capability limited by PCB and connectors)
- All pins are broken out for maximum extensibility
- Runs from 15V to 19V.
- Three thermocouple inputs, or thermistor inputs. The 100K thermistor is recommended.
- Has a IDC header for adding an LCD panel ([movie here](#))
- Has a header for adding an SD card module.
- A toggle-switch for powering up/down the board
- Easier to wire up thermocouples
- Includes a 12V regulator for an (always on) fan to cool the electronics.
- A PWM output with power for LED arrays and other lighting
- LCD backlight dimming can now be software controlled
- A serial I/O header for bluetooth and ethernet add-ons.
- Servo outputs for experimental setups. They need to be interrupt or software driven as the pins routed to the servo header I/O do not have PWM.



## *DMOS Microstepping Driver with Translator And Overcurrent Protection*

### Features and Benefits

- Low  $R_{DS(ON)}$  outputs
- Automatic current decay mode detection/selection
- Mixed and Slow current decay modes
- Synchronous rectification for low power dissipation
- Internal UVLO
- Crossover-current protection
- 3.3 and 5 V compatible logic supply
- Thermal shutdown circuitry
- Short-to-ground protection
- Shorted load protection
- Five selectable step modes: full,  $1/2$ ,  $1/4$ ,  $1/8$ , and  $1/16$

### Package:

28-contact QFN  
with exposed thermal pad  
5 mm × 5 mm × 0.90 mm  
(ET package)



Approximate size

### Description

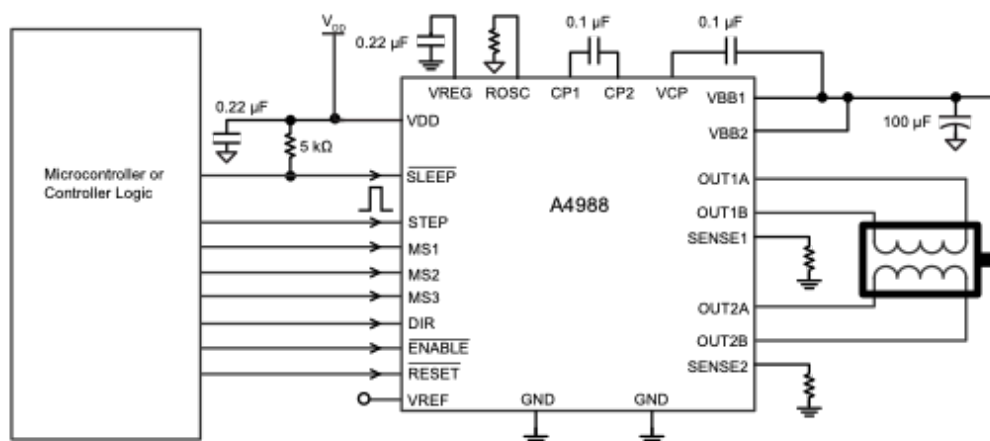
The A4988 is a complete microstepping motor driver with built-in translator for easy operation. It is designed to operate bipolar stepper motors in full-, half-, quarter-, eighth-, and sixteenth-step modes, with an output drive capacity of up to 35 V and  $\pm 2$  A. The A4988 includes a fixed off-time current regulator which has the ability to operate in Slow or Mixed decay modes.

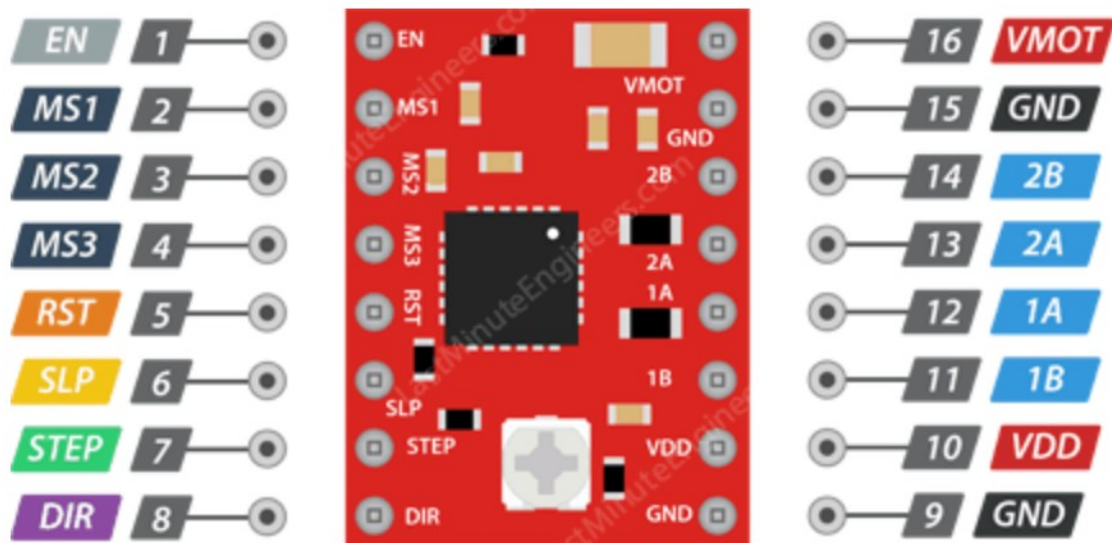
The translator is the key to the easy implementation of the A4988. Simply inputting one pulse on the STEP input drives the motor one microstep. There are no phase sequence tables, high frequency control lines, or complex interfaces to program. The A4988 interface is an ideal fit for applications where a complex microprocessor is unavailable or is overburdened.

During stepping operation, the chopping control in the A4988 automatically selects the current decay mode, Slow or Mixed. In Mixed decay mode, the device is set initially to a fast decay for a proportion of the fixed off-time, then to a slow decay for the remainder of the off-time. Mixed decay current control results in reduced audible motor noise, increased step accuracy, and reduced power dissipation.

*Continued on the next page...*

### Typical Application Diagram





## A4988 Pinout



Pin Name	Description
VDD & GND	Connected to 5V and GND of Controller
VMOT & GND	Used to power the motor
1A, 1B, 2A, 2B	Connected to the 4 coils of motor
DIRECTION	Motor Direction Control pin
STEP	Steps Control Pin
MS1, MS2, MS3	Microstep Selection Pins
SLEEP	Pins For Controlling Power States
RESET	
ENABLE	



Product Folder



Sample & Buy



Technical Documents



Tools & Software



Support & Community



DRV8825

SLVSA73F – APRIL 2010 – REVISED JULY 2014

## DRV8825 Stepper Motor Controller

### 1 Features

- PWM Microstepping Stepper Motor Driver
  - Built-In Microstepping Indexer
  - Up to 1/32 Microstepping
- Multiple Decay Modes
  - Mixed Decay
  - Slow Decay
  - Fast Decay
- 8.2-V to 45-V Operating Supply Voltage Range
- 2.5-A Maximum Drive Current at 24 V and  $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Simple STEP/DIR Interface
- Low Current Sleep Mode
- Built-In 3.3-V Reference Output
- Small Package and Footprint • Protection Features
  - Overcurrent Protection (OCP)
  - Thermal Shutdown (TSD)
  - VM Undervoltage Lockout (UVLO)
  - Fault Condition Indication Pin (nFAULT)

### 2 Applications

- Automatic Teller Machines
- Money Handling Machines
- Video Security Cameras
- Printers
- Scanners
- Office Automation Machines
- Gaming Machines
- Factory Automation
- Robotics

### 4 Simplified Schematic

#### 3 Description

The DRV8825 provides an integrated motor driver solution for printers, scanners, and other automated equipment applications. The device has two H-bridge drivers and a microstepping indexer, and is intended to drive a bipolar stepper motor. The output driver block consists of N-channel power MOSFET's configured as full H-bridges to drive the motor windings. The DRV8825 is capable of driving up to 2.5 A of current from each output (with proper heat sinking, at 24 V and  $25^\circ\text{C}$ ).

A simple STEP/DIR interface allows easy interfacing to controller circuits. Mode pins allow for configuration of the motor in full-step up to 1/32-step modes. Decay mode is configurable so that slow decay, fast decay, or mixed decay can be used. A low-power sleep mode is provided which shuts down internal circuitry to achieve very low quiescent current draw. This sleep mode can be set using a dedicated nSLEEP pin.

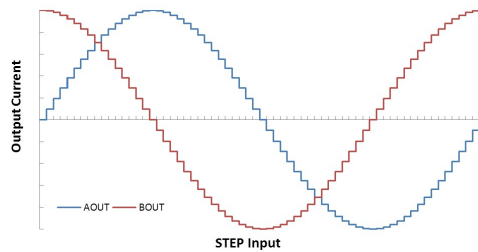
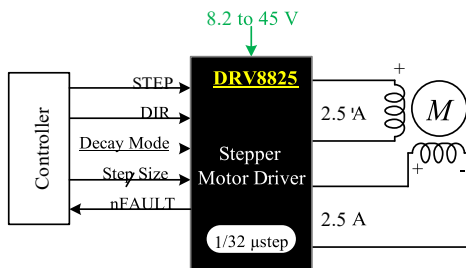
Internal shutdown functions are provided for overcurrent, short circuit, under voltage lockout and over temperature. Fault conditions are indicated via the nFAULT pin.

### Device Information<sup>(1)</sup>

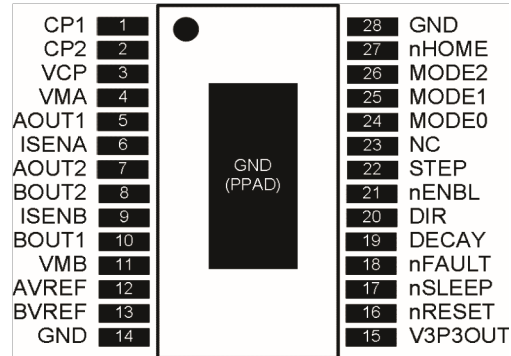
PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
DRV8825	HTSSOP (28)	9.70 mm × 6.40 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

### Microstepping Current Waveform



**⚠** An IMPORTANT NOTICE at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.


**Pin Functions**

PIN		I/O(1)	DESCRIPTION	EXTERNAL COMPONENTS OR CONNECTIONS
NAME	NO.			
<b>POWER AND GROUND</b>				
CP1	1	I/O	Charge pump flying capacitor	Connect a 0.01-3F 50-V capacitor between CP1 and CP2.
CP2	2	I/O	Charge pump flying capacitor	
GND	14, 28	—	Device ground	
VCP	3	I/O	High-side gate drive voltage	Connect a 0.1-3F 16-V ceramic capacitor and a 1-M $\Omega$ resistor to VM.
VMA	4	—	Bridge A power supply	Connect to motor supply (8.2 to 45 V). Both pins must be connected to the same supply, bypassed with a 0.1- $\mu$ F capacitor to GND, and
VMB	11	—	Bridge B power supply	

				connected to appropriate bulk capacitance.
V3P3OUT	15	O	3.3-V regulator output	Bypass to GND with a 0.47-3F 6.3-V ceramic capacitor. Can be used to supply VREF.
<b>CONTROL</b>				
AVREF	12	I	Bridge A current set reference input	Reference voltage for winding current set. Normally AVREF and BVREF are connected to the same voltage. Can be connected to V3P3OUT.
BVREF	13	I	Bridge B current set reference input	
DECAY	19	I	Decay mode	Low = slow decay, open = mixed decay, high = fast decay. Internal pulldown and pullup.
DIR	20	I	Direction input	Level sets the direction of stepping. Internal pulldown.
MODE0	24	I	Microstep mode 0	MODE0 through MODE2 set the step mode - full, 1/2, 1/4, 1/8/ 1/16, or 1/32 step. Internal pulldown.
MODE1	25	I	Microstep mode 1	
MODE2	26	I	Microstep mode 2	
NC	23	—	No connect	Leave this pin unconnected.
nENBL	21	I	Enable input	Logic high to disable device outputs and indexer operation, logic low to enable. Internal pulldown.
nRESET	16	I	Reset input	Active-low reset input initializes the indexer logic and disables the H-bridge outputs. Internal pulldown.

nSLEEP	17	I	Sleep mode input	Logic high to enable device, logic low to enter low-power sleep mode. Internal pulldown.
STEP	22	I	Step input	Rising edge causes the indexer to move one step. Internal pulldown.
<b>STATUS</b>				
nFAULT	18	OD	Fault	Logic low when in fault condition (overtemp, overcurrent)

(1)Directions: I = input, O = output, OD = open-drain output, IO = input/output

Copyright © 2010–2014, Texas Instruments Incorporated [Submit Documentation Feedback](#)

3

Product Folder Links: [DRV8825](#)



## DRV8825

SLVSA73F –APRIL 2010–REVISED JULY 2014

[www.ti.com](http://www.ti.com)

Pin Functions (continued)

PI NAME	N NO.	I/O(1)	DESCRIPTION	EXTERNAL COMPONENTS OR CONNECTIONS
nHOME	27	OD	Home position	Logic low when at home state of step table
<b>OUTPUT</b>				
AOUT1	5	O	Bridge A output 1	Connect to bipolar stepper motor winding A. Positive current is AOUT1 $\bar{A}$ AOUT2
AOUT2	7	O	Bridge A output 2	



BOUT1	10	O	Bridge B output 1	Connect to bipolar stepper motor winding B. Positive current is BOUT1 $\bar{B}$ BOUT2
BOUT2	8	O	Bridge B output 2	
ISENA	6	I/O	Bridge A ground / Isense	Connect to current sense resistor for bridge A.
ISENB	9	I/O	Bridge B ground / Isense	Connect to current sense resistor for bridge B.

## 7 Specifications

### 7.1 Absolute Maximum Ratings<sup>(1)(2)</sup>

		MIN	MAX	UNIT
V(VMx)	Power supply voltage	-0.3	47	V
	Power supply ramp rate	1		V/ $\mu$ s
Digital pin voltage		-0.5	7	V
V(xVREF) Input voltage		-0.3	4	V
ISENSEx pin voltage <sup>(3)</sup>		-0.8	0.8	V
Peak motor drive output current, $t < 1 \mu$ s		Internally limited		A
Continuous motor drive output current <sup>(1)</sup>		0	2.5	A
Continuous total power dissipation		See <i>Thermal Information</i>		
T <sub>J</sub>	Operating junction temperature range	-40	150	°C

(1) Stresses beyond those listed under *Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under *Recommended Operating Conditions* is not implied.

<sup>1</sup>Submit Documentation Feedback Copyright © 2010–2014, Texas Instruments Incorporated

Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

- (2) All voltage values are with respect to network ground terminal.
- (3) Transients of  $\pm 1$  V for less than 25 ns are acceptable (4) Power dissipation and thermal limits must be observed.

## 7.2 Handling Ratings

		MIN	MAX	UNIT
Tstg	Storage temperature range	-60	150	°C
V(ESD)	Electrostatic discharge	Human body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001, all pins <sup>(1)</sup>		V
		Charged device model (CDM), per JEDEC specification JESD22-C101, all pins <sup>(2)</sup>		

- (1) JEDEC document JEP155 states that 500-V HBM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.
- (2) JEDEC document JEP157 states that 250-V CDM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

## 7.3 Recommended Operating Conditions

		MIN	NOM	MAX	UNIT
V(VMx)	Motor power supply voltage range <sup>(1)</sup>	8.2		45	V
V(VREF)	VREF input voltage <sup>(2)</sup>	1		3.5	V
IV3P3	V3P3OUT load current	0		1	mA

- (1) All V<sub>M</sub> pins must be connected to the same supply voltage.
- (2) Operational at VREF between 0 to 1 V, but accuracy is degraded

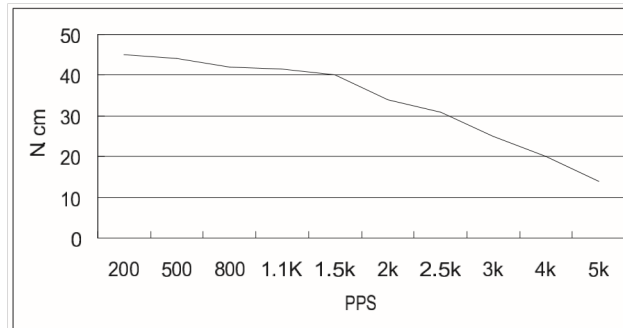
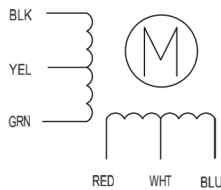
# Stepper motor NEMA 17

## HIGH TORQUE HYBRID STEPPING MOTOR SPECIFICATIONS

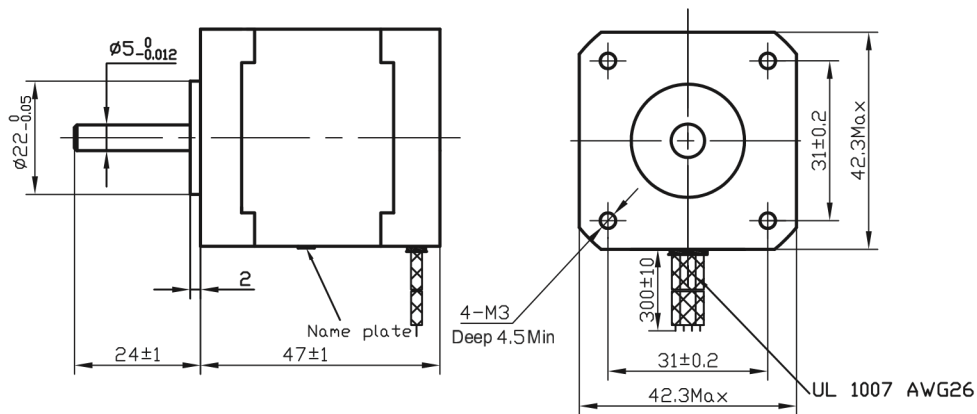
General specifications		Electrical specifications	
Step Angle (°)	1.8	Rated Voltage (V)	4
Temperature Rise (°C)	80 Max (rated current, 2 phase on)	Rated Current (A)	1.2
Ambient temperature (°C)	-20~+50	Resistance Per Phase ( $\pm 10\% \Omega$ )	3.3 (25°C)
Number of Phase	2	Inductance Per Phase ( $\pm 20\% \text{mH}$ )	2.8
Insulation Resistance	100M $\Omega$ , Min (500VDC)	Holding Torque (Kg.cm)	3.17
Insulation Class	Class B	Detent Torque (g.cm)	200
Max.radial force (N)	28 (20mm from the flange)	Rotor Inertia (g.cm <sup>2</sup> )	68
Max.axial force (N)	10	Weight (Kg)	0.365

● Pull out torque curve:  
VOLTAGE: 24VDC, CONSTANT CURRENT: 1.2A, HALF STEP

● Wiring Diagram:



● Dimensions:  
(unit=mm)



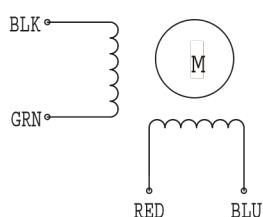
△						SY42STH47-1206A	TECHNICAL CONDITIONS
△							
REV	REVISIONS	DESCRIPTION	BY	DATE			
DRAW	任飞飞	2010.06.29					
CHECK					CHANGZHOU SONGYANG MACHINERY & ELECTRONICS	060047000	
APPROVE					NEW TECHNIC INSTITUTE		

# Stepper motor Nema 23

## HIGH TORQUE HYBRID STEPPING MOTOR SPECIFICATIONS

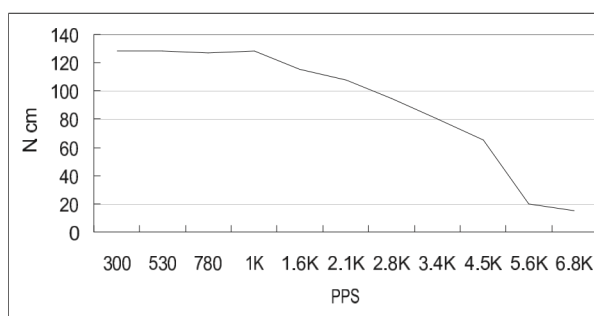
General specifications		Electrical specifications	
Step Angle ( )	1.8	Rated Voltage (V)	3.2
Temperature Rise (°C)	80 Max (rated current, 2 phase on)	Rated Current (A)	2.8
Ambient Temperature (°C)	-20 ~ +50	Resistance Per Phase (± 10% Ω)	1.13
Number of Phase	2	Inductance Per Phase (± 20% mH)	3.6
Insulation Resistance (MΩ)	100 Min (500VDC)	Holding Torque (N.cm)	189
Insulation Class	Class B	Weight (Kg)	1.05
Max.radial force (N)	75 (20mm from the flange)		
Max.axial force (N)	15		

● Wiring Diagram :

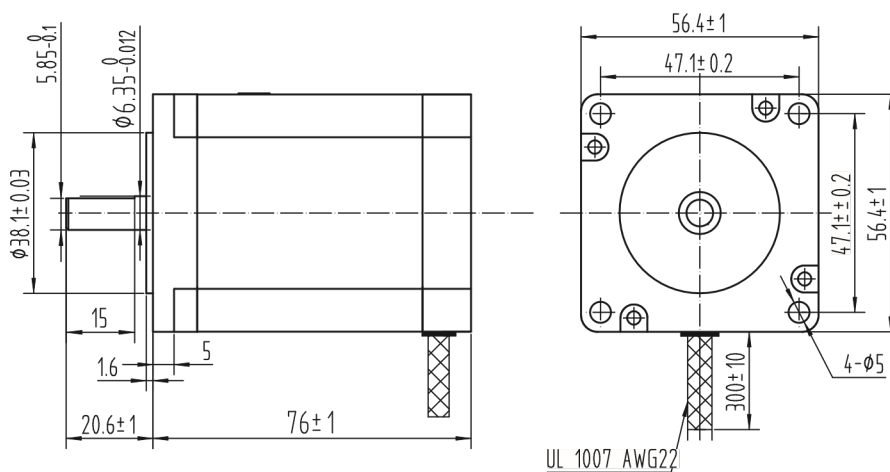


● Pull out torque curve :

VOLTAGE: 30VDC, CONSTANT CURRENT: 2.8A, HALF STEP



● Dimensions:  
(unit=mm)



					SY57STH76-2804A	TECHNICAL CONDITIONS
REV	REVISIONS	DESCRIPTION	BY	DATE		
DRAW	kongxiangzhen 2012.05.16				CHANGZHOU SONGYANG MACHINERY & ELECTRONICS NEW TECHNIC INSTITUTE	080076026
CHECK						
APPROVE						

Servo til røre målebeger

## Specs

Maks. hastighet: ca. 45 omdreininger/min.

Dreiemoment: 5,5 kg/cm.

Spenning: 4,8-6 V.

Mål: 40,5x28,4x39,4 mm.

1.Model: DS04-NFC

2.Used to model aircraft / Cars / Robots

3.Weight: 38g

4.Dimensions: 40.8 x 20 x 39.5 mm

5.Torque: 5.5kg/cm (at 4.8V)

6.Speed :0.22sec/60 C (at 4.8V)

7.Operating voltage: 4.8v-6v

8.Operating temperature: 0 C -60 C

9.Current: <1000mA

Servo til serveringsbrett

## Roterende servo med bøyler

Artikkelnr: 87063

Operating speed (at no load): 0.14 sec/ 60° at 7.2 V

Running current (at no load): 100 mA at 7.2 V

Stall torque (at lock): 15 kg at 7.2 V

Stall current (at lock): 1.5 A at 7.2 V

Idle current (at stopped): 5 mA

Operating frequency: 50 - 330 Hz

Operating angle: 90°/135° (from 1000 to 2000 usec)

Neutral position: 1500 usec

Dead band width: 3 usec

Rotating direction: counter clockwise (from 1000 to 2000 usec)

Pulse width range: from 500 to 2500 usec

Overall dimension: 40 x 20 x 40.5 mm

Weight: 64 g

Connector wire gauge: #28 PVC

Connector wire length: 320 ± 5 mm

Horn gear spline: 25T/5.80

Reduction ratio: 310:1

Operating temperature range: -10°C - 50°C

Operating voltage: 5 V - 7.2 V

Connection: orange = PWM, red = VCC , brown = GND

---

### Relè til vaffeljern

#### Product description

Description - Size: 70mm X17mm X20mm (LxWxH) - Main chip: EL817, SRD-DC03V-SL-C - Work voltage: DC 3V/3.3V - Control 10A 250VAC, 10A 30VDC load Features - Instructions with the signal output; - Signal input port can connect microcontroller IO port, high level signal - Double power selection design anti-interference ability is strong, photoelectric isolation protection of high reliability - Current wide detection range:DC0-25V input - A diode current protection - Response time is less than 20 milliseconds - Relay long life can absorb 100000 times continuously - External connection use spinning crimping terminal, make connection firmer - With fixed installation hole, convenient installation

## Strømbryter

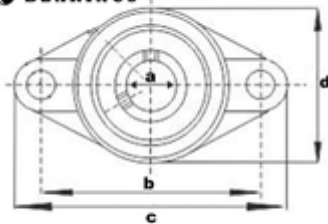
### Product description

#### Specification:

Product Name:Rocker Switch  
Pole and Throw:DPST  
Terminal Quantity:4  
Position:On-Off  
Lamp Color:Red  
Rated Voltage:AC 20A/125V 22A/250V(for resistive load only)  
Overall Size:30 x 25 x 38mm (L\*W\*H)  
Mounting Size:28 x 22mm (L\*W)  
Color:Black,Red  
Material:Plastic, Metal  
Package Content:2Pcs x Rocker Switch

## 8.3.2 Lager

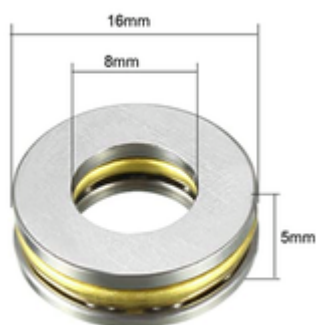
### Nedre jern



**A = 12 mm**      **C = 63 mm**  
**B = 48 mm**      **D = 38 mm**

- Item: KFL001 Bearing
- Type: Flange Miniature Pillow Block Mounted Bearing
- Bolt Size: M6
- Bearing No: K001
- Housing No: FL001
- Basic Load Dynamic: 4606 N
- Basic Load Static: 1906 N
- Quantity: One Bearing

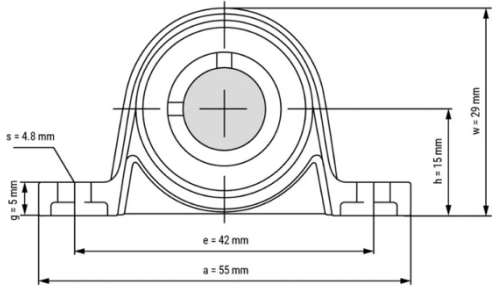
## Serveringsbrett og trapesgjengestag aksielt



- [SIZE] - Bore Diameter=8mm, Outer Diameter=16mm, Thickness=5mm
- [MATERIAL] - Made of Chrome Steel(AISI 52100), have great wear-resistant, high temperature resistance and high hardness; Brass cage
- [CAPABILITY] - Dynamic Load Rating (Cr): 2.5kN; Static Load Rating (Cor): 3.0kN; Limiting Speed (Grease): 4000rpm, designed for low speed operation and axial loads only
- [APPLICATION] - Can be used for oven turntable, jack, pump, rotating applications, machine tools, automobiles, ect.
- [FEATURES] - The separable components of thrust ball bearings are interchangeable. Low noise and long service life, easy to maintain. Keep the bearing working environment clean and bearing lubricated in time

Trapesgjengestag:

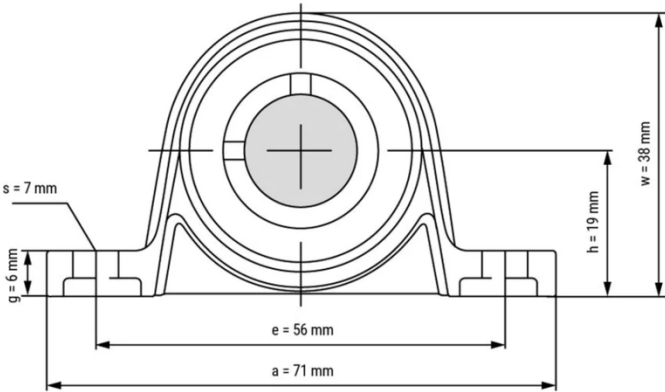
Trapesgjengestag



- SIZE:KP08 8mm Bore Diameter, Pillow Block Bearing Flange
- FEATURES:This Bearing is a self-aligning, pillow block bearing
- MATERIAL:Zinc Alloy Rhombic Flanged Base, rust-proof, durable, have long Life
- APPLICATION:Pillow Block Bearing Flange Block Bearing is widely used in various of machinery
- NOTE:Can be used into machinery, conveyering systems, film processing machinery

Rørettransport skruer

Specifications	
Shaft Diameter	12 mm
Dynamic Load Rating	520 kgf
Static Load Rating	245 kgf
Weight	0.06 lb





## 8.4 Vedlegg D: Produksjon

Tilpasning av vaffeljern til prosjektet.



Nyinnkjøpt vaffeljern blir demontert for inspeksjon og tilpasning av deler.

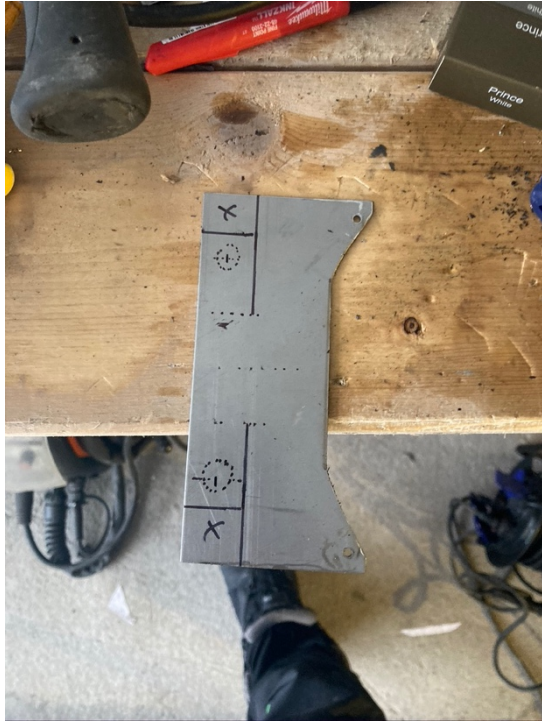


Lys og justering for termostat finnes under topplokket sammen med ett varmeskjold som beskytter ledninger og plastikk deler.



Til venstre ser man at håndtak på øvre jern er fjernet og en plate er festet for å bedre visuelt inntrykk. Til høyre viser skruene jernet er satt sammen med.





Tilpasning av festet til øvre jern.



Sammen kobling mellom jernets topp plate og hengslefeste kappes og tilpasses. Den opprinnelige sammenkobling ble borte ved fjerning av plastikk del rundt hengsler.

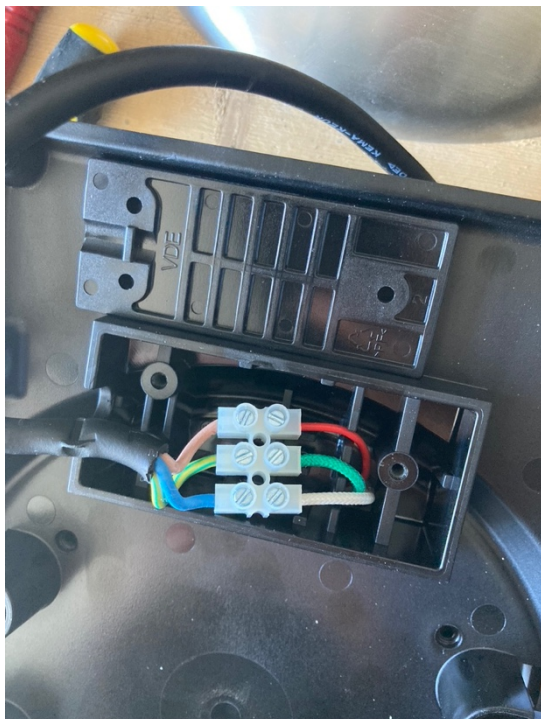


Montering av hengsle på øvre jern før sammenføring til høyre og bilde av vektfordelings plate med løfte brakett for øvre jern til høyre.





Løfte brakett fra oversiden til venstre og sammenføydd og montert festebrakett i øvre jern til høyre.



På jernets underside finnes strømtilførsel fra nettet i en plastfot som har holdt vaffeljernet stabilt. For tilpasning måtte dette fjernes. Elektronikk til lys og lyd befant seg i jernets håndtak som vist på bilde til høre. Her ble det tilpasset to vinkler til jernets opprinnelige fester. Under dekor platen var det også her ett varmeskjold for å unngå varme utvikling i de utsatte delene.



Nedre jern har fått tilpasset festepakett og forsterkning for festing av aksling. Elektronikk ble lagt i ett varmereflekerende materiale ment for anvendelse rundt eksos anlegg på kjøretøy.





Dekor/ beskyttelses plate montert under nedrejern til venstre. Akslinger grovkappet og klar for bearbeiding på bilde til høyre.



En av universitets dreiebenker ble benyttet for tilpasning av aksling ved 800rpm. Til høyre kan man se akslingen sammenføyd med forsterkning laget for nedre jern.



Godset i vaffeljernet måtte borres opp og hode på maskinskruene måtte slipes ned for å få ett solid feste og unngå oppstikk som vil hindre at øvre og nedre jern passer optimalt sammen. Til høre er nedre jern prøve montert etter sammenføyning.



Fot for bruk på bord og under produksjon / test periode



Til venstre er foten tilpasset og heftet sammen. På bildet til høyre er avstivning på festet til hoveddrammen ferdig og bolter med justerings mulighet festet på enden av hvert ben for finjustering til loddrett posisjon etter montering med hoveddramme.

## Hovedramme



Innkjøpte rustfritt materiell klar for bearbeiding. Til høyre er hovedrammen tilpasset på lengde og satt opp for å få et inntrykk av vaffel robotens størrelse. Her er også hovedrammens arm ut mot røre-transport mekanismen nær ferdig tilpasset.



Armen mot røre-transport sammenføynd med hovedramme, til høyre er hovedrammen prøve montert i foten. Før sammenføyning ble det boret et 20mm hull der armen er festet i hovedramme for å kunne trekke ledninger til el komponentene.





Plate for røretransportskrue og steppermotor brakett tilpasset og prøve montert sammen med lager og aksling til venstre ovenfor. Til høyre er platen heftet til hoveddrammens arm.



Til venstre er vertikal del som skal holde røre målebeger klargjort og til høyre er festet til rørebeholder fabrikkert.



Plate som er tilpasset rørebeholder til venstre og sammenføring til hoveddrumme til høyre.





Feste til øvre vaffeljern fabrikkert og plassert på hoveddramme. Til høyre ser man festet sammenføyd og prøvemontering av øvre jern.

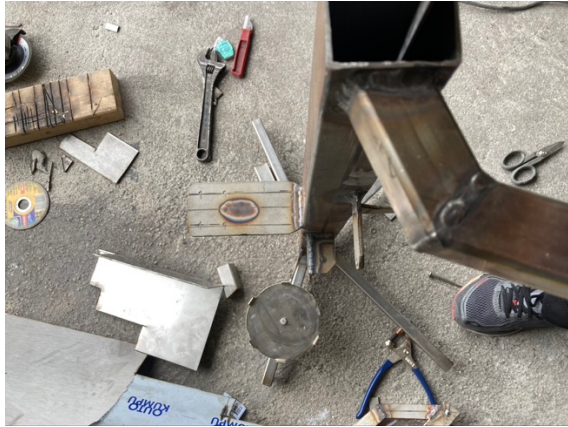


Til venstre kan man se festet til serveringsbrettet og hull boret for å kunne bolte hoveddrammen til foten/veggfeste, til høyre er en brakett for montering av servo motor nær ferdig fabrikkert.



Til venstre er brakett for servo sammenføyd med hoveddrammens feste for serveringsbrett. Til høyre er nedre feste for det vertikale trapesgjengestaget for åpning av nedre jern.





Bildene over viser øvre feste for trapesgjengestag. Man kan også se at platen til motor for å dreie nedre vaffeljern er fabrikkert og sammenføyd med hovedrammen.





Den vertikale armen ned til røre målebeger sammen med deler for å lage vippens som skal danne mekanismen som forteller systemet at målebeger er fullt. Til høyre er vertikal arm sammenføyd med hoveddrammens horisontale arm og vippens deler prøve montert.



Boks for elektronikk lages av en 2mm plate. Til venstre over er bakplaten med hull til feste av elektronikk. Til høyre er sidene på skap fabrikkert og sammenføyd med bakplaten.

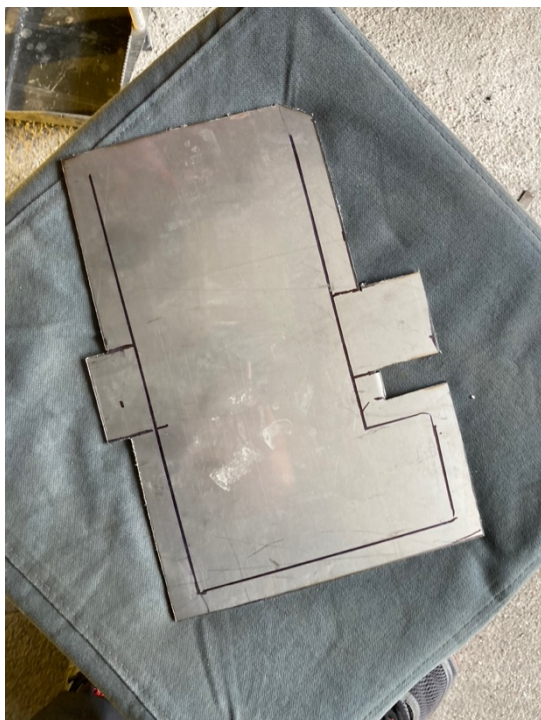




Det lages hull i hovedramme og i strømskap for trekking av ledninger fra skapet og inn i hoved rammen og videre til de elektriske komponentene.. Ø 20mm



Strømskapet festes til hovedramme via et firkantrør for å unngå konflikt med robotens bevegelser. På bildene over til venstre viser firkantrøret festet til strømskapet, mens bilde til høyre viser strømskapet sammenføyd med hovedramme.





Deksel til strømskap på bildet over til venstre. Her kun grovkappet fra en 1mm plate. Til høyre over er dekselet ferdig bøyd.



Prøvemontering av deksel over. Hull til LCD og velgebryter må fremdeles kappes ut. Venter til det er montert for bedre tilpasning.



Det ble brukt lamellrondell og stålbørste på vinkelsliper til bearbeiding av overflate og pussing av sammenføyninger.

Arm til åpning av øvre jern



Til venstre er armen under tilvirkning. Knekker og vinkler på armen gjorde at den ble laget i flere deler og sammenføyd. Til høyre er armen prøvemontert i vaffel steke robot.

Serveringsbrett





Til venstre er platen på 2mm grovkappet. Til venstre er serveringsbrettet ramme under konstruksjon.



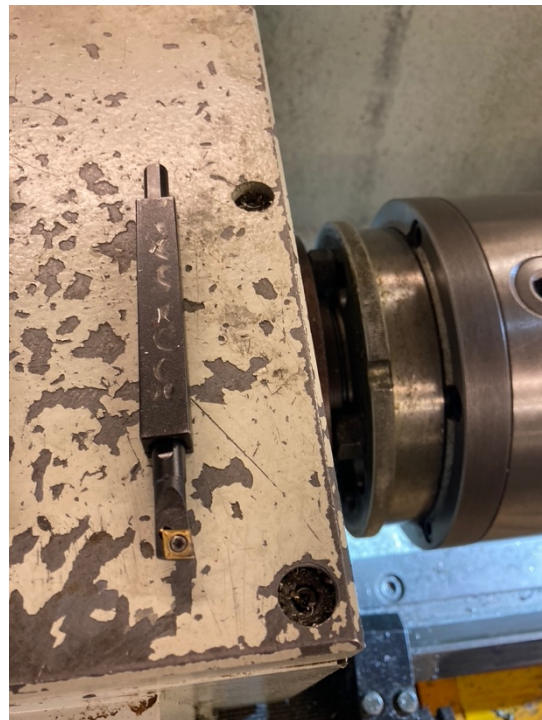
Rammen ble ferdigstilt og plassert under senter av platen.





Her er serveringsbrettet prøve montert i hovedramme.

Røretransport skrue



Røret som skivene skal festes i dreies ned innvendig til 17,5 mm ved hjelp av skjæret på bilde til høyre. Overgangen fra aksling til skruens rør lages også ved bruk av dreiebenken.



Universitetets platesaks benyttes til å kappe klar røreskruens kant som skal sammenføres med skivene. Skruen ble ikke ferdig på den tilmålte tiden og er derfor ikke ferdigstilt.

Røremålebeger system





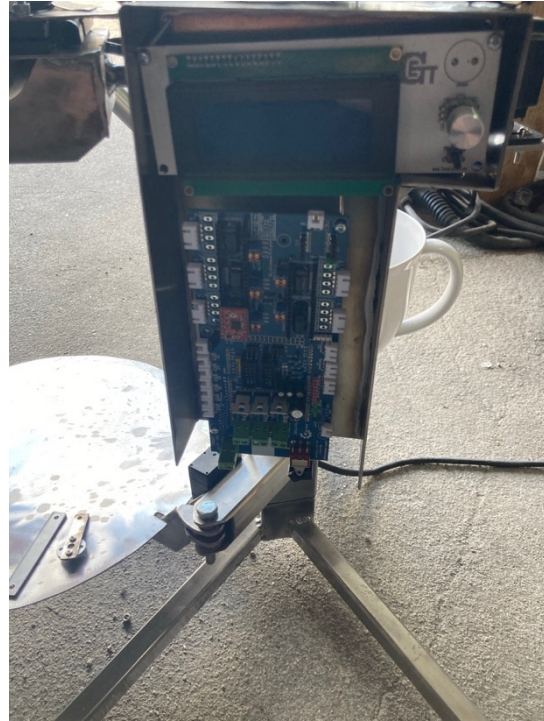
Over er en test variant av systemet for å tippe røre målebegeret in på vaffeljernet.

Bildet under viser en annen provisorisk løsning. Som kjent fra oppgaven strakk ikke tiden til og dette var ikke helt ferdigstilt da produksjonen stoppet.

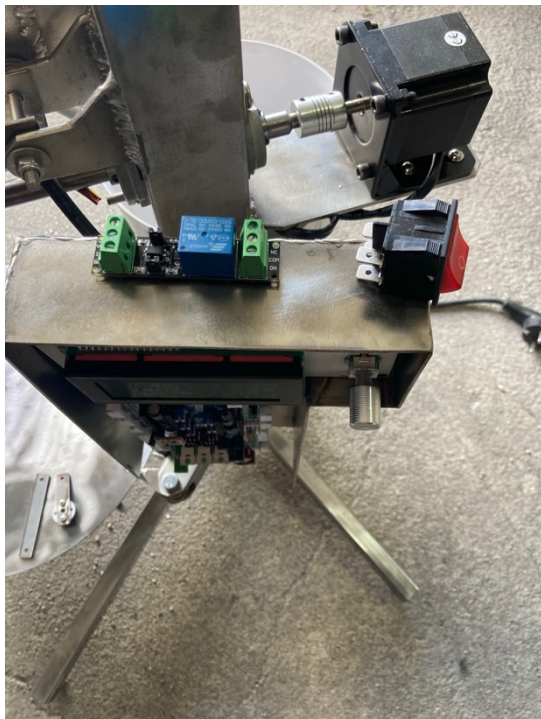




## Montering av robot og el komponenter



Over til venstre er servo til serveringsbrett montert og tilhørende deler ligger klar til montering. Her er også aksial lageret på plass. Over til høyre er LCD skjerm og Ultimaker kortet prøve-montert i strømskapet på hoveddramme.





Det er plass til strømbryter og rele til vaffeljern bak LCD skjerm i strømskapet.



Over er Nema 23 montert til brakett og hoveddrumme. Aluminium kobling til akslingen mot nedre jern er også montert. Akslingen går gjennom ett lager på hver side av hoveddrummen.



Over er Nema 17 til røretransportskrue montert med brakett i hoveddrummens horisontale arm.

For prøvemonteringen er det brukt vanlige skiver under lager, da planlagte shims for å løfte lagerets senterpunkt opp til motorens senterpunkt ikke er produsert på dette tidspunktet. Også her er alu kobling mellom motor og aksling montert.



Bildene over viser systemet for åpning av øvre jern montert. Nema 17 montert i hoveddramme med brakett. Aluminiums kobling til trapesgjengestag montert. Armen for løfting av øvrejern er på plass og koblet sammen med mutter på trapesgjengestag.





Bilde over til venstre hvordan øvrejerns arm er festet til trapesgjengestag mens bilde til venstre viser igjen hele systemet. Aluminiums kobling montert nederst på trapesgjengestag er plassert over ett aksial lager for å ta kreftene i den retningen når jernet lukkes fra åpen posisjon. Kommer ikke godt frem av bildene.



Bildene over viser innfestningen til øvre jern og armen til øvrejern. Her er det brukt skiver for å få ønsket mellomrom og klaring mellom hovedramme og arm.





På bildene over er alle deler montert.



Over til venstre er jernet åpnet ved hjelp av trapsgjengestaget. Bildet til venstre over viser øvrejers arm med motvekt i åpen posisjon.





Over illustreres bevegelse for å tømme vaffel ned på serveringsbrett. Til venstre i bevegelse og til høre er jernet snudd 180 grader.



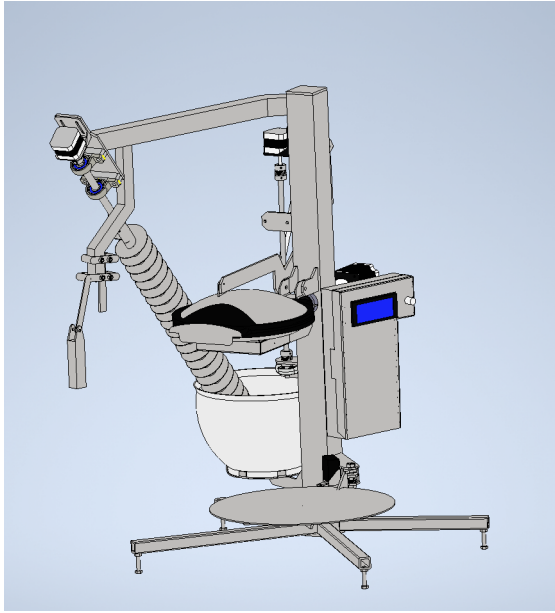
Bildene over illustrerer åpent jern og tømning av røre inn på jern ved ny steke syklus.





Her stoppet produksjon av vaffelmaskinen opp. Etter montering av alle delene ville neste steg være å trekke ledninger og koble sammen komponentene for videre arbeid med program til arduino.

Under kommer flere bilder fra da produksjonen stoppet sammen med et bilde av fra inventar på endelig design. Det viser at det ikke er så mye som gjenstår visuelt sett.



Arbeid gjort på elektronikk er beskrevet i oppgaven under produksjon.

