



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

Masteroppgave 2016 30 stp  
Institutt for Matematiske Realfag og Teknologi (IMT)

## **Utvikling av sprøyteverktøy til autonom landbruksrobot**

Development of Spraying Tool for Autonomous  
Agricultural Robot

Alexander Amanuel Ghebrehiwot  
Maskin, prosess- og produktutvikling





# Forord

Denne rapporten er en masteroppgave og er en del av masterstudiet maskin, prosess- og produktutvikling ved institutt for matematiske realfag og teknologi ved Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet. Oppgaven utgjør ett semesters arbeid og omfanget er på 30 studiepoeng.

Oppgaven tar for seg utvikling og design av et sprøyteverktøy til NMBUs landbruksrobotprosjekt. Deler av oppgaven ble utført under et opphold i Brasil, med fire andre masterstudenter. Der besøkte vi UMOE Bioenergy og vi fikk se hvordan diverse landbruksoppgaver løses for større områder. Interessen for autonome løsninger ble også diskutert. Dette har hjulpet med å identifisere problemer ved dagens løsninger.

Rapporten innledes med bakgrunn og dagens løsninger. Deretter dokumenteres fasen for konseptgenerering, valg av konsept, design, bygging av prototype og testing av den.

Jeg vil først og fremst takke min veileder for oppgaven, førsteamanuensis Pål Johan From, for turen til Brasil, god veiledning og oppfølging. Jeg vil også takke min biveileder, Svend Anton Pung ved Vollebekk, for teknisk hjelp ved kartlegging av oppgavens omfang, og for å stille med nødvendig utstyr. I tillegg vil jeg takke mine medstudenter Espen Noreng Ovik, Lars Grimstad og Kristian Sørby Omberg for gode diskusjoner og teknisk hjelp for utførelse av oppgaven.

Ås 18/5-2016

---

Alexander Ghebrehiwot



# Sammendrag

For å redusere bruken av tyngre kjøretøy i jordbruket, ble det i 2014 utviklet og bygget en landbruksrobot av studenter ved NMBU. Denne roboten bruker forskjellige verktøy for utførelse av oppgaver som i dag blir gjort med traktor. Verktøyene som utvikles til roboten skal lett kunne påmonteres og tas av. Folk ved Vollebekk forsøksgård har vist interesse for denne roboten for bruk til forsøkssprøyting. Det jobbes foreløpig med en ny versjon av landbruksroboten. Denne oppgaven tar for seg utvikling av et sprøyteverktøy til den nye roboten, som også møter Vollebekks krav.

Dagens løsninger for sprøyting av plantevernmidler er undersøkt for å identifisere utfordringer ved disse. Hovedutfordringene funnet er tatt videre for generering av mulige løsningskonsepter. Det er lagd konsepter for hvordan sprøyte høyden til verktøyet skal reguleres, og hvordan verktøyet skal festes på roboten. Det er også blitt vurdert hvordan komponenter som skal brukes for sprøytingen. Det konseptet og de komponentene som møter kravene i størst grad er blitt valgt til videreutvikling og design. Komponentene valgt for sprøyting er også tatt videre til bygging av prototype.

Sprøyteverktøyet er designet for enkel montering på den nye landbruksroboten. Dette er gjort ved at alle delene av verktøyet festes i en avtakbar bærebøyle på landbruksroboten.

Det er bygget og testet en fungerende prototype av sprøytesystemet, bestående av en membranpumpe, en magnetventil og et analogt manometer. Disse er kjøpt etter tilgjengelighet hos leverandører og pris. Hverken pumpe eller ventilen kjøpt til systemet drives av spenningen til landbruksrobotens batteri, men dette kan løses ved bruk av en strømomformer. En start- og stoppstyring av sprøytesystemet er heller ikke laget.

Designet og prototypen er blitt vurdert og mulige forbedringer er foreslått.



# Abstract

To reduce the use of heavy vehicles in agriculture, students at NMBU developed and built a agricultural robot in 2014. This robot uses different tools to complete tasks that today are done with tractors. The tools developed for the robot are supposed to be easy to mount and take off. People at the experimental farm Vollebekk have shown interest in using the agricultural robot for experimental spraying. A new version of the agricultural robot is currently in development. The scope of this thesis is to develop a spraying tool for the new agricultural robot, that meet the requirements set by Vollebekk.

Today's methods of pesticide spraying have been researched to identify the challenges with these. The main challenges found have been used to generate concepts for a solution. The concepts made are for regulating the height of spraying and how to attach the tool to the robot. The components used for the sprayer part have also been considered. The concept and the components that best meet the requirements set, have been further developed and designed. The components of the sprayer system has also been taken further for building of a prototype.

The sprayer tool is designed to be easily attached to the new agricultural robot. This is solved by having all the components attached to the detachable cage that keeps the agricultural robot together.

A working prototype of the sprayer system has been built. The system contains a diaphragm pump, a solenoid valve and an analog manometer. These components have been chosen by their availability and price at the part suppliers. Neither the pump nor the valve run at the voltage of the agricultural robot. This is easily solved by using a voltage converter. A controller for start and stop of spraying has not been developed.

The design and prototype has been evaluated and possible improvements are proposed.





# Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	1
1.1	Motivasjon.....	1
1.2	Bakgrunn.....	2
1.2.1	Jordbruk.....	2
1.2.2	Sprøyting.....	3
1.2.3	Thorvald/Tora.....	4
1.3	Prosjektbeskrivelse.....	5
1.3.1	Problemstilling.....	5
1.4	Eksisterende løsninger.....	5
1.4.1	Sprøyting med bærbart utstyr.....	5
1.4.2	Sprøyting med traktor.....	6
1.4.3	Sprøyting med fly.....	7
1.5	Markedsbehov og potensiale.....	8
2	Mål og begrensninger.....	9
2.1	Hovedmål.....	9
2.2	Delmål.....	9
2.3	Begrensninger.....	9
3	Produktspesifisering.....	11
3.1	Metriske grensespesifikasjoner.....	11
3.1.1	Tora.....	11
3.1.2	Sprøytebom.....	13
3.1.3	Plantevernmiddelkanne.....	13
4	Konseptgenerering.....	15
4.1	Forutsetninger.....	15
4.2	Regulering av bomhøyde.....	15
4.2.1	Første konsept.....	16
4.2.2	Andre konsept.....	16
4.2.3	Tredje konsept.....	17
4.2.4	Fjerde konsept.....	18
4.3	Aktuelle komponenter for hydraulisk system.....	18
4.3.1	Pumpe.....	19
4.3.2	Ventil.....	23

4.3.3	Akkumulator.....	26
4.3.4	Manometer .....	27
4.3.5	Tank.....	28
5	Konseptvurdering og valg .....	31
5.1	Høydereguleringsmekanisme for sprøytebom.....	31
5.1.1	Første konsept .....	31
5.1.2	Andre konsept .....	32
5.1.3	Tredje konsept.....	33
5.1.4	Fjerde konsept .....	34
5.1.5	Valg av konsept for høyderegulering .....	34
5.2	Hydraulisk system .....	35
5.2.1	Valg av pumpe .....	35
5.2.2	Valg av lukkeventil .....	37
5.2.3	Valg av manometer .....	37
5.2.4	Valgte komponenter .....	37
5.2.5	Valg av tankkonsept .....	38
5.2.6	Materialer for sprøytesystem.....	38
6	Produktarkitektur og konseptdesign.....	39
6.1	Design av høydereguleringsmekanisme .....	39
6.1.1	Stillaset .....	39
6.1.2	Løftearm .....	40
6.1.3	Støttestenger .....	41
6.1.4	Sammenstilling.....	42
6.2	Sprøytesystem.....	43
6.2.1	Pumpe.....	43
6.2.2	Lukkeventil.....	44
6.2.3	Manometer .....	45
6.2.4	Slanger og koblinger .....	46
6.3	Sprøytesystemfester.....	47
6.3.1	Kanefeste .....	47
6.3.2	Pumpefeste .....	48
6.3.3	Sammenstilling.....	49
7	Bygging og testing av prototype .....	53

7.1	Kostnader.....	53
7.2	Byggeprosess .....	53
7.3	Mål for testen.....	57
7.4	Resultater og tolkning.....	58
8	Evaluering og videre arbeid .....	59
8.1	Forbedringer av sprøytesystem.....	59
8.2	Klargjøring av fullstendig verktøy .....	59
8.3	Sprøyteverktøy til bruk overalt.....	60
9	Konklusjon .....	61
10	Referanser.....	63



# Figurliste

Figur 1.1: Thorvald 2 konfigurasjoner - Lars Grimstad.....	5
Figur 1.2: Manuell sprøyting [17] .....	6
Figur 1.3: Traktor med påmontert sprøyteverktøy [18] .....	7
Figur 1.4: Sprøyting med fly [20] .....	8
Figur 3.1: Thorvald 2 .....	11
Figur 3.2: Tora-bøyle .....	12
Figur 3.3: Sprøytebom.....	13
Figur 3.4: Sprøytemiddelkanne .....	14
Figur 4.1: Skisse av Tora sett fra siden med vippekonspt .....	16
Figur 4.2: Skisse av konspt med stenger. 1. Roboten sett fra siden, 2. Roboten sett bakfra .	17
Figur 4.3: Stillaskonspt. 1. Robot med stillas sett fra siden, 2. Stillaset sett forfra.....	17
Figur 4.4: Av- og påfestingsmekanisme. 1. Tora sett fra siden med verktøyet, 2. Selve verktøyet .....	18
Figur 4.5: Blokkskjema .....	19
Figur 4.6: Stempelpumpens virkemåte [24] .....	20
Figur 4.7: Sentrifugalpumpe [26].....	21
Figur 4.8: Impellertyper for sentrifugalpumper [28].....	21
Figur 4.9: Propellpumpe [30] .....	22
Figur 4.10: Membranpumpe i forskjellige posisjoner. Posisjonene er nummererte [31].....	23
Figur 4.11: Sluseventil [36].....	24
Figur 4.12: Seteventil [37] .....	25
Figur 4.13: Pluggventil [38]      Figur 4.14: Kuleventil [39].....	25
Figur 4.15: Magnetventil [42] .....	26
Figur 4.16: Diverse hydrauliske akkumulatore; 1. Stempel 2. Fjær 3. Blære 4. Vekt [45] ....	27
Figur 4.17: Skisse av u-tube manometer [46] .....	28
Figur 4.18: Tank på cover-konspt. Robot sett bakfra .....	29
Figur 4.19: Bruskasse [47] .....	29
Figur 4.20: Tank på bøyle-konspt. Robot sett bakfra .....	30
Figur 5.1: Vippekonspt med lodd .....	32
Figur 5.2: Stangkonspt med ny festemekanisme .....	33
Figur 5.3: Stillaskonspt med støttestang for stabilisering .....	34
Figur 5.4: Bærbart sprøyteverktøy [48].....	35
Figur 5.5: Pumpekarakteristikk sentrifugalpumpe [53] .....	36
Figur 5.6: Nytt blokkdiagram .....	37
Figur 6.1: Stillas .....	39
Figur 6.2: Løftearm .....	40
Figur 6.3: Støttestang .....	41
Figur 6.4: Sammenstilling av verktøy .....	42
Figur 6.5: FLOJET membranpumpe [60] .....	43
Figur 6.6: Pumpekarakteristikk [60] .....	44

Figur 6.7: Burkert Magnetventil [61] .....	45
Figur 6.8: WIKA Analogt manometer [62].....	45
Figur 6.9: Kannefeste .....	48
Figur 6.10: Pumpefeste .....	49
Figur 6.11: Sammenstilling med nummerering.....	50
Figur 6.12: Sprøyteverktøy på Tora .....	51
Figur 7.1: Pumpe, t-stykke, overgang og manometer .....	54
Figur 7.2: T-stykke, slangenippel, slange og slangeklemme .....	55
Figur 7.3: Magnetventil, muffe, slangenippel, slange og slangeklemme.....	55
Figur 7.4: Magnetventil, muffe og kobling .....	56
Figur 7.5: Slange, slangeklemme, slangenippel og pumpe .....	56
Figur 7.6: Hydrauliske komponenter koblet i et system .....	57

# Tabelliste

Tabell 3-1: Metriske spesifikasjoner for robot .....	12
Tabell 3-2: Sprøytebom mål.....	13
Tabell 3-3: Mål for sprøytemiddelkanne.....	14
Tabell 6-1: Mål for stillas.....	40
Tabell 6-2: Mål for løftearm.....	41
Tabell 6-3: Mål for støttestang .....	42
Tabell 6-4: Oversikt over slange og koblinger kjøpt hos TESS. Alle bilder bortsett fra T-stykket er fra TESS sin nettbutikk [63] .....	46
Tabell 6-5: Mål for kannefestet.....	48
Tabell 6-6: Mål for pumpefeste.....	49
Tabell 6-7: Nummerering av deler i sammenstilling .....	50
Tabell 7-1: Kostnader for deler til prototype. For delene fra TESS er rabatten lagt inn i sum. Alle priser er i norske kroner.....	53
Tabell 7-2: Testresultater .....	58





# Terminologi og forkortelser

<b>L</b>	Liter, mål for volum
<b>L/MIN</b>	Liter per minutt, mål for volumstrøm
<b>M</b>	Meter, mål for lengde
<b>CM</b>	Centimeter
<b>MM</b>	Millimeter
<b>S</b>	Sekund, mål på tid
<b>MS</b>	Millisekund
<b>PSI</b>	Pounds per square inch, mål på trykk
<b>BAR</b>	Mål på trykk
<b>V</b>	Volt, mål på spenning
<b>DC</b>	Direct current, likestrøm
<b>CAD</b>	Computer Aided Design, datakonstruerte 3D-tegninger
<b>CAN</b>	Controller Area Network
<b>EKSKL.</b>	Ekkludert
<b>INKL.</b>	Inkludert
<b>MVA</b>	Moms



# 1 Innledning

Dette kapitlet tar for seg motivasjon til oppgaven og bakgrunnsinformasjon.

## 1.1 Motivasjon

Etter hvert som verdens populasjon stiger, øker også etterspørselen for jordbruk. Det er derfor viktig at global matproduksjon også øker for å møte denne etterspørselen. Så langt har matproduksjonen møtt befolkningsveksten med god margin. Matproduksjonen har faktisk vært så stor de siste 50 årene at prisen på ris, mais og korn, har falt med 60%. [1] Som følge av dette er bønder nødt til å produsere mer for å tjene like mye. For å møte denne utviklingen blir det på moderne gårder brukt større maskineri for å få mer gjort på kortere tid. Bruk av maskiner i jordbruk er ikke til å unngå, men tungt maskineri fører til jordpakking. Med jordpakking blir avlingene mindre. Som følge av bruk av kjøretøy er det estimert at 68 millioner hektar i verden er pakket jord. [2]

Et annet problem er økt bruk av sprøytemidler, da spesielt ugress-, sopp- og insektsmidler. Dette er stoffer som er ment for å ta livet av bestemte plager, men som også skader avlinger, dyr og mennesker. [3] I følge en rapport fra PubMed Central tar plantevernmidler livet av mellom 250 000 og 370 000 mennesker hvert år. [4]

## 1.2 Bakgrunn

Det gjøres her rede for bakgrunnsinformasjon til oppgaven.

### 1.2.1 Jordbruk

Store norske leksikon definerer jordbruk som «den næringsvei som dyrker jorden med tanke på planteproduksjon». [5] Dette omfatter også gårdsbruk og husdyrbruk.

Før jordbruket startet et sted mellom 10 – 15 000 år siden, drev mennesker med jakt. Det var en måte å sikre seg næring året rundt i områder med varierende klima. Hvordan jordbruket startet varierer fra kontinent til kontinent. I noen områder startet det med temming av ville dyr for gjøre jakt enklere, og andre steder startet det med sanking og dyrking av villkorn og andre nyttige planter. Jordbruket utviklet seg til bedre utnyttelse av gitte landområder. Mennesker ble som følge av dette mer grupperte og mindre mobile enn tidligere, noe som førte til en befolkningsvekst. [6]

De første verktøyene som ble tatt i bruk for lettere jorddrift var hakker og gravestokker, før mennesker senere gikk over til ploger og sigder. Plogene ble i de tidligste årene drevet av mennesker, men dette ble etter hvert gjort av gårdsdyr som okser og hester. Det ble også brukt vogner dratt av dyr som okser og villesler. Vognene kunne bli så tunge at de måtte dras av inntil fire dyr på en gang. [7]

En av sivilisasjonene som førte jordbruket videre var Romerriket. Jordbruket var allerede godt etablert vest i Europa i romerske tider. Avlingene var små, og omtrent halve avlingen måtte plantes om igjen for å drifte gårdene, men utbyttet var stort nok til at noe kunne eksporteres. I starten var jordene på rundt en halv hektar, og bønder brukte enkle metallverktøy. Etter hvert som jordbruket utviklet seg og jordene ble større, ble også større verktøy tatt i bruk. Det ble også skrevet håndbøker med anbefalte verktøy og metoder for hvordan bønder best kunne utnytte jordene sine for større avlinger. To av forfatterne bak sånne håndbøker var Marcus Porcius Cato (234 – 149 f.Kr.) og Marcus Terentius Varro (116 - 27 f.Kr.). For dyrking av en olivenlund på 60 hektar anbefalte f. eks. Cato bruk av tre store vogner, seks ploger, tre åk, seks sett med seletøy for okser, én harv, noen gjødselskurver, tre sett med seletøy til hest og det samme for esler. Han beskriver også bruk av verktøy som spader, ljaer og økser, og en beskrivelse av hvor mange mennesker og dyr som trenges. [8]

I middelalderen var det mye som endret seg i jordbruket. Plogene fikk i denne perioden hjul og høvelblad. Plogene kunne da behandle jorda på en måte som gjorde det lettere å så frø. Hestekrager ble også tatt i bruk i middelalderen. Tidligere seletøy for hester trykket opp mot luftrøret til hesten, noe som gjorde at hesten ikke fikk presset seg skikkelig. De nye polstrede kragene gjorde at hestene kunne dra tyngre verktøy. Andre verktøy som gjorde gårdsarbeidet lettere var tidlige vindmøller, flere metallredskaper og nye design på redskaper. [8]

Nittenhundretallet er århundretallet da jordbruksredskapene endret seg mest. Endringene skjedde primært i den vestlige verden, da spesielt USA, men rundt 50-tallet startet også u-land og ta i bruk moderne metoder for jordbruk. Forbrenningsmotoren gjorde ting lettere og mer effektive, og ble fort hovedkraftkilden ved gårder.

Verdens første fungerende bensintraktor ble bygd i USA i 1892. I årene som fulgte startet også produksjonen av traktorer i Tyskland og Storbritannia. Antallet traktorer i USA gikk fra rundt 600 i 1907, til nærmere 3,4 millioner i 1950.

Traktorene utviklet seg også til å bli mer effektive og anvendelige. I 1918 kom det traktorer som kunne hekte på verktøy som kunne ta i bruk traktorens motorkraft via en aksel. I 1924 kom det en traktor, som ikke bare kunne dra verktøy, men også kunne høste avlinger mekanisk. Gummihjul for bedre feste og høyere hastigheter, kom i 1932. På 50-tallet dukket det opp traktorer med firehjulsdrift og dieselmotorer, noe som førte til en mye større drakraft. Siden den tid har traktorer blitt større og sterkere, for å få mer gjort på kortere tid. [9]

Etter andre verdenskrig ble det tatt i bruk flere selvdrevne verktøy, der motoren driver kjøretøyet og verktøyet som én enhet. Disse ble brukt for å utføre bestemte jobber. Skurtreskeren, som er en maskin for høsting av korn, var den mest utbredte av disse, men det fantes også maskiner for høsting av andre avlinger, og sprøyting. [9]

### 1.2.2 Sprøyting

Plantevernmidler er ifølge store norske leksikon kjemiske midler som brukes mot skadegjørere på planter, som skadedyr, plantesykdommer og ugress. [10]

Plantevernmidler ble først tatt i bruk av sumererne for 4500 år siden. De brukte da svovelforbindelser for å drepe insekter. Kineserne var også tidlig ute med insektsavstøtende midler, og brukte kvikksølv- og arsenforbindelser for kontroll av lus, for omtrent 3200 år siden. [11]

Gitt at det ikke fantes noen kjemisk industri på den tiden, brukte mennesker produkter fra planter og dyr, eller lett tilgjengelige mineraler. Gamle skriv fra Hellas og Romerriket viser at metodene de brukte for plantevern kom av religiøse riter. De satte fyr på forskjellige ting, og lot røyken spre seg over hele jordet, for å fjerne forbannelser som for eksempel muggsopp. Ting som ble satt fyr på var ting som strå og halm, skalldyr, dyrehorn og andre dyrerester, og de trodde at jo mer illeluktende det var, jo mer effektivt var det. [11] [12]

Fram til 1940-tallet var uorganiske stoffer, som svovelsyre og natriumklorat, eller organiske stoffer fra naturlige kilder, det mest utbredte. Det var derimot noen som startet å ta i bruk biprodukter fra kullindustrien som plantevernmidler. Dette involverte nitrofenoler, klorfenoler og petroleumsoljer mot sopp og insekter, og svovelsyre og natriumarsenat mot ugress. Ulempen med disse stoffene var hvor mye som måtte tas i bruk i forhold til hvor giftige de var. [11]

Veksten i bruk av syntetiske plantevernmidler økte utover 40-tallet som følge av oppdagelsen av effektene av stoffer som BHC, aldrin, DDT og endrin ble oppdaget. [11] DDT ble sett på som et vidundermiddel som ikke gjorde skade på pattedyr. DDT ble derfor spesielt utbredt, og

Dr. Paul Muller (1899 – 1965), mannen som oppdaget mulighetene for bruk av DDT i jordbruk, vant en nobelpris for det i 1948 [13] [14].

Utover 50-tallet fortsatte bruken av syntetiske sprøytemidler å øke og folk var ikke så bekymrede for helseskadene dette kunne medføre. Dette var på grunn av at det ikke var dokumenterte tilfeller av dødsfall som følge av normal bruk av syntetiske plantevernmidler. Økt bruk av plantevernmidler førte også til lavere priser på matvarer. På 60-tallet ble det forsket på skader som følge av uforsiktig bruk av de syntetiske stoffene som dukket opp på 40- og 50-tallet. Den amerikanske biologen Rachel Carson (1907 – 1964) ga ut en bok i 1962 kalt *Silent Spring*, som påpekte farene ved bruk av disse syntetiske stoffene i jordbruk, noe som førte til et fokus på tryggere og mer miljøvennlige produkter. [11]

Som følge av det negative fokuset på tidlige syntetiske plantevernmidler, som DDT, ble slike stoffer forbudte i flere deler av verden på 70-tallet. Videre utover 70- og 80-tallet ble det utviklet nye midler som glyfosat, som er verdens mest solgte sprøytemiddel, og en rekke andre grupper med syntetiske virkestoffer for plantevern.

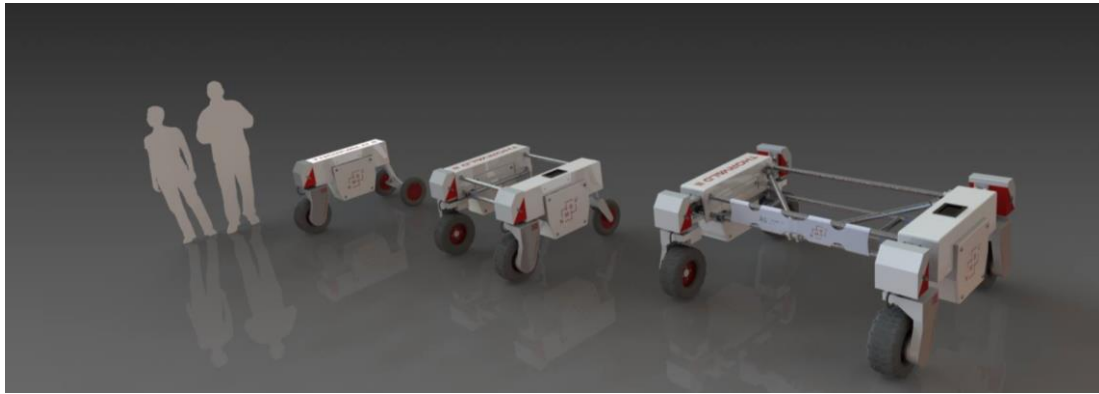
Fra 90-tallet og frem til nå så er det forsket videre på eksisterende grupper med sprøytemidler for å gjøre stoffene mer selektive, slik at de angriper uønskede vekster og insekter. Noe annet som også gjøres nå for tiden er å modifisere plantegener til å produsere egne insekts- og muggsoppdrepende kjemikalier, eller å tåle aktuelle sprøytemidler. [11]

### 1.2.3 Thorvald/Tora

Thorvald er en landbruksrobot utviklet av masterstudenter ved NMBU. Det er en 150kgs robot laget for å utføre oppgaver som ellers ville blitt gjort av store maskiner. Roboten er mobil og autonom, og kan derfor utføre oppgaver uten tilsyn. Thorvald er også utstyrt med en rekke sensorer for og enkelt kunne overvåke utstyr, posisjon og orientering.

Versjonen av Thorvald som er bygget styres av en x-box kontrollert. Sensorene og motorkontrollene i robotens system er koblet sammen i et CAN-nettverk. Dette nettverket kan brukes for enkel tilkobling og styring av moduler som installeres. [15]

Det jobbes foreløpig med en ny versjon av Thorvald-plattformen, kalt Thorvald 2. Den nye versjonen skal ha modulære hjul. I den første Thorvald-roboten er det firehjulsdrift og firehjulsstyring, men den nye skal kunne ha alt fra bare etthjulsdrift, til firehjulsdrift og styring. Forskjellige mulige oppsett er illustrert i Figur 1.1. Hjulmodulene til Thorvald 2 skal også komme i forskjellige høyder. En høyere robot ment for lettere verktøy, kalt Tora, blir også jobbet med samtidig som Thorvald 2. Både Thorvald 2 og Tora er bygd på samme plattform, men er satt sammen av litt forskjellige moduler og komponenter.



Figur 1.1: Thorvald 2 konfigurasjoner - Lars Grimstad

### 1.3 Prosjektbeskrivelse

NMBU har hatt som mål med Thorvald å bygge en robot som kan utføre oppgavene til en traktor. Selve roboten er blitt bygget, og jobbes fortsatt med, men verktøyene til roboten som utfører oppgavene er det fortsatt begrenset med. Det er så langt blitt bygget en såmaskin og en ugressfjerner med laser. Vollebekk forsøksgård ved NMBU har også meldt interesse for et sprøyteverktøy til forsøkssprøyting. De bruker nå en ryggbåret sprøyte, men ser etter et sprøyteverktøy med el-drift og konstant hastighet og høyde. Den nye sprøyta skal også kunne opereres av en person som går foran og styrer det hele.

Prosjektet går derfor ut på å bygge en sprøytemodul til Thorvald som i første omgang skal brukes til forsøkssprøyting på Vollebekk forsøksgård. Landbruksroboten og sprøyta skal kunne styres av en fører, men med tanke på at Thorvald er autonom bør det være muligheter for autonom sprøyting også.

#### 1.3.1 Problemstilling

Utvikling av sprøytemodul til Thorvald for bruk til forsøkssprøyting på Vollebekk forsøksgård.

### 1.4 Eksisterende løsninger

De mest brukte metodene for plantevernmidde sprøyting er sprøyting gjort av bonde med bærbart utstyr, sprøyting med traktorer og sprøyting med fly. [16] Hver av disse metodene har sine fordeler og ulemper.

#### 1.4.1 Sprøyting med bærbart utstyr



Utstyr brukt for manuell sprøyting gjort av bønder kan være små og håndholdte sprøyter med små tanker, eller tyngre verktøy båret på ryggen med større tanker. De minste sprøytene er ofte drevet av trykkluft, og de større av manuelle eller motordrevne pumper. [17]

Håndholdte verktøy krever at noen går rundt i feltet som skal sprøytes, som vist i Figur 1.2. Ulempen er da at brukeren av utstyret er spesielt utsatt for å komme i kontakt med kjemikaliene som sprøytes. Det meste av kontakten kan unngås ved bruk av beskyttelsesdrakter.



Figur 1.2: Manuell sprøyting [18]

En annen ulempe ved manuell sprøyting er at personen som betjener utstyret selv velger hastigheten en går i. Sprøyting av riktig mengde plantevernmidler kan derfor være vanskelig å få til, til enhver tid. Det er også veldig begrenset hvor fort en kan sprøyte større områder.

#### 1.4.2 Sprøyting med traktor

Ved sprøyting med traktor kan en lettere dekke større områder med plantevernmidler. Mulighetene for å regulere hastighet og å holde den konstant er også bedre enn ved manuell sprøyting. Det er derfor lettere å forsikre seg om at riktig mengde plantevernmidler blir sprøytet ved bruk av traktor enn ved bruk av bærbare verktøy.

Føreren av traktoren kan i stor grad unngå kontakt med kjemikaliene som sprøytes ved å sitte innelåst i traktorkabinen til sprøytingen er ferdig. Hvordan en slik traktor kan se ut er vist i Figur 1.3.



Figur 1.3: Traktor med påmontert sprøyteverktøy [19]

En ulempe ved bruk av traktorer er at tungt maskineri fører til jordpakking. Det er også et problem at traktorer bruker veldig mye sprøytemiddel.

### 1.4.3 Sprøyting med fly

Når det er nødvendig å dekke store områder med plantevernmidler, brukes det i noen tilfeller fly. Ved sprøyting med fly får man veldig god spredning. Flyene flyr som oftest fram og tilbake i rette linjer, men om landskapet er ujevnt kan det flys i andre mønster. For jevn spredning flyges det ved konstante hastigheter og høyder. [20] Et eksempel på hvordan disse flyene sprer plantevernmidler er vist i Figur 1.4.



Figur 1.4: Sprøyting med fly [21]

Ved bruk av fly for sprøyting av plantevernmidler er det viktig at piloten ikke flyr feil. Sjansen for spredning til uønskede områder er størst når piloten skal snu. Varierende værforhold, flyhøyde og flyets aerodynamiske effekter er andre forhold som kan føre til uønsket spredning. Det er derfor mye skepsis rundt bruken av fly for sprøyting av plantevernmidler. [20]

## 1.5 Markedsbehov og potensiale

Bruk av helautomatiserte landbruksroboter er fortsatt i en veldig tidlig fase. Fordelene ved bruk av lette, autonome roboter fremfor store og tunge kjøretøy er mange. Etter hvert som behovet for bedre utnyttelse av landområder i jordbruket øker, vil dagens løsninger fort bli erstattet.

Om bønder starter å ta i bruk robotløsninger i landbrukssammenheng, vil markedet for det raskt vokse. Flere aktører vil da komme på markedet, og det blir viktigere at produktet skiller seg ut. Thorvald med sin modulære løsning for oppbygning av roboten og montering av verktøy kan da komme til å stå sterkt. Om sprøytemidler fortsatt tas i bruk ved den tid, vil en sprøytemodul være absolutt nødvendig.

En autonom landbruksrobot vil kunne jobbe døgnet rundt, uten bemanning. Kostnadsbesparelsene ved å ikke bruke arbeidere er store. Ved bruk av flere roboter i et samlet nettverk vil også effektiviteten kunne bli bedre enn med dagens løsninger.

Gitt bred utbredelse av landbruksroboten Thorvald, og en pris på sprøytemodulen som kan konkurrere med eksisterende løsninger, kan sprøytemodulen kuppe store deler av markedet for plantevernmiddelsprøyting.

## 2 Mål og begrensninger

For tydeliggjøring av hva denne oppgaven går ut på, skilles det mellom hovedmål for prosjektet og mål for oppgaven. Det settes også delmål og begrensninger for oppgaven.

### 2.1 Hovedmål

Hovedmålet for prosjektet er å bygge og teste en kontrollerbar sprøytemodul for landbruksroboten Thorvald. Hovedmålet for oppgaven er å designe modulen og dokumentere erfaringer fra bygge- og testfasen.

### 2.2 Delmål

- Undersøke og kartlegge dagens utfordringer og løsninger innenfor sprøyting av plantevernmidler
- Vurdere aktuelle konsepter og komponenter
- Velge konsept og komponenter
- Utvikle og designe produktet
- Bygge en prototype av et sprøytesystem til modulen
- Teste sprøytesystemet
- Dokumentere resultater fra test og vurdere forbedringer

### 2.3 Begrensninger

Begrensninger kommer delvis av utstyr som er blitt tilegnet for enklere utførelse av prosjektet:

- Prototypen skal tilpasses etter Vollebekks behov, og er derfor ikke et verktøy laget for alle forhold som Thorvald er laget for
- Sprøytesystemet skal bruke sprøytebom tildelt av folk på Vollebekk
- Hele verktøyet designes, men kun den hydrauliske delen av sprøytesystemet bygges og testes, på grunn av at Tora-roboten den skal festes på, ved skriving av oppgaven ikke er ferdig
- Det gjøres av samme grunn som ovenfor ikke styrkeberegninger av verktøyet



## 3 Produktspesifisering

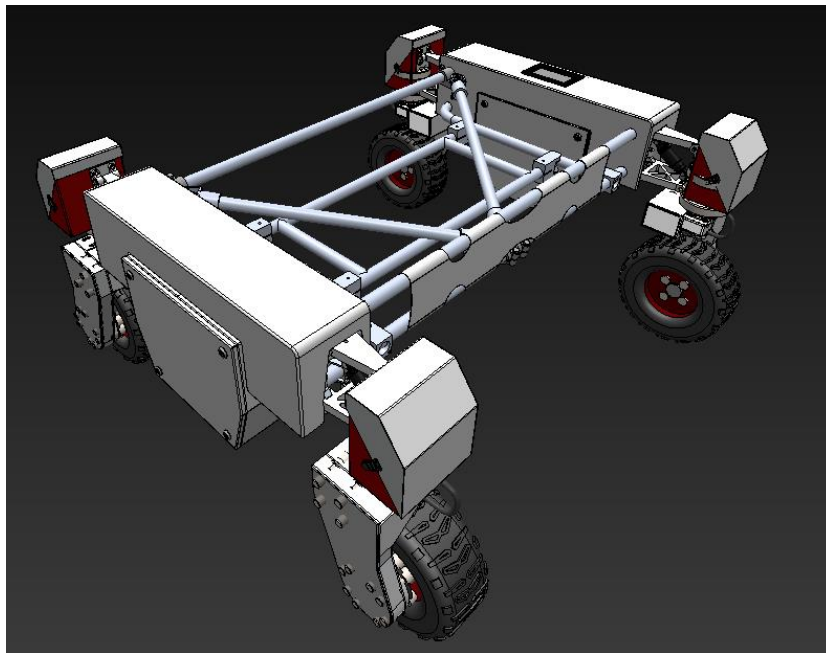
Verktøyet som utvikles må passe med utstyret som er tildelt.

### 3.1 Metriske grensespesifikasjoner

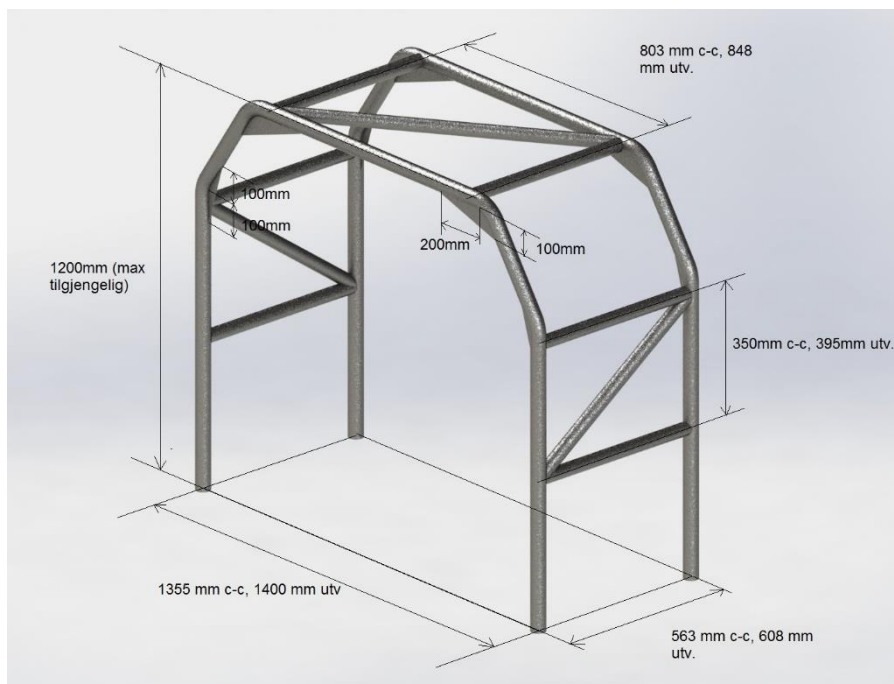
Sprøyteverktøyets ytre mål må i tillegg til å møte kundens krav også passe med landbruksroboten Toras mål.

#### 3.1.1 Tora

Sprøytemodulen skal monteres på Tora. Basen til landbruksroboten Tora vil se ut som Thorvald 2 i Figur 3.1, men er noe bredere. I tillegg vil det bli påmontert en bøyle for kjøring over høyere planter, vist i Figur 3.2. Rørene brukt i rammen til Thorvald og Tora har en diameter på 40mm.



Figur 3.1: Thorvald 2



Figur 3.2: Tora-bøyle

På hver side av basen er det en oppbevaringskasse med vanntett cover. Toppen av coveret har målene 905mm \* 213mm. Lengden på basen er mellom 1500mm og 1600mm. Klaringen mellom stengene på bøylene er rundt 1300mm, og høyden fra bakken opp til toppen av bøylene er rundt 1600mm. Høyden kan reguleres ved å feste bøylene høyere på roboten. Høyden kan da bli inntil 1800mm. Bøylene er satt sammen av rør med en ytre diameter på 45mm. Batteriene til roboten er på 48V. Grensespesifikasjonene for roboten er satt i Tabell 3-1.

Tabell 3-1: Metriske spesifikasjoner for robot

DEL	VERDI
<b>LENGDE ROBOT</b>	1500-1600mm
<b>INNVENDIG BREDDE BØYLE</b>	1300mm
<b>BAKKEKLARING</b>	1600-1800mm
<b>RØRDIAMETER RAMME</b>	40mm
<b>RØRDIAMETER BØYLE</b>	45mm
<b>LENGDE COVER</b>	905mm
<b>BREDDE COVER</b>	213mm
<b>BATTERISPENNING</b>	48V

### 3.1.2 Sprøytebom

Sprøytebommen som brukes i sprøyteverktøyet er litt over 1500mm lang. Det er fire dyser på bommen. Avstanden mellom hver dyse er 500mm. Røret har en diameter på 20mm. Vekten på bommen når den ikke er væskefylt er på 2,5kg. Målene er satt i Tabell 3-2.



Figur 3.3: Sprøytebom

Tabell 3-2: Sprøytebom mål

<b>RØR</b>	<b>VERDI</b>
<b>LENGDE</b>	1500mm
<b>AVSTAND MELLOM DYSER</b>	500mm
<b>RØRDIAMETER</b>	20mm
<b>TOMT RØR VEKT</b>	2,5kg

### 3.1.3 Plantervernmiddekanne

Kannene som plantervernmidlene de bruker på Vollebekk leveres i et stort sett like. Den mest brukte kanna er 250mm bred, 300mm lang og 500mm høy. Kanna er vist i Figur 3.4. Målene er satt i Tabell 3-3.





Figur 3.4: Sprøytemiddelkanne

Tabell 3-3: Mål for sprøytemiddelkanne

<b>DEL</b>	<b>VERDI</b>
<b>HØYDE</b>	500mm
<b>BREDDE</b>	250mm
<b>LENGDE</b>	300mm

## 4 Konseptgenerering

Ved generering av aktuelle konsepter er det noen forutsetninger som må tas hensyn til. Skissene i dette kapittelet er laget i Microsoft Paint.

### 4.1 Forutsetninger

Forutsetningene til Vollebekk er:

- Sprøyte høyden må kunne reguleres fra 40cm til 180cm over bakken
- Regulering av sprøyte høyden bør være trinnløs eller med hakk på 10cm
- Sprøyting må kunne med startes og stoppes
- Sprøytesystemet må kunne tåle sterke væsker
- Pumpa som brukes må kunne levere et trykk på 1-4 bar og inntil 5L/min

Forutsetningene byr på utfordringer som må tas i betraktning ved generering og videreutvikling av konsept. Ut ifra kravene stilt vil hovedutfordringene være:

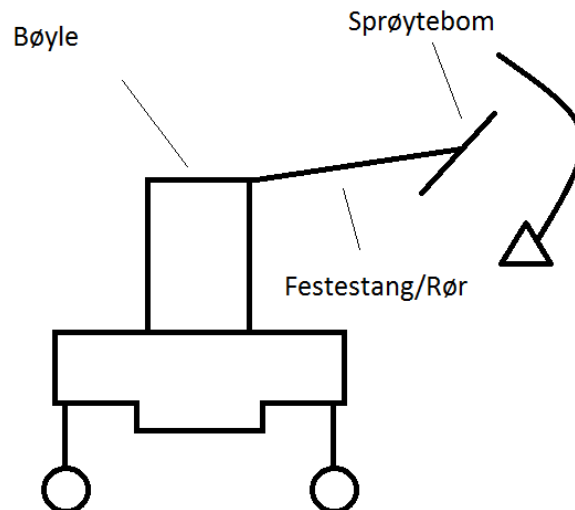
- Hvordan skal høyden på sprøytebommen reguleres?
- Hvordan komponenter skal brukes i det hydrauliske systemet?
- Hvordan skal verktøyet installeres på landbruksroboten?

### 4.2 Regulering av bom høyde

Ved vurdering av diverse konsepter for hvordan høyden på sprøytebommen reguleres er det i tillegg til forutsetningene stilt, noen andre ting som må tas i betraktning. Verktøyet bør ikke subbe bort i plantene som skal sprøytes. Sprøytebommen bør stå litt bak roboten for å unngå at landbruksroboten blir full av sprøytemidler. Dysene på sprøytebommen må også til enhver tid peke rett ned. Med dette i tankene er det blitt laget noen ideer om hvordan høyden på bommen kan reguleres.

### 4.2.1 Første konsept

Det første konseptet går ut på å bruke en stang eller et rør som festes på bøylene til landbruksroboten. I den andre enden av røret påmonteres sprøytebommen. Sprøytebommen skal da kunne vippe opp og ned til ønsket høyde. En enkel skisse av konseptet er vist i Figur 4.1.

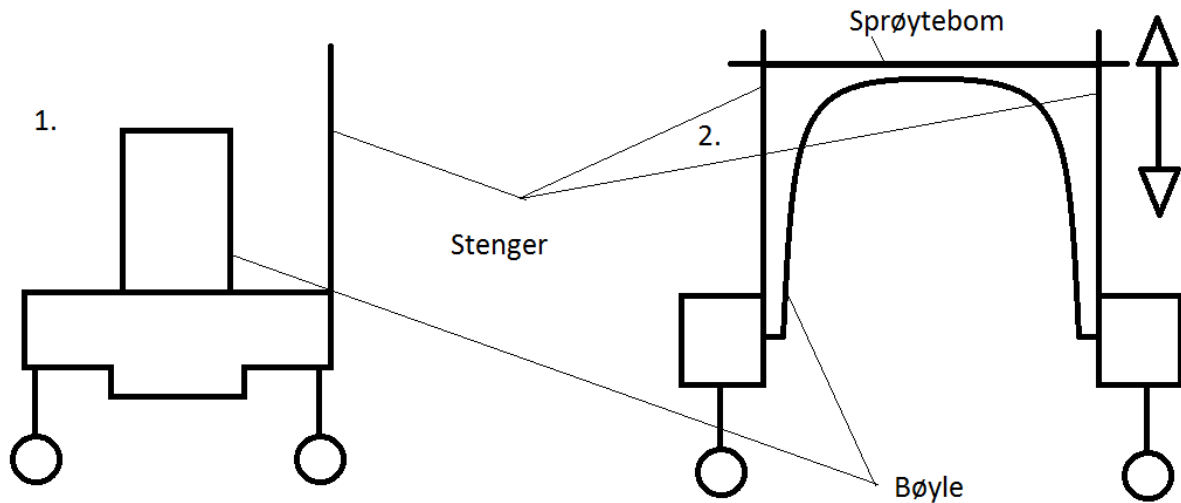


Figur 4.1: Skisse av Tora sett fra siden med vippekonsept

Sprøytebommen festes til bøylene ved én eller to stenger. Sprøyte høyden reguleres da trinnløst eller manuelt ved å løfte bommen til ønsket høyde, og deretter låses den i posisjon med en skrueklemme.

### 4.2.2 Andre konsept

Det andre konseptet går ut på å feste noen stenger bak på landbruksroboten. Sprøytebommen skal da kunne festes rett på stengene i ønsket høyde, og deretter låses fast. Konseptet er skissert i Figur 4.2.

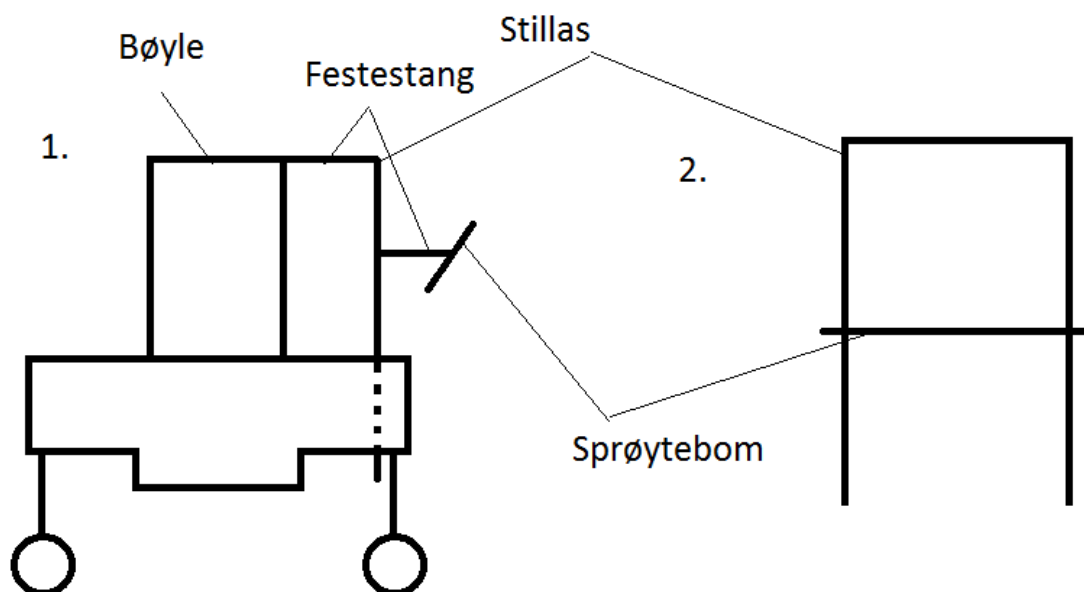


Figur 4.2: Skisse av konsept med stenger. 1. Roboten sett fra siden, 2. Roboten sett bakfra

Denne høydereguleringsmekanismen kan lages med trinn eller trinnløst. Med trinn kan det settes hull i stengene med 10cm avstand i mellom hvert hull, og bommen kan monteres på i ønsket trinn. Trinnløst kan man også i dette konseptet bruke skrueklemmer for innstramming i ønsket høyde.

#### 4.2.3 Tredje konsept

Det tredje konseptet går ut på feste et stillas på bøylene. I mellom stengene på stillaset reguleres høyden på sprøytebommen opp og ned. Dette er vist i skissen i Figur 4.3.

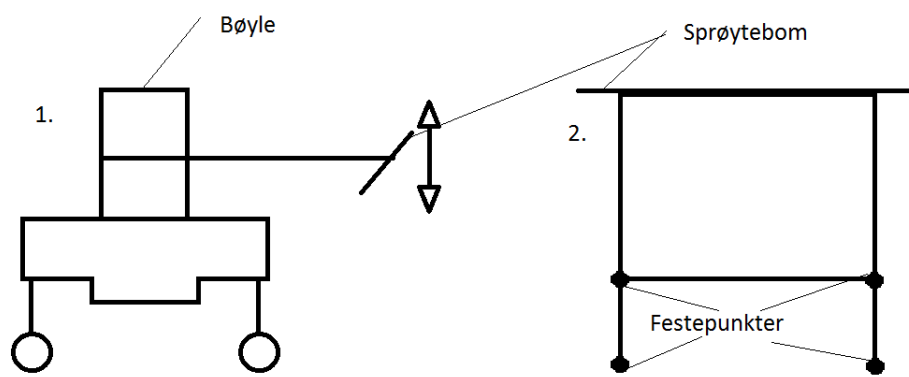


Figur 4.3: Stillaskonsept. 1. Robot med stillas sett fra siden, 2. Stillaset sett forfra

Stillaset festes da i bøylene til landbruksroboten med to rør eller stenger. I mellom stengene på stillaset er det en stang som reguleres opp og ned. Ut ifra denne stangen er det også én eller to stenger som festes på sprøytebommen. Dette er så sprøytebommen skal stå litt bak roboten ved sprøyting. Sprøytebommen kan da reguleres enten trinnvist eller fritt med skrueklemmer.

#### 4.2.4 Fjerde konsept

Et fjerde konsept til hvordan høyden kan reguleres er å feste to rør eller stenger på sprøytebommen. Disse stengene vil i den andre enden kunne låses fast i bøylene til landbruksroboten. En skisse av hvordan verktøyet kan se ut er vist i Figur 4.4.

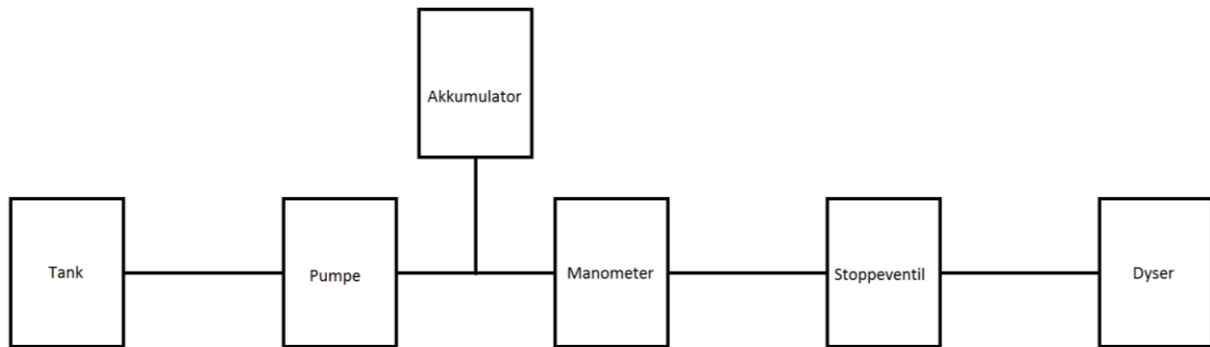


Figur 4.4: Av- og påfestingsmekanisme. 1. Tora sett fra siden med verktøyet, 2. Selve verktøyet

De små sirklene i bilde 2 er da festepunkter. De fire festepunktene er der verktøyet festes i bøylene. Verktøyet skal kunne settes i ønsket høyde, og deretter innstrammes i alle fire festepunkter. Skissen er av verktøyet sett ovenfra.

### 4.3 Aktuelle komponenter for hydraulisk system

Sprøyta må kunne pumpe sprøytmiddel fra tanken og ut til dysene. For å gjøre dette er en pumpe absolutt nødvendig. Tanken som plantevernmidlene pumpes opp ifra må også være med. For enkel og rask start og stopp av sprøyting kan det være lurt å bruke en stoppeventil ute ved dysene. Ved bruk av en stoppeventil vil væskestrømmen stenges av fort, noe som kan føre til et trykkstøt i røret. Trykkstøt kan unngås ved bruk av en akkumulator. Det kan også brukes et manometer for enkel trykkavlesing. Et blokkskjema med alle foreslåtte komponenter er illustrert i Figur 4.5.



Figur 4.5: Blokkskjema

### 4.3.1 Pumpe

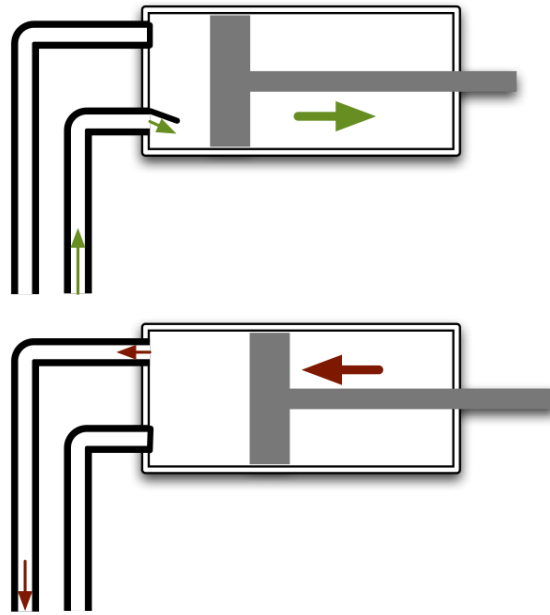
For å flytte væsken fra tanken til dysene brukes en form for pumpe. En pumpe er en maskin som øker et fluids trykknivå, og brukes stort sett for fluidtransport. Dette gjøres ved å omgjøre mekanisk arbeid til hydrodynamisk arbeid på et eller annet vis. Pumper kan tilpasses til å fungere på både væsker og gasser, men kalles kompressorer når de brukes til gasser. [22]

Pumper kommer i mange forskjellige typer, tilpasset forskjellige fluider, volumstrømmer og trykkforhold. De deles i to hovedtyper: strømningspumper og fortrenningspumper. Strømningspumper deles igjen inn i radial- og aksialpumper.

Strømningspumper består av en motordrevet rotor som dytter fluidet frem. En radialpumpe strømningspumpe vil da dytte fluidet langs rotorens radius, og i en aksial strømningspumpe vil strømmen gå langs rotorens aksel. Sentrifugalpumper er en form for radialpumpe, og er den mest brukte typen strømningspumpe. [23]

I fortrenningspumper suges fluidet inn i et kammer og blir presset ut igjen av et fortrenningslegeme. Den enkleste varianten av fortrenningspumper er en stempelpumpe. [24] Andre varianter av fortrenningspumper er tannhjuls-, ving-, skrue- og membranpumper.

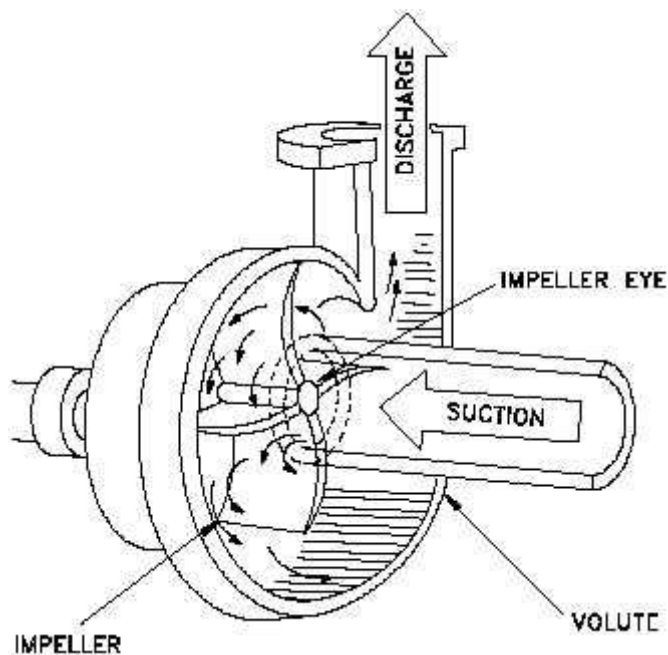
En stempelpumpe består av en innløpsventil, utløpsventil, et stempel og en sylinder. Når stempelet trekkes ut, åpnes innløpsventilen, volumet i sylindere øker, og trykket faller. Når stempelet dyttes inn, lukkes innløpsventilen, utløpsventilen åpnes, og væsken presses ut gjennom utløpsventilen. Dette er illustrert i Figur 4.6. [25]



Figur 4.6: Stempelpumpens virkemåte [25]

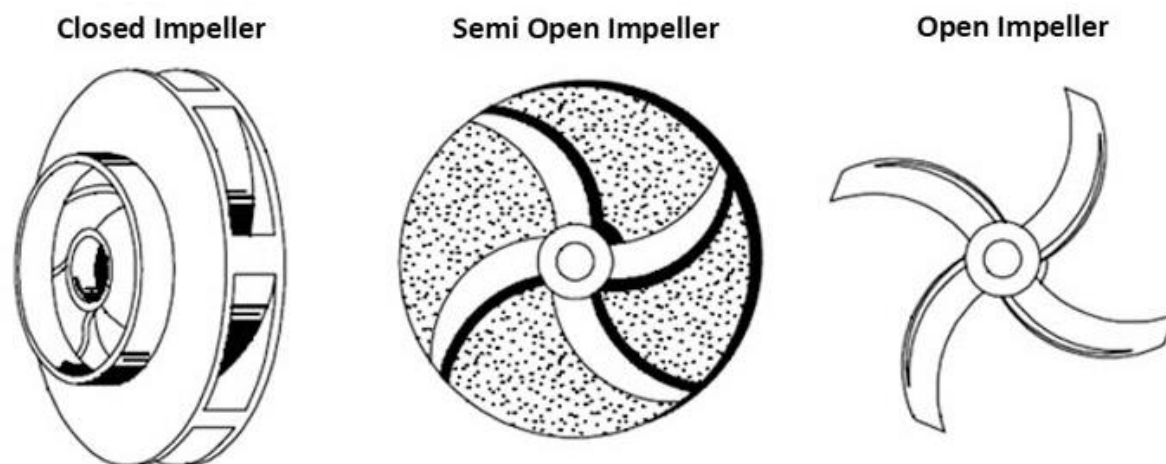
#### 4.3.1.1 Sentrifugalpumpe

Sentrifugalpumper virker ved at man har en roterende impeller som gjør et arbeid på en væske. Arbeidet gjort på væsken fører enten til en trykkøkning eller øke væskestrømmen. Impelleren er låst inne i et spiralformet pumpehus som vist i Figur 4.7. Impelleren er montert på en aksel drevet av en motor. Utformingen til pumpehuset er det som leder væsken i riktig retning. Pumpehuset har en sugeside og en trykkside. Væsken går inn på sugesiden, får en trykkøkning, og dyttes ut på trykksiden. [26]



Figur 4.7: Sentrifugalpumpe [27]

Impelleren i en sentrifugalpumpe kan enten være åpen, delvis åpen eller lukket. De forskjellige typene er vist i Figur 4.8. En åpen impeller består av et nav med impeller på. Om impelleren er lukket har den også plater på hver side av skovlene. Dekkes bare den ene siden av skovlene med en plate, er det en delvis åpen impeller. Den mest effektive impelleren er den lukkede, men den har lettere for å bli tett. En åpen impeller vil egne seg mer for bruk med væsker som også inneholder noe fast materiale. [28]



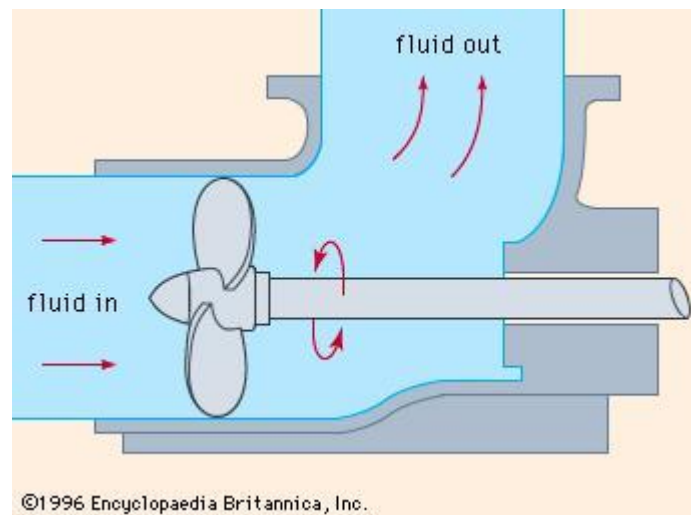
Figur 4.8: Impellertyper for sentrifugalpumper [29]

I følge Store norske leksikon egner sentrifugalpumper seg mest for store væskemengder og lavere trykk. De kan tilpasses med flere skovlhjul for bruk ved høyere trykkforhold. [22]



#### 4.3.1.2 Propellpumpe

Propellpumper er aksiale strømningspumper. Disse består av en propell som dytter væsken parallelt med akselen, som vist i Figur 4.9. Ved pumpehusets utløp er det diffusorfiner som eliminerer rotasjonen væskene får av arbeidet gjort av propellen. [30] Trykkøkningen i propellpumper skjer delvis ved propellen, og delvis i diffusoren. [22]



Figur 4.9: Propellpumpe [31]

Denne pumpen er egnet for større væskestrømmer enn en vanlig sentrifugalpumpe, men er også mindre egnet for høyt trykk.

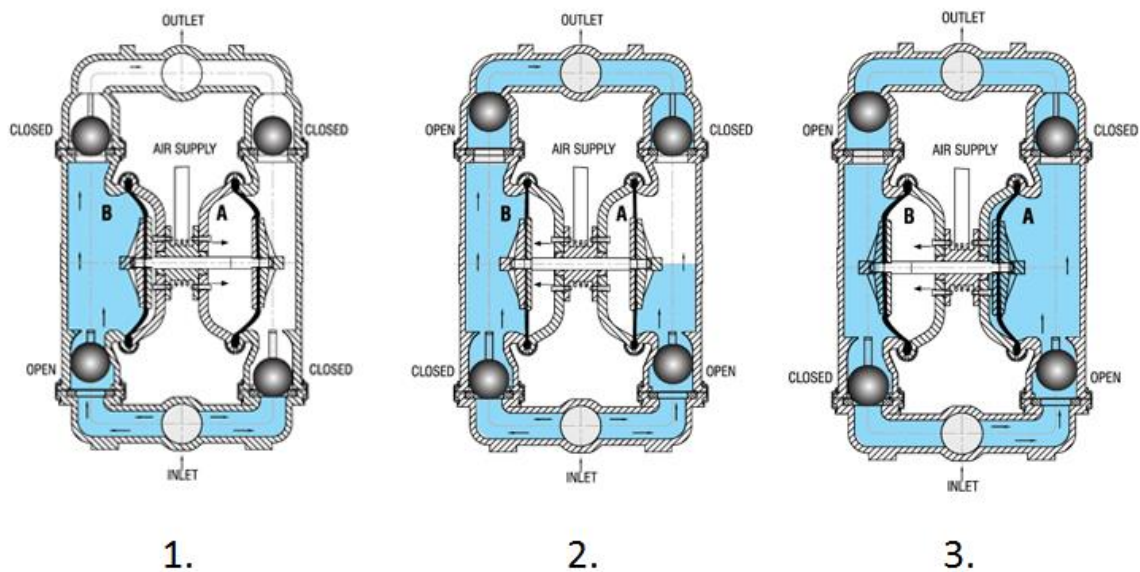
#### 4.3.1.3 Membranpumpe

Membranpumper er fortrenningspumper, og virkemåten kan minne om en stempelpumpe. Pumpa består av en tallerkenformet, pulserende membran. Membranen er fastspennet på et stempel som dytter membranen fram og tilbake. Bevegelsen av membranen kan også styres av trykkluft. [30]

I Figur 4.10 er det illustrert hvordan en membranpumpe kan bygges. Den består av to trykkluftkontrollerte membraner og fire trykkventiler. Innløpet er i bunnen og utløpet på topp.

I første posisjon trykkes baksiden av membran A av trykkluft. Dette fører til at begge membranene flyttes til venstre. Dette fører til et trykkfall i side B, og ventilen nederst til venstre åpnes og slipper inn væsken fra innløpet. I posisjon to flyttes begge membranene til venstre til de er midtstilte. Dette fører til en trykkøkning i side B. Med denne trykkøkningen stenges ventilen nederst til venstre, og den øverst til venstre åpnes. Ventilen øverst til høyre er fortsatt lukket, så væsken strømmer ut gjennom utløpet til pumpa. I posisjon tre dyttes membranene

helt til venstre. Trykket i side B øker enda litt mer, og væsken fortsetter å strømme til utløpet fra denne siden. I side A vil trykke fallet. Ventilen nederst til høyre åpner seg og trekker inn væske. Etter hvert som membranene flyttes fram og tilbake vil denne prosessen fortsette. [32]



Figur 4.10: Membranpumpe i forskjellige posisjoner. Posisjonene er nummererte [32]

Membranpumper egner seg som løftepumper og trykkpumper. De egner seg også godt for bruk med sterke væsker. [33]

#### 4.3.2 Ventil

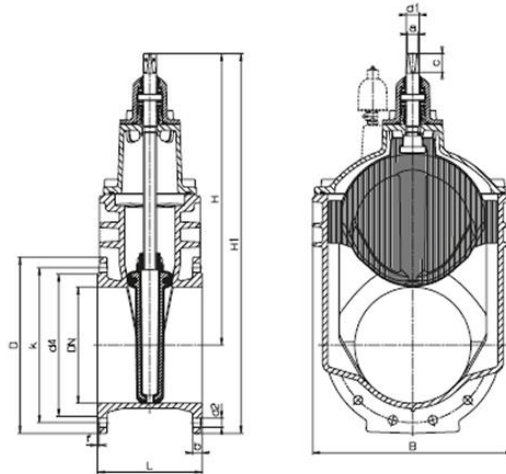
For start og stopp av sprøytingen uten forsinkelser, brukes det en elektrisk styrt ventil rett før dysene.

En ventil er et avstengningsorgan på fluidbeholdere eller i rør. Ventiler brukes for åpning og lukking, retningsbestemmelse, trykkregulering og/eller volumstrømstyring av en fluidstrøm. Ventilen består vanligvis av et ventilhus, ventilsete og ventillegeme. Ved stenging tettes ventilsetet av ventillegemet. [34]

Ventiler finnes i mange varianter. Ventiler kan klassifiseres etter grunnprinsippene bak avstengningsmekanismen eller hvordan ventilen aktiveres. De vanligste måter å styre ventiler på er manuelt, pneumatisk eller hydraulisk, med motor eller elektromagnetisk. Sluse-, sete-, plugg- og kuleventiler er typer som blir mye brukt. En annen type ventiler som er aktuell er magnetventiler. [35]

#### 4.3.2.1 Sluseventil

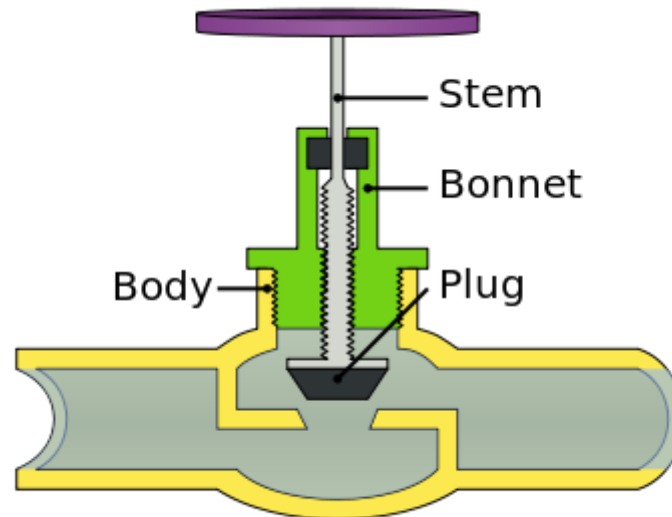
En sluseventil er en stengeventil, som vil si at den enten er åpen eller stengt til enhver tid. Den stenger for gjennomstrømning ved å føre en plate i røråpningen, som illustrert i Figur 4.11. Sluseventiler er oftest åpen for strømning i begge retninger. Det at ventilen kan åpnes helt gjør at man ved bruk av en sluseventil får lite friksjon i gjennom ventilen. Den egner seg også for rask åpning og lukking. [35] [36]



Figur 4.11: Sluseventil [37]

#### 4.3.2.2 Seteventil

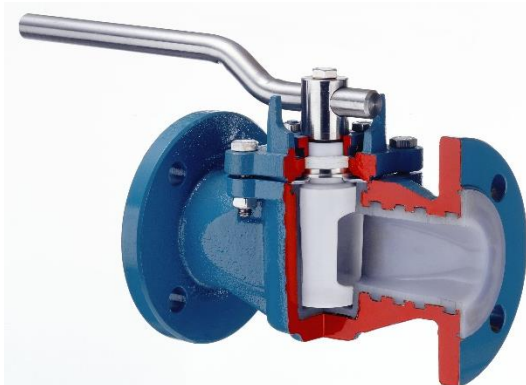
Seteventiler blir oftest brukt som manuelle reguleringsventiler, men kan også brukes som stengeventiler. Ventillegemet i en slik ventil er en form for plugg som blir senket ned på et horisontalt ventilsete, og ventilen tettes ved at pluggen presses ned i setet mekanisk. Pluggen blir som regel heiset og senket med en roterende spindel, som vist i Figur 4.12. Seteventiler er primært laget for en gitt strømningsretning. [35] [36]



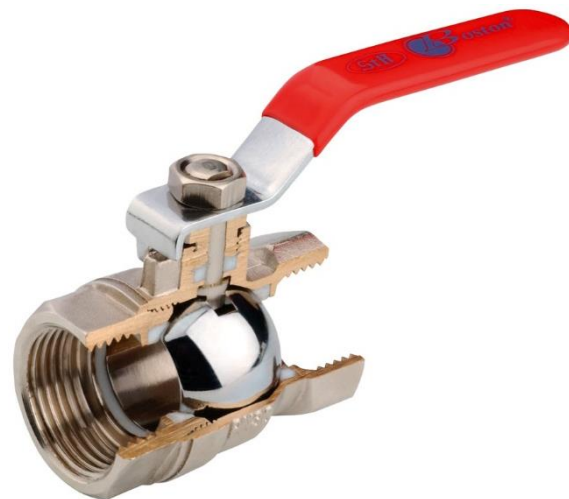
Figur 4.12: Seteventil [38]

#### 4.3.2.3 Plugg- og kuleventil

Pluggventiler og kuleventiler er begge stengeventiler som virker ved samme prinsipp. Ventilene styres ofte av et håndtak som må vris 90 grader for å åpne eller lukke ventilen. Forskjellen er utformingen på ventillegetet. Pluggventilen består av en sylindrisk eller konisk plugg med et hull igjennom, mens kuleventilen består av en kule med et hull igjennom. Når ventilene er åpne, strømmer fluidet igjennom hullet. Begge ventilene egner seg for strømming i begge retninger. [35] [36] Forskjellen i utforming er vist i Figur 4.13 og 4.4.



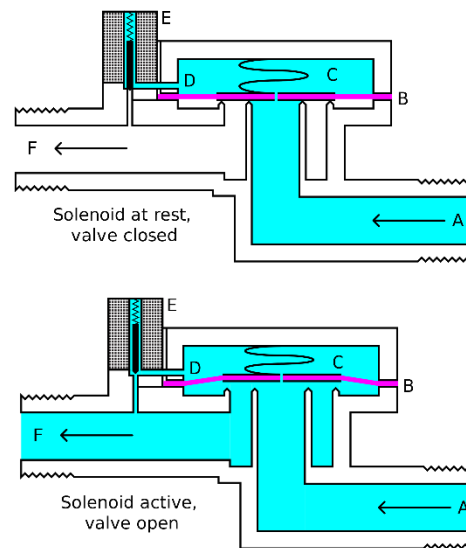
Figur 4.13: Pluggventil [39]



Figur 4.14: Kuleventil [40]

#### 4.3.2.4 Magnetventil

Magnetventiler er elektromekaniske stoppeventiler. Ventilene åpnes eller lukkes ved å sende en elektrisk strøm gjennom en spole. Dette inducerer et magnetfelt som løfter eller senker ventillegemet. En åpen og lukket magnetventil er illustrert i Figur 4.15. Åpne- og lukkemekanismen i en magnetventil er rask og krever lite kraft. En magnetventil med to porter egner seg kun til strømming i én retning. [41] [42]



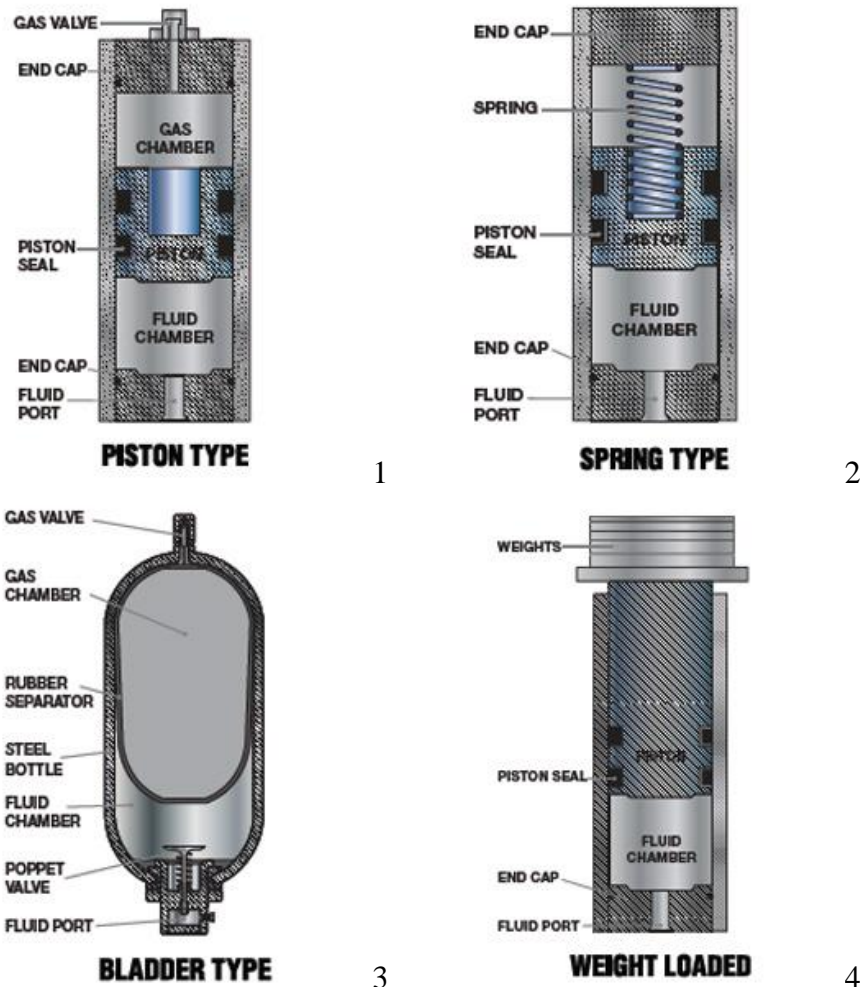
Figur 4.15: Magnetventil [43]

### 4.3.3 Akkumulator

Væsker er tilnærmet inkompressible. [44] I et hydraulisk system kun bestående av væske vil trykket kunne bygge seg opp veldig fort. Hvis pumpen som brukes i systemet skruer seg av ved et gitt trykk, og dette nås altfor fort, vil dette føre til at pumpa skruer seg av og på med veldig små intervaller. For å forhindre dette kan det være lurt å bruke en akkumulator.

Store norske leksikon definerer en akkumulator som «en beholder for oppsamling og lagring av energi». [45] En hydraulisk akkumulator lagrer vanligvis potensiell energi ved å komprimere en gass eller en fjær. De brukes i hydrauliske systemer for å jevne ut trykkpulseringer, ved rask start og stopp i en pumpe, eller å absorbere sjokkbølger, ved for eksempel for rask stenging av en ventil. [46]

Hydrauliske akkumulatører deles i fire hovedtyper, kategorisert etter hvordan de lagrer energi. Det er stempel-, fjær-, blære- og vektakkumulatører.



Figur 4.16: Diverse hydrauliske akkumulatører; 1. Stempel 2. Fjær 3. Blære 4. Vekt [46]

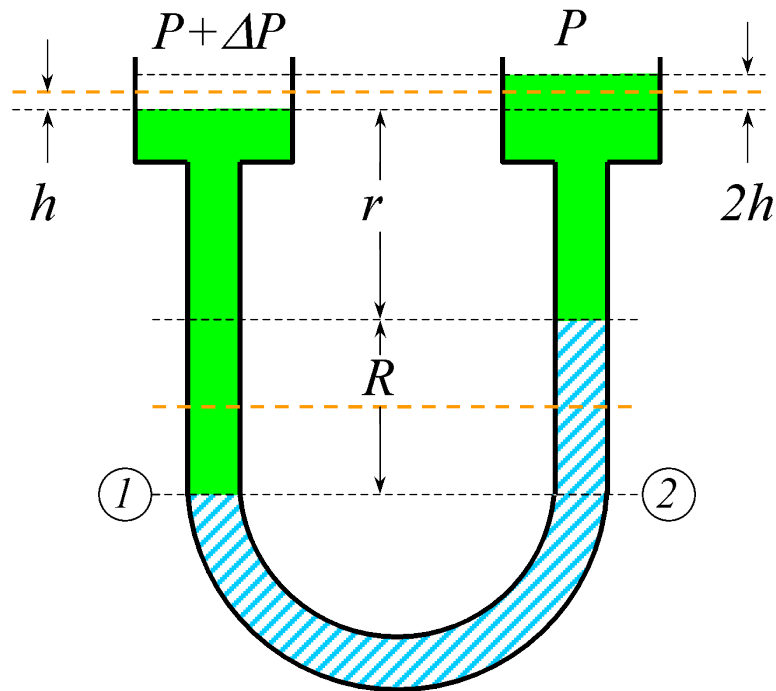
Alle akkumulatørene illustrert i Figur 4.16 virker ved at fluidet i det hydrauliske systemet legger press på et separasjonslegeme som gjør et arbeid på noe annet. I en stempelakkumulator er separasjonslegemet et stempel i en sylinder, og det blir gjort arbeid på en gass som komprimeres. I en blæreakkumulator er separasjonslegemet en blære med en gass på innsiden som komprimeres. I fjær- og vektakkumulatører er det også stempler som separasjonslegemer, men de lagrer potensiell energi ved å komprimere en fjær eller å løfte et vektlodd.

#### 4.3.4 Manometer

For enkel avlesning av trykket i sprøytesystemet kan det tas i bruk et manometer.

Et manometer er en trykkmåler for fluider. Det tas i bruk forskjellige prinsipper for måling av trykkforskjeller. Manometer flest viser trykket til et fluid i forhold til atmosfæretrykket. En u-tube er en enkel form for manometer vist i Figur 4.17. U-tuben virker ved at begge endene av tuben er eksponerte for forskjellige trykkforhold. I u-tuben er det en væske som har en kjent høyde når det ikke er noen trykkforskjeller. Når systemet man vil måle trykket i får en

trykkendring vil væskehøyden i u-tuben endres. Ved å anvende og tilpasse *Bernoullis* ligning, kan man da bestemme hvor stort trykket i systemet er. [28]



Figur 4.17: Skisse av u-tube manometer [47]

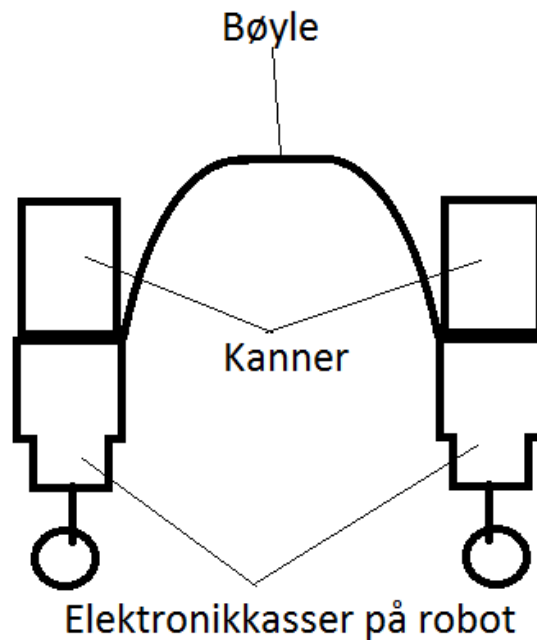
Et manometer har som regel analog viser, men kan også være digitalt.

#### 4.3.5 Tank

Tanken som brukes for oppbevaring av plantevernmidler som skal sprøytes må kunne romme en viss mengde sprøytemidler, og tåle å oppbevare disse. Som nevnt i delkapittel 3.1.3, er plantevernmiddelkannene de bruker på Vollebekk stort sett like. Disse kan derfor brukes som tanken og festes på roboten på et eller annet vis. Det er foreslått to konsepter på hvordan dette kan gjøres.

#### 4.3.5.1 Tankkonsept 1

Tanken kan settes over coveret til elektronikkassene på sidene av roboten, som vist i Figur 4.18. For bedre vektfordeling kan det da settes én kanne på hver side av roboten.



Figur 4.18: Tank på cover-konsept. Robot sett bakfra

For enkel utskifting av kanner, når de går tomme eller det skal sprøytes noe annet, foreslås det å bygge en bruskasselignende beholder for kannene, nesten som den vist i Figur 4.19. Denne beholderen kan skrus fast i roboten, og kassene vil stå fritt i denne. Kannene kan da enkelt løftes ut og settes i.

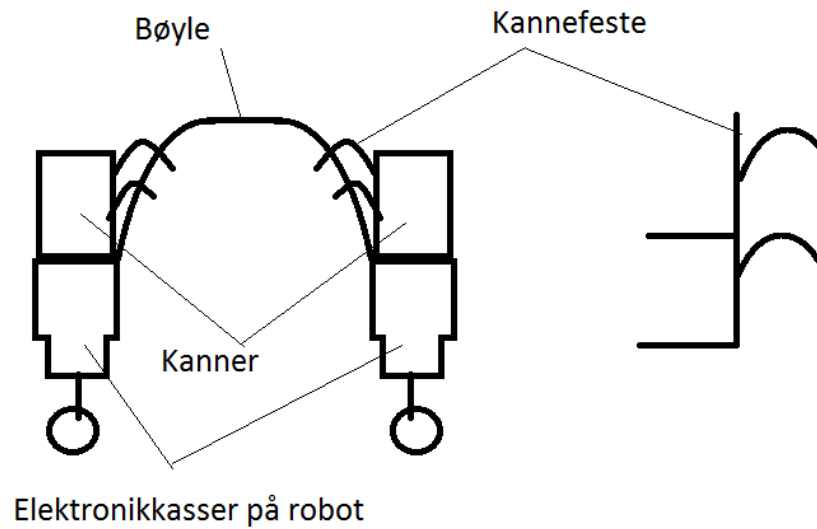


Figur 4.19: Bruskasse [48]



#### 4.3.5.2 Tankkonsept 2

Det andre konseptet for påmontering av kanner går ut på å lage et kannedefeste som hektes på bøylen til roboten, som vist i Figur 4.20. Kanna kan da stroppest fast i kannedefestet med et stroppebånd. Som i det forrige konseptet, kan det være lurt å sette en kanna på hver side for bedre vektfordeling.



Figur 4.20: Tank på bøyle-konsept. Robot sett bakfra

## 5 Konseptvurdering og valg

Ut ifra forutsetninger og konsepter i kapittel 4 bestemmes hvilke konsepter som skal videreutvikles. Konsepter og komponenter som skal brukes sammenlignes og velges ut ifra hvor godt de møter forutsetningene.

### 5.1 Høydereguleringsmekanisme for sprøytebom

Konseptene for høyderegulering, nevnt i delkapittel 4.2, vurderes etter hvor godt de møter forutsetningene i delkapittel 4.1.

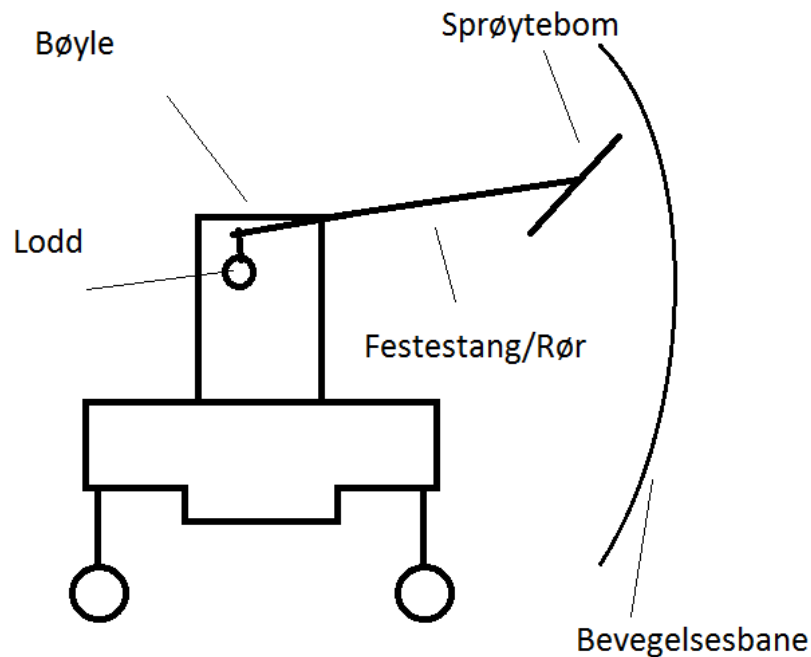
#### 5.1.1 Første konsept

Med vippemekanismen i det første konseptet vil høydereguleringen være veldig enkel. Bommen settes til ønsket høyde og strammes inn ved den høyden. Høydereguleringsmekanismen vil derfor lett kunne gjøres trinnløs.

Gitt at stangen som vippes mellom bøylene og sprøytebommen er lang nok, vil den også fint kunne reguleres innenfor det gitte høydeintervallet. Dette vil også være nødvendig om dysene ikke skal stå over roboten ved sprøyting i noen høyder. Omtrentlig bevegelsesbane er skissert i Figur 5.1.

Sprøytebommen og resten av verktøyet vil med dette konseptet til enhver tid stå over plantene som sprøytes, og vil derfor ikke subbe bort i plantene. Dysene vil derimot ikke peke ned til enhver tid. For at dette kravet skal stilles må orienteringen til sprøytebommen om lengden på den kunne reguleres. Manuell justering av dette kan være krevende å gjøre riktig hver gang høyden på bommen skal justeres.

Andre ting som kan by på problemer er momentet som oppstår om stangen mellom sprøytebommen og bøylene til roboten blir for lang. Dette kan føre til nedbøying og vanskelig innstramming i riktig sprøytehøyde. Momentet kan utjevnes ved bruk av et lodd på andre siden av stangen, men vil da kunne subbe bort i planter ved høy sprøyting. Hvordan dette konseptet vil se ut med et lodd er vist i Figur 5.1.



Figur 5.1: Vippekonsert med lodd

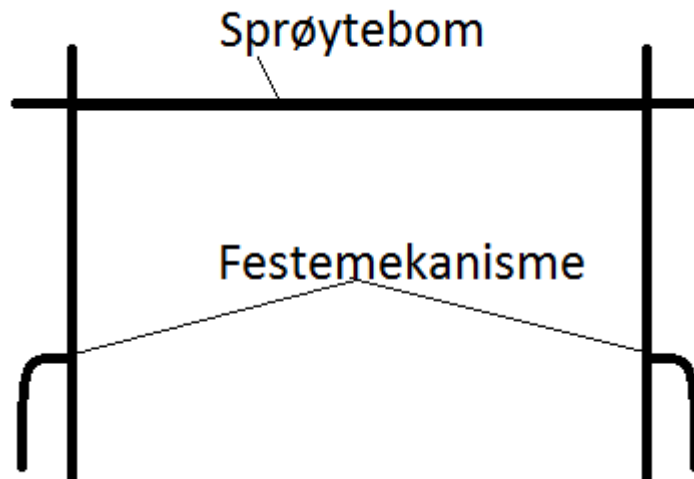
### 5.1.2 Andre konsept

Ved bruk av konseptet med loddrette stenger for påmontering av sprøytebom vil dysene til enhver tid peke rett ned uten behov for annen tilpasning. Høydereguleringen av bommen vil også virke enten trinnløst, eller med hakk om det ønskes.

Stengene i dette konseptet vil være i samme bredde som bøylene på landbruksroboten. Sprøytebommen vil også stå over det som skal sprøytes til enhver tid. Verktøyet vil derfor ikke i høyden eller bredden subbe i plantene som skal sprøytes.

Ulempene med dette konseptet vil da være at siden stengene festes på roboten i en høyere høyde enn minste sprøytehøyde, så vil den ikke kunne sprøyte helt nede ved 40cm høyde. Dette kan løses ved å bruke en festemekanisme som vist i Figur 5.2. Dette vil da gjøre verktøyet noe smalere, som igjen vil gjøre at det vil subbe bort i planter i bredden.

Verktøyet vil heller ikke stå bak roboten ved sprøyting, og vil derfor kunne ende opp med å sprute på roboten. Dette kan løses ved å bruke en festeløsning mellom stenger og sprøytebom som ligner på den i tredje konsept.



Figur 5.2: Stangkonssept med ny festemekanisme

### 5.1.3 Tredje konsept

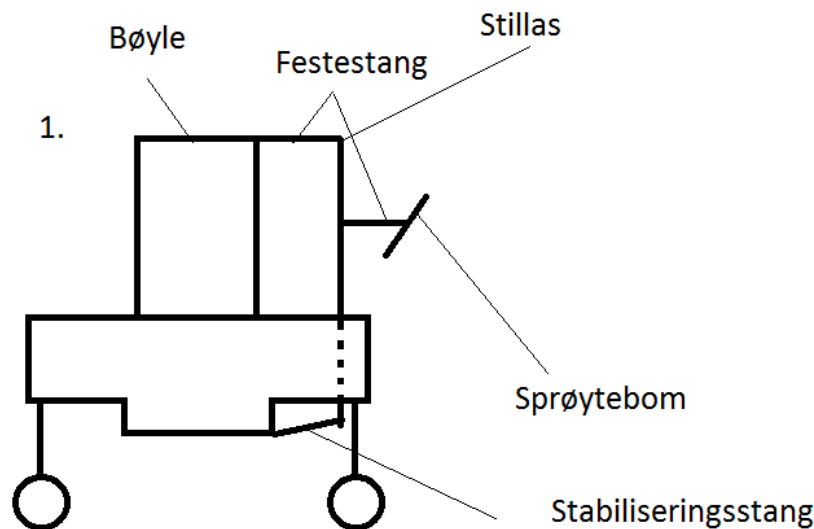
Konseptet med å montere et stillas på roboten er noe mer komplisert. Verktøyet vil her bestå av flere deler og mer materiale, og derfor være dyrere.

Høydereguleringen vil også i dette konseptet kunne gjøres enten trinnløst eller med hakk på 10cm. Stillaset har samme bredde og høyde som bøylen til roboten, og vil derfor ikke subbe bort i planter.

Hele sprøytebommen vil stå bak roboten ved alle høyder, så roboten vil da ikke bli truffet. Dysene vil også peke rett ned til enhver tid.

Denne løsningen vil ikke ha de samme problemene som de forrige konseptene, og møter derfor forutsetningene.

Et mulig problem ved dette konseptet er at bunnen av stillaset kan starte å gynte ved kjøring over ujevnt underlag. Dette kan reduseres ved bruk av stabiliseringsstenger nederst på stillaset, festet på roboten. Dette er forsøkt vist i Figur 5.3.



Figur 5.3: Stillaskonsept med støttestang for stabilisering

#### 5.1.4 Fjerde konsept

Det fjerde konseptet skiller seg ut fra de tidligere konseptene. Verktøyet er her utformet som en liggende stige som festes på bøylene til roboten. Med dette verktøyet vil dysene på sprøytebommen til enhver tid peke rett ned.

Med de fire festepunktene kan modulen festes i ønsket høyde og strammes fast, så løsningen vil derfor være trinnløs. Verktøyet kan veie litt, så det kan være lurt å bruke hakk på 10cm for regulering av høyde.

Sprøytebommen vil også alltid stå bak roboten, og verktøyet vil stå over plantene som sprøytes. Roboten vil derfor ikke bli truffet av sprøytemidler og heller ikke røre plantene som blir sprøytet.

Dette konseptet har samme problem med høydeintervallet den kan sprøyte i, som konsept to. Ved lav sprøyting vil ikke verktøyet kunne stå noe lavere enn ved bunnen av der bøylene festes.

#### 5.1.5 Valg av konsept for høyderegulering

Etter å ha vurdert de forskjellige konseptene for høyderegulering faller valget på det tredje konseptet, til tross for at verktøyet da vil kreve flere deler. Dette konseptet er det eneste som møter forutsetningene satt, uten betydelige modifikasjoner. Konseptet vil i designfasen videreutvikles til en versjon klar til bygging.

## 5.2 Hydraulisk system

For å bestemme hvilke hydrauliske komponenter som bør tas med i sprøytesystemet er det blitt gjort en test av et batteridrevet bærbart sprøyteverktøy. Verktøyet testet er en SOLO Accupower 416, vist i Figur 5.4.



Figur 5.4: Bærbart sprøyteverktøy [49]

SOLOsprøyta er drevet av en membranpumpe. Den har en spenningsbryter for regulering av væskestrømmen. Rett før dysen har den en manuelt styrt ventil og et manometer. [50]

Ut ifra testen av den bærbare sprøyta er det blitt bestemt at de hydrauliske komponentene som skal brukes i sprøytesystemet som skal bygges er: en Pumpe, et manometer og en elektrisk styrt lukkeventil. Det antas at en akkumulator ikke er nødvendig i sprøytesystemet som skal lages, fordi trykket i testen virket jevnt uten store plutselige endringer. Dette skyldes mest sannsynlig fleksibiliteten i slangene.

### 5.2.1 Valg av Pumpe

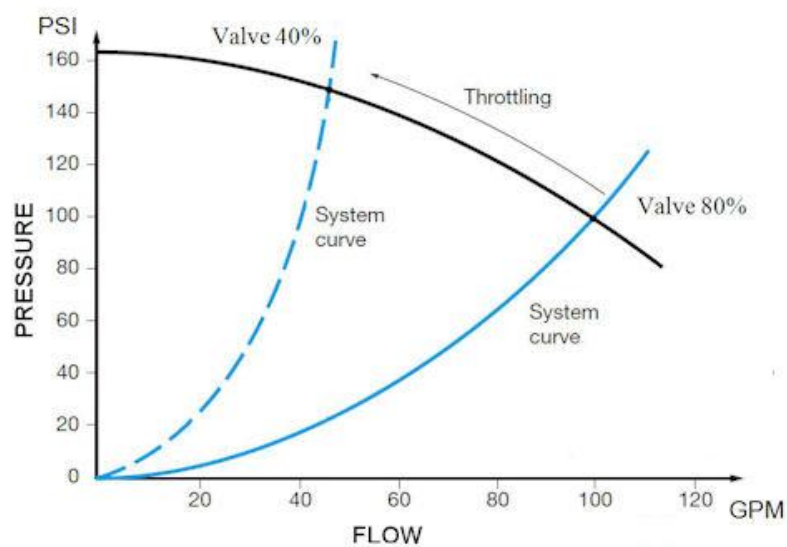
Typen Pumpe valgt er bestemt ut ifra hvor godt pumpa møter visse krav. De mest aktuelle kravene for pumpa er hvorvidt den tåler plantevernmidler, at pumpa kan levere ønsket

væskestrøm og trykk, pumpa må kunne gå tørt, og den må ha en viss løftehøyde på sugesiden. Pris er også en faktor, men kommer etter at alle de andre kravene er møtt.

Ved å se på oppbygningen til pumpene nevnt i delkapittel 4.3.1, kan man se at væsken i sentrifugalpumpa og propellpumpa er i direkte kontakt med legemet som påfører væsken et arbeid. Begge disse pumpene kan bygges i materialer som tåler sterkere væsker, men er som regel i støpejern. [51]

I membranpumper er kun pumpehuset og membranene i kontakt med væsken som pumpes. Disse delene av membranpumpa er ofte i plastmaterialer som egner seg for bruk med sterke væsker. [52]

Sentrifugalpumper og propellpumper egner seg for bruk ved store væskestrømmer og lavere trykkforhold. Ved ønsket trykk, altså inntil 4 bar, er væskestrømmen i slike pumper langt større enn 5L/min. I Figur 5.5 vises pumpekararakteristikken til en sentrifugalpumpe. Ved 60 psi, som tilsvarer rundt 4 bar, er på et sted i mellom 30 og 70 gallons per minutt, noe som tilsvarer rundt 100-250 L/min. Pumpekararakteristikken under gjelder for en bestemt Pumpe, men passer godt med trykk- og væskestrømforholdet til flere sentrifugalpumper. [53]



Figur 5.5: Pumpekararakteristikk sentrifugalpumpe [54]

For de ønskede trykk- og væskestrømforholdene egner en membranpumpe seg bedre. Disse er som nevnt bedre egnet for lave væskestrømmer og høyere trykk. Ved 4 bar trykk er en væskestrøm på 5L/min relativt lavt i forhold til mange andre pumper. [53]

I følge Cole-Parmer, som er en pumpeleverandør, er den eneste pumpa nevnt som kan gå tørt uten tilpassede smøreløsninger, membranpumpa. [55] Gitt at det ikke er noe mer enn atmosfæretrykk på sugesiden til pumpa, og at pumpa står høyere enn væsketanken, må pumpa ha en viss løftehøyde på sugesiden. Dette er for å unngå at pumpa skal kjøre tørt. Membranpumper egner seg også som løftepumper, og er derfor mest egnet for dette formålet.

Pumpa som i størst grad møter kravene stilt er membranpumpa. Sentrifugalpumper og propellpumper kan som nevnt tilpasses til å passe kravene, men må da bygges for forholdene.

OEM, som er en internasjonal pumpeleverandør, har også blitt kontaktet med kravene stilt, og mener også at en membranpumpe er mest egnet for dette formålet. [56]

## 5.2.2 Valg av lukkeventil

Ventilen som skal brukes for åpning og lukking av sprøytesystemet må kunne styres elektrisk. Andre viktige egenskaper er at den tåler trykkforholdene i systemet, rask åpning og lukking og pris. Den må også tåle sterke væsker. Ved rask lukking er det ønskelig med lukketider under ett sekund.

Av ventilene nevnt i delkapittel 4.3.2 er magnetventilen den eneste som kan styres elektrisk direkte. De andre ventilene er rent mekaniske, så det må påmonteres en elektrisk styrt akkumulator. Mekaniske ventiler med ferdig påmonterte akkumulatorløsninger er lett tilgjengelig, men er da mer kostbare.

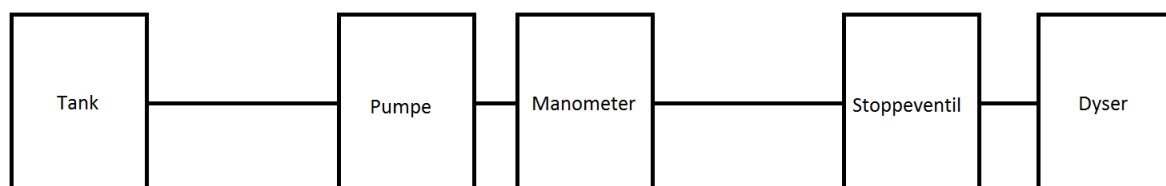
Magnetventilen har som tidligere nevnt veldig lave åpne- og lukketider. Denne ventilen er derfor mest egnet og vil bli brukt i oppgaven.

## 5.2.3 Valg av manometer

Det vil bli brukt et manometer i sprøyteverktøyet i oppgaven. Dette er for enkel avlesing av trykk. For prototypen vil det bli brukt et prisgunstig analogt manometer med aktuelt trykkintervall.

## 5.2.4 Valgte komponenter

Komponentene valgt er da en membranpumpe, en magnetventil, et analogt manometer og å bruke plantevernmiddelkannene til Vollebekk forsøksgård. Manometeret settes da rett etter pumpa, og stoppeventilen nærmest mulig dysene. Dette er for å forhindre forsinkelser mellom lengre rørstrekninger. I blokkdiagrammet i Figur 5.6 er dette illustrert ved kortere og lengre streker.



Figur 5.6: Nytt blokkdiagram



### **5.2.5 Valg av tankkonsept**

Begge konseptene for påmontering av sprøytemiddelkannene vil kunne brukes. Konseptet som velges å gå for er dog konseptet med et kannefeste som hektes på bøylen. Dette er fordi Thorvald-roboten skal være modulær, og det er derfor viktig å kunne avmontere verktøyene. Konseptet hvor kannebeholderen festes i coveret til elektronikkassene, vil kreve at det skrur fast på et eller annet vis, og vil da kreve et annet coverdesign.

### **5.2.6 Materialer for sprøytesystem**

En av forutsetningene er at delene i sprøytesystemet, som er i kontakt med plantevernmidlene som skal sprøytes, tåler det. Materialene som da brukes er materialer som brukes i andre sprøyteverktøy for sprøyting av plantevernmidler. Noen av materialene funnet som brukes i slike sprøyteapparater er: rustfritt stål [57], messing [58] og plast [59].

## 6 Produktarkitektur og konseptdesign

Nå som konseptet for høyderegulering er valgt må det designes og videreutvikles. Designtegningene i dette kapitlet er CAD-tegninger laget i SolidWorks.

### 6.1 Design av høydereguleringsmekanisme

Ved design av høydereguleringsmekanismen er det viktig at verktøyet passer grensespesifikasjonene satt i delkapittel 3.1. Konseptet som skal utarbeides er da konsept 3 fra delkapittel 5.1.3.

#### 6.1.1 Stillaset

Stillaset starter i samme høyde som toppen av bøylen til landbruksroboten, altså ved litt over 1800mm. Bredden på stillaset er også lik som bøylen, og er på litt over 1300mm. Høyden er på 1600mm, så den fint skal kunne dekke hele sprøyte høydeintervallet. Stillaset er vist i Figur 6.1.



Figur 6.1: Stillas

Diameteren på rørene i stillaset er lik som i rørene brukt i resten av Thorvald-rammen. Disse har en ytre diameter på 40mm, som er noe mindre enn bøylen 45mm rør. Dette er gjort for å kunne bruke samme type rør som på resten av roboten. De to festestengene mellom roboten og bøylen er i samme diameter som resten av stillaset. Tabell 6-1 viser de viktigste målene.

Tabell 6-1: Mål for stillas

STILLAS	VERDI
HØYDE	1600mm
INNVENDIG BREDDE	1300mm
BAKKEKLARING	1800mm
RØRDIAMETER	40mm

### 6.1.2 Løftearm

Løftearmen virker som et bindeledd mellom sprøytebommen og stillaset. Det er også denne delen som skal løftes opp og ned ved regulering av høyde. Armen har fester i hver ende som kan strammes med skruer i ønsket høyde. Det stikker også to mindre stenger ut av armen. Disse festes på sprøytebommen. En CAD-tegning av løftearmen er vist i Figur 6.2.



Figur 6.2: Løftearm

Lengden i mellom radien til festene er like lang som bredden til stillaset, altså litt over 1300mm. Radius til festet er på 20mm, med mulighet for innstramming. Diameteren til løftearmen er 40mm, av samme grunn som stillaset. Festestengene til sprøytebommen har samme diameter som bommen, altså 20mm. Avstanden mellom disse er på 1000mm. Målene er vist i Tabell 6-2.

Tabell 6-2: Mål for løftearm

LØFTEARM	VERDI
LENGDE MED FESTER	1300mm
FESTERADIUS	20mm
DIAMETER LØFTEARM	40mm
DIAMETER LØFTESTENGER	20mm
AVSTAND MELLOM LØFTESTENGER	1000mm

### 6.1.3 Støttestenger

Det ble i vurdering av konseptet nevnt bruk av støttestenger i bunnen av stillaset for å forhindre gynging og ustabilitet i stillaset. Slike støttestenger kan også avlaste tyngden til stillaset og større momenter som kan oppstå. Støttestengene er designet for å belastes mest mulig i høyderetning. Det er også tatt til hensyn at de ikke skal stå i veien for bevegelige deler, som hjulene til roboten. En CAD-tegning av støttestangen er vist i Figur 6.3. Støttestangen på den andre siden vil være speilvendt i forhold til den vist.



Figur 6.3: Støttestang

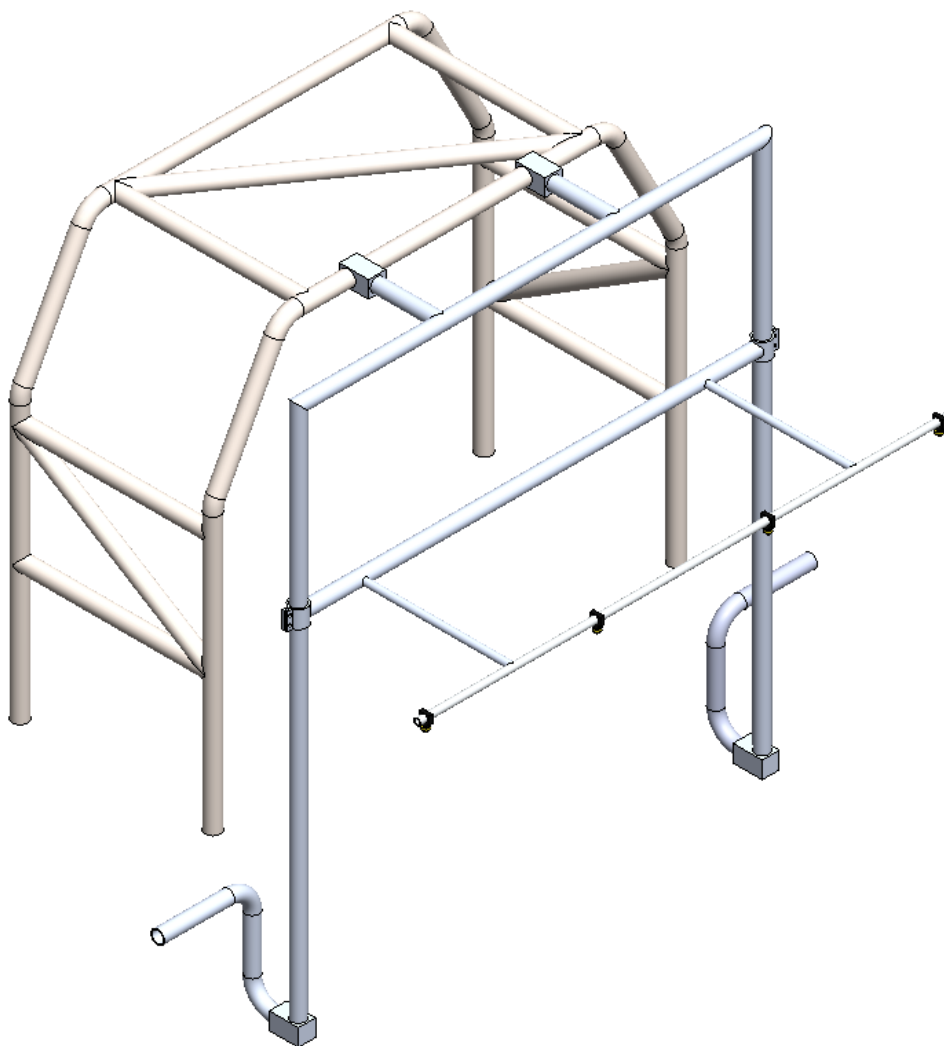
Det lange rette rørstykket til høyre i Figur 6.3 vil festes i ett av festene tilgjengelig på roboten. Denne delen er 206mm lang. Det korte rørstykket til venstre festes i bunnen av stillaset med en kobling. Lengden på denne biten er 40mm. Rørstykket i midten, mellom bøyene er 160mm langt. Bøyene har en radius på 50mm, og hele støttestangen har en diameter på 40mm, og er av samme type som robotrammen. For bedre oversikt er målene satt inn i Tabell 6-3.

Tabell 6-3: Mål for støttestang

STØTTESTANG	VERDI
LANGT RØRSTYKKE	206mm
KORT RØRSTYKKE	40mm
RØRSTYKKE MELLOM BØYER	160mm
RADIUS BØY	50mm
DIAMETER STØTTESTANG	40mm

#### 6.1.4 Sammenstilling

Hver del av høydereguleringsmekanismen er designet. I Figur 6.4 er en CAD-modell av verktøyet med alle delene, sprøytebom og bøyle vist. Festene mellom bøyle og stillas, og stillas og støttestenger er Rose+Krieger-klemmer, og er av samme typen som brukes i Thorvald-rammen. [60]



Figur 6.4: Sammenstilling av verktøy

## 6.2 Sprøytesystem

Typen komponenter som skal brukes i sprøytesystemet er valgt. Det må også bestemmes akkurat hvilke komponenter som skal brukes også. I tillegg til membranpumpen, magnetventilen og det analoge manometeret, må det også bestilles koblinger og slanger for å sette ting sammen. Delene som bestilles er alle i materialene som er nevnt i delkapittel 5.2.6, og møter forutsetningene om væskemengde og trykk. Grunnet tilgjengelighet er elektriske komponenter valgt i 24V i stedet for 48V som brukes på Thorvald. Dette kan løses med en strømomformer.

Etter at kravene for komponentene er stilt, er delene bestilt etter pris og tilgjengelighet. Butikker som NMBU er kunde hos, og har lager i Norge er prioritert.

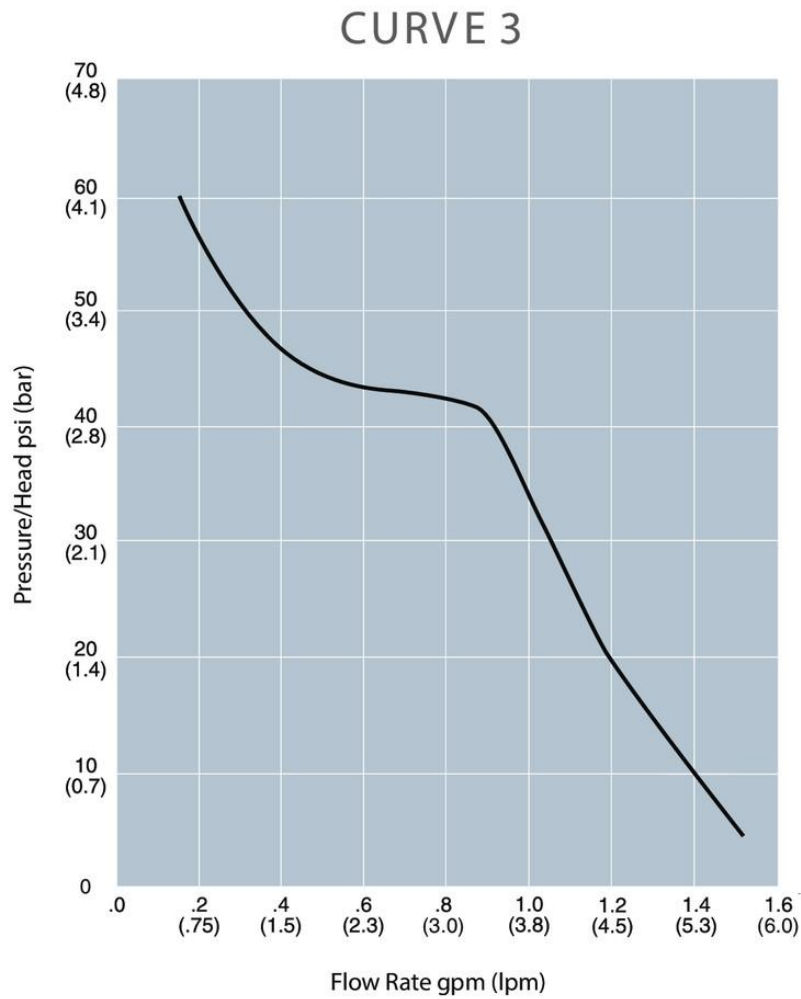
### 6.2.1 Pumpe

Pumpa bestilt er en FLOJET Duplex II membranpumpe, bestilt hos pumpeleverandøren OEM. [61] Pumpa leverer en maksimal væskestrøm på 6,1 L/min og et maksimalt trykk på 4,1 bar. Når dette trykket er nådd skrur pumpa seg av. Den er også selvsugende inntil 2,4m høyde, som vil si at den kan stå så høyt over tanken den pumper ifra. Pumpa er vist i Figur 6.5.



Figur 6.5: FLOJET membranpumpe [61]

I følge pumpekarakteristikken for pumpa, vist i Figur 6.6, skal den kunne levere mellom 1 og 4 bar trykk inntil 5L/min. Membranen i pumpa er i plast og skal derfor egne seg for bruk med plantevernmidler.



Figur 6.6: Pumpekarakteristikk [61]

## 6.2.2 Lukkeventil

Lukkeventilen bestilt er en Burkert Solenoid Valve 142240, levert av RS Components AS. [62] Dette er en magnetventil bygd i plast. I følge spesifikasjonene skal den kunne lukkes tett inntil 10 bar trykk. Åpnetiden er satt til maksimalt 60ms og lukketiden til 300ms.



Figur 6.7: Burkert Magnetventil [62]

### 6.2.3 Manometer

Manometeret bestilt er et WIKA 7203556, også levert av RS Components AS. [63] Dette analoge manometeret kan måle trykk i intervallet 0 til 10 bar. Pluggen som er i kontakt med væsken i systemet er av messing. Manometeret har ifølge leverandøren en nøyaktighet på  $\pm 2,5\%$ , noe som bør holde i et så lite trykkintervall.



Figur 6.8: WIKA Analogt manometer [63]





## 6.2.4 Slanger og koblinger

Slanger og koblinger er alt kjøpt hos TESS. [64] Delene er valgt etter veiledning av de ansatte hos TESS. Alle delene valgt skal tåle kravet om trykk inntil 4 bar, og tåle plantevernmidler. Delene er satt inn i Tabell 6-4. Materialet på delen som vil være i kontakt med væsken i sprøytesystemet er satt i tabellen.

Tabell 6-4: Oversikt over slange og koblinger kjøpt hos TESS. Alle bilder bortsett fra T-stykket er fra TESS sin nettbutikk [64]

DEL	MATERIALE	BILDE
<b>CEJN ESAFE KUPLING</b>	Messing	
<b>MILJØTEX SLANGE</b>	PVC Plast	
<b>ABA SLANGEKLEMME</b>	Syrefast stål	
<b>SLANGENIPPEL</b>	Messing	
<b>MUFFE</b>	Messing	

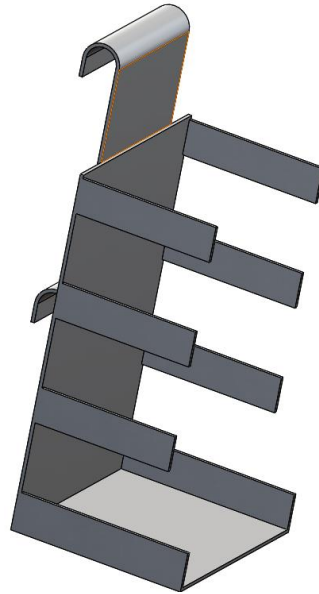
<b>OVERGANG</b>	Messing	
<b>T-STYKKE</b>	Messing	 [65]

### 6.3 Sprøytesystemfester

Alle delene til sprøytesystemet er valgt. Festesystemer mellom sprøytesystemet og høydereguleringssystemet må da designes.

#### 6.3.1 Kannefeste

Et kannefeste som passer de metriske spesifikasjonene til bøylen og roboten er designet. Som vist i CAD-tegningen i Figur 6.9, hektes det på bøylen med to kroker i forskjellige høyder. Det vil da påmonteres et slikt feste på hver side.



Figur 6.9: Kannefeste

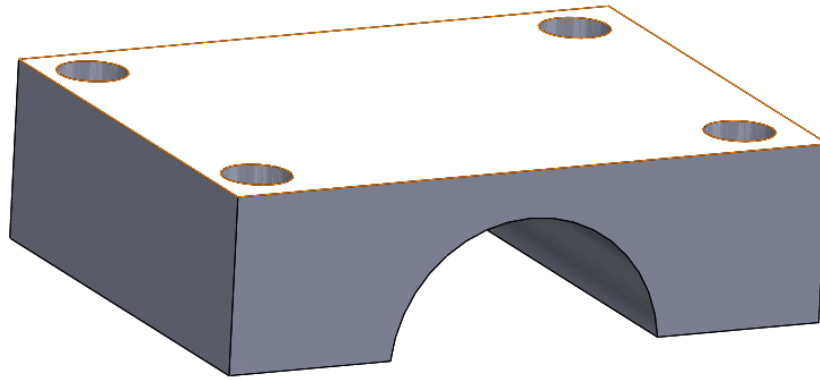
Kannefestet er designet slik at kannen akkurat passer i det. Krokene er designet til å akkurat kunne tres på stengene på siden av bøylene. Målene er satt i Tabell 6-5.

Tabell 6-5: Mål for kannefestet

KANNEFESTE	VERDI
BUNNPLATE BREDDE	300mm
BUNNPLATE LENGDE	250mm
BAKPLATE HØYDE	500mm
RADIUS KROK	22,5mm

### 6.3.2 Pumpefeste

For montering av pumpen er det designet uthullede klosser som kan festes på bøylene med skruer. Designet på klossen er inspirert av designet på Rose+Krieger-klemmene brukt på Thorvald. En CAD-tegning av klossen er vist i Figur 6.10.



Figur 6.10: Pumpefeste

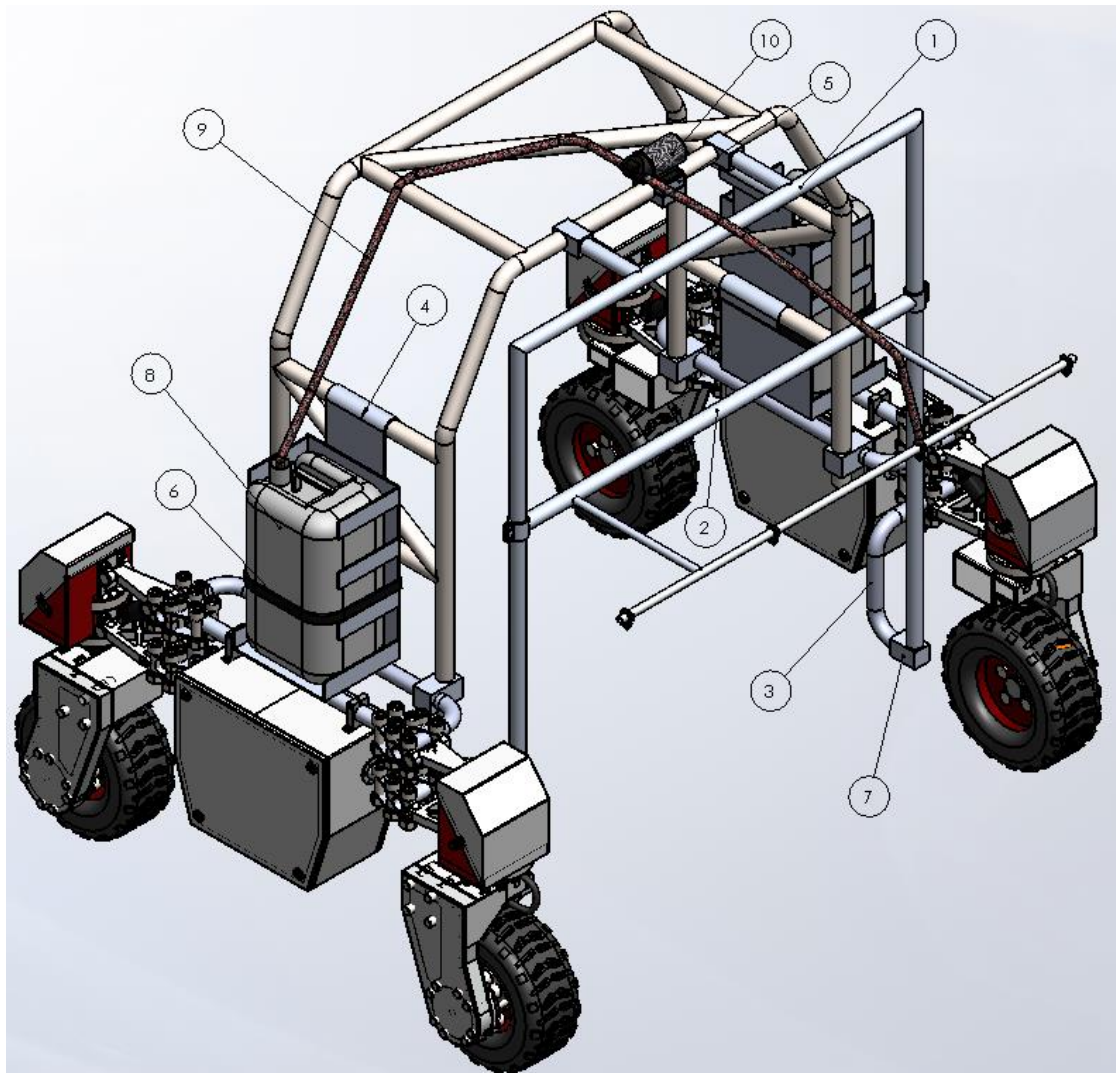
Målene passer med bunnplaten til pumpa. Relevante mål er satt i Tabell 6-6.

Tabell 6-6: Mål for pumpefeste

<b>PUMPEFESTE</b>	<b>VERDI</b>
<b>KLOSS BREDDE</b>	100mm
<b>KLOSS LENGDE</b>	76mm
<b>KLOSS HØYDE</b>	28mm
<b>HALVSIRKELHULL RADIUS</b>	22,5mm
<b>SKRUEHULL DIAMETER</b>	11mm

### 6.3.3 Sammenstilling

Hvordan det hele er satt sammen er vist i sammenstillingstegningen vist i Figur 6.11. Delene som er designet, inkludert pumpa, kanner, slange og fester er nummererte.



Figur 6.11: Sammenstilling med nummerering

En forklaring av hvert tall i sammenstillingstegningen er satt i Tabell 6-7.

Tabell 6-7: Nummerering av deler i sammenstilling

NUMMER	DEL
1	Stillas
2	Løftearm
3	Støttestang
4	Kanefeste
5	Pumpefeste
6	Stroppebånd
7	Rose+Krieger-klemmer
8	Kanne
9	Slange
10	Pumpe

I Figur 6.12 vises et dataprosessert bilde av Tora med sprøyteverktøyet. Dette gir et mer realistisk bilde av hvordan ting vil se ut.



*Figur 6.12: Sprøyteverktøy på Tora*



## 7 Bygging og testing av prototype

I denne delen skal prototypen bygges og testes. Alle deler til sprøytesystemet er blitt kjøpt inn, og må settes sammen. Etter at ting er satt sammen, blir sprøytesystemet testet.

### 7.1 Kostnader

Totalkostnad for delene i prototypen er beregnet. Da er ikke komponentene som er blitt tilegnet for utførelse av oppgaven inkludert, altså sprøytebom og kanne. Grunnet samarbeidet mellom NMBU og noen av leverandørene det er blitt handlet hos, er noen av delene rabatterte. Hos OEM er rabatten på 50% og hos TESS er den på 39%. Kostnadene er satt i Tabell 7-1.

Tabell 7-1: Kostnader for deler til prototype. For delene fra TESS er rabatten lagt inn i sum. Alle priser er i norske kroner

DEL	ENHETSPRIS (EKSKL. MVA)	ANTALL	SUM
MEMBRANPUMPE	1237,50	1	1237,50
MAGNETVENTIL	645,50	1	645,50
MANOMETER	81,26	1	81,26
KOBLING	309,00	1	188,49
SLANGE	per meter 47,00	2m	57,34
SLANGEKLEMMER	17,50	3	32,03
SLANGENIPPEL	44,00	3	73,20
MUFFE	92,00	2	112,24
OVERGANG	23,50	1	14,34
T-STYKKE	69,00	1	69,00
<b>SUM (EKSKL. MVA)</b>			<b>2510,90</b>
<b>SUM (INKL. MVA 25%)</b>			<b>3139,00</b>

### 7.2 Byggeprosess

Byggeprosessen går stort sett ut på å koble slanger og komponenter sammen. For å forhindre lekkasjer brukes det også gjengeteip på alle gjenger. Komponentene i systemet har forskjellige innganger og gjenger, noe som er tatt hensyn til ved innkjøp av koblinger og slange. Det er viktig at pumpa og ventilen kobles riktig, fordi begge kun virker i én retning.

Det er som nevnt i delkapittel 5.2.4 ønskelig med kort avstand mellom pumpe og manometer, og lukkeventil og dyser. Manometeret blir derfor festet rett på pumpa med koblinger, uten slanger i mellom. Dette gjøres også i mellom magnetventilen og sprøytebommen.



Først kobles t-stykket i membranpumpas trykkside, som vist i Figur 7.1. Deretter kobles manometeret på i toppen av t-stykket, med en overgang imellom. Alt strammes til det er tett og manometeret peker oppover for enkel avlesing.



Figur 7.1: Pumpe, t-stykke, overgang og manometer

I den andre enden av t-stykket kobles en slangenippel på. Over slangenippelen tres det på en slange, som strammes med en slangeklemme. Koblingen er vist i Figur 7.2.



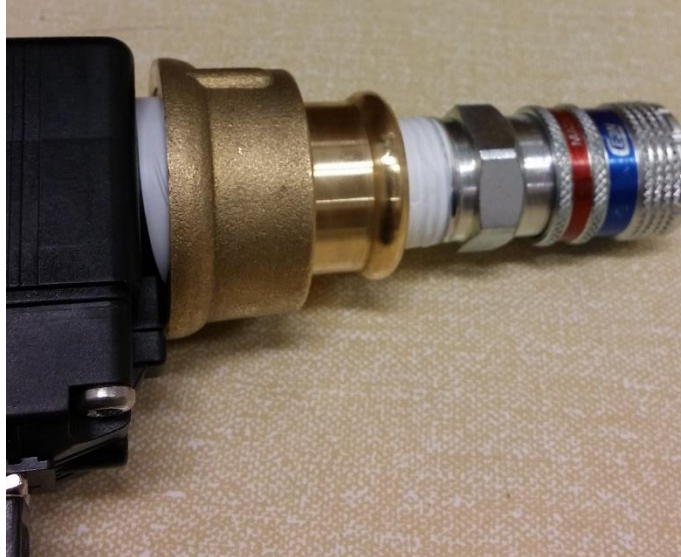
Figur 7.2: T-stykke, slangenippel, slange og slangeklemme

I slangens andre ende er lukkeventilen. På lukkeventilen kobles en muffe på. På muffen kobles det på en slangenippel. Deretter festes slangen på, på samme måte som i forrige steg. Denne delen er vist i



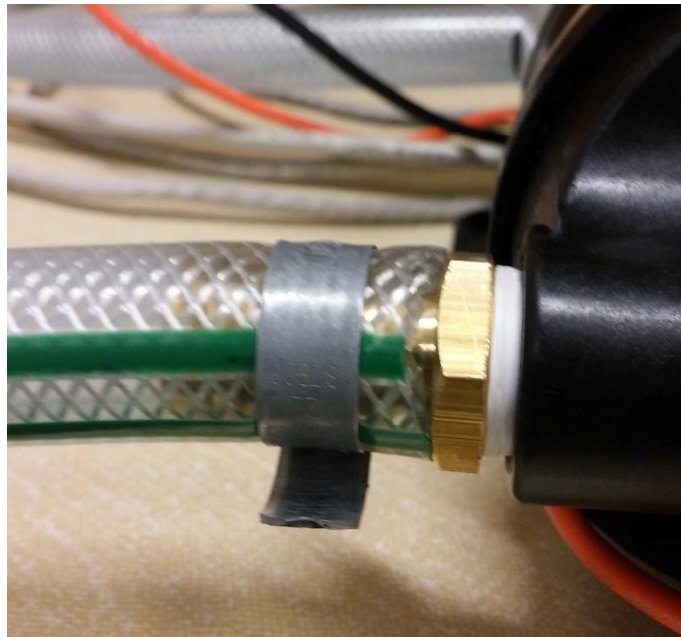
Figur 7.3: Magnetventil, muffe, slangenippel, slange og slangeklemme

På utløpet til lukkeventilen kobles det også på en muffe, som vist i Figur 7.4. Etter muffen kobles det på en kobling som kan klikkes på sprøytebommens ventil.



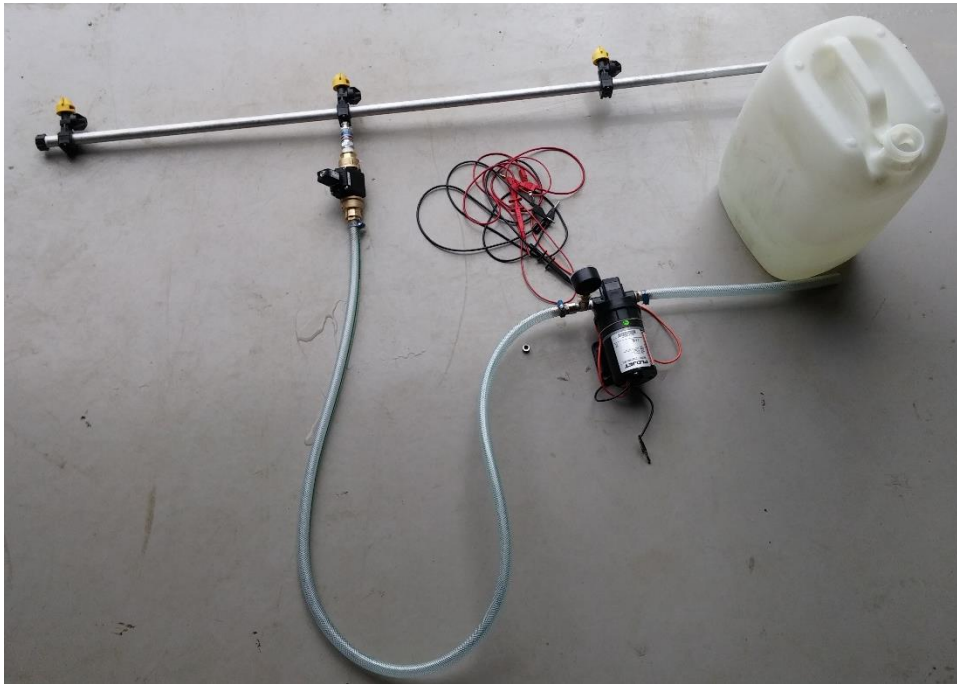
*Figur 7.4: Magnetventil, muffe og kobling*

Tilslutt kobles en slangebit på sugesiden av membranpumpa, som vist i Figur 7.5. Slangenippelen står da direkte på pumpa.



*Figur 7.5: Slange, slangeklemme, slangenippel og pumpe*

Hele oppsettet ser da ut som vist i Figur 7.6.



Figur 7.6: Hydrauliske komponenter koblet i et system

For klargjøring til test blir pumpa og lukkeventilen koblet til en strømforsyning via ledninger vist i Figur 7.6. Strømforsyningen og ledningene brukt er fra NMBUs robotlab.

### 7.3 Mål for testen

I testen av prototypen til sprøytesystemet blir det brukt vann. Strømforsyningen stilles til 24V og driver pumpa gjennom hele testen. For testing av lukketid på magnetventilen kobles den inn og ut.

Ting som skal testes er:

- Om oppsettet virker
- Om noe lekker
- Om pumpa går jevnt uten å skru seg av og på ofte
- Om pumpa tåler å kjøre tørt
- Om pumpa er selvsugende ved forskjellige høyder
- Hvor lang tid lukking og åpning tar av ventilen tar
- Om trykket er jevnt

## 7.4 Resultater og tolkning

Resultatene fra testen er vist i Tabell 7-2.

Tabell 7-2: Testresultater

<b>TESTET</b>	<b>RESULTAT</b>
<b>SYSTEMET VIRKER</b>	Ja
<b>LEKKASJER</b>	Nei
<b>PUMPA GÅR JEVNT</b>	Ja
<b>PUMPA KJØRER TØRT</b>	Ja
<b>PUMPA ER SELVSUGENDE</b>	Ja
<b>TID FOR ÅPNING</b>	Momentant
<b>TID FOR LUKKING</b>	500-600ms
<b>JEVNT TRYKK</b>	Ja

Pumpesystemprototypen og komponentene virker fint, og det er ingen lekkasjer i systemet. I testen ble pumpe kjørt tørt i ett minutt. Den lagde da ingen ulyder og virket helt fint igjen etter å ha satt vann i systemet.

Sugeevnen til pumpe ble testet ved å holde pumpe rundt 30cm over kannen, noe den klarte uten problemer.

Ved testing av tid for åpning og lukking av ventilen, gikk åpning så fort at det var vanskelig å måle. Lukketiden ble målt fem ganger, og sto jevnt i mellom 500 til 600ms. Dette er noe lengre enn maksimal lukketid oppgitt av leverandøren, men kan skyldes usikkerhetene ved manuell måling med stoppeklokke på mobiltelefon.

Når ventilen er åpen går pumpe jevnt og trykket målt holder seg stabilt. Så fort ventilen lukkes, bygger trykket seg fort opp til i overkant av 4 bar, og pumpe skrus av. Beslutningen om å ikke inkludere en akkumulator virker god.

## 8 Evaluering og videre arbeid

Sprøytesystemet til verktøyet er bygd og testet, men det gjenstår fortsatt en del før sprøyteverktøyet er ferdig. For å få alt klart til test av sprøyting med robot må først og fremst denne bygges. Høydereguleringsmekanismen og festene til verktøyet må også bygges og klargjøres til testing. Sprøytesystemet er heller ikke helt komplett.

### 8.1 Forbedringer av sprøytesystem

Ved testing av sprøytesystemet ble det som nevnt brukt en strømforsyning fra robotlaben. Sprøytesystemet må kunne kobles til batteriene på roboten. Batteriet som brukes i roboten er 48V DC, i mens membranpumpa og magnetventilen i sprøytesystemet drives av 24V DC. Dette kan som nevnt i delkapittel 6.2 løses ved bruk av en DC strømomformer.

Start og stopp må kunne styres av føreren av verktøyet, siden sprøyteverktøyet Vollebekk forsøksgård ønsker seg ikke skal være autonomt. For å gjøre dette anbefales det bruk av en programmerbar mikrokontroller, som for eksempel en Arduino. [66] Mikrokontrolleren kan da programmeres til å styre åpning og lukking av ventilen, og kobles inn i CAN-nettverket til landbruksroboten. Føreren av roboten vil da ha mulighet til å styre start og stopp av sprøyting.

Det bør også være en mulighet for å styre væskestrømmen til sprøytemodulen. Dette kan løses ved å koble pumpas motor i det samme systemet nevnt ovenfor. Ved å velge spenning over pumpen, kan mengden væske den leverer bestemmes. Hvor mye væske som leveres ved en gitt spenning er ikke oppgitt av leverandøren, og må derfor bestemmes ved testing.

Ved bruk av slike elektriske og elektroniske komponenter må også alle ledninger sikres mot vann og sprøytemidler. Sikring av komponentene og ledninger kan gjøres ved å plassere ting i elektronikkassene til roboten. For komponenter og ledninger som må stå utenfor bør det brukes fleksible plastbeskyttelser som tåler sprøytevernmidler.

### 8.2 Klargjøring av fullstendig verktøy

Høydereguleringsmekanismen og fester er ikke bygd. Før bygging av disse bør det gjøres styrkeberegninger og styrkesimuleringer på verktøyet. Materialer for verktøyet bør også vurderes. Gitt at landbruksroboten Tora virker som den skal når den er ferdigbygd, bør verktøyet da være klart til testing på Vollebekk forsøksgård.

### 8.3 Sprøyteverktøy til bruk overalt

Ved videreutvikling av verktøyet til bruk på andre steder enn Vollebekk forsøksgård, er det flere ting som bør gjøres.

Om systemet skal fungere helt autonomt må høydereguleringsmekanismen automatiseres. Én måte å gjøre dette på er ved å bruke en motor og motorkontroller for styring av sprøytebommen.

Ved sprøyting på større områder bør roboten med verktøyet selv kunne fylle på plantevernmidler. Sensorer som måler mengden plantevernmidler som er igjen er da nødvendig. Ved sprøyting av forskjellige sprøytemidler på samme åker, bør det også være mulighet for utskifting av sprøytemidler. Påfylling og utbytting av sprøytemidler kan da gjøres ved å ha en base roboten kjører til og henter plantevernmidler.

Om en bonde ønsker å bruke en annen bom, eller å sprøyte planter i andre høyder enn i denne oppgaven, bør verktøyet kunne tilpasses. Ved muligheter for valg av trykk og væskestrøm levert av pumpa, blir verktøyet mer allsidig. Bøylene og verktøyet bør også kunne leveres med andre høyder og bredder.

For å bestemme om hvor vidt landbruksroboten med sprøyteverktøyet kan konkurrere med eksisterende løsninger, må det gjøres en skikkelig kostnadsanalyse. Totalprisen for landbruksroboten med verktøyet, og drift av roboten, bør sammenlignes med pris og drift av eksisterende, konkurrerende løsninger.

Et presisjonssprøyteverktøy som sikter seg inn på pesten den vil fjerne, kan i større grad redusere bruken av plantevernmidler. Bygging av et sånt verktøy vil være mye mer komplisert, og vil kreve flere sensorer og en del programmering. Flere bevegelige deler vil også være nødvendig ved et sånt verktøy, men vil da også redusere bruken av sprøytemidler betydelig.

## 9 Konklusjon

Oppgaven gikk ut på å lage et sprøyteverktøy for NMBUs landbruksrobot. Sprøyteverktøyet er designet og sprøytesystemet er bygd.

Komponentene brukt i sprøytesystemet møter kravene satt for verktøyet, men er noe overdimensjonerte. Delene i sprøytesystemet er først og fremst kjøpt inn etter tilgjengelighet hos leverandørene, med pris som andre prioritet. Det er derfor mulig sprøytesystemet kunne blitt satt sammen av billigere komponenter.

Sprøytesystemet er testet og virker som forventet. Pumpa og magnetventilen brukt i sprøytesystemet går på 24V DC, og ikke 48V DC som landbruksroboten bruker. Ved montering på roboten må det da brukes en strømomformer. Det må også implementeres en form for strømstyring for åpning og lukking av magnetventilen, for å kunne styre start og stopp av sprøyteverktøyet. Strømstyringen av magnetventilen kan løses ved bruk av en programmerbar mikrokontroller.

Delene i sprøyteverktøyet er designet og målsatt. Det er også designet fester for komponentene i sprøytesystemet. Ved design av verktøyet har fokuset vært på enkel bygging og montering. Flere av delene designet bygger på bruk av samme materialer og mål som resten av den nye Thorvald-plattformen. Styrken til det designede verktøyet er dog ikke beregnet eller simulert, og kan måtte designes eller dimensjoneres om igjen.





## 10 Referanser

- [1] J. Diouf, «World Agriculture towards 2015/2030,» Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, 2002.
- [2] M. A. & A. W. K. Hamza, «Soil compaction in cropping systems: a review of the nature, causes and possible solutions,» Department of Agriculture, Western Australia, Albany, 2005.
- [3] PAN Germany, «Pesticides and health hazards - Facts and figures,» Pestizid Aktions-Netzwerk (PAN), Hamburg, 2012.
- [4] A. H. Dawson, M. Eddleston, L. Senarathna, F. Mohamed, I. Gawarammana, S. J. Bowe, G. Manuweera og N. A. Buckley, «Acute Human Lethal Toxicity of Agricultural Pesticides: A Prospective Cohort Study,» PubMed Central - US National Library of Medicine, 2010.
- [5] S. C. o. E. Bratberg, «Store norske leksikon,» 21 Mai 2014. [Internett]. Available: <https://snl.no/jordbruk>. [Funnet 20 April 2016].
- [6] W. D. Rasmussen, «Encyclopædia Britannica,» 29 September 2015. [Internett]. Available: <http://global.britannica.com/topic/agriculture#toc10760>. [Funnet 21 April 2016].
- [7] G. E. Fussell, «Encyclopædia Britannica,» 29 September 2015. [Internett]. Available: <http://global.britannica.com/topic/agriculture/Early-agricultural-societies>. [Funnet 21 April 2016].
- [8] K. Nair, «Encyclopædia Britannica,» 29 September 2015. [Internett]. Available: <http://global.britannica.com/topic/agriculture/Improvements-in-agriculture-in-the-West-200-bce-to-1600-ce>. [Funnet 21 April 2016].
- [9] K. Mellanby, «Encyclopædia Britannica,» 29 September 2015. [Internett]. Available: <http://global.britannica.com/topic/agriculture/Scientific-agriculture-the-20th-century#toc10678>. [Funnet 21 April 2016].
- [10] T. Hofsvang, «Store Norske Leksikon,» 14 Februar 2009. [Internett]. Available: <https://snl.no/plantevernmidler>. [Funnet 19 April 2016].
- [11] J. Unsworth, «International Union of Pure and Applied Chemistry,» 10 Mai 2010. [Internett]. Available: [http://agrochemicals.iupac.org/index.php?option=com\\_sobi2&sobi2Task=sobi2Details&catid=3&sobi2Id=31](http://agrochemicals.iupac.org/index.php?option=com_sobi2&sobi2Task=sobi2Details&catid=3&sobi2Id=31). [Funnet 22 April 2016].
- [12] J. Jules, «Purdue University,» 2008. [Internett]. Available: [https://hort.purdue.edu/newcrop/Hort\\_306/text/lec18.pdf](https://hort.purdue.edu/newcrop/Hort_306/text/lec18.pdf). [Funnet 22 April 2016].

- [13] S. C. K. Adam J. Lieberman, Facts versus fears - A review of the greatest unfounded health scares of recent times, New York: American council on science and health, 2004.
- [14] The Nobel Foundation, «Nobelprize.org,» Nobel Media A B, 2014. [Internett]. Available: [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/medicine/laureates/1948/](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1948/). [Funnet 25 April 2016].
- [15] L. Grimstad, «Powertrain, Steering and Control Components for the NMBU Agricultural Mobile Robotic Platform,» NMBU, Ås, 2014.
- [16] G. v. d. Meijden, «Pesticide Application Techniques in West-Africa,» Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998.
- [17] J. John W. Bartok, «UMassAmherst,» [Internett]. Available: <https://ag.umass.edu/fact-sheets/sprayers-spray-application-techniques>. [Funnet 10 April 2016].
- [18] D. C. Sharma, «Daily Mail,» 29 Mars 2013. [Internett]. Available: <http://www.dailymail.co.uk/indiahome/indianews/article-2299578/Toxic-spray-coming-way-Government-flouts-pest-control-norms-illegally-promoting-harmful-chemicals.html>. [Funnet 15 April 2016].
- [19] «Farmers Guide,» [Internett]. Available: <http://www.farmersguide.co.uk/page.aspx?p=219&article=2580>. [Funnet 15 April 2016].
- [20] «what-when-how,» [Internett]. Available: <http://what-when-how.com/flight/crop-dusting/>. [Funnet 13 April 2016].
- [21] M. Linn, «USA Today,» 29 Juni 2006. [Internett]. Available: [http://usatoday30.usatoday.com/news/nation/2006-06-29-crop-dusters\\_x.htm](http://usatoday30.usatoday.com/news/nation/2006-06-29-crop-dusters_x.htm). [Funnet 13 April 2016].
- [22] D. G. Johnson, «Store Norske Leksikon,» 14 Februar 2009. [Internett]. Available: <https://snl.no/pumpe>. [Funnet 19 April 2016].
- [23] J. A. Engan, Forfatter, *TPS210 - Transport av væsker og gasser - Pumper*. [Performance]. NMBU, 2014.
- [24] O. Skjeggedal, «Store Norske Leksikon,» 14 Februar 2009. [Internett]. Available: <https://snl.no/fortrengningspumpe>. [Funnet 19 April 2016].
- [25] R. Mathisen, «Norwegian Digital Learning Arena,» [Internett]. Available: <http://ndla.no/nb/node/123159>. [Funnet 19 April 2016].
- [26] S. Arasmith, «Introduction to Pumping Systems,» i *Introduction to Small Water Systems*, Albany, Alaska Department of Environmental Conservation, 2009, pp. 197-208.

- [27] «TPUB Integrated Publishing,» [Internett]. Available: <http://nuclearpowertraining.tpub.com/h1018v1/css/Figure-1-Centrifugal-Pump-96.htm>. [Funnet 25 April 2016].
- [28] J. B. F. E. John Finmore, Fluid Mechanics with Engineering Applications, Tenth Edition, New York: McGraw-Hill, 2009.
- [29] PumpKart, «PumpKart,» 30 Oktober 2015. [Internett]. Available: <http://blog.pumpkart.com/what-are-pump-impellers-and-its-types/>. [Funnet 25 April 2016].
- [30] Encyclopædia Britannica, «Encyclopædia Britannica,» 02 Mai 2014. [Internett]. Available: <http://global.britannica.com/technology/pump#ref17069>. [Funnet 26 April 2016].
- [31] «Encyclopædia Britannica,» [Internett]. Available: <http://global.britannica.com/technology/axial-flow-centrifugal-pump>. [Funnet 26 April 2016].
- [32] TABLA, «TABLA Pumps,» [Internett]. Available: <http://www.tablapump.com/generalinfo/how-pricepumps-work.php>. [Funnet 26 April 2016].
- [33] O. Skjeggedal, «Store Norske Leksikon,» 14 Februar 2009. [Internett]. Available: <https://snl.no/diafragmapumpe>. [Funnet 26 April 2016].
- [34] V. Havellen, «Store Norske Leksikon,» 30 November 2015. [Internett]. Available: [https://snl.no/ventil%2Fi\\_r%C3%B8rledning](https://snl.no/ventil%2Fi_r%C3%B8rledning). [Funnet 20 April 2016].
- [35] Valve Manufacturers Association of America, «VMA,» [Internett]. Available: <http://www.vma.org/?CommonValveTypes>. [Funnet 1 Mai 2016].
- [36] Norsk Olje og Gass, Ventilteknikk - Håndbok, Norsk Olje og Gass, 2013.
- [37] «Innva,» [Internett]. Available: <http://innva.no/wp-content/uploads/2015/03/Sluseventil-kort.jpg>. [Funnet 4 Mai 2016].
- [38] «Wikipedia,» [Internett]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/File:Globe\\_valve\\_diagram-en.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Globe_valve_diagram-en.svg). [Funnet 04 Mai 2016].
- [39] «KSB,» [Internett]. Available: <https://www.ksb.com/blob/160662/6eb828ce2fb5c71add700ac7a0034ee0/az-pluggventiler-headerimage-data.jpg>. [Funnet 04 Mai 2016].

- [40] «Wikipedia,» [Internett]. Available: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/52/Seccion\\_valvula\\_de\\_bola.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/52/Seccion_valvula_de_bola.jpg). [Funnet 04 Mai 2016].
- [41] Parker Hannifin Corporation Engineering Staff, «theNEWS,» 25 Juli 2003. [Internett]. Available: <http://www.achrnews.com/articles/92540-understanding-solenoid-valves>. [Funnet 01 Mai 2016].
- [42] N. Nesse, «Store Norske Leksikon,» 13 Juli 2015. [Internett]. Available: <https://snl.no/magnetventil>. [Funnet 01 Mai 2016].
- [43] «Wikipedia,» [Internett]. Available: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/6f/Solenoid\\_Valve.svg/2000px-Solenoid\\_Valve.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/6f/Solenoid_Valve.svg/2000px-Solenoid_Valve.svg.png). [Funnet 04 Mai 2016].
- [44] B. Pedersen, «Store Norske Leksikon,» 14 Desember 2015. [Internett]. Available: <https://snl.no/v%C3%A6ske>. [Funnet 25 April 2016].
- [45] G. Andresen, «Store Norske Leksikon,» 14 Februar 2009. [Internett]. Available: <https://snl.no/akkumulator>. [Funnet 01 Mai 2016].
- [46] Tobul Accumulator, Inc, «Tobul Accumulator,» [Internett]. Available: [http://www.tobul.com/index.php?option=com\\_content&task=view&id=13&Itemid=27](http://www.tobul.com/index.php?option=com_content&task=view&id=13&Itemid=27). [Funnet 25 April 2016].
- [47] D. F. A. Morrison, «Michigan Tech - Department of Chemical Engineering,» [Internett]. Available: [http://www.chem.mtu.edu/~fmorriso/cm310/Homework\\_1\\_2003.html](http://www.chem.mtu.edu/~fmorriso/cm310/Homework_1_2003.html). [Funnet 27 April 2016].
- [48] «Rentpack,» [Internett]. Available: <http://rentpack.no/ytteremballasje/rentpack-gul-10-roms-kasse-article519-222.html>. [Funnet 20 April 2016].
- [49] «Solo,» [Internett]. Available: <http://solo-germany.com/>. [Funnet 29 April 2016].
- [50] SOLO Germany, «SOLO,» Februar 2012. [Internett]. Available: [http://solo-germany.com/files/plprot\\_motspray/download\\_dateien\\_en/gba\\_416\\_105\\_\\_02\\_2012.pdf](http://solo-germany.com/files/plprot_motspray/download_dateien_en/gba_416_105__02_2012.pdf). [Funnet 29 April 2016].
- [51] «Engineering 360,» IEEE GlobalSpec, [Internett]. Available: [http://www.globalspec.com/learnmore/flow\\_transfer\\_control/pumps/centrifugal\\_pumps](http://www.globalspec.com/learnmore/flow_transfer_control/pumps/centrifugal_pumps). [Funnet 29 April 2016].
- [52] «Engineering 360,» IEEE GlobalSpec, [Internett]. Available: [http://www.globalspec.com/learnmore/flow\\_transfer\\_control/pumps/diaphragm\\_pumps](http://www.globalspec.com/learnmore/flow_transfer_control/pumps/diaphragm_pumps). [Funnet 29 April 2016].

- [53] PumpScout, «PumpScout - Pump Types Guide,» 2014. [Internett]. Available: <http://www.pumpscout.com/articles-scout-guide/pump-types-guide-aid100.html>. [Funnet 30 April 2016].
- [54] T. Blevins, «Modeling and Control,» 04 Mars 2014. [Internett]. Available: <http://modelingandcontrol.com/2014/03/flow-control-centrifugal-pump/>. [Funnet 30 April 2016].
- [55] «Cole-Parmer - Fluid Handling and Analysis,» [Internett]. Available: <http://www.coleparmer.com/TechLibraryArticle/621#anchor4>. [Funnet 30 April 2016].
- [56] M. Mannermaa, Interviewee, *Valg av pumpe*. [Intervju]. 04 Mars 2016.
- [57] «CHAPIN,» [Internett]. Available: <https://chapinmfg.com/Product/slug/chapin-1739-2-gallon-industrial-stainless-steel-sprayer>. [Funnet 04 Mai 2016].
- [58] «Agrofog,» [Internett]. Available: <http://www.agrofog.com/products/pest-control-equipment/pesticide-sprayer/pesticide-spraying-equipment-10/>. [Funnet 04 Mai 2016].
- [59] «The Home Depot,» [Internett]. Available: <http://www.homedepot.com/p/Roundup-2-gal-All-in-1-Multi-Nozzle-Sprayer-190459/205730091>. [Funnet 04 Mai 2016].
- [60] «RK Rose+Krieger,» [Internett]. Available: <https://www.rk-rose-krieger.com/english/products/tube-connecting-system/solid-clamps-aluminium/>. [Funnet 05 Mai 2016].
- [61] «OEM Automatic,» [Internett]. Available: [http://www.oem.no/Produkter/Pumper/Membranpumper/El-drevne\\_membranpumper/Duplex\\_II\\_membranpumpe/2159559-1574700.html](http://www.oem.no/Produkter/Pumper/Membranpumper/El-drevne_membranpumper/Duplex_II_membranpumpe/2159559-1574700.html). [Funnet 04 Mai 2016].
- [62] «RS Components AS,» [Internett]. Available: <https://no.rs-online.com/web/p/solenoid-valves/3885006/?searchTerm=388-5006&relevancy-data=636F3D3126696E3D4931384E525353746F636B4E756D6265724D504E266C753D656E266D6D3D6D61746368616C6C26706D3D5E5C647B337D5B5C732D2F255C2E2C5D5C647B332C347D2426706F3D31342673>. [Funnet 04 Mai 2016].
- [63] «RS Components AS,» [Internett]. Available: <http://no.rs-online.com/web/p/analogue-positive-pressure-gauges/4055593/?searchTerm=wika+7203566&autocorrected=y&relevancy-data=636F3D3226696E3D4931384E44656661756C74266C753D6E6F266D6D3D6D61746368616C6C7061727469616C26706D3D5E5B5C707B4C7D5C707B4E647D5C707>. [Funnet 04 Mai 2016].

- [64] «TESS Industrinett,» [Internett]. Available:  
<http://www.industrinett.no/wsp/tess/frontend.cgi?template=home>. [Funnet 06 Mai 2016].
- [65] «Grene,» [Internett]. Available:  
[https://shop.grene.com/pics/watermarked/9/9400/9400-207018\\_h.jpg](https://shop.grene.com/pics/watermarked/9/9400/9400-207018_h.jpg). [Funnet 10 Mai 2016].
- [66] «Arduino,» [Internett]. Available:  
<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>. [Funnet 14 Mai 2016].
- [67] «Engineering,» [Internett]. Available:  
[http://www.globalspec.com/learnmore/flow\\_transfer\\_control/pumps/centrifugal\\_pumps](http://www.globalspec.com/learnmore/flow_transfer_control/pumps/centrifugal_pumps).







Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
67 23 00 00  
[www.nmbu.no](http://www.nmbu.no)