

Prosjektrapport QuAC

TMM4121 Produktutvikling

29.04.2025



Gruppe 2

Yngve Vollmer Torvik

Vikram Jonas Syed Velken

Sander Grødal

Victoria Nødtvedt Risnes

Ole-Marius Haukås

Ask Torsås Såstad

Hardik Deshpande

Ragnhild Augdal

Nils Helset Sellgren

Phillip Falck Rønnes

Mathias Pedersen

Holmskau

Mohamed Elwalid Fadul

André Grønnevik

1 Introduksjon

1.1 Forord

Dette prosjektet er gjennomført i forbindelse med emnet Produktutvikling TMM4121, ved NTNUs Institutt for maskinteknikk og produksjon (*MTP*). Emnet er obligatorisk for studenter ved Maskin- og energiteknologi. Deltakerne i faget blir ved emnets oppstart inndelt i grupper. Gruppene skal selv identifisere et reelt behov og utvikle et fysisk, elektronisk produkt som tilfredsstillende behovet. Denne rapporten dokumenterer fremgangsmåten og prosessen gruppe 2 har gjennomgått for å utvikle konseptet og prototyper for produktet, QuAC (Quick Aorta Compressor).

Vi i gruppe 2 er svært takknemlige for å få de praktiske erfaringene emnet tilbyr. I den forbindelse vil vi takke emneansvarlig Christer Westum Elverum, faglærere Håvard Nitter Vestad og Haavard Haaskjold for deres kunnskap og bistand. Takk til studieassistentene som har gitt oss gode innsikter og viktig kritikk basert på deres tidligere erfaringer.

En spesiell takk til Marte Eline Ween-Velken for samarbeidet rundt problemstillingen vår.

1.2 Sammendrag

I løpet av fire måneder har gruppe 2, «Post Partum Protectors», utviklet QuAC. Hensikten med QuAC er å tilby sykepleiere og jordmødre et apparat som utfører ekstern aortakompresjon. Ekstern aortakompresjon brukes til å begrense større blødninger i etterkant av fødsel. QuAC skal dekke dette behovet slik at sykepleiere kan utføre andre kritiske oppgaver. Resultatet av prosjektet er en prototype for QuAC som i høy grad tilfredsstillende dette behovet.

Denne rapporten beskriver gruppens struktur, utviklingsprosessen for QuAC samt komponentene og funksjonaliteten til produktet. Rapporten fokuserer på utviklingsprosessen og designet av produktet. Markedsanalyse og andre elementer som i utgangspunktet er essensielt for utviklingen av et produkt nevnes i korte trekk, men er ellers ikke viktig for dette prosjektet.

Innhold

1	INTRODUKSJON.....	1
1.1	Forord	1
1.2	Sammendrag	1
2	PROSJEKTORGANISERING.....	3
2.1	Organisering av gruppen.....	3
2.1.1	Ansvarsområder	3
2.1.2	Teamkontrakt	5
2.1.3	Strategi	5
3	KONSEPTUTVIKLING	7
3.1	Yrkesgrupper og problemstillinger ...	7
3.2	Idémyldring	7
3.2.1	Individuelt og i plenum	7
3.2.2	Brukerundersøkelse.....	7
3.3	Innsnevring.....	8
3.3.1	Problemstillinger og brukergrupper .	8
3.3.2	Apotekrobot	8
3.3.3	Rør-rens	9
3.3.4	Tennisrobot og trappevasker	9
3.3.5	Besøk hos brukergrupper	9
3.3.6	Avstemning og valg	10
3.4	Problemstillingen.....	11
3.4.1	Misjon og Visjon	12
3.4.2	Mission statement	12
3.4.3	Kravspesifikasjoner.....	12
3.4.4	Eksisterende løsninger.....	13
4	SYSTEMDESIGN.....	14
4.1	Systemet som helhet	14
4.1.1	Beskrivelse av bruk	14
4.1.2	Beskrivelse av mekanisme	14
4.2	Mekanisk design	14
4.2.1	Oversikt over komponenter	15
4.2.2	Valg av mekanisme	16
4.2.3	Design av baseplate	17
4.2.4	Design av lineæraktuator	18
4.2.5	Design av blubb	19
4.2.6	Design av silikontrekk	19
4.2.7	Design av topplokk	19
4.3	Mekatronikk	21
4.3.1	Funksjon.....	21
4.3.2	Valg av komponenter	21
4.3.3	Utvikling og Arbeidsfordeling.....	22
4.3.4	Utfordringer og Løsninger	23
4.3.5	Integrasjon og testing	24
4.3.6	Forbedringsområder.....	24
4.4	Prototyping, produksjon og testing	25
4.4.1	Baseplaten	25
4.4.2	Ryggbrett og stropper	26
4.4.3	Produksjon av lineæraktuator	27
4.4.4	Mekatronikk og topplokk.....	28
4.4.5	Armens komponenter	28
4.4.6	Komplett test	28
4.5	Endringer og refleksjon	29
4.5.1	Materialvalg	29
4.5.2	Komponentvalg.....	29
4.5.3	Ingen nødstoppbryter	29
4.5.4	Vandringsbegrensning for armen..	29
4.5.5	Topplukk.....	30
5	BUDSJETT, REGNSKAP OG BESTILLING.....	30
6	BRUK AV KI.....	31
7	OPPSUMMERING	31
7.1	Oppsummering av prosjektet	31
7.2	Evaluering av måloppnåelse	32
7.3	Refleksjoner	33
8	BIBLIOGRAFI	34

2 Prosjektorganisering

2.1 Organisering av gruppen

2.1.1 Ansvarsområder

Ved prosjektets start ble alle gruppemedlemmer tildelt et ansvarsområde. Ansvarsområdene dannet et utgangspunkt for hva hvert medlem skulle fokusere på gjennom prosjektet. Disse ansvarsområdene ble tildelt av emneansvarlig basert på hver enkeltes ønsker, men gruppen har hatt muligheten til å endre ansvarsområder etter gruppens behov.

Prosjektledelse og integrasjon

- Overordnet ansvar for koordinering av prosjektet og arbeidsoppgaver
- Utforming av prosjektrapporten
- Kommunikasjon på tvers av gruppen



Yngve Torvik



Philip Falck Rønnes



Ole-Marius Haukås

Mekatronikk

- Ansvar for de elektroniske komponentene
- Programmering
- Implementering av mekatronikk i det fysiske produktet



Hardik Desphande



Mohamed Elwalid Fadul

Mekanisk design og analyse

- *Utvikling og 3D modellering av komponenter*
- *Styrkeberegninger og analyse*
- *Samarbeid med testing og produksjon*



Sander Grødal



Mathias Pedersen Holmskau



Vikram Velken



Ask Torsås Såstad

Testing og produksjon

- *Valg av materialer*
- *Produksjon av komponenter*
- *Test og evaluering av design*
- *Samarbeid med design-gruppen om løsninger*



Victoria Nødtvedt Risnes



Ragnhild I. M. Augdal



André Grønnevik



Nils Christian Helset Sellgren

2.1.2 Teamkontrakt

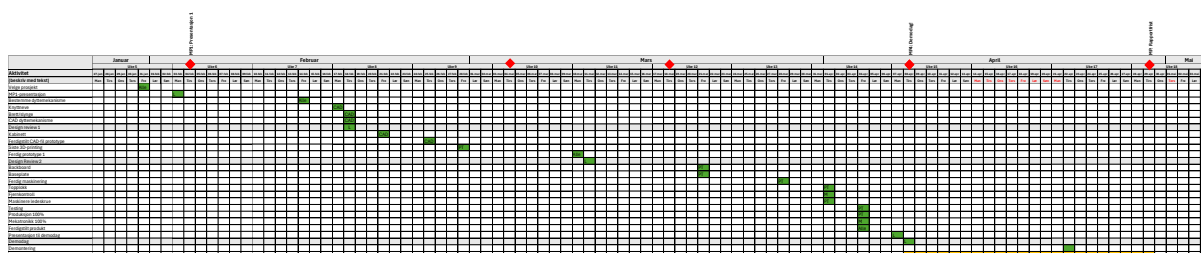
Etter å ha blitt kjent med hverandre på tvers av gruppen, ble det samlet utarbeidet en kontrakt. Kontraktens formål var å fastsette rammer og forventninger for hvordan prosjektet skulle gjennomføres.

Resultatet ble en kontrakt med retningslinjer som passer våre rutiner best mulig samtidig som den skal sikre best mulig produktivitet. Kontrakten setter fokus på at medlemmene skal ha glede i arbeidet, åpenhet for alles meninger og at alle skal bidra etter beste evne. I ettertid har kontrakten vist seg å bli mindre håndhevet, men felles enighet og motivasjon har holdt gruppen samlet og strukturert.

Teamkontrakten er vedlagt som *vedlegg A – teamkontrakt*.

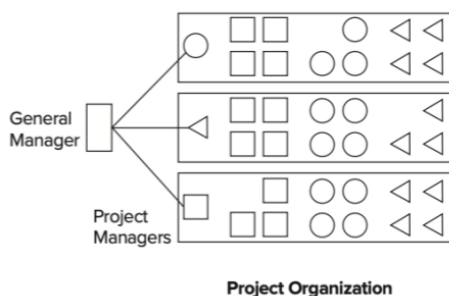
2.1.3 Strategi

Gruppen har utnyttet ulike produktutviklingsstrategier for å nå gruppens mål for prosjektet. Det ble blant annet satt opp et Gantt-diagram som ble fylt ut fortløpende gjennom prosessen, se Tabell 1 (større versjon finnes i *vedlegg B*).



Tabell 1: Gantt-diagram som viser målsetningen for hele prosjektløpet

Etter konseptet ble bestemt, ble gruppen inndelt etter komponentene til produktet. Denne inndelingen ligner modellen for «prosjektorganisering» (Product Design and Development, s. 27). Modellen setter sammen grupper av medlemmer med forskjellige ansvarsområder, i motsetning til å ha en gruppe for hvert ansvarsområde. På denne måten blir hver komponent utviklet med hensyn til design, produksjon og integrasjon. Eneste unntak er to gruppemedlemmer med ansvar for mekatronikk. De jobbet selvstendig og på tvers av gruppene for å tilpasse mekatronikken til resten av produktet.



Figur 1: Eksempel på prosjektorganisering (Karl T. Ulrich, 2012, s. 27)

Det ble bestemt tidlig i prosessen at gruppen opererer uten én fastsatt prosjektleder. Dette ble bestemt med forbehold om at en leder kan velges demokratisk dersom gruppedynamikken tilsier at det er nødvendig. Samarbeidet har vært velfungerende til den grad at en gruppeleder ikke var nødvendig.

Under den tidlige fasen i prosjektet benyttet gruppen rapid prototyping. Rapid prototyping utnytter 3D modellering og printere for å raskt produsere prototyper (Karl T. Ulrich, 2012). Ved bruk av 3D-printere har gruppen enkelt og effektivt gjennomgått flere iterasjoner på kort tid og dermed testet ulike ideer til design. Dette gjorde at gruppen oppdaget mangler og forbedringspotensialer i komponentene under utvikling av prototyper for produktet.

3 Konseptutvikling

3.1 Yrkesgrupper og problemstillinger

Prosjektet tok utgangspunkt i utfordringer i ulike yrkesgrupper og livssituasjoner. De fleste brukergruppene var fysisk krevende yrker som anleggsarbeider, tømrer og rengjøringspersonell. Gjennomgående problemstillinger var repetitive oppgaver som vasking, rydding og gjentatte tunge løft. Over 40 mulige prosjekter ble kartlagt, vurdert og filtrert ut senere i idé- og innsnevringsfasen (se kapittel 3.3).

3.2 Idémyldring

Det har blitt benyttet forskjellige strategier for å finne inspirasjon og løsninger, hver av dem med sine fordeler og ulemper.

3.2.1 Individuelt og i plenum

For å få flest mulig unike idéer gjennomførte gruppemedlemmene først en individuell idémyldring hvor hvert medlem fant problemstillinger og eventuelt løsninger. Trender som kunstig intelligens (KI) i brukergrensesnitt, bærekraft, automatisering, universell utforming og design for demontering var sentrale. De to siste trendene har spesielt vært i fokus videre i prosjektarbeidet. Deretter drøftet gruppen ideene i plenum.

Det ble fort tydelig at det er svært utfordrende å identifisere muligheter ut fra idémyldring alene. Derfor har gruppen kontaktet bedrifter og enkeltpersoner i forbindelse med de mest lovende ideene. I tillegg kontaktet gruppen flere i næringslivet, oppsøkte medarbeidere på blant annet treningssenter og matbutikk. Å ta kontakt gjennom e-post har gitt varierende resultater, men stort sett dårlige muligheter for produktkonsepter. Flere gruppemedlemmer har også tatt kontakt med nære familiemedlemmer og bekjente med jobb i et bredt spekter av bransjer. Kontakt med bekjente har vist seg å være mest givende og gitt flere gode muligheter.

3.2.2 Brukerundersøkelse

På tross av flere gode idéer innad i gruppen var det ønskelig å undersøke behov til flere brukergrupper. Det ble laget en undersøkelse med spørsmål om utfordringer i hverdagen og arbeidslivet. Brukerundersøkelsen ble delt på Facebook. Kvaliteten på svarene var av varierende kvalitet, men med et par gode idéer samt problemstillingen til produktet. Undersøkelsen bidro til at gruppen måtte tenke nytt og unngikk polarisering.

Hvilken yrkesgruppe/brukergruppe represent	Hvilke arbeidsoppgaver har du som er repetitive, fysisk krevende eller tidkrevende?
Student	Skolearbeid, rydding
Bønder	Tunge løft, bæring av utstyr.
student	Vaske tavler
Student	Koke øvinger
Student	Tidkrevende å gjøre øvinger
Student	Gjøre skole
Student	Lese fag. Se på Vikrams L rizz
lektorstudent	lesing, skriving på pc
Journalist	Sitte store deler av dagen stille foran en skjerm
Student	Lesing
Bananskreller	Skrelle flere bananer samtidig
Arkitekt	Mye arbeid ved pc
Profesjonell bananskreller	Skrelle bananer
vanlig kontorarbeider	ukesmatplanlegging og handling
Student	Vasking av klær (med alt det innebærer).
Student	Trening
Lege	Bimanuell kompresjon av livmoren hvis kraftig blødning etter fødsel er fysisk krevende
Lege	Legge arbeidsplan
Sykepleier/ rådgiver	Skrivearbeid
Student	Stå opp om morgenen, studere, ikke være på tiktok

Tabell 2: Spørsmål og svar fra undersøkelse

3.3 Innsnevring

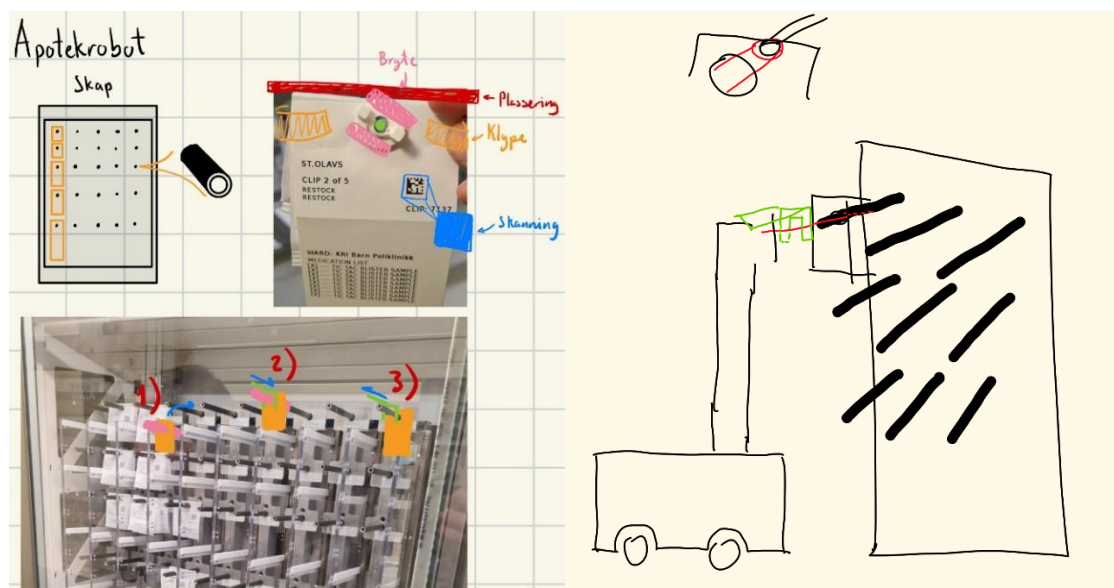
3.3.1 Problemstillinger og brukergrupper

Etter to uker hadde gruppen en liste med omtrent 40 brukergrupper og problemer. Denne ble kortet ned til en ny liste av prosjekter gruppen vurderte som interessante, realistiske og der det eksisterte kontakt med brukere villige til å bistå med utvikling:

- Apotekrobot – Sortere og plassere endoser
- Tennisrobot – Rake og vanne tennisbaner
- Rør-reenser – Rense små rør med 90 graders vinkler
- Trappevasker – Moppe trapp automatisk
- Aortakompressor – Stoppe store blødninger fra rifter som oppstår under fødsel

3.3.2 Apotekrobot

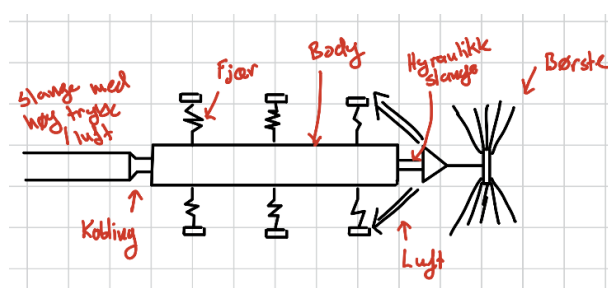
Apotekrobotens hensikt ville vært å flytte pakker med endoser (enkeltpakker med medisin), knekke opp klipsen som holdt dem sammen og plassere dem inn i en Sinteco Pegasus. Dette er en større robot som automatisk sorterer og leverer ut endoser. Plasseringen skal velges fra størrelsen på endosepakningen. Apotekroboten skulle gjøre jobben med å plassere endosene inn i den store roboten automatisert, i dag er det en manuell prosess som koster farmasøyter mange timer hver dag. Apotekroboten var et forslag fra Sykehusapotekene i Midt-Norge og det ble foreslått å utvikle den i samarbeid med dem. *Figur 2* viser konseptskisser for apotekroboten.



Figur 2: Konseptskisser for apotekrobot

3.3.3 Rør-reenser

Rør-rensen skal være en liten robot som kan vaske innsiden av tynne rør med $\varnothing < 10\text{cm}$. Problemet som løses er at den skal kunne gå i svingete rør. Renseroboter for små rør finnes ikke per dags dato. Som sett på Figur 3 skulle den gå på trykkluft eller vann med høyt trykk. Den måtte være kort nok til å ta svinger med lav radius. For å øke effektiviteten skulle det være mulig å montere en børste på tuppen.



Figur 3: Konseptskisse rør-reenser

3.3.4 Tennisrobot og trappevasker

Tennisroboten var et konsept for en robot som automatisk raker og vanner en tennisbane før bruk. Den skulle fungere liknende som en robotstøvsuger. Trappevaskeren var et konsept for en robotstøvsuger som var laget for å gå i trapper. Den skulle støvsuge trapper i høye bygninger der det er svært tidkrevende å vaske trapper manuelt.

3.3.5 Besøk hos brukergrupper

For å velge prosjekt ble det gjort gjentagende besøk hos både Sykehusapoteket og fødselsavdelingen på St. Olavs Hospital, på tennisbaner rundt omkring i Trondheim, og det ble opprettet kontakt med en teknisk sjef på et industrianlegg i forbindelse med rørrenser.



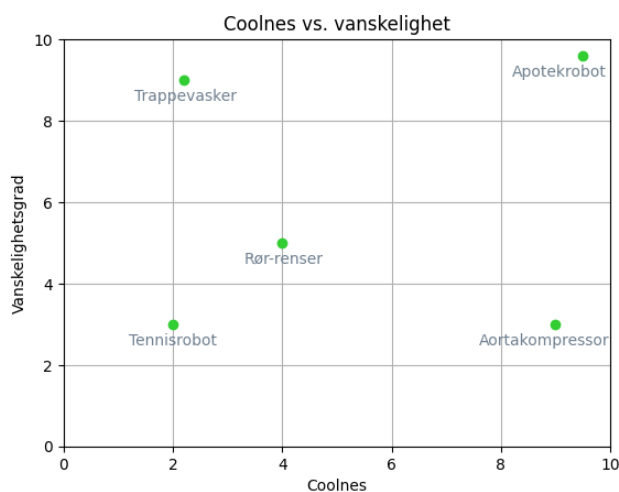
Figur 4: Besøk på sykehusapoteket



Figur 5: Besøk på fødeavdelingen på St. Olavs Hospital

3.3.6 Avstemning og valg

Når det skulle velges produkt i slutten av uke 4, brukte gruppen ulike metoder for å luke ut uaktuelle prosjekter, og velge et interessant konsept. Gruppen måtte også velge noe som var realistisk å gjennomføre på tre måneder. Først ble plottet vist i figur 6 brukt der de ulike prosjektene ble rangert etter vanskelighetsgrad (y-aksen) og «coolness» (x-aksen). Dette førte til at trappevaskeren og tennisroboten utgikk.



Figur 6: Plott av coolness vs. vanskelighet

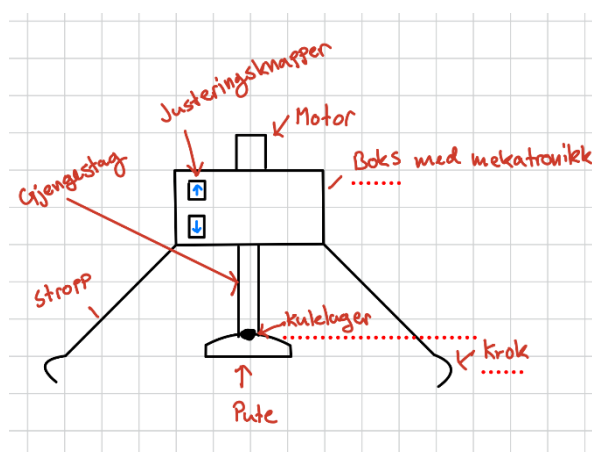
Senere ble hvert prosjekt rangert etter tilgjengelighet, behov, tilgjengelig samarbeidspartner, motivasjon og vanskelighetsgrad (se Tabell 3).

	Tilgjengelighet	Behov	Partner	Motivasjon	Vanskelighetsgrad
Apotek	10	7	10	2	3
Aortakompressor	10	10	10	8	6
Rørrensner	4	5	3	1	1

Tabell 3: Rangering av ulike parametere for hvert prosjekt

Her rangerte alle i gruppen alle sistnevnte kategorier for gjenværende prosjekter individuelt fra 1-10 der 1 er dårlig og 10 er bra, før gjennomsnittet av rangeringene ble brukt til å velge prosjekt. Vanskelighetsgraden er omvendt, fra 10-1 der 10 er lett og 1 er vanskelig.

Det endelige valget falt på aortakompressoren (se Figur 7).

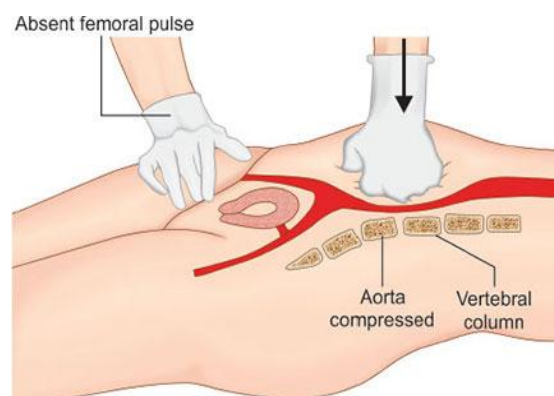


Figur 7: Konseptskisse aortakompressor

3.4 Problemstillingen

Blødning etter fødsel (PPH; postpartum hemorrhage) er den største årsaken til barseldødsfall i verden, det dør årlig om lag 70 000 av PPH (Say, et al., 2017). I hovedsak er PPH livstruende i utviklingsland der man ikke har god nok tilgang på helsepersonell eller medisiner.

Ved å komprimere hovedpulsåren (aorta) over livmoren kan man stoppe blodtilførselen, som er en universell måte å stoppe blødningen på. For å komprimere aorta må



Figur 8: Aortakompresjon

man presse hardt ned i buken med en liten knyttneve, som er utmattende over tid, og oppholder jordmoren under hele kompresjonen.

Den største årsaken til blødning etter fødsel er at livmoren ikke trekker seg godt nok sammen (uterus-aton). Man kan legge press rett i overkant av livmoren for å hindre at den vokser oppover igjen.

Å utføre aortakompresjon krever mye kraft på rett sted, og er svært ubehagelig for pasienten. Dersom det er vanskelig kan man heller holde livmoren nede ved atoni, siden dette krever samme funksjon av apparatet. Hovedmålet er å frigjøre hender som heller kan utføre andre oppgaver.

3.4.1 Misjon og Visjon

Misjon

Utvikle et apparat som kan utføre ekstern aortakompresjon for å effektivisere arbeidet til helsepersonell.

Visjon

Bidra til å senke dødeligheten i forbindelse med blødninger etter fødsel.

3.4.2 Mission statement

Mission statement: Aortakompressor

Produktbeskrivelse	En lett maskin som dytter med stor kraft ned på aortaen til en pasient som har PPH.
Verdiforslag	• Stopper PPH raskt og pålitelig • Frigjør en jordmor fra å utføre manuell aortakompresjon og gir mer plass over pasienten
Viktige mål	Prototype ferdig til demodag 8. april
Primærmarked	• Jordmødre • Leger
Sekundærmarked	• Helsepersonell
Forutsetninger	• Enkel å sette på pasienten • Leverer høyt trykk • Modulær - må passe til ulike pasienter • Passer på alle sykehussenger
Interessenter	• Bruker • Pasient • Produktutviklingsgruppen

Tabell 4: Mission statement utformet etter Product Design and Development (Karl T. Ulrich, 2012).

3.4.3 Kravspesifikasjoner

Gjennom samtaler med jordmødre og gynekolog på St. Olavs Hospital ble det forklart at det skal trykkes ned med et areal tilsvarende en liten knyttneve. Det skal presses svært hardt, etter forsøk ble det antatt at omtrent halvparten av kroppsvekten til en jordmor er nødvendig. Målet ble derfor å oppnå en kraft på rundt 40kg, men gjerne mer da det avhenger av pasienten. Produktet kan ikke ha skarpe kanter, og det må gå fort fra blødningen har begynt til apparatet er i bruk, helst under ett minutt. Dersom apparatet tar lang tid å sette på pasienten og starte opp vil det ikke bli brukt. Det er mange

forskjellige føde- og sykesenger, og det er derfor fordel om apparatet kan være universelt og uavhengig av sengemodellen.

En tabell for kravene som stilles til produktet vårt ble satt opp tidlig i konseptutviklingsfasen. Her beskrives hvilke mål som skal og bør oppnås for prototypen og det ferdige produktet. Kravspesifikasjonene er satt opp i samarbeid med jordmødre fra St. Olavs Hospital og overlege/rådgiver for seksjon for kvalitet og pasientsikkerhet ved Sørlandet Sykehus.

Funksjon	Spesifikasjon	Prototypekrav		Produktkrav	
		Skal	Bør	Skal	Bør
Ytelse	Yte trykk tilsvarende 40kg	x		x	
Modularitet	Mulighet for å enkelt skifte ut komponenter		x		x
Trygghet	Enkel å stanse ved behov	x		x	
Brukervennlighet	Enkel og rask å ta i bruk (<1min å sette på)	x		x	
Stabilitet	Stabilt feste mellom QuAC og pasient		x	x	
Størrelse	Ikke forhindre tilgang til pasient		x	x	
Ladbar	Mulighet for å lade		x		x
Fjernstyrt	Fjernstyres med kontroll		x		x
Versatilitet	Universell løsning som passer alle sykehussenger	x		x	
Pålitelighet	Produktet fungerer feilfritt over tid		x	x	

Tabell 5: Kravtabell for prototype og ferdig produkt

3.4.4 Eksisterende løsninger

I dag er det ingen eksisterende behandlinger for PPH som bruker mekanisk ekstern aortakompresjon. Ekstern aortakompresjon er en teknikk som nylig har blitt tatt i bruk av nordiske sykehus og er derfor ikke særlig utbredt enda. Det eksisterer løsninger for å stanse store blødninger som ikke er eksterne.

Gruppen kom i kontakt med ExAC, et selskap som jobber med opplæring og utvikling innenfor ekstern aortakompresjon. De har utviklet «ExAC Trainer», en dukke som brukes for å lære opp helsepersonell i bruken av ekstern, manuell aortakompresjon. De jobber også med å utvikle en løsning som likner QuAC. ExAC assisterte med å utforme kravspesifikasjonene våre og tilbød testing. Tilbudet om testing ble ikke utnyttet siden det krevde at QuAC-en ble tatt med til kontorene deres i Oslo, noe som ikke var mulig under stadiet produktet var i.

REBOA (Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta) er en vanlig behandling av store blødninger etter fødsel. Dette er en prosess der et kateter med en oppblåsbar ballong føres inn via lyskearterien og opp i den nedadgående delen av hovedpulsåren. Ballongen blåses opp og okkluderer aortaen (Carlsen, 2022). Dette er en intern løsning og er vanskeligere og mer tidkrevende enn eksterne løsninger slik som den gruppen har utviklet.

4 Systemdesign

4.1 Systemet som helhet

Aortakompressoren designet av Post Partum Protectors består av to hoveddeler og en fjernkontroll. De to hoveddelene er et ryggbrett og et hus med pressemekanisme, arm og base.

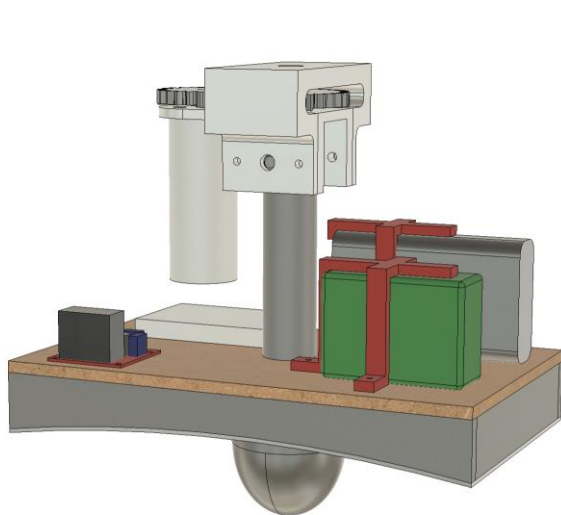
4.1.1 Beskrivelse av bruk

Når det forekommer PPH hos en som nettopp har født, gir en jordmor eller sykepleier umiddelbart manuell aortakompresjon. Mens dette pågår hentes QuAC-en. Ryggbrettet legges under pasienten, deretter festes maskinen til ryggbrettet med stropper og strammes ned mot magen. Personen som administrerer manuell aortakompresjon, skal ha funnet blodåren og kan justere posisjonen slik at armen plasseres inntil magen på riktig plass. Når QuAC-en ligger stramt på magen kan en lege eller jordmor bruke fjernkontrollen til å senke ned armen inn i magen til pasienten, og blødningen vil stoppe når det er gitt tilstrekkelig trykk på blodåren.

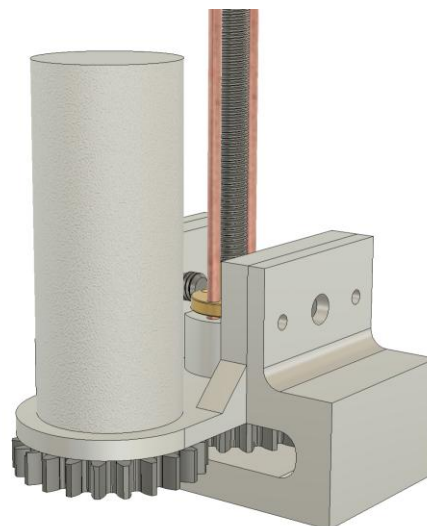
4.1.2 Beskrivelse av mekanisme

En motor aktiverer tannhjul, som igjen roterer en ledeskrue. En mutter med fri bevegelse langs ledestenger vil da skrus opp eller ned ledeskruen. Pressarmen er festet med presspasning til mutteren, og blubben er igjen festet med presspasning til armen.

4.2 Mekanisk design



Figur 9: Fullstendig sammensetning uten
lokk



Figur 10: Nærbilde av aktuator-
mekanisme

4.2.1 Oversikt over komponenter

Sammensetning	Nr.	Komponent
Baseplate	1	Bunnplate base (2mm stål)
	2	Basevegger (6mm aluminium)
	3	Topplate base (2x3mm MDF)
	4	Rør base (Ø25 stål)
Lineæraktuator	5	Motorbrakett (Aluminium)
	6	Tannhjulholder (Aluminium)
	7	Tannhjul (6mm aluminium)
	8	Kulelager (Stål)
	9	Ledestenger (Kobber)
	10	Ledeskrue (Stål)
	11	Mutter og mutterfeste (Messing og PLA)
Mekatroniske komponenter, lokk og skruer	12	Powerbank
	13	Motor
	14	Motorstyringsmodul (L298N)
	15	Breadboard og mikrokontroller (ESP32)
	16	Batteri
	17	Powerbank holder (PLA)
	18	Batteriholder (PLA)
	19	Motorstyringsmodulholder
	20	Fjernkontroll (PLA)
	21	Topplukk (PLA)
	22	Belteklips
	23	Eksenterlås
	24	Skruer, mutter, gjengstifter, skiver
Arm	25	Blubb (Silikon og PLA)
	26	Blubbfeste (PLA)
	27	Pressarm (Aluminium)
Ryggplate	28	Ryggplate (6 mm MDF)
	29	Stropp og klips (Tekstil)
	30	Ledestang ryggplate (Aluminium)

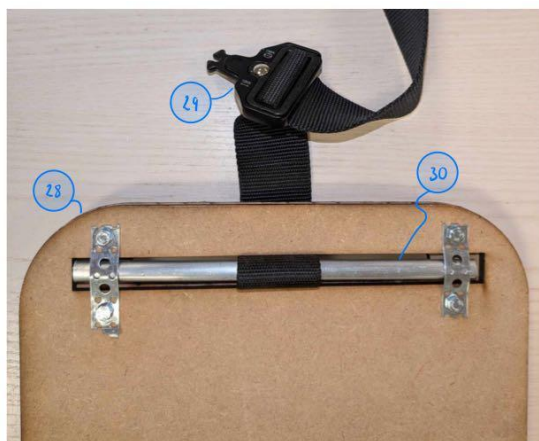
Tabell 6: Liste over komponenter

SKRUE/MUTTER	ANTALL
GJENGESTIFT M8X16MM	2
BOLT DIN 912 M4X70MM DELGJENGET	2
BOLT M4X15MM	4
MUTTER M4	6
SKIVE M4	6
BOLT M5	2
SKIVE M5	2
TRESKRUE 3,5X20 12MM	4
SENKESKRUE M3X8MM	22

Tabell 7: Liste over skruer



Figur 11: Bilde av komponenter (1)



Figur 12: Bilde av komponenter (2)

4.2.2 Valg av mekanisme

Utgangspunktet for mekanisk design og analyse var følgende problemstilling: «Produktet trenger en motorisert løsning som kan dytte med kraft og presisjon.» Løsningen ble å designe en lineæraktuator, som er en enhet som omdanner rotasjonsbevegelsen fra en motor til en rettlinjert skyve- eller trekkebevegelse. Flere mekanismer ble vurdert, som tannstang og tannhjul samt vaiere og trinser, men disse ble forkastet grunnet utfordringer med giring, lav friksjon, stabilitet og belastning. Valget falt derfor på ledeskrue og mutter, på grunn av dens høye mekaniske fordel, store friksjon og selvlåsende effekt, som hindrer at lasten «slipper» dersom motoren er avslått.

Det ble også foretatt en vurdering om linæraktuatoren skulle kjøpes inn fra en leverandør og så integreres i designet, eller om gruppen selv skulle designe og produsere linæraktuatoren. Vurderingen konkluderte med at linæraktuatoren designes og produseres av gruppen.

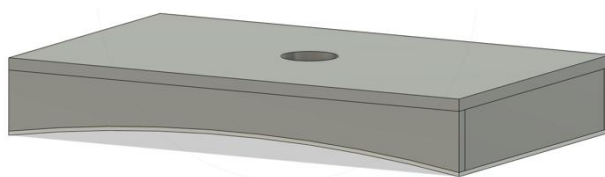
Kjøpe		Lage selv	
Pros	Cons	Pros2	Cons2
Standardisert	Resten av produktet må tilpasses denne	Mer eierskap	Flere feilkilder
Garanti for god funksjon	Lite læringsutbytte	Friere tøyler	Usikker effektivitet
Sparer tid og penger		Bedre læringsutbytte	Dyrt

Tabell 8: Argumenter for og mot å kjøpe ferdig lineæraktuator eller lage selv



Figur 13: Eksempel på kommersiell lineæraktuator (RS Webshop, 2025)

4.2.3 Design av baseplate

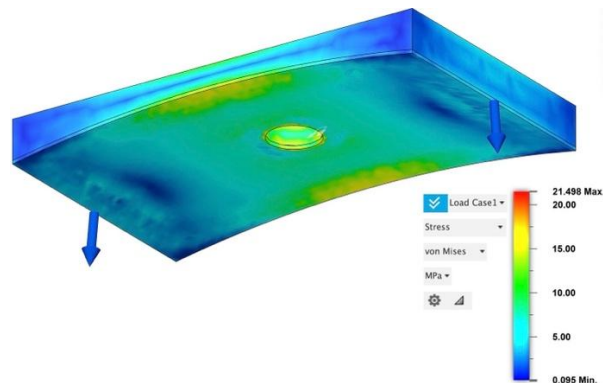


Figur 14: Baseplate

Baseplaten er den største komponenten i QuAC-en. Det ble vurdert både konkav og konveks form. Den konkave formen passer best siden den følger kroppens kontur bedre og ble derfor et naturlig valg. Ulike radier på buen og materialvalg ble testet via FEA (Finite Element Analysis) i Fusion 360.

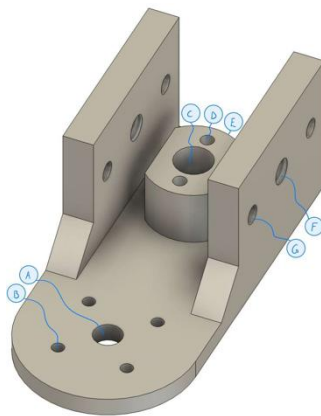
Baseplaten ble testet med to punktlaster midt på hver kortende. Disse skulle simulere beltene som holder QuAC-en på plass. For å holde igjen baseplaten ble hullet under platen låst med en «structural constraint». Så ble analysen gjennomført flere ganger med

ulike materialer over bunnplaten i stål. Resultatet ligger i *vedlegg C, delkapittel C.5*. Aluminium ble valgt som materiale for veggene til baseplaten og analyser med dette materialvalget viste at radiusen til bunnplaten hadde neglisjerbar betydning grunnet spenninger under 30MPa.



Figur 15: FEA i Fusion 360

4.2.4 Design av lineærakuator



Figur 16: Motorbrakett

Motorbraketten (*figur 16*) har gjennomgått flere iterasjoner, og det endelige designet er godt egnet for en prototype. Den har hull for motoraksel (A), festeskruer (B), ledeskruer (C), ledestenger (D), presspasning til stålrør (E), gjengede hull i sideplatene for stålrørsfeste med gjengestift (F), samt hull for tannhjulholder (G). Braketten er utformet med flate sider for å gi plass til freseverktøyet, og sideplatene har skrå ender for økt styrke.

Tannhjulholderen er utformet for å holde igjen ledeskruen og tannhjulet (28 tenner) når armen senkes og det påføres store trykkrefter. Denne maskineres i to omganger, en fra siden og en nedenfra. Den har vegger som passer på utsiden av motorbraketten og holdes på plass med to skruer med muttere. Hullene til skruene som fester tannhjulholderen på motorbraketten samt hull til å stramme gjengestiftene som holder sammensetningen fast i stålrøret på bunnplaten drilles fra siden. Denne komponenten har ingen gjenger. I toppen av komponenten er det et spor til kulelager som freses. Dette sporet har hull helt gjennom slik at det ikke skal være friksjon på den indre delen av

kulelageret eller enden av ledeskruen. Hjørnene på innsiden av motorbraketten må ha avrunding for at maskinering skal være mulig, og den er derfor litt overdimensjonert i bredden for å gi plass til tannhjulet.

Tannhjulene med henholdsvis 28 og 22 tenner, og en senteravstand på 50 mm, er festet til ledeskruen og motoren. For å unngå sluring på akslingene er de designet med et lite kilehakk i sentrum. Hovedfunksjonen til tannhjulene er å overføre rotasjonen fra motoren til ledeskruen, slik at motoren kan plasseres under giret og gjøre produktet mer kompakt. Selve giringen har ikke vært hovedfokus i designprosessen, ettersom motoren i utgangspunktet har tilstrekkelig dreiemoment til å drive aktuatoren (*vedlegg C, delkapittel C.3*). Likevel ble det implementert et utvekslingsforhold på 28/22 for å gi en god sikkerhetsmargin. Tannhjulene ble designet i Fusion 360 ved hjelp av “FMGears”, med noe etterarbeid i etterkant.

4.2.5 Design av blubb

Ved aortakompresjon presser man ned med en liten knyttneve, ofte holder det med 3-4 knoker. Det er også viktig å unngå skarpe kanter som kan være ubehagelige. Ved aortakompresjon dytter man omtrent 10cm inn, avhengig av pasienten. Blubben har på det meste en diameter på 60mm, som gradvis reduseres i en bue. Høyden er totalt 5cm. Den er gjenget slik at den skrur fast i pressarmen. Slik vil det også være mulig å erstatte den med en blubb av andre dimensjoner dersom det trengs.

4.2.6 Design av silikontrekk

Produktet skal brukes på mennesker og må derfor designes henholdsvis. Silikontrekket er enkelt å bytte ut for å effektivisere sterilisering og reduserer ubehag for pasienten. I tillegg er det høy friksjon mellom silikon og hud slik at blubben holder seg på plass. Silikonet hjelper også med å runde av eventuelle røffe overflater og det gjør at blubben kjennes ut som en hånd – noe som gir en antropomorf effekt. Støpeformen silikontrekket støpes i består av en kopp med litt større volum enn blubben og et lokk som skrur fast i skruehullet i blubben. Lokket har luftehull som bidrar til ventilasjon under herding mens det også gjør det lettere å skru og håndtere det (*figur 17*).



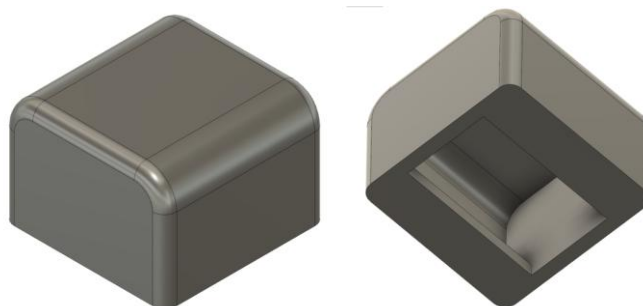
Figur 17: Blubb og støpeform

4.2.7 Design av topplokk

Funksjonen til topplokket er å skjule mekatronikken og metallrøret som omslutter ledeskruen. Samtidig fungerer det som håndtak for manuell nedsenkning og stabilisering mot pasientens mage. Tre design har blitt utviklet, hvor hvert påfølgende design i større

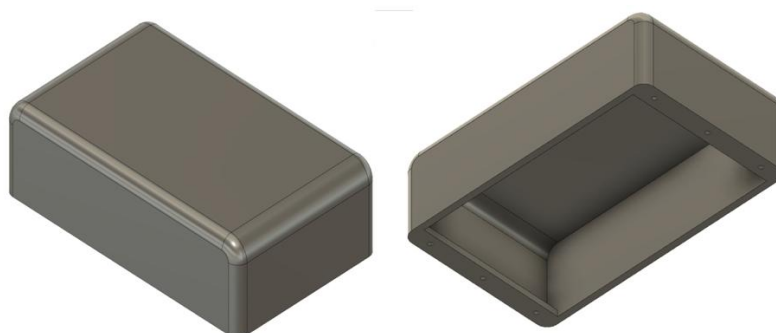
grad har blitt tilpasset parametrisering og dimensjonering av beltene, baseplaten, og ledeskruen.

Det første designet (*figur 18*) ble utviklet i Fusion 360 for å verifisere grunnformen og tilpasningen til bunnplaten og de innvendige komponentene. Designet hadde en enkel, kvadratisk, hul geometri med innvendige og utvendige avrundede kanter, og gjennomgående 6 mm tynne vegger. Det første designet hadde ikke tilstrekkelig plass til mekatronikken, ettersom det kun dekket et breadboard alene. Derfor måtte designet parametriseres og skaleres opp.



Figur 18: Første versjon av topplokk

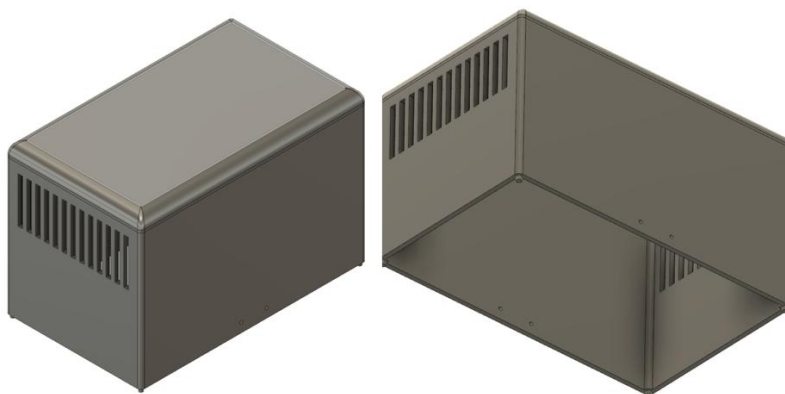
Basert på erfaringene med det første designet, ble neste topplokk (*figur 19*) designet med parametrisk modellering. Her ble dimensjonene gradvis justert for å tilpasse større skala, med plass til mekatronikken. Veggtykkelsen var fremdeles 6 mm, og det ble implementert hull på undersiden av hver breddeside for å feste topplokket til baseplaten. Likevel var topplokkets høyde for stor, med overflødig rom. I tillegg ble det ikke tatt tilstrekkelig hensyn til luftgjennomstrømning eller feste til baseplaten.



Figur 19: Andre versjon av topplokk

Det tredje designet (*figur 20*) ble utformet for å oppfylle kravene om integrerte hengsler som sikrer enkel åpning og lukking, samt en lufteventil for trykkutjevning ved kompresjon og redusert varmeoppbygging i PLA-materialet. Hullene på undersiden til topplokket ble erstattet med knotter som går ned i sporet på baseplaten, og det ble påført hull langsmed topplokket for feste mellom topplokk og baseplaten. På den måten dekkes kravet om at prototypen skal være lett demonterbar, samtidig som man sikrer et godt feste. Videre er

det utført en statisk belastningsanalyse med påførte aksialkrefter for å simulere nedsenkningen med topplokket. Se *vedlegg D* for flere detaljer.



Figur 20: Nyeste versjon av topplokk

4.3 Mekatronikk

4.3.1 Funksjon

Det ble bestemt at motoren og dermed aortakompressoren skulle styres med knapper. Disse knappene ble i etterkant bestemt til å være på en separat kontroller slik at den kunne holdes utenfor rekkevidden til pasienten, slik at pasienten ikke selv kan stoppe aortakompressoren. Et potensiometer kan også brukes til å justere hastigheten for å gjøre det enklere å finjustere kraften man dytter med.

4.3.2 Valg av komponenter

Motor

Ettersom gruppen valgte å utvikle en egen lineæraktuator var det behov for en motor. Generelt kan motorer deles opp i DC-motor, Servo-motor og Stepper-motor. Målet var å gjøre rotasjon til lineær bevegelse og det var dermed behov for en motor som kunne rotere kontinuerlig. Det ble valgt en enkel DC-motor ettersom de er generelt enklere å programmere sammenlignet med Stepper-motorer og fordi det ikke er behov for å vite posisjonen til den utstrakte armen. DC-motorer er også billigere, man kan legge til giring for å øke dreiemomentet, samtidig som den kan oppnå høyt turtall ved lavt moment.

Etter forenklede momentberegninger for skruer (*vedlegg E*) ble det konkludert at behovet var omtrent 1Nm dreiemoment på ledeskruen for å yte en kraft tilsvarende 40kg. I denne beregningen ble det antatt kun friksjon i mutteren, og ellers friksjonsfritt i rullelager og giring. Videre ble det antatt at det var enklest med giring innebygd i motoren, i motsetning til giring ved bruk av tannhjul. Det ble dermed anskaffet en 12V DC-motor med innebygd giring, som utøver 0.98Nm etter giringen. For å ta hensyn til øvrig friksjon, ble det valgt et utvekslingsforhold på 0.8 i overføringen mellom motor og ledeskruer.

For styringen av motoren trengtes det en motordriver. Her ble det valgt å bruke L298N grunnet god tilgjengelighet.

Mikrokontroller

I utgangspunktet skulle det være knapper på selve produktet for å styre motoren. Under en HMS-vurdering av produktet ble det bestemt at det er hensiktsmessig å ikke la styringen av mekanismen være tilgjengelig for pasienten ettersom trykket fra kompressoren kan medføre store smerter. Det ble derfor ønsket å ha en kontroller som trådløst styrer motoren, slik at pasienten ikke har muligheten til å senke trykket selv. For å oppnå dette ble ESP-32 valgt som mikrokontroller over en Arduino. ESP-32 har en innebygd trådløs kommunikasjonsprotokoll som gjør det enkelt å kommunisere mellom to ESP-32 enheter via ESP-NOW.

4.3.3 Utvikling og Arbeidsfordeling

Arbeidsfordeling

Gjennom prosjektet arbeidet mekatronikk delgruppen simultant med både kode og oppkobling av komponenter. Basert på erfaringer med mikrokontrollere og elektroniske komponenter, lagde delgruppen tidlig en skisse av oppkobling ettersom kravene for systemet var klart.

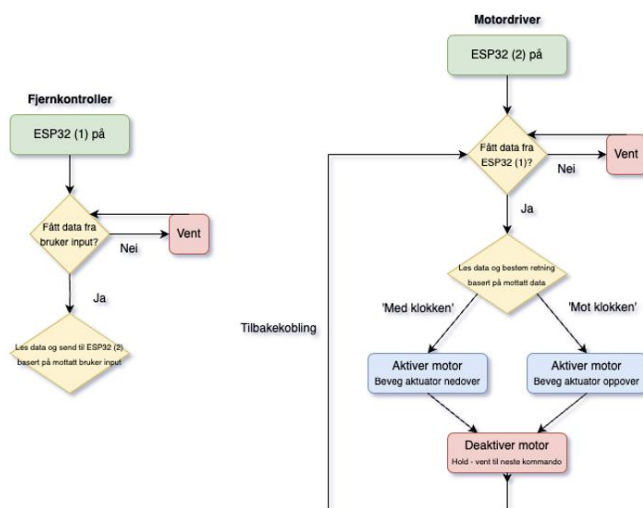
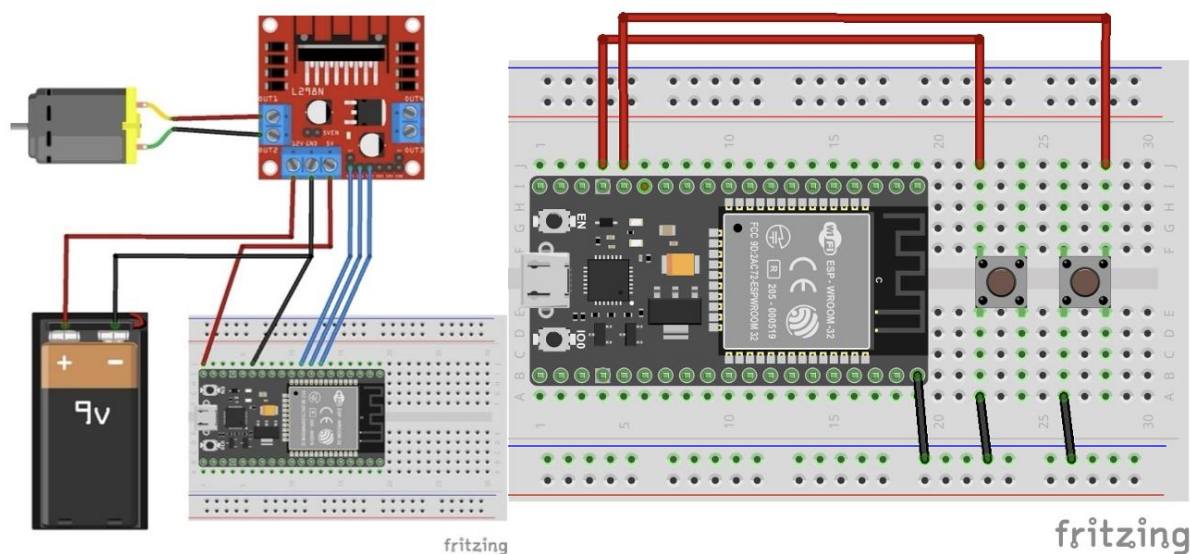
Utvikling av hovedmekanisme

Som tidligere introdusert, består det mekatroniske bidraget av to sentrale komponenter. Drivkraft til den egenutviklede lineæraktuatoren og den tilhørende fjernkontrolleren. Utviklingen foregikk trinnvis med et grunnleggende utgangspunkt i å få to knapper til å styre en LED, som senere ble utviklet til å kunne styre motoren med knappene og justere farten med et potensiometer.

Utvikling av kontroller

Da det ble bestemt at det er hensiktsmessig å kontrollere motoren trådløst var allerede skjelettet av koden bygget. Først ble det utført tester hvor det ble sendt vilkårlige verdier mellom ESP-ene for å lære ESP-NOW protokollen. Deretter ble koden videreutviklet til å sende bestemte verdier mellom knappene og potensiometeret fra ESP-en i kontrolleren til ESP-en som styrte motoren (se *figur 21*).

Koblingsskjema og Kodeoversikt



Figur 21: Kablingsskjema og logikkart

4.3.4 Utfordringer og Løsninger

Motordriver

Etter mye testing ble det observert betydelig varmeutvikling i motorstyringsmodulen. For å forbedre ventilasjonen ble modulen montert slik at den ikke hadde direkte kontakt med underlaget. Dette ble gjort gjennom 3D-printede avstandsstykker i PLA for å oppnå en klaring mellom motordriveren og baseplaten.

Potensiometer

Når gruppen skulle sette sammen en fullstendig prototype virket ikke det mekatroniske anlegget selv om det fungerte noen dager før. Grunnen var at potensiometeret sluttet å sende verdier til input-pinnen som skulle bli brukt for farts-verdien til motoren. Dette inntraff sent i utviklingen, det ble derfor bestemt å skrote potensiometeret grunnet lite

gjenværende økonomiske midler. I tillegg var ikke potensiometeret en kritisk komponent for produktets funksjon.

Kraftsensor

Tidlig i idefasen var det planlagt å implementere en kraftsensor for å regulere trykket på pasienten. Men etter nærmere undersøkelse viste det seg å være vanskelig å implementere. Den største utfordringen var plasseringen til sensoren, dette ble det ikke funnet en rimelig løsning til. Oppkoblingen ville risikere vikling mellom ledningen og lederskruen. I tillegg krevde produktet en sensor med kapasitet til å registrere 40kg verdt av kraft, dette medfører en større sensor. Grunnet tidsrammen til prosjektet og at dette ikke var en kritisk del til funksjonen av produktet ble det bestemt å ikke inkludere kraftsensor.

LCD skjerm

En LCD-skjerm for visning av kraft ble vurdert i idéfasen, men ble valgt bort som følge av tidsbegrensninger og prioritering av kjernefunksjonalitet. I tillegg ble løsningen vurdert som lite hensiktsmessig i forhold til kompleksitet og nytteverdi.

Batteri

Ved testing av første prototype, ble det benyttet et bilbatteri som spenningskilde for motoren. Testing viste at et bilbatteri ikke var det mest hensiktsmessige valget, grunnet både vekt og størrelse. Gruppen vurderte en alternativ løsning for dette og ble enig om en oppladbar batteripakke. Batteripakken leverte tilstrekkelig med spenning og strøm til motoren, samtidig som den var enklere å integrere mekanisk, reduserte totalvekt, økte sikkerhet ved håndtering og medførte lavere kostnader. Motoren måtte være kraftig nok til å håndtere belastninger uten å kreve mer strøm enn tilgjengelig, derfor ble 12V et fornuftig valg for mobil bruk.

4.3.5 Integrasjon og testing

Etter at de sentrale mekatroniske komponentene var utviklet, startet mekatronikk gruppen med integrasjon og testing. Denne fasen innebar samarbeid med både mekanisk design og testgruppen, for å sikre at systemet fungerte i sin helhet. Her ble komponentene integrert i det totale produktet, og det ble gjennomført flere tester for å bekrefte funksjonalitet og identifisere eventuelle forbedringsbehov.

4.3.6 Forbedringsområder

Etter ferdigstilling av prototypen ble det identifisert flere mulige forbedringer som kunne gjort produktet enda bedre. Ved å videreutvikle enkelte løsninger, som strømforsyning og motorstyring, kunne systemet blitt mer robust, brukervennlig og kostnadseffektivt.

Optimalisering av strømforsyning

I sammensetningen ble det brukt en ekstern spenningskilde i form av en powerbank og et batteri til å gi strøm til motordriveren. Dette kunne blitt optimalisert ved å bruke en spenningsregulator. Den hadde senket spenningen fra 12V som er altfor høy for ESP, ned til 5V. Valg av spenningsregulator kan være en L78L33ACZ som er lett tilgjengelig og enkel å implementere. Denne ville vært koblet opp sammen med 2 kondensatorer på 0,1 μ F for å stabilisere spenningen ved å filtrere bort støy på både inngang og utgang. En slik implementering hadde redusert antall komponenter som hadde resultert i reduksjon av vekt, pris og øke fleksibilitet.

Overoppheting av motordriver

Motordriveren utviklet betydelig varme under bruk, noe som sannsynligvis førte til funksjonssvikt rett før demonstrasjonen av den ferdige prototypen. Gruppen måtte derfor erstatte enheten umiddelbart før fremføringen. En mulig løsning på problemet kunne vært å implementere et kjølesystem, men dette ville krevd mer plass og gjort designet unødvendig komplisert. Et mer hensiktsmessig tiltak ville vært å benytte en moderne motorstyringsmodul med lavere varmeutvikling. Ettersom problemet ikke oppstod før demonstrasjonen, fikk ikke gruppen testet alternative løsninger. En annen potensiell forbedring kunne vært å installere en bryter for å koble fra strømtilførselen til L298N når motoren ikke var i bruk.

4.4 Prototyping, produksjon og testing

4.4.1 Baseplaten

Bunnplaten til baseplaten gikk gjennom to iterasjoner, hvor den siste ble brukt i endelig prototype. Platen ble skjært ut av 2mm stål ved bruk av vannjeten med noe ekstra materiale på hver side av komponenten for å kompensere for knekkingen ved manuell bøying i form (første iterasjon) og valsing (andre iterasjon). Skruehull ble boret med boremaskin. Erfaring fra prototyping tilsa at vannjeten var den mest effektive og tidssparende produksjonsmetoden i motsetning til plateklipping og boring. Valsemaskinen kunne maksimalt valse 2mm tykke stålplater, derav tykkelsen på platen. Aluminium ble også vurdert, men styrke samt sammenføring med stålrør ved sveising var de dominerende faktorene som avgjorde materialvalget (*vedlegg F, tabell 1*).

Stålrøret på basen hadde standardmål med tanke på å masseprodusere, og ble kuttet ved bruk av båndsag til ønsket lengde. Det var også tilgang til aluminiumsrør, men å sveise aluminium til stål er utfordrende og tidkrevende, dermed ble stål valgt som materiale. I tillegg var styrke avgjørende for materialvalget (*vedlegg F, tabell 2*). Etter stålrøret og baseplaten var blitt sveist sammen, ble delen sandblåst for å fjerne skarpe kanter og slagg fra sveis.

Baseveggene og topplate base ble tidlig produsert av 6mm MDF. Dette ble gjort for å hurtig kunne montere sammen prototypen og få et visuelt bilde tidlig i prosessen samt vurdere plassering av mekatroniske komponenter. Senere ble baseveggene vannskjært

av aluminiumsplater for å tilfredsstille styrkekrav og for å minimere vekt. Topplaten i MDF ble beholdt, da festeløsningene og plass til mekatroniske komponenter fra prototype 1 for topplate fungerte godt. Baseveggene ble festet med skruer for å gjøre det lettest mulig å demontere. Platene ble boret i henhold til gjengetabell og det ble benyttet 6mm plater for at det skulle være mulig å skru baseveggene til bunnplaten. Stål, aluminium, MDF og PLA ble vurdert for platene, men MDF og PLA tålte ikke den påkrevde styrken. Aluminium ble valgt for styrken i forhold til vekten (*vedlegg F, tabell 3*).

Topplaten ble laserskåret ut av MDF for å ha en lett plate hvor alt av mekatronikk kunne festes rett i platen og flyttes etter behov, kontra om det hadde blitt brukt PLA, stål eller aluminium hvor festepunkt måtte blitt designet inn (*vedlegg F, tabell 4*).



Figur 22: Baseplate

4.4.2 Ryggbrett og stropper

Det ble designet, produsert og testet 3 prototyper av ryggplaten. Første prototype hadde som mål å teste styrken av MDF og dimensjoner. Den besto av to 3mm MDF-plater laserskåret og limt sammen, men dette ga ikke tilstrekkelig stivhet. Ved å bøye ryggbrettet ble det konstatert at brettet var i risiko for å ødelegges. Dermed var det nødvendig å øke tykkelsen på MDF platene.

Andre prototype ble laget av 2x6 mm MDF-plater for å øke styrke. Denne prototypen ble testet gjentatte ganger for styrke ved å legge en person på ryggbrettet og stramme stroppene. Testene ble også brukt til å bestemme bredden mellom stroppene og festeløsningen mellom stroppene og baseplaten. Dette bekreftet at både stroppfeste og bæreevne fungerte, men avdekket behovet for å kunne justere maskinens plassering i pasientens lengderetning uten å flytte baseplaten.

De to MDF-platene for ryggplaten ble laserskåret og så limt sammen med trelim. 6mm aluminium ble også vurdert, men det ville vært mer tidkrevende og kostbart å produsere. MDF ble et naturlig valg ettersom det tilfredsstiller lastkrav og grunnet produksjonseffektivitet (*vedlegg F, tabell 13*).

Festestroppene ble produsert av to innkjøpte, robuste bukse-belter med sterke klips. Beltet ble klippet, det ble sydd løkke på en ende, og den andre enden ble skrudd fast inni baseplaten.

Den siste prototypen var en videreutvikling av den andre, med implementering av aluminiumsledestenger. Dette gjorde det mulig å plassere maskinen oppå pasienten og oppnå 15cm vandring i lengderetningen uten å flytte ryggbrettet. Ledestengene måtte tåle ca. 40kg punktlast midt på feltet. Ulike materialer og tverrsnitt ble derfor testet med en enkel bøyetest over kneet, med hendene plassert omtrent som opplagrene i designet.

Ledestengene ble laget av massive Ø10 aluminiumstenger. Den dominerende faktoren var styrke, og etter testing ble det avgjort at aluminiumstengene hadde tilstrekkelig bøyestivhet (*vedlegg F, tabell 14*).

Hele mekanismen er vist tidligere i rapporten (se *Figur 10*).

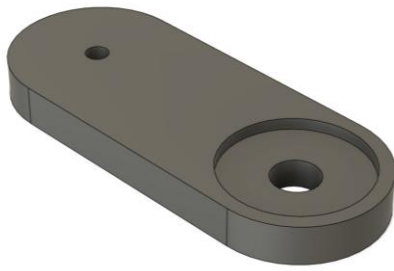
4.4.3 Produksjon av lineæraktuator

Motorbrakettens tidlige iterasjoner ble 3D-printet i PLA. Spor til ledeskrue, ledestenger, motor og arm riktig dimensjonert. Motorbraketten skal holde hele øvre delen av mekanismen (motor, tannhjul og kulelager) fast i røret på baseplaten. Det blir derfor en last på 40kg på gjengestiftene som er skrudd inn. Dette tålte ikke prototypene i PLA. Den ferdige motorbraketten ble CNC-frest av en 50mm tykk aluminiumsblokk. Komponenten hadde komplisert geometri, stramme toleranser og skulle tilfredsstille flere behov, derfor var det beste tilgjengelige alternativet CNC. Stål ble også vurdert, men ble forkastet grunnet vekt (*vedlegg F, tabell 5*).

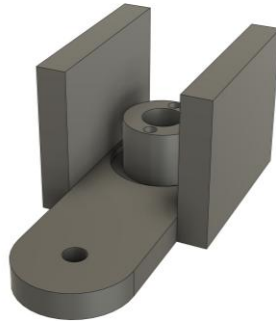
Tannhjulholderen ble skjært ut av en 50mm tykk aluminiumsblokk ved bruk av trådnist, deretter etterarbeidet ved boring av hull og gjenging. Trådnist ble brukt i stedet for vannjeten for å minimere etterarbeid, og i stedet for CNC-fres for å minimere tid. Igjen ble aluminium valgt fremfor stål og PLA med hensyn til vekt- og styrkekrav (*vedlegg F, tabell 6*).

Tannhjulene ble skjært ut av en 8mm tykk aluminiumsplate ved bruk av trådnist. Toleransen for tannhjulstennene medførte nødvendigheten for å bruke trådnist fremfor vannjet og CNC-fres. Tykkelsen på 8mm ble valgt for å ha en nødvendig overflatekontakt mellom tannhjulene slik at de ikke sklir av akslingen. Blant de tilgjengelige materialene og med de vekt- og styrkekravene som var nødvendig, var det aluminium som ble brukt i maskineringen (*vedlegg F, tabell 7 og 8*).

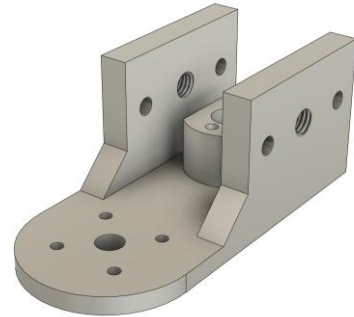
Ledeskruen ble kuttet til rett lengde ved bruk av båndsagen, og deler av ledeskruen ble maskinert bort med manuell dreiebenk og frest for å lage en presspasning i det store tannhjulet og kulelageret.



Figur 23: Første design av motorbrakett



Figur 24: Design av motorbrakett underveis i prosjektet



Figur 25: Siste (27.) design av motorbrakett

4.4.4 Mekatronikk og topplokk

Topplukk, fjernkontroll, powerbankholder og batteripakke ble 3D-printet i PLA grunnet vekt, tid og ingen behov for høy styrke (vedlegg F, tabell 9). Topplokket ble festet til baseplate ved bruk av eksenterlås for rask og enkel demontering.

4.4.5 Armens komponenter

Pressarmen ble, som stålrøret, valgt i en standard rørdimensjon med hensyn til masseproduksjon. De tidlige iterasjonene av pressarmen benyttet PLA, men Aluminium ble det endelige materialvalget grunnet vekt og styrke (vedlegg F, tabell 12). Armen ble kuttet manuelt ved baufil til ønsket lengde og deretter montert sammen med ledeskruemutteren (Figur 11, komponent 11) ved presspasning.

Blubben ble modellert i Fusion 360 og 3D-printet i PLA med 25% fyllmønster av typen gyroid. Dette fyllet egner seg godt mot aksiallast som er den dominerende belastningen armen blir utsatt for (vedlegg F, tabell 10 og 11).

Støpekaret og det tilhørende lokket ble produsert på samme måte, men her var det ingen spesielle behov til belastning. Det var en fordel med lav laghøyde for å få en finere overflate for å unngå klebing med silikonblandingen. Innsiden av koppen ble likevel overflatebehandlet med sandpapir i etterkant for å gi en jevnere overflate. Silikonblandingen som ble brukt var to-komponent og beregnet for kontakt med hud. Riktig mengde silikon ble helt i støpekaret før blubben, dekket i slippmiddel, ble senket ned. På den måten ble det laget silikontrekk som passet geometrien til blubben og med mulighet for skifte.

4.4.6 Komplettest

Etter fullstendig sammenstilling av maskin og ryggbrett ble det gjennomført en test for å undersøke styrke, stabilitet og utholdenhet. Testingen ble utført ved å plassere en frivillig mellom baseplaten og ryggplaten, både med og uten sofapute på magen for å etterligne en mage etter fødsel. Deretter ble stabilitet og manøverbarhet vurdert ved forskjellig

stramming av stroppene før gruppen til slutt testet maskinens funksjon på den frivillige. Det ble også utført en test på en baderomsvekt, hvor målet var å undersøke maksimal trykkraft maskinen kan levere. Trykkraften i testen tilfredsstilte kravet på over 40kg (se *vedlegg C, C.8*).

4.5 Endringer og refleksjon

I løpet av prosjektet har gruppen reflektert over andre løsninger for design av produktet. Flere løsninger er metoder som ville vært mer hensiktsmessig i henhold til masseproduksjon, demonterbarhet, og andre materialvalg.

4.5.1 Materialvalg

En av de mest omfattende endringene som har blitt diskutert har vært støping i forskjellige materialer, for eksempel metall-støping av hele basen med rør. Gruppen mener dette ville vært mer hensiktsmessig med tanke på masseproduksjon da man slipper å valse, bore, vannskjære og det vil også bli lettere med renhold og dekomponering. Antall komponenter ville blitt redusert og det ville blitt færre typer materialer brukt til produksjon. Topplokket og ryggbrettet kunne vært sprøytet i plast. Det vil være hensiktsmessig for å spare vekt, tid, øke komfort og effektivisere sterilisering.

4.5.2 Komponentvalg

Om gruppen hadde hatt flere midler og mindre fokus på egen læring, ville den egenproduserte lineæraktuatoren blitt byttet ut med en mindre lineæraktuator fra en ekstern leverandør. Ved å kjøpe en ferdig komponent ville produksjonstiden blitt redusert som igjen gjør produktet mer vennlig for masseproduksjon. I tillegg ville hele produktet blitt mindre og lettere å håndtere dersom lineæraktuator var mer kompakt.

4.5.3 Ingen nødstopbryter

Et positivt resultat fra testingen var at motorbremsen var sterk nok til å opprettholde trykket (*vedlegg C, delkapittel C.8*). Som en konsekvens av dette kan man ikke heve armen dersom det elektriske skulle svikte. Et supplement til beltespenner kan være å ha en nødbryter koblet til en clutch som lar motoren rotere fritt og dermed tillate armen å bevege seg fritt opp og ned.

4.5.4 Vandringsbegrensning for armen

Slik som designet er nå, vil ledeskruen skru seg selv ut av tannhjulet det er festet på dersom armen går for langt inn. Dette skjer med store krefter som kan dra ledeskruemutteren og plastikkfestet som fester den til armen ut av hverandre. Dersom dette skjer må armen demonteres helt, og siden det er presspasning i begge ender av armen blir det krevende å erstatte ødelagte deler. Som sett på demodagen ble plastikkfestet til armen ødelagt (*vedlegg C, delkapittel C.10*). En løsning er å ha et område

innerst på ledeskruen uten gjenger slik at ledeskruen roterer fritt, med en fjær som dytter mutteren tilbake på gjengene når man ønsker å dytte ut igjen.

4.5.5 Topplukk

Topplokket kan forbedres ved en rekke mindre tilpassinger. Håndtak kan implementeres på kortveggene for å forbedre brukervennlighet. Flere og strammere eksenterlåser kan forhindre uønsket bevegelse mellom topplukk og baseplate. I tillegg til dette kan festet mellom topplokket og baseplaten forbedres med et bedre spor i baseplaten.

5 Budsjett, regnskap og bestilling

Gruppen fikk tildelt et budsjett på 3500 kroner av instituttet. Dette var penger som kunne brukes på innkjøp der det var hensiktsmessig å kjøpe komponenter fra en ekstern forhandler istedenfor å produsere dem selv.

Forhandler	Nr.	Komponent	Antall	Pris/stk	Pris	Lenke
RS	13	DC-motor	1	kr 750,33	kr 750,33	1
	20	Knapper	2	kr 100,53	kr 201,05	2
	16	Batteripakke	2	kr 688,69	kr 1 377,38	3
	23	Eksenterlås	2	kr 119,91	kr 239,81	4
Zeptobit	8	Kulelager	1	kr 26,60	kr 26,60	5
	10	Ledeskruer (TR8)	1	kr 63,75	kr 63,75	6
	11	Mutter (Messing)	1	kr 22,50	kr 22,50	7
	-	Mutterblokk (Anti-backlash)	1	kr 87,50	kr 87,50	8
	-	Frakt Zeptobit	1	kr 60,00	kr 60,00	-
CDON	22	Belter med spenner	2	kr 149,00	kr 298,00	9
	-	Frakt CDON	1	kr 49,00	kr 49,00	-
Omega-verksted	15, 20	Mikrokontroller	2	kr 40,00	kr 80,00	10
	15, 20	Brødbrett	1	kr 30,00	kr 30,00	11
Totalt					kr 3 285,91	

Tabell 9: Regnskap

Total pris på innkjøpte komponenter ble 3285,91 NOK.

Realistisk sett ville det kostet mer å produsere produktet vårt ettersom NTNU har sørget for gratis produksjon av komponenter, så det er kun innkjøp som er ført på regnskapet.

Anti-backlash-mutterblokken ble ikke brukt i det ferdige konseptet grunnet for høy friksjon mot ledeskruen. Dersom denne skulle blitt brukt hadde mye av kraften fra motoren gått tapt.

Produktet trenger ikke to batteripakker. Grunnen til at det er kjøpt inn to er at den første kortslettet og tok fyr.

6 Bruk av KI

Gruppen har vært nøye på at bruk av kunstig intelligens skal være et verktøy for å løfte eget arbeid til nye høyder; ikke erstatte det. Gruppen har hovedsakelig benyttet seg av ChatGPT fra OpenAI. Modellene som ble brukt var 4o, o1, o3-mini-high og o3.

Korrekturlesing

Det krever tid og konsentrasjon å lese gjennom en lang rapport, og man blir ofte blind for egne feil. Derfor har KI blitt brukt til å lese gjennom den ferdige rapporten og oppdage skrivefeil som ikke ble oppdaget av egen korrekturlesing.

Logo

Moderne logodesign krever digitale verktøy som ofte koster mye og/eller krever mye erfaring. Eventuelt kan man betale profesjonelle for design. Det var ikke ønskelig å bruke mye penger eller tid på design av logoen. Med presise kommandoer til ChatGPT ble logoen vår generert, med utgangspunkt i Hærens Sanitetsbataljon, våpenskjold.

Forslag

Enkelte steder står man fast, og med gruppens manglende erfaring som ingeniører kan KI gi verdifulle innspill for å få i gang arbeidsflyten. Det har blitt brukt til feilsøking i kode og forslag til hvilke komponenter som burde brukes i mekatronikken. Mekanikk og analyse-gruppen har brukt KI som veiledning for valg av analysetype i Fusion 360 Simulation. Gruppenavnet «Post Partum Protectors» ble også foreslått av KI.

7 Oppsummering

7.1 Oppsummering av prosjektet

Prosjektrapporten omhandler prototypen av QuAC utviklet av produktutviklingsgruppen Post Partum Protectors. Målet er å redusere dødelighet av PPH (Post Partum Hemorrhage) ved hjelp av mekanisk aortakompresjon. Den beste og minst ubehagelige metoden for å stanse blødningene hos en pasient som opplever PPH er bimanuell aortakompresjon. Dette er en teknikk der helsepersonell legger trykk midt på magen til en pasient for å stoppe blodstrømmen i hovedpulsåren og dermed blodtilførselen til livmoren. Dette produktet stopper PPH raskt og forutsigbart ved å gjøre prosessen mekanisk, noe som også frigjør sykepleiere som er kritisk i situasjoner med mangel på helsepersonell.

Prototypen består av to hoveddeler: Et ryggbrett som legges under pasienten og et hus med pressemekanisme som legges oppå magen til pasienten og festes til ryggbrettet med stropper og klips. Lineæraktuatoren er utviklet med en motor som roterer en ledeskrue for å senke en pressarm med en blubb på enden ned i magen på pasienten.

Rapporten tar også for seg hvilke metoder som er brukt for å effektivisere og strømlinjeforme utviklingsløpet, og forklarer hvordan gruppen har jobbet sammen som et team. Det ble utnyttet et gantt-diagram for å fastsette og nå tidsfrister. Gruppen benyttet seg av en prosjektorganisasjon i stedet for en funksjonell organisasjon. Når prototyping startet ble det lagt vekt på rapid prototyping for å raskt gå gjennom iterasjoner til et optimalt design var oppnådd.

7.2 Evaluering av måloppnåelse

Funksjon	Spesifikasjon	Prototypekrav		Produktkrav		Oppnåelse
		Skal	Bør	Skal	Bør	
Ytelse	Yte trykk tilsvarende 40kg	x		x		Høy
Modularitet	Mulighet for å enkelt skifte ut komponenter		x		x	Middels
Trygghet	Enkel å stanse ved behov	x		x		Middels
Brukervennlighet	Enkel og rask å ta i bruk (<1 min å sette på)	x		x		Høy
Stabilitet	Stabilt feste mellom QuAC og pasient		x	x		Lav
Størrelse	Ikke forhindre tilgang til pasient		x	x		Høy
Ladbar	Mulighet for å lade		x		x	Middels
Fjernstyrt	Fjernstyres med kontroll		x		x	Høy
Versatilitet	Universell løsning som passer alle sykehussenger	x		x		Høy
Pålitelighet	Produktet fungerer feilfritt over tid		x	x		Lav

Tabell 10: Kravspesifikasjoner med evaluering av måloppnåelse

Ytelse

Høyeste målte ytelse for QuAC er 45,8kg. Dette overgår kravet på 40kg og gir dermed høy måloppnåelse.

Modularitet

Gruppen har vært bevisst på modularitet gjennom utviklingen. Flere av komponentene er festet med gjenger, skruer eller andre festemekanismer som gjør det enkelt å gjennomføre demontering av QuAC. Det er noen unntak for komponenter som er festet med presspasninger og lim. Disse unntakene kan forbedres, men gruppen har ikke funnet alternative løsninger innen tidsfristen til dette prosjektet.

Trygghet

I kapittel 5.6.3 nevner vi at det kunne vært implementert en nødstoppbryter for å stanse mekanismen ved behov. Denne implementeringen kunne bidratt til å øke tryggheten ved bruk av QuAC. På tross av dette er det mulig å løsne hele huset fra ryggbrettet ved å løsne klipsene til stroppene. Dette er en enkel og rask sikkerhetsfunksjon.

Brukervennlighet

QuAC er enkel å sette opp og å ta i bruk. Det tar kort tid å feste stroppene og QuAC-en til pasienten. Fjernkontrollen tilrettelegger for enkel bruk.

Stabilitet

Stabiliteten til QuAC under bruk kan forbedres ytterligere ved implementering av flere stropper. Ved 4 stropper kan man bedre sikre at apparatet sitter stabilt over pasienten under bruk.

Størrelse

Størrelsen på QuAC er tilfredsstillende i den forstand at helsepersonell har god tilgang til pasienten under bruk.

Ladbar

Muligheten for å lade QuAC etter bruk kan forbedres ved å designe ladeporter i veggene til basen eller huset. For å lade det nåværende designet må topplokket fjernes.

Fjernstyring

QuAC oppnår kravet om fjernstyring med en tilhørende, trådløs fjernkontroll.

Versatilitet

Ettersom alle sykehussenger ikke nødvendigvis er like, er designet med et ryggbrett under pasienten en løsning som vil fungere likt uavhengig av modell av sykehusseng.

Pålitelighet

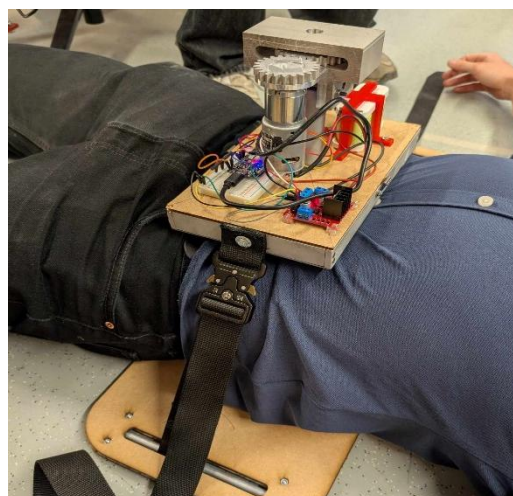
Det nåværende designet for QuAC må forbedres for å øke apparatets pålitelighet under bruk. Mekatronikken har en risiko for å feile og det er behov for å begrense pressarmens tilbaketrekning. Dette er kritisk for produktets funksjon og måloppnåelsen er dermed lav.

7.3 Refleksjoner

Prosjektet har gitt gruppemedlemmene stort læringsutbytte, både faglig og i forbindelse med samarbeid i større grupper. Det er krevende å samarbeide i en større gruppe for et stort og åpent prosjekt. Valget av prosjektorganisering har vært betydelig bra for samarbeidet og fremdriften til gruppen. Denne strukturen har bidratt til å konkretisere arbeidsoppgaver og ansvarsfordelinger.

Gruppen har hatt en avslappet struktur uten et rigid hierarki. Strukturen har bidratt til fleksibilitet innad i gruppen og har passet prosjektets størrelse og natur godt. Det har vært tilfeller i prosessen hvor noen gruppemedlemmer ikke har hatt konkrete arbeidsoppgaver å utfylle. Dette oppleves som vanskelig å unngå grunnet gruppen og prosjektets størrelse.

Hver uke har gruppen fylt ut en ukesrapport for å skaffe oversikt og refleksjon rundt arbeidet og mål. Ukesrapportene har gitt gruppen god oversikt, både i løpet av og i etterkant av utviklingsprosessen.



Figur 26: Demonstrasjon av fullstendig prototype for QuAC

8 Bibliografi

(2025, April 28). Hentet fra RS Webshop: <https://no.rs-online.com/web/p/electric-linear-actuators/1774514>

Carlsen, M. I. (2022, mars 3.). *Bruk av REBOA hos traumepasienten- ballong til besvær eller framtidens resuscitering?* Hentet fra nkt-traume.no: <https://nkt-traume.no/2022/03/bruk-av-reboa-hos-traumepasienten-ballong-til-besvaer-eller-framtidens-resuscitering/>

Karl T. Ulrich, S. D. (2012). *Product Design and Development*. New York: McGraw-Hill.

Say, L., Chou, D., Gemmill, A., Tunçalp, Ö., Moller, A.-B., Daniel, J., . . . Alkema, L. (2017, Juni). Global causes of maternal death: a WHO systematic analysis. *The Lancet Global Health*, ss. 323-33.

Tabelliste

Tabell 1: Gantt-diagram som viser målsetningen for hele prosjektløpet	5
Tabell 2: Spørsmål og svar fra undersøkelse	8
Tabell 3: Rangering av ulike parametere for hvert prosjekt.....	11
Tabell 4: Mission statement utformet etter Product Design and Development (Karl T. Ulrich, 2012).....	12
Tabell 5: Kravtabell for prototype og ferdig produkt.....	13
Tabell 6: Liste over komponenter.....	15
Tabell 7: Liste over skruer	15
Tabell 8: Argumenter for og mot å kjøpe ferdig lineæraktuator eller lage selv	17
Tabell 9: Regnskap	30
Tabell 10: Kravspesifikasjoner med evaluering av måloppnåelse	32

Figurliste

Figur 1: Eksempel på prosjektorganisering (Karl T. Ulrich, 2012, s. 27).....	5
Figur 2: Konseptskisser for apotekrobot.....	9
Figur 3: Konseptskisse rør-reenser	9
Figur 4: Besøk på sykehusapoteket	10
Figur 5: Besøk på fødeavdelingen på St. Olavs Hospital	10
Figur 6: Plott av coolness vs. vanskelighet.....	10
Figur 7: Konseptskisse aortakompressor	11
Figur 8: Aortakompresjon.....	11
Figur 9: Fullstendig sammensetning uten lokk.....	14
Figur 10: Nærbilde av aktuator-mekanisme.....	14
Figur 11: Bilde av komponenter (1)	16
Figur 12: Bilde av komponenter (2)	16
Figur 13: Eksempel på kommersiell lineæraktuator (RS Webshop, 2025)	17
Figur 14: Baseplate	17
Figur 15: FEA i Fusion 360	18
Figur 16: Motorbrakett.....	18
Figur 17: Blubb og støpeform	19
Figur 18: Første versjon av topplokk.....	20
Figur 19: Andre versjon av topplokk	20
Figur 20: Nyeste versjon av topplokk.....	21
Figur 21: Koblingsskjema og logikkart	23
Figur 22: Baseplate	26
Figur 23: Første design av motorbrakett.....	28
Figur 24: Design av motorbrakett underveis i prosjektet	28
Figur 25: Siste (27.) design av motorbrakett.....	28
Figur 26: Demonstrasjon av fullstendig prototype for QuAC	33

Vedleggsliste

Vedlegg A – Teamkontrakt

Vedlegg B – Gantt-diagram

Vedlegg C – Tester og beregninger

Vedlegg D – Statisk analyse topphus

Vedlegg E – Momentberegninger for ledeskrue

Vedlegg F – Materialvalg

Vedlegg G – Kode kontroller

Vedlegg H – Kode lineæraktuator