



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

**Masteroppgave 2020 30 stp.**  
Fakultet for realfag og teknologi

# **Utvikling av høstebeholder til den autonome landbruksroboten Thorvald**

Development of a harvesting container for the autonomous agriculture robot Thorvald

**Max Larsen**

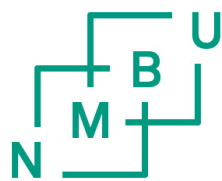
Maskin, prosess- og produktutvikling - sivilingeniør



# Utvikling av høstebeholder til den autonome landbruksroboten Thorvald

av

Max Larsen



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

Masteroppgave – Maskin-, prosess- og produktutvikling

NMBU – Fakultet for realfag og teknologi



---

# Forord

Denne prosjektrapporten er mitt avsluttende arbeid i Maskin, prosess- og produktutvikling på Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Graden tildeler tittelen sivilingeniør i maskiningeniørfaget og omhandler over 900 bruttotimer med arbeid.

Etter fire og et halvt år med produktutviklingstudier ønsket jeg at masteroppgaven min skulle involvere flere ingeniørfag. Robotikk er en av mine store interesser så en masteroppgave som involverte Thorvald med fokus på produktutvikling var perfekt. Det har også vært veldig givende å jobbe med et produkt som er nyskapende og har muligheten for å revolusjonere jordbruksindustrien.

Det rettes en stor takk til veilederen min, førsteamanuensis Ph.d. Lars Grimstad, for å ha hjulpet meg gjennom min største akademiske utfordring. Jeg vil også takke professor Ph.d. Pål Johan From og hele robotikkfakultetet ved NMBU og Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC Rio) for en lærerik og fortreffelig tur til Brasil. Førsteamanuensis D.Sc. Jan Kåre Bøe har hjulpet med utformingen av rapporten og jeg er veldig takknemlig for veiledningen hans. En takk utdeles også til alle som besvarte spørreundersøkelsen.

Jeg vil også takke mine foreldre og storebroren min for drøftelser og motivasjon.

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

Ås, 1. juni 2020



Max Hagetrø Larsen



---

# Sammendrag

Denne gradsoppgaven omhandler produktutviklingen av høstebeholderen til den autonome roboten Thorvald. Thorvald er en lettvekts landbruksrobot som har blitt utviklet ved NMBU, Ås siden 2014. Thorvald ble utviklet for å substituere diverse oppgaver til den tradisjonelle traktoren. Roboten er elektrisk drevet og har gjennom årene blitt videreutviklet til å bli en plattform som er svært modulær.

I sammenheng med Thorvald ble det i 2018 opprettet et prosjekt kalt GrassRobotics. GrassRobotics er et prosjekt hvor det utvikles utstyr til Thorvald for å automatisere og forbedre høsting av grovfôr.

Gradsoppgaven oppsummerer moderne og tradisjonelle produktutviklingsmetoder, retningslinjer og prosesser innenfor ingeniørfaget. Et fullstendig produkt utvikles fra oppdragsgivers idé til et prototypeklart produkt. Rapporten inneholder også utviklings- og markedsanalyser som blir vektet opp mot det ferdige produktet.

Gjennom dette arbeidet har det blitt utviklet en høstebeholder til den autonome jordbruksroboten Thorvald. Beholderen veier 62 kg og har et internvolum på  $1,5 \text{ m}^3$ . Dette betyr at en Thorvald med nyttelast på 400 kg kan frakte 338 kg gras med massetetthet ned mot  $230 \text{ kg/m}^3$  per tur hvis utstyret for å plukke gras bærer sin egen vekt. Beholderen er utstyrt med lastceller som Thorvald kan bruke til autonome avgjørelser. En produksjon på 2000 beholdere har anslått produksjonskostnad på 24 400 kr per beholder og anslått salgspris på 55 000 kr per beholder. Beholderen forbruker ca. 312 W i 20 sekunder per lossing.





---

# Summary

This dissertation entails the product development of a harvesting container for the autonomous robot Thorvald. Thorvald is a lightweight agricultural robot that has been developed at The Norwegian University of Life Sciences in Ås since 2014. Thorvald was developed to substitute various tasks of the traditionally used tractor. The robot is electrically driven and has undergone development to become a very modular platform.

With Thorvald in mind, there was in 2018 created a project called GrassRobotics. GrassRobotics is a project that develops equipment for Thorvald to automate and improve the harvesting of forage.

The thesis summarizes modern product development methods, guidelines and processes from the engineering field. A final product is developed from an initial idea to a prototype ready product. The report also includes development and market analysis which is to be compared with the finished product.

Throughout this work, a harvesting container for the autonomous agricultural robot Thorvald was developed. The container weighs 62 kg with an internal volume of 1,5  $m^3$ . This means that a Thorvald with a load capacity of 400 kg is able to transport 338 kg of grass with a density as low as 230  $kg/m^3$  per turn, assuming the equipment picking the grass carries its own weight. The container is equipped with load cells for autonomous decision making. With a production of 2000 containers the expected production cost is NOK 24 400 per container and a reasonable sales price will be NOK 55 000. The container consumes about 312 W for 20 seconds when unloading the grass.



---

# Innholdsfortegnelse

Forord	i
Sammendrag	ii
Summary	iii
Innholdsfortegnelse	iv
<b>1 Innledning</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Grovfør	1
1.3 Grashøstingens historie	2
1.4 Problematikken bak dagens innhøstingsmetoder	3
1.4.1 Jordpakking	3
1.4.2 Høstearealer med helninger	4
1.5 Roboten Thorvald	5
<b>2 Markeds- og utviklingspotensiale</b>	<b>6</b>
2.1 Aktører	6
2.2 Konkurrenter	6
2.3 Konkurrentanalyse	8
2.3.1 Traktor med utstyr	8
2.3.2 Autonome traktorer med utstyr	9
2.3.3 Fullstendige løsninger	10
2.4 Utviklingsstatus for Thorvaldplattformen	11
2.5 Potensialet til Thorvaldplattformen	12
<b>3 Prosjektplanlegging</b>	<b>14</b>
3.1 Oppdragsbeskrivelse	14
3.1.1 Kravspesifikasjoner	14
3.2 Prosjekt mål	15
3.2.1 Hovedmål	15
3.2.2 Delmål	15
3.3 Arbeidsplan	16
3.4 Kartlegging av teknologiske flaskehalsar	17
3.5 Begrensninger	17
<b>4 Metodebeskrivelse</b>	<b>18</b>
4.1 Terminologi og begreper	18
4.1.1 Begrepsforklaring	18
4.1.2 Symboler	19
4.1.3 Formler	20
4.2 Metodebruk	21
4.2.1 Integrert produktutvikling (IPD)	21
4.2.2 Pughs metode	22
4.2.3 Osbornes SCAMPER	22
4.2.4 Quality function deployment	22

---

4.3	Løsningsverktøy . . . . .	23
4.4	Kvalitetssikring . . . . .	23
4.5	Prosesstrinn . . . . .	23
<b>5</b>	<b>Teori- og teknologiutredning</b>	<b>25</b>
5.1	Gras og grovfôr . . . . .	25
5.1.1	Optimalt høstetidspunkt . . . . .	25
5.2	Grunnlagsberegninger . . . . .	27
5.2.1	Thorvald . . . . .	27
5.2.2	Maksimal graslast . . . . .	28
5.2.3	Vinkel for at gras skal kunne skli . . . . .	28
5.2.4	Størrelse på losseåpning . . . . .	29
<b>6</b>	<b>Produktspesifisering</b>	<b>33</b>
6.1	Produktmålsetting . . . . .	33
6.1.1	Hovedmål . . . . .	33
6.1.2	Delmål . . . . .	33
6.2	Vekting av viktige produkttegenskaper . . . . .	34
6.3	Metriske grensespesifikasjoner, variasjonsbredde . . . . .	36
6.4	Metriske grovspefiseringer for produkttypen . . . . .	37
<b>7</b>	<b>Konseptgenerering</b>	<b>38</b>
7.1	Funksjonsanalyse . . . . .	38
7.2	Funksjonsalternativer . . . . .	39
7.2.1	Lossing a) . . . . .	39
7.2.2	Måling b) . . . . .	41
7.2.3	Oppbevare gras d) . . . . .	42
7.3	Tidligvurdering av brukspåkjenninger . . . . .	44
7.4	Form og bruksestetikk . . . . .	45
<b>8</b>	<b>Egenscreening og konseptvalg</b>	<b>46</b>
8.1	Utvikling av seleksjonsmatrise . . . . .	46
8.2	Egen konseptscreening . . . . .	46
8.2.1	Konseptscreening av lossekonsepter . . . . .	46
8.2.2	Styrskonvergens - lossemekanismer . . . . .	48
8.2.3	Styrskonvergens - elektriske skyvedører . . . . .	49
8.2.4	Styrskonvergens - låsemekanismer . . . . .	51
8.2.5	Konseptscreening av beholderkonsepter . . . . .	52
8.2.6	Konseptscreening av plasseringskonsepter . . . . .	53
8.2.7	Konseptscreening av festekonsepter . . . . .	54
8.2.8	Konseptscreening av målingskonsepter . . . . .	55
8.2.9	Konseptscreening av materialvalg . . . . .	56
8.2.10	Styrskonvergens - fremstilling . . . . .	57
8.2.11	Styrskonvergens - plastikkvalg . . . . .	58
8.3	SCAMPER . . . . .	58
8.4	Form- og estetikkvalg . . . . .	60
8.5	Resulterende konsept . . . . .	61
<b>9</b>	<b>Eksternscreening</b>	<b>63</b>

---

9.1	Målsettinger for testing . . . . .	63
9.2	Valg av testpopulasjon . . . . .	63
9.3	Innhold og form på spørreundersøkelsen . . . . .	64
9.4	Spørreundersøkelse resultater . . . . .	64
9.4.1	Spørsmål 1 . . . . .	64
9.4.2	Spørsmål 2 . . . . .	64
9.4.3	Spørsmål 3 . . . . .	65
9.4.4	Spørsmål 4 . . . . .	65
9.4.5	Spørsmål 5 . . . . .	65
9.4.6	Spørsmål 6 . . . . .	66
9.4.7	Kommentarer . . . . .	66
9.5	Spørreundersøkelse refleksjoner . . . . .	66
<b>10</b>	<b>Design revisjon</b>	<b>68</b>
10.1	Lossekonsept . . . . .	68
10.2	Valg av endelig konsept . . . . .	71
<b>11</b>	<b>Produktarkitektur og konseptdesign</b>	<b>73</b>
11.1	Sammenstilling . . . . .	73
11.2	Design av komponenter . . . . .	77
11.3	Modulisering og standardkomponenter . . . . .	81
<b>12</b>	<b>Robusthet, vedlikehold og resirkulering</b>	<b>82</b>
12.1	Materialegenskaper . . . . .	82
12.2	Lastbildet . . . . .	82
12.3	Kontaktflate simulering . . . . .	83
12.4	FEM analyse . . . . .	85
12.5	Overflatebehandling og vedlikehold . . . . .	89
12.6	Miljøkrav og resirkulering . . . . .	89
<b>13</b>	<b>Fremstilling og produksjonskostnader</b>	<b>92</b>
13.1	Produksjonsmetoder . . . . .	92
13.1.1	Prototype . . . . .	92
13.1.2	Serieproduksjon . . . . .	92
13.2	Kostnads kalkyle for prototype . . . . .	93
13.3	Kostnadsanalyse for serieproduksjon . . . . .	94
<b>14</b>	<b>Markedspresentasjon</b>	<b>98</b>
<b>15</b>	<b>Prosessevaluering og diskusjon</b>	<b>100</b>
15.1	Teorigrunnlag . . . . .	100
15.2	Konseptutviklingsarbeidet . . . . .	100
15.3	Design revisjon . . . . .	101
15.4	Målsetting . . . . .	101
<b>16</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>102</b>
16.1	Delmål oppfyllelse . . . . .	102
16.2	Hovedmål oppfyllelse . . . . .	103
16.3	Anbefalinger . . . . .	103

---

16.4 Videre arbeid . . . . .	103
<b>Referanser</b>	<b>105</b>
<b>Vedlegg</b>	<b>112</b>
A1 Spørreundersøkelse . . . . .	112
A2 Teknisk tegning - assembly . . . . .	112
A3 Teknisk tegning - beholder . . . . .	112
A4 Teknisk tegning - lukedør . . . . .	112
A5 Teknisk tegning - beholderfeste . . . . .	112

---

# 1 Innledning

Innledningsvis i rapporten kartlegges Thorvalds historie, historien til tradisjonelle høsteverktøy og utfordringer med moderne høstemetoder for å gi leseren et bilde av hvorfor GrassRobotics og denne masteroppgaven ble opprettet.

## 1.1 Bakgrunn

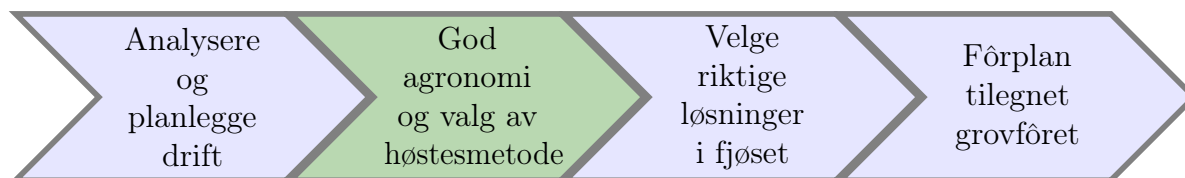
Roboten Thorvald ble designet og bygget i 2014 som en del av et mastergradsprosjekt ved NMBU (den gang UMB). Roboten var designet for å kunne gjøre ulike oppgaver på jordet. Gjennom masteroppgaver og forskningsprosjekter ble det laget utstyr til roboten. Thorvald ble videreutviklet til Thorvald II i 2016 og i 2018 ble det opprettet et prosjekt ved NMBU kalt GrassRobotics. GrassRoboticsprosjektet har som mål å utvikle et bærekraftig produksjonssystem for grovfôrproduksjon. For å oppnå dette målet utvikles det slå-, plukke- og frakteutstyr til Thorvald gjennom masteroppgaver ved NMBU. Denne masteroppgaven omhandler utviklingen av frakteutstyret.

## 1.2 Grovfôr

Bedre grasdyrking og bedre grovfôr kvalitet kan styrke økonomien for mange melkeprodusenter. Bedre grovfôrproduksjon kan i mange tilfeller veie opp for mye av det økonomiske tapet som følger av lavere melkekvoter og mindre produksjon.

Gras er det helt dominerende fôret i norsk melkeproduksjon. I diskusjonen rundt kraftfôr og import av råvarer som vi ikke kan dyrke i Norge, for eksempel soya, blir det lett glemt at norskprodusert gras er den desidert største energi- og proteinkilden i norske fjøs. Verdien av norsk grasproduksjon er anslått til ti milliarder kroner. Bare én prosent effektivisering betyr 100 millioner kroner.

Bedre kvalitet og fordøyelighet på grovfôret reduserer kraftfôrforbruket. Hvis for eksempel kua sitt daglige grovfôrinntak øker fra 10 kilo tørrstoff til 11-12 kilo tørrstoff, kan kraftfôrmengden reduseres med 1-2 kilo. Kraftfôr er dyrt så redusert kraftfôrmengde vil føre til økonomisk gevinst. (Felleskjøpet, 2020)



**Figur 1.1:** Oversikt over veien til bedre og billigere grovfôr. Det grønne steget er fokuset i denne rapporten. (Felleskjøpet, 2020)

Ved å forbedre grovføret sin kvalitet og øke kvantiteten til en lavere kostnad vil Thorvald fylle et behov i markedet.

### 1.3 Grashøstingens historie

Innhøsting, eller høsting, er prosessen med å samle, hente eller berge en avling eller en høst. Man kan høste korn, frukt, nøtter, blomster, blad, gras, fiber- og oljeplanter. Fokuset i denne rapporten er innhøsting av gras til bruk som fôr.

Det første jordbruksredskapet som ble brukt til høsting av avlinger er sigden. Sigden er et landbruksredskap som består av et kort håndtak og et halvmåneformet skjæreblad. Sigder brukes til å skjære gras og høste korn for hånd. Etter sigden kom ljåen. Ljåen er et landbruksredskap som holdes med begge hender; ljåen føres langs bakken i en svingende rytmisk bevegelse, fram og tilbake, mens brukeren beveger seg framover, skritt for skritt. (Wikipedia, 2020a)(Wikipedia, 2020b)(Wikipedia, 2020c)

Senere ble avlingene kuttet med slåmaskiner som brukte kniver som beveget seg frem og tilbake. Slåmaskinene ble som regel drevet av kyr eller hester. Utviklingen av dampmaskinen i 1858 førte til at avlingene kunne behandles på et sentralt område, nærme åkrene. Utviklingen av forbrenningsmotoren gjorde det mulig å kombinere kuttingen, behandlingen og rensingen av avlingene. Denne nye maskinen fikk navnet “combine” som ble ‘kombi” og senere “skurtresker” på norsk. I 1889 ble den første traktoren med forbrenningsmotor bygd. På 1930 tallet ble høykompresjons dieselmotorer brukt og ble veldig populære.(Srivastava et al., 1993)

Dagens traktorer er veldig sofistikerte og har alt fra elektrisk styrt hydraulikk til oppvarmede seter. I dag blir det oftest brukt en slåmaskin som er festet på bakenden av



---

traktorer til å slå gras. Straks etter slåttene kan en begynne med vendingen. Det gjelder å få vannprosenten ned fra ca. 80 og til 45 - 40 prosent på kortest mulig tid og slik at det ikke kommer regn på høyet. Når vannprosenten er kommet ned i ca. 50 bør en bare foreta en forsiktig strenglegging slik at høyet kan ligge i ro til det er tørt nok for innkjøring. Til vending og strenglegging finnes det mange maskiner på markedet. Det er maskiner som bare er vendere, maskiner som bare river og det er maskiner som klarer begge deler, venderivere.

Lessevogna er det mest aktuelle redskapet til oppsamling og innkjøring der det er litt omfang på høyproduksjonen og ikke for lang vei mellom jordet og høytørka. Med lang vei mellom jordet og høytørka, når rundetiden for lessevogna kommer opp mot en time, er det aktuelt å skille oppsamling og transport. En rundballepresse kan da være et aktuelt oppsamlingsutstyr og lastebiler eller store traktortilhengere brukes til transporten.(Engstad, 2017)

## 1.4 Problematikken bak dagens innhøstingsmetoder

Det er forbedringspotensiale i høsting av grovfôr ved å endre høstemetode. I dette delkapittelet kartlegges problematikken bak dagens innhøstingsmetoder.

### 1.4.1 Jordpakking

I naturlig tilstand består god kulturjord av 40-50 volumprosent vann- og luftfylte porer, resten er fast organisk eller mineralisk materiale. Pakkingen av jord skjer ved at luft og vann blir presset ut av porene i underlaget på grunn av trykkpåkjenningen fra traktorer og andre tunge maskiner. Jordpakking fører til at jorden ikke lenger får naturlig luftskifte og infiltrasjon av vann. Dette påvirker rotutvikling, den biologiske aktiviteten og dermed utnyttningen av næringsstoff.

En viss jordpakking etter jordbearbeiding og såing er nødvendig for at frø og planterøtter skal få tilstrekkelig jordkontakt, og for å hindre uttørking av det øverste jordlaget. For optimal plantevekst bør volumprosenten av luft og vann reduseres til 42-48% ved mekanisk tromling eller pakking etter jordbearbeiding.

---

Dersom totallasten til en landbruksmaskin, for eksempel en maskin for høsting av gras, er så tung at avtrykk i marken får forplante seg dypere enn området hvor jordarbeidning og naturlige prosesser kan rette opp strukturen i jorden, vil pakkingskadene gradvis bli akkumulert som dyppakking. Dyppakkingskadene er svært vanskelige å forebygge med vanlige naturtiltak. Når jorden er fuktig forplanter trykket fra maskinen seg enda lettere nedover i jorden, samtidig blir markflaten og rotområdet lettere ødelagt. Grashøsting med fôr høster gir lav høstekapasitet i forhold til maskintyngden og motoreffekten som er tilgjengelig hos traktoren. (Morken et al., 2003)

### 1.4.2 Høstearealer med helninger

Mange moderne høstemetoder bruker utstyr med høyt tyngdepunkt. Et høyt tyngdepunkt fører til at utstyret er mindre stabilt mot velting som igjen fører til at det blir problematisk å høste grovfôr i områder hvor det er helninger eller sterk vind. I områder hvor det er mye helninger har det blitt utviklet spesialbygde traktorer med lavere tyngdepunkt.



**Figur 1.2:** Aebi TP 410 - Transporter. (Aebi, 2019a)



**Figur 1.3:** Aebi TT 211 utstyrt med kutter. (Aebi, 2019b)

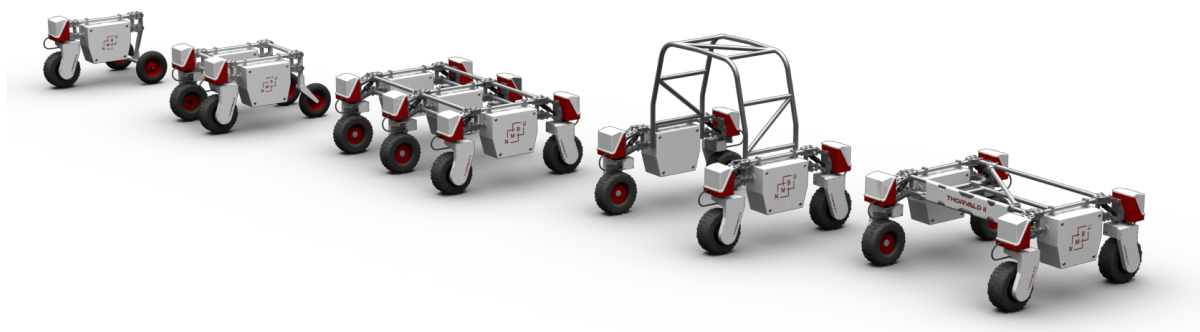
Traktorer med lavere tyngdepunkt har ofte fordelt oppgaver, en redskapsbærer og en transportvogn. Helninger fører også til at våt jord er mer påvirket av jorderosjon. Disse traktorene er derfor også lettere enn en tradisjonell traktor.

---

## 1.5 Roboten Thorvald

Ved NMBU i Ås, med professor Ph.d. Pål Johan From som veileder, ble det i 2014 utviklet en lettvekt landbruksrobot, som hadde til hensikt å ta over diverse oppgaver fra den tradisjonelt brukte traktoren. Roboten, som kalles Thorvald, er elektrisk drevet og har gjennom årene blitt videreutviklet til å bli en plattform som er svært modulær. Med en modulær plattform kan Thorvaldenheter konstrueres etter behov. Antall hjul og drivenheter, samt størrelse og utstyr kan tilpasses. Utstyr utvikles til roboten for å utføre oppgaver både på jordet og i drivhus.

Thorvald har en nominell hastighet på 5 km/t. Med motorer med svært nøyaktig tilbakekobling kan den operere veldig nøyaktig og presist. Det siktes da til et konsept med flere små førerløse autonome roboter som har muligheten for å gi individuell behandling til avlinger, slik det ble gjort før den industrielle revolusjon og mekaniseringen av landbruket i Norge. (Grelland og Isaksen, 2018)



**Figur 1.4:** Konfigurasjoner av Thorvald som er egnet til diverse oppgaver.(Saga, 2019)

---

## 2 Markeds- og utviklingspotensiale

For å få et klart bilde av Thorvald sitt konkurransefortrinn innen høsteverktøy utføres det en konkurrentanalyse. I dette kapittelet analyseres også Thorvaldplattformen sin utviklingsstatus og -potensiale.

### 2.1 Aktører


GrassRoboticsprosjektet mottar finansiering fra fondet for forskningsavgift på landbruksprodukter (FFL) og fondet for forskningsmidler over jordbruksavtalen (JA).

Prosjektet har også samarbeid med NIBIO, Norsk landbruksrådgivning Agder, Saga Robotics, Fylkesmannen i Vestland, HMR Voss, Orkel, University of Lincoln, Felleskjøpet Agri og TINE.

### 2.2 Konkurrenter

For å få en idé om hvordan høstestutstyret til Thorvald kan ha et konkurransefortrinn analyseres konkurrerende høsteverktøy. Den fullstendige høsteløsningen til Thorvald sammenlignes med høstemaskiner og høsteverktøy med autonome og ikke autonome traktorer.

**Tabell 2.1:** Konkurrerende løsninger

Bilde	Produktbeskrivelse
Traktorutstyr	
	<b>Rundballepresse</b> En rundballepresse er en type høyballepresse i form av et traktorredskap som hovedsakelig brukes til å presse sammen gras, høy eller halm til rundballer. (Orkel, 2019) <b>Pris:</b> ca. 900 000 kr

**Tabell 2.1 forts.:** Konkurrerende løsninger

Bilde	Produktbeskrivelse
	<p style="text-align: center;"><b>Fôrhøster + tilhenger</b></p> <p>En fôrhøster er et traktorredskap som brukes til å høste gras. Fôrhøsteren er sidemontert i en ramme som henger i trepunktsløftet på en traktor. Den drives av traktorens kraftuttak.(Felleskjøpet, 2019b)</p> <p><b>Pris:</b> ca. 200 000 kr</p>
	<p style="text-align: center;"><b>Lessevogn</b></p> <p>En lessevogn er et en vogn der gras blir plukket opp i front av beholderen og lastet inn i vognen fra bunn. (Claas, 2019)</p> <p><b>Pris:</b> ca. 600 000 kr</p>
<b>Traktorer</b>	
	<p style="text-align: center;"><b>Ordinær traktor</b></p> <p>Den ordinære traktoren er et stor og sterkt kjøretøy som er designet for å bære utstyr som brukes i landbruk. (Felleskjøpet, 2019a)</p> <p><b>Pris:</b> ca. 2 000 000 kr</p>
	<p style="text-align: center;"><b>Autonom traktor</b></p> <p>Det blir utviklet prototyper av autonome traktorer som kan drives uten fører av merker som CNH Industrial og John Deere. (CNH, 2019)</p> <p><b>Pris:</b> Ukjent</p>

**Tabell 2.1 forts.:** Konkurrerende løsninger

Bilde	Produktbeskrivelse
Fullstendige løsninger	
	<p><b>Transporter</b></p> <p>Unitrac transportere er små traktorer designet for transportering av gras i terreng med helninger. (Aebi, 2019a)</p> <p><b>Pris:</b> ca. 1 000 000 kr</p>
Utviklingskonsept	
	<p><b>Thorvald med høsteutstyr</b></p> <p>Thorvald er utstyrt med plukkeutstyr og høstebeholder.</p> <p><b>Pris:</b> ca. 300 000 kr</p>

## 2.3 Konkurrentanalyse

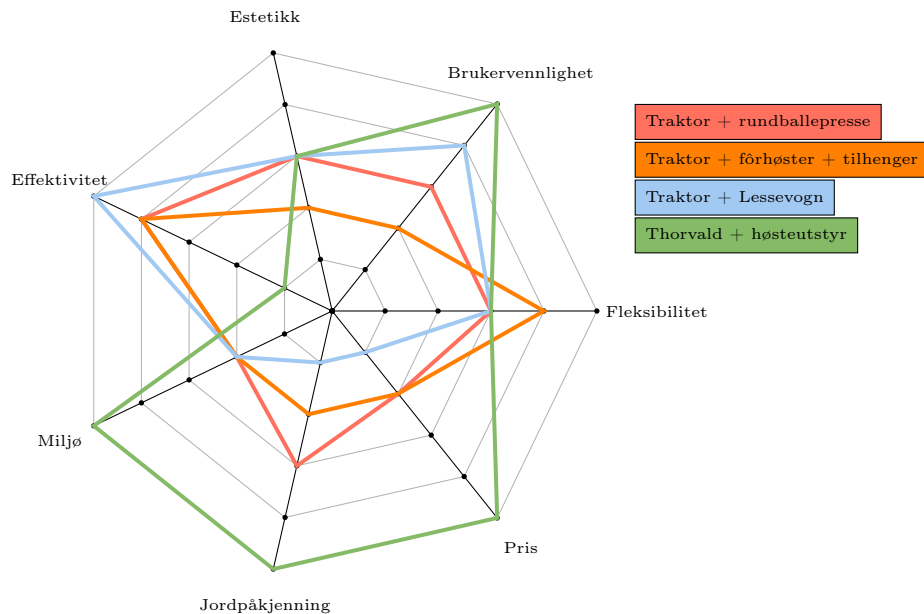
For å visualisere Thorvald sitt konkurransefortrinn ovenfor konkurrenter presenteres kvalitetene til løsningene i radardiagram. I radardiagrammene vektes 7 kvaliteter; estetikk, brukervennlighet, fleksibilitet, pris, jordpåkjenning, miljø og effektivitet/kapasitet. Kvalitetene vektes på en skala fra 1 til 5. 5 (ytterste heptagon) representerer at høsteløsningen er ledende innenfor kvaliteten og 1 (innerste heptagon) representerer at høsteløsningen møter kvaliteten dårlig. Alle konkurrentene blir vurdert kvalitativt med grunnlag i data, der det er tilgjengelig.

Radardiagrammene er delt inn i 3 grupper, traktorer med utstyr, autonome traktorer med utstyr og fullstendige løsninger.

### 2.3.1 Traktor med utstyr

Traktorer med utstyr vil generelt skåre høyt på fleksibilitet siden traktorene også kan brukes til andre oppgaver. Traktorene vil skåre lavt på jordpåkjenninger og miljø på grunn av høy vekt og fossilt drivstoff. Brukervennligheten til traktorene vil også skåre lavere enn Thorvald fordi traktorene må styres manuelt.

Thorvald skårer høyt på miljø og jordpåkjenninger på grunn av lav vekt og elektrisk driv. Brukervennlighet vil også skåre høyt siden Thorvald kan høste og frakte grovføret autonomt. Thorvald skårer høyt på fleksibilitet fordi Thorvaldplattformen også kan brukes til andre oppgaver, som for eksempel datainnsamling.



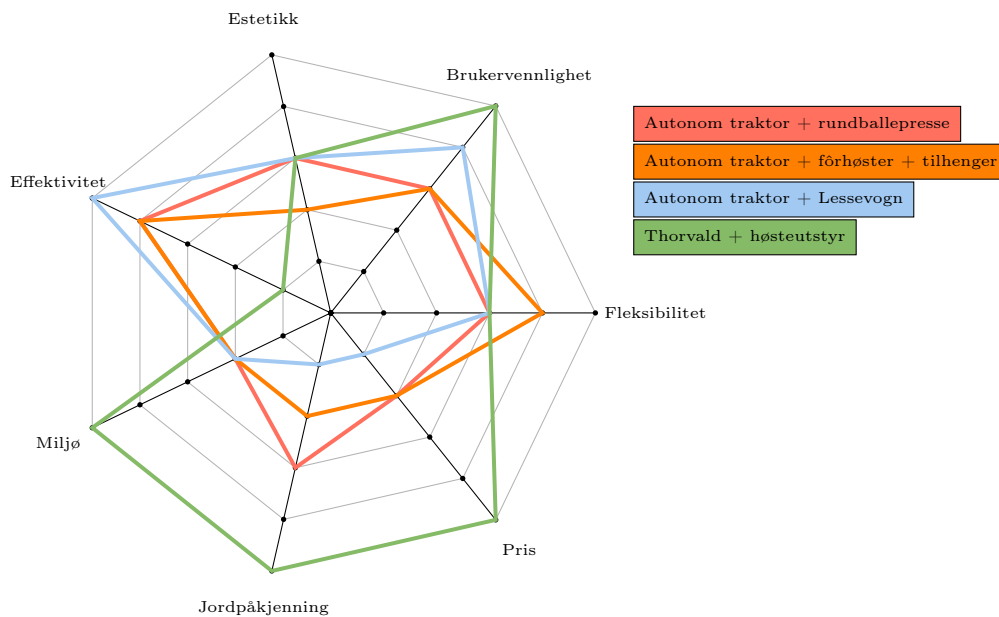
**Figur 2.1:** Radardiagram for traktortilbehør

I radardiagrammet over ser man at Thorvald er ledende i markedet innenfor kvalitetene som det er ønsket å forbedre via GrassRobotics prosjektet. Effektiviteten/kapasiteten til Thorvald er imidlertid dårligst i markedet. Thorvald kan kompensere ved å drives 24 timer i døgnet, og et økt antall roboter kan også implementeres for å møte et større effektivitetsbehov.

Som konklusjon vil Thorvald ha størst konkurransefortrinn i områder der effektivitetsbehovet er lavt og jordkvaliteten er utsatt. Jorder med helninger er et slikt område. Thorvald har også lavt tyngdepunkt, så Thorvald er bedre egnet til å kjøre på skrått underlag.

### 2.3.2 Autonome traktorer med utstyr

Autonome traktorer med utstyr vil ha like kvaliteter som traktorer med utstyr, men brukervennligheten vil være høyere som følge av at det ikke er nødvendig med en operatør.



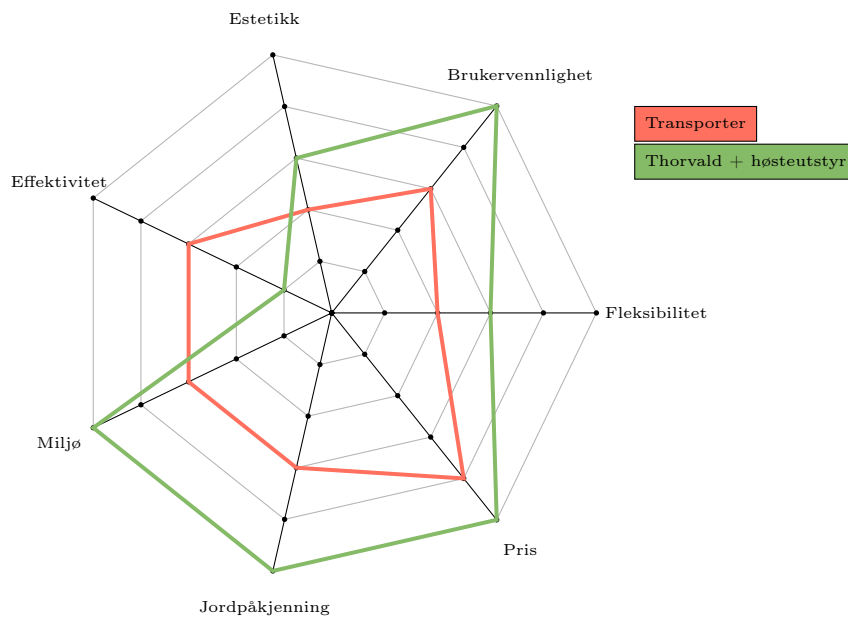
**Figur 2.2:** Radardiatogram for traktortilbehør

Informasjonen vi får fra figur 2.2 fører til den samme konklusjonen som ovenfor, men de autonome traktorene fører til at Thorvald har et mindre konkurransefortrinn. Thorvald har ikke høyere brukervennlighet som følge av å være autonom og de autonome traktorene kan også øke effektivitet ved å drives 24 timer i døgnet.

### 2.3.3 Fullstendige løsninger

Thorvald vil generelt ha bedre fleksibilitet enn fullstendige løsninger siden Thorvald er veldig modulær og kan brukes på andre bruksområder.





**Figur 2.3:** Radardiatram for traktortilbehør

Det er tydelig at Thorvaldplattformen har størst konkurransefortrinn ovenfor fullstendige løsninger i områder med helninger og vått vær.

Thorvaldplattformen har flere konkurrenter med fullstendige løsninger når det kommer til slåing og datasamling. Disse konkurrentene er ikke inkludert i denne analysen fordi analysen tar for seg konkurrenter for høstebeholderen og ikke Thorvaldplattformen. Det er mulig det blir utviklet høstebeholdere for disse fullstendige løsningene også, men det er ikke funnet data på det. Hvis det utvikles høstebeholdere for disse konkurrentene har trolig Thorvald et lite konkurransefortrinn fordi Thorvald er modulær.

## 2.4 Utviklingsstatus for Thorvaldplattformen

Den aller første Thorvaldroboten ble designet og bygget i 2014 som en del av et mastergradsprosjekt ved NMBU. Roboten var designet for å kunne gjøre ulike oppgaver på jordet. Gjennom masteroppgaver og forskningsprosjekter ble det laget utstyr til roboten, blant annet en såmaskin for presisjonssåing av korn og et redskap for å bekjempe ugress ved hjelp av laser. Roboten ble også brukt til å samle data for planteforskere.

I 2016 kom Thorvald II til verden. Thorvald II bygde videre på designet fra

---

forgjengeren, dog med forbedringer. Der den originale Thorvald var en robot med faste geometriske dimensjoner, baserer Thorvald II seg på moduler. Modulene kan settes sammen mer eller mindre vilkårlig, noe som gjør det enkelt å spesialbygge roboter for ulike gårdsmiljøer.

Gjennom flere master- og doktoroppgaver ved NMBU har utstyr og flere funksjoner blitt designet for Thorvald II. Det har blitt utviklet utstyr for behandling av planter med ultrafiolett stråling, autonom plukking av jordbær ved hjelp av kunstig intelligens, åpenfelts fenotyping, presisjonsluking og graskutting med mer. Utstyret til Thorvald II blir brukt til forskningsprosjekter, testing og små industrielle oppgaver.

Ved NMBU skrives det denne våren mastere om Thorvald sitt LIDAR-baserte navigasjonssystem, ladestasjon, energiforsyning, gras plukkeutstyr og som denne oppgaven omhandler, høstebeholderen.

Til nå er det bygget mer enn 30 Thorvald roboter på robotikklaben i Ås. Ti av robotene er fremdeles i Norge, mens resten befinner seg i England, Tyskland, USA og Hellas.

## 2.5 Potensialet til Thorvaldplattformen

Ås-selskapet Saga Robotics AS har lisens til å videreutvikle og kommersialisere teknologien som Thorvaldroboten er basert på. Thorvaldplattformen er per dags dato ikke solgt kommersielt som et produkt, men Saga Robotics AS selger roboter til universiteter og forskningsinstitutter for bruk i forskningsprosjekter.

Thorvald har evnen til å forbedre gjeldende jordbrukspraksiser på mange vis. Oppgaver som krever fysisk arbeid, som for eksempel jordbærplukking er forenklet ved å redusere behovet for å ansette arbeidere. Dette er spesielt nyttig i områder som sliter med å finne jordbruksarbeidere, eksempelvis Norge, USA eller Storbritannia. I tillegg er Thorvald elektrisk og har lav vekt sammenlignet med moderne jordbruksutstyr. Dette betyr at Thorvald har minimal påvirkning på miljøet og kvaliteten på jorden blir høyere som følge av redusert jordpakking.

---

Thorvald kan også forbedre effektiviteten og profittmarginen i en gårdsproduksjon ved å gjøre oppgaver som mekanisk luking med bildeanalyse. Jordbruksoppgaver kan også bli dramatisk forbedret ved hjelp av systematisk datasamling, en oppgave Thorvald kan gjennomføre parallelt med andre oppgaver.

Mange robotikkselskaper har utviklet spesialiserte roboter innenfor jordbruk som hver for seg kan gjøre en oppgave i et miljø. Thorvald er modulær og kan lett monteres for å operere hos et bredt spekter av forskjellige gårder med tilpasset utstyr. Saga Robotics AS har også en partnermodell som tillater eksterne aktører å utvikle utstyr til plattformen. Dette fører til at Thorvald utvikler funksjoner raskt. Rask og kostnadseffektiv utvikling fører til lave produksjonskostnader. Thorvald har også et stort marked fordi plattformen kan dekke alt fra standardisert jordbrukspraksis til små og spesialiserte oppgaver.

En fremtid med robotisert jordbruk er på horisonten. Thorvald og Saga Robotics har en stor mulighet til å bli ledende innenfor denne sektoren. Thorvaldplattformen sin store målgruppe og med Saga Robotics sin partnermodell kan dette lede til høy produksjon og stor økonomisk vekst.

---

## 3 Prosjektplanlegging

Prosjektet er planlagt slik at tiden til rådighet utnyttes best mulig. Arbeidsoppgavene tydeliggjøres i form av mål, og planlagt fremdrift er kartlagt i et gantt-diagram med konkrete milepæler.

### 3.1 Oppdragsbeskrivelse

NMBU har utviklet en autonom modulrobot, Thorvald, som kan brukes på et stort antall jordbruksområder. I sammenheng med å utvikle et substitutt for traktorer ved høsting av gras har Max Larsen fått tildelt en masteroppgave som tar for seg designet til høstebeholderen som Thorvald skal utstyres med. Designet av høstebeholderen bestemmes av plassering, bruksestetikk, lossing og lasting av beholderen, med hensyn til miljø og kostnadseffektivitet.

Mekanismen for oppsamling av gras som skal utstyres på Thorvald, blir utviklet parallelt med beholderen, så utviklingen av beholderen vil bli utviklet med store påvirkninger fra andre studenter ved NMBU.

#### 3.1.1 Kravspesifikasjoner

I samarbeid med veilder har det blitt utarbeidet en rekke kravspesifikasjoner tidlig i produktutviklingsfasen. Løsningen som utvikles må oppfylle følgende krav:

- Løsningen skal kunne losse graset i en Orkel kompaktor ved enden av jorden.
- Løsningen skal utvikles til å passe på en Thorvald som i lengde/bredde/høyde er 1600/1700/810 mm.
- Beholderen skal kunne drives av Thorvalds allerede eksisterende energikilde, et batteri, slik at det blir et integrert system som enklest mulig skal kunne lade/bytte energikilde autonomt.
- Løsningen skal ikke øke energiforbruk så mye at Thorvald har en operasjonstid på under 8 timer med Thorvalds påmonterte energikilde.

- 
- Løsningen skal ikke utøve fare for mennesker og dyr.
  - Løsningen må utformes på en slik måte at den følger gjeldende standarder og forskrifter.
  - Den autonome roboten Thorvald med påmontert høstestyr skal med normal teknisk forståelse kunne opereres slik at den autonomt kan høste et geografisk avsatt område.
  - Alt påmontert utstyr på den autonome roboten Thorvald skal dimensjoneres og konstrueres slik at maksimal last på 400 kg ikke overstiges.
  - Alt påmontert utstyr på den autonome roboten Thorvald skal dimensjoneres og konstrueres på en slik måte at robotens stabilitet ikke påvirkes.

## 3.2 Prosjektmål

For å sikre kvalitet i gjennomføringen av prosjektet settes det kvalitative mål som bør møtes. Ved hjelp av kvantitative indikatorer og subjektive vurderinger vil kvaliteten av arbeidet bli vurdert opp mot målene parallelt med gjennomføring av prosjektet.

### 3.2.1 Hovedmål

Utvikle og designe høstebeholderen til Thorvald med miljø- og kostnadsbevisste valg. Arbeidet skal dokumenteres i en prosjektrapport som dekker alle trinn, anvisninger og anbefalinger. Designet skal også dokumenteres med tekniske tegninger.

### 3.2.2 Delmål

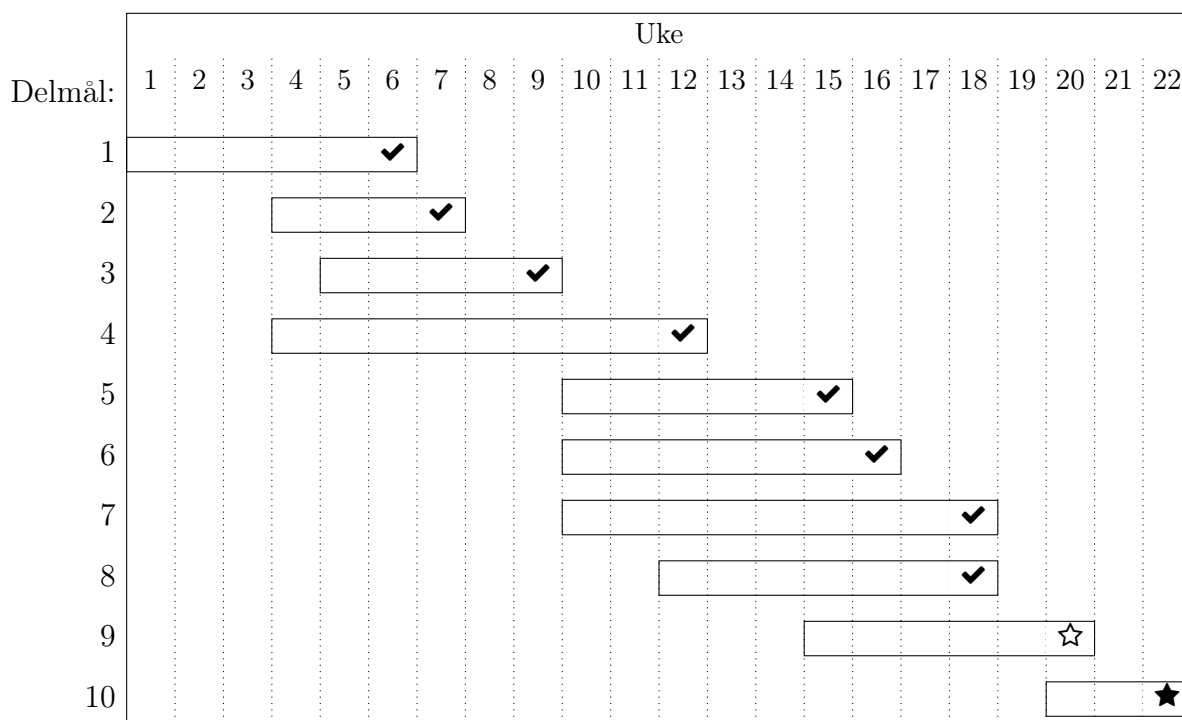
Delmålene for prosjektarbeidet er hovedstegene som skal gjennomføres for å nå hovedmålet.

1. Introduksjon og kartlegging av prosjektet.
2. Prosjekt- og metodeplanlegging etter gradsoppgavens retningslinjer.
3. Grovspesifisering med bakgrunn i teori og teknologi.
4. Konseptgenerering med stor bredde og innovasjon.
5. Objektiv egenscreening av produktet ved hjelp av Pughs metode.
6. Gjennomføring eksternscreening som representerer bruker.

7. Design produktarkitektur etter grovspesifiseringer og krav.
8. Reflektering og diskusjon av prosess og resultat.
9. Ferdigstilling av rapport.
10. Utarbeiding av prosjektpresentasjon.

### 3.3 Arbeidsplan

For å ha oversikt over gjennomføringen av prosjektet blir gjennomføring av delmålene delt inn i tidsbegrensede perioder. Hvert delmål er fullstendig når milepælen til det spesifikke målet er møtt.



**Figur 3.1:** Gantt diagram

**Tabell 3.1:** Oversikt over milepæler

#	Milepæl	Symbol	Dato
1	Prosjektet er kartlagt	✓	10.02
2	Prosjekt og metodebruk er planlagt	✓	17.02
3	Produktet er spesifisert	✓	02.03
4	Konseptalternativer er generert	✓	23.03

---

**Tabell 3.1 forts.:** Oversikt over milepæler

#	Milepæl	Symbol	Dato
5	Egenscreening av konseptene er fullført	✓	13.04
6	Eksternscreening av konseptene er fullført	✓	20.04
7	Tekniske tegninger er gjennomført	✓	04.05
8	Prosess er reflektert og diskutert	✓	04.05
9	Rapporten er ferdigstilt	☆	15.05
10	Presentasjon er gjennomført	★	29.04

### 3.4 Kartlegging av teknologiske flaskehalsar

- Valg av miljøvennlige materialer som også er lette og sterke.
- Valg og utvikling av lossemetode.
- Tilnærming av gras sine fysiske egenskaper.

### 3.5 Begrensninger

- Styringssystemer og utstyr vil ikke vurderes.
- Beregninger av Thorvald sitt energitap som følge av økt vekt vil ikke bli vurdert.
- Vibrasjonspåkjenninger og utmattelse vil ikke bli vurdert i dimensjoneringen.
- Oppskalering av Thorvald og beholderen vil bli reflektert, men vil ikke bli implementert.
- Det vil ikke bli utviklet en algoritme for å beskrive effektivitet av arealdekking ved lasting og lossing.
- Det vil ikke bli utviklet en prototype av grasbeholderen.

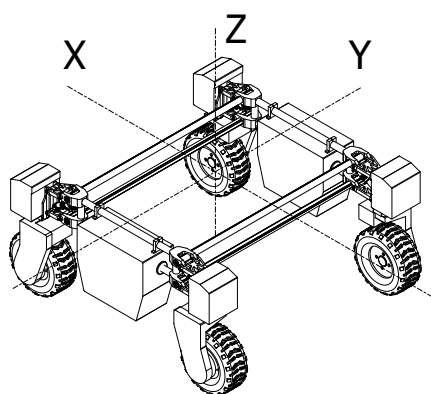
---

## 4 Metodebeskrivelse

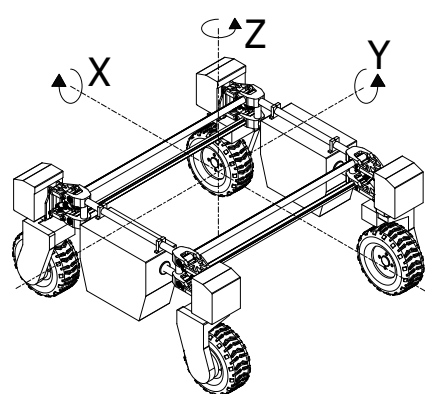
I denne rapporten er det brukt ingeniør- og produktutviklingsmetoder. I dette kapitlet oppsummeres disse metodene og begrep-, symbol- og formelliste blir lagt frem.

### 4.1 Terminologi og begreper

Lineær- og rotasjonsaksene referert til i denne rapporten er konstante og presentert i figurene nedenfor.



**Figur 4.1:** Oversikt over lineæraksene i forhold til Thorvald.



**Figur 4.2:** Oversikt over rotasjonsaksene i forhold til Thorvald

#### 4.1.1 Begrepsforklaring

Begrepene og forkortelsene brukt i denne rapporten er vanligtale innenfor ingeniør- og/eller agronomfaget. Begrepene og forkortelsene som ikke er brukt i daglig tale er presentert nedenfor.

**Tabell 4.1:** Begrepsforklaring

Begrep	Forklaring
FEM	Finite Element Method, elementmetoden, er en metode for å beregne en numerisk tilnærming av spenningsfordelingen i en struktur eller del ved hjelp av dataprogrammer.
DEM	Discrete Element Method, er en metode for å numerisk regne på partikler påvirket av krefter ved hjelp av dataprogrammer.



---

**Tabell 4.1 forts.:** Begrepsforklaring

Begrep	Forklaring
FEA	Finite Element Analysis, er analysemetodene som blir brukt for å tolke FEM resultatene.
CAD	Computer Aided Design, er et felles begrep som brukes der datamaskiner er benyttet i designprosessen.
HMS	Helse, miljø og sikkerhet, er en felles betegnelse på arbeid med helsevern, miljøvern, arbeidsmiljø og sikkerhet for ansatte og brukere.
SI	Système international d'unités, er Det internasjonale enhetssystem og blir brukt til å måle fysiske størrelser.
EoL	End of Life, er tidpunktet da produktet har levd ferdig sin forventede livssyklus.
y-y akse	y-y aksene, er en akse som går gjennom arealsenteret til et tverrsnitt og er normal med arealflaten.
Fôr	Fôr er betegnelsen på mat som husdyr spiser.
Grovfôr	Grovfôr, er betegnelsen på mindre energirikt fôr.
Kraftfôr	Kraftfôr, er betegnelsen på energirikt fôr.
Gras	Gras, er betegnelsen på gress brukt som grovfôr.
Outsource	Outsourcing betyr at en virksomhet lar eksterne leverandører ta over arbeidsoppgaver.
Downcycle	Downcycle, betyr at materialet brytes ned så det kan brukes på nytt. Dette resulterer ofte i materialer med lavere kvalitet eller verdi.
NLR	Norsk Landbruksrådgiving, er en serviceorganisasjon og jobber med faglig utvikling og uavhengig rådgivning.

### 4.1.2 Symboler

Her presenteres symbolbruken brukt i denne rapporten. Symbolbruken følger nært med vanlig maskiningeniør symbolbruk.

---

**Tabell 4.2:** Symbolforklaring

Symbol	Beskrivelse	SI-enhet
$F$	Kraft	$N$
$m$	Masse	$kg$
$g$	Tyngdeakselerasjon	$m/s^2$
$M$	Moment	$Nm$
$\sigma$	Spenning	$MPa$
$\tau$	Skjærkraft	$MPa$
$L$	Lengde	$mm$
$B$	Bredde	$mm$
$H$	Høyde	$mm$
$b$	Innvendig bredde	$mm$
$h$	Innvendig høyde	$mm$
$A$	Areal	$mm^2$
$s$	Strekning	$mm$
$\alpha$	Vinkel	$rad$
$r$	Radius	$mm$
$n$	Sikkerhetsfaktor	–
$\eta$	Virkningsgrad	–
$v$	Hastighet	$m/s$
$t$	Tid	$s$
$P$	Effekt	$W$
$l$	Vandring på gjengeskruer	$mm$

### 4.1.3 Formler

Nedenfor presenteres alle formlene som er hentet fra eksterne kilder. Indekseringen av formlene er i henhold til hvor formelen er plassert i rapporten. Det første tallet refererer til kapittelet og det andre tallet er nummerering av formlene i kapittelet. (Johannessen, 2004)

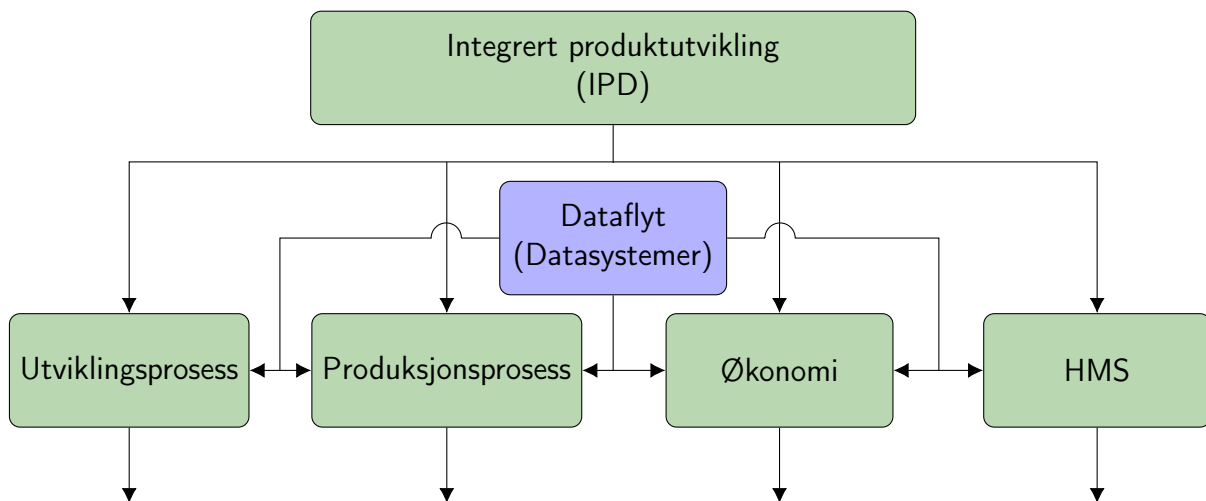
**Tabell 4.3:** Formelsamling.

Beskrivelse	Formel	Indeks
Glidefriksjon	$F_f = \mu \cdot N$	5.5
Massetetthet	$\rho = \frac{m}{V}$	5.3
Sinus	$\sin(\alpha) = \frac{a}{c}$	5.4
Cosinus	$\cos(\alpha) = \frac{b}{c}$	5.5
Tangens	$\tan(\alpha) = \frac{\sin(\alpha)}{\cos(\alpha)}$	5.8
Tangens invers	$\tan^{-1}\left(\frac{a}{b}\right) = \alpha$	5.9
Trykk	$p = \frac{F}{A}$	
Tyngde	$F = m \cdot g = \rho \cdot V \cdot g$	
Virkningsgrad	$\eta = \frac{P_{ut}}{P_{inn}}$	
Ledeskrue moment	$M = \frac{F \cdot l}{2\pi \cdot \tau}$	
Effekt	$P = E \cdot I$	10.7
Von-Mises	$\sigma_v = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2}$	

## 4.2 Metodebruk

I dette delkapittelet kartlegges metodebruken i rapporten. Metodene er utviklet og testet av ledende produktutviklingspersoner, organisasjoner eller selskaper. Ved å bruke metoder som er bevist effektive forsikres kvaliteten i utviklingsarbeidet.

### 4.2.1 Integrert produktutvikling (IPD)



**Figur 4.3:** Forenklet øvre del av en 4-beins IPD (IPU) modell. (Hunt, 1993)

---

Integrated Project Development, er en metode der mennesker, systemer og praksis samarbeider for å optimalisere og øke verdi samtidig som sløsing i design- og produksjonsprosessen minkes. (Hunt, 1993)

### 4.2.2 Pughs metode

Pughs metode er en utvelgelsesprosess der man vurderer alternativer opp mot ulike kriterier i en matrise. Kriteriene vektlegges og det kvantifiseres hvor godt de ulike alternativene oppfyller hvert enkelt kriterium. Metoden er utviklet av den engelske ingeniøren Stuart Pugh, og skal bidra til mer objektivitet i seleksjonsprosesser. (Pugh og Clausing, 1996)

### 4.2.3 Osbornes SCAMPER

SCAMPER er en kreativ metode der man utforsker endringer på et produkt og undersøker om det kan gi en positiv endring (eller et eget spin-off produkt). Det er en strukturert metode som kan hjelpe brukeren til å se produktet fra en annen side, og forhåpentligvis finne endringer man ellers ikke ville sett. De ulike bokstavene i navnet står for aktiviteter man kan benytte seg av. (Michalko, 2006)

Erstatt (**S**ubstitute)

Kombiner (**C**ombine)

Tilpasse (**A**djust)

Endre/Forstørre/Minske (**M**odify/magnify/minify)

Endre bruksområde (**P**ut to another use)

Eliminere (**E**liminate)

Reversere (**R**everse)

### 4.2.4 Quality function deployment

QFD, ofte kalt kvalitetstutvikling på norsk er en metode for å transformere kvalitative brukerkrav til kvantitative parametere. Parameterene brukes så til objektiv vekting mellom brukerkrav, produktkrav og konkurrentanalyser for å øke kvaliteten og verdien til produkter, metoder og systemer. QFD er ofte presentert i en tabell kalt House of Quality som visualiserer forhold og sammenheng mellom parameterene. I denne rapporten

---

er prosessen intern og ikke presentert. (Akao, 2004)

### 4.3 Løsningsverktøy

**Overleaf**(web-basert LaTeX editor), Versjon 2: Rapportskrivning.

**Microsoft Excel**, Versjon 2018: Beregninger.

**Autodesk Inventor**, Versjon 2020: CAD modellering/design, rendering.

**Ansys WorkBench**, Versjon 2019 R2: FEM analyse.

**ThreeParticle/CAE**, Versjon 2019 R4.1.0: DEM analyse.

**GRANTA EduPack**, Versjon 2020: Material database.

### 4.4 Kvalitetssikring

**Tabell 4.4:** Oversikt over kvalitetsikringskilder

Emne	Kilde
Ledelsessystemer for kvalitet	ISO 9000
Systemer for kvalitetsstyring	ISO 9001:2000, kapittel 7
Ledelsessystemer for kvalitet	NS-EN ISO 9001:2015, kapittel 8
Tekniske tegninger	ISO 128

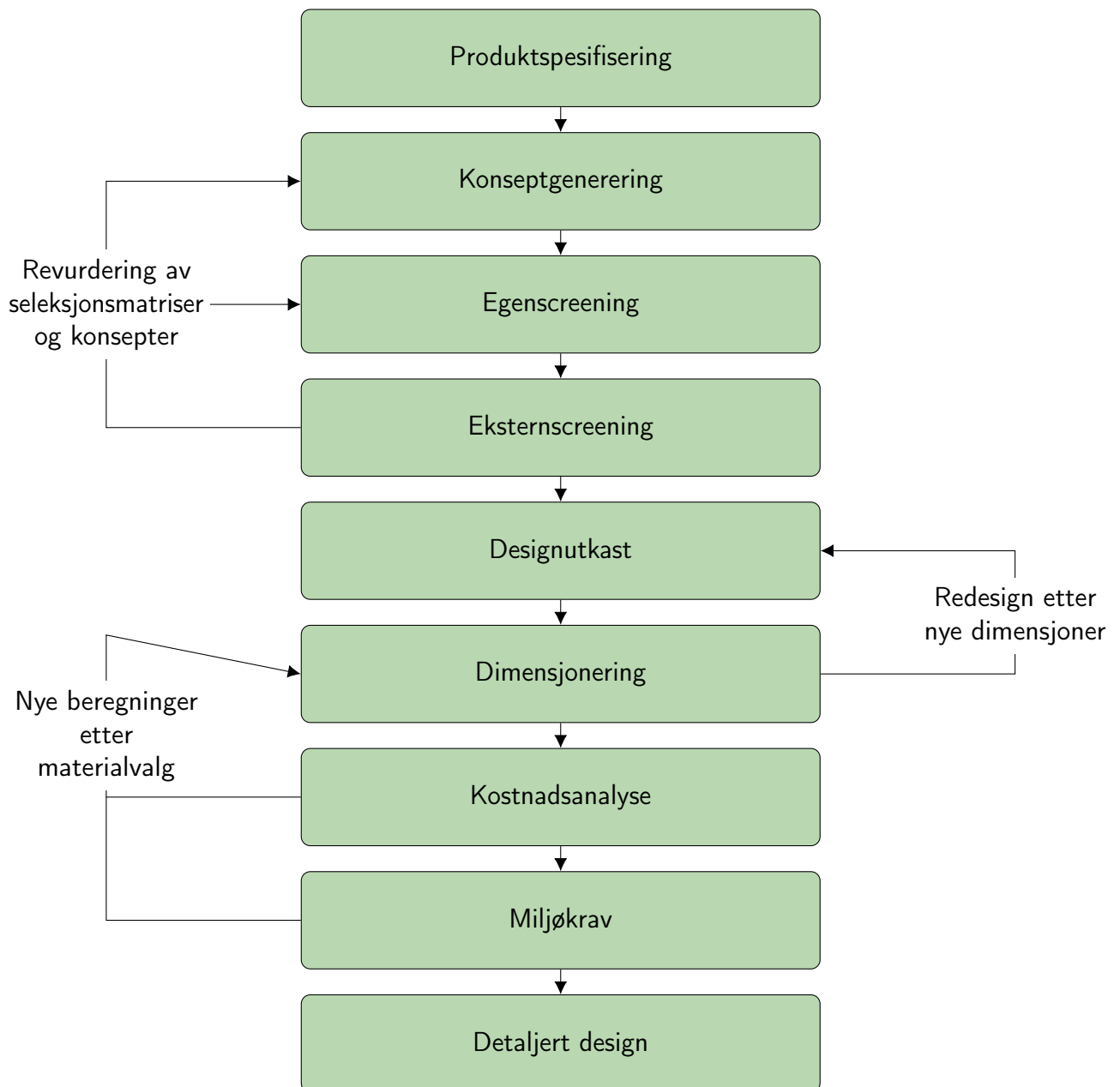
### 4.5 Prosesstrinn

Første fase av produktutviklingen er kartlegging av produktspesifiseringene for produktet ved hjelp av veiledning og teoretisk utredning. Når produktspesifiseringene er fastsatt genereres det et stort sett med konsepter som alle følger produktspesifiseringene. De mest kompliserte konseptaspektene blir i første omgang kartlagt i grove trekk. Etter at en grovidé av konseptaspektet er valgt ved hjelp av egenscreening brukes styrtkonvergens for å kartlegge konseptet fullstendig.

Etter å ha kommet frem til et fullstendig produkt brukes SCAMPER for å se etter positive endringer. De valgene med mest usikkerhet i egenscreeningen blir inkludert i et spørreskjema så de kan eksternscreenes. Eksternscreeningen inneholder også spørsmål om markedspotensiale, teori- og produktantagelser.

---

Etter revurderinger av seleksjonsmatriser og konsepter fra eksternscreeningen fortsetter produktutviklingen med modulering og designutkastet. Moduleringen av konseptet gjennomføres med en lukket forbedringssløyfe med dimensjonering av produktet. Videre kartlegges fremstillingen, miljøkravene og kostnaden til produktet. Fremstillingen, miljøkravene og kostnadsanalysen kan også påvirke dimensjonene til produktet, så vurderinger vil bli gjort om dimensjonene skal endres etter materialvalg. (Dieter og Schmidt, 2009)



**Figur 4.4:** Prosesstrinn etter metodedefinering. Pilene er forbedringssløyfer.

---

## 5 Teori- og teknologiutredning

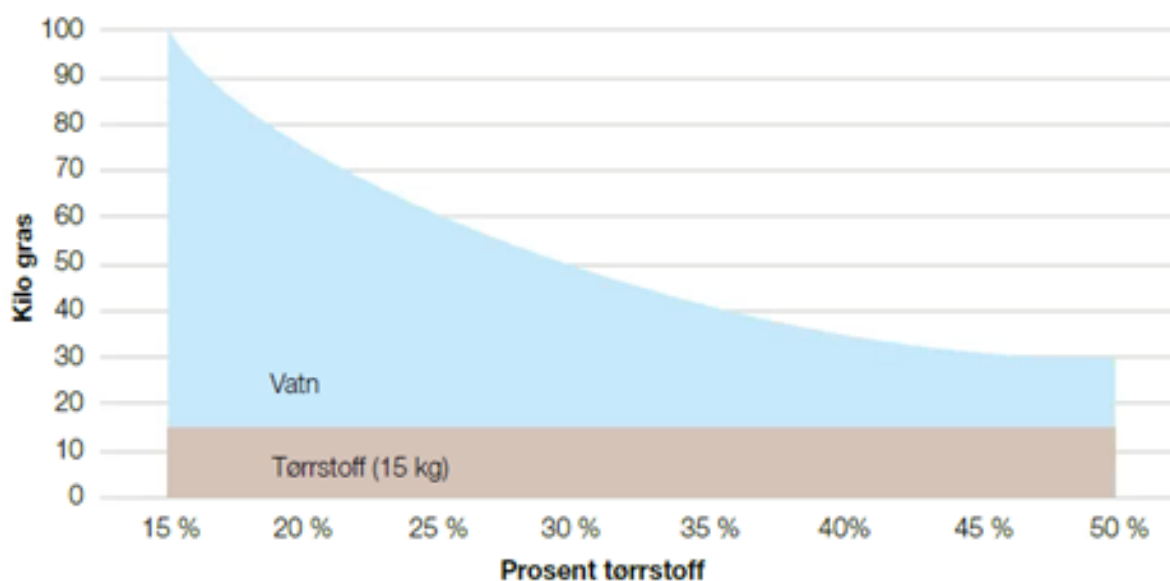
I dette kapitlet kartlegges alle de teoretiske utregningene og dokumenterte praksisene som blir brukt til å utrede produktspesifiseringene i denne rapporten. Teoretiske utregninger som blir brukt senere i rapporten blir også utviklet i dette kapitlet.

### 5.1 Gras og grovfôr

For å utvikle beholderen slik at den tilfører høyest mulig profitt for kunden vurderes moderne høstpraksiser og grassamlingsdata.

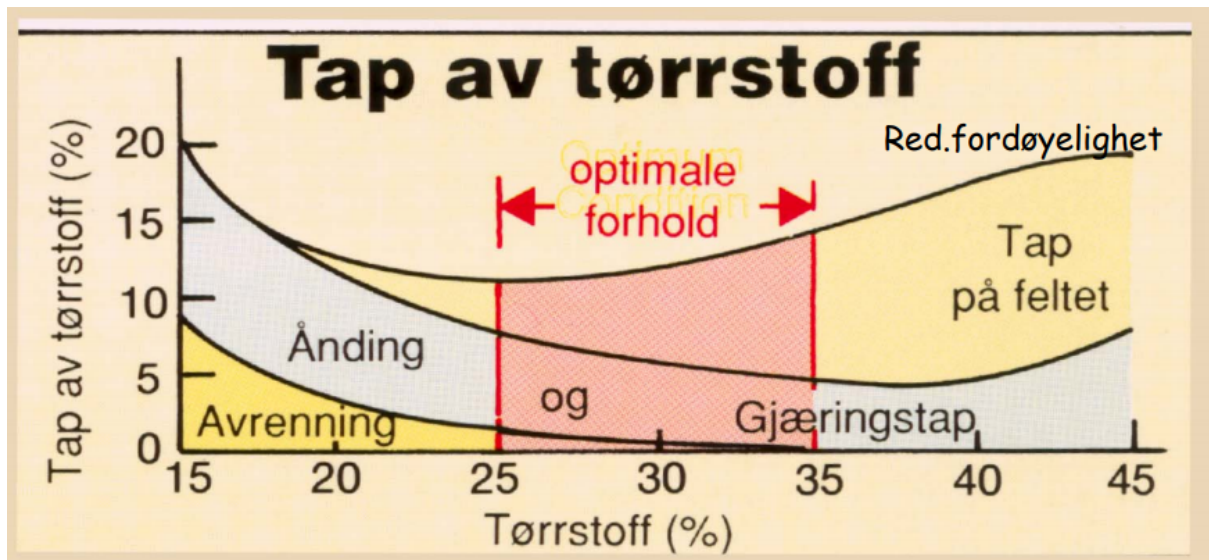
#### 5.1.1 Optimalt høstetidspunkt

Det optimale høstetidspunktet kan forenkles til to parametere, kvantitet og kostnad. Kostnad per kg tørrstoff er i stor grad basert på vekt fordi rundballer med høy fuktighet og vekt koster mer å håndtere, pakke, frakte, lagre og føres.



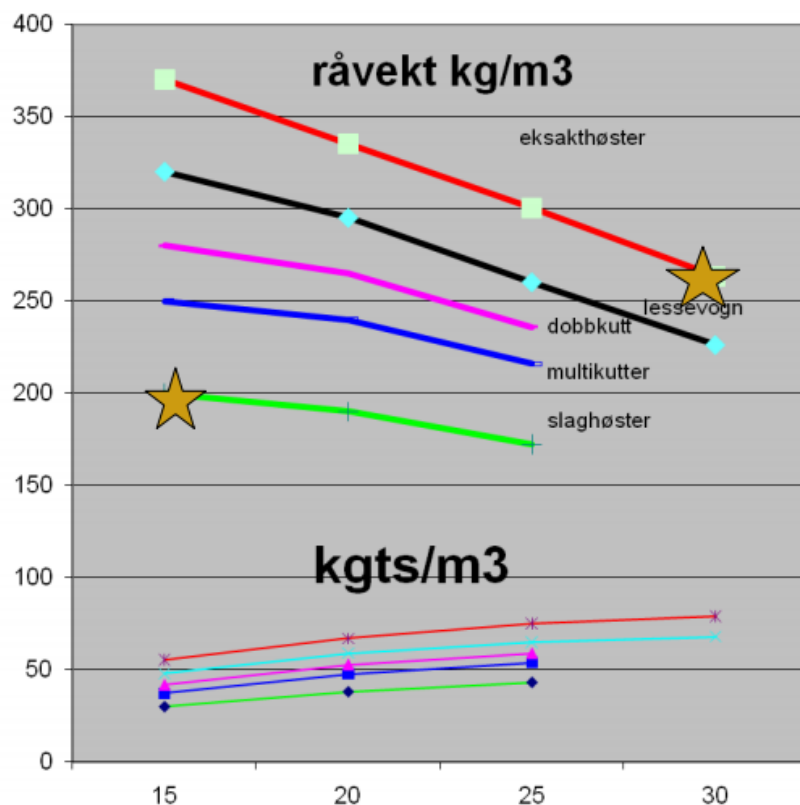
**Figur 5.1:** Graf av reduksjon i kilo vann i en mengde grovfôr med økende tørrstoffprosent. (Heggset, 2020)

Det er ønskelig å ha så mye tørrstoff som mulig ved lav vekt, men ved økt tørrstoffprosent øker tapet av tørrstoff.



**Figur 5.2:** Graf som viser tap av tørrstoff i prosent ved økende tørrstoffprosent. (Heggset, 2020)

Gjeldende praksis er tørrstoffprosent mellom 25% og 35% som ønskelig.



**Figur 5.3:** Graf som viser massetettheten til grovfôr ved forskjellige kuttemetoder. (Heggset, 2020)

Fra dataene i figuren antas bruk av en kombinasjon av lessevogn og eksakhøster ved



---

30% tørrstoff å være et godt grunnlag for massetettheten til graset i høstebeholderen. Massetettheten som brukes i utregningene settes til  $\rho = 250 \text{ kg/m}^3$ .

## 5.2 Grunnlagsberegninger

I dette delkapittelet legges det frem hvor mye gras Thorvald kan frakte per tur for ikke å overstige en last på 400 kg.

### 5.2.1 Thorvald

I denne rapporten er det brukt samme konfigurasjon av Thorvald som den som er brukt ved utvikling av kutteutstyret. (Grelland og Isaksen, 2018)

**Tabell 5.1:** Oversikt over generelle data om Thorvald.

Data	Verdi
Høyde	825 mm
Lengde	1500 - 1750 mm
Bredde	1000 - 3000+ mm
Vekt med en batteripakke	180 kg
Last	250 - 400 kg
Maks operasjons tid	10 h
Amperetimer per batteripakke	70 Ah
Spennning på batteripakke	48 V
Maks strømstyrke per batteripakke	70 A
Effekt per fremdriftsmotor	500 W
Moment på drivmotor per hjul	1,6 Nm
Utveksling	42:1
Radiusen på hjulene til Thorvald	0,2 m
Maksimal hastighet	1,5 m/s
Bredden på kutteverktøyer	1,7 m
Vekt, ekstra batteripakke	30 kg

---

## 5.2.2 Maksimal graslast

Det er oppgitt i (Grelland og Isaksen, 2018) at hver hjulenheter på en Thorvald med lik konfigurasjon som i dette prosjektet kan bære 100 kg. Med fire hjul blir dette til sammen 400kg. Vekten av en full beholder og plukkeutstyret kan derfor ikke overstige 400kg hvis plukkeutstyret og beholderen er festet på samme Thorvald. Maksimal graslast blir så:

$$m_{gras} = 400kg - m_{plukker} - m_{beholder} \quad (5.1)$$

I rapporten som utvikler mekanismen for å plukke gras er det bestemt at beholderen skal ha egne hjul som bærer lasten til plukkeutstyret. Massen med gras i beholderen kan da være:

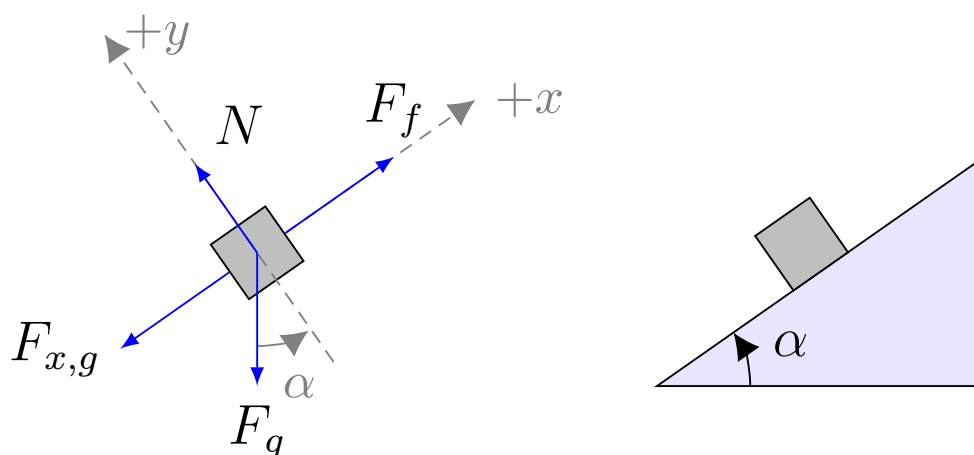
$$m_{gras} = 400kg - m_{beholder} \quad (5.2)$$

Gras med 30% tørrstoff gir en massetetthet på  $\rho_{gras} = 250 \text{ kg/m}^3$ . For å få en grenseverdi for innvendig volum til beholderen settes  $m_{gras} = 350 \text{ kg}$  så beholderen kan ha en vekt på  $m_{beholder} = 50 \text{ kg}$ . Grenseverdien for innvendig volum til beholderen blir da:

$$V_{innvendig} = \frac{m_{gras}}{\rho_{gras}} = \frac{350kg}{250kg/m^3} = 1,4m^3 \quad (5.3)$$

## 5.2.3 Vinkel for at gras skal kunne skli

For å regne vinkelen som et underlag må ha for at graset skal skli forenkler vi med å se på en kloss som sklir nedover en bakke.



**Figur 5.4:** Kraftdiagram av en kloss på et skrått plan.

---

Vi kan så regne vinkelen som får klossen til å skli gitt friksjonskoeffisienten til graset og underlaget.

$$F_{x,g} = \sin \alpha \cdot F_g \quad (5.4)$$

$$F_f = \mu_{gras} \cdot N = \mu_{gras} \cdot \cos \alpha \cdot F_g \quad (5.5)$$

$$F_{x,g} > F_f \quad (5.6)$$

$$\sin \alpha \cdot F_g > \mu_{gras} \cdot \cos \alpha \cdot F_g \quad (5.7)$$

$$\tan \alpha > \mu_{gras} \quad (5.8)$$

$$\alpha > \tan^{-1} \mu_{gras} \quad (5.9)$$

Det er lite data på friksjonskoeffisienten til gras, så det regnes konservativt med å anta at graset glir like godt som lær mot tre. Resultatet blir da:

$$\alpha > \tan^{-1} \mu_{lr-tre} = \tan^{-1} 0,27 \approx 15,1^\circ \quad (5.10)$$

Runder dette opp til  $20^\circ$  for å sikre en konservativ tilnærming. (Johannessen, 2004)

## 5.2.4 Størrelse på losseåpning

Når en større mengde med gras skal slippes gjennom et hull samtidig, kan graset bli presset sammen slik at det danner seg en bro over åpningen. Vi ønsker å finne en størrelse på losseåpningen så dette ikke skal skje.

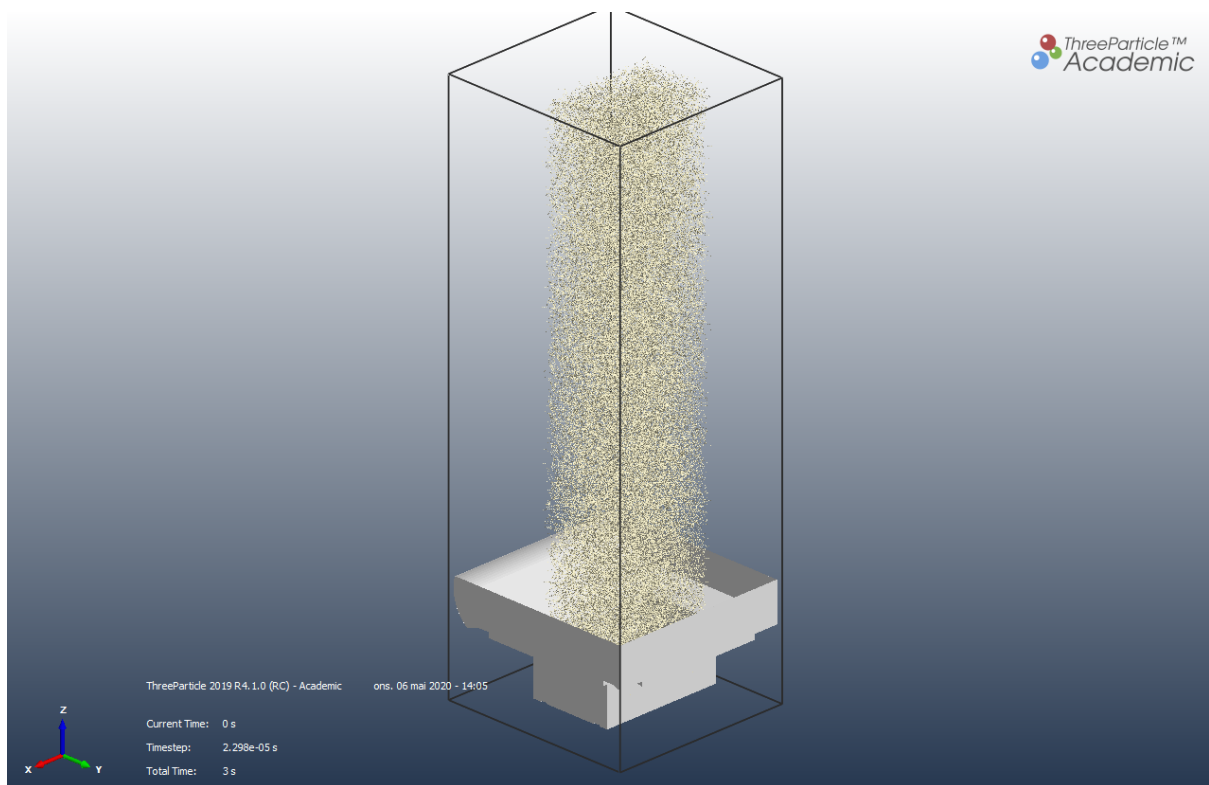
For å få et realistisk bilde av hvordan graset losses ut av beholderen moduleres graset i en DEM programvare, ThreeParticle. ThreeParticle er en av de mest omfattende DEM verktøyene med multifysiske simuleringsevner og er designet for profesjonell bruk innenfor ingeniørfaget. ThreeParticle har ekspertise innen simulering av gras og tildelte undertegnede en demo og assistanse i utviklingen av partikler som simulerer gras realistisk.

Graset er simulert med bøyelige partikler satt sammen av 11 kuler i rekke med en radius på 5 mm. Kulene har mellomrom mellom seg så hver partikkel er ca. 10 cm lang. Graset har statiskfriksjon mellom gras og gras på 0,8 og rullefriksjon mellom gras og gras

---

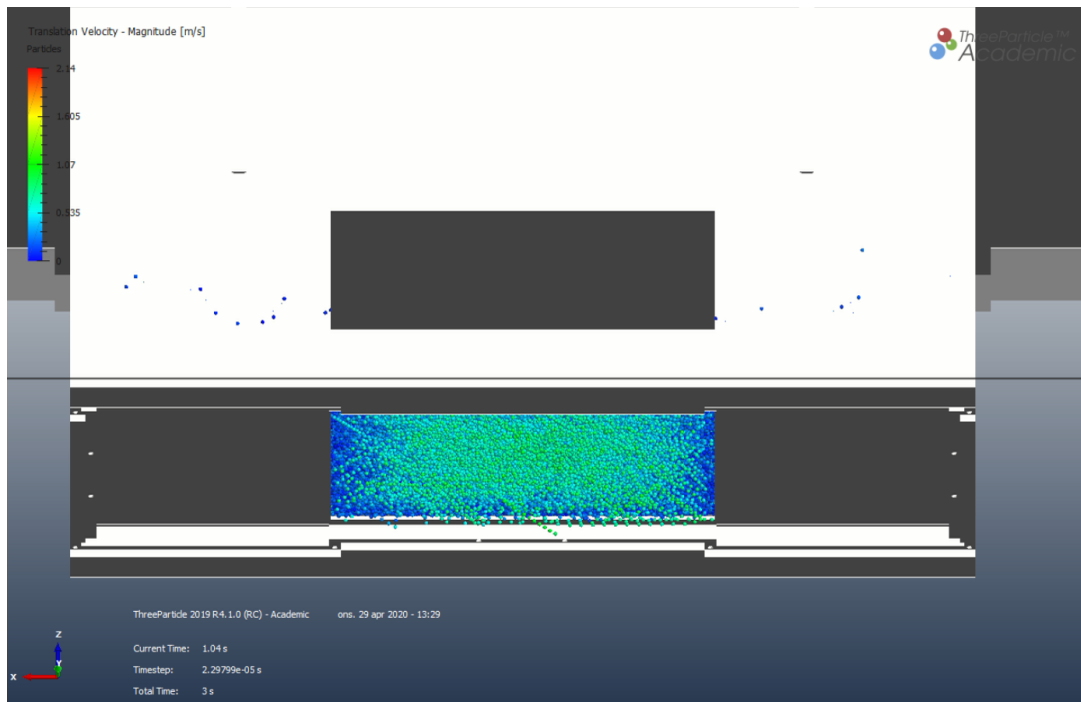
på 0,2, oppløsningen er satt til 0,1. Rullefriksjonen mellom gras og beholderen er på 0,4 og den statiske friksjonen mellom beholderen og graset er på 0,05, oppløsningen er satt til 0,05.

Grunnet prosesseringskapasitet er antallet bøyelige partikler begrenset til 38949 partikler. Partiklene faller inn i beholderen med naturlig tyngreakselerasjon på  $9,81 \text{ m/s}^2$ . Graset er generert i en 4,5 m høy boks for å få en realistisk massetetthet ved lossing.



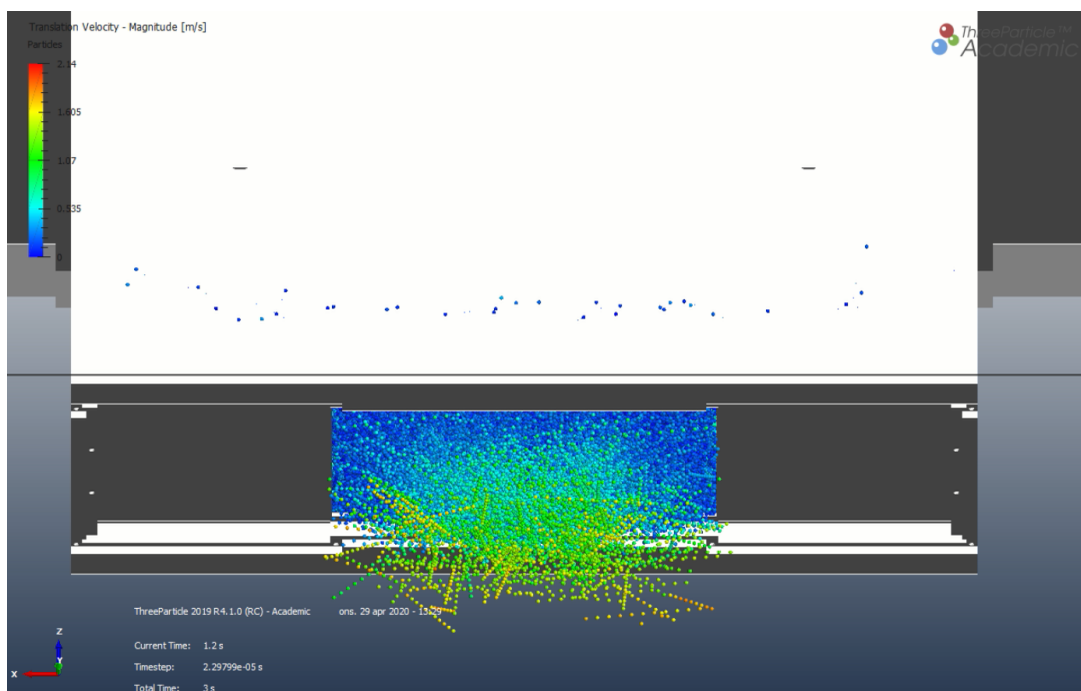
**Figur 5.5:** Skjerm bilde av hvordan graset er generert over beholderen før simuleringen starter.

En plate dekker utgangen så graset ikke faller ut av beholderen før graset ligger rolig i beholderen. Platen beveger seg bort fra beholderen ved  $t = 1 \text{ s}$ . Simuleringen varer så i 2 sekunder til for å analysere hvordan graset oppfører seg.



**Figur 5.6:** Skjerm bilde av simuleringen ved  $t = 1,04$  s, platen som simulerer åpne mekanismen beveger seg bort.

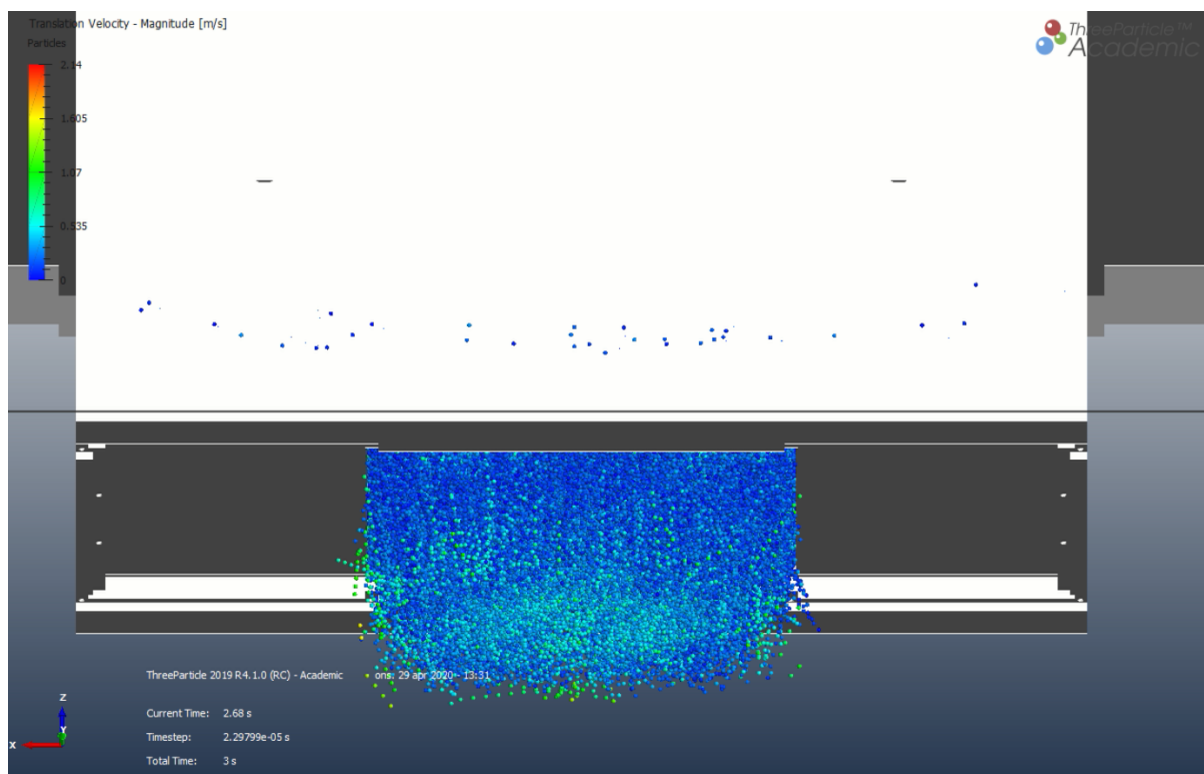
I det platen beveger seg bort fra åpningen ser vi at graset som er i fritt fall begynner å bevege seg.



**Figur 5.7:** Skjerm bilde av simuleringen ved  $t = 1,2$  s, graset bygger opp fart idet platen er borte.

---

Kort tid etter platen er borte har gras begynt å falle ut fra beholderen.



**Figur 5.8:** Skjerm bilde av simuleringen ved  $t = 2,68$  s, graset faller ut av beholderen i full hastighet.

Etter 2,68 sekunder fallet graset ut av beholderen i full hastighet. Graset sin hastighet er påvirket av størrelsen på åpningen og ingen deler av graset faller ut av beholderen i fritt fall. Graset faller ut av beholderen uten å pakkes, men hastigheten er påvirket.

Det er ønskelig fra disse resultatene å konkludere at en åpning på 500x500 mm er stor nok, men selvom ThreeParticle har erfaring med å simulere gras er det vanskelig å bekrefte resultatene deres, og denne simuleringen er annerledes enn deres test data. Simuleringen kan brukes som grunnlag ved testing. Simuleringen ble også inkludert for å belyse ingeniørmeter som kan brukes i fremtiden når validering av simuleringer er mer konkrete og prosesskapasiteten til personlige datamaskiner økes.

Det konkluderes med at en åpning på 500x500 mm må testes før beholderen kan produseres. I denne rapporten vil vi anta at en slik test vil bli gjennomført og produktspesifisering på løsningene settes til 500x500 mm.

---

## 6 Produktspesifisering

I dette kapitlet kartlegges det produktspesifiseringer for å sikre at alle konseptene som genereres i kapitlet under møter produktmålene.

### 6.1 Produktmålsetting

For å sikre at det resulterende produktet er konkurransedyktig settes kvantitative mål som bør møtes. Ved hjelp av kvantitative indikatorer, utregninger og målinger kan vi verifisere kvaliteten til produktet ved å sammenligne med produktmålene. Produktmålene er delt inn i hovedmål og delmål, hvor delmålene er mål som vil lede til at hovedmålet blir møtt.

Hovedmålet genereres ved å gå tilbake til konkurrentanalysen (kapitel 2.3) og oppdragsbeskrivelsen (kapitel 3.1) for å se hvilke kvaliteter som gir et konkurransefortrinn og hva oppdragsgiver ønsker. Det genererte hovedmålet skal møte oppdragsgivers ønsker og inneholde aspekter som gir produktet konkurransefortrinn. Delmålene blir satt slik at de fører til at oppdragsgivers krav og hovedmålet blir møtt.

#### 6.1.1 Hovedmål

Løsningen skal kunne operere autonomt uten inngrep ved drift og lossing. Løsningen skal være brukervennlig, lettvekt, stabil, fleksibel og effektiv. Produksjonen av løsningen skal være miljøvennlig og kostnadseffektiv.

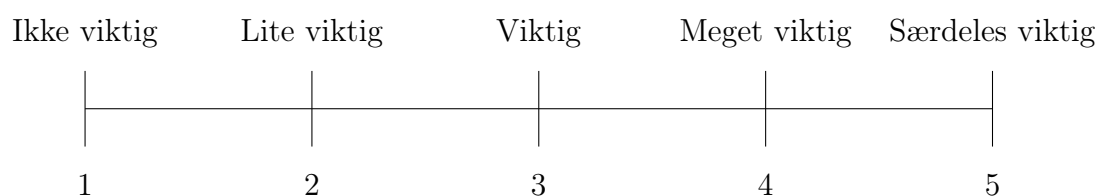
#### 6.1.2 Delmål

- Løsningen skal losse seg selv autonomt uten inngrep fra mennesker.
- Løsningen skal kunne repareres med generell teknisk forståelse.
- Løsningen skal kunne programmeres med generell kompetanse.
- Produksjonen av løsningen skal ikke overstige 30 000 kr.
- Vekten til løsningen skal ikke overstige 50 kg.

- Løsningen skal være basert på plattformen til Thorvald.
- Løsningen skal kunne av- og påmonteres på under 10 minutter.
- Løsningen skal ikke trekke mer enn 500 W i mer en 30 sekunder per lossing.
- Materialet brukt i beholderen skal kunne resirkuleres eller gjenbrukes.

## 6.2 Vekting av viktige produktegenskaper

Etter Pughs metodikk vektes produktegenskapene i en skala fra 1 til 5. 5 representerer at egenskapen er særdeles viktig for å utvikle et produkt som møter produktmålene og 1 representerer at egenskapen ikke er viktig for utvikle et produkt som møter produktmålene.



**Figur 6.1:** Representasjon av 1-5 skalaen brukt til vekting av egenskaper.

Nedenfor presenteres vektingen av utvalgte egenskaper. Egenskapene er valgt for å dekke hele den opplevde verdien av produktet fra en bruker sitt synspunkt. Fargen i første kolonne er tildelt etter hvilken type egenskap som beskrives, se figur 6.2.

**Tabell 6.1:** Oversikt over rangering av produktegenskaper

Egenskap	Beskrivelse	Vekting	Begrunnelse
Estetikk	Hvor bra er utseende til løsningen.	1	Thorvald skal jobbe utenfor øyesikt.
Pålitelighet	Hvor pålitelig er løsningen.	5	Løsningen skal opereres uten oppsyn over lengre tid så pålitelighet er viktig.
Brukervenn.	Hvor lett er det for en allminnelig person å bruke Thorvald.	4	Brukervennlighet er viktig når brukerne ikke er anvendte innen robotikk.



**Tabell 6.1 forts.:** Oversikt over rangering av produkttegenskaper

Egenskap	Beskrivelse	Vekting	Begrunnelse
Robusthet	Hvor robust er løsningen mot fysiske påkjenninger. Hvor lenge holder løsningen.	5	Thorvald skal være et substitutt for traktorer og traktorutstyr som har høy holdbarhet, det er derfor ønskelig at løsningen har høy robusthet mot fysiske påkjenninger.
Vekt	Hvor lett er løsningen når den er tom.	5	Thorvald er begrenset for hvor mye vekt den kan bære, så jo lettere løsningen er, jo mer gras kan fraktes per tur.
Volum	Hvor stor påvirkning har konsepter på det innvendige volumet til løsningen.	2	Mengden grovfôr som kan fraktes er ikke avhengig av innvendig volum, men masse.
Energieff.	Hvor lite ekstra energi må Thorvald bruke med løsningen utstyrt.	4	Thorvald skal være et miljøvennlig substitutt for traktorer så vi ønsker å bruke lite energi. God energieffektivitet øker også levetiden til batteriet.
Tidseff.	Hvor kort tid bruker løsningen på å høste graset fra en åker.	2	Tidseffektiviteten er ikke viktig hvis Thorvald kan høste graset 24 timer i døgnet uten tilsyn.
Prod.kostnad	Hvor lav er salgsprisen til produktet.	5	Kundene er opptatt av prisen de må gi for produktet.

**Tabell 6.1 forts.:** Oversikt over rangering av produkttegenskaper

Egenskap	Beskrivelse	Vekting	Begrunnelse
Miljø	Hvor lav er miljøpåkjenningene til produksjonen og driften av løsningen	5	Thorvald skal være et miljøvennlig substitutt for traktorer.

Design    Bruk    Økonomi    Miljø

**Figur 6.2:** Oversikt over fargetildelinger til Tabell 6.1

Vektingen av egenskapene vil bli i overkant subjektive så for å få et mer objektivt synspunkt på vektingen av egenskapene etterlyses synspunkter fra potensielle brukere i spørreundersøkelsen, se kapittel 9 og vedlegg A1.

### 6.3 Metriske grensespesifikasjoner, variasjonsbredde

De metriske grensespesifikasjonene tar for seg maksimale og minimale grenseverdier for hvilke dimensjonerings som er fysisk mulig. Grenseverdiene gir et rammeverk, en variasjonsbredde, for grovspefiseringene hvor grovspefisering må plasseres innenfor dette rammeverket. Grensespesifikasjoner for beholderen er presentert nedenfor hvor det også er en anbefalt verdi som er basert på anbefalinger fra veileder, data direkte fra krav eller subjektive vurderinger.

**Tabell 6.2:** Min, max og anbefalte mål for høsteholderen

Mål	Min	Max	Anbefalt
Bredde, beholder	1500 mm	1750 mm	1700 mm
Lengde, beholder	1000 mm	3000+ mm	1600 mm
Høyde, beholder	500 mm	1000+ mm	500 mm
Veggtykkelse, beholder	5 mm	10 mm	5 mm <sup>1</sup>
Vekt, beholder	50 kg	100 kg	50 kg
Innvendig volum	1,4 m <sup>3</sup>	2+ m <sup>3</sup>	1,5 m <sup>3</sup>
Losseåpning bredde	500 mm <sup>2</sup>	800 mm <sup>3</sup>	500 mm

**Tabell 6.2 forts.:** Min, max og anbefalte mål for høstebeholderen

Mål	Min	Max	Anbefalt
Losseåpning lengde	500 mm <sup>2</sup>	1180 mm <sup>3</sup>	500 mm

<sup>1,2</sup> Verdien er kommentert under tabellen.

### Kommentarer til tabell 6.2:

- <sup>1</sup> Anbefalt veggtykkelse er satt subjektivt etter internt anslag.
- <sup>2</sup> Minimal losseåpning er satt til 500x500 mm fordi det ikke har blitt analysert mindre åpninger i DEM verktøyet.
- <sup>3</sup> Maksimal losseåpning er satt til det samme som rammeåpningen til Thorvald.

Grensespesifikasjonene kan i stor grad bli påvirket av forbedringssløyfer som følge av videre arbeid og utregninger. Losseåpningen er spesielt utsatt for forbedringssløyfer fordi det er bevist usikkerhet i simuleringen som ble gjennomført for å begrunne grensespesifikasjonen.

## 6.4 Metriske grovspesifiseringer for produkttypen

Det settes grovspesifiseringer for produktet så alle konseptene generert i neste kapittel vil følge alle kravene og målene som er satt for produktet. Grovspesifikasjonene tar grunnlag i anbefalingene presentert i grensespesifikasjonene og presenteres med en kort kommentar om grunnlaget.

**Tabell 6.3:** Grovspesifiseringer av produkttypen

Mål	Grunnlag	Verdi
Bredde, beholder	Samme bredde som graskutterkonfigurasjon.	1700 mm
Lengde, beholder	Samme lengde som graskutterkonfigurasjon.	1600 mm
Høyde, beholder	Lav høyde er estetisk og det er nok volum.	500 mm
Veggtykkelse, beholder	Tynne vegger gir lavt vekt.	5 mm
Vekt, beholder	Fører til maksimal nyttelast.	50 kg
Innvendig volum	Unødvendig med større og god feilmargin.	1,5 m <sup>3</sup>
Losseåpning bredde	Se kapittel 5.2.4	500 mm
Losseåpning lengde	Se kapittel 5.2.4	500 mm

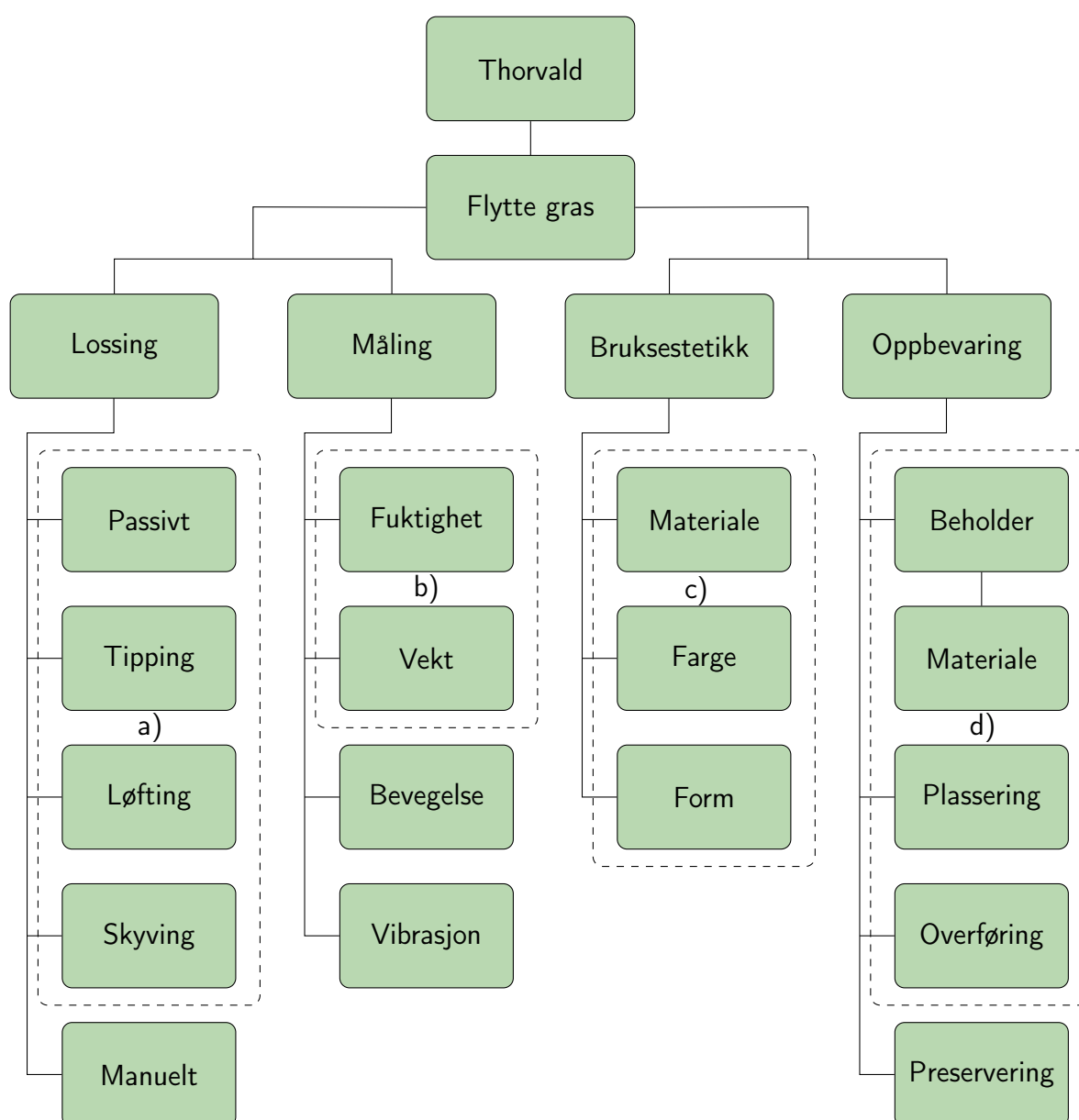
---

## 7 Konseptgenerering

For å identifisere og utvikle unike og velfungerende konsepter, kartlegges funksjonene som vil gi merverdi ved hjelp av en funksjonsanalyse.

### 7.1 Funksjonsanalyse

Det gjennomføres en funksjonsanalyse for å utvikle relevante funksjonsalternativer. Det drøftes også material-, form- og estetikkalternativer.



**Figur 7.1:** Funksjonsanalyse, hvor de markerte områdene a), b), c) og d) rammer inn elementene som vil bli vurdert videre.

---

Lasting av grasbeholderen er ikke inkludert i funksjonsanalysen fordi plukke- og lasteutstyret ikke skal utvikles i denne rapporten. Lasteutstyret utvikles av en annen student ved NMBU, men det er samarbeid mellom oss og valgene våre vil påvirke hverandre. Sammen med studenten som designer lasteutstyret vil det bli utviklet konsepter for hvordan graset skal overføres fra plukkeutstyret til beholderen.

Det er gjort en vurdering om at fysisk arbeid ikke er en attraktiv metode for å losse graset. Dette elementet i funksjonsanalysen blir derfor ikke vurdert ytterligere for å spare tid. Vurderingen om sensorer for bevegelse og vibrasjoner er også ekskludert for å spare tid. Det vil heller ikke bli sett på supplementerende metoder for å preservere graset mens det blir fraktet, ettersom at dette ikke er nødvendig for en fungerende prototype.

## 7.2 Funksjonsalternativer

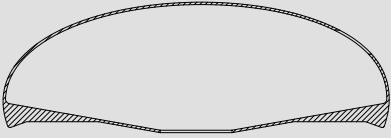

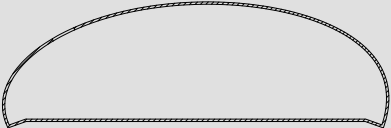
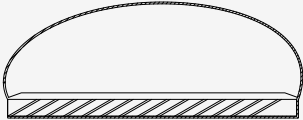
Nedenfor presenteres de konseptene som er vurdert best etter en midlertidig vekting av fordelene og ulempene til konseptene.

### 7.2.1 Lossing a)

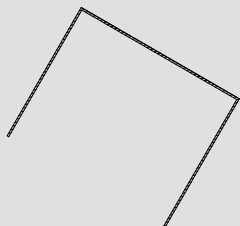
**Tabell 7.1:** Funksjonsalternativer for lossing av gras

Figur	Beskrivelse	Fordeler	Ulemper
	<b>Beholderen er vinklet</b> Beholderen for graset er vinklet nedover. Når graset skal losses, åpnes luken på bakenden så graset sklir ut av beholderen av seg selv.	Energieff.	Lasting Volumeff.

**Tabell 7.1 forts.:** Funksjonsalternativer for lossing av gras


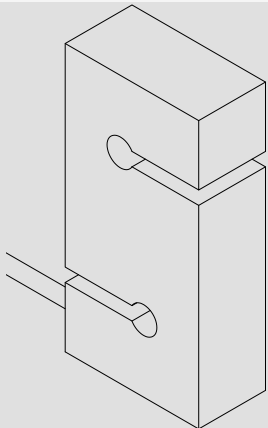

Figur	Beskrivelse	Fordeler	Ulemper
	<p><b>Gulvet er vinklet</b></p> <p>Gulvet i beholderen er vinklet nedover. Når graset skal losses åpnes luken på undersiden av beholderen så graset sklir ut av beholderen av seg selv.</p>	Energieff.	Lossing
	<p><b>Vipping av beholder</b></p> <p>Beholderen for graset sitter flatt ved lasting. Når graset skal losses vippes beholderen så graset sklir ut av beholderen av seg selv.</p>	Estetikk	Energieff. Vekt
	<p><b>Beholderen løftes av</b></p> <p>Beholderen for graset sitter flatt ved lasting. Når graset skal losses løftes hele beholderen av med et eksternt løfteverktøy. Etter lossingen plasseres en tom beholder tilbake.</p>	Estetikk Tidseff. Energieff.	Kostnad
	<p><b>Skrue</b></p> <p>I bunnen av beholderen er det en skure som fører graset ut av beholderen. Gulvet er vinklet inn mot skruen.</p>		Energieff. Vekt Kostnad

Tabell 7.1 forts.: Funksjonsalternativer for lossing av gras

Figur	Beskrivelse	Fordeler	Ulemper
	<p><b>Roterer om senterakse</b></p> <p>Beholderen roterer rundt sin egen senterakse. Beholderen kan rotere av seg selv som følge av tyngepunkt.</p>	Energieff.	Volumeff.

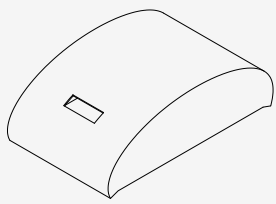
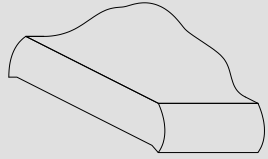
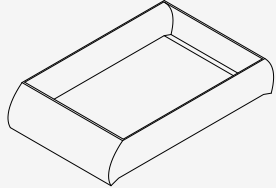
## 7.2.2 Måling b)

Tabell 7.2: Funksjonsalternativer for målinger

Figur	Beskrivelse	Fordeler	Ulemper
	<p><b>Fuktighetsmåler</b></p> <p>Måler fuktighet og datamaskin om bord kan vurdere om graset skal losses før ytterlige høsting. (Schiøtz, 2015)</p>	Kvalitet	
	<p><b>Lastcelle</b></p> <p>Måler vekten til graset som er blitt lasstet og datamaskinen om bord kan vurdere når graset skal dumpes.</p>	Tidseff. Pålitelighet HMS	Kostnad
	<p><b>Avstandsensor</b></p> <p>Måler avstanden mellom graset og toppen av beholderen og datamaskinen om bord kan vurdere når graset skal losses. (Elfa, 2020)</p>	Kostnad	Pålitelighet
	<p><b>Ingen måledata</b></p> <p>Det blir ikke gjort målinger.</p>	Kostnad	

### 7.2.3 Oppbevare gras d)

**Tabell 7.3:** Funksjonsalternativer for beholder


Figur	Beskrivelse	Fordeler	Ulemper
	<b>Stiv beholder, buet tak</b> Graset blir ført inn i en inngang på beholderen. Beholderen er stiv, laget av plastikk, aluminium eller karbonfiber.	Estetikk Volum	Lossing Kostnad
	<b>Myk beholder</b> Graset blir ført inn i en inngang på beholderen. Beholderen er laget som en pose og volumet utvides når beholderen fylles med gras.	Volum Kostnad	Lossing
	<b>Stiv beholder u/ tak</b> Graset blir løftet/hivd og lander i beholderen gjennom inngangen på toppen av beholderen.	Estetikk Lossing Kostnad	Volum

**Tabell 7.4:** Funksjonsalternativer for materiale

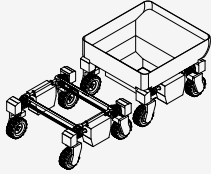
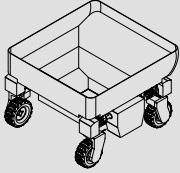
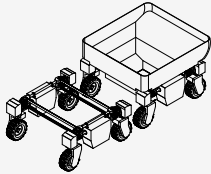
Figur	Beskrivelse	Fordeler	Ulemper
	<b>Karbonfiber</b> Beholderen er laget av karbonfiber.	Estetikk Vekt Energieff.	Kostnad Miljø
	<b>Plastikk</b> Beholderen er laget av plastikk.	Estetikk Vekt Energieff.	Miljø




**Tabell 7.4 forts.:** Funksjonalternativer for materiale

Figur	Beskrivelse	Fordeler	Ulemper
	<p><b>Aluminium</b></p> <p>Beholderen er laget av aluminium.</p>	<p>Robusthet</p> <p>Miljø</p>	<p>Kostnad</p> <p>Estetikk</p>

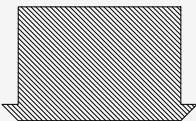

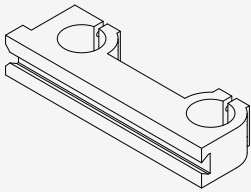
**Tabell 7.5:** Funksjonalternativer for plassering av beholder

Figur	Beskrivelse	Fordeler	Ulemper
	<p><b>Beholder på tilhenger</b></p> <p>Beholderen er plassert på en tilhenger som blir dratt bak Thorvald.</p>	Volum	<p>Kostnad</p> <p>Energieff.</p>
	<p><b>Beholder oppå Thorvald</b></p> <p>Beholderen er plassert på toppen av Thorvald.</p>	<p>Kostnad</p> <p>Pålitelighet</p>	Vekt
	<p><b>Beholder på ekstern robot</b></p> <p>Det blir brukt 2 eller flere Thorvald roboter, en som plukker opp og en eller flere som frakter graset, robotene som frakter graset er utstyrt med beholdere.</p>	<p>Tidseff.</p> <p>Volum</p> <p>Energieff.</p>	Kostnad

**Tabell 7.6:** Funksjonalternativer for festet til beholderen

Figur	Beskrivelse	Fordeler	Ulemper
	<p><b>Skrue og mutter</b></p> <p>Skuehodene tres inn i festeprofilet og beholderen festes til ved hjelp av muttere</p>	Kostnad	Robusthet

Tabell 7.6 forts.: Funksjonsalternativer for festet til beholderen

Figur	Beskrivelse	Fordeler	Ulemper
	<p><b>Klikkemekanisme</b></p> <p>En del er fastspent på festeprofilet og beholderen klikkes inn i toppen av denne delen</p>	Brukervenn.	Kostnad
	<p><b>Fastmontert</b></p> <p>Festet tres over festeprofilet og strammes til med en skrue. Festet er fastmontert til beholderen</p>	Robusthet	Brukervenn.
	<p><b>Skinne</b></p> <p>Festet tres over festeprofilet og strammes til med en skrue. Beholderen sklir på beholderen og holdes nede av tyngdekraften.</p>	Brukervenn.	

### 7.3 Tidligvurdering av brukspåkjenninger

**Statiske påkjenninger:**

- Vekt av gras og maskineri

**Dynamiske påkjenninger:**

- Lasting og lossing av gras
- Vibrasjoner
- Kollisjon

---

**Miljø:**

- Regn/fuktighet
- Gjørme
- Preserveringsmidler

## 7.4 Form og bruksestetikk

Oppfatningen av produktet kan påvirkes via form og bruksestetikk. I denne rapporten vil form og bruksestetikk bli vurdert subjektivt. Det velges ut 3 alternativer som kan forbedre oppfatningen av produktet.

### Alternativ 1

Formen og fargen til produktet fremhever estetikk og presisjon med rene farger og avrundede hjørner.

### Alternativ 2

Formen og fargen til produktet fremhever robusthet og HMS med sterke farger og overdimensjonering.

### Alternativ 3

Formen og fargen til produktet fremhever brukervennlighet med kreativ fargelegging og klistremerker.

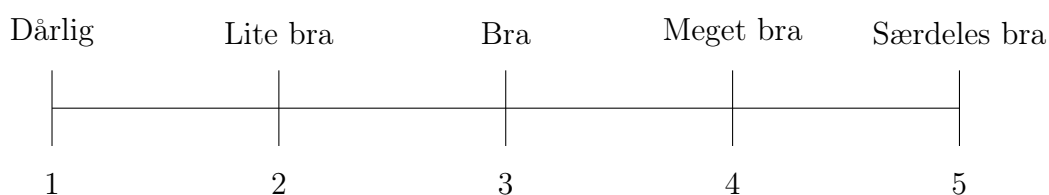
---

## 8 Egenscreening og konseptvalg

For å screene konseptene og gjøre konseptvalgene mest mulig objektive egenscreenes de ulike funksjonsalternativene generert i kapittel 5 etter Pughs metode. Etter konseptvalgene er gjennomført benyttes SCAMPER for å se etter forbedringer.

### 8.1 Utvikling av seleksjonsmatrise

Konseptene er vektet oppimot kriteriene på en skala fra 1 til 5, hvor 5 representerer at konseptet møter kriteriet særdeles bra og 1 representerer at konseptet møter kriteriet dårlig, se figur 8.1. Vektingen av kriteriene er hentet fra tabell 6.1. Noen av seleksjonsmatrisene ekskluderer visse kriterier hvis kriteriet er vilkårlig, neglisjerbart eller overflødig.



**Figur 8.1:** Representasjon av 1-5 skalaen brukt til vekting av konseptene.

### 8.2 Egen konseptscreening

Elementene fra funksjonsanalysen vurderes hver for seg, konseptene blir rangert etter score. Den eller de konseptene som er rangert høyest blir designet mer nøye og tatt med inn i produktarkitekturen. Etter at alle konseptene er rangert blir konsepter som motsier hverandre subjektivt vurdert. Det vinnende konseptet bør ikke være overkomplisert eller overdesignet.

#### 8.2.1 Konseptscreening av lossekonsepter

I seleksjonsmatrisen til lossekonseptene er alle kriteriene inkludert fordi lossemetoden har en stor innvirkning på alle aspektene til høsteverktøyet. Forklaring av lossekonseptene er presentert i tabell 7.1.

**Tabell 8.1:** Oversikt over lossekonsept index

Vinklet beholder	Vinklet gulv	Vipping	Løfting	Skrue	Rot. om senter akse
A1	A2	A3	A4	A5	A6

**Tabell 8.2:** Seleksjonsmatrise for lossing av gras

Lossekonsept		Konsepter					
Kriterier	Vekting	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Estetikk	1	3	5	4	5	4	4
Pålitelighet	5	3	3	4	5	4	5
Robusthet	5	3	4	3	5	3	3
Vekt	5	4	4	3	5	2	3
Volum	2	3	4	4	5	3	3
Energieffektivitet	4	4	4	2	5 <sup>1</sup>	3	3
Tidseffektivitet	2	4	4	4	5	3	4
Brukervennlighet	4	4	4	3	3	4	4
Produksjonskostnad	5	4	4	3	1 <sup>2</sup>	3	3
Miljø	5	3	3	2	1 <sup>2</sup>	2	2
Sum:		124	143	115	132	114	126
Rangering:		4	1	5	2	6	3

<sup>1,2</sup> Verdien er kommentert under tabellen.

### Kommentarer til tabell 8.2:

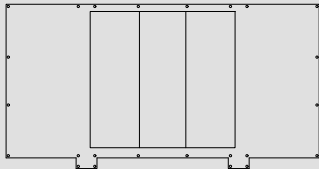
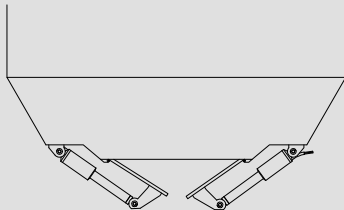
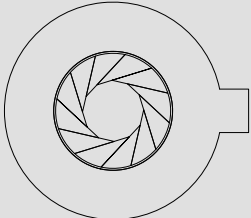
- <sup>1</sup> Energieffektiviteten til “Beholderen løftes av” vurderes høyt selv om det er høy energibruk fordi energien ikke blir tatt fra Thorvald sitt batteri.
- <sup>2</sup> Produksjonskostnaden og miljø til “Beholderen løftes av” vurderes veldig lavt ettersom det må utvikles eller kjøpes et annet produkt for å løfte beholderen.

Fra seleksjonsmatrisen til lossekonseptene kan vi se at konseptet hvor gulvet er vinklet scorer høyest. Dette konseptet trenger en åpningsluke midt i beholderen. Konseptet matcher bra med å plassere beholderen inni rammen til Thorvald, dette vil bli gjort.

## 8.2.2 Styrskonvergens - lossemekanismer

“Vinklet gulv” vant seleksjonsmatrisen for lossekonsepter, men mekanismen for å åpne beholderen i bunn er ikke bestemt. Det gjennomføres en intern funksjonsanalyse, hvor de beste konseptene for lukemekanisme og driv blir presentert nedenfor.

**Tabell 8.3:** Lossemekanisme konsepter

Skyvedører B1	Luke B2	Iris B3
		
To skyvedører beveger seg fra hverandre for å losse graset. Dørene beveger seg lineært.	To dører vipper opp en luke for å losse graset. Dørene roterer rundt festepunktet sitt.	Tolv plater beveger seg konsentrisk rundt en rund åpning for å losse graset.
Elektrisk C1	Hydraulisk C2	Pneumatisk C3

I seleksjonsmatrisen til lossemekanismen er ikke volum vurdert ettersom volumet ikke er påvirket.

**Tabell 8.4:** Seleksjonsmatrise for lossemekansime

Lossemekanismer		Mekanisme			Driv		
Kriterier	Vekting	B1	B2	B3	C1	C2	C3
Estetikk	1	4	3	5	5	5	5
Pålitelighet	5	3	4	2	4	5	3 <sup>1</sup>
Robusthet	5	4	3	2	3	5	4
Vekt	5	4	3	5	5	2	3
Energieffektivitet	4	5	3	4	4	4 <sup>2</sup>	4
Tidseffektivitet	2	5	5	4	4	5	4
Brukervennlighet	4	4	4	3	5	4	4
Produksjonskostnad	5	4	4	4	4	3	3
Miljø	5	3	2	4	4	3	4

**Tabell 8.4 forts.:** Seleksjonsmatrise for lossemekansime

Lossemekanismer		Mekanisme			Driv		
Kriterier	Vekting	B1	B2	B3	C1	C2	C3
Sum:		138	120	123	146	140	127
Rangering:		1	3	2	1	2	3

<sup>1,2</sup>Verdien er kommentert under tabellen.

#### Kommentarer til tabell 8.4:

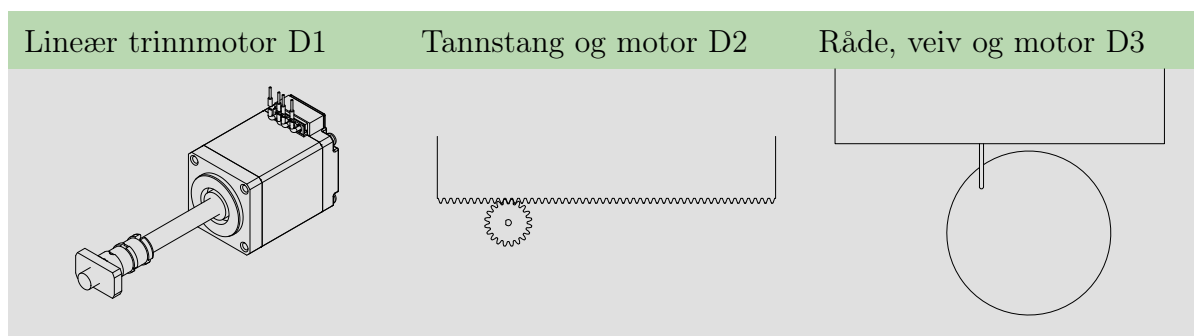
- <sup>1</sup> Vurdering av påliteligheten til “Pneumatisk” reduseres fordi luft komprimeres under belastning.
- <sup>2</sup> Energieffektiviteten til “Hydraulisk” er vurdert høyt fordi hydraulikk kan låses ved hjelp av enveisventiler.

Fra seleksjonsmatrisen til lossemekansimen kan vi se at konseptet “Skyvedører” vinner frem med elektrisk driv.

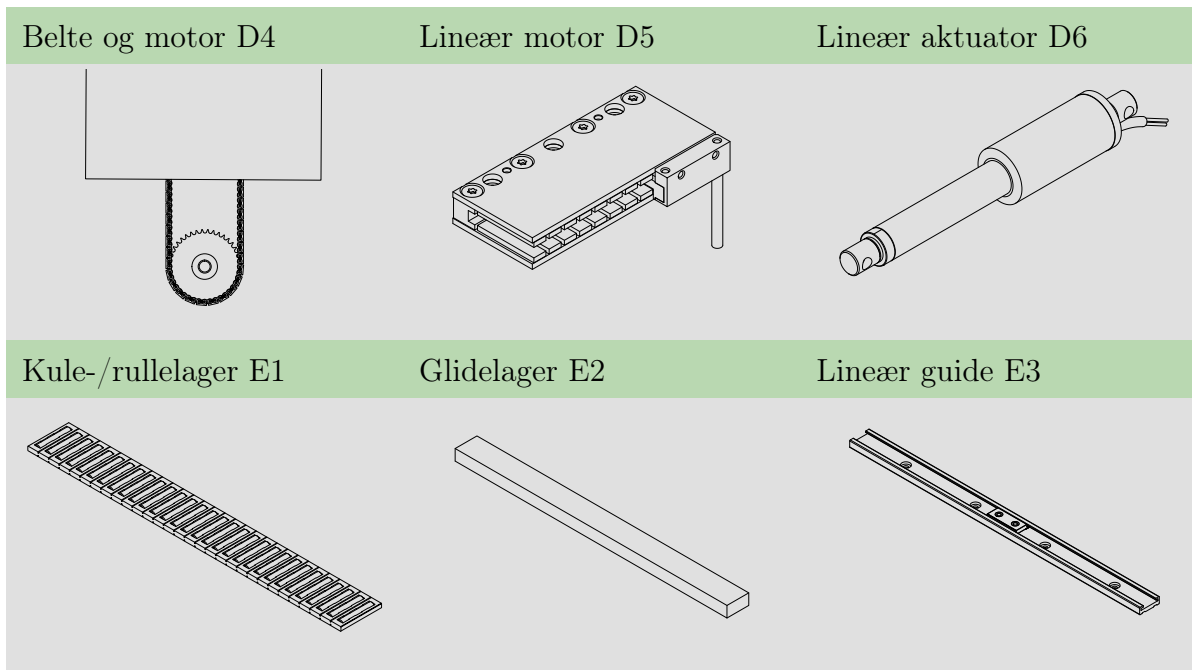
### 8.2.3 Styrskonvergens - elektriske skyvedører

Lossekonseptet er fortsatt ikke ferdig utviklet. Det gjennomføres igjen en intern funksjonsanalyse. De mest relevante konseptene for å bevege skyvedørene lineært med elektrisitet presenteres nedenfor.

**Tabell 8.5:** Elektriske skyvedørkonsepter



**Tabell 8.5 forts.:** Elektriske skyvedør konsepter



I seleksjonsmatrisen til de elektriske skyvedørene er estetikk og tidseffektivitet ikke vurdert ettersom de ikke er påvirket. Miljø er heller ikke vurdert fordi miljøpåkjenningene er såpass like for alle konseptene.

**Tabell 8.6:** Seleksjonsmatrise for Elektriske skyvedører

Elektriske skyvedører		Kraft overføring						Lager/guide		
Kriterier	Vekting	D1	D2	D3	D4	D5	D6	E1	E2	E3
Pålitelighet	5	4	3	4	4	3	5	4	4	5
Robusthet	5	5	4	3	4	4	5	5	4	5
Vekt	5	4	4	3	4	5	3	4	5	3
Volum	2	4	3	2	2	5	3	4	5	3
Energieffektivitet	4	4	4	4	4	5	4	5	4	5
Brukervennlighet	4	4	5	4	4	2	3	4	5	3 <sup>1</sup>
Produksjonskostnad	5	4	5	4	4	2	3	4	5	3 <sup>1</sup>
Sum:		125	122	101	111	108	114	129	136	118
Rangering:		1	2	6	4	5	3	3	1	2

<sup>1</sup> Verdien er kommentert under tabellen.

**Kommentarer til tabell 8.6:**



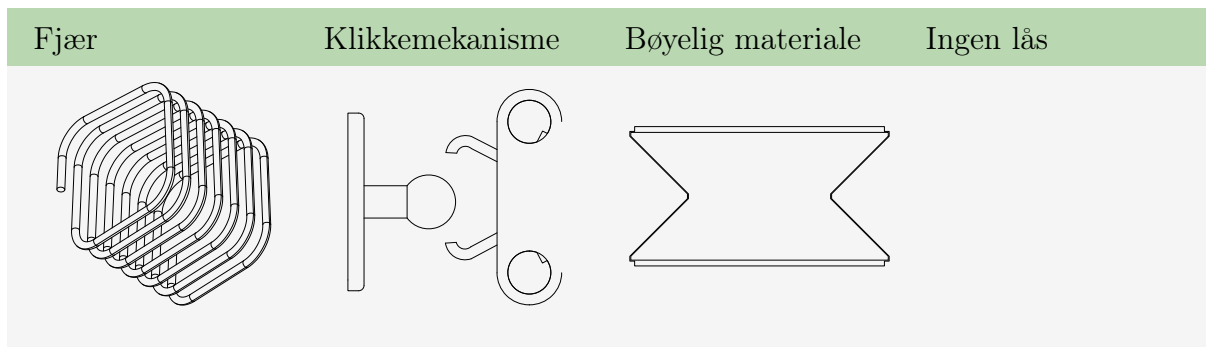
<sup>1</sup> Brukervennligheten og Produksjonskostnaden til “Lineær guide” reduseres fordi guider er komplekse og dyrere å reparere.

“Lineær trinnmotor” som beveger seg over et glidelager vinner seleksjonsmatrisen. Denne løsningen kan minne om printeflaten på 3D printere så det vil trekkes inspirasjon fra 3D printere i designet av lossemekanismen.

## 8.2.4 Styrskonvergens - låsemekanismer

Den siste konvergeringen som gjennomføres for lossekonseptet er en eventuell låsemekanisme. Det er ønskelig at skyvedørene skal holde seg sammen av seg selv for å slippe å ha dreiemoment på motoren til en hver tid. En ny intern funksjonsanalyse gjennomføres og de beste konseptene presenteres nedenfor.

**Tabell 8.7:** Oversikt over låsekonsepter



I seleksjonsmatrisen til låsekonseptene vil alle kriteriene utenom volum og estetikk bli vurdert. Løsningene vil ikke påvirke det interne volumet i beholder og løsningene er så små at de ikke påvirker den helhetlige estetikken til beholderen.

**Tabell 8.8:** Seleksjonsmatrise for låsekonsepter

Målinger		Konsepter			
Kriterier	Vekting	Fjær	Klikkemekanisme	Bøyelig	Ingen lås
Pålitelighet	5	4	3	4	5
Robusthet	5	4	3	2	3 <sup>1</sup>
Vekt	4	2	4	3	5
Energieffektivitet	4	3 <sup>2</sup>	5	3 <sup>2</sup>	1
Tidseffektivitet	2	3	5	5	5
Brukervennlighet	4	4	3	4	5

**Tabell 8.8 forts.:** Seleksjonsmatrise for låsekonsepter

Målinger		Konsepter			
Kriterier	Vekting	Fjær	Klikkemekanisme	Bøyelig	Ingen lås
Produksjonskostnad	5	3	3	3	5
Miljø	5	3	4	2	5
Sum		112	123	105	144
Rangering		3	2	4	1

<sup>1,2</sup> Verdien er kommentert under tabellen.

### Kommentarer til tabell 8.8:

<sup>1</sup> Vurderingen av robustheten til “Ingen lås” reduseres fordi drivmoment på motoren til enhver tid vil føre til slitasje.

<sup>2</sup> Vurderingen av energieffektiviteten til “Fjær” og “Bøyelig” er redusert fordi motoren må jobbe mot løsningen ved lossing.

Med seleksjonsmatrisen som grunnlag konkluderes det med at det ikke er behov for låsemekanisme på beholderen. Gjengeskruer er relativt godt “låst” ved radial last.

### 8.2.5 Konseptscreening av beholderkonsepter

I seleksjonsmatrisen til beholderkonseptene er energieffektivitet og tidseffektivitet ikke vurdert. Konseptene påvirker ikke tids- eller energieffektiviteten til Thorvald direkte. Beskrivelse av beholderkonseptene er presentert i tabell 7.3.

**Tabell 8.9:** Seleksjonsmatrise for beholdere

Beholdere		Konsepter		
Kriterier	Vekting	Stiv, buet	Myk	Uten tak
Estetikk	1	5	4	4
Pålitelighet	5	5	3	5
Robusthet	5	5	3	3
Vekt	5	3	5	5
Volum	2	3	2 <sup>1</sup>	1
Brukervennlighet	4	4	3	5

---

**Tabell 8.9 forts.:** Seleksjonsmatrise for beholdere

Beholdere		Konsepter		
Kriterier	Vekting	Stiv, buet	Myk	Uten tak
Produksjonskostnad	5	2	4	5
Miljø	5	3	4	5
Sum		117	115	141
Rangering		3	2	1

<sup>1</sup> Verdien er kommentert under tabellen.

### Kommentarer til tabell 8.9:

<sup>1</sup> Vurderingen av volum til “Myk” reduseres fordi det kan medkomme komplikasjoner når det interne volumet utvides.

I denne seleksjonsmatrisen vinner “Uten tak” med stor margin. Det kan også vurderes om beholderen kan ha et lokk som kan tas av og på i tilfelle det regner.

## 8.2.6 Konseptscreening av plasseringskonsepter

I seleksjonsmatrisen til plasseringskonseptene er rigiditet, brukervennlighet og vekt ikke vurdert. Beholderen kan bli designet til å ha ønsket rigiditet og vekt uavhengig av plassering. Brukervennligheten er ikke påvirket av plasseringen av beholderen. Beskrivelse av plasseringskonseptene er presentert i tabell 7.5.

**Tabell 8.10:** Seleksjonsmatrise for plassering av beholderen

Plassering		Konsepter		
Kriterier	Vekting	På tilhenger	På Thorvald	Ekstern Thorvald
Estetikk	1	3	5	4
Pålitelighet	5	4	5	3 <sup>1</sup>
Volum	2	5	3	5
Energieffektivitet	4	1 <sup>2</sup>	3	5 <sup>3</sup>
Tidseffektivitet	2	1	2	5 <sup>4</sup>
Produksjonskostnad	5	1 <sup>5</sup>	4	2 <sup>5</sup>
Miljø	5	2 <sup>5</sup>	4	2 <sup>5</sup>

**Tabell 8.10 forts.:** Seleksjonsmatrise for plassering av beholderen

Plassering		Konsepter		
Kriterier	Vekting	På tilhenger	På Thorvald	Ekstern Thorvald
	Sum	54	92	79
	Rangering	3	1	2

<sup>1,2,3,4,5</sup> Verdien er kommentert under tabellen.

### Kommentarer til tabell 8.10:

- <sup>1</sup> Påliteligheten til “Ekstern Thorvald” er vurdert lavt fordi det er flere ting som kan gå galt med flere komponenter og systemer.
- <sup>2</sup> Energieffektiviteten til “På tilhenger” er vurdert lavt fordi det er større friksjon.
- <sup>3</sup> Energieffektiviteten til “Ekstern Thorvald” er vurdert høyt fordi energien blir tatt fra den eksterne Thorvalden sitt batteri.
- <sup>4</sup> Vurderingen av tidseffektiviteten til “Ekstern Thorvald” økes fordi det kan være flere frakteroboter per plukkerobot.
- <sup>5</sup> Produksjonskostnaden og miljø til “Ekstern Thorvald” og “På tilhenger” er vurdert lavt fordi det må kjøpes en ekstra Thorvald eller bli designet en tilhenger.

Etter seleksjonsmatrisen er “På Thorvald” den beste plasseringen. Plasseringen er veldig avhengig av plukkekonseptet og vil bli vurdert nærmere i kapittel 10 som omhandler design revisjon.

### 8.2.7 Konseptscreening av festekonsepter

I seleksjonsmatrisen til festekonseptene er volum, miljø, vekt, tids- og energieffektivitet ikke vurdert. Volumet, tids- og energieffektiviteten er ikke påvirket av festemekanismen. Miljø- og vektforskjellen mellom konseptene er neglisjerbar. Beskrivelse av festekonseptene er presentert i tabell 7.6.

**Tabell 8.11:** Seleksjonsmatrise for beholderfeste

Plassering		Konsepter			
Kriterier	Vekting	Skrue og mutter	Klikk	Fastmontert	Skinne
Estetikk	1	2	5	4	4
Pålitelighet	5	4	3	5	5
Robusthet	5	3	4	5	4
Brukervennlighet	4	4	5	2 <sup>1</sup>	5
Produksjonskostnad	5	3	2	4	4
Sum		68	70	82	89
Rangering		4	3	2	1

<sup>1</sup> Verdien er kommentert under tabellen.

### Kommentarer til tabell 8.11:

<sup>1</sup> Brukervennligheten til “Fastmontert” er vurdert lavt fordi Thorvald er mindre fleksibel for å bli brukt til andre ting også.

“Skinne” konseptet rangeres som den beste løsningen etter gjennomført seleksjonsmatrise og blir designet videre.

### 8.2.8 Konseptscreening av målingskonsepter

I seleksjonsmatrisen til målingskonseptene er estetikk, rigiditet, energieffektivitet, vekt og volum ikke vurdert. Konseptene er så små at de ikke påvirker volum eller estetikk. Rigiditeten er vilkårlig, energiforskjellen og vektforskjellen er neglisjerbar. Beskrivelse av målingskonseptene er presentert i tabell 7.2.

**Tabell 8.12:** Seleksjonsmatrise for målinger

Målinger		Konsepter			
Kriterier	Vekting	Fuktighet	Last	Avstand	Ingen måledata
Pålitelighet	5	4	5	3	5
Tidseffektivitet	2	3	5	5	1
Brukervennlighet	4	4	5	4	1 <sup>1</sup>
Produksjonskostnad	5	4	3	4	5

---

**Tabell 8.12 forts.:** Seleksjonsmatrise for målinger

Målinger		Konsepter			
Kriterier	Vekting	Fuktighet	Last	Avstand	Ingen måledata
Sum		62	70	61	56
Rangering		2	1	3	3

<sup>1</sup> Verdien er kommentert under tabellen.

### Kommentarer til tabell 8.12:

<sup>1</sup> Brukervennligheten til “Ingen måledata” vurderes lav ettersom at det ikke er brukervennlig hvis Thorvald frakter for lite eller fuktig gras.

Fra seleksjonsmatrisen til lossekonseptene kan vi se at konseptene “Fuktighet” og “Last” er jevnt vurdert hvor “Last” vinner. Det er plass til begge disse sensorene på Thorvald, men ettersom fuktighetssensor kan ettermonteres, vil bare lastcelle konsepter vurderes i denne rapporten.

## 8.2.9 Konseptscreening av materialvalg

I seleksjonsmatrisen til materialkonseptene er pålitelighet, volum, energieffektivitet og tidseffektivitet ikke vurdert. Konseptene påvirker ikke tids- eller energieffektiviteten til Thorvald direkte. Innsidevolumet kan designes etter behov. Pålitelighet er det samme som robusthet for et materiale. Beskrivelse av materialvalg er presentert i tabell 7.4.

**Tabell 8.13:** Seleksjonsmatrise for materiale

Materiale		Konsepter		
Kriterier	Vekting	Karbonfiber	Plastikk	Aluminium
Estetikk	1	5	4	3
Robusthet	5	5	2	3
Vekt	5	5	4	3
Brukervennlighet	4	2	5 <sup>1</sup>	3
Produksjonskostnad	5	1	5	2
Miljø	5	1	2	4
Sum		73	89	75

**Tabell 8.13 forts.:** Seleksjonsmatrise for materiale

Materiale		Konsepter		
Kriterier	Vekting	Karbonfiber	Plastikk	Aluminium
Rangering		3	1	2

<sup>1</sup> Verdien er kommentert under tabellen.

### Kommentarer til tabell 8.13:

<sup>1</sup> Brukervennligheten til “Plastikk” vurderes høy fordi det er relativt rimelig og lett å kjøpe en ny beholder og installere den ved skader. Det er ikke like rimelig eller lett å reparere eller kjøpe ny beholder med de andre materialene.

“Plastikk” vinner seleksjonsmatrisen. Plastikk er lett, estetisk og kostnadseffektivt.

### 8.2.10 Styrkonvergens - fremstilling

Med alle valgene som er gjort ovenfor kan vi nå gjøre valg på hvordan beholderen skal fremstilles. Dette valget vil også påvirkes av robusthets- og kostnadsvurderinger så dette er et midlertidig valg. Se kapittel 12 og 13 for robusthets- og kostnadsvurderinger.

I seleksjonsmatrisen til fremstilling ser vi på 3 mulige fremstillingsmetoder, rotasjonsstøping, sprøytstøping og 3D printing. Bare robusthet, vekt, produksjonskostnad og miljø er vurdert i denne seleksjonsmatrisen. Produksjonskostnadsvurderingen er basert på masseproduksjon.

**Tabell 8.14:** Seleksjonsmatrise for produksjonsmetode

Produksjonsmetode		Konsepter		
Kriterier	Vekting	Rotasjonsstøping	Sprøytstøping	3D printing
Robusthet	5	5	4	3
Vekt	5	5	4	4
Produksjonskostnad	5	4	3	2
Miljø	5	3	4	4
Sum		80	75	65
Rangering		1	2	3

---

Rotasjonsstøping rangeres som den beste løsningen og blir valgt som midlertidig produksjonsmetode.

### 8.2.11 Styrskonvergens - plastikkvalg

Rotasjonsstøping støper hovedsakelig termoplast. I seleksjonsmatrisen til plastikkvalg vurderes høy densitet polyetylene (HDPE), polyvinylklorid (PVC) og polypropelene (PP). I seleksjonsmatrisen ekskluderes volum, energieffektivitet, tidseffektivitet og brukervennlighet.

**Tabell 8.15:** Seleksjonsmatrise for plastikk

Plastikk		Konsepter		
Kriterier	Vekting	HDPE	PVC	PP
Estetikk	1	4	4	5
Robusthet	5	4	5	4
Vekt	5	5	3	4
Produksjonskostnad	5	5	3	4
Miljø	5	5	2	3
Sum		99	69	80
Rangering		1	3	2

Høy densitet polyetylen blir valgt som midlertidig plastikk. Det vil bli tatt i bruk forbedringssløyfer hvis det viser seg at HDPE ikke egner seg som materiale. Se kapittel 12 og 13 for robusthets- og kostnadsvurderinger.

## 8.3 SCAMPER

For å ta i bruk SCAMPER genereres det ledende spørsmål som ikke er vilkårlige ovenfor konseptscreening valgene. Svarene til spørsmålene vil så bli vurdert nederst i delkapittelet og hvis ideene er gode vil de bli inkludert.



**Tabell 8.16:** Erstatt

Ledende spørsmål	Idé
Kan den offentlige oppfatningen av produktet erstattes?	Bruksestetikk og markedsføring kan brukes til å erstatte oppfatningen av produktet.
Kan strukturen rundt produktet erstattes?	Kompaktoren ved enden av jordet kan muligens automatiseres.

**Tabell 8.17:** Kombiner

Ledende spørsmål	Idé
Kan deler i produktet kombineres?	Lastcellen bør plasseres nærme opplagringen. Lastcelle og feste kan muligens kombineres.
Kan jeg kombinere produktet med et annet produkt?	Ja, f.eks. fuktighetssensor.
Kan jeg kombinere materialer?	Rotasjonsstøpte og 3D printede deler kan forsterkes med fiber.

**Tabell 8.18:** Tilpasse

Ledende spørsmål	Idé
Er det idéer som kan kopieres/lånes?	Ja, det er mange gode løsninger i jordbruksindustrien.

**Tabell 8.19:** Endre/Forstørre/Minske

Ledende Spørsmål	Idé
Kan produktet forstørres?	Ja
Kan målgruppe forstørres?	Målgruppen kan forstørres ved å øke antall bruksområder og brukervennlighet.
Kan hastigheten til produktet økes?	Hastigheten til produktet er ganske fastsatt, men et økt antall roboter kan føre til raskere høsting.

---

**Tabell 8.20:** Endre bruksområde

Ledende spørsmål	Idé
Kan produktet brukes i andre områder?	Produktet kan også bli brukt til frakting av høy og hvis Thorvald blir utstyrt med en skurtresker kan også korn fraktes.
Kan små endringer i produktet endre bruksområdet?	Hvis en presenning eller lignende plasseres oppi beholderen kan også væske fraktes.

**Tabell 8.21:** Eliminer

Ledende spørsmål	Idé
Kan produktet deles opp i flere produkter?	Lossemekanismen kan konstrueres som eget produkt ved lossepunktet.
Kan vibrasjoner elimineres?	Demping ved festene kan føre til at Thorvald sin vibrasjon ikke forplanter seg fram til beholderen.

**Tabell 8.22:** Reverser

Ledende spørsmål	Idé
Kan produktet bli brukt i revers?	Små endringer kan bli gjort for å bruke produktet til å spre ting utover jorden.

Etter gjennomføring av SCAMPER spørsmålene kan det konkluderes med at det er mange forbedringsaspekter ved produktet. I denne rapporten er det begrenset med tid som kan brukes til å implementere alle forbedringene, så forbedringene som inkluderes hensyntar mål, krav og bruksområde for produktet. Lastcellene blir kombinert med beholderfestene og det implementeres også vibrasjonsbufferne.

## 8.4 Form- og estetikkvalg

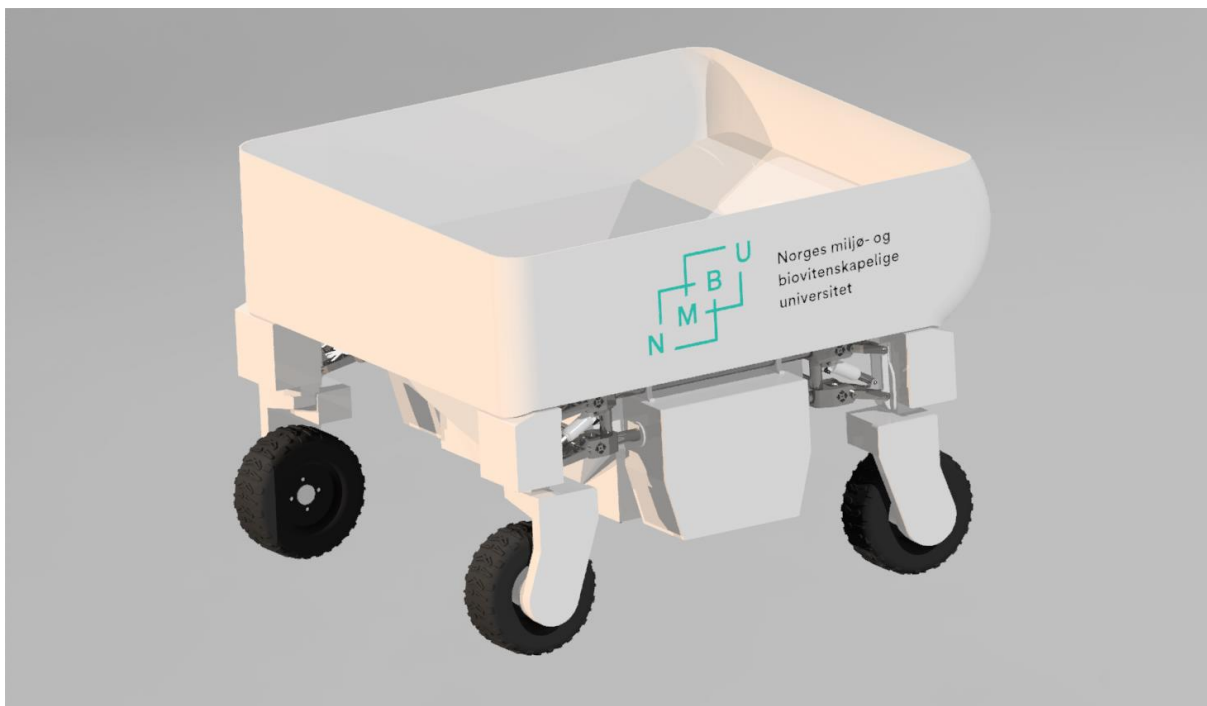
Det gjøres en subjektiv vurdering av hvilke aspekter det er mest konkurransedyktig å fremheve med form- og estetikkvalgene. Det konkluderes med at det gir størst merverdi

---

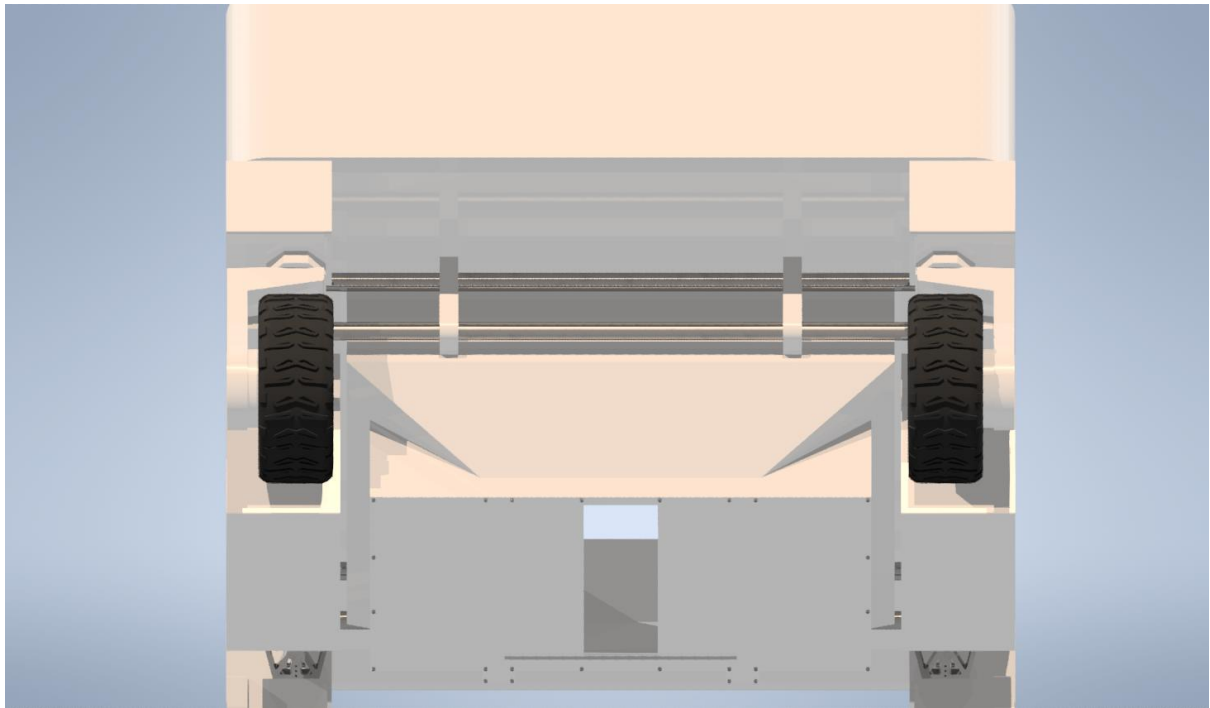
å fremheve presisjon og estetikk. For å matche Thorvald presenteres beholderen med høyglans hvit maling, avundede hjørner og NMBU logo på siden av beholderen.

## 8.5 Resulterende konsept

Det resulterende konseptet er en stiv beholder uten tak som er plassert inni rammen til Thorvald, beholderfestet har skinner som holderen sklir inn i. Beholderen lossrer gras ved at 2 skyvedører beveger seg fra hverandre. Beholderfestene er utstyrt med to lastceller og vibrasjonsdempere. Beholderen kan skli ut av beholderfestene ved å bli løftet opp.



**Figur 8.2:** Rendert presentasjon av det resulterende konseptet.



**Figur 8.3:** Rendert presentasjon av det resulterende konseptet.

---

## 9 Eksternscreening

Det er gjort en spørreundersøkelse om produktet generelt og om de ulike konseptvalgene i kapittel 8.2.

### 9.1 Målsettinger for testing

Målene med konsepttestingen er følgende:

- Få en indikasjon på markedsinteressen for produktet.  
⇒ En vurdering av markedsinteressen til produktet vil gi et grunnlag for salgspris, konseptkvalitet og designkvalitet.
- Få tilbakemeldinger på funksjon og estetikk valg.  
⇒ En tilbakemelding på de midlertidige konseptvalgene vil brukes til å vurdere og revurdere objektiviteten i seleksjonsmatrisene utredet i kapittel 8.
- Få nye innspill som ikke er tenkt på tidligere.  
⇒ Nye idéer og innspill utenfra kan bedre de konseptene som har blitt generert og vurderinger av disse innspillene kan gjøre produktet bedre.

### 9.2 Valg av testpopulasjon

En god testpopulasjon består av personer med relevant kunnskap og potensielle brukere med blandet bakgrunn. Fokuset for denne spørreundersøkelsen er bønder og ingeniører med jordbruks- og robotikkbakgrunn. Ingeniørene som ble spurt om å delta i spørreundersøkelsen er hovedsakelig kontaktpersoner fra GrassRobotics. De har mange ingeniører med jordbruksbakgrunn som har vært involvert med Thorvald. Bøndene som har blitt spurt om å delta er kontaktet via familiemedlemmer og GrassRobotics kontaktene. Familiemedlemmer og ansatte ved NMBU og SagaRobotics har ikke besvart spørreundersøkelsen fordi de allerede har standpunkter og det kan derfor være vanskelig å være objektiv.

---

## 9.3 Innhold og form på spørreundersøkelsen

Spørreundersøkelsen består av et dokument på 3 sider. Foretrukne løsnings- og estetikkalternativer er kommunisert ved hjelp av 2 renderte bilder av en 3D modell og beskrivende tekst. Bakgrunnsinformasjon om Thorvald og GrassRobotics ble inkludert i mail.

Spørreundersøkelsen består av 6 spørsmål med oppfølgende spørsmål, spørreundersøkelsen ender med et kommentarfelt. Spørsmålene er formulert slik at testgruppen svarer som potensielle brukere. De viktigste tekniske innspillene fra ekspertgruppen kommer frem i tekstboksene, og i samtaler etter undersøkelsen.

Spørreundersøkelsen er lagt ved rapporten, se vedlegg A1.

## 9.4 Spørreundersøkelse resultater

Nedenfor presenteres de kvalitative resultatene til hvert av spørsmålene og kommentarer rundt hvert av spørsmålene blir reflektert.

### 9.4.1 Spørsmål 1

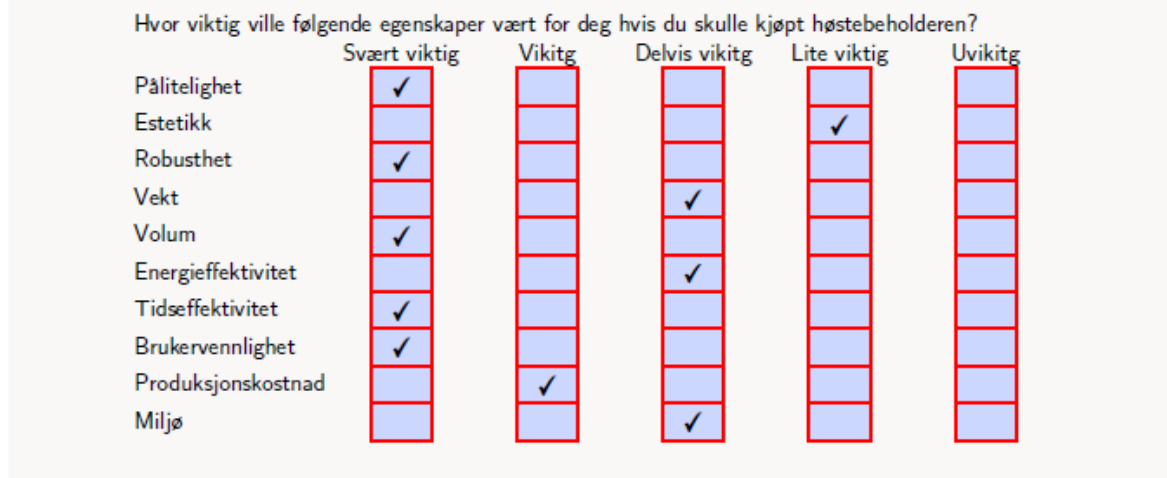
Spørreundersøkelsen ble besvart av 1 robotikkingeniør, 1 jorbruksingeniør, 9 bønder/agronomer og 2 personer som falt utenfor denne kategoriseringen. Alle bøndene høster grovfôr, hvor de i gjennomsnitt høster 3 ganger i året. Alle bøndene er også påvirket av jordpakking, men spesielt i regnfulle år. Det ble nevnt at utviklingen med tyngre og tyngre maskiner ikke er bærekraftig og at høstevinduet blir mindre og mindre.

Alle som besvarte spørreundersøkelsen kjente til Thorvald fordi de har hatt kontakt med NMBU eller lest om Thorvald i fagblad eller lignende.

### 9.4.2 Spørsmål 2

Alle personene som besvarte spørreundersøkelsen synes at pålitelighet, robusthet, volum, tidseffektivitet og brukervennlighet er viktig eller svært viktig.

## Spørsmål 2



Figur 9.1: Gjennomsnittlige svar av viktigheten for produktets egenskaper.

### 9.4.3 Spørsmål 3

Alle respondentene utenom 2 mener at konsept 3 er det beste konseptet. Respondentene begrunnet besvarelsene med at konsept 3 så ut som det hadde en bedre evne til lossing av gras og at konseptet så ut som det var det mest robuste. Det var få kommentarer på forbedringspotensiale, men mesteparten var fokusert på en større åpning.

### 9.4.4 Spørsmål 4

5 av respondentene svarte at 350 kg er en tilstrekkelig mengde med grovfôr. Bøndene hadde et tydeligere fokus på kapasitet og ønsket mer enn 350 kg nyttelast. For de som svarte at 350 kg ikke var tilstrekkelig var 700 kg det gjennomsnittlige svaret.

### 9.4.5 Spørsmål 5

Det var overraskende få som var villig til å ha separate plukke- og frakteroboter. 6 av 13 respondenter svarte at de var villige til å kjøpe flere roboter. De som svarte nei mente at det var vanskelig å anslå kapasiteten og effektiviteten til løsningen og uten konkrete tall på pris kunne de ikke se for seg å investere i flere roboter.

---

### 9.4.6 Spørsmål 6

Begrunnelsen for besvarelsene i spørsmål 6 var preget av usikkerhet fordi det var usikkerhet rundt kapasiteten og effektiviteten til Thorvald. Det ble også besvart at det er vanskelig å anslå prisen på tilleggsutstyr. Majoriteten av respondentene er villig til å betale 25 000 - 30 000 kr.

### 9.4.7 Kommentarer

I kommentarfeltet ble det igjen reflektert at det vil være vanskelig å høste tilstrekkelig mengde med gras med en nyttelast på 350 kg, da graset ofte må høstes i små vinduer. Selvom bøndene var usikre på denne konfigurasjonen av Thorvald og beholderen, var de generelt positive til innovasjon innenfor lettere høsteutstyr og påpekte at en løsning kan veie flere tonn, men fortsatt være en lettere løsning enn hva de bruker i dag. Det ble også nevnt at slåing, vending og raking av gras er oppgaver som er godt egnet for autonome "traktorer".

## 9.5 Spørreundersøkelse refleksjoner

Det er tydelig at bønder med store gårder i flate områder ønsker en oppskalert løsning så det kan fraktes mer gras i korte tidsrom. Det virker også som at tidsrommet for å høste graset er såpass kort at Thorvald sin egenskap til å være operativ 24 timer i døgnet ikke er like verdifull som tidligere tenkt. Manuell høsting i 18 timer med høy kapasitet virker ønskelig sammenlignet med 48 timer+ autonom høsting.

Det er også tydelig at alle respondentene mener at de viktigste aspektene med lukekonseptene er at åpningen er så stor som mulig og at løsningen er robust og pålitelig.

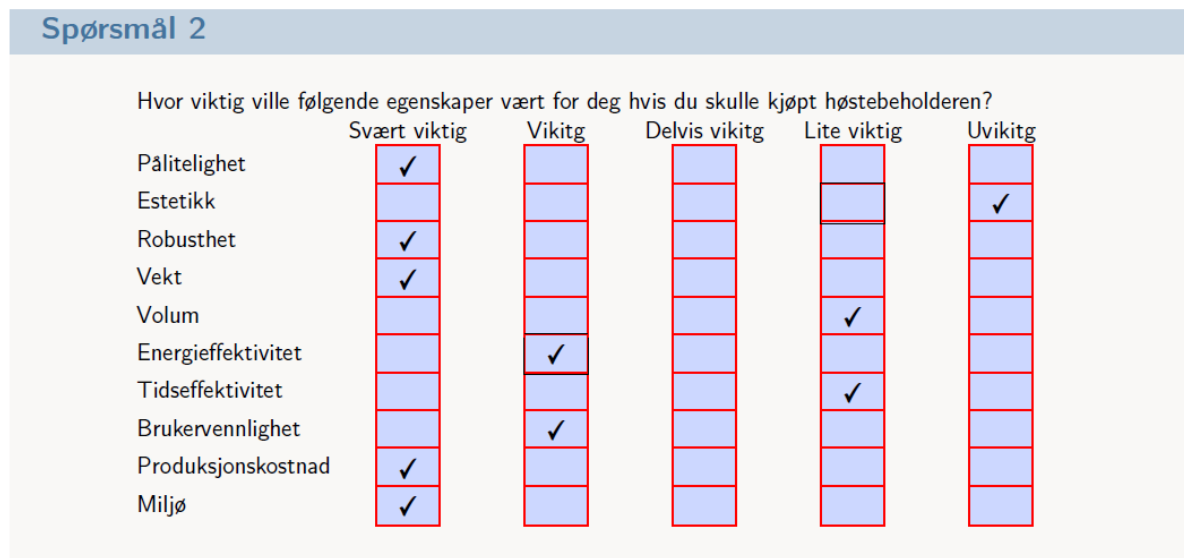
Tidseffektivitet og volum har trolig blitt vurdert anderledes av respondentene enn i rapporten. I rapporten er volumet satt til  $1,4 m^3$  og vektingen er basert på hvordan forskjellige konsepter påvirker formen til beholderen. Besvarelsene er basert på hvor viktig totalvolumet er. Tidseffektiviteten er også i besvarelsene basert på høstekapasitet. I rapporten er tidseffektiviteten vektet etter hvor mye ekstra tid forskjellige konsepter bruker. Vektingen av vekt er også anderledes fordi i rapporten er denne vektingen satt



---

såpass høyt fordi den påvirker mengden gras som kan bli fraktet.

Utenom vektingen av volum, vekt og tidseffektivitet så er orginalvektingen av egenskapene ganske representativ for hva brukerne ønsker. Nedenfor presenteres orginalvektingen av produktegenskapene.



**Figur 9.2:** Orginalvekting av produktegenskaper.

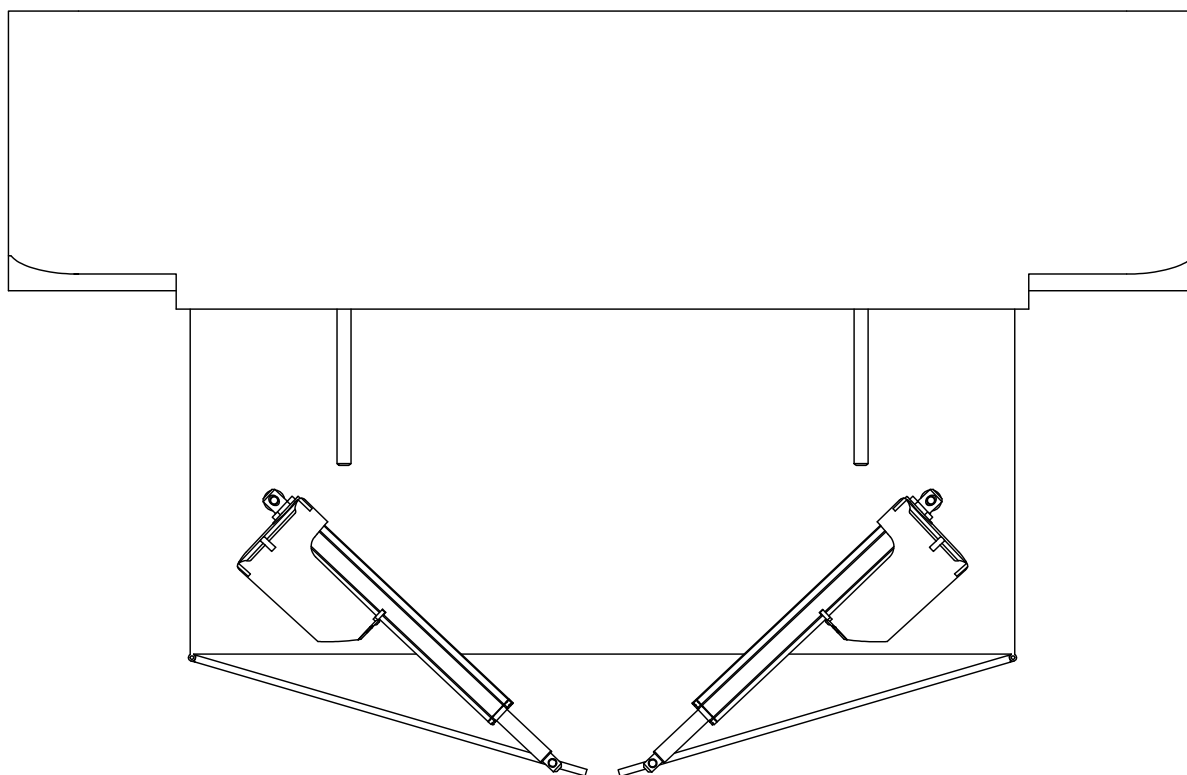
---

## 10 Design revisjon

I dette kapitlet utvikles det design revisjoner basert på tilbakemelding fra eksternscreeningen og plukkeutstyrets design.

### 10.1 Lossekonsept

Som følge av tilbakemeldingen fra spørreundersøkelsen og grov kvalitetsutvikling har det blitt utviklet et nytt lossekonsept. Det nye konseptet har en åpning som dekker hele bunnarealet av beholderen. Simuleringen som ble brukt til å beregne grensespesifikasjonen for losseåpningen har usikkerheter, så tilbakemeldinger fra brukere om at det ikke er tilstrekkelig veier tungt.

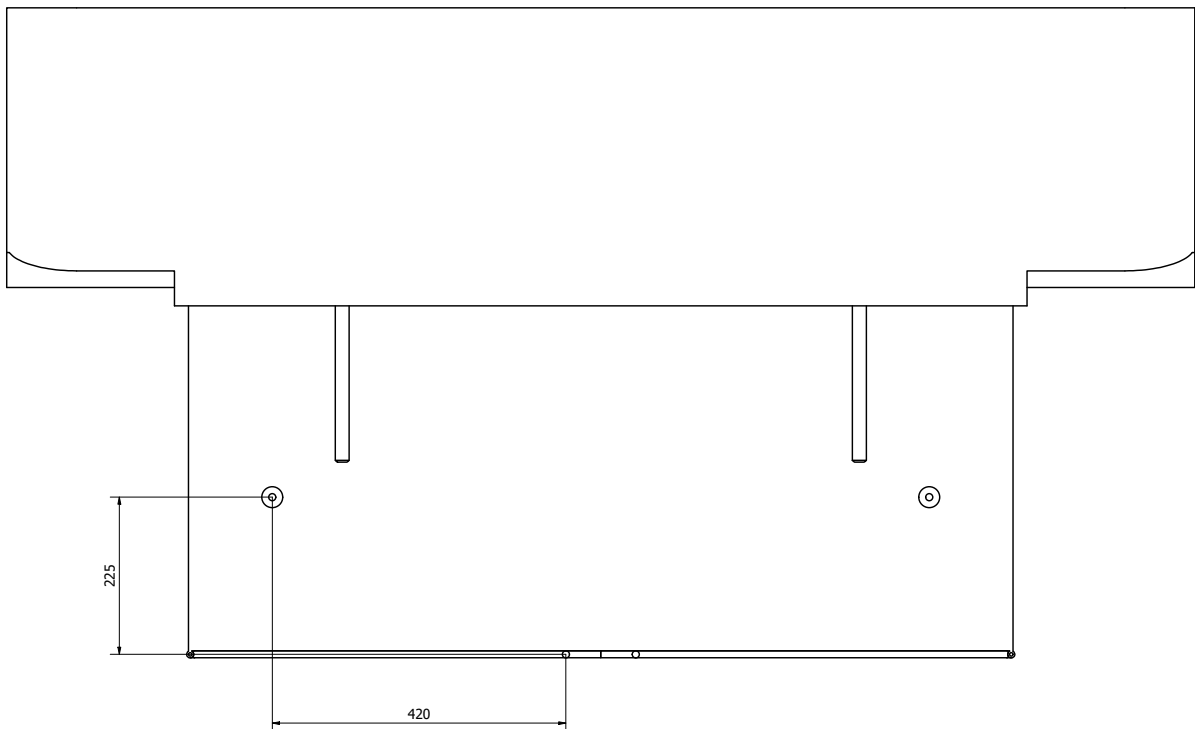


**Figur 10.1:** Illustrasjonen av nytt lossekonsept.

Drivet til dette konseptet må festes på siden av beholderen. For å bestemme driv til dette konseptet vurderes forskjellige alternativer, mest fremtredende en vinsjøsning og sylindere. Elektriske sylindere blir bestemt som det beste drivet. Utvalget av sylindere er tatt fra

---

LINAK sitt sortiment. Det kreves at sylindren som skal brukes enten er utstyrt med brems eller er selvlåsende ved full last i dra retning. Nedenfor vurderes det om LINAK LA33 med lastkapasitet på 1500 N og slaglengde på 300 mm er tilstrekkelig for konseptet sine dimensjoner. (LINAK, 2020a)



**Figur 10.2:** Dimensjoner på festepunktet til sylindren.

Sylindren får ganske akutt vinkel normalt med lastretning. Kraften dekomponeres for å finne maksimal last som sylindren kan holde i y retning.

$$F_{dra} = 1500N \quad (10.1)$$

$$\sin(\alpha) \cdot F = F_y \quad (10.2)$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{225}{420}\right) \quad (10.3)$$

$$\sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{225}{420}\right)\right) \cdot 1500N \approx 708,3N \quad (10.4)$$

Hver av sylindrene kan holde 708,3 N i y-retning. For å finne kritisk lastkapasitet for

---

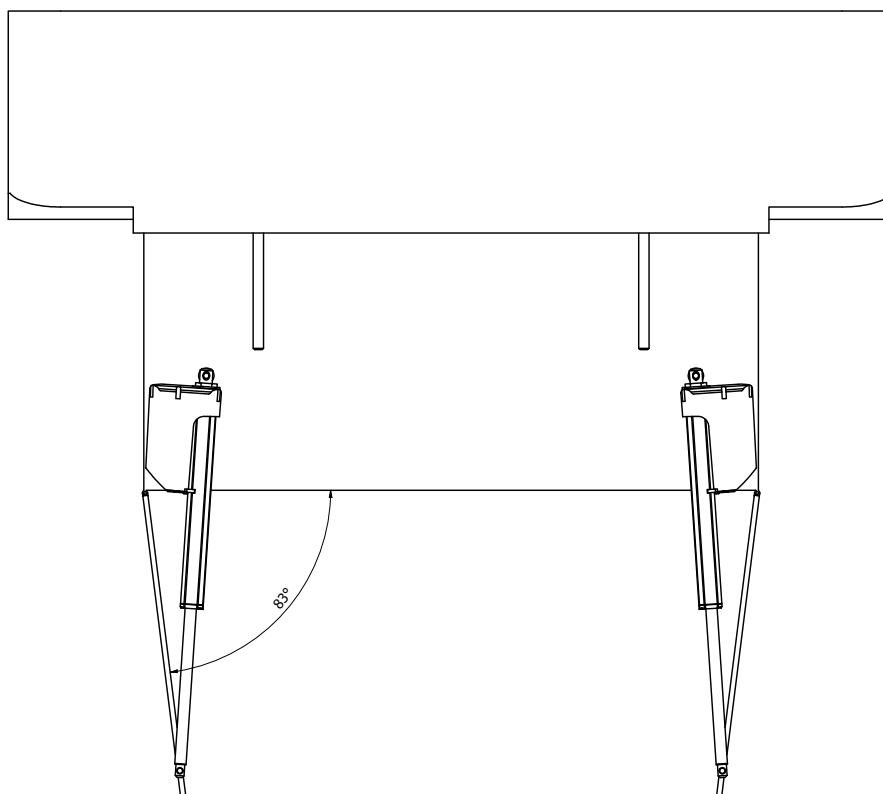
beholderen regnes lasten jevnt fordelt over dørene.

$$F_{last,kritisk} = 8 \cdot 708,3N = 5666.4N \quad (10.5)$$

Finner sikkerhetsfaktor ovenfor maksimal graslast.

$$n = \frac{F_{last,kritisk}}{F_{gras}} = \frac{F_{last,kritisk}}{g \cdot m_{gras}} = \frac{5666.4N}{9,81m/s^2 \cdot 350kg} \approx 1.65 \quad (10.6)$$

Antar at 1.65 er tilstrekkelig inntil videre fordi dørene ikke vil være belastet med alt graset direkte.



**Figur 10.3:** Åpningsvinkel til dørene ved full utvidelse.

Ved full utvidelse åpnes dørene til en vinkel på 83°. 83° antas å være en tilstrekkelig vinkel for lossing av graset. LINAK LA33 er tilstrekkelig for beholderen sine dimensjoner og blir valgt som sylinder som skal brukes.

LINAK LA33 med 24V motor drar 6,5 A ved full last og 1,8 A uten last. Energiforbruket til løsningen anslås konservativt ved å anta at beholderen trekker 6,5 A ved åpning og

lukking. Sylinderene trekker ikke strøm når beholderen er lukket ettersom sylinderene er utstyrt med bremsere som også har en lastkapasitet på 1500 N. Sylinderene har en hastighet på 30 mm/s ved full last. (LINAk, 2020b)

$$P_{Lossing} = 2 \cdot E \cdot I = 2 \cdot 24 \cdot 6,5 = 312W \quad (10.7)$$

Sylinderene trekker ca. 312 W hver gang graset dumpes og bruker 10 sekunder på å vandre en full slaglengde. Hver sylinder veier 1600 gram.

## 10.2 Valg av endelig konsept

Det gjennomføres en seleksjonsmatrise av det tidligere valgte konseptet og dette alternative konseptet for å konkludere hvilket av konseptene som er best.

Vektingen av egenskapene følger de opprinnelige definisjonene.

**Tabell 10.1:** Seleksjonsmatrise for design revisjon

Revisjon		Konsepter	
Kriterier	Vekting	Gjeldende, skyvedører	Alternativ, stor luke
Estetikk	1	5	4
Pålitelighet	5	3 <sup>1</sup>	5
Robusthet	5	4	4 <sup>2</sup>
Vekt	5	5	4
Volum	2	2	5
Energieffektivitet	4	4	3
Tidseffektivitet	2	3	4
Brukervennlighet	4	3 <sup>3</sup>	3 <sup>3</sup>
Produksjonskostnad	5	3 <sup>4</sup>	3
Miljø	5	3	4
Sum		133	146
Rangering		2	1

<sup>1,2,3,4</sup> Verdien er kommentert under tabellen.

---

**Kommentarer til tabell 10.1:**

- <sup>1</sup> Påliteligheten til “Gjeldende, skyvedører” vurderes lav som følge av respondentenes svar i spørreundersøkelsen; høy sannsynlighet for at graset hoper seg opp.
- <sup>2</sup> Vurderingen av robustheten til “Alternativ, stor luke” reduseres fordi sylinders brems er utsatt for mye last over lang tid.
- <sup>3</sup> Brukervennligheten til “Alternativ, stor luke” vurderes likt som “Gjeldende, skyvedører” selvom det er færre deler fordi “Alternativ, stor luke” ikke kan åpnes på flatmark.
- <sup>4</sup> Vurderingen av produksjonskostnad til “Gjeldende, skyvedører” reduseres fordi det forutsetter en komplisert struktur i beholderen for å implementere løsningen.

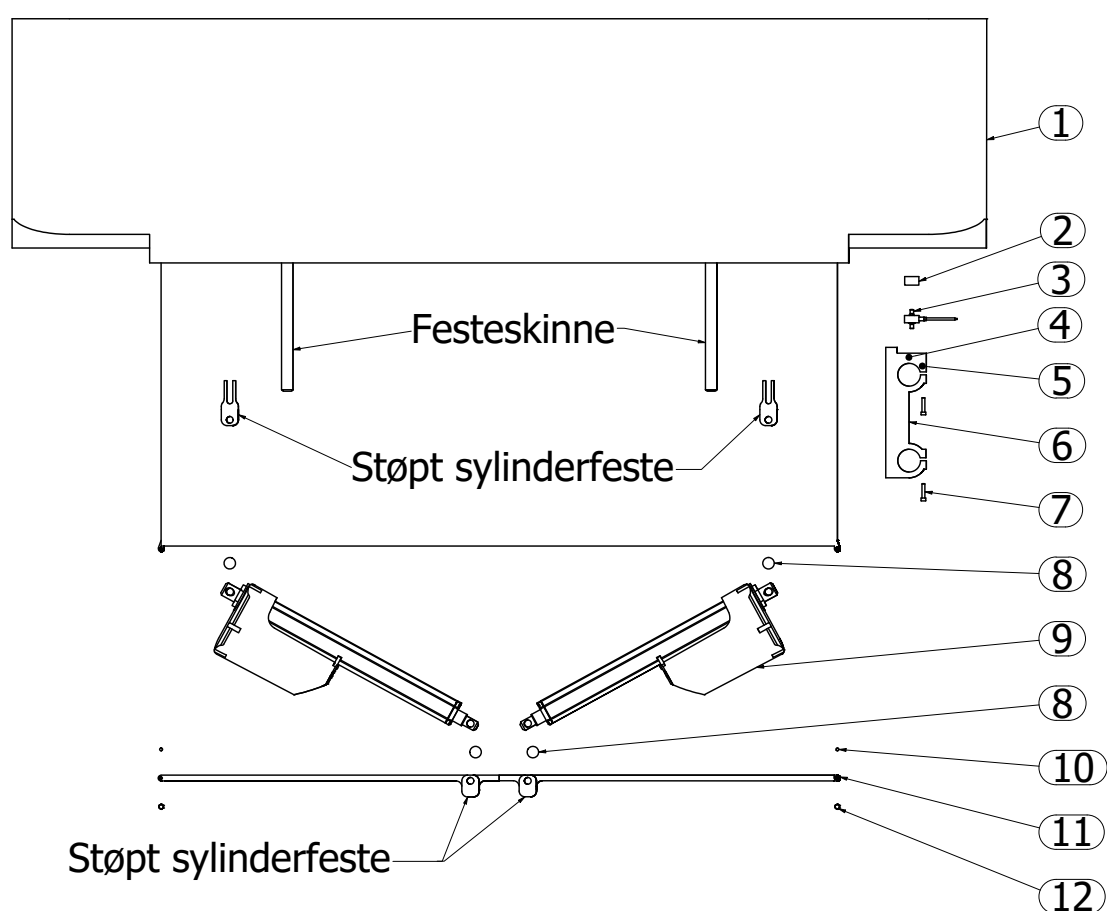
Den alternative løsningen med større luke vinner seleksjonsmatrisen. Som følge av dette velges det å gå videre med denne alternative løsningen istedenfor den gjeldende løsningen. Konseptalternativene som ikke er påvirket av det nye lukekonseptet forblir uendret.

# 11 Produktarkitektur og konseptdesign

I dette kapitlet presenteres hele produktarkitekturen til de valgte konseptene etter egen- og eksternscreening.

## 11.1 Sammenstilling

Nedenfor presenteres et eksplodert bilde av alle de unike komponentene til beholderen. Beholderfestet er rotert og flyttet til siden for å gi bedre oversikt.



Figur 11.1: Eksplodert sammenstillingsbilde av beholderens unike komponenter.

Tabell 11.1: Oversikt over produktet sine komponenter.

Del	Del nummer	Beskrivelse	Antall
Beholder	1	Beholder	1
Vibrasjonsbuffer	2	Elesa DVA.5-25-15-SST-M6-70	4

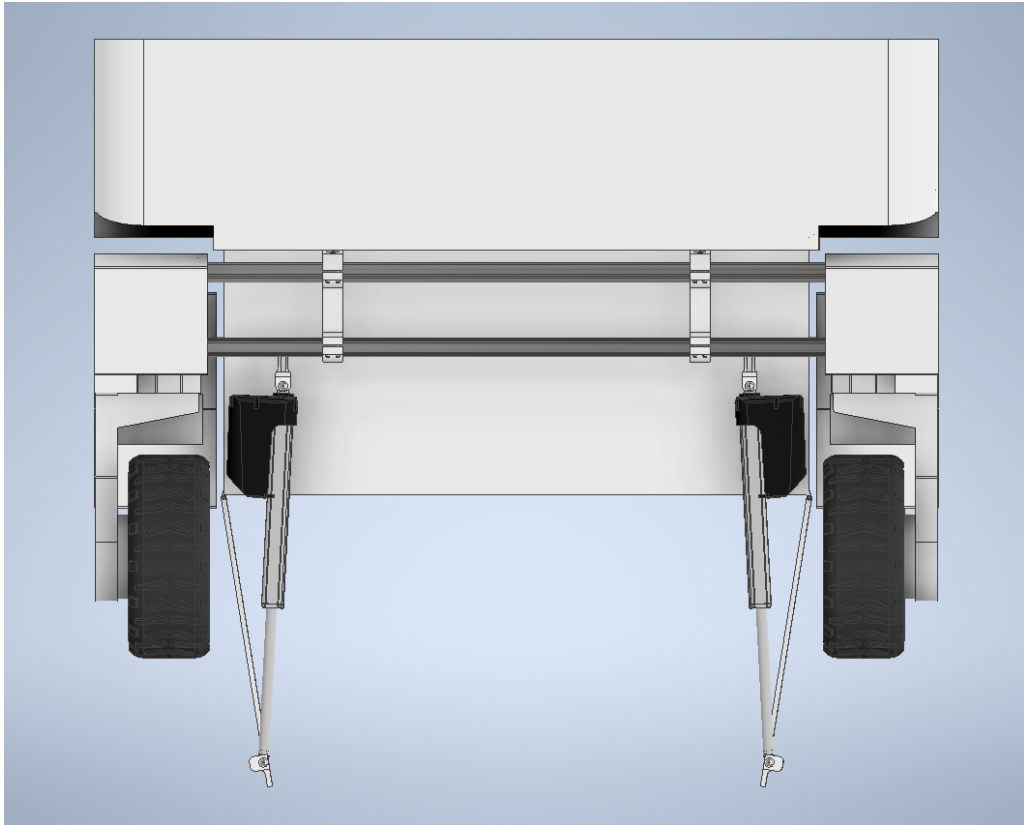
**Tabell 11.1 forts.:** Oversikt over produktet sine komponenter.

Del	Del nummer	Beskrivelse	Antall
Lastcelle	3	Burster 8431-6002	4
Støpeinnsetter	4	PennEngineering IBLC-M6-8ASSY	4
Støpeinnsetter	5	PennEngineering IBLC-M5-8ASSY	16
Feste	6	Feste som sklir inn i beholderen	4
Skrue	7	ISO 4762 - M5 x 25	32
Sylinderfeste pin	8	Tilbehør for å feste sylindrene	8
Sylinder	9	LINAK LA33	4
Hengsel pin	10	Stålstang med gjengede ender	2
Lukedør	11	Dørene som åpnes i bunnen av beholderen	2
Ende mutter	12	DIN 1587 - M5	4

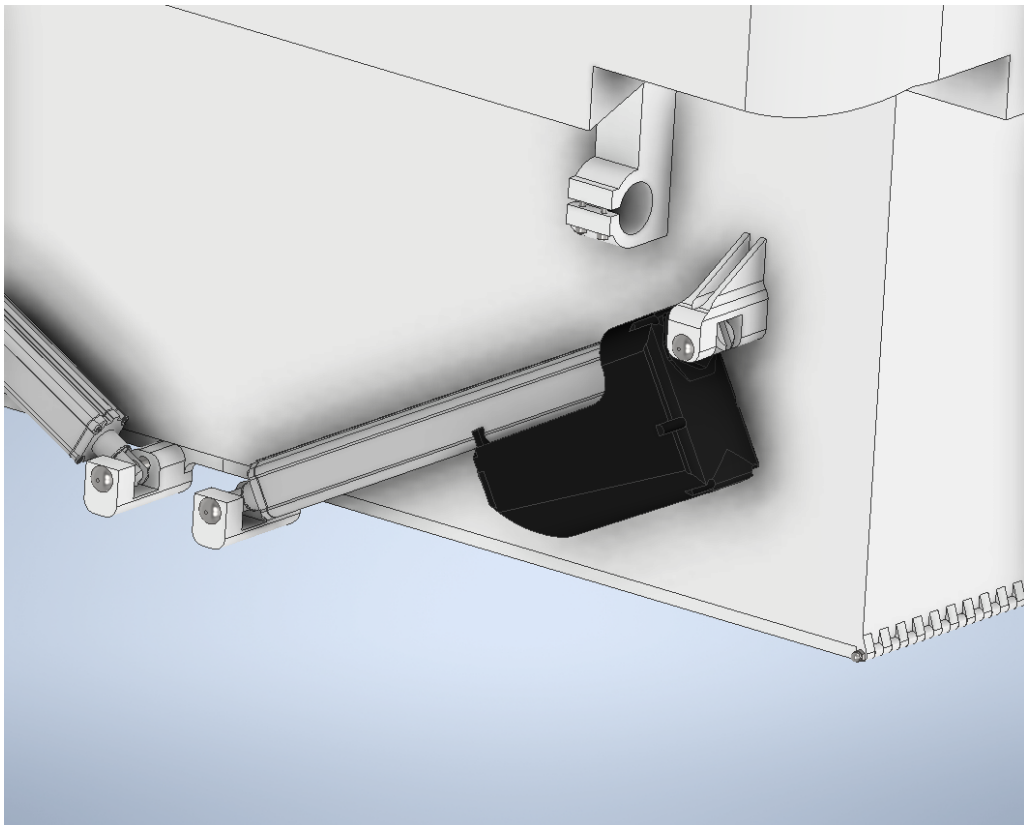


**Figur 11.2:** Beholderen montert på Thorvald med lukket luke.

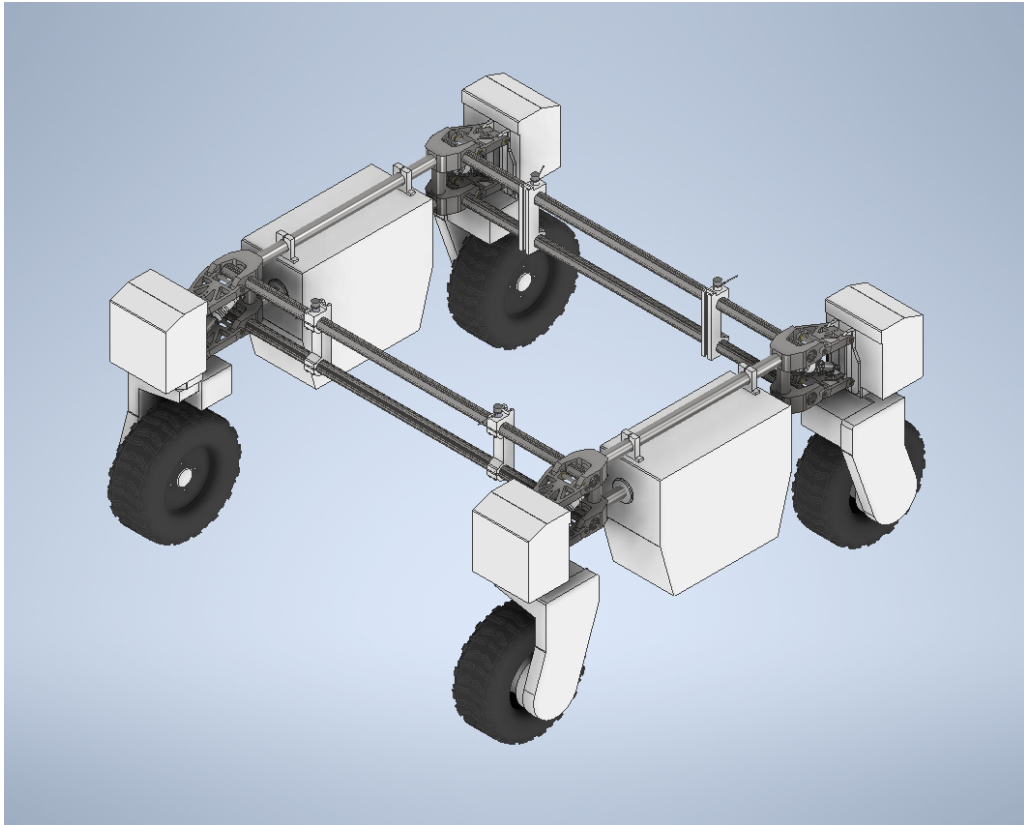




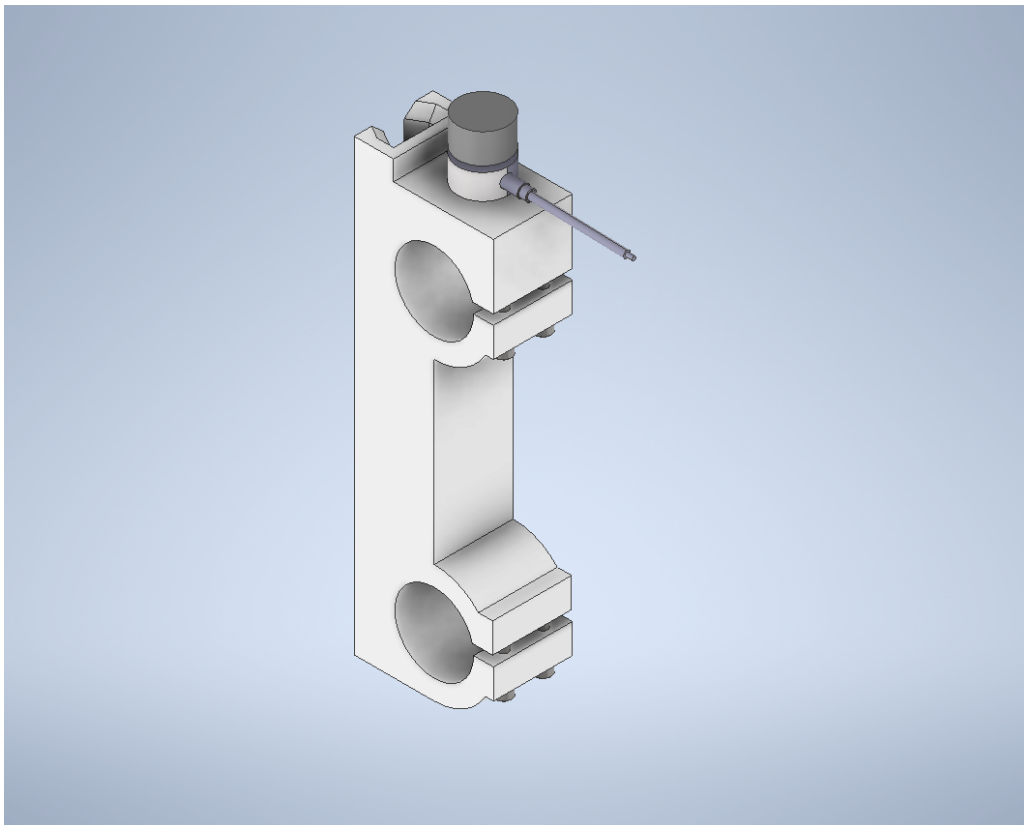
**Figur 11.3:** Beholderen montert på Thorvald med åpen luke.



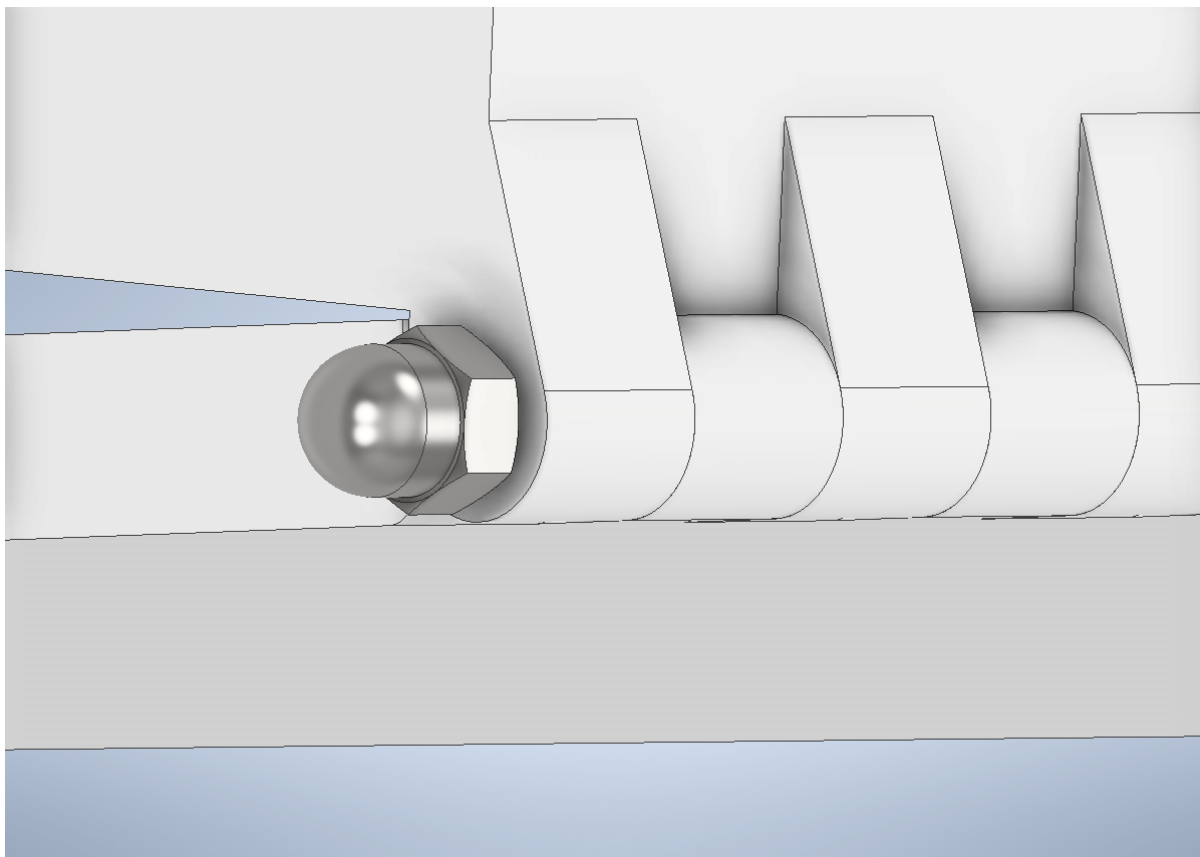
**Figur 11.4:** Oversiktsbilde av sylinder montering.



**Figur 11.5:** Thorvald med beholderfestene montert.



**Figur 11.6:** Oversikt over beholderfeste sammenstilling.

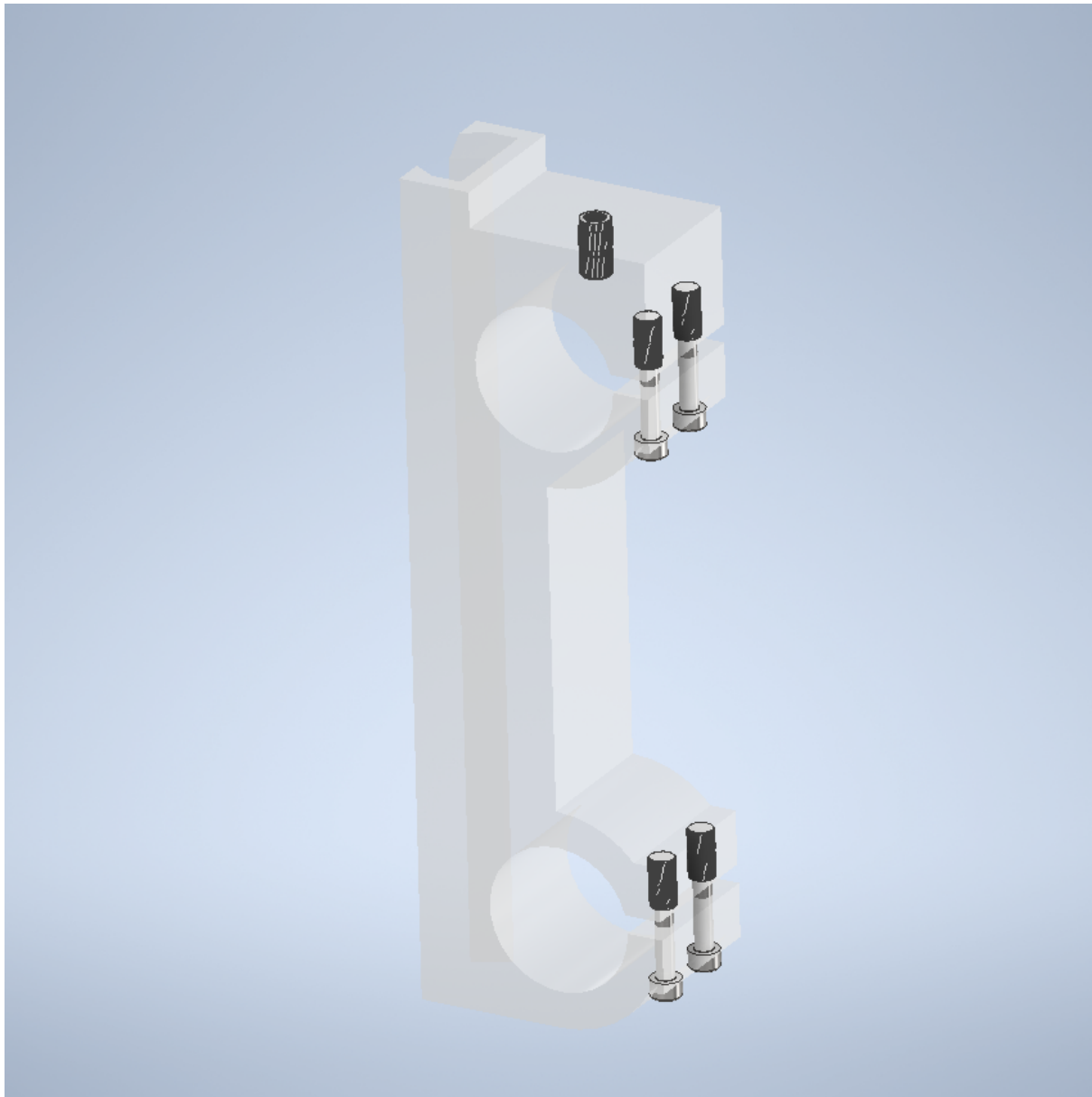


**Figur 11.7:** Zoomet bilde av beholderhengslene.

Sammenstillingen av beholderen er ikke overkomplisert så reparasjon av beholderen vil heller ikke være overkomplisert. Beholderen kan av- og påmonteres lett ettersom beholderen kan løftes ut av beholderfestene sine skinner. Beholderfestene monteres på rammen til Thorvald når Thorvald blir montert og strammes til med skruer.

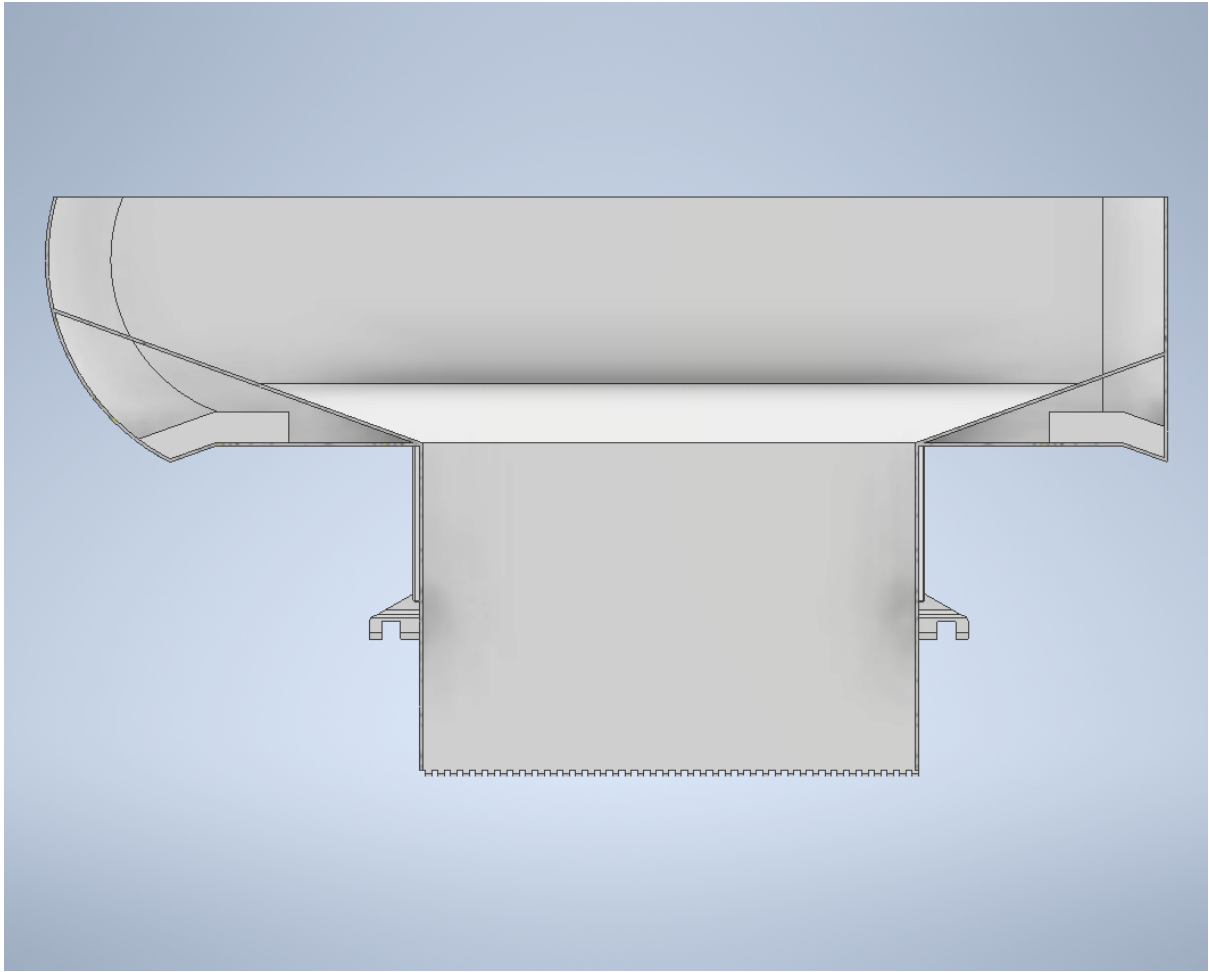
## 11.2 Design av komponenter

Beholderfestene støpes med gjengede, innstøpte innsettere. Innsetteren på toppen av beholderfestet skrus inn i lastcellen. Lastcellen som skrus inn er hentet fra Burster sitt sortiment. De utvalgte lastcellene (Burster 8431-6002) har lastkapasitet på 2 kN og har 2 m6 skruendeer. Den andre skruendeen skrus inn i vibrasjonsdemperen. Vibrasjonsdemperene er hentet fra Elesas sitt sortiment. De utvalgte vibrasjonsdemperene (Elesa DVA.5-25-15-SST-M6-70) har last kapasitet på 1,6 kN



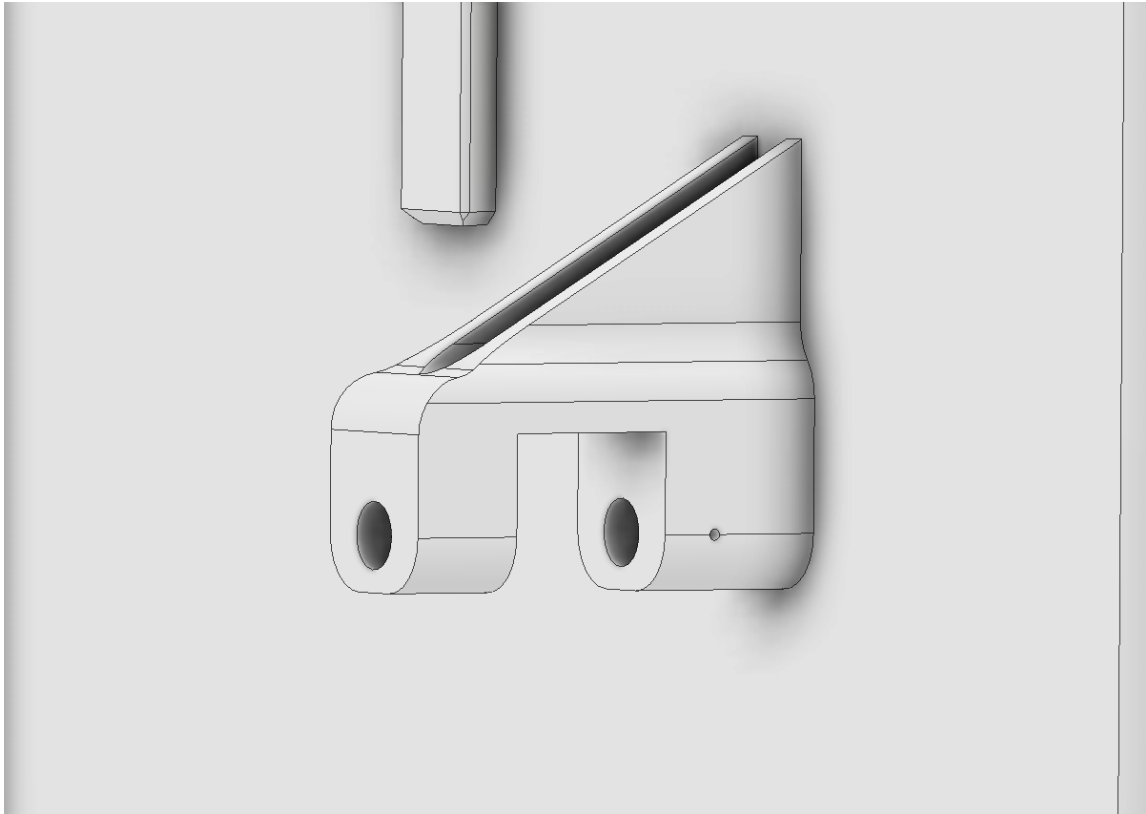
**Figur 11.8:** Oversiktsbilde av innsettere i beholderfestet.

De gjengede innsetterne er hentet fra PennEngineering sitt sortiment. De utvalgte innsetterne (PennEngineering IBLC-M6-8ASSY og PennEngineering IBLC-M5-8ASSY) er laget av stål.

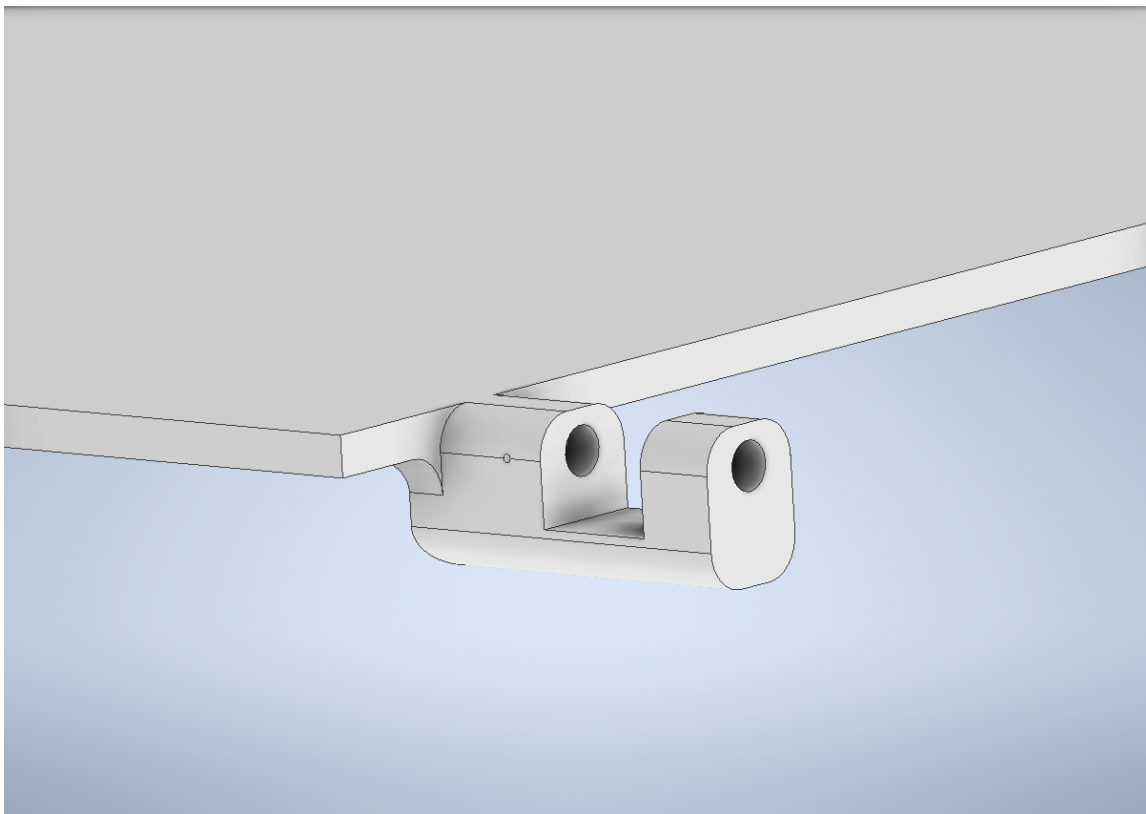


**Figur 11.9:** Oversiktsbilde av hulrommet til beholderen.

Beholderen har en helning på  $20^\circ$  inn mot hullet i midten. Volumet under helningene er hult for å redusere vekt. Alle veggene i beholderen har en tykkelse på 5mm, dersom dette ikke er tilstrekkelig kan det vurderes om hulrommene i beholderen bør fylles med skum.



**Figur 11.10:** Zoomet bilde av sylindrefeste på beholder.



**Figur 11.11:** Zoomet bilde av sylindrefeste på dør.

---

De støpte sylindrefestene til beholderen og dørene er spent utifra kroppen til beholderen og dørene. Festene er forsterket med støpte braketter og ekstra tykkelse. Sylindere festes til sylindrefestene med sylinderpinner med en diameter på 12mm. Sylinderpinnene er holdt inni sylindrefestet med låsepinner som hindrer sylinderpinnene fra å vandre ut av hullet. Sylinderpinnene kjøpes som tilleggsutstyr til sylindere.

### **11.3 Modulisering og standardkomponenter**

Hengselene på beholderen er speilvendt så dørene er like. Løsningen består av 101 deler hvor alle delene er innkjøpsvarer utenom beholderen, festene og dørene, som er 3 unike deler. Stålet som kjøpes til hengselpinnene må kuttes og gjenges, men ellers er det standard stålstenger.

---

## 12 Robusthet, vedlikehold og resirkulering

### 12.1 Materialelegenskaper

Rotasjonsstøping i polyetylentyper er miljøvennlig, varme- og kuldebestandig, har lang levetid, er kjemisk resistent og er slagfaste. I FEM analysen blir forsterket og ikke forsterket polyetylen vurdert. Det resulterende materialvalget presenteres selv om flere materialer blir vurdert.

**Tabell 12.1:** Materialelegenskaper til beholdermaterialer

Materiale	Young 's modul (MPa)	Flytegrense (MPa)	Strekkgrense (MPa)	Massetetthet (Kg/m <sup>3</sup> )	Slagfasthet (KJ/m <sup>2</sup> )
PE-HD (general purpose)	1080	28,39	28,39	958,5	6,14
PE-HD (30% glass fiber)	5477	56,66	45,33	1229	5,71
S275N	210 · 10 <sup>3</sup>	422,5	237,4	7850	-

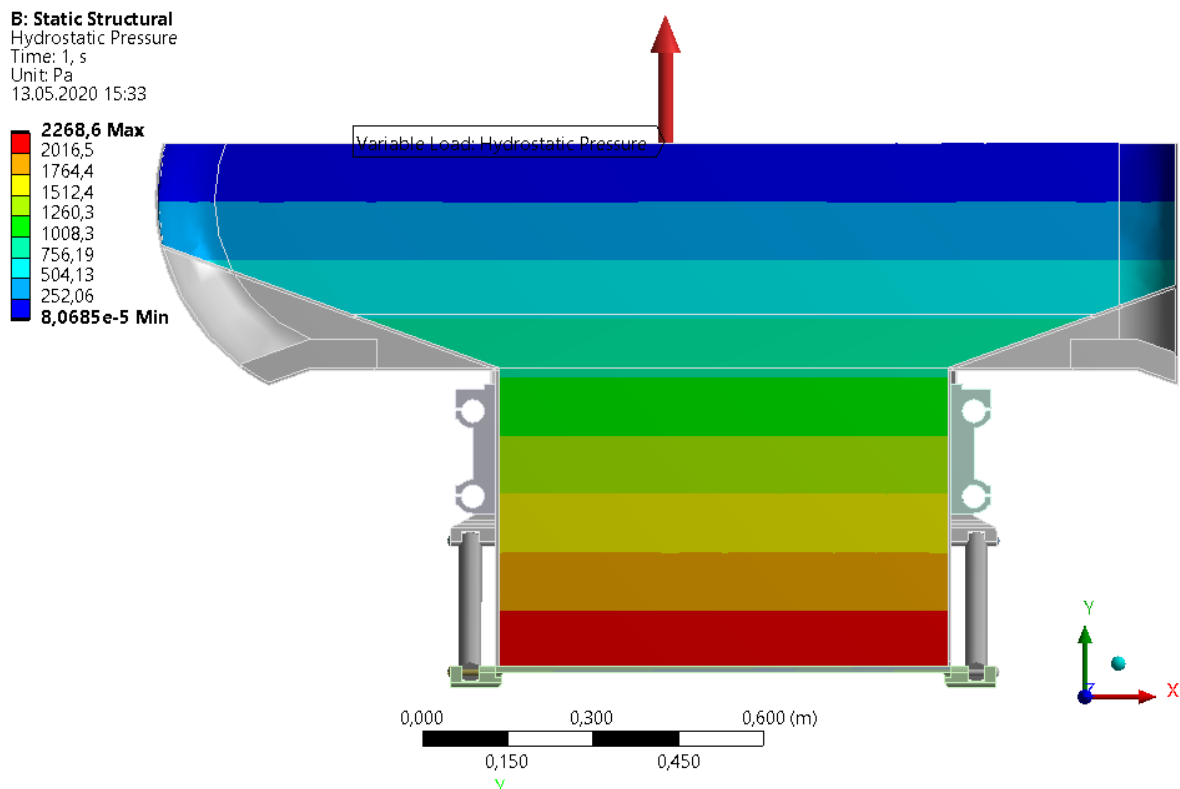
Materiallisten er hentet fra Ansys Mechanical og supplementert med GRANTA EduPack. GRANTA er en undergruppe av Ansys så dataene stemmer overens.

### 12.2 Lastbildet

Gasset inni beholderen moduleres ved å bruke hydrostatisk trykk. Den simulerte væsken har samme massetetthet som graset funnet i kapittel 5.3.

$$\rho_{gras} = 250 \text{ kg/m}^3 \quad (12.1)$$





**Figur 12.1:** Skjembilde av representasjons av hydrostatisk belastning.

Fra bildet over ser man at det statiske trykket på dørene blir  $2268,6 Pa$ .

Sylinderene er simulert med “beam” elementer med en radius på 20mm. Modellen er opplagret som fast innspent i festehullene i beholderfestene. Skruer, muttere og gjengede innsettere er ikke inkludert i simuleringen. Alle elementene, samt beam-elementene er belastet med en intern akselerasjon på  $9,81 m/s^2$ .

## 12.3 Kontaktflate simulering

Nedenfor presenteres kontaktflate simuleringene hvis leser ønsker å validere resultatene. FEM analysen ble vurdert i to simuleringer. Når vi ser på påkjenningene på sylinderene og dørene blir festene simulert som “Bonded” ettersom festene ikke påvirker påkjenningene på dørene. Det gjennomføres så en simulering av et beholderfeste, lastcelle og vibrasjonsbuffer par. I denne simuleringen er vibrasjonsbufferen belastet med 900N, en konservativ tilnærming av påkjenningen fra beholderen.

---

**Tabell 12.2:** Oversikt over kontaktflate begrensninger

“Contact”	“Target”	Begrensning
Beholder	Lukedør 1	“Suppressed”
Beholder	Lukedør 2	“Suppressed”
Beholder	Beholderfeste 1	“Bonded”
Beholder	Beholderfeste 2	“Bonded”
Beholder	Beholderfeste 3	“Bonded”
Beholder	Beholderfeste 4	“Bonded”
Beholder	Hengsel pin 1	“Bonded”
Beholder	Hengsel pin 2	“Bonded”
Beholder	Sylinderfeste 1	“Bonded”
Beholder	Sylinderfeste 2	“Bonded”
Beholder	Sylinderfeste 3	“Bonded”
Beholder	Sylinderfeste 4	“Bonded”
Dør 1	Sylinderfeste 5	“Bonded”
Dør 1	Sylinderfeste 6	“Bonded”
Dør 1	Sylinderfeste 7	“Bonded”
Dør 1	Sylinderfeste 8	“Bonded”
Dør 1	Lukedør 2	“Frictionless”
Dør 1	Hengsel pin 1	“Frictionless”
Dør 2	Hengsel pin2	“Frictionless”

Kontaktflaten mellom beholderen og dørene er “Suppressed” (ikke vurdert) fordi det ikke er kraftoverføring i denne kontaktflaten, utenom litt friksjon i hengselet. Sylinderfestene er vurdert som “Bonded” ettersom momentoverføringen her er neglisjerbar.

**Tabell 12.3:** Oversikt over kontaktflate begrensninger

“Contact”	“Target”	Begrensning
Feste 1	Lastcelle 1	“Bonded”
Feste 2	Lastcelle 2	“Bonded”
Feste 3	Lastcelle 3	“Bonded”
Feste 4	Lastcelle 4	“Bonded”

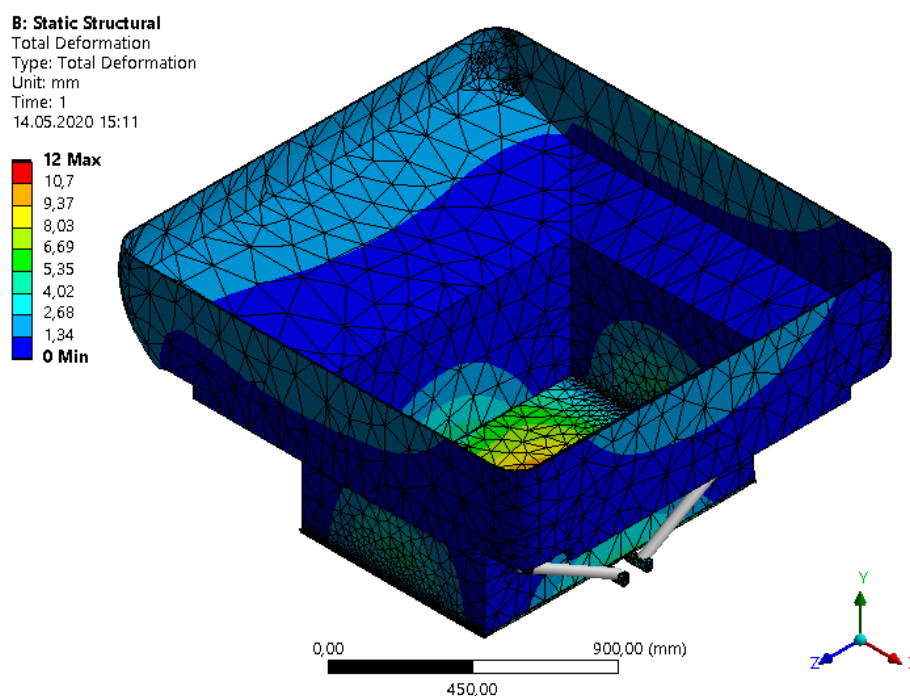
**Tabell 12.3 forts.:** Oversikt over kontaktflate begrensninger

“Contact”	“Target”	Begrensning
Lastcelle 1	Vibrasjonsbuffer 1	“Bonded”
Lastcelle 2	Vibrasjonsbuffer 2	“Bonded”
Lastcelle 3	Vibrasjonsbuffer 3	“Bonded”
Lastcelle 4	Vibrasjonsbuffer 4	“Bonded”
Vibrasjonsbuffer 1	Beholder	“Frictionless”
Vibrasjonsbuffer 2	Beholder	“Frictionless”
Vibrasjonsbuffer 3	Beholder	“Frictionless”
Vibrasjonsbuffer 4	Beholder	“Frictionless”

I festesimuleringen er skruefestene simulert som “Bonded”.

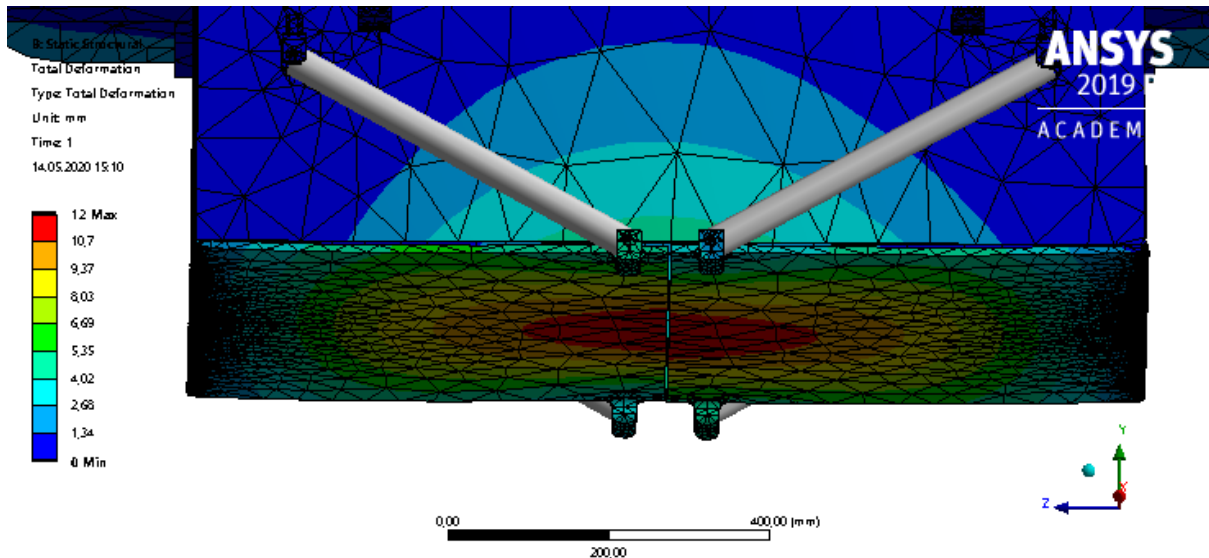
## 12.4 FEM analyse

Ved første gjennomføring av FEM analysen ble all plastikken modulert som PE-HD (general purpose). I denne analysen fikk dørene en deformasjon på over 30 mm, så for å forhindre dette er lukedørene modulert som PE-HD (30% glass fiber).



**Figur 12.2:** Isometrisk oversiktsbilde av totaldeformasjonen til beholderen.

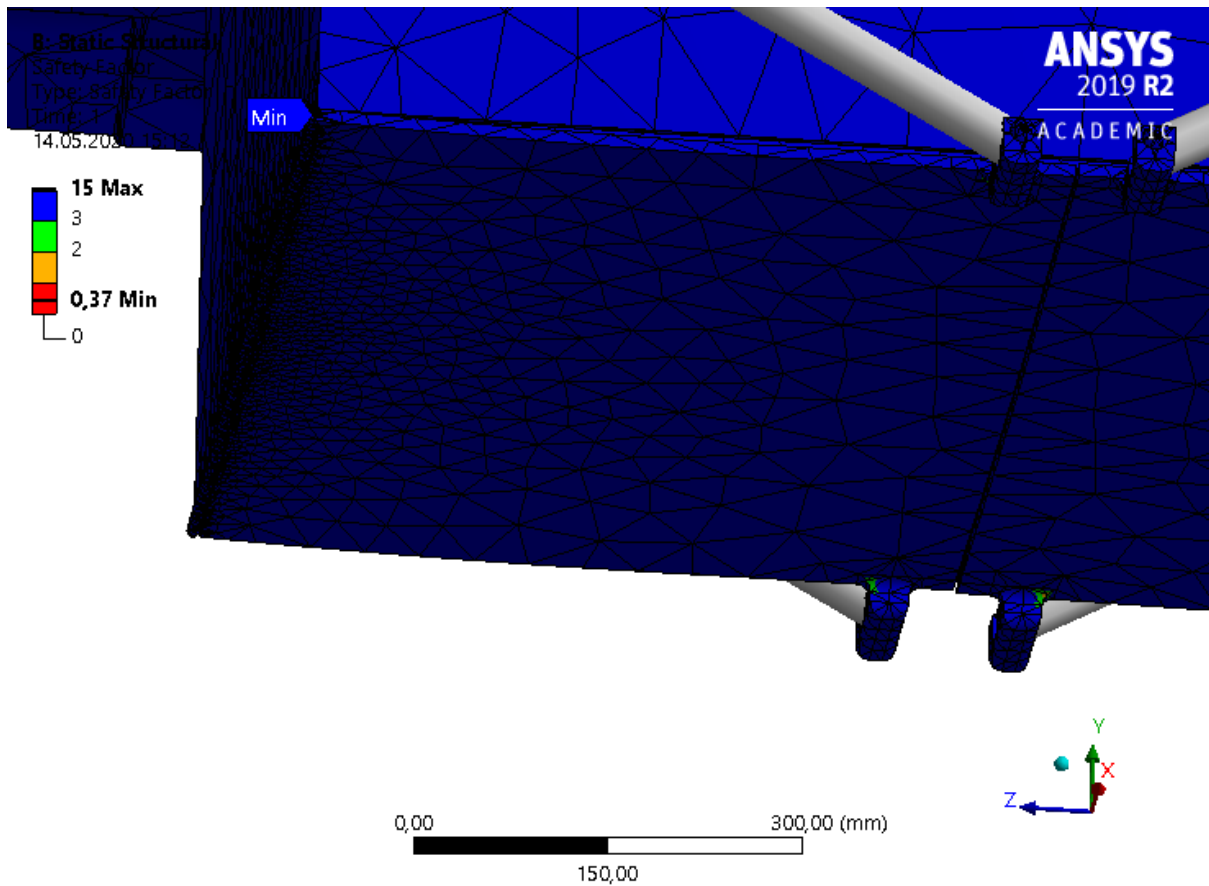
Den største deformasjonen til beholderen er 12 mm, dette er tilstrekkelig. Beholderen er også overbelastet når hele volumet er fullt så det er en innebygd sikkerhets faktor i dette tallet. Opplagrene i simuleringen er belastet med 4456,5 N tilsammen, Thorvald sin nyttelast er 400 kg så maks last er 3924 N.



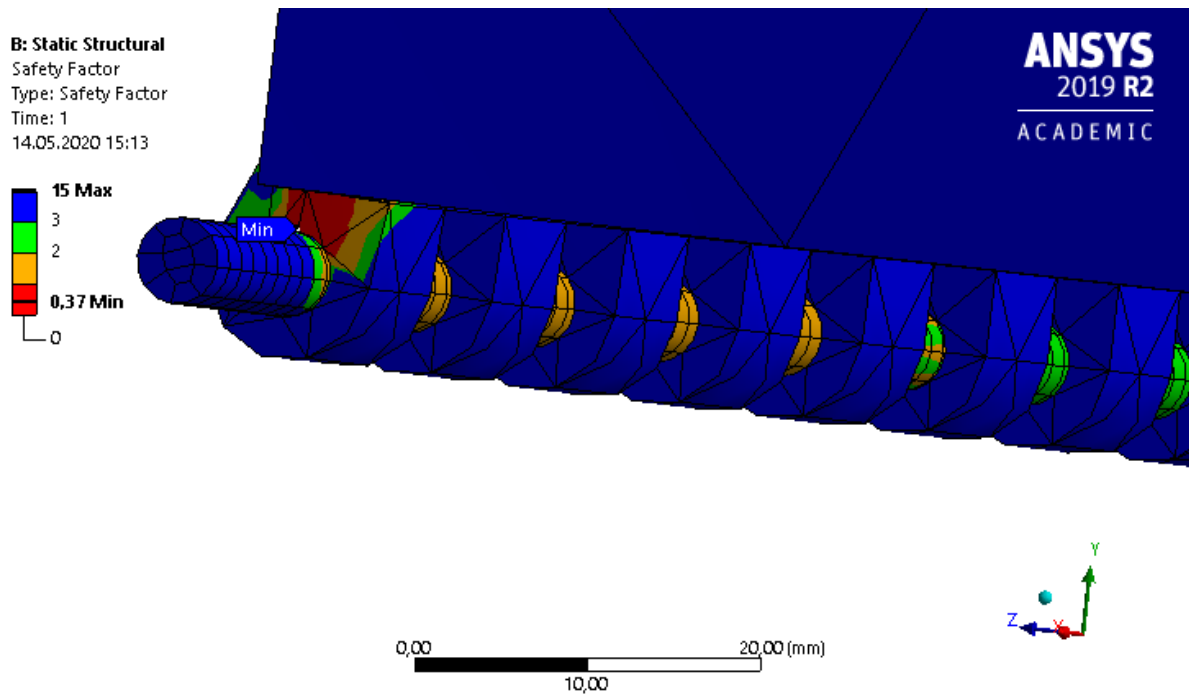
**Figur 12.3:** Oversiktsbilde av totaldeformasjonen til lukedørene.

Sylinderene blir utsatt for en aksial kraft på 706 N, dette er godt innenfor sylinderenes belastningsgrense på 1500 N.

Nedenfor presenteres sikkerhetsfaktoren ovenfor Von-Mises spenningen i beholderen. Det er bare 3 områder som har en sikkerhetsfaktor på under 15, de støpte sylindrefestene til dørene, hengselpinnene og hengslene. De støpte hengselfestene til dørene har en liten stresskonsentrasjon i overgangen til døren, sikkerhetsfaktoren er fortsatt over 2.



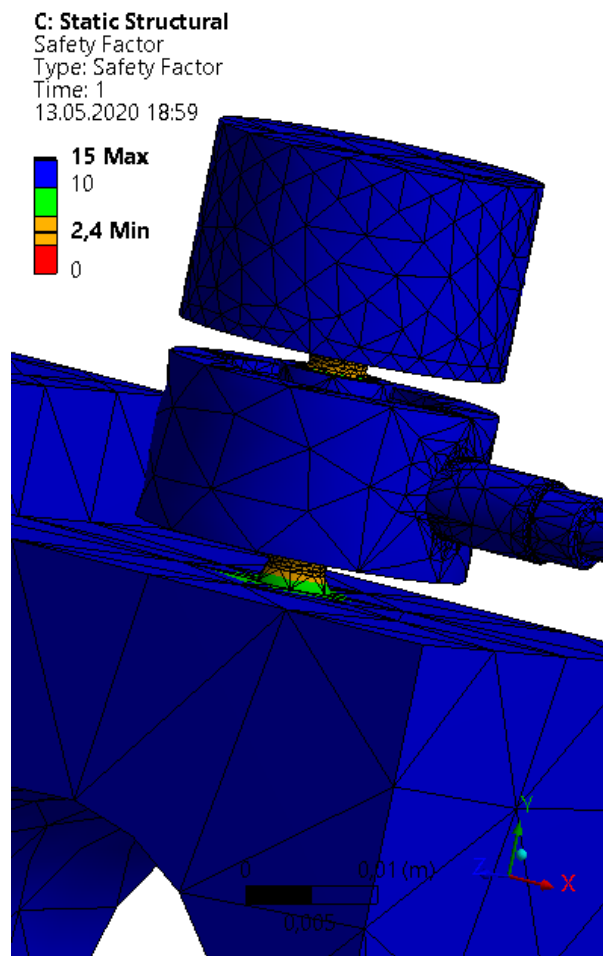
Figur 12.4: Presentasjon av Von-mises spenningen i beholderen.



Figur 12.5: Oversikt over sikkerhetsfaktorene til Von-Mises stresskonsentrasjonene i hengselet.

---

Det er stresskonsentrasjoner i beholderhengslene. Kontaktflaten er modulert som “Bonded”, dette fører til at hengelet tar opp mer moment enn det ville gjort i virkeligheten. Disse stresskonsentrasjonene er også såpass små at de ikke vil ha utslag ved statisk belastning. I denne rapporten er ikke modellen dimensjonert eller beregnet for dynamisk belastning. I videre arbeid må beholderen dimensjoneres for dynamisk belastning, denne stresskonsentrasjonen kan da være kritisk. Hengselpinnen bør også bli sett nærmere på ved dynamisk dimensjonering selvom sikkerhetsfaktoren på over 1 ved overbelastning antas som tilstrekkelig i denne rapporten.



**Figur 12.6:** Oversikt over sikkerhetsfaktoren til Von-Mises stresset i beholderfestet.

I bildet over er de minste sikkerhetsfaktorene til festesimuleringen presentert. Det bekreftes at strukturen i lastcellene er tilstrekkelig for å bære vekten til beholderen. Deformasjonen ble også bekreftet som forventet.

---

## 12.5 Overflatebehandling og vedlikehold

For å begrunne overflatebehandling og vedlikehold vurderes plastikken sin bestandighet. Bestandighetsdata er hentet fra GRANTA EduPack (GRANTA, 2020).

**Tabell 12.4:** Bestandighet

	Bestandighet
Vann	Utmerket
Vann (salt)	Utmerket
Svake syrer	Utmerket
Sterke syrer	Akseptabelt
Svake alkalier	Utmerket
Sterke alkalier	Utmerket
Organiske løsemidler	Begrenset bruk
Oksidering ved 500 °C	Uakseptabelt
UV stråling (sollys)	Tilfredstillende
Brennbarhet	Veldig antennelig

Plastikken sin bestandighet er veldig god, men gras kan også være slipende så for å bekjempe slitasje av beholderen males beholderen med høyglans polyuretan maling med UV beskyttelse.

## 12.6 Miljøkrav og resirkulering

Inkluderingen av glassfiber for å forsterke plastikken fører til at det er vanskelig å resirkulere beholderdørene. Downcycling er et godt resirkulerings alternativ for produkter med innarbeidede fibre. Ved kjemisk nedbryting kan materialene gjenbrukes som grunnmaterialer. (Feng et al., 2016)(GRANTA, 2020)

**Tabell 12.5:** Resirkulering og EoL.

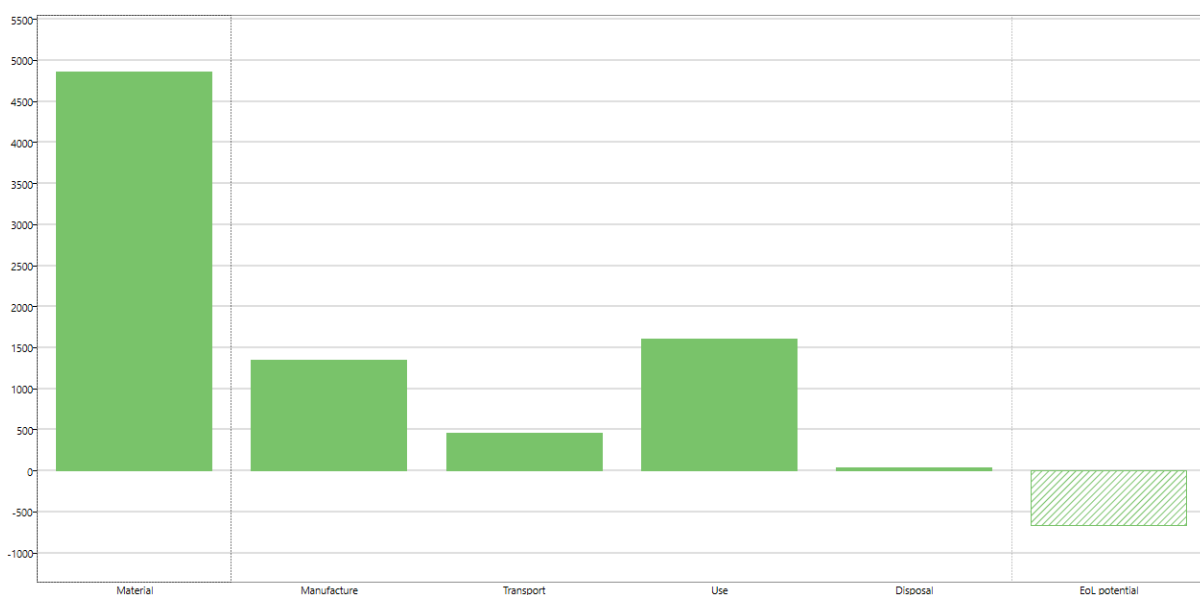
HDPE (general purpose)	
Resirkulering	✓
Andel resirkulert i bruk	8,02%
Downcycle	✓
Forbrenning gjenvinning	✓
Varme fra forbrenning	44,0 MJ/kg
Forbrenning CO2	3,22 kg/kg
Deponi	✓
Biologisk nedbrytbart	✗

**Tabell 12.6:** Resirkulering og EoL.

HDPE (30% glass fiber purpose)	
Resirkulering	✗
Andel resirkulert i bruk	0,1%
Downcycle	✓
Forbrenning gjenvinning	✓
Varme fra forbrenning	30,8 MJ/kg
Forbrenning CO2	2,25 kg/kg
Deponi	✓
Biologisk nedbrytbart	✗

Selve beholderen og beholderfestene er resirkulerbare så det anbefales at sylindrefestene, hengselpinnene, skruene, beholderen og beholderfestene resirkuleres. Innsetterene i beholderfestene må separeres før de også resirkuleres. Lukedørene downcycles og sylindrene, lastcellene og vibrasjonsbufferene håndteres etter anvisninger fra produsentene.

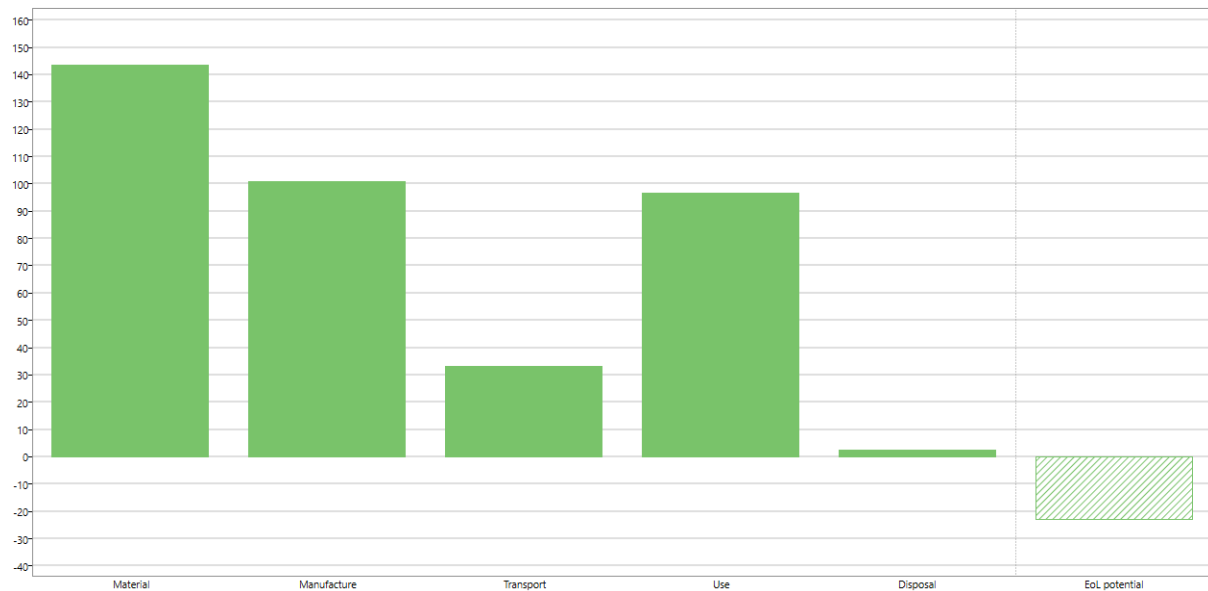
Den totale miljøpåkjeningen fra produksjon og bruk vurderes i forbindelse med serieproduksjon. Det antas og anbefales at produksjonen av plastikkdelene outsources til en fabrikant i et industristerkt land. Komponentene fraktes så til Norge hvor beholderene blir montert.

**Figur 12.7:** Oversikt over det totale energiforbruket til beholderen. (GRANTA, 2020)



---

I tabellen fra GRANTA kan man se at utvinningen av plastikken har det største energiforbruket. For å begrense disse energiforbrukene bør produksjonen outsources til et land med god resirkuleringsstruktur og høy plastikkproduksjon.



**Figur 12.8:** Oversikt over det totale  $CO_2$  utslippet til beholderen. (GRANTA, 2020)

Man ser at utvinning og produksjon av beholderen slipper ut mye  $CO_2$ . Anslaget av  $CO_2$  utslippet ved bruk er basert på internasjonal produksjon av elektrisitet. I Norge er majoriteten av produsert strøm gjenvinnbar, så bruk i Norge vil resultere i minimale utslipp.

---

## 13 Fremstilling og produksjonskostnader

I dette kapittelet kartlegges produksjonsmetoder og kostnadskalkyler for en prototype og for serieproduksjon av produktet. Kalkylene kan så vurderes mot mål, brukerkrav og fortjeneste.

### 13.1 Produksjonsmetoder

Produksjonsmetodene til prototypen og serieproduksjonen er basert på at produktet kan produseres kostnadseffektivt med hulrom.

#### 13.1.1 Prototype

Fordelene ved å utvikle en prototype er at man kan vurdere om neglisjeringene og forenklingene man har gjort i designprosessen er grunnet i virkeligheten. Det kan også avsløres aspekter man ikke har vurdert. Det er derfor viktig at prototypen er like robust som serieproduksjonen, og det vil derfor bli brukt samme materiale, høy densitet polyetylen (HDPE).

3D printing er en god metode for rask prototyping, men ettersom selve beholderen er for stor for de fleste 3D printerne vil beholderen bli rotasjonsstøpt. Til prototypen vil det holde med at støpeformen er laget av tre. Tre vil gi en dårligere overflate enn aluminium som vanligvis blir brukt i rotasjonsstøping, men overflateruheten spiller liten rolle ved prototyping.

For å konstruere støpeformen blir klosser med tre limt sammen og freset til forholdsvis riktig form. Overflaten pusses til ferdig tilstand og små detaljer utarbeides for hånd. Beholderfestene og lukedørene prototypes med sprøytstøping i silikonformer. Sylinderene, lastcelle, vibrasjonsdemperene, skruene og innsetterene kjøpes i moderat mengde.

#### 13.1.2 Serieproduksjon

I serieproduksjon er det viktig med gjenbruk av støpeutstyr og håndtering av dødtid. Støpeformene vil bli laget i aluminium. Aluminium gir god overflate finish, freses godt og

leder varme bra. Støpeformen i aluminium kan også brukes mange ganger. Sylindere, lastcellene, vibrasjons demperene, skruene og innsatsene kjøpes fra utlandet i store mengder.

## 13.2 Kostnadskalkyle for prototype

Kostnadskalkylen er basert på kostnadsdata på materiale fra GRANTA EduPack og anslag på timespris og arbeidstimer ved utvikling.

**Tabell 13.1:** Kostnadskalkyle for prototype

Konseptutvikling			
Arbeid	Antall timer	Pris (NOK/t)	Sum (NOK)
Utredning	140	550	77000
Konseptgenerering	200	550	110000
3D modellering	120	550	66000
Tekniske tegninger	30	550	16500
Prosjektrapport	150	550	82500
Sum netto konseptutvikling:			352000
Prototyping			
Materialer	Kvanta	Pris (NOK/per)	Sum (NOK)
HDPE (general purpose)	45 kg	14,6	657
HDPE (30% glass fiber)	10 kg	18,5	222
Skruer	16	-	≈ 20
Stålstang Ø5 1m	1	58	58
Sylinderpinne	8	≈ 250	≈ 2000
Innsettere m5	16	-	≈ 200
Innsettere m6	4	-	≈ 50
Lastceller	4	≈ 800	≈ 3200
Vibrasjonsdempere	4	≈ 50	≈ 200
Sylindere	4	≈ 2000	≈ 8000
Støpeform (tre)	1	-	≈ 5000

**Tabell 13.1 forts.:** Kostnads kalkyle for prototype

Materialer	Kvanta	Pris (NOK/per)	Sum (NOK)
Støpeform (silikon)	2	-	≈ 1000
Sum materialer:			20607
Arbeid	Antall timer	Pris (NOK/t)	Sum (NOK)
Støpeform	100	550	55000
Støping	20	550	11000
Montering	10	550	5500
Sum Arbeid:			71500
Totalkostnad prototype:			444107

### 13.3 Kostnadsanalyse for serieproduksjon

Det er en stor oppstartskostnad i produktutviklingen, som også inkluderer prototypen. Denne kostnaden fordeles over antall beholdere som selges, slik at kostnad per beholder konvergerer mot produksjonskostnad per beholder.

**Tabell 13.2:** Engangskostnader for serieproduksjon

Engangskostnader	Sum (NOK)
Konseptutvikling	352000
Prototype	92107
Støpeform (aluminium)	≈ 200000
Sum:	644107

Kostnads kalkylen til serieproduksjon er lik som ved prototype utenom støpeformen og oppkuttingen av stålstangen som brukes til hengselspinne.

**Tabell 13.3:** Kostnads kalkyle for serieproduksjon

Produksjonskostnader per enhet			
Materialer	Kvanta	Pris (NOK/k)	Sum (NOK)
HDPE (general purpose)	45 kg	14,6	657

**Tabell 13.3 forts.:** Kostnadskalkyle for serieproduksjon

Materialer	Kvanta	Pris (NOK/k)	Sum (NOK)
HDPE (30% glass fiber)	10 kg	18,5	222
Skruer	16	-	≈ 20
Stålstang Ø5 5m	0,2	100	20
Sylinderpinne	8	≈ 250	≈ 2000
Innsettere m5	16	-	≈ 200
Innsettere m6	4	-	≈ 50
Lastceller	4	≈ 800	≈ 3200
Vibrasjonsdempere	4	≈ 50	≈ 200
Sylindere	4	≈ 2000	≈ 8000
Sum materialer:			14569
Arbeid			
Arbeid	Antall timer	Pris (NOK/t)	Sum (NOK)
Støping	20	550	11000
Montering	10	550	5500
Sum Arbeid:			16500
Totalkostnad per enhet:			31069

Ved serieproduksjon kjøpes materialer i bulk så i utregningene inkluderes en rabatt på materialene som øker ved økt antall beholdere. Støpe- og monteringsprosessen vil effektiviseres så det blir inkludert et effektiviseringsavslag på arbeidskostnadene også. I utregningene antas det at det vil bli tatt i bruk 2 distributører (forhandler og utvikler) som hver ønsker en kalkyle på 1,5. Salgspris regnes slik:

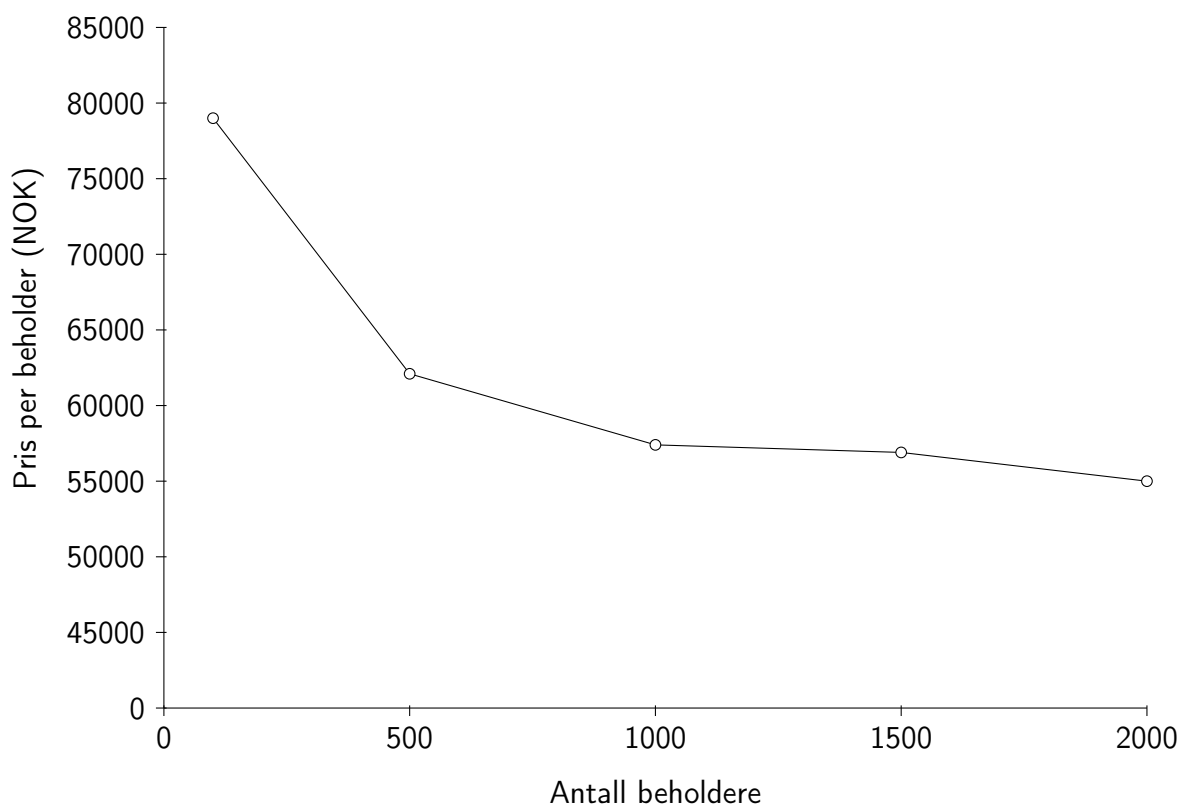
$$\left( \text{Materiale} \cdot (1 - R\%) + \text{Arbeid} \cdot (1 - E\%) + \frac{\text{Engangs}}{\text{Antall}} \right) \cdot 1,5 \cdot 1,5 = \text{Salgspris} \quad (13.1)$$

Total produksjons- og utviklingskostnad regnes slik:

$$\text{Materiale} \cdot (1 - R\%) + \text{Arbeid} \cdot (1 - E\%) + \text{Engangs} = \text{Kostnad} \quad (13.2)$$

**Tabell 13.4:** Salgsprisutvikling ved serieproduksjon

Salgspris utvikling					
Antall	Rabatt	Effektivisering	Kostnad	Multiplikator	Salgspris
1	0%	0%	730176	$1,5 \cdot 1,5$	1519146
100	5%	10%	672798	$1,5 \cdot 1,5$	79046
500	10%	20%	670419	$1,5 \cdot 1,5$	62101
1000	20%	20%	668962	$1,5 \cdot 1,5$	57373
1500	20%	20%	668962	$1,5 \cdot 1,5$	56890
2000	25%	20%	668234	$1,5 \cdot 1,5$	55010



**Figur 13.1:** Visualisering av salsprisutvikling ved serieproduksjon

Salgsprisen til en beholderen kan settes til rundt 55 000 kroner når det produseres 2000 beholdere. Med kalkyler på 1,5 kan det forhandles rabatter når det kjøpes flere beholdere. En salgspris på 55 000 kroner tilsvarer en produksjonskostnad på rundt 24 400 kroner. En slik produksjonskostnad er innenfor målene og kravene som er satt for oppgaven så produksjons- og utviklingsmetodene blir ansett som tilfredsstillende. Ved internasjonalt salg vil det som oftest også bli tatt i bruk en internasjonal forhandler som også forventer

---

kalkyle på 1,5. Denne forhandleren er ikke inkludert i disse utregningene fordi det er taktisk å først utvikle et marked i Norge og så senere selge til utlandet når produksjonskapasiteten er større.

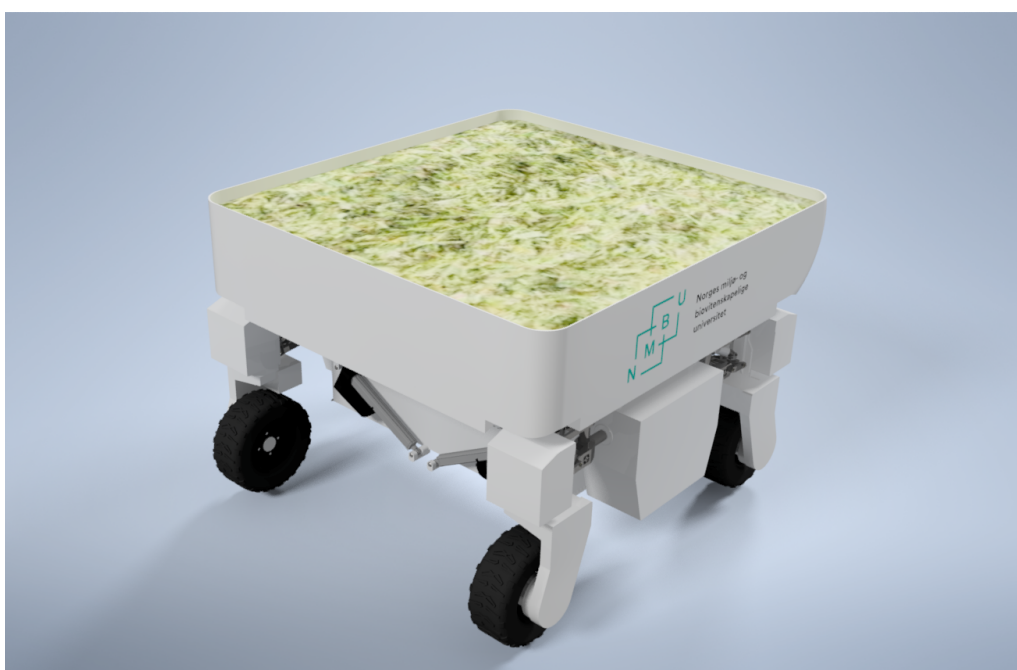
---

## 14 Markedspresentasjon

For å losse graset kjører Thorvald opp på en rampe. Fra rampen kan Thorvald losse graset gjennom et hull i rampen og ned i en kompaktor. Hullet i rampen er også nødvendig for at lukedørene ikke skal butte i bakken.

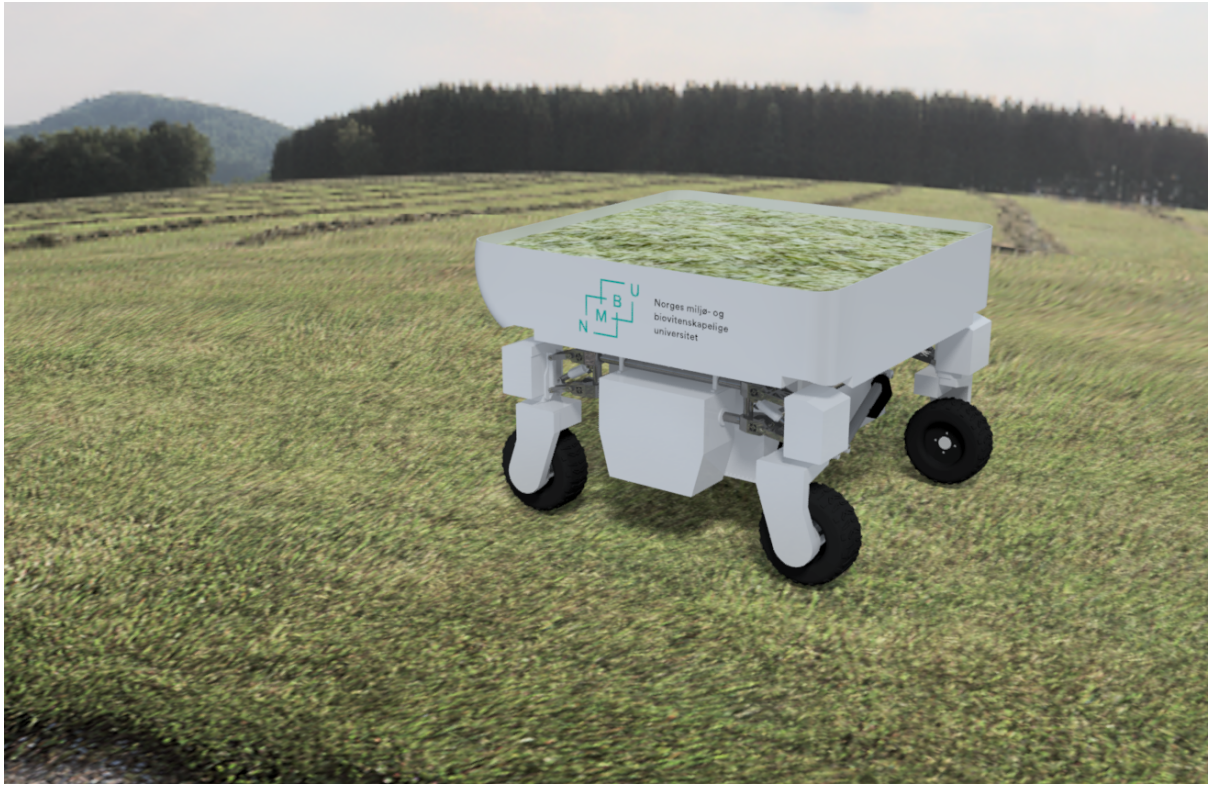


**Figur 14.1:** Markedspresentasjonsbilde av hvordan Thorvald kan losse graset.



**Figur 14.2:** Markedspresentasjonsbilde av en beholder fylt med gras





**Figur 14.3:** Markedspresentasjonsbilde av en beholder i bruk.

---

## 15 Prosessevaluering og diskusjon

Prosjektplan og prosesstrinnene har blitt fulgt godt gjennom utviklingen av produktet. Det ble tatt i bruk forberdringsløyper for konseptgenerering som følge av manglende nøyaktighet i simuleringen av lossing av gras. Det var internalisert at denne simuleringen hadde manglende relasjon til konkrete data så tilbakemeldingen fra bønder ga et bedre grunnlag for å bestemme størrelsen på losseåpningen.

### 15.1 Teorigrunnlag

Tidlig i prosjektet ble det funnet innledende parametere og konstanter for teoretiske beregninger av gras. Senere i prosjektet når disse verdiene skulle brukes viste det seg at det er minimalt med dokumentasjon på massetettheten og friksjonskoeffisienten til gras. Etter utveksling av e-mailer med Sverre Heggset fra NLR kunne han bare referere til sitt eget arbeid, og det er det som er brukt i denne rapporten.

Hvis mangelen på dokumentasjon hadde blitt internalisert tidligere og/eller Covid-19 pandemien ikke hadde begrenset det, kunne det blitt utført eksperimenter for å finne massetettheten til graset som er kuttet av Thorvald og helningsvinkel i beholderen som trengs for at gras skal skli mot HDPE. Det anbefales at disse testene gjennomføres før en prototype blir produsert.

### 15.2 Konseptutviklingsarbeidet

De største utfordringene i konseptutviklingsprosessen var å fastslå hvilke konsepter som vil gi oppdragsgiveren størst verdi og utviklingen av en bred konseptgenerering. Konseptgenereringen ble mer omfattende enn forventet ved at konseptene ble antatt komplette for tidlig. Det ble først innsett at konseptene var grove da de mindre ikke definerte komponentene skulle moduleres.

Det ble brukt ekstra tid på å gå frem og tilbake mellom konseptgenerering og modulering. Spesifikke konsepter ble også modulert i 3D før et konseptvalg ble gjort for å forbedre undertegnede sitt helhetsbilde av konseptet. En slik designprosess er ikke i tråd

---

med ingeniørmeter for fordi det tar mye ekstra tid å utvikle 3D modellene, men i dette tilfellet bidro prosessen til å utfylle min ekspertise som det hadde vært vanskelig å fylle med ordinære kvantitative ingeniørmeter.

Både konseptgenereringen og moduleringen ble startet tidligere en planlagt, så det ekstra tidsforbruket førte ikke til forsinkelse i rapporten.

### 15.3 Design revisjon

Ved oppstarten av oppgaven ble det fastslått at høsteholderen til Thorvald skulle utvikles parallelt med utstyret som skal plukke opp gras og dumpe det i beholderen. Grunnet forsinkelser i utviklingen av dette utstyret ble design revisjoner som følge av dette minimale. Ved fastslåing av beholderen sitt design var ikke utstyret til å plukke gras utviklet til et punkt hvor vi kunne fastslå om det var nødvendig å gjøre design revisjoner. Designet til beholderen ble derfor opprettholdt.

Utsending av eksternscreeningen fulgte planen, men denne var veldig optimistisk vedrørende besvarelsetid og respondentenes tilgjengelighet. De første spørreundersøkelsene ble sendt ut 29.04.2020, dette er uheldigvis rundt våronn, et travelt tidspunkt for bønder. Som følge av Covid-19 ble leveringsfristen til rapporten utsatt fra 15.05.2020 til 02.06.2020. Utsettelsen førte til at det var tilstrekkelig tid til design revisjoner fra eksternscreeningen.

### 15.4 Målsetting

Det ble ikke gjennomført revisjoner av produkt- eller prosjektmål. Styrkeberegningene av beholderen er tilstrekkelige for statisk belastning, men som følge av at det ble satt et mål om at beholderen skulle veie 50 kg er beholderen mindre robust mot slag og dynamiske påkjenninger. Da Thorvald er autonom er beholderen mindre utsatt for slag som følge av brukerfeil, men ved videre arbeid bør det vurderes om det er nyttig å øke lastekapasiteten til Thorvald så beholderen kan veie mer og dimensjoneres for dynamiske påkjenninger. Oppskalering kan også være nyttig for å frakte mer gras. Dersom Thorvald kan frakte mer gras får Thorvald en større målgruppe.

---

## 16 Konklusjon

Gjennom dette arbeidet har det blitt utviklet en høstebeholder til den autonome jordbruksroboten Thorvald. Beholderen veier 62 kg og har et internvolum på  $1,5 m^3$ . Dette betyr at en Thorvald med nyttelast på 400 kg kan frakte 338 kg gras med massetetthet ned mot  $230 kg/m^3$  per tur hvis utstyret for å plukke gras bærer sin egen vekt. En produksjon på 2000 beholdere har anslått produksjonskostnad på 24 400 kr per beholder og anslått salgspris på 55 000 kr per beholder. Beholderen forbruker ca. 312 W i 20 sekunder per lossing.

### 16.1 Delmåloppfyllelse

Nedenfor oppsummeres om delmålene presentert i kapittel 6.1.2 er møtt.

- Løsningen kan losse seg selv uten innrep fra mennesker.
- Løsningen kan repareres med generell teknisk forståelse.
- Det er forventet at løsningen kan programmeres med generell kompetanse ved videre utvikling.
- Produksjonen av løsningen overstiger ikke 30 000 kr.
- Vekten til løsningen er 62 kg, 12 kg tyngre enn målet.
- Løsningen er basert og bygget på plattformen til Thorvald.
- Løsningen kan av- og påmonteres på under 10 minutter.
- Løsningen trekker ikke mer enn 500W i mer enn 30 sekunder per lossing.
- Materialet brukt i beholderen kan resirkuleres og gjenbrukes, men lukedørene må først brytes ned kjemisk.

Produktmålet om at beholderen ikke skal veie over 50 kg har ikke blitt møtt. Ved å ikke møte dette målet kan Thorvald frakte 12 kg mindre gras. 12 kg er ikke en kristik mengde med tapt gras, i etterpåklokskapens lys kunne dette målet bli satt mindre optimistisk. 12 ekstra kg er heller ikke kritisk når det kommer til jordpåkjenninger. Alle de andre målene er fullstendig møtt.

---

## 16.2 Hovedmåloppfyllelse

Hovedmålet til produktet ble møtt relativt godt. Løsningen kan operere autonomt uten inngrep ved lossing. Løsningen er brukervennlig, lettvekt, stabil, fleksibel og har begrenset effektivitet. Produksjonen av løsningen er miljøvennlig og kostnadseffektiv.

Kravet om at beholderen skal utvikles til å passe en Thorvald som i lengde/bredde/høyde er 1600/1700/810 mm begrenset effektiviteten løsningen kan oppnå. Denne konfigurasjonen har en lastkapasitet på 400 kg. Selv ved samarbeid mellom flere roboter vil en lastkapasitet på 400kg være lav. En Thorvald som veier dobbelt så mye og kan frakte dobbelt så mye er fortsatt mye lettere enn den ordinære traktoren og vil fortsatt resultere i lav jordpåkjenning.

## 16.3 Anbefalinger

Det anbefales at produksjonen av beholderen outsources til et ledende land innenfor plastikkproduksjon. USA, Kina og Tyskland er alle store innenfor plastikkproduksjon. Tyskland vil ha en bedre resirkuleringsstruktur og ligger nærmere Norge geografisk, så det anbefales å produsere beholderen i Tyskland under forutsetninger av konkurransedyktige produksjonskostnader. (dolphin, 2020)

Ved videreutvikling må utvikleren gjøre seg kjent med anvisninger i produktdatabladene til lastcellen og sylindren.

## 16.4 Videre arbeid

- Dimensjonere beholderen for dynamiske påkjenninger.
- Gjennomføre kvalitative og kvantitative vurderinger av muligheten for oppskalering.
- Utvikle støpeform til beholderen, beholderfestene og lukedørene.
- Utvikle styringssystemer og velge utstyr til beholderen.
- Teste og kalkulere batteritid ved høsting.

- 
- Gjennomføre design revisjon basert på feedback fra utvikling av utstyret som plukker gras.
  - Produsere og teste prototype.

---

# Referanser

- Aebi (2019a). Aebi tp 410. Tilgjengelig fra: <https://www.aebi-schmidt.no/no/produkter/transporter/aebi-tp410> (lest 03.03.2020).
- Aebi (2019b). Aebi tt 211. Tilgjengelig fra: <https://www.aebi-schmidt.no/no/produkter/terrac/aebi-tt211-agriculture> (lest 03.03.2020).
- Akao, Y. (2004). *Quality function deployment: integrating customer requirements into product design*. SteinerBooks.
- Andersen, E. S., Grude, K. & Haug, T. (2009). *Goal Directed Project Management: Effective Techniques and Strategies*. 4. utg. Kogan Page Publishers.
- Ashby, M. F. (2012). *Materials and the environment: eco-informed material choice*. Elsevier.
- Baxter, M. (1995). *Product design*. CRC Press.
- Claas (2019). Kombivogn med kutteaggregat. Tilgjengelig fra: <https://www.claas.no/blueprint/servlet/blob/1658498/b2dd4f62cb33a6fa4f668610a74ac732/322605-23-dataRaw.pdf> (lest 04.03.2020).
- CNH (2019). Autonomous tractor concept. Tilgjengelig fra: <https://www.cnhindustrial.com/en-US/media/thedaythefarmchanged/pages/default.aspx> (lest 04.03.2020).
- Dieter, G. E. & Schmidt, L. C. (2009). *Engineering design*. Boston: McGraw-Hill Higher Education.
- dolphin (2020). Plastic manufacturing by country. Tilgjengelig fra: <https://dolphinplastics.com.au/blog/plastic-manufacturing-country-fun-facts/> (lest 28.05.2020).
- Elfa (2020). Ultrasonisk avstandssensor. Tilgjengelig fra: [https://www.elfadistelec.no/no/ultrasonisk-avstandssensor-70mm-1m-til-10-vdc-10-til-vdc-baumer-electric-ur18-da0-uamj-9bf/p/30158290?channel=b2c&price\\_gs=3895&source=googleps&ext\\_cid=shgoooqnono-na&pup\\_e=1&pup\\_cid=35879&pup\\_id=30158290&ext\\_cid=shgoooqnono-P-Shopping-MainCampaign&gclid=CjwKCAjw\\_LL2BRAkEiwAv2Y3SWsGIF3iOqjtsDQGyi6GOOHZciJ4bZsUOYsoRYdd6V1Bb-O5ramqEhoCvHQQAvD\\_BwE](https://www.elfadistelec.no/no/ultrasonisk-avstandssensor-70mm-1m-til-10-vdc-10-til-vdc-baumer-electric-ur18-da0-uamj-9bf/p/30158290?channel=b2c&price_gs=3895&source=googleps&ext_cid=shgoooqnono-na&pup_e=1&pup_cid=35879&pup_id=30158290&ext_cid=shgoooqnono-P-Shopping-MainCampaign&gclid=CjwKCAjw_LL2BRAkEiwAv2Y3SWsGIF3iOqjtsDQGyi6GOOHZciJ4bZsUOYsoRYdd6V1Bb-O5ramqEhoCvHQQAvD_BwE) (lest 10.05.2020).
- Engstad, O. K. (2017). Moderne høyhandtering. Tilgjengelig fra: <https://grovfornett.nlr.no/fagartikler/6957/> (lest 05.02.2020).
- Felleskjøpet (2019a). John deere 6135r 135hk traktor. Tilgjengelig fra: <https://www.felleskjopet.no/maskin-og-redskap/landbruk/traktor/john-deere-6-serie/jd-6135r-50-km-select-basis-826171> (lest 04.03.2020).
- Felleskjøpet (2019b). Serigstad fs 134 forhøster. Tilgjengelig fra: <https://www.felleskjopet.no/maskin-og-redskap/landbruk/redskap/grashaandtering/forhoester/fs134-meh-uttrekk-lang-aks-232213> (lest 04.03.2020).
- Felleskjøpet (2020). *Bruk innetida smart - Slik gjør du grasproduksjonen mer lønnsom*. Tilgjengelig fra: <https://www.felleskjopet.no/bruk-innetida-smart/> (lest 03.02.2020).

- 
- Feng, Y.-c., Zhao, F.-q. & Xu, H. (2016). Recycling and utilization of waste glass fiber reinforced plastics. Tilgjengelig fra: [https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2016/30/mateconf\\_smae2016\\_07012.pdf](https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2016/30/mateconf_smae2016_07012.pdf) (lest 28.05.2020).
- GRANTA (2020). Granta edupack. (Versjon 2020). Programvare. Tilgjengelig fra: <https://grantadesign.com/education/ces-edupack/> (lest 10.05.2020).
- Grelland, N. & Isaksen, A. X. (2018). *Utredning av energieffektive metoder for å kutte gras med den autonome landbruksroboten Thorvald*. Masteroppgave. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Tilgjengelig fra: <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/handle/11250/2571598> (lest 06.02.2020).
- Heggset, S. (2020). *Re: Masteroppgave spørsmål*. (e-post til Max Larsen 04.17.2020).
- Hunt, D. V. (1993). *Reengineering: leveraging the power of integrated product development*. John Wiley Sons.
- Johannessen, J. (2004). *Tekniske tabeller*. Cappelen.
- LINAK (2020a). Linear actuators la33. Tilgjengelig fra: <https://www.linak.com/products/linear-actuators/la33/> (lest 10.05.2020).
- LINAK (2020b). Linear actuators la33 - data sheet. Tilgjengelig fra: <https://cdn.linak.com/-/media/files/data-sheet-source/en/linear-actuator-la33-data-sheet-eng.ashx> (lest 28.05.2020).
- Michalko, M. (2006). *Thinkertoys: A handbook of creative-thinking techniques*. Random House Digital.
- Morken, J., Bøe, J. K. & Endererud, H. C. (2003). *Landbruksmaskinar*, s. 52–56. Utg. 1. Oslo: GAN forlag.
- Orkel (2019). Hiq smartbaler. Tilgjengelig fra: <https://orkel.no/produkter/rundballepresser/hiq-smartbaler/> (lest 04.03.2020).
- Porta (2020). Landbruksmaskiner. Tilgjengelig fra: <http://portal.fagbokforlaget.no/meny punkt.cfm?id=76-283-1&mpid=4827,7233> (lest 08.02.2020).
- Pugh, S. & Clausing, D. (1996). *Creating Innovative Products Using Total Design*. Addison-Wesley Longman Publishing.
- Saga (2019). A modular robotic platform. Tilgjengelig fra: <https://sagarobotics.com/pages/thorvald-platform> (lest 04.03.2020).
- Schiøtz, J. E. (2015). Robust fuktighetssensor fra michell. Tilgjengelig fra: <https://www.amnytt.no/robust-fuktighetssensor-fra-michell.5735289-304919.html> (lest 10.05.2020).
- Srivastava, A. K., Goering, C. E. & Rohrbach, R. P. (1993). *Engineering Principles of Agricultural Machines*. Michigan: American Society of Agricultural Engineers.
- Wikipedia (2020a). Harvest. Tilgjengelig fra: <https://en.wikipedia.org/wiki/Harvest> (lest 07.02.2020).
- Wikipedia (2020b). Ljå. Tilgjengelig fra: <https://no.wikipedia.org/wiki/Ljå> (lest 07.02.2020).



---

Wikipedia (2020c). Sigd. Tilgjengelig fra: <https://no.wikipedia.org/wiki/Sigd> (lest 07.02.2020).

Wikipedia (2020d). Slåmaskin. Tilgjengelig fra: <https://no.wikipedia.org/wiki/Slåmaskin> (lest 08.02.2020).

---

# Figurliste

1.1	Oversikt over veien til bedre og billigere grovfôr. Det grønne steget er fokuset i denne rapporten. (Felleskjøpet, 2020) . . . . .	2
1.2	Aebi TP 410 - Transporter. (Aebi, 2019a) . . . . .	4
1.3	Aebi TT 211 utstyrt med kutter.(Aebi, 2019b) . . . . .	4
1.4	Konfigurasjoner av Thorvald som er egnet til diverse oppgaver.(Saga, 2019)	5
2.1	Radardiagram for traktortilbehør . . . . .	9
2.2	Radardiagram for traktortilbehør . . . . .	10
2.3	Radardiagram for traktortilbehør . . . . .	11
3.1	Gantt diagram . . . . .	16
4.1	Oversikt over lineæraksene i forhold til Thorvald. . . . .	18
4.2	Oversikt over rotasjonsaksene i forhold til Thorvald . . . . .	18
4.3	Forenklet øvre del av en 4-beins IPD (IPU) modell. (Hunt, 1993) . . . . .	21
4.4	Prosesstrinn etter metodedefinering. Pilene er forbedringssløyfer. . . . .	24
5.1	Graf av reduksjon i kilo vann i en mengde grovfôr med økende tørrstoffprosent. (Heggset, 2020) . . . . .	25
5.2	Graf som viser tap av tørrstoff i prosent ved økende tørrstoffprosent. (Heggset, 2020) . . . . .	26
5.3	Graf som viser massetettheten til grovfôr ved forskjellige kuttemetoder. (Heggset, 2020) . . . . .	26
5.4	Kraftdiagram av en kloss på et skrått plan. . . . .	28
5.5	Skjerm bilde av hvordan graset er generert over beholderen før simuleringen starter. . . . .	30
5.6	Skjerm bilde av simuleringen ved $t = 1,04$ s, platen som simulerer åpnemekanismen beveger seg bort. . . . .	31
5.7	Skjerm bilde av simuleringen ved $t = 1,2$ s, graset bygger opp fart idet platen er borte. . . . .	31
5.8	Skjerm bilde av simuleringen ved $t = 2,68$ s, graset faller ut av beholderen i full hastighet. . . . .	32
6.1	Representasjon av 1-5 skalaen brukt til vektning av egenskaper. . . . .	34
6.2	Oversikt over fargetildelingen til Tabell 6.1 . . . . .	36
7.1	Funksjonsanalyse, hvor de markerte områdene a), b), c) og d) rammer inn elementene som vil bli vurdert videre. . . . .	38
8.1	Representasjon av 1-5 skalaen brukt til vektning av konseptene. . . . .	46
8.2	Rendert presentasjon av det resulterende konseptet. . . . .	61
8.3	Rendert presentasjon av det resulterende konseptet. . . . .	62
9.1	Gjennomsnittlige svar av viktigheten for produktets egenskaper. . . . .	65
9.2	Orginalvektning av produkt egenskaper. . . . .	67
10.1	Illustrasjonen av nytt lossekonsept. . . . .	68
10.2	Dimensjoner på festepunktet til sylindren. . . . .	69
10.3	Åpningsvinkel til dørene ved full utvidelse. . . . .	70
11.1	Eksplodert sammenstillingsbilde av beholderens unike komponenter. . . . .	73
11.2	Beholderen montert på Thorvald med lukket luke. . . . .	74
11.3	Beholderen montert på Thorvald med åpen luke. . . . .	75
11.4	Oversiktsbilde av sylinder montering. . . . .	75
11.5	Thorvald med beholderfestene montert. . . . .	76
11.6	Oversikt over beholderfeste sammenstilling. . . . .	76

---

11.7	Zoomet bilde av beholderhengslene. . . . .	77
11.8	Oversiktsbilde av innsettere i beholderfestet. . . . .	78
11.9	Oversiktsbilde av hulrommet til beholderen. . . . .	79
11.10	Zoomet bilde av sylindrefeste på beholder. . . . .	80
11.11	Zoomet bilde av sylindrefeste på dør. . . . .	80
12.1	Skjembilde av representasjons av hydrostatisk belastning. . . . .	83
12.2	Isometrisk oversiktsbilde av totaldeformasjonen til beholderen. . . . .	85
12.3	Oversiktsbilde av totaldeformasjonen til lukedørene. . . . .	86
12.4	Presentasjon av Von-mises spenningen i beholderen. . . . .	87
12.5	Oversikt over sikkerhetsfaktorene til Von-Mises stresskonsentrasjonene i hengselet. . . . .	87
12.6	Oversikt over sikkerhetsfaktoren til Von-Mises stresset i beholderfestet. . . . .	88
12.7	Oversikt over det totale energiforbruket til beholderen. (GRANTA, 2020)	90
12.8	Oversikt over det totale $CO_2$ utslippet til beholderen. (GRANTA, 2020) .	91
13.1	Visualisering av salsprisutvikling ved serieproduksjon . . . . .	96
14.1	Markedspresentasjonsbilde av hvordan Thorvald kan losse graset. . . . .	98
14.2	Markedspresentasjonsbilde av en beholder fylt med gras . . . . .	98
14.3	Markedspresentasjonsbilde av en beholder i bruk. . . . .	99

---

# Tabelliste

2.1	Konkurrerende løsninger . . . . .	6
3.1	Oversikt over milepæler . . . . .	16
4.1	Begrepsforklaring . . . . .	18
4.2	Symbolforklaring . . . . .	20
4.3	Formelsamling. . . . .	21
4.4	Oversikt over kvalitetsikringskilder . . . . .	23
5.1	Oversikt over generelle data om Thorvald. . . . .	27
6.1	Oversikt over rangering av produktegenskaper . . . . .	34
6.2	Min, max og anbefalte mål for høstebeholderen . . . . .	36
6.3	Grovspefisifiseringer av produkttypen . . . . .	37
7.1	Funksjonsalternativer for lossing av gras . . . . .	39
7.2	Funksjonsalternativer for målinger . . . . .	41
7.3	Funksjonsalternativer for beholder . . . . .	42
7.4	Funksjonalternativer for materiale . . . . .	42
7.5	Funksjonsalternativer for plassering av beholder . . . . .	43
7.6	Funksjonsalternativer for festet til beholderen . . . . .	43
8.1	Oversikt over lossekonsept index . . . . .	47
8.2	Seleksjonsmatrise for lossing av gras . . . . .	47
8.3	Lossemekanisme konsepter . . . . .	48
8.4	Seleksjonsmatrise for lossemekansime . . . . .	48
8.5	Elektriske skyvedørkonsepter . . . . .	49
8.6	Seleksjonsmatrise for Elektriske skyvedører . . . . .	50
8.7	Oversikt over låsekonsepter . . . . .	51
8.8	Seleksjonsmatrise for låsekonsepter . . . . .	51
8.9	Seleksjonsmatrise for beholdere . . . . .	52
8.10	Seleksjonsmatrise for plassering av beholderen . . . . .	53
8.11	Seleksjonsmatrise for beholderfeste . . . . .	55
8.12	Seleksjonsmatrise for målinger . . . . .	55
8.13	Seleksjonsmatrise for materiale . . . . .	56
8.14	Seleksjonsmatrise for produksjonsmetode . . . . .	57
8.15	Seleksjonsmatrise for plastikk . . . . .	58
8.16	Erstatt . . . . .	59
8.17	Kombiner . . . . .	59
8.18	Tilpasse . . . . .	59
8.19	Endre/Forstørre/Minske . . . . .	59
8.20	Endre bruksområde . . . . .	60
8.21	Eliminer . . . . .	60
8.22	Reverser . . . . .	60
10.1	Seleksjonsmatrise for design revisjon . . . . .	71
11.1	Oversikt over produktet sine komponenter. . . . .	73
12.1	Materialegenskaper til beholdermaterialer . . . . .	82
12.2	Oversikt over kontaktflate begrensninger . . . . .	84
12.3	Oversikt over kontaktflate begrensninger . . . . .	84
12.4	Bestandighet . . . . .	89
12.5	Resirkulering og EoL. . . . .	90
12.6	Resirkulering og EoL. . . . .	90

---

13.1	Kostnads kalkyle for prototype . . . . .	93
13.2	Engangskostnader for serieproduksjon . . . . .	94
13.3	Kostnads kalkyle for serieproduksjon . . . . .	94
13.4	Salgspris utvikling ved serieproduksjon . . . . .	96

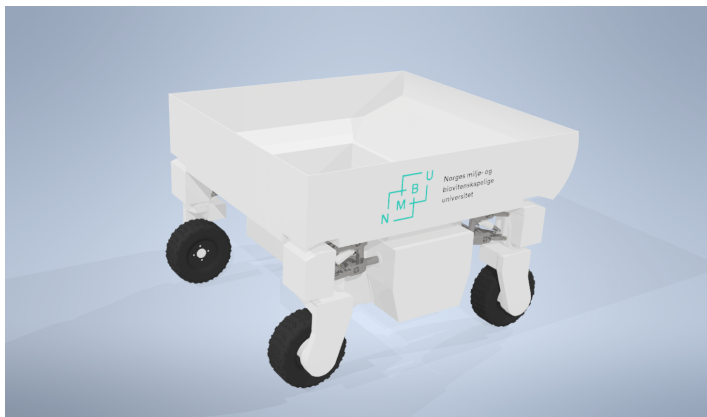
---

# Vedlegg

- A1 Spørreundersøkelse
- A2 Teknisk tegning - assembly
- A3 Teknisk tegning - beholder
- A4 Teknisk tegning - lukedør
- A5 Teknisk tegning - beholderfeste

# Spørreskjema

## Høstebeholder til Thorvald



### Personopplysning

Navn:

Kjønn:

Alder:

Yrke:

Stilling:

### Bakgrunn

Thorvald er en lettvekt-landbruksrobot som ble utviklet ved NMBU, Ås i 2014. Thorvald ble utviklet for å substituere noen av oppgavene til den tradisjonelt brukte traktoren. Roboten er elektrisk drevet og har gjennom årene blitt videreutviklet til å bli en plattform som er svært modulerbar.

I denne spørreundersøkelsen ønsker vi tilbakemeldinger på utviklingen av høstebeholderen til Thorvald. Høstebeholder konseptet som skal vurderes er en åpen beholder plassert delvis inni Thorvald, hvor gresset losses av ved å åpne en luke i bunnen av beholderen.

### Spørsmål 1

Hvilken gruppe er du?

Jorbruksingeniør

Bonde

Robottingeniør

Annet

Hvis du er bonde høster du grovfôr og hvor ofte?

Hvis du er bonde, hvordan har jordpakking påvirket deg?

Har du hørt om Thorvald tidligere? Hva er din tilknytting?





# Spørreskjema

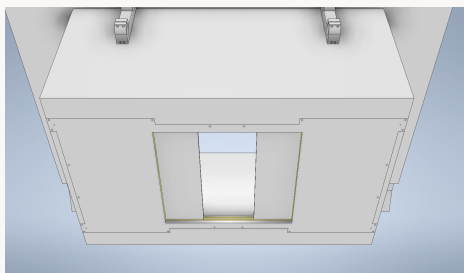
## Høstebeholder til Thorvald

### Spørsmål 2

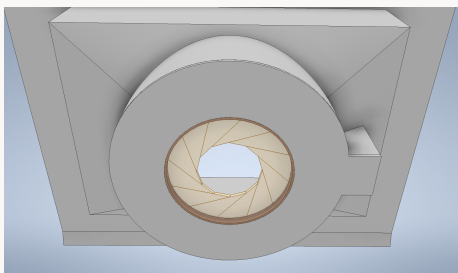
Hvor viktig ville følgende egenskaper vært for deg hvis du skulle kjøpt høstebeholderen?

	Svært viktig	Viktig	Delvis viktig	Lite viktig	Uviktig
Pålitelighet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Estetikk	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Robusthet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vekt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Volum	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Energieffektivitet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tidseffektivitet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Brukervennlighet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Produksjonskostnad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Miljø	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

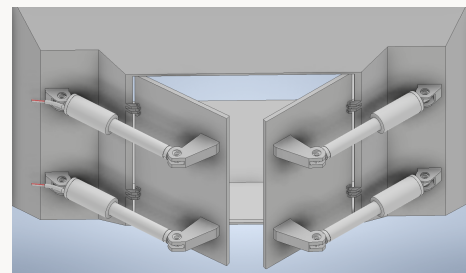
### Spørsmål 3



**Konsept 1:** Luken i bunn åpnes ved at 2 skyvedører sklir/roller fra hverandre. Dørene er drevet av lineære trinnmotorer.



**Konsept 2:** Luken i bunn åpnes ved at 12 "pizzastykker" beveger seg konsentrisk rundt åpningen. Mekanismen er tannhjul drevet.



**Konsept 3:** Luken i bunn åpnes ved at 2 dører på hengsler beveges ved hjelp av sylindere.

Av de 3 luke-konseptene over, hvilken tror du fører til det beste produktet?

Konsept 1

Konsept 2

Konsept 3

Hvorfor?

Kan du tenke på endringer i disse konseptene som ville ledet til en bedre produkt?



# Spørreskjema

## Høstebeholder til Thorvald

### Spørsmål 4

Syntes du at det er tilstrekkelig at Thorvald frakter 350kg gress per tur?

Ja

Nei

Hvis nei, hva er en tilstrekkelig mengde?

### Spørsmål 5

Hvis du skulle kjøpt Thorvald til landbruk, er du villig til å kjøpe flere Thorvald-er så du kan ha separate frakt- og plukkeroboter?

Ja

Nei

Hvis nei, hvorfor ikke?

### Spørsmål 6

Hvor mye er du villig til å betale for beholderen til Thorvald, kjøpt separat?

10000 - 15000kr

15000 - 20000kr

20000 - 25000kr

25000 - 30000kr

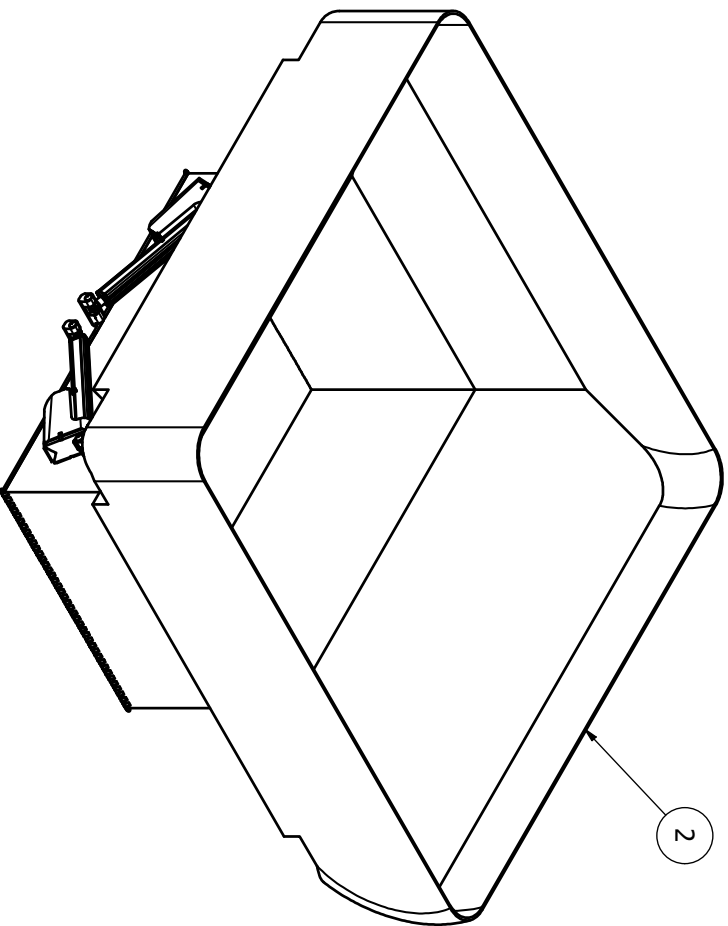
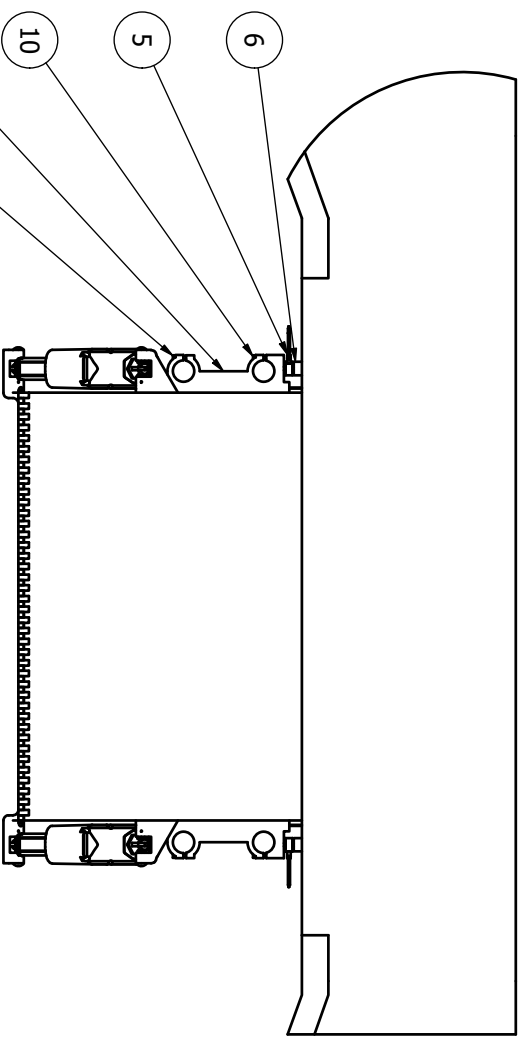
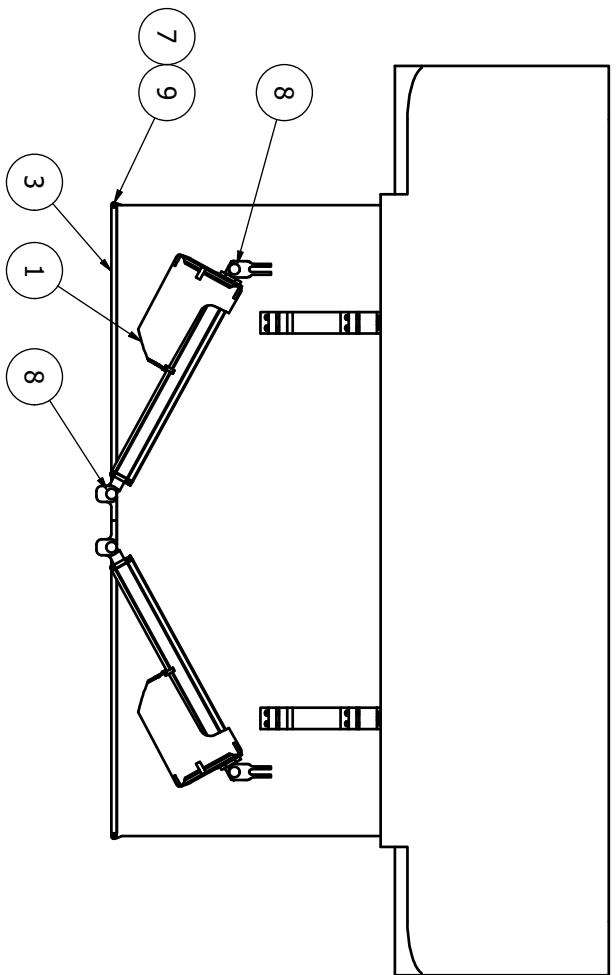
30000+kr

Grunnlag?

### Kommentar

Hvis du har andre kommentarer, vennligst utdyp dem her. Takk for deltagelse.





PARTS LIST

ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	4	LINAK LA33	Electric linear actuator
2	1	Beholder	HDPE (general purpose)
3	2	Luke dør	HDPE (30% glass fiber)
4	4	Beholderfaste w/ inserts	HDPE (general purpose)
5	4	Burster 8431-6002	Tension and compression load cell
6	4	Elesa	Vibration-damping elements
7	2	Hengsel pin	S275N
8	8	Sylinderfaste	S275N
9	4	DIN 1587 - M5(1)	Hexagon Domed Cap Nuts
10	16	ISO 4762 - M5 x 25	Hexagon Socket Head Cap Screw

Designed by Max Larsen	Checked by	Approved by	Date 26.05.2020
---------------------------	------------	-------------	--------------------

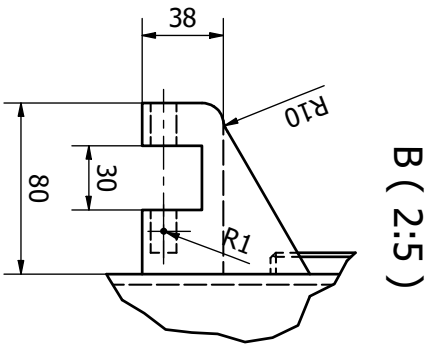
Norwegian University of Life Sciences

Harvesting container

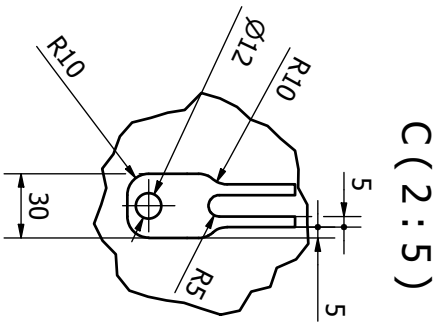
Assembly

Edition 1 / Sheet 1 / 1

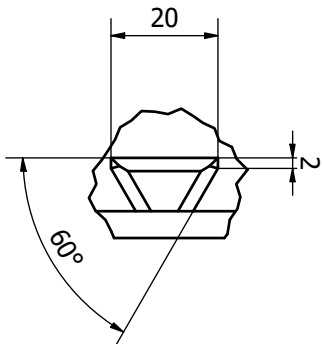




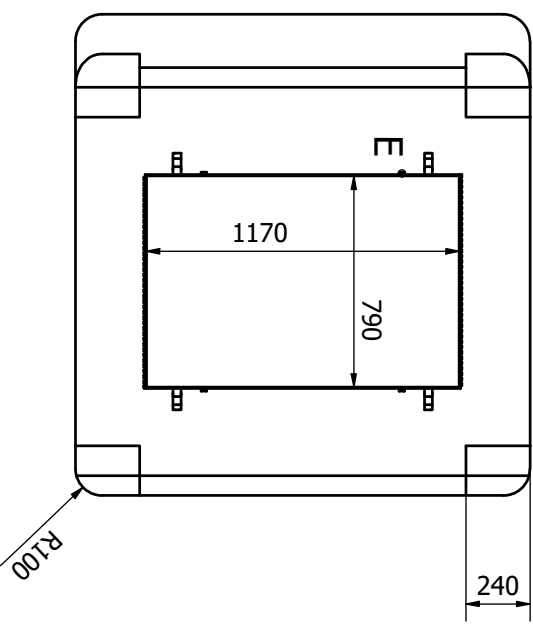
B (2:5)



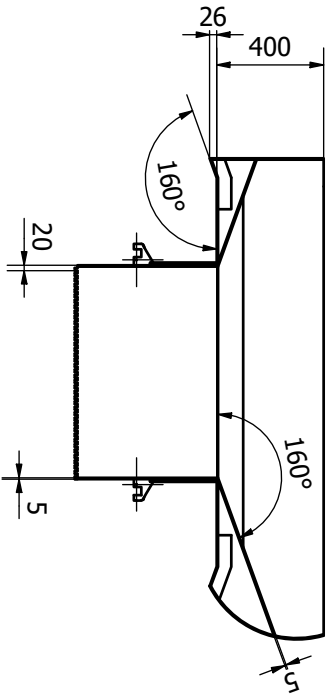
C (2:5)



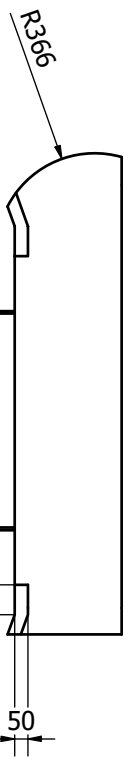
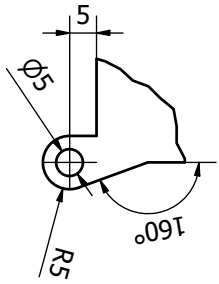
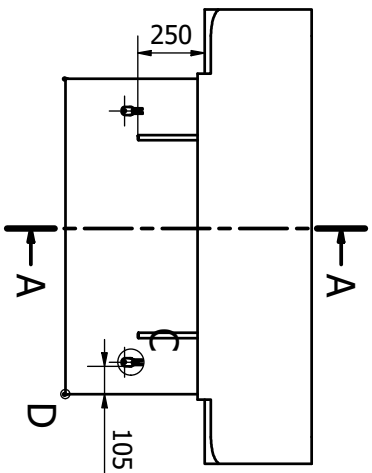
E (1:1)



A-A (1:20)



D (1:1)



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Beholder	HDPE (general purpose)
Designed by		Checked by	Approved by
Max Larsen			
Date		Date	
		22.05.2020	

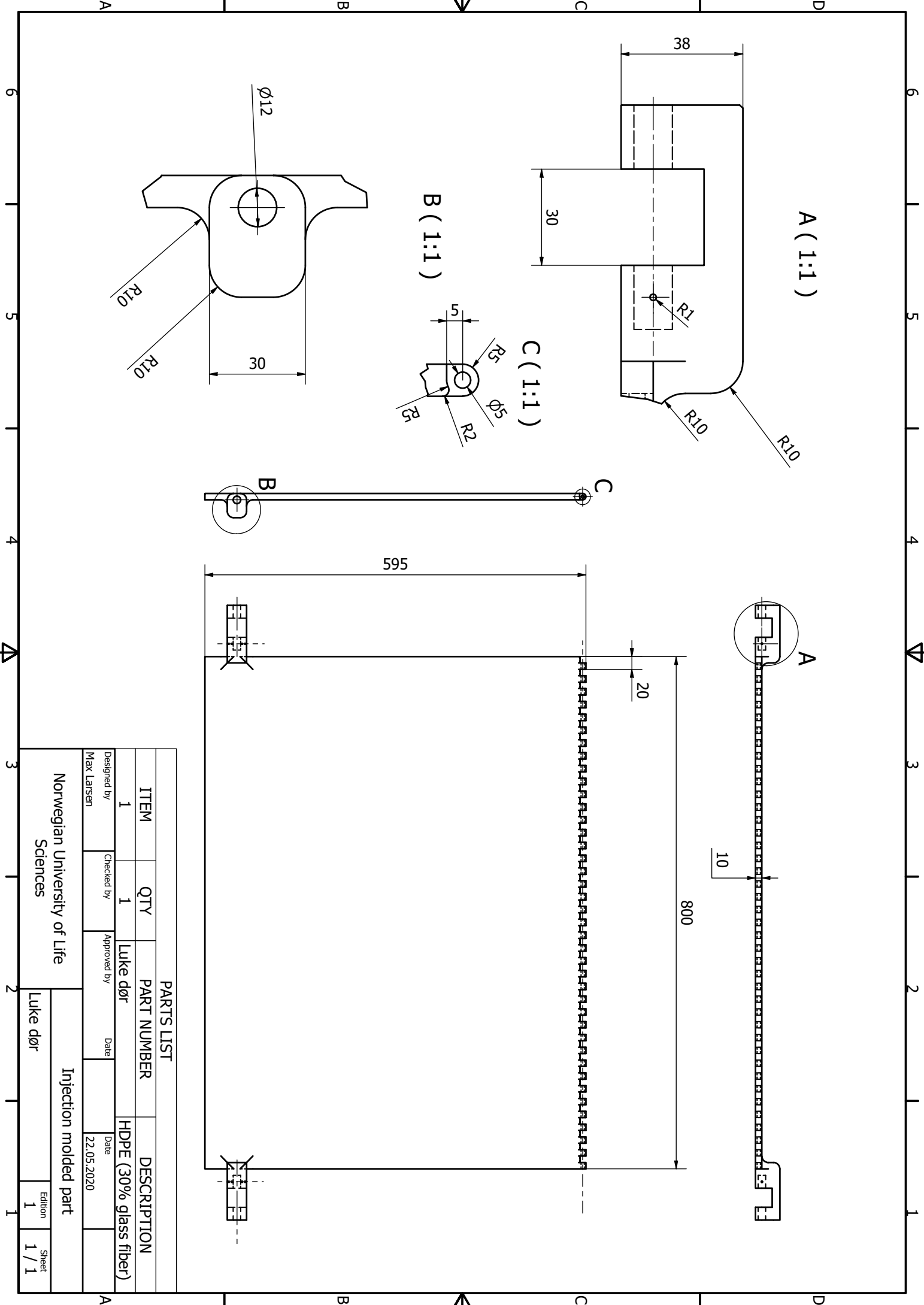
Norwegian University of Life Sciences

Rotation molded part

Beholder Edition 1 Sheet 1 / 1







PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Luke dør	HDPE (30% glass fiber)
Designed by Max Larsen		Checked by	Approved by Date 22.05.2020

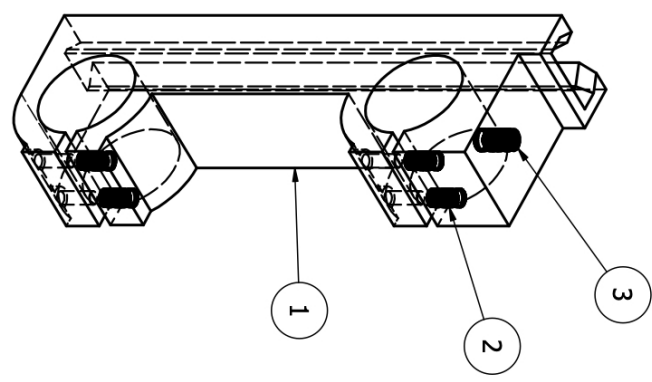
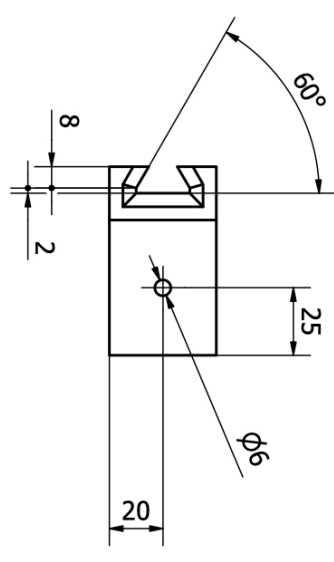
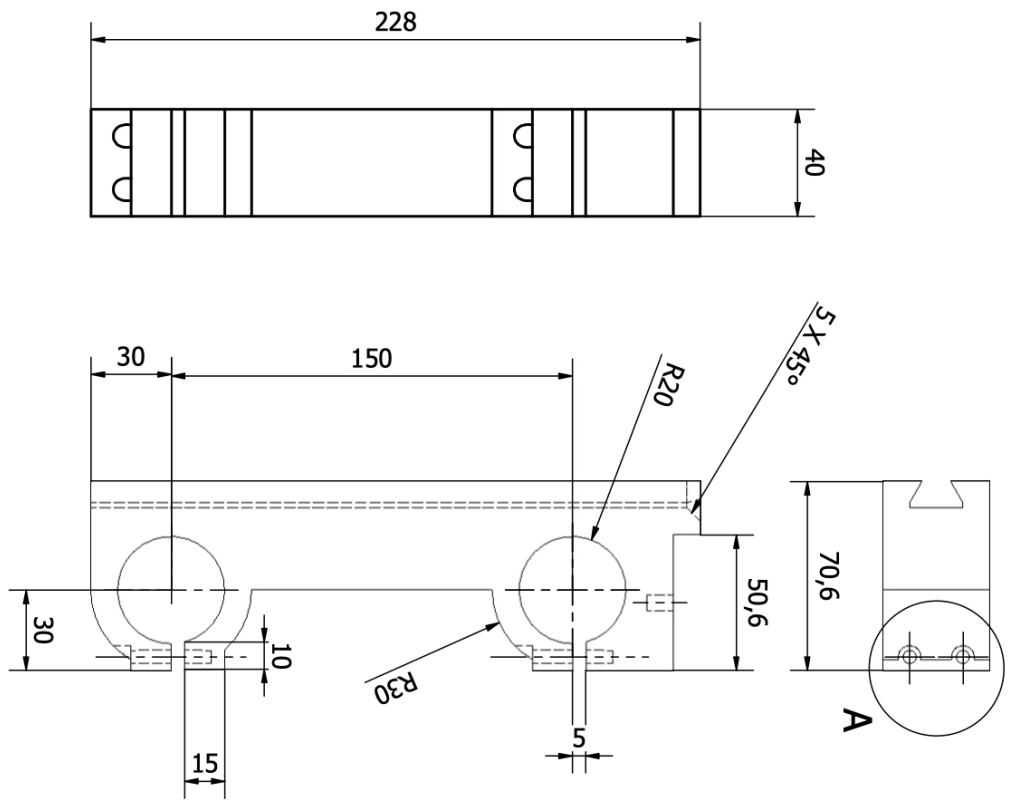
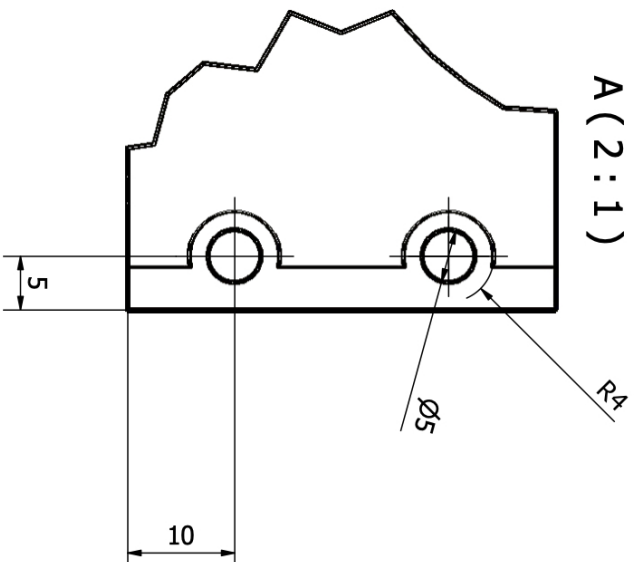
Norwegian University of Life Sciences

Injection molded part

Luke dør

Edition 1  
Sheet 1 / 1





PARTS LIST

ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Beholderfeste	HDPE (general purpose)
2	4	PennEngineering IBLC-M5-8ASSY	300 Series Stainless Steel
3	1	PennEngineering IBLC-M6-8ASSY	300 Series Stainless Steel

Designed by Max Larsen	Checked by	Approved by	Date 26.05.2020
---------------------------	------------	-------------	--------------------

Norwegian University of life sciences		Injection molded with molded-in inserts.	
		Edition	Sheet
		1	1 / 1







**Norges miljø- og biovitenskapelige universitet**  
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet  
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway