



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

**Masteroppgave 2018 30 + 30 stp**

Fakultet for realfag og teknologi

Pål Johan From

## **Utredning av energieffektive metoder for å kutte gras med den autonome landbruksroboten Thorvald**

A study of energy efficient methods for cutting gras  
with Thorvald - the autonomous agricultural robot

**Andreas Xepapadakis Isaksen &  
Nickolas Grelland**

Maskin-, prosess- og produktutvikling  
Fakultet for realfag og teknologi

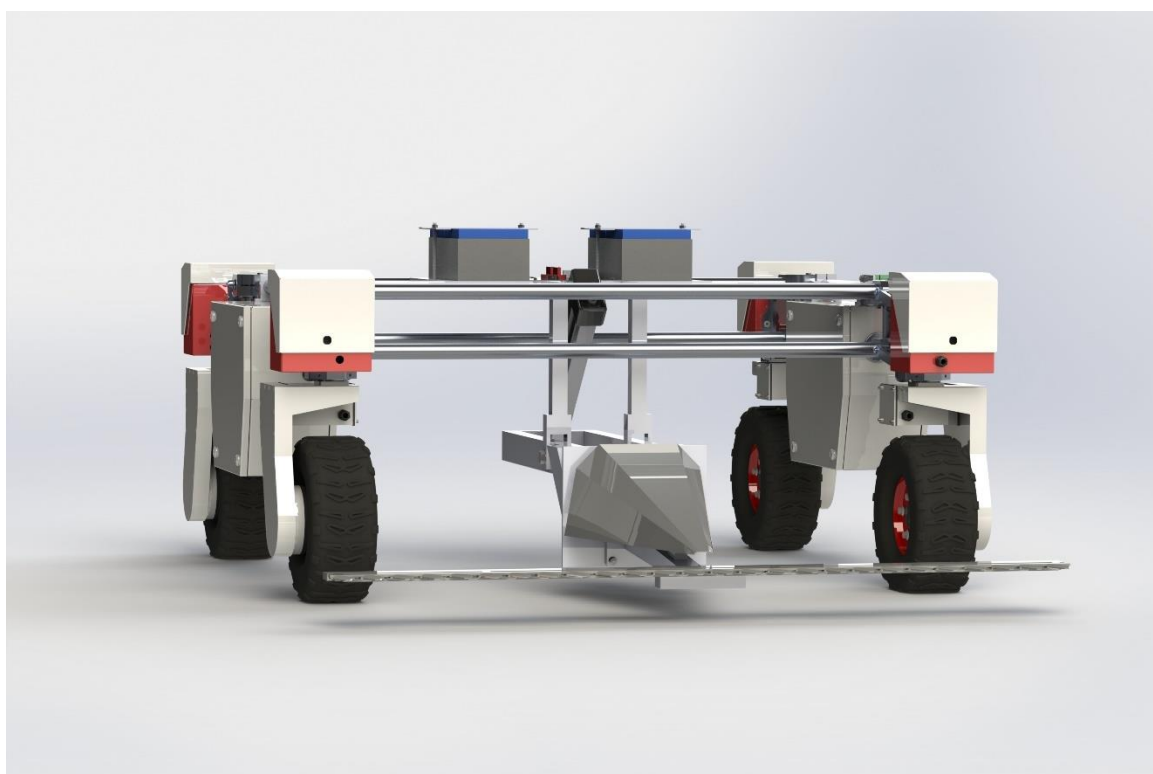


# Utredning av energieffektive metoder for å kutte gras med den autonome landbruksroboten Thorvald.

av

Nickolas Grelland & Andreas Xepapadakis Isaksen

---



Masteroppgave – Maskin-, prosess- og produktutvikling

NMBU – Fakultet for realfag og teknologi





## FORORD

Dette prosjektet gjennomføres i henhold til et avsluttende 5-årig masterstudium i Maskin-, prosess-, og produktutvikling ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet ved Fakultetet for realfag og teknologi, våren 2018.

Grunnet mye nedbør på Vestlandet de siste årene og spesielt i 2017, har det vært ugunstig å høste inn med tunge landbruksmaskiner og noen ganger umulig grunnet den våte jorda. Flere bønder har dermed blitt tvunget til å måtte kjøpe fôr fra utenlandske bønder. Det er derfor ønskelig å kunne bruke lettere landbruksmaskiner slik at man kan høste i korte innhøstingsvindu. Det skal derfor gjennomføres et prosjekt i samarbeid med flere parter som sammen går under navnet *GrassRobotics*. Forskningsprosjektet skal gå over 4 år hvor utviklingen av klippeanordningen til en lettveksrobot er første arbeidsoppgave som gir grunnlag for denne rapporten.

Teknologi og nyutvikling er fagfelt som vi har lidenskap for og da vi ble introdusert for prosjektet av professor Pål Johan From vekket det stor interesse. Det er framtidsrettet, realistisk, og det motiverer oss til å arbeide med dette. At *GrassRobotics* ønsker en prototype ferdig allerede i mai driver oss til å jobbe mye og intenst med prosjektet. Det tvinger oss til å bruke kreativiteten vår, samt tidligere praktiske erfaringer for å komme med det beste sluttproduktet. Vi får muligheten til å tilegne oss kunnskap om tverrfaglige felt og vi får trening i å samarbeide tett med oppdragsgiver, gjennom ukentlige tilstandsmøter. Dette prosjektet er rota av noe som kan vokse seg stort og den spiringen ønsker vi å ta del av.

Gjennom oppgaven har vi fått god støtte og bidrag fra flere ressurspersoner som fortjener en ekstra oppmerksomhet. Takk til hovedveileder og professor Pål Johan From, førsteamanuensis Jan Kåre Bøe, førsteamanuensis Odd Ivar Lekang og konsulent Christian Anders Thømt for veiledning av rapporten. Takk til bidragsyterne fra *GrassRobotics* som har vært gode støttespillere og eksternevaluert oppgaven vår gjennom hele utviklingsprosessen. Bidragsyterne er seniorforsker Håvard Steinshamn, forsker Synnøve Rivedal, forsker Liv Østrem, professor Nils Bjugstad, Dr. Tilmann Hettasch, siviløkonom Thor André Fløtre, Bondelagsleder Anders Felde, produksjonsingeniør Anders Moen, landbruksrådgiver Jan Karstein Henriksen, agrotekniker Dag Helle og sivilagronom Bjørn-Harald Haugsvær. Takk til Saga Robotics for opplæring av egenskaper og funksjonaliteter ved roboten Thorvald. Takk til førsteamanuensis Petter H. Heyerdal, forskningsprofessor Trygve S. Aamlid og medarbeidere fra ESM for personlige meddelelser. Takk til avdelingsingeniør Øyvind Jørgensen, overingeniør Svend Anton Pung og overingeniør Lars Morten Opseth for oppsett av testforsøk ved Vollebekk forskningscenter.

Ås, 15.5.2018

---

Nickolas Stefano Fyrbu Grelland

---

Andreas Xepapadakis Isaksen



## SAMMENDRAG

I et effektiviserende samfunn har utviklingen på jordbruksfronten gått i retning av større og tyngre jordbruksmaskiner. Dette, sammen med et stadig våtere klima i Norge, har ført til utfordringer ved innhøsting. En av konsekvensene ved bruk av tyngre maskiner er jordpakking. Hovedproblemet ved jordpakking er at det fører til en reduksjon i avlingene fra sesong til sesong. På steder med mye nedbør er innhøstingsvinduene korte og det hender at traktorer ikke kommer ut på jordet grunnet den fuktige jorda. I et samarbeid med *GrassRobotics* ser man på muligheten for at den autonome lettvekstroboten Thorvald skal kunne ta over noen av arbeidsoppgavene til traktoren og på den måten redusere bruken av tunge landbruksmaskiner.

Hovedmålet for oppgaven er at det skal utredes og utvikles et energieffektivt og fleksibelt klippeverktøy som sammen med den autonome roboten Thorvald skal kunne klippe gras som så skal bli grovfôr til drøvtyggere.

For å kunne utvikle det mest egnede klippeverktøyet for å slå gras med roboten Thorvald er det blitt brukt forskjellige produktutviklingsverktøy. Funksjonsanalyse og tilhørende egenselektering med bruk av Pughs metodikk er brukt til å finne den best egnede løsningen med hensyn på produktmålene.

Det første trinnet i utviklingsprosessen gikk med til å tilegne seg kunnskap om gras og om prosessene på jordet før graset blir til grovfôr. Side om side med dette ble det gjort studier av tradisjonelle slåttemaskiner som er på markedet. Ettersom det skjer stor utvikling på bruken av blant annet laser og andre kuttemetoder i industrien, ble det også gjort et studium og testing av alternative kuttemetoder. Basert på forsøkene ble det observert at kuttemetodene som ga rene og fine kutt medførte hurtigst gjenvekstvilkår. Løsningen som ble valgt var dobbel knivbjelke med bidux-system og det har blitt bygget en prototype.

Klippeverktøyet er 1034 mm langt, 1700 mm bredt og 305 mm høyt og veier 82 kg ved bruk av en 1,5 kW børsteløs DC motor. Klippeverktøyet har et effektforbruk på 1420 W ved kuttehastigheten på 5 km/t. Dette gir et energiforbruk på 167 Wt/daa.

Veien videre blir å undersøke fordelene ved bruk av lettvektsroboter til innhøsting av gras.



## ABSTRACT

In a society with increased focus on efficiency, the developments in agriculture have shifted towards bigger and heavier agricultural machines and equipment. Along with a wetter climate in Norway, challenges related to harvesting have arisen. One of the consequences of using heavier machinery is increased soil compaction. The main issue of soil compaction is that it leads to a reduction in crops from season to season. In places with heavy rainfall, the harvest periods are short, and you cannot operate in the field with heavy machinery due to the wet and moist soil. In collaboration with *GrassRobotics*, the possibility that the autonomous, lightweight robot Thorvald can replace some of the tractor's work tasks, will be researched. Thus, reducing the use of heavy agricultural machines.

The main objective of this thesis is to develop an energy-efficient and flexible cutting tool that, together with Thorvald, will be able to cut grass that will be fodder for ruminants.

In order to develop the most suitable tool for cutting grass with Thorvald, different product development tools have been used. Functional analysis and selection matrix using Pugh's method, are used to find the best suited solution for reaching the product goals.

The first step in the development process was to acquire knowledge about grass and the processes conducted before the grass becomes fodder. Alongside this, studies were conducted on traditional mowing machines available on the market. The use of lasers and other cutting methods are very often used in the industry and therefore a study and testing of alternative cutting methods were also performed. By testing which methods resulted in the quickest regrowth, it was observed that the cutting tools with a clean cut gave the best results. The solution chosen was the knife beam, and a prototype was built for testing.

The cutting tool is 1034 mm long, 1700 mm wide and 305 mm tall and weighs 82 kg with use of a 1.5 kW brushless DC motor. The cutting tool has a power consumption of 1420 W at the cutting speed of 5 km/h. This gives an energy consumption of 167 Wt/da.

Future work involves a study of the benefits of the use of lightweight agriculture robots for harvesting grass.

# Innholdsfortegnelse

FORORD .....	I
SAMMENDRAG.....	III
ABSTRACT.....	V
1 Introduksjon .....	1
1.1 Slåmaskinens historie.....	1
1.2 Problematikken bak dagens innhøstingsmetoder .....	3
1.3 Roboten Thorvald.....	5
1.4 <i>GrassRobotics</i> .....	6
2 Prosjektplan.....	9
2.1 Prosjekt mål .....	9
2.1.1 Hovedmål.....	9
2.1.2 Delmål.....	9
2.2 Arbeidsplan .....	10
2.3 Oppdragsbeskrivelse og kravspesifikasjoner .....	11
2.4 Klargjøring av teknologiske flaskehalser.....	11
2.5 Begrensninger .....	12
3 Metodebruk .....	13
3.1 Terminologi.....	13
3.1.1 Begrepsforklaring .....	13
3.1.2 Symboler .....	13
3.1.3 Formler.....	14
3.2 Integrert produktutvikling (IPD).....	15
3.3 Pughs metode .....	15
3.4 Osbornes SCAMPERR .....	16
3.5 Programvarer.....	17
3.6 Kvalitetssikring av sluttproduktet og rapporten.....	17
3.7 Prosesstrinn .....	19
4 Teori og teknologiutredning .....	21
4.1 Gras og grovfôr .....	21
4.1.1 Surfôr .....	21
4.1.2 Feilgjæring .....	21
4.1.3 Høyest energiinnhold i graset .....	21
4.1.4 Påvirkning på dyre- og insektlivet .....	24
4.1.5 Gjenvekst .....	25

4.1.6	Betydningen av tørrstoffinnhold .....	26
4.1.7	Konsekvenser av vann i fôret.....	27
4.1.8	Oppsummering av gras- og grovfôrteori.....	28
4.2	Tidlige grunnlagsberegninger .....	29
4.3	Tradisjonelle slåmaskiner .....	31
4.3.1	Roterende slåmaskin .....	31
4.3.2	Knivbjelke.....	34
4.3.3	Trommelslåmaskin.....	38
4.3.4	Slagslåmaskin .....	39
4.3.5	Grasrydder.....	39
4.3.6	Evaluering av implementeringsmuligheter på Thorvald.....	40
4.4	Kuttemetoder.....	42
4.4.1	Kniv.....	42
4.4.2	Vannkutter.....	44
4.4.3	Laserkutter .....	46
4.4.4	Plasmakutter.....	51
4.4.5	Ultrasoniske kniver .....	52
4.4.6	Varmetråd .....	54
4.4.7	Oksygenskjærer.....	55
4.4.8	Evaluering av alternative metoder for kutting av gras.....	56
5	Produktspesifisering.....	59
5.1	Produktmålsetting .....	59
5.2	Rangering av viktige produktegenskaper.....	60
5.3	Metriske grensespesifikasjoner av produktet.....	63
6	Konkurrerende løsninger .....	67
7	Konseptene implementert på Thorvald.....	73
7.1	Plassering av slåtteutstyr.....	73
7.2	Skiveslåmaskin .....	74
7.3	Knivbjelke.....	74
7.4	Laserkutter .....	75
7.5	Ultrasoniske kniver .....	76
7.6	Varmetråd .....	76
8	Test av klippemetoder.....	77
8.1	Vollebekk.....	77
8.2	Gjennomførbarheten hos alternative kuttemetoder.....	79

8.3	Gjenvekstvilkår .....	88
9	Konseptgenerering .....	93
9.1	Funksjonsanalyse .....	93
9.2	Løsningsalternativer.....	93
10	Egenscreening av type anordning .....	95
10.1	Egen konseptscreening.....	95
10.2	Foretrukket løsning .....	98
11	Tidlig lønnsomhetsanalyse.....	99
12	Ekstern konseptscreening.....	103
12.1	Målsettinger for møtene .....	103
12.2	Testpopulasjon .....	103
12.3	Innhold og kommunikasjonsform .....	104
12.4	Tilbakemelding og tolkning .....	105
13	Tidlig prototype .....	107
13.1	Mål for prototype .....	107
13.2	Spesifisering av prototype.....	107
13.3	Grunnlagsberegninger.....	107
13.3.1	Styrkeberegninger .....	107
13.3.2	Effektbehovsestimering til drift av knivbjelke .....	114
13.3.3	Energibehovsestimering til drift av knivbjelke.....	115
13.4	Presentasjon av tidlig prototype.....	116
13.4.1	Sammenstilling .....	116
13.4.2	Hovedkomponenter.....	118
13.4.3	Standardkomponenter .....	123
13.5	FEM .....	124
13.6	Prototyperkostnader .....	126
13.7	Tilsyn, vedlikeholdsmetoder og koblingsskjema.....	127
13.8	Modularisering .....	128
13.9	Fremvisning av ferdig prototype.....	128
14	Prosessevaluering og diskusjon .....	131
14.1	Prosessdiskusjon .....	131
14.2	Resultatdiskusjon .....	132
15	Konklusjon og videre arbeid.....	135
15.1	Resultater .....	135
15.2	Anbefalinger .....	135



15.3 Videre arbeid.....	135
16 Referanser .....	137
Vedlegg.....	143



# 1 Introduksjon

Kapittelet tar for seg slåttehistorien i grove trekk, samt problematikken knyttet til dagens løsning og klima. Det introduserer også forskningsprosjektet som startet opp i kjølevannet av nedbørskrisen som førte til tapt grasavling i 2017 på Vestlandet.

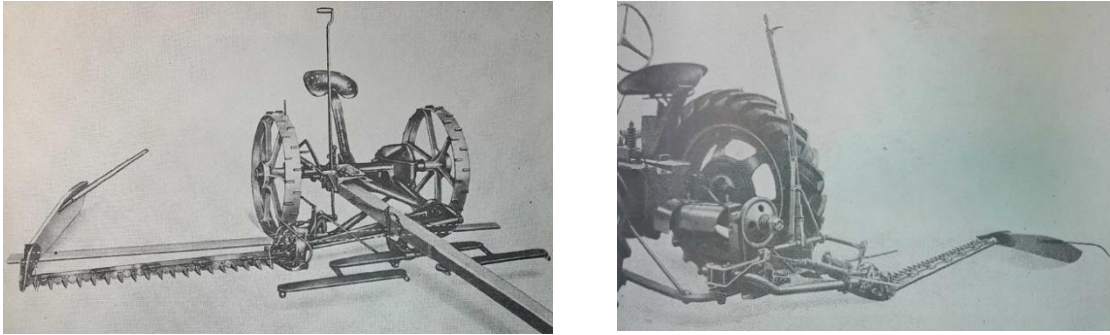
## 1.1 Slåmaskinens historie

Fra den gangen mennesket slo seg ned for å drive med jordbruk, til den dag i dag, har det vært nødvendig å dyrke gras som blir brukt til å føre husdyrene. Gjennom tidene har mennesket funnet ut at det er mer effektivt å slå graset for å så bruke det som fôr til husdyrene, enn å la dyrene beite ute på jordet. I tillegg er det nødvendig å slå graset til oppbevaring for å kunne føre husdyrene i land med sesongbasert grasvekst grunnet kalde årstider. Metodene for å slå graset har utviklet seg helt fra håndholdte kutteredskap til svære, høyeffektive traktorer med kutteverktøy. I Figur 1, Figur 2 og Figur 3 kan man se en grov illustrering av utviklingen av slåtteutstyr gjennom tidene.



*Figur 1: Til venstre ser man en sigd laget av stein, i midten en sigd laget av jern med treskaft og til høyre en ljå med blad av jern og skaft av treverk [1] [2] [3].*

Bruken av sigd laget av stein strekker seg 5000 år tilbake i Norge. Dette var under steinalderen som varte fra 2 millioner år f.v.t til 1800 år f.v.t. Til venstre i Figur 1 kan man se en steinsigd funnet i Irak og er datert 3000 år før vår tidsregning. Sigden ble brukt til å skjære gras og korn for hånd til innhøsting. Det ble også laget sigd med håndtak av treverk og med skarpe steiner som kutteblad. Det var ikke før i jernalderen, som startet 500 år f.v.t i Norge, at sigder ble smidd av jern, se midterste bilde i Figur 1. På den tiden ble også ljåen, som man kan se til høyre i Figur 1, utviklet og den bidro til et mer effektivt jordbruk. Til tross for at den var mer effektiv så trengtes det fortsatt mange individer i arbeid for å kunne ha en effektiv innhøsting. Ljåen ble hovedsakelig brukt til slåtten i Norge og var et viktig redskap frem til 1900-tallet.



*Figur 2: Til venstre ser man en tidlig utviklet slåmaskin (knivbjelke), fra slutten av 1800-tallet, som vanligvis ble trukket av hest. Til høyre ser man en knivbjelke, fra tidlig 1900-tallet, koblet til kraftuttaket med reimdrift bak en tidlig utviklet traktor [4].*

Omkring på 1850-tallet kom industrialiseringen til Norge. Kort tid etter ble landbruket sakte, men sikkert mekanisert. Den første landbruksmaskinen som kom til Norge var slåmaskinen, og det var rundt år 1870. Den hadde ikke noe form for motor, og ble vanligvis trukket av hester, som vist til venstre i Figur 2. Dette teknologiske framskrittet kunne føre til en arbeidsbesparelse på mer enn 12 manns styrke [5]. Slåmaskinen besto av en knivbjelke som var sidemontert på en vogn man satt på bak hesten. Den var mekanisk drevet med tannhjul slik at når akslingen hjulene satt på gikk rundt så gikk kniven frem og tilbake og kuttet som en saks. Det var vanlig at personen som satt på vognen brukte en lang stokk for å dytte bort graset fra knivbjelken hvis det skulle hope seg opp. I 1908 kom den første traktoren til Norge og det var etter den andre verdenskrig at norsk landbruk ble fullstendig mekanisert. Slåmaskinen som tidligere ble trukket av hester ble nå overført til traktoren som vist til høyre i Figur 2. Knivbjelken kunne kobles til kraftuttaket fra traktoren med eventuelt kilereim eller kjede for å få ønsket utveksling. Mekaniske løsninger effektiviserte arbeidet og antall sysselsatte i jordbruket ble sterkt redusert. I nyere tid har utviklingen av traktorer tatt fart, i både størrelse og tyngde, og andre slåmaskiner som roterende slåmaskiner ble utviklet for å slå graset mer effektivt. Kraftigere traktorer gjorde det også mulig å koble på flere slåmaskiner for å kunne kutte i en mye større bredde, slik som vist på Figur 3.



*Figur 3: En moderne traktor med tre påkoblede skiveslåmaskiner; to bak og én foran [6].*

## 1.2 Problematikken bak dagens innhøstingsmetoder

Ved innhøsting brukes store, tunge og tidseffektive traktorer med forskjellig utstyr. Fordelen ved bruk av stort utstyr er den store kapasiteten som gjør det mulig å dekke større landarealer på kortere tid.

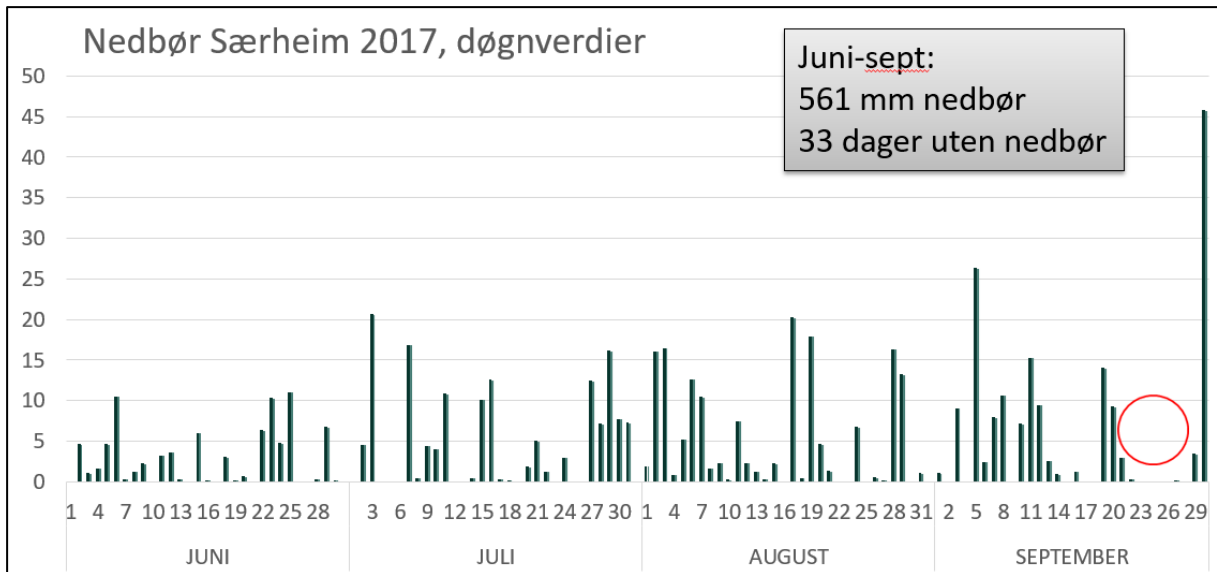
Problematikken ved å bruke tunge maskiner på jordet er at det blant annet fører til jordpakking. Det finnes to forskjellige typer jordpakking; grunnpakking og dyppakking. Grunnpakking regnes som den pakkingen som påvirker matjorda, altså de øverste 20-25 cm av jorda, mens dyppakking omhandler jorda som er fra 25 til 100 cm under bakken. Dyp jordpakking kan igjen deles inn i to intervaller. Ned til 40 cm, hvor det kan skje prosesser som frysing og tining, vil pakkingen kunne ha påvirkning på planterøttene. Det andre intervallet dyppakking er fra 40 til 100 cm. Jordpakking kommer av at jorda blir presset sammen ved overkjøringer av tunge traktorer med medfølgende redskap. Jordas porøsitet synker, styrken øker og den blir mindre gjennomtrengelig [7].

Det er flere faktorer som spiller inn når det kommer til hvor mye et kjøretøy eller redskap pakker jorda. For å prøve å motvirke jordpakking er det for eksempel vanlig å sette på et ekstra sett med hjul eller bredere hjul, slik at man senker marktrykket. Det blir også mer og mer vanlig å gå over til beltedrift på de tyngste maskinene. Luftrykket har også veldig mye å si når det kommer til avtrykket hjulet setter fra seg i jorda. Det er derfor viktig å undersøke hvilke luftrykk man bør ha til den spesifikke redskapen. Med slike tiltak får man redusert grunnpakkingen, men dyppakkingen vil fortsatt være upåvirket. Dette skyldes at pakningsgraden lengre nede i jorda bryr seg lite om marktrykket på overflaten er redusert. Der nede er det den store tyngden til redskapen som er hovedproblemet.

Ytterligere konsekvenser av jordpakking er at jorda blir mindre mottakelig for gasser, i tillegg til at man senker oksygeninnholdet i jorda [8]. Konsekvensene av det er at man påvirker mikroorganismenes aktivitet og nitrogenoppsamlingen i jorda. Planten får da ikke til seg de mineralene og næringsstoffene den trenger.

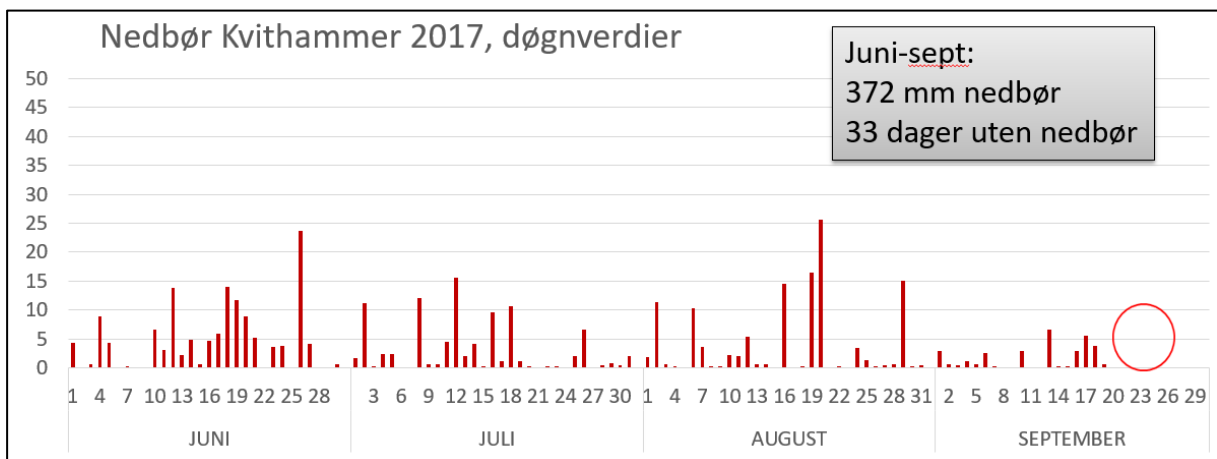
Når jordet er vått er det ugunstig å bruke tunge traktorer på jordet fordi det er mer utsatt for jordpakking, og man ødelegger det øverste matjordlaget som det er dyrket i slik at man får reduserte avlinger. Det vil derfor være nødvendig med landbruksmaskiner som har lavere marktrykk ved fuktige matjordlag [9]. I et land som Norge med mye nedbør, er man avhengig av å kunne kjøre ut på jordet med traktor i de korte innhøstingsperiodene som er. Innhøstingsvinduet vil derfor kunne bli noe lengere ved bruk av lettere maskiner.

Det hender ofte at jorda aldri blir tørr nok på grunn av nedbør gjennom sommeren og da blir man tvunget til å kjøre ut med traktor for å innhøste til tross for at man ødelegger vekstvilkårene for avlingene. Målinger gjort i 2017 ved Særheim i Rogaland (Figur 4) og Kvithammer i Trøndelag (Figur 5) viser hvor mye regn det falt gjennom sesongen 2017 og hvor store innhøstingsvinduer man hadde tilgjengelig. Grafene i Figur 4 og Figur 5 på neste side er utviklet av NIBIO med data hentet fra Landbruksmeteorologisk tjeneste som ble brukt under NIBIO-konferansen 13.-14.02.2018, tittel: Haustestrategiar for grovfôrproduksjon i vått klima.



Figur 4: Nedbør i mm/dag ved Særheim i Rogaland i 2017. Rød sirkel representerer et potensielt innhøstingsvindu [10].

Totalt regnet det 561 mm gjennom sesongen og det var 33 dager uten nedbør. Som vi kan se av Figur 4 så regnet det ganske jevnt gjennom hele sommeren, noe som gir dårlige vilkår for å bruke tunge traktorer på jordet. Det eneste ideelle tidspunktet for innhøsting var i slutten av september hvor det var én uke uten nedbør. Man kan se en liknende trend på Figur 5 hvor målingene er fra Kvithammer i Trøndelag.



Figur 5: Nedbør i mm/dag ved Kvithammer i Trøndelag i 2017. Rød sirkel representerer et potensielt innhøstingsvindu [10].

Gjennom hele sommeren regnet det jevnt med få dager mellomrom uten nedbør. Totalt falt det 372 mm nedbør og det var 33 dager uten nedbør. Her også fantes det ikke et ideelt høstevindu før i slutten av september. Konsekvensene av slike værforhold er at bonden blir tvunget til å operere på jordet når det fortsatt er vått fordi han må høste inn gras til å føre husdyrene sine. Det øverste jordlaget blir da utsatt for grovere jordpakking og reduksjon i avlinger kan øke ytterligere.

Fulldyrket eng til slått og beite utgjør 50 % av jordbruksarealet i Norge og blir i dag maskinelt dyrket. Det er potensielt mulig å maskinelt utnytte opptil 20 % større arealer om man får tatt i bruk arealer som blant annet brattlente terreng [11].

Som en løsning på disse problemene som står foran oss er en mulighet å satse på autonome lettvektsroboter som skal kunne samhandle for å utføre noen av de samme oppgavene som traktoren har på jordet. Ettersom de autonome robotene ikke er avhengig av bemanning kan én bonde ha flere roboter som opererer samtidig. Ved bruk av autonome roboter åpner muligheten for å jobbe døgnet rundt, noe som gir roboten et fortrinn når det kommer til å opprettholde effektiviteten til en traktor. Ubemannede lettvektsroboter vil også ha muligheten til å arbeide i brattlente terreng og utnytte arealer som ikke brukes maskinelt i dag. Dersom man går over til å bruke flere små lettvektsroboter framfor den tunge traktoren, vil dette kunne bidra til å forbygge jordpakking. Den lette vekten skal gi muligheten for at roboten skal kunne komme seg utpå jordet i en tidligere del av tørkefasen, når avlingen er tørr nok til innhøsting og jorda fortsatt er for våt for store tunge maskiner. Da vil man kunne ha muligheten til å utnytte de korte innhøstingsvinduene bedre.

### 1.3 Roboten Thorvald

Ved NMBU i Ås, med Pål Johan From som veileder, ble det i 2014 utviklet en lettvektslandbruksrobot, som hadde som hensikt å ta over noen av oppgavene til 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 modulerbar. Den kan skaleres og minskes til ønskelige størrelse. Den kan også tilpasses med valgfritt antall drivenheter og batteripakker ut ifra hvor energikrevende arbeid og driftstiden det er ønske om å ha. Forskjellige verktøy utvikles til roboten for å utføre oppgaver både på jordet og i drivhus. Den har en nominell hastighet på 5 km/t. Med motorer med svært nøyaktig tilbakekobling har den muligheten til å kunne operere veldig nøyaktig og presist. Det siktes da til et konsept med flere små førerløse autonome roboter som vil kunne ha muligheten for å kunne gi individuell behandling til avlinger, slik det ble gjort før den industrielle revolusjon og mekaniseringen av landbruket i Norge. Flåten av de forskjellige type Thorvald den dag i dag ser man på Figur 6. Firmaet Saga Robotics leverer alle tjenester av Thorvald.



*Figur 6: Flåten av de forskjellige type Thorvald som er bygd den dag i dag. Det finnes trehjulinger, firehjulinger og sekshjulinger ettersom hva man trenger. Det er også mulig å velge hvor mange hjul man ønsker trekk på [12].*

## 1.4 GrassRobotics

*GrassRobotics* er et fireårig tverrfaglig forskningsprosjekt som omhandler robotisert innhøsting av gras. Prosjektets mål er å etablere et bærekraftig høstesystem for grovfôrproduksjon ved hjelp av lettvektsroboter med slåtteutstyr, der man ved hjelp av hyppige høstinger kan oppnå grovfôr med høyt næringsinnhold i en lengere og våtere vekstsesong. Gjennom de fire årene skal det utvikles og testes en lettvekstrobot med utstyr for slått, oppsamling og transport av grovfôr til en stasjonær ballestasjon som skal stå på enden av jordet. Resultatene skal sammenliknes med det tradisjonelle toslåttesystemet med traktor, for å undersøke hypoteser over en fireårs periode som blant annet:

1. Grashøsting med lette roboter øker innhøstingsvinduet sammenliknet med bruk av tradisjonelt høsteutstyr.
2. Lette roboter reduserer jordpakking sammenliknet med tradisjonelt høsteutstyr.
3. Redusert jordpakking øker avlingene av tørrstoff og nitrogen.

Metodebruken for måling og testing av de respektive hypotesene er:

1. Kontinuerlig måling av jordfukt gjennom vekstsesongen og måling av bæreevne med penetrometer.
2. Måle porevolum, luftkapasitet, luftpermeabilitet, jordtetthet og relativ pakkingsgrad i jordsylindrer fra kjøresporene i de ulike innhøstingssystemene.
3. Registrering av avling i og mellom spor i de to systemene, samt kjemisk analyse av nitrogeninnhold.

Motivasjonen bak prosjektet er at en konsekvens av klimaendringene er økt nedbør generelt og flere perioder med intens nedbør de siste årene. Det antas også at dette er en vedvarende trend som kommer til å fortsette å øke de kommende tiårene. Våte vekstforhold i kombinasjon med tunge traktorer og utstyr medfører korte innhøstingsvindu. Resultatet av dette er at grovfôr med dårligere næringskvalitet enn nødvendig. Jordpakking og underoptimale forhold for plantevekst er en konsekvens, samtidig som tørrstoffavlingene er mindre enn forventet ut ifra tilført næringsmengde.



Saga Robotics skal stille med roboten Thorvald til disposisjon for prosjektet og det aktuelle utstyret vil i første prosjektår bli utviklet ved NMBU. Om det er nødvendig så vil Thorvald bli modifisert slik at den kan bære flere batterier, ha større motorer og økt bæreevne. Deretter vil roboten bli testet og tilpasset under praktiske forsøksforhold ved NIBIO Fureneset i en treårig studie med ulike frøblandinger for hyppige høstinger. Man ønsker å studere effekten av lettvektsroboten sammenlignet med konvensjonell traktor med høste-/balleutstyr på plantevekst, jordpakking og kostnadseffektivitet.

Prosjektet som er planlagt å gå over 4 år, og vil bli ledet fra NMBU av Pål Johan From, og er et samarbeid med Avdeling Fôr og husdyr i NIBIO og University of Lincoln, UK. Næringsaktørene Tine, Orkel, HMR Voss, Saga Robotics, Felleskjøpet er viktige bidragsyttere, i tillegg til Fylkesmannen i Hordaland og Fylkesmannen i Sogn og Fjordane.

Vårt bidrag i *GrassRobotics* er å utvikle slåtteutstyret som skal implementeres på den autonome roboten Thorvald. Mer om hvordan det tenkes å løses kan leses om i *kapittel 2 Prosjektplan*. Oppdragsgiver ønsker at klippeutstyret skal kunne drives av Thorvalds eksisterende energikilde som er batterier. Klippeutstyret skal ikke utøve fare for mennesker og dyr og må utformes på en slik måte at den vil operere etter gjeldene standarder og forskrifter. I tillegg skal den autonome roboten Thorvald med påmontert klippeutstyr kunne opereres av bonden med normal teknisk forståelse, slik at den vil kunne autonomt slå et ønsket geografisk avsatt område på enga. Produktet skal utvikles til å passe på en Thorvald som i lengde/bredde/høyde er 1600/1700/810 mm. Mer spesifikke kravspesifikasjoner finnes i *kapittel 2.3 Oppdragsbeskrivelse og kravspesifikasjoner*.



## 2 Prosjektplan

Prosjektplanen tar for seg å representere hovedmålene og delmålene for prosjektet, og det vil gjennom en arbeidsplan fremlegges til hvilken tid de skal gjennomføres. Dette for å systematisk danne grunnlaget for oppgavens omfang.

### 2.1 Prosjektmål

Prosjektmålene for oppgaven deles inn i hovedmål og delmål. Det vil i *kapittel 15 Konklusjon og videre arbeid* bli evaluert om målene er nådd.

#### 2.1.1 Hovedmål

Det skal utredes og utvikles et energieffektivt og fleksibelt klippeverktøy som sammen med den autonome roboten Thorvald skal kunne klippe gras som skal bli grovfôr til drøvtyggere. Videre skal det lages tekniske anvisninger og utvikles en enkel prototypeløsning.

#### 2.1.2 Delmål

Følgende poster inngår i arbeidet for å nå hovedmålet:

- Definere oppgaven, mål og metodebruken.
- Det skal gjøres studie på innhøsting av gras og hvordan oppnå næringsrikt grovfôr.
- Det skal gjøres studie på eksisterende kutte/klippe og skjære metoder.
- De forskjellige kuttemetodene skal evalueres i bruk som kutteutstyr for innhøsting av eng til fôr til drøvtyggende gårdsdyr.
- Konkurrerende løsninger skal evalueres og tradisjonelle slåmaskiner skal undersøkes.
- Definere produktmål og rangere viktige produkttegenskaper.
- Lage testtrigg for å evaluere alternative klippemetoder på gras.
- Det skal gjøres vitenskapelig evaluering og testing for å underbygge valgene som gjøres i forbindelse med konseptvalgutredelsen.
- Gjennomføre en eksperttest for å eventuelt forbedre produktet.
- Gjøre en kostnadskalkyle for prototype.
- Lage en tidlig prototype.

## 2.2 Arbeidsplan

Arbeidsplanen skal gi en oversikt over hvilken rekkefølge og tid delmålene i prosjektet vil bli gjennomført i. Den er delt inn slik at leseren skal få et innblikk i hvordan oppgaven er bygd opp og hvordan arbeidet skal bli gjennomført. Arbeidsplanen ser man i Tabell 1 og de uthevet fargeområdene indikerer hvilken tidsperiode deloppgavene skal gjennomføres i. Medaljene indikerer når en milepæl er nådd og de kan inkludere flere delmål. Pokalen representerer at alt arbeidet er gjennomført og oppgaven er levert.

Tabell 1: Arbeidsplanen for utviklingen av slåtteutstyr til roboten Thorvald.

Måned	Januar		Februar					Mars					April				Mai	
Uke	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
<b>Arbeidsoppgave</b>																		
<b>Oppstart</b>																		
Definere omfanget av oppgaven	■	■	■	■	■	■												
Sette mål			■	■	■	■												
Metodebruk						🏆												
<b>Teori og teknologi</b>																		
Studier på gras og kuttemetoder			■	■	■	■		■	■	■	■							
Tradisjonelle slåmaskiner				■	■	■		■	■	■	🏆							
<b>Produktspesifisering</b>																		
Produktmålssetting									■	■	■							
Rangering av viktige produkttegenskaper									■	■	■							
Grensespesifikasjoner									■	■	■							
Konkurrentanalyse												🏆						
<b>Testing</b>																		
Lage testtrigg								■	■	■	■		■					
Innkjøp av alternative klippeutstyr																		
Gjennomføring av test og evaluering av utstyr												🏆						
<b>Konseptgenerering</b>																		
Funksjonsanalyse												■	■					
Utvelgelse av konsept												■	■					
Eksternetest						■		■	■	■	■	■						
Endelig design													🏆					
<b>Tidlig prototype</b>																		
Sette mål for prototypen														■	■			
3D modulering														■	■			
Bygging av tidlig prototype															🏆			
Kostnadsanalyse															🏆			
<b>Avslutning</b>																		
Evaluering/Resultater/Konklusjon/Videre arbeid																		
Rapportering og redigering			■	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■			🏆	
<b>Innlevering</b>																		
Trykk og levering																	🏆	

Gjennom prosjektet skal det bli utført regelmessige eksterntester med den hensikt å få et bredere og høyere faglig nivå på valgene som er tatt gjennom prosessen. Eksternpanelet består av samarbeidspartnerne fra *GrassRobotics*.

## 2.3 Oppdragsbeskrivelse og kravspesifikasjoner

I samarbeid med *GrassRobotics* har det blitt utarbeidet en rekke kravspesifikasjoner tidlig i utviklingen. Anordningen som utvikles må oppfylle følgende krav:

- Produktet skal utvikles til å passe på en Thorvald som i lengde/bredde/høyde er 1600/1700/810 mm.
- Kutteutstyret bør maks veie 100 kg.
- Kutteutstyret skal kunne drives av Thorvalds allerede eksisterende energikilde, som er batteri, slik at det blir et integrert system som enklest mulig skal kunne lade/bytte energikilde autonomt.
- Kutteutstyret må ha et tilstrekkelig lavt energiforbruk slik at Thorvald kan ha en operasjonstid på 8 timer i strekk med Thorvalds påmonterte energikilde.
- Kutteutstyret skal gjøre det mulig for roboten Thorvald å kutte minimum 50 dekar gras på 8 timer.
- Kutteutstyret skal ikke utøve fare for mennesker og dyr.
- Kutteutstyret må utformes på en slik måte at den vil operere etter gjeldende standarder og forskrifter.
- Den autonome roboten Thorvald med påmontert kutteutstyr skal kunne med normal teknisk forståelse opereres av bonden, slik at den autonomt vil kunne slå et ønsket geografisk avsatt område på enga.
- Alt påmontert utstyr på den autonome roboten Thorvald skal dimensjoner og konstrueres på en slik måte at maksimalt akslingstrykk på 100 kg ikke overstiges, samt robotens stabilitet mot å velte.
- Plasseringen av kutteanordningen skal gjøre det mulig for Thorvald å unngå å kjøre over uslått gras.
- Graset skal tørkes så raskt som mulig etter slått grunnet det korte innhøstningsvinduet.

## 2.4 Klargjøring av teknologiske flaskehals

Kapittelet tar for seg en synliggjøring av mulig problematikk som kan oppstå knyttet til verktøyet og implementeringen av det. Ettersom tidligere beregninger knyttet til plattformen Thorvald kun er gjort i sammenheng med utviklingen av tidligere verktøy som ikke ligner på verktøyet som nå skal utvikles, vil det bli gjort noen tidlige grunnlagsberegninger på plattformen i *kapittel 4.2 Tidlige grunnlagsberegninger*. Mulig problematikk som kan oppstå knyttet til verktøyet og implementeringen av det er listet under.

- Når det skal utvikles et helt nytt verktøy til en plattform det ikke har vært utviklet lignende verktøy til, kan det være en utfordring å finne passende deler.
- Det kan være utfordrende å utvikle et sensorbasert sikkerhetssystem som er tilstrekkelig for å opprettholde de krav og forskrifter som er gjeldene for landbruksmaskiner.

- Thorvald har en vektbegrensning. Denne begrensningen kan bli en utfordring å opprettholde.
- Skyvekraften til Thorvald er en begrensefaktor som kan hindre tilstrekkelig kapasitet for å nå kravspesifikasjonene
- Det kan bli en utfordring å utvikle et produkt som er så energieffektivt at det vil være rasjonelt å bruke Thorvald til arbeidsoppgaven.
- Oppgavens tidsrom er begrenset og kan begrense oppgavens og testers omfang.

## 2.5 Begrensninger

Det settes begrensninger for oppgavens omfang. Disse begrensningene settes for å definere hvilke områder som drøftes i rapporten. Begrensningene for denne rapporten listes opp under:

- Det vil ikke bli sett på styringen knyttet til verken Thorvald eller klippeutstyret. Styringen og programmeringen ses på av Eirik Wormdahl.
- I kjølevannet av dette prosjektet vil det i løpet av de neste 4 år bli gjort forsøk på hvilken påvirkning jordpakking har på grassavlingen. Dette vil da ikke bli grundig forsket på i denne oppgaven.
- Side om side med dette prosjektet skal det utvikles et hurtigfeste til Thorvald og utviklingen av prototypen i denne rapporten vil ikke ta hensyn til dette sideprosjektet.
- Det skal kun gjøres enkle kostnadskalkyler for den endelige løsningen, siden utsalgsprisen ved en serieproduksjon av Thorvald ikke er fastslått ved dette tidspunkt.
- Sikkerhetssystemet rundt roboten og klippeanordningen utarbeides av førsteamanuensis Grzegorz Cielniak fra Lincoln Universitet og blir dermed ikke sett på i denne rapporten.

## 3 Metodebruk

Dette kapittelet tar for seg den relevante metodebruken som har blitt brukt gjennom denne masteroppgaven.

### 3.1 Terminologi

Symboler, formler og begrepsdefinisjon

#### 3.1.1 Begrepsforklaring

Ord og begreper som kan være ukjente eller uklare i mening er listet opp i Tabell 2.

Tabell 2: Begrepsforklaring

Begrep	Forklaring
Aggregattilstand	De fire forskjellige fasene et stoff eller materiale kan være i. Det er enten fast, væske, gass eller plasma.
CNC	Computer Numerical Control, Dette betyr en omgjøring av CAD tegning til numeriske koordinater, som kan brukes til å styre maskinerings maskiner i X-, Y- og Z -akse.
Høydejusterings skids	Skiene som kutteanordningen glir på slik at den holder en viss høyde over bakken.
TS	Forkortelse for tørrstoff. Det er stoff som blir tilbake i et materiale etter fjerning av vann eller andre væsker.
FEm	Forkortelse for forenhet mjølk. Det er et mål på den opptaksbare energien i fôret hos drøvtyggeren.
Kuttehastighet	Kuttehastighet er den relative hastighetsforskjellen på knivbjelken og bakken.
DC	Direct current/likestrøm
BLDC	Brush less DC, en type elektro motor med permanent magnet i rotor og viklinger i stator.

#### 3.1.2 Symboler

Symboler brukt i utregninger i rapporten.

Tabell 3: Symbolforklaring

Symbol	Beskrivelse	SI-enhet
<b>F</b>	Kraft	N
<b>m</b>	Masse	kg
<b>g</b>	Tyngdeakselerasjon	m/s <sup>2</sup>
<b>M</b>	Moment	Nm
<b>n<sub>u</sub></b>	Utvexling	-
<b>W</b>	Motstandsmoment	mm <sup>3</sup>
<b>σ</b>	Trykk- og strekkspenning	N/mm <sup>2</sup>
<b>σ<sub>till</sub></b>	Tillatt spenning	N/mm <sup>2</sup>

Tabell 3 forts.

Symbol	Beskrivelse	SI-enhet
<b>L</b>	Lengde	mm
<b>B</b>	Bredde	mm
<b>H</b>	Høyde	mm
<b>b</b>	Innvendig bredde	mm
<b>h</b>	Innvendig høyde	mm
<b>A</b>	Areal	mm <sup>2</sup>
<b>s</b>	Strekning	mm
<b>φ</b>	Vinkel	-
<b>r</b>	Radius	mm
<b>η</b>	Sikkerhetsfaktor	-
<b>n</b>	Virkningsgrad	-
<b>v</b>	Hastighet	m/s
<b>t</b>	Tid	s
<b>P</b>	Effekt	W
<b>U</b>	Spenning	V
<b>I</b>	Ampere	A
<b>R</b>	Resistans	Ohm
<b>v</b>	Lysintensitet	W/mm <sup>2</sup>

### 3.1.3 Formler

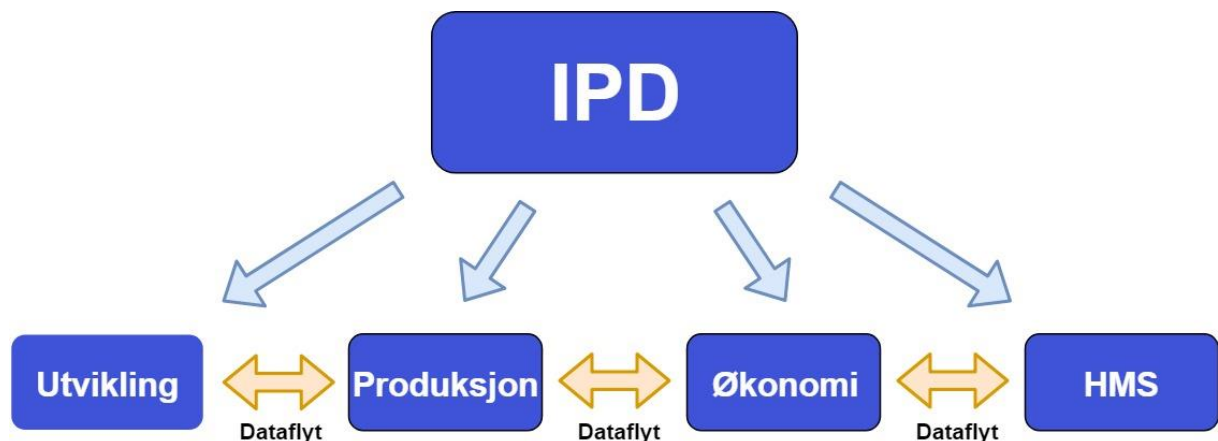
Formler er hentet fra relevant faglitteratur [13] [14].

Beskrivelse	Formel	Indeks
Effekt	$P = U \cdot I$	(2.1)
Omhs lov	$U = R \cdot I$	(2.2)
Trykkspenning per lengdeenhet	$\sigma = \frac{f}{\pi \cdot r}$	(4.1)
Virkningsgrad	$n = \frac{\text{effekt ut}}{\text{effekt inn}}$	(4.2)
Farts formel	$v = s/t$	(5.1)
Areal	$A = H \cdot B$	(5.2)
Lys intensitet	$v = P/A$	(9.1)
Kraft	$F = m \cdot g$	(13.1)
Moment	$M = F \cdot L$	(13.2)
Motstandsmoment ved bøyning av firkantprofil	$W = \frac{BH^3 - bh^3}{6H}$	(13.3)
Bøyespenning	$\sigma_b = M/W$	(13.4)
Sikkerhetsfaktor	$\eta = \sigma_{tillatt} / \sigma_{opptredende}$	(13.5)
Trykk – og strekkspenning	$\sigma = F/A$	(13.6)



### 3.2 Integrert produktutvikling (IPD)

Integrert produktutvikling går ut på at man ved hjelp av relevante verktøy skal bygge opp alle de fire stolbenene som skal bære frem et solid og gjennomtenkt produkt. Der integrering av dataflyt mellom utvikling, produksjon, økonomi og HMS avdelinga er essensielt. Det brukes også aktivt moderne hjelpemidler som CAD og datasimuleringer. Ved å integrere de forskjellige fagområdene i et tidligere stadium av utviklingen har man dessuten forutsetningene for å legge til rette for en god industriell økologi. IPD er satt opp som en slags «sti» man følger med forskjellige punkter som sørger for at ting blir gjort i riktig rekkefølge. Prosjektkostnadene er også et punkt IPD-smørbrøddlista tar for seg, gjennom tidlig involvering av leverandører og underleverandører har man bedre forutsetninger for å danne seg et bilde av de faktiske kostandene som knytter seg til prosjektet [15].



Figur 7: Prinsippene bak Integrert produktutvikling.

### 3.3 Pughs metode

Selekteringsverktøyet Pughs brukes fordi det er en kvantitativ metode som numerisk og objektivt setter de ulike alternativene opp mot hverandre. Metoden ses på som et vitenskapelig utvelgelsesverktøy dersom poengene som gis har rotfest i vitenskapelig opphav. Metoden går ut på å evaluere hvert av alternativene man står ovenfor ved å måle de opp mot noen relevante evalueringskriterier man har satt på forhånd. Disse evalueringskriteriene kan/bør vektet etter sin relevans for alternativene som evalueres. Alternativene, kriteriene og vektingen settes typisk opp i en tabell der man får ut en vektet totalscore. Alternativet med den høyeste totalscoren, eventuelt andre alternativer som kommer jevnt ut, bør ses nærmere på. De med markant lavere score kan ses på som ikke egent ut ifra kriteriene som er satt [15].

### 3.4 Osbornes SCAMPERR

SCAMPERR er et verktøy som brukes for å utvide den kreative innfallsvinkelen i arbeidet med et utviklingsprosjekt. Metoden går ut på at man stykker opp produktet man har sett for seg i mindre deler, for å så sette disse sammen igjen på alle mulige forskjellige måter uten å nødvendigvis tenke på hva resultatet blir. På den måten får man sett produktet sitt i mange forskjellige vinkler og kanskje en bedre enn den man hadde tenkt seg ut. Metoden kan fint brukes hver gang man utvikler noe, men også vis man har kjørt seg litt fast i utviklingen av et produkt. SCAMPERR er en forkortelse som står for de 8 trinnene man går igjennom med metodikken [15].

Bokstavene står for:

#### *Substituere (substitute)*

Substituere betyr at man skal bytte ut komponenter, elementer eller prinsipper ved produktet. Produktet skal fortsatt utøve samme jobb med samme resultat, men kanskje på en litt annen måte. Som for eksempel en vannscooter som har fått byttet ut den tradisjonelle propellen med en vannjet. Produktet gjør sammen nytten men ved bruk av vannjet har den fått en ny metode å gjøre det på, som kan være fordelaktig i visse tilfeller.

#### *Kombinere (combine)*

Kombinere går ut på at man skal prøve å utnytte komponentene i produktet på en slik måte at de enten kan utføre flere oppgaver eller utføre samme oppgaven ved bruk av færre komponenter. Flere komponenter fører til flere mulige feilkilder og derfor å ønske redusert. Et eksempel på det er når man i bil for eksempel utnytter dynamoen både til å lade bilen men også starte den, ved å bruke den som en elektromotor. Da har man klart å kvitte seg med en komponent ved å kombinere.

#### *Tilpasse (Adapt)*

Tilpasse vil si å modulisere, som betyr å se produktet i en større sammenheng. Det vil si at man med enkle modifikasjoner kan bruke produktet til flere formål enn det som produktet egentlig var ment for. Typisk eksempel på dette er Tempur som ble utviklet av NASA for å skåne astronautene for trykkpåkjenningen som kommer ved oppskytning. Senere ble produktet sett i en større sammenheng og i dag selges det verden over som madrasser og puter anbefalt fra en rekke terapeuter.

#### *Modifisere (Modify)*

Å modifisere betyr å endre for eksempel formen, størrelsen, materiale osv.

#### *Hensikt (Purpose)*

Dette punktet kommer som et resultat av (*Adapt*) punktet over. (*Purpose*) går på å se om produktet kan gjennomføre andre oppgaver eller for noen andre enn det egentlig var ment for.

### *Fjerne (Eliminate)*

Dette betyr å fjerne elementer helt til man sitter igjen med kjernen. Dette for å se hvor mange elementer man faktisk har behov for.

### *Reversere (Reverse)*

Vri og vrenge på alle elementene ved produktet slik at ingen bedre løsning blir oversett.

### *Omorganisere (Rearrange)*

Omorganisere betyr å sette de forskjellige elementene sammen på forskjellige måter for å se hva de forskjellige resultatene gjør med funksjonaliteten og ergonomien (brukervennligheten) ved produktet.

## 3.5 Programvarer

Digitale løsningsverktøy som blir brukt til utviklingen av produktet og denne rapporten:

- **Microsoft Word 2017**

Skrive og redigeringsprogram som behandler tekster, bilder, osv.

- **Microsoft Excel 2017**

Et program som brukes til å behandle tall, regne, lage grafer og tabeller osv.

- **Solid Works 2017-2018 student edition**

Program som brukes til å modellere og simulere i 3D.

- **Granta Design Cesium EduPack 2017**

Program hvor man kan finne materialenes egenskaper, som flyt, bruddfasthet, termisk konduktivitet osv. Programmet kan også brukes til å lage livsløpsanalyse av materialer.

## 3.6 Kvalitetssikring av sluttproduktet og rapporten

Til kvalitetssikring blir det der det er mulig brukt ISO 9000, og spesielt ISO 9001 ettersom det er den som omhandler produktutvikling. Gjennom bruk av Solid Works blir ISO 128 fulgt. Disse retningslinjene er minstekravet som settes for utvikling av nye produkter. Materialer og komponenter kjøpt fra tredjepartsleverandører skal følge gjeldene standarder samt material-sertifikater og samsvarserklæringer. Gjennomgående i rapporten skal det henvises til referanser. Formler er hentet fra relevant faglitteratur. Det vil bli ukentlige møter med Saga Robotics samt månedlig oppfølging med oppdragsgiveren *GrassRobotics*, dette defineres og drøftes i *kapittel 12 Ekstern konseptscreening*. I tillegg listes noen av kontaktpersonene som har bidratt med personlige meddelelser i Tabell 4 på neste side.

Tabell 4: En oversikt over kontaktpersoner som har bidratt med dokumentasjon i form av rapporter, oppgaver, personlige meddelelser og presentasjoner til prosjektet.

Kontaktpersoner	Tittel
<b>Liv Østrem</b>	Forsker NIBIO
<b>Åshild T. Randby</b>	Forsker IHA NMBU
<b>Tilmann Hettasch</b>	PhD Landbruksteknologi
<b>Håvard Steinshamn</b>	Seniorforsker NIBIO
<b>Petter Heyerdahl</b>	Førsteamanuensis REALTEK NMBU

Kontaktpersonene har bidratt med support og data som er relevant for oppgaven.

### 3.7 Prosesstrinn

Prosesdiagrammet tar for seg hvordan ting henger sammen i oppgaven og hvordan det jobbes gjennom hele prosjektet. Ettersom ny og relevant informasjon blir oppdaget vil det være viktig og nødvendig å kunne gå tilbake til tidligere trinn for å optimalisere produktet.



Figur 8: Rekkefølgen på de forskjellige prosesstrinnene denne oppgaven er bygd opp av.

I hvilken grad prosesstrinnene er gjennomført vil bli drøftet i *kapittel 14.1 Prosessevaluering og diskusjon*.



## 4 Teori og teknologiutredning

Teorien skal omhandle gras og hva som er ønskelig behandling av graset før det blir grovfôr. I tillegg så skal det framlegges flere metoder for å dele eller kappe ting på. Teorien som er funnet er i henhold til kravspesifikasjonene gitt av *GrassRobotics*.

### 4.1 Gras og grovfôr

Til fôring av husdyr brukes fullfôr. Fullfôr består av kraftfôr og grovfôr. Kraftfôr består av forskjellige energi- og proteinrike kornsorter og er butikkvare. Grovfôr på den andre siden er blant annet beitegras, grønnfôrvekster, surfôr, høy, halm og rotfrukter [16]. I dette teorikapittelet skal grovfôr i form av surfôr som pakkes i rundballer være i fokus. Det vil i tillegg legges frem når man bør slå graset og hvilke vilkår som er best for god gjenvekst. Betydningen av prosent tørrstoff (TS) i fôret, samt hvordan tradisjonell høsting kan påvirke dyrelivet i åkeren vil også bli forklart.

#### 4.1.1 Surfôr

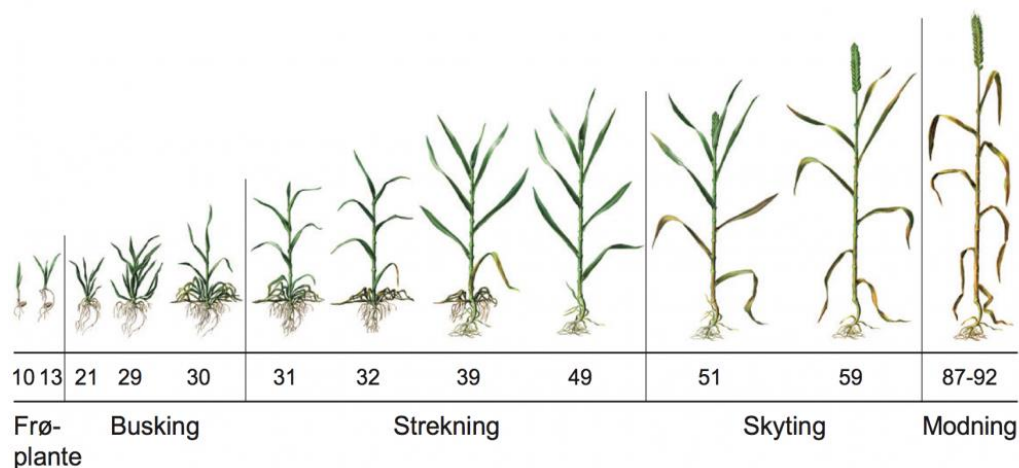
Surfôr er kanskje det viktigste grovfôret til husdyrene. Surfôr får man når man oppbevarer slått gras eller andre fôrvekster totalt lufttett i en periode på åtte uker. Da stopper man planteåndingen og det settes i gang en gjæringsprosess. Gjæringen forekommer slik at de naturlige melkesyrebakteriene i graset forbruker sukkeret i graset og produserer melkesyre som senker pH-verdien som resulterer i surt fôr som er gunstig. For å sette fart på denne prosessen og for å styre gjæringen i riktig retning er det vanlig å tilføre syrlige ensileringsmidler på graset før oppsamling. Dette hindrer vekst av uønskede mikroorganismer, sopp og andre skadelige bakterier. Ved bruk av ensileringsmidler så vil melkesyrebakteriene på graset forbruke mindre sukker før ønsket pH er nådd og den tilgjengelige energimengden i graset blir dermed større [17].

#### 4.1.2 Feilgjæring

Om ikke pH-verdien i fôret synker raskt nok, vil det kunne skje en feilgjæring. Da kan dannelsen av smørsyrebakterier forekomme. Dette er veldig ugunstig fordi noen smørsyrebakterier omdanner sukker og sterk melkesyre til svak smørsyre, mens andre bryter ned proteiner til aminer og ammoniakk. Konsekvensene er flere; man reduserer energi- og proteininnholdet i graset, samt at pH-verdien øker ved produksjon av ammoniakk som er en sterk base. Da vil skadelige bakterier som kan leve ved høy pH overleve og fôret blir da ødelagt og er direkte helseskadelig [17].

#### 4.1.3 Høyest energiinnhold i graset

FEm (fôrenhet mjølk) er et praktisk mål på energiverdien i fôr og kuas energibehov. Det er et mål på nettoenergi, det vil si bruttoenergi i graset minus tap av energi i avføring, urin, varme og metan. Det er altså et mål på den opptaksbare energien i fôret hos drøvtyggeren [18].

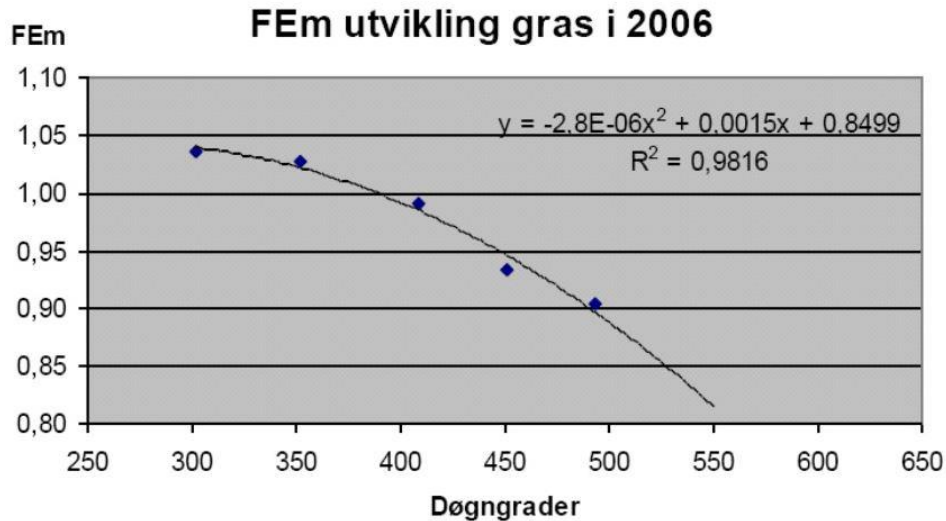


Figur 9: Illustrasjon av de forskjellige utviklingstrinnene for gras/korn fra frøplante til modning [19].

I Figur 9 kan man se utviklingen av gras fra frøplante til modning. Ettersom graset kommer i strekningsfasen så synker konsentrasjonen av blader fordi det strekker seg en stengel. Ved skyting så vokser det ikke flere blader på strået, men det vokser en stilk som består mest av cellulose og fiber. Tilsvarende synker FEm-konsentrasjonen under graset utvikling. Årsaken til at det er at fordøyeligheten hos drøvtyggerne er lavere for stilk enn for blader. Konsentrasjonen av cellevegger er høyere i stilk enn i blad. I celleveggene er det mye lignin som binder seg med cellulosen og gjør det vanskeligere å fordøye. Drøvtyggerne klarer derfor ikke å få ut like mye energi per kilo tørrstoff ettersom graset utvikler seg. Det er ønskelig å oppnå minst 0,9 FEm/kg TS i graset før det slås. Dette er gunstig for at kua skal kunne få i seg nok energi for å oppnå høy melkeproduksjon. Da reduserer man i tillegg mengden nødvendig kraftfôr.

I 2006 ble det gjennomført forsøk på 3 lokale høstefelt i Sortland hvor man sammenliknet FEm-konsentrasjonen i graset og døgngnader. Døgngnader regnes ut ved å summere døgnetts gjennomsnittstemperatur etter vekststart. Vekststarten telles fra den datoen det er frostfritt i bakken, snøfritt og gjennomsnittstemperaturen har holdt seg over 5° i tre døgn. Målingene som ble tatt ble gjort før første slått hvor første måling var 30. mai og siste måling var 26. juni. Resultatene fra testene finner man i Figur 10.

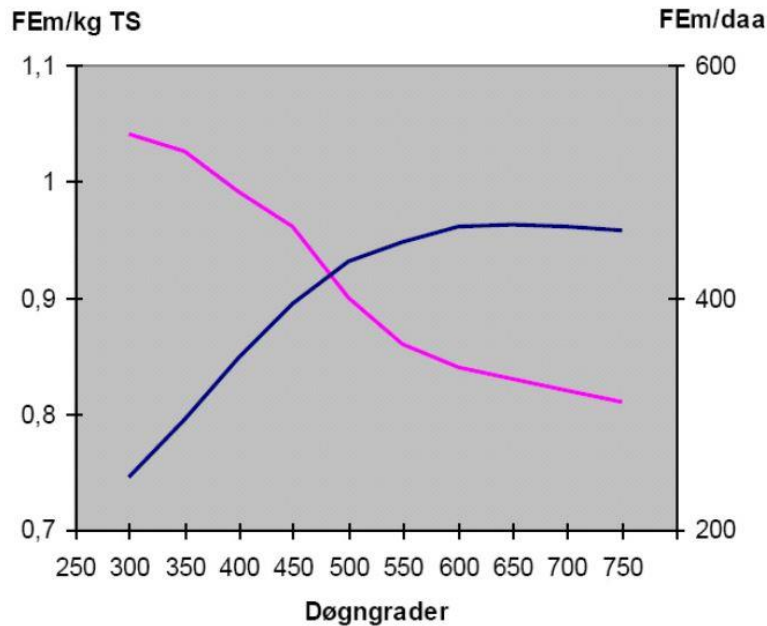




*Figur 10: Sammenhengen mellom FEm og døgngrader fra forsøket i Vesterålen i Sortland i 2006 [20].*

I dette forsøket fant man ut at det måtte høstes senest ved 493 døgngrader for å oppnå en FEm-konsentrasjon  $> 0,9$ . Disse resultatene stemmer godt overens med tilsvarende større forsøk som er gjennomført i Nord-Trøndelag av Trøndelag Forsøksring, hvor man fant ut at det måtte høstes senest ved 500 døgngrader for å oppnå FEm-konsentrasjon  $> 0,9$ .

Samtidig som det er viktig å ha høy FEm-konsentrasjon i graset så er det viktig å ha nok total fôrmengde (FEm/daa). Det er en vurdering man må ta med tanke på totalbehovet for grovfôr. Sammenhengen mellom FEm-konsentrasjonen og bruttomengde målt i FEm/daa er vist i Figur 11. Denne figuren skal gi en indikasjon på hvordan trendene kan se ut og man må vite at andre målinger vil kunne vise litt andre resultater.

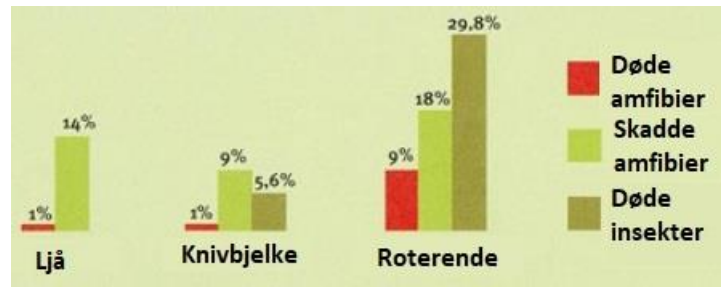


Figur 11: Eksempelfigur som anslår grovt hvordan trendutviklingen av FEm-konsentrasjonen og FEm-mengden kan se ut angitt i døgngader [20].

Modellen i Figur 11 anslår en trendutvikling grovt, men den gir fortsatt en veiledning til når det er fornuftig å høste enten man ønsker energirikt grovfôr eller mest energi per dekar. For å få mest mulig FEm ut av arealet på åkeren så ser man at det er best å slå graset ved 600 til 650 døgndager. Dersom bruken er til kuer med høy melkeytelse er det ønskelig å slå graset når FEm-konsentrasjonen er høyere enn 0,9 som er i underkant av 500 døgngader. Å slå graset på et tidligere stadium vil altså gi mer energirikt fôr, men det vil gå på bekostning av den totale grasmengden man høster inn.

#### 4.1.4 Påvirkning på dyre- og insektlivet

De ulike slåmaskinene har forskjellig påvirkning på dyre og insektlivet i enga. Insekter er en sentral link i næringskjeden og et innsiktsrikt gras er et viktig grunnlag for overlevelse av amfibier, som igjen er et betydningsfullt næringsgrunnlag for virveldyrene og fuglelivet. I boka «Artenreiches Grünland: Bewerten und fördern - MEKA und ÖQV in der Praxis» skrevet av Oppermann, R. og Krismann [21] er det forklart i hvilken grad amfibier og insekter blir påvirket av de ulike kuttemetodene som ljå, knivbjelke og roterende slåmaskiner på eng. I Figur 12 ser man en grafisk oversikt over hvor stor prosentandel av amfibiene og insektene som blir skadd eller drept hentet fra denne boka.

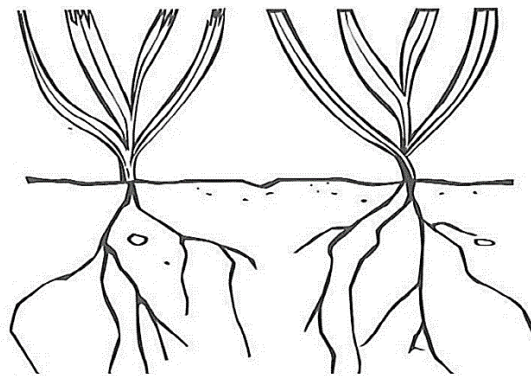


Figur 12: Påvirkningen de forskjellige kuttemetodene har på amfibier og insekter. Grafen er omarbeidet etter [21].

Man ser av grafen at roterende slåmaskiner er mest skadelig mot amfibie- og insektlivet. Dette skyldes den høye hastigheten til de roterende bladene som virvler lufta under beskyttelsesduken der kuttet skjer. Insekter og mindre dyr som havner under bladene blir slynget opp og drept. Målingene tilsier at hele 9 % av bestanden av amfibier i enga blir drept, 18 % blir skadet og nærmere 30 % av insektene blir drept. I motsetning så er knivbjelken mer skånsom, der bare 1 % av amfibiebestanden blir drept og 9 % blir skadet. Insektene har en betydelig større overlevelsesrate i forhold med 5,6 % døde. Grunnen til at knivbjelken er «snillere» mot dyre- og insektlivet er fordi når man klipper så klipper man i en viss høyde (10-15 cm) og graset som kuttes legger seg bare ned. Man har ingen suge effekt slik som roterende slåmaskiner har, graset blir behandlet mye mer skånsomt og dyr og insekter har en større sjanse for å unnsnippe å bli skadet av kniven.

#### 4.1.5 Gjenvekst

For å få gode gjenvekstvilkår er det viktig at stubbhøyden på graset er minst 10 cm [22]. Ifølge Trygve S. Aamlid, som er forskningsprofessor hos NIBIO, vil også et rent kutt gi hurtigere gjenvekst en et grovt kutt. På Figur 13 illustreres hva som menes med fint og grovt kutt.



Figur 13: Til venstre er det et avrevet grovt kutt, mens til høyre ser man et fint og rent kutt. (Foto: Nils Bjugstad)

Rene kutt kan man oppnå hvis man skjærer graset som en saks, mens grove kutt oppstår hvis man for eksempel slår en sløv kniv igjennom graset. Da må kniven overgå graset treghet for at graset ikke skal legge seg og kuttet blir avrevet. Argumentasjonen for at rene og fine kutt gir bedre gjenvekstvilkår er at det hindrer innfallsporner for soppsykdommer

og bakterier, det reduserer transpirasjon (fordampning av vann) og graset slipper å bruke mer energi enn nødvendig på sårheling. I et avrevet og rufsete kutt vil dette være faktum. Man kan blant annet se i noen tilfeller at tuppen på graset blir brunt-grått på grunn av uttørking.

#### 4.1.6 Betydningen av tørrstoffinnhold

Med fortørking menes prosessen som pågår fra du har slått graset til man samler det opp fra enga. Ved å redusere vannmengden unngår man unødvendig vekt og volum og dermed blir bearbeiding i form av frakt, lagring og håndtering av graset enklere og billigere.

Etter at graset er slått, bør det fortørkes til 30-35% relativt kjapt slik at man stopper planteåndingen og bevarer så mye energi som mulig i graset. Det kan gjøres på to måter som kan ses i Figur 14. Den første metoden kalles å breispre graset. Da dekker det nykuttete graset minst 80% av arealet som et slått etter at det har lagt seg. Det breisprede graset vil kunne tørke på én solskinsdag. Om man slår graset på morgenen så vil det kunne tørke opptil 30 % samme ettermiddag dersom værforholdene er gode. Den andre metoden er å legge graset i strenger. Da vil det ta opptil dobbel så lang tid å tørke graset. Det finnes også slåmaskiner med integrert stengelbehandling. Stengelbehandling har liten eller ingen positiv effekt på breispredd gras som skal tørkes opptil 30 %. I første tørkingsfase, fra 15 til 30 % tørrstoff, er planten fortsatt i live og står selv for tørkeprosessen. Planten transporterer vann og forbruker det for å lage sukker gjennom fotosyntesen. Hvis man stengelbehandler så bryter man vanntransporten og effekten av «selvtørking» blir redusert. Effekten av stengelbehandling virker derimot etter 30 % tørrstoff, da det ikke lenger er liv i graset. En knekt stengel vil tørke raskere enn en lang stengel. Dette er derfor interessant om man ønsker å fortørke til 40-45 % tørrstoff [23].



*Figur 14: Til venstre vises breispredding av gras, mens til høyre ser man gras lagt i streng [24] [25].*

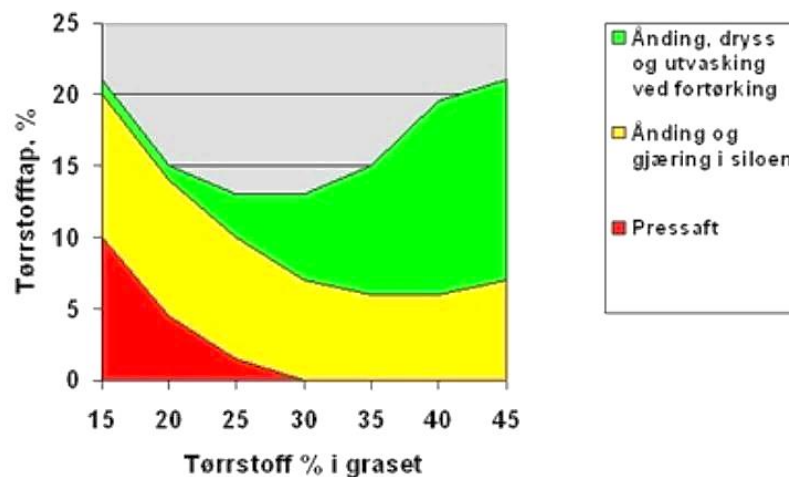
Stengelbehandling har i større grad positiv effekt ved strenglegging fordi det vil gi mer luft i strengen og den vil da tørke fortere og være enklere å bearbeide. En luftigere streng er enklere å plukke samt gir jammere og bedre pakking i rundballepresse fordi det er lettere å kutte i gras oppsamleren. En forkutting av graset før den pakkes i rundballepressa er ønskelig da pakkingen blir betraktelig jammere ved kortere gras.

Ved tidlig høsting, i strekkfasen, ser man ikke nødvendigheten av stengelbehandling fordi da kutter man graset i et stadium der det er mer blad og ikke så mye stengel. Stengelbehandlingen vil da ha lite eller ingen effekt.

Legger man graset i strenger kan det være nødvendig å vende graset med ei vender for å effektivisere tørketiden. Ulempen er at ved bruk av en vender så er det en risiko for å blande inn jord som inneholder uønskede sporer og bakterier, også kalt jordsmitte. Samme problematikken kan oppstå ved samlerive som raker sammen breispredd gras eller samler flere strenger til en tjukkere streng. Det er derfor viktig at man er oppmerksom og gjør ting riktig ved bruk av en vender eller samler. Dersom man ikke ønsker å vende graset for å unngå risikoen for jordsmitte så kan man la strengen ligge urørt og heller godta en lavere tørrstoffprosent. Er strengene tukke så er det typisk at de er tørre på utsiden og våte inni. Det kan da være vanskeligere å få til en homogen blanding når graset pakkes til en rundball. Det kommer av at det kan ta fra 10 til 100 ganger lenger tid å tørke graset på innsiden enn på utenpå strengen [26].

#### **4.1.7 Konsekvenser av vann i fôret**

Desto mer vann det er i fôret, jo viktigere er det med lav pH for surfôret. Grunnen til det er at smørsyrebakteriene overlever en lavere pH verdi ved økt fuktighet i graset. Ved 30% tørrstoff har man satt en maksimumsgrense på 4,2 i pH. Ved høyere tørrstoffprosent så kan en høyere pH tillates. For at tørrstoffinnholdet alene skal kunne hemme smørsyrebakteriene kreves det et tørrstoffinnhold på over 40%. Men likevel da kan lokale steder bli utsatt på grunn av lite homogen blanding. En grunn til at man ikke fortørker til over 40% er at fortørking medbringer tap av sukker og andre næringsstoffer i form av planteånding, dryss og utvanning. I tillegg så kan for tørt gras være vanskelig å pakke tett i rundballer og det vil kunne oppstå luftlommer. Planteåndingen vil da fortsette å forbruke den tilgjengelige luften og sukkeret, og det skaper varmegang. Dette gir levevilkår for sopp og andre skadelige organismer som er uønskelig. Fordelene med tørrstoffinnhold fra 30% og oppover, er at man unngår pressaft. Pressaft er overflødig vann som renner av graset etter at det eventuelt blir pakket til en rundball. Dersom rundballen står i flere måneder vil det kunne ligge mange liter pressaft i bunnen av rundballen som inneholder mange næringsmidler som da går tapt. 30% til 35% tørrstoff er ideelt for surfôret fordi da har du sikret deg mot tap i form av pressaft. Etter 35% fortørking så øker tap av tørrstoff i planteånding, dryss og utvasking betraktelig slik som vi kan se på Figur 15 [17].



Figur 15: Hvordan tap av tørrstoff fra eng til fôrbrett er avhengig av fortørkingsgraden [17].

Figur 15 er bare en gjennomsnittlig modell som er et resultat av en serie forsøk gjennomført av flere land på åttitallet og gjelder ikke for absolutt alle enkelttilfeller av fortørking. I praksis så ønsker man en høyere tørrstoffprosent i graset og heller tape litt i planteånding og dryss enn å risikere å få med pressaft. Årsakene er flere; pressaften i rundballen vil kunne forurense hvis man dumper det i en bekk eller liknende. Til tross for at saften i stor grad inneholder næringsmidler så kan det oppstå uønsket alger og bakterievekst på grunn av den høye konsentrasjonen. I tillegg så vil en rundball med mye vann fryse på vinteren og det vil bli som å håndtere en gigantisk isklump. Når man tillater en høyere tørrstoffprosent så bør man kompensere med flere lag plast på rundballen. Tørrere fôr vil kunne lettere slå hull på plasten. Om det er hull på plasten så vil CO<sub>2</sub> fra planteåndingen pumpes ut av rundballen, mens ny frisk luft slipper inn ettersom gassen i rundballen utvider seg på varme dager og trekker seg sammen på natten. Konsekvensen av det er at mugg og bakterier vokser til og skaper varmgang og ødelegger surfôret.

#### 4.1.8 Oppsummering av gras- og grovfôrteori

Dette delkapittelet skal ta for seg en oppsummering av den viktigste teorien om gras som kan brukes videre i utviklingen av klippeanordningen.

- Dyre- og insektlivet blir bedre bevart ved bruk av knivbjelke enn roterende slåmaskin.
- En stubbhøyde på rundt 10 cm er nødvendig for å få gode gjenvekstvilkår.
- Rent og fint kutt gir gode gjenvekstvilkår.
- Breispredning fortørker graset raskere enn ved strenglegging.
- Det anbefales å slå graset på morgenen slik at det har muligheten til å oppnå 30 % TS i løpet av samme ettermiddag.
- Det er ønskelig å fortørke til minst 30-35 % TS for å unngå pressaft.



- Stengelbehandling har ingen positiv effekt på breispredd gras som skal fortørkes opptil 30 % TS, og er mer interessant når man ønsker å fortørke til 40-45 % TS.
- Stengelbehandling vil ha liten eller ingen effekt ved tidlig høsting på grunn av den lavere konsentrasjonen av stengel enn ved sen høsting.
- For å oppnå  $FEm > 0,9$  viser trenden at man bør slå graset ved underkant av 500 døgngader.

## 4.2 Tidlige grunnlagsberegninger

Batteritid, bærekapasitet og skyvekraft er data som klargjøres i dette delkapittelet. Det er et kjent faktum at plattformen Thorvald har betraktelig mindre trekraft og energikilde enn den tradisjonelle traktoren som i stor grad dominerer slåtteoppgaven i dag. Det er derfor viktig å danne et bilde av hvilken kapasitet plattformen har ved leting av et egnet klippeverktøy. Beregningene som gjøres tar utgangspunkt i data oppgitt av firmaet Saga Robotics som server roboten Thorvald.

### Tilgjengelig batterikapasitet per batteripakke:

Kjent data listes opp i Tabell 5. Data som gjennomsnittlig effektforbruk er antagelser som er gjort i samarbeid med Saga Robotics. Disse er nødvendigvis ikke helt nøyaktige, men vil være med på å gi en god veiledning til beregningene som gjøres.

Tabell 5: Kjente data oppgitt av Saga Robotics.

Data	Verdi
<b>Amperetimer per batteripakke</b>	70 Ah
<b>Spenning på batteripakke</b>	48 V
<b>Maks strømstyrke per batteripakke</b>	70 A
<b>Maks effekt per fremdriftsmotor</b>	500 W
<b>Gjennomsnittlig effektforbruk per motor</b>	120 W
<b>Ønsket operasjonstid</b>	8 t

Begrunnelsen for at ønsket operasjonstid er valgt til 8 timer, kommer fra *kapittel 4.1.6 Betydningen av tørrstoffinnhold* hvor det anbefales å slå på morgenen for å kunne oppnå 30 % TS i løpet av samme ettermiddag. Et reelt slåttevindu kan være fra kl. 06 når sola er godt oppå himmelen til kl. 14 på ettermiddagen for å kunne tørke slåttene på samme dag [27].

### Beregner tilgjengelig effekt ved en operasjonstid på 8 timer:

Formel 2.1 og formel 2.2 viser effektformelen og ohms lov.

$$P = U \cdot I \quad (2.1)$$

$$U = R \cdot I \quad (2.2)$$

Finner gjennomsnittlig forbruk på en Thorvald konfigurasjon med 4-hjulstrekk:

$$\text{Gjennomsnittlig forbruk fra drivmotorer} = 120W \cdot 4 = \mathbf{480W}$$

Finner tilgjengelig wattimer per batteripakke:

$$\text{Watt timer} = 70Ah \cdot 48V = \mathbf{3360Wt}$$

Finner teoretisk operasjonstid per batteripakke med kun fremdrift:

$$\text{oppetid} = \frac{3360Wt}{480Wt} = \mathbf{7 \text{ timer}}$$

Her vises det at ved kun fremdrift med et antatt snittforbruk på 480W til fremdrift gir 7 timer oppetid. Så ved bruk av 3 batteri pakker vil vi da ha 21 timer oppetid. Ettersom ønsket oppetid er 8 timer, kan det gjøres et estimat på hvilken effekt man har tilgjengelig for å drive et klippeaggregat.

Gjenværende wattimer til rådighet for kutteanordningen:

$$\text{Watt timer til rådighet} = 3 \cdot 3360Wt - 480W \cdot 8t = \mathbf{6240Wt}$$

Finner estimert effekt gitt oppetid på 8 timer:

$$\text{Estimert tilgjengelig effekt} = \frac{6240Wt}{8t} = \mathbf{780W}$$

Et estimat gir en tilgjengelig effekt på 780W for å drive kutteanordningen med tre batteripakker påmonter roboten Thorvald, og en oppetid på 8 timer. Dette er et tidlig estimat som gir en veiledning på hvilken effekt som er til rådighet. Om nødvendig vil det kunne være mulig å påmontere roboten flere batteripakker.

### **Bærekapasiteten til den autonome roboten Thorvald:**

Det er oppgitt av Saga Robotics at hver hjulenhhet på roboten som skal brukes i dette prosjektet kan bære 100 kg. Fordelt på fire hjul blir dette tilsammen 400kg. Det vil derfor være nødvendig å utvikle et kutteutstyr som vil veie mindre enn 400kg samt at et trykk på 100kg per hjulenhhet ikke skal overstiges. Det vil kunne være et faktum dersom kutteutstyret blir montert på utsiden av roboten slik at en ujevn vektfordeling oppstår. Det vil også som nevnt tidligere kanskje kunne være aktuelt å benytte flere batteripakker noe som også bidra til mer vekt. Hver batteripakke veier ca. 30kg med innkapsling.

### **Estimering av tilgjengelig trekkraft på roboten Thorvald.**

Fremdriften på Roboten Thorvald kommer fra fire stykk 500W børsteløse DC motorer. Det gir en samlet effekt på 2000W til fremdrift. For å ha en viss formening om hvilken trekkraft roboten har, estimeres en trekkraft basert på Saga Robotics sine data om moment og utvekslingsforhold.



Tabell 6: Data gitt av Saga Robotics.

Data	Symbol	Verdi
Maks moment på drivmotor per hjul	$M$	<b>1,6Nm</b>
Utveksling	$n_u$	<b>42:1</b>
Radiusen på hjulet til Thorvald	$r$	<b>0,2m</b>

$$\text{Estimert teoretisk moment per hjul} = M \cdot n_u = 1,6Nm \cdot 42 = \mathbf{67,2Nm}$$

$$\text{Estimert teoretisk trekraft per hjul} = \frac{M}{r} = \frac{67,2Nm}{0,2m} = \mathbf{336N}$$

$$\text{Estimert total teoretisk trekraft} = 168N \cdot 4 = \mathbf{1344N}$$

En estimering som viser at den teoretiske trekraften til Thorvald gir 1344N. Her er det viktig å ta hensyn til at det vil være tap i drivverket som vil redusere dette tallet noe. Det er også et faktum at disse børsteløse DC motorene har mulighet til å belastes helt opp til tre ganger merkebelasting over en kort periode. Det vil si at vis man tar utgangspunkt i at 1344 N er trekraften man kan bruke ved beregning av stigningen og sleping av kutteutstyr, vil man ha nok kraft til å kunne komme over eventuelle steiner eller ujevnheter på jordet. Dette er kun et estimat som vil brukt som en pekepinn ved letingen på et egnet kutteutstyr.

### 4.3 Tradisjonelle slåmaskiner

Det finnes mange forskjellige måter å slå gras på, og mange ulike typer gras. I den sammenheng er det utviklet en rekke forskjellige slåmaskiner. Dette kapittelet tar for seg en gjennomgang av de forskjellige slåmaskintypene på markedet. Med gjennomgang menes en forklaring på virkemåte, bruksområde, og fordeler og ulemper i forhold til en implementering på Thorvald.

#### 4.3.1 Roterende slåmaskin



Figur 16: Til venstre ser man skiveslåmaskin mens til høyere ser sylinder slåmaskin [28] [29].

Roterende skive- og sylinderslåmaskin er den mest brukte kuttemetoden for eng i Norge. Denne type slåmaskin gjør det mulig å klippe så fort som opptil 30 km/t, som er meget raskt. I denne oppgaven er skiveslåmaskin definert som maskinen vist til venstre i Figur 16, mens sylinderslåmaskinen er definert som maskinen til høyere.

Sylinderslåmaskinen består ofte av to sylindere med en diameter fra 75 cm til 100 cm, plassert ved siden av hverandre. I bunn av disse sylindere er det festet to eller flere korte kniver som slynges ut på grunn av sentripetalakselerasjonen fra de hurtigroterende sylindere. Knivene kan ha en periferihastighet på opptil 80-85 m/s. Sylindere roterer mot hverandre og strenglegger graset som blir slått. Under knivene sitter det en avrundet skål som fungerer som en glideplate og nivåregulering på en gang. Det er denne som bestemmer stubbehøyden som skal stå igjen når graset er slått. Hele sylindere kan nødvendigvis vinkles litt ved å justere lengden på toppstaget på traktoren, slik at høyden på kniven justeres. Denne redskaperen er ofte sidemontert på traktoren slik at man skal unngå å kjøre oppi uslått gras. For bønder med større arealer er det vanlig å bruke frontmonter og sidemontert klipper på begge sider, slik at den totale bredden kan bli opp mot 7-8 meter. Disse kutterne kommer både med og uten stengelbehandler.

Skiveslåmaskinen består av et meget sammenlignbart prinsipp, forskjellen er at skiveslåmaskinen består av mange mindre skiver som er plassert ved siden av hverandre som vist til venstre i Figur 16. Dette gir direkte mulighet for breispreiding av graset, som er fordelaktig med tanke på fortørking. Skiveslåmaskinen kan også leveres med stengelbehandling. Denne behandlingen er fordelaktig med tanke på fortørking etter 40% tørrstoff som beskrevet i *kapittel 4.1 Gras og grovfôr*.

Disse roterende prinsippene er dog ganske energikrevende. Dette skyldes den høye hastigheten kniven har for å kutte, men også kaste strået av gårde. I motsetning til en knivbjelke som kutter graset som en saks, og lar det falle ned. Knivene på en roterende slåmaskin trenger ikke engang å være skarpe ettersom hastigheten på kniven er så høy at den kutter graset uansett. Dette gir dog en rufsete kutteoverflate på graset, som igjen er negativ med tanke på gjenvekst og mulig soppinfeksjon som nevnt i *kapittel 4.1 Gras og grovfôr*.

ProRegio er et tysk selskap som har som målsetning i området Ravensburg å finne nye måter og metoder for å sikre og videreutvikle natur og landskap. I Tabell 7 på neste side kommer det frem ytelsesspesifikasjoner som hvor mange dekar man klarer å slå på én time per meter kuttebredde. Det er også listet opp energiforbruket i kW og vekt per meter kuttebredde. Dette er hentet fra artikkelen «Naturverträgliche Mähtechnik» utarbeidet av det tyske selskapet ProRegio.

Tabell 7: Relevant data for de to forskjellige kategoriene som roterende slåmaskin er delt inn i. Tabellen er omarbeidet fra tabell gitt i artikkelen «Naturverträgliche Mähtechnik» lagd av ProRegio.

	Sylinderslåmaskin	Skiveslåmaskin
<b>Slåteareal [daa/t] per meter bredde</b>	8-12	8-12
<b>Effektforbruk [kW/m]</b>	8-12	5-10
<b>Vekt [kg/m]</b>	210-260	150-250

Som vist i tabellen over slår de omtrent like stort areal per time, men både effekten og vekten kommer bedre ut for skiveslåmaskinen. I de mest ekstreme tilfellene kan sylinderslåmaskinen bruke så mye som dobbelt så mye effekt som skiveslåmaskinen. Da kan man stille seg spørsmålet hvorfor noen kjøper sylinder slåmaskinen. Det henger da sammen med prisen og servicekostnadene. En skiveslåmaskin har langt flere bevegelige deler og kniver enn en sylinderslåmaskin, som igjen fører til høyere serviceutgifter. Alle disse parameteren må tas i betraktning ved innkjøp av slikt utstyr.

Disse roterende slåmaskinene er i utgangspunktet designet for traktor, og veier mer enn hva som er ønskelig å ha hengende på Thorvald. Det finnes dog tohjulstraktorer med tilsvarende prinsipp som kan være mer aktuelt i forhold til størrelse og vekt. I Figur 17 er det vist en utgave levert av produsenten Agria. Den er 64 cm bred og drives av 4,8 kW forbrenningsmotor. Effekten samsvarer bra med dataene i Tabell 7, selv om noe av denne kraften går til fremdrift på tohjulstraktoren.



Figur 17: Agria sin tohjulstraktor påmontert en sylinderslåmaskin [30].

### 4.3.2 Knivbjelke



Figur 18: En knivbjelke typisk montert på tohjulstraktor [31].

Knivbjelken, et redskap vi her i Norge ofte setter på tohjulstraktor for å slå høyt gras på ulendte steder. En tradisjonell knivbjelke er vist i Figur 18. Det som er fint med knivbjelken kontra andre kuttemetoder er at den ikke bryr seg om høyden til graset som kuttes. Nedover i Europa som Sveits, Østerrike, osv. har utviklingen av knivbjelken gått langt lengere, grunnet kupert terreng i og rundt Alpefjellene. De har også utviklet knivbjelkeredskap til traktor i 9-10 meters bredder. Ifølge produsenten Rapid fra Sveits vil en knivbjelke kunne bruke så lite som 1/5 av energien som en tilsvarende roterende klipper ville brukt. Dette er erfaringsbasert data som ikke er vitenskapelig testet av Rapid. Det hevdes også fra produsenten at graset vil ha så mye som 10 dagers tidligere gjenvekst av graset grunnet det rene kuttet som knivene lager.

Fra en mer omfattende forskningsinstans som ProRegio er det gjort testing med resultater vist i Tabell 8.

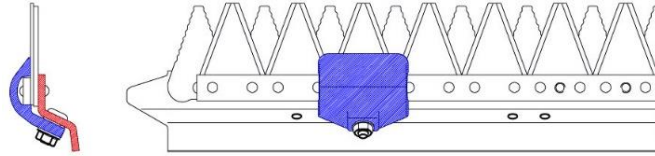
Tabell 8: Sammenligning av relevante data for de forskjellige kuttemetodene. Tabellen er omarbeidet fra tabell gitt i artikkelen «Naturverträgliche Mähtechnik» lagd av ProRegio.

	Dobbeltniv	Sylinderslåmaskin	Skiveslåmaskin
<b>Slått areal [daa/t] per meter bredde</b>	7-11	8-12	8-12
<b>Effektforbruk [kW/m]</b>	2-3	8-12	5-10
<b>Vekt [Kg/m]</b>	70-90	210-260	150-250

Tabellen over viser en sammenligning mellom de tre mest tradisjonelle slåmaskinene brukt til innhøsting av gras. Den viser at det er noe større areal man klarer å dekke over med de roterende løsningene, mens dobbeltniven kommer betraktelig mye bedre ut når det kommer til effektforbruk og vekt. I likhet med Rapid sin påstand bekrefter denne forskningen at knivbjelken kan være så mye som 5 ganger så energieffektiv som sylinderslåmaskinen og 3 ganger så energieffektiv som skiveslåmaskinen. Et annet viktig poeng ved bruk av knivbjelken er at den er mer skånsom som insekt- og dyrelivet som man kan lese om i kapittel 4.1 Gras og grovfôr.

Det finnes en del forskjellige utforminger og virkemåter når det kommer til knivbjelker. De forskjellige metodene gjennomgås under.

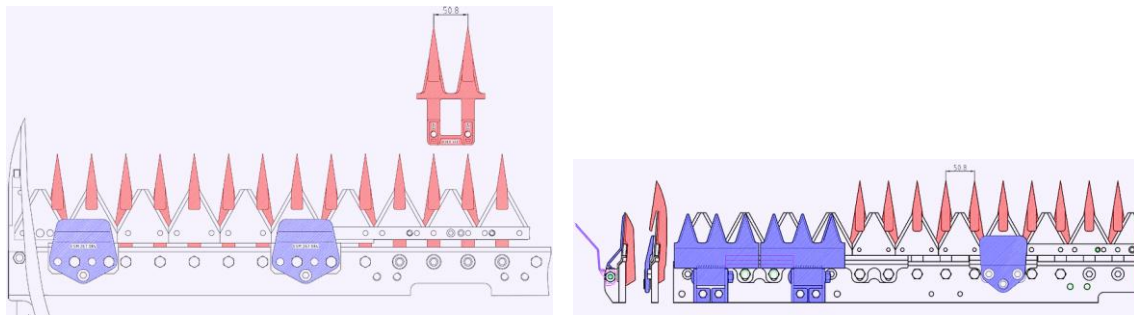
### Knivbjelke med bevegende overkniv:



Figur 19: Illustrasjon av den enkleste knivbjelken med kun én bevegende kniv [32].

Dette er den simpleste og kanskje mest brukte knivbjelketypen brukt på to hjulstraktorer til lettere gårds- og hobbybruk. Dette fordi den er lite komplisert og derfor billigst i klassen. Denne type kniv kan brukes opp til ca. 7 km/t. Blir hastigheten høyere enn dette vil bjelken komme i ubalanse grunnet den oscillerende bevegelsen kniven skaper.

### Fingerbjelke med bevegende overkniv.



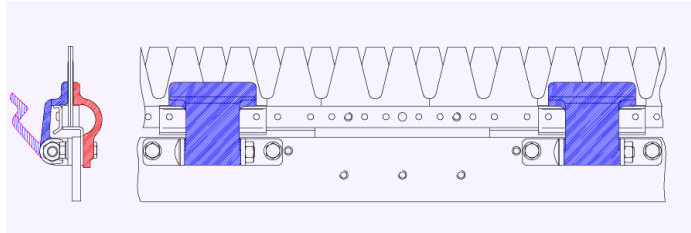
Figur 20: Illustrasjon av en vanlig fingerbjelke til venstre og en fingerbjelke med påmontert sidekutter til høyre [32].

Fingerbjelken er den type bjelke som fikk størst utfolding i starten av knivbjelken sin historie, senere har det blitt utviklet mer kompliserte systemer som dobbeltnivbjelke samt tilleggsutstyr til den tidlige fingerbjelken. I Figur 20 vises fingerbjelken med og uten tilleggsutstyr, den til venstre er en vanlig fingerbjelke mens den til høyre er påmontert en sidekutter. Ettersom det er vanlig å kjøre med noe «overlapp» når man slår gras, vil det kunne hope seg opp gras oppe på kniven. Dette fordi man kjører gjennom allerede slått gras som ligger på bakken. Sidekutteren uten fingre er en konfigurasjon som da er mindre utsatt for opphopning. Denne spesielle konfigurasjonen er utviklet for profesjonelt bruk og både koster og krever mer vedlikehold enn en vanlig fingerbjelke.

Disse bjelkene kommer også med forskjellig avstand mellom fingrene, avhengig av hvilke kutteformål den skal brukes til. Den som er avbildet har 50,8mm, men den leveres opp til 76,2mm fra den ledende leverandøren ESM. Den smaleste avstanden egner seg best der det er høyt krav til fint resultat etter bjelken har kuttet, altså ved kutting av lavt gras. Den gir et meget presist kutt. Som tidligere nevnt er det en viss fare for at graset hoper seg opp og blir liggende oppe på kniven. Vis dette er tilfelle benyttes en bredere avstand mellom

fingerne. Den brede avstanden gir et mer rufsete resultat men kan dog kutte høyere gras, samt gras som er våt og har lagt seg på bakken. Dersom det er tett og mye gras anbefales det også å bruke stor avstand mellom fingrene. Fingrene har flere funksjoner, men hovedfunksjonen er å føre graset inn mot kniven slik at man får et fint kutt. Den andre store fordelen med fingerbjelken er at den er litt mindre utsatt for å kjøre borti stein og stubb ettersom fingrene lar den gli over. Dette sparer knivene for slitasje i form av ødelagte og sløve kniver.

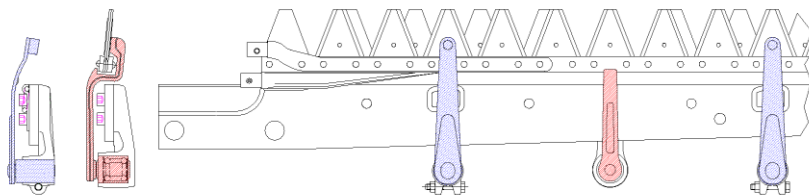
### Dobbeltkniv:



Figur 21: Dobbeltkniv med bevegende over- og underkniv [32].

Dobbeltknivbjelken har to motgående knivblad. Dette gir den muligheten til å kunne holde høyere frekvens før en eventuell ubalanse, som igjen fører til at man kan holde høyere kjørehastighet. Dette er gunstig ved bruk av knivbjelken på hurtiggående maskiner som traktor osv. Sluttresultatet på hvor mange dekar du klarer i timen er lineært avhengig av kjørehastighet man har når man slår graset. Denne bjelke typen er også mer energi effektiv enn den tidligere nevnte fingerbjelken. Den dobbelt virkende funksjonen ved denne bjelken gjør det også nesten umulig for opphoping av gras, noe som er meget ønskelig ved autonom drift.

### Dobbeltkniv med effektreduserende design:



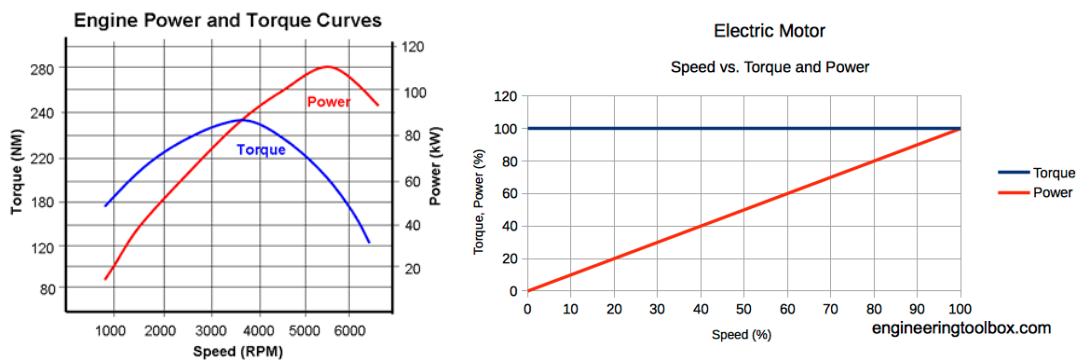
Figur 22 viser «bidux» kniven som er en knivtype utviklet av ESM, som er den ledende leverandøren av knivbjelker i Europa. [32]

«Bidux» er den øverste klassen knivbjelke ESM leverer. Som ledende leverandør på knivbjelker i Europa har ESM utført en rekke forskning og utvikling av sine bjelker. Dette systemet er designet for profesjonell bruk på store tohjulstraktorer eller på traktor. Den store fordelen med denne bjelken er at enkelt knivene er forskjøvet med forskjellig avstand i mellom hverandre. På den måten går knivene i «inngrep» til forskjellig tid, dette kan man se i Figur 22. Dette fører til en jevnere belastning som igjen fører til at effekttoppene unngås, og på den måten blir denne bjelken mer energieffektiv enn en vanlig dobbeltkniv.



### Effektforbruket ved de forskjellige typene knivbjelker:

ESM oppgir en anbefalt verdi på hvor mye effekt man bør ha tilgjengelig per meter knivbjelke. Denne anbefalte verdien er et overslag som tar høyde for den maksimale kuttehastigheten knivbjelken er oppgitt til å kunne kutte i, samt at det brukes en forbrenningsmotor. Med kuttehastighet menes den relative hastighetsforskjellen på knivbjelken og bakken. Ved bruk av forbrenningsmotor er man avhengig av å jage etter et spesifikt turtall for å oppnå maks moment. Det vil derfor være nødvendig med høyere effekt på motoren enn det som faktisk kreves av knivbjelken. Dette fordi man risikerer at motoren jobber på et turtall der ikke motor-karakteristikken til den spesifikke motoren har størst effekt. Dette problemet unngår man i stor grad ved å bruke en elmotor som har en relativ konstant momentkurve som vist i Figur 23.



Figur 23: Illustrasjon av typiske effekt og moment kurver for forbrenningsmotor til venstre mens elektro motor til høyre [33] [34].

Effektene for de forskjellige type knivbjelkene er listet opp i Tabell 9 under.

Tabell 9: Overslag på effektforbruket per meter bjelke, samt den maksimale kuttehastigheten for de forskjellige typene knivbjelkene. Data kommer fra ESM.

Type	Effekt per meter	Maks kuttehastighet
Kun bevegende overkniv	3 kW/m	3,6 km/t
Fingerbjelke med bevegende overkniv	2,7 kW/m	3,6 km/t
Dobbeltkniv	2,5 kW/m	5 km/t
Bidux-systemet	2,2 kW/m	11 km/t

Av de effektbehovene som er listet opp i tabellen over ser man en synkende trend ettersom knivbjelkene blir mer avanserte med dobbeltkniv og bidux system. Det som er viktig å merke seg er kuttehastigheten denne effekten gjelder for, også er økende. Dette betyr at ved bruk på Thorvald som ikke går fortere enn 5 km/t og er elektrisk drevet, vil forbruket kunne være en del redusert.

I den østeriske artikkelen ved navn «Der Alpen-Schmetterling» er det gjort målinger av effektforbruk ved bruk av dobbeltniv [35]. Rapporten er skrevet av Frans Handler som er leder ved prosessingeniøravdelingen på BLT Wieselburg. Rapporten viser til målinger som er gjort på en 9 meter bred dobbeltniv montert på en traktor. Med en kuttehastighet på 11 km/h har de et effektforbruk på 9,6 kW målt på kraftuttaket. Dette tilsvarer 1,07 kW/m bjelke. Med en kuttehastighet på 5 km/h vil man kunne anta at effektbehovet er en del lavere.

### 4.3.3 Trommelslåmaskin



Figur 24: Trommelslåmaskin (Foto: Nils Bjugstad).

Trommelslåmaskinen består av en roterende trommel og en motholds kniv. Både trommelen og motholdskniven består av skarpe kniver som «kutter» graset. Fordelen med denne type kutteanordning er at hastigheten på trommelen kan kjøres synkront med hastigheten man kjører fremover med. På den måten kan man kutte meget fine kutt helt ned til noen millimeter kutt av gangen. Derfor brukes dette kutteutstyret ofte på golfbaner for å slå greenen osv. De er også lagd i mindre format ment for manuell dytting, til kutting av gressplener. En slik kutteanordning egner seg ikke til kutting av høyt gras da størrelsen på trommelen ville blitt veldig stor for å ikke knekke graset på vei inn til kutting.



#### 4.3.4 Slagslåmaskin



*Figur 25: Traktormontert slagslåmaskin som er 140cm bred og krever en traktor på 50hk [36].*

Slagslåmaskin også kalt beitepusser, er en røffere kutteredskap som brukes til slåing der mindre busker og trær kan ha vokst opp. Ofte brukt til å slå veikanter og beiter som har grodd til. Slagslåmaskiner fås i størrelser fra små tohjulstraktormonterte redskaper til traktor størrelse på 2,5 meter. Redskapet består av en horisontal sylinder påmontert korte robuste kniver som er ledet i forhold til sylindere. Denne sylindere roterer med en meget høy hastighet som maler opp omtrent alt den kommer borti. Utførelsen med kniver som er ledet gjør den mer motstandsdyktig for ødeleggelse vis man kjører borti ting som er for hardt til å kutte, for eksempel stein, røtter, osv. Det som er igjen etter maskinen har kjørt over er stort sett oppkutta «møl» som ikke kan brukes til fôr, egner seg derfor dårlig som et fôrkutteredskap.

#### 4.3.5 Grassydder




*Figur 26: Grassydder med bæresele og tilhørende kutteredskap som kan monteres på redskapet [37].*

Grasrydderen er et verktøy som er veldig populært til å rydde gras- og buskvekster på områder som er vanskelig å komme til med større slåmaskiner. Den kan til og med rydde småskog. Redskapet festes på en bæresele som brukeren har på seg. De finnes også i mindre formater uten bæresele kalt kantklipper. I bakenden sitter det som oftest en bensinmotor og i front kan man feste forskjellige kutteredskap som trimmetråd og sagblad med forskjellige utformede kniver, avhengig av arbeidsområdet. Klippebredden er vanligvis ikke større enn 40-50 cm og brukeren må svinge verktøyet sideveis for å få dekket større areal mens han går fremover. Hastigheten på kutteredskapet kan variere og justeres ved håndtaket. Effektbehovet er typisk mellom 1,5 til 3,0 kW. Til bruk på gras så egner det seg best å bruke trimmetråd. Dette fordi den har større arbeids diameter samt at den vil bøye seg og unngå å bli ødelagt om du skulle treffe noe hardt.





#### 4.3.6 Evaluering av implementeringsmuligheter på Thorvald

Nå som et ytterligere teorigrunnlag er etablert gjøres det en utvelges på bakgrunn av teorien og kravspesifikasjonene som er satt. De forskjellige slåmaskinene som er nevnt over er designet for å sitte på forskjellige maskiner. Noen finnes til og med i håndholdt versjoner. Jobben videre blir å se på muligheten for implementering på den autonome roboten Thorvald. En systematisk oppramsing av de forskjellige slåmaskinene med tilhørende fordeler og ulemper ved implementering på Thorvald til å slå gras er listet opp i Tabell 10.

Tabell 10: Systematisk oversikt over slåmaskinenes fordeler og ulemper ved en implementering på Thorvald til å slå gras.

Type	Fordel	Ulempe	Videre
<b>Roterende slåmaskin</b> 	+Kan kutte i stor hastighet +Ingen mulighet for opphopning av gras. +Færre kniver å slipe enn knivbjelken	-Krever mye effekt -Høy vekt -Skader dyr, insekter og amfibier -Rufsete kutt ved sløve kniver	JA

Tabell 10 forts.

<p><b>Knivbjelke</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>+Knivbjelken er lett</li> <li>+Lavt effektforbruk i forhold til roterende kuttemekanismer</li> <li>+Gir et fint og rent kutt</li> <li>+Kan kutte i relativt høy hastighet</li> <li>+Bidux-løsning som senker energiforbruk</li> <li>+Dobbelkniv hindrer opphopning av gras</li> <li>+Skånsom mot insekter og amfibier</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Større fare for opphopning av gras ved bruk av fingerbjelke.</li> <li>-Knivene må slipes, og det er mange</li> </ul>	JA
<p><b>Trommelslåmaskin</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>+Gir et fint og rent kutt</li> <li>+Graset blir rusket til etter kuttet og er derfor enklere å fortørke</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Ikke optimal å bruke på høyt gras</li> <li>-Dimensjonering opp vil føre til økt vekt ettersom trommelen må ha en veldig stor diameter.</li> </ul>	NEI
<p><b>Slagslåmaskin</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>+Kan kutte høyt gras</li> <li>+Motstandsdyktig og kraftig utformet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Kutter graset opp i mange mindre biter som gjør den uegnet til produksjon av grovfôr</li> <li>-Rufsete og grove kutt</li> <li>-Energikrevende å slå av graset.</li> </ul>	NEI
<p><b>Grasrydder</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>+Slitesterk trimmetråd</li> <li>+Bevarer lengden på graset</li> <li>+Kan slå høyt gras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Liten klippebredde</li> <li>-Grove kutt</li> <li>-Stive kniver er utsatt mot ødeleggelse ved kollisjon med stein eller liknende</li> <li>-Krever høy effekt</li> </ul>	JA

**Metoder som ikke tas med til videre selektering.**

De slåmaskinene som ikke tas med videre er trommelslåmaskinen, sylinderslåmaskinen og slagslåmaskinen. Begrunnelsen for at trommelslåmaskinen ikke er egnet, til tross for at den kutter fine og rene kutt, er at den er egnet for lavere gras, typisk på en plen. Om denne skulle skaleres opp for å fungere på en eng der grasets høyde er 30-50 cm, ville dimensjonene på trommelen blitt veldig store for å ikke knekke grasets eller legge det ned før det kuttes. Stor dimensjon betyr høy vekt og det er ugunstig når det er begrenset med kapasitet til framdrift og driving av redskap. I tillegg er det ikke ønskelig med mye vekt ettersom Thorvald har en liten bærekapasitet. Slagslåmaskinen egner seg ikke for innhøsting fordi den kutter alt gras i små biter. Det er ugunstig fordi det blir vanskeligere å bearbeide når det kommer til oppsamling og det vil gi tap i det andel tørrstoff du klarer å samle inn. Sylinderslåmaskinen tas heller ikke med i dette prosjektet. Dette fordi den både veier og trekker mer effekt enn skiveslåmaskinen. Som nevnt i *kapittel 2.4 Klargjøring av teknologiske flaskehals* er både vekt og effektforbruk en begrensende faktor for robotplattformen som skal brukes i dette prosjektet.

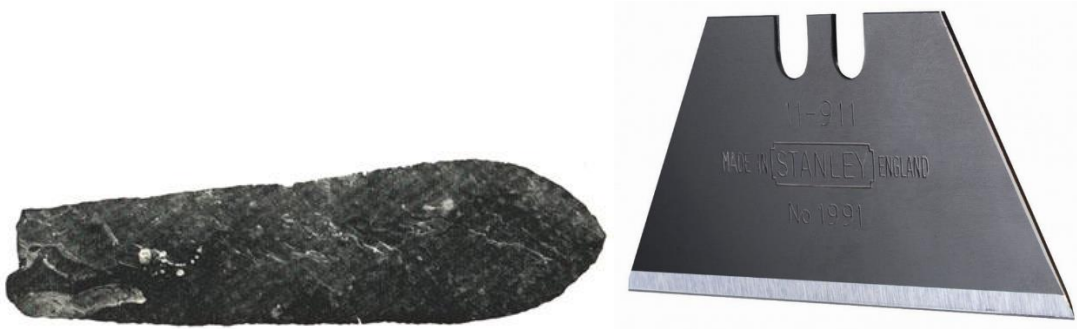
**Metoder som tas med til videre selektering.**

De slåmaskinene som ses potensielle for implementering på roboten Thorvald er skiveslåmaskinen, knivbjelken og grasrydderen. De bevarer alle lengden på grasets etter at det er kuttet og opphoping er sjeldent ved alle applikasjonene. Dette er gunstig når man har en autonom robot som utfører høstingsoppgaven. Alle løsningene gir mulighet for å kutte i høy hastighet, der den skiveslåmaskinen gir høyest klippehastighet. Den roterende slåmaskinen og grasrydderen gir grove og rufsete kutt, i motsetning til knivbjelken, og derfor skal virkningen av dette i gjenveksten testes før ytterligere selektering gjøres. Denne testen kan leses om i *kapittel 8 Test av klippemetoder*.

## 4.4 Kuttemetoder

Dette kapitlet skal ta for seg de forskjellige prinsippene som brukes for å dele ting fra hverandre. Grunnen til at dette tas med i rapporten er for å se om det finnes andre kuttemetoder som kan brukes til kutting av gras enn det som tradisjonelt blir brukt i dag. De forskjellige prinsippene bak de forskjellige kuttemetodene og vanlige bruksområder listes opp i de respektive underkapitlene.

### 4.4.1 Kniv

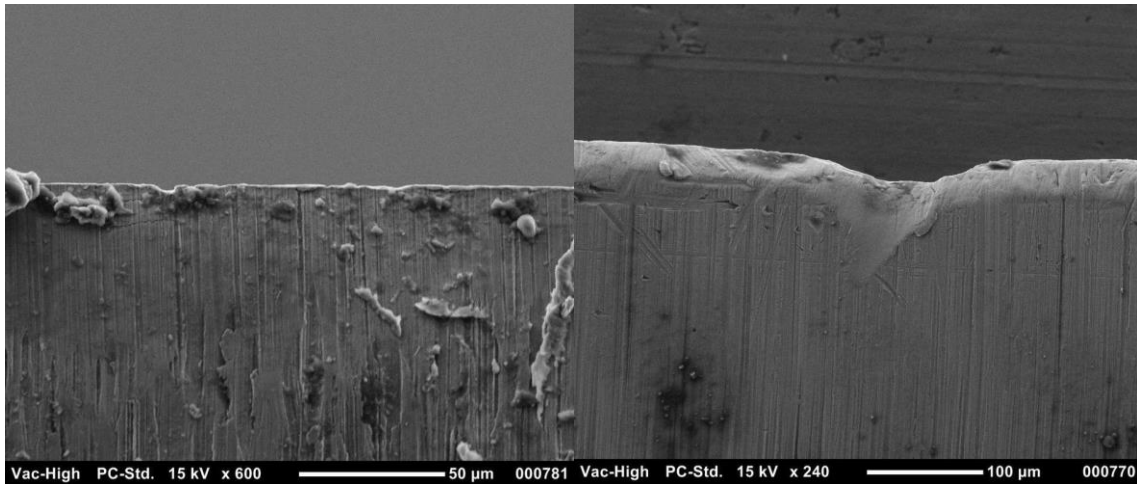


Figur 27: Til venstre en knivegg fra steinalderen lagd av flint mens til høyre vises et Stanley knivblad lagd av karbon stål [38] [39].

Kniven er et kutteredskap som har opprinnelse helt tilbake til steinalderen. Det som kjennetegner steinalderen er at tingene som ble utviklet stort sett var lagd av stein. Da brukte man flint, tenner og skifer som knivegg. Nå i senere tid har man godt over til langt mer holdbare materialer som herdet stål og gjerne rustfritt. Når det kommer til bruk av kniv skilles det mellom to bruks metoder. Den ene metoden er å skjære mens den andre kalles å kløyve. Begge utnytter en skarp egg for å penetrere seg gjennom materialet man ønsker å dele. Selve prinsippet bak kniven er å utnytte den store spenningen som kommer fra den skarpe eggen. Årsaken til den store spenningen som oppstår når en knivegg kommer i kontakt med et annet materiale kan forklares gjennom formel 4.1 [40]. Her er  $f$  kraften som påsettes kniven per lengde enhet, mens  $r$  er radiusen til kniveggen. Uansett hvor skarp en knivegg er så kan man si at spissen på eggen har en radius, den radiusen er meget liten, noe som fører til store spenninger når en kraft legges på.

$$\sigma = \frac{f}{\pi r} \quad (4.1)$$

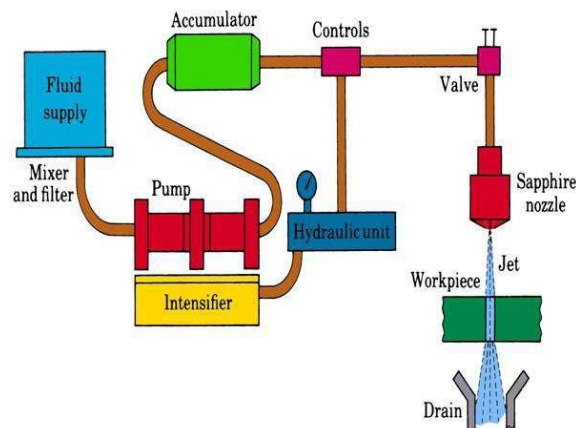
Denne spenningen kan enten brukes til å separere molekylene fra hverandre ved at man presser kniveggen normalt mot materialet man ønsker å kutte ellers utnyttes den til å rive opp sprekker i materialet ved at det overføres krefter fra friksjon når man drar kniven samtidig som den presses ned. Friksjonen fra en skarp kniv er vesentlig mye høyere enn fra en sløv kniv vist i Figur 28, som viser at en skarp knivegg har masse «tagger» mens en sløv egg har «avrundende» hjørner.



Figur 28 viser til venstre overflaten av en skarp kniv og til høyre overflaten av en sløv kniv. Bildene er tatt med elektron mikroskop. [41]

Kniver brukes i mange forskjellige fasonger til mange ulike formål. Det er blant annet brukt i flere tradisjonelle graskuttere som kan leses om i *kapittel 4.3 Tradisjonelle slåmaskiner*.

#### 4.4.2 Vannkutter



Figur 29 viser hovedelementene en vannskjærer består av. Ved «abrasiv vannskjæring» vil det i tillegg være et blandekammer rett i forkant av der det står «Sapphire nozzle» [42].

Vannkutting kan deles inn i to grupper, en som gjøres kun med vann og en som gjøres med tilsetning av partikler, kalt «abrasiv vannstråleskjæring» [43]. Metoden som kun utnytter vann brukes til formål som oppdeling av produkter som papir servietter, bleier, isolasjonsmaterialer osv. mens den abrasive metoden brukes til å dele opp omtrent hva som helst, som stein, metall, glass, metall, titan, rustfritt, aluminium osv. Kutter fint stål med 250 mm tykkelse.

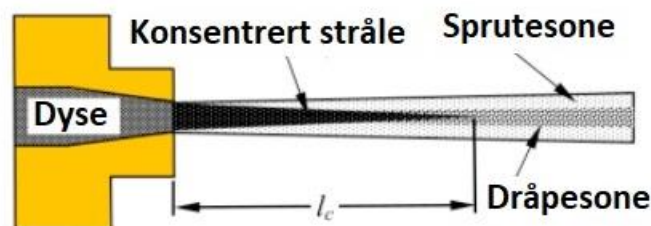
Prinsippet bak vannkutting går ut på å sende en vannstråle med veldig høy hastighet mot et materiale. Måten det gjøres på er ved å bruke en hydraulikkpumpe til å bygge opp et trykk på typisk 4000 bar for å så slippe vannet gjennom en liten dyse med diameter på typisk 0,3



mm. På den måten oppnår man vann med fart på 3000-4000 m/s. Dysen er ofte laget av safir eller diamant for å motstå å bli slitt ned av den høye farten på vannet. Når man da blander inn små harde silikatpartikler får disse en vanvittig høy kinetisk energi. Effektforbruket på en maskin brukt i industrielle applikasjoner med spesifikasjoner som nevnt ovenfor ligger rundt 35 kW. I forskningsartikkelen «Simulation study of cutting sugarcane using fine sand abrasive waterjet» skrevet av Somjet Thanomputra og Thanya Kiatiwat studerer de bruken av abrasiv vannkutter til å kutte sukkerplanter [44]. Med en dysediameter på 0,25 mm og et trykk på 360 bar var effektforbruket på 15 kW. Som er en del mindre men fortsatt alt for mye til bruk på Thorvald. Kineseren sier ofte at «dryppende vann kan bore seg gjennom stein, med tiden til nytte». 4000 m/s setter fart på denne prosessen.

Det som er fint med vannkutting er at det kan kutte gjennom en «bunke» med materialer, og alle delene nedover blir helt like, med rett og gradfrie kanter. En annen stor fordel som skiller seg fra alle de andre kuttemetodene er at den tynne strålen ikke påvirker det resterende materiale på lik linje med andre kuttemetoder. På den måten unngår man restspenninger og varmpåvirkede soner i restmateriale. Termisk kryping er også utelukket.

Når vannstrålen forlater dysen vil hastigheten på vannstrålen synke, og den vil etter hvert gå i oppløsning. Som vist i Figur 30 ser man at det er en lengde  $l_c$  som jetstrålen holder seg konsentrert. Det er kun denne delen av strålen som kan brukes til kutting. Dette setter begrensninger for bruk når avstanden til det man skal kutte er varierende, som for eksempel ved kutting over et bredt spenn ved slåing av gras. I forskningsartikkelen «Simulation study of cutting sugarcane using fine sand abrasive waterjet» kommer de frem til at 210mm er den lengste avstanden dysen kan ha fra sukkerplanten før den begynner å kutte dårlig. Dette varierer selvfølgelig med dysestørrelse og hastighet på vannet. Skal man øke hastigheten på vannet med samme dysestørrelse vil naturligvis effektbehovet øke.

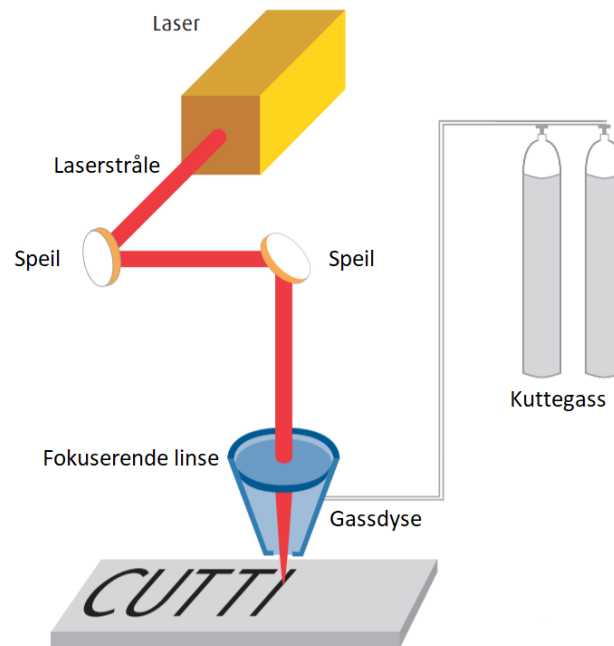


*Figur 30: Lengden på vannstrålen og hvordan den omsider går over til dråper og sprut etter hvert som man beveger seg lenger vekk fra dysen. Figuren er omarbeidet etter originalen [44].*

Et firma kalt Ramsay Highlander som holder til i Salinas sør for San Francisco har utviklet en innhøster som bruker vannkutting til innhøsting av flere salattyper som isbergsalat, romansalat osv. Den har en vannjetstråle for hver salatråd den kjører over, og kan kjøre over 6 rader samtidig. Den ses på som en stor innovasjon som har automatisert den tidligere manuelle plukking av salathodene. Den bruker så lite som 5,7 liter vann per minutt på 6 rader og kan kjøre opp til 8 km/t. Den har en 1230 liters tank som lar den jobbe i syv og en

halv time før den må etterfylles med vann. Grunnen til at vannkutting er så egnet til dette formålet er at det er enkelt å justere hver kutte høyde individuelt, samt at salattypen har en nokså hard stilk som gjør den egnet til å bli kuttet med vannstråle [45].

#### 4.4.3 Laserkutter



Figur 31: I enkle trekk hvilke komponenter en laserkutter består av [46].

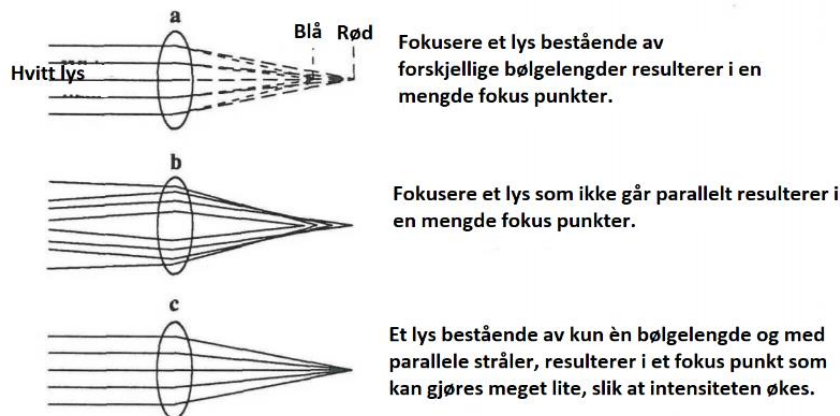
Laserkutting har etter hvert blitt mer og mer tatt i bruk i industriell maskinering, men billigere og mindre versjoner er også utviklet for bruk på skoler og til hobby. Kuttingen gjøres ved å konsentrere en høyenergi laser på et materiale du ønsker å kutte. Laseren er ofte CNC styrt og hele operasjonen foregår i et lukket kammer for å opprettholde sikkerheten for de som jobber rundt maskinen. Avhengig av typen materiale som kuttet, og tykkelsen på det, blir det enten fordampet bort eller smeltet av den sterke laserstrålen som er sentrert i et veldig lite punkt. Det er vanlig å bruke en jetstråle med gass for blåse vekk det smeltet materiale. Da brukes enten en aktiv gass som oksygen eller en inaktiv gass som nitrogen eller argon. Mellom oksygenet og metallet skjer det en reaksjon som gjør at metallet tilføres ekstra varme. Dette gjør metoden egentlig til å kutte metall helt opp til 30 mm ifølge produsenten Trumpf, som er verdensledende innen industriell laserteknologi. Bruker man en inaktiv gass sånn som nitrogen eller argon, så sikrer gassen for at metallet ikke tar opp noen forurensninger før smeltebadet er lukket. Dette brukes ofte når det settes høye krav til presisjon.

Laseren ble først oppfunnet av Theodore Maiman i 1960 [47], men laserne ble ikke brukt til kutting før 1964. På den tiden var den på langt nær så kraftig at den kunne kutte metall, men den ble brukt til andre ting som å kutte kryssfiner til pakkeindustrien. I dag deles



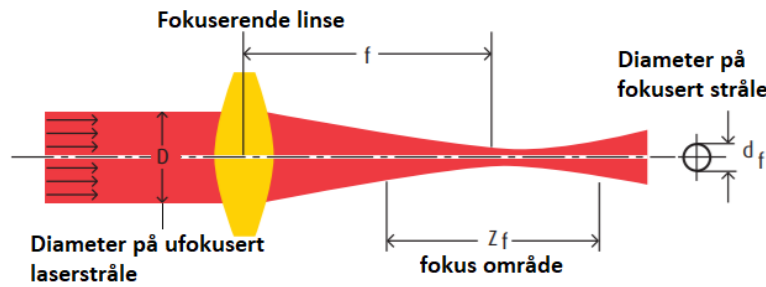
laserkutting inn i tre hovedgrupper; «Gas laser cutting», «Crystal laser cutting» og «Fiber laser cutting» [48]. Dette er tre forskjellige måter å emittere laser lys på, med hver sine styrker og svakheter. Den mest brukte metoden er «Gas laser cutting». Denne metoden har blitt brukt i mange år samt at den har hatt en stor utvikling de siste årene, mens «Fiber laser cutting» er en nokså ny metode som har sine fordeler ved at den kutter kjappere tynne plater enn gasslaseren, og har langt lavere service kostnader. Den siste metoden som kalles «Crystal laser cutting» er den dyreste av de alle, og brukes stort sett bare der det settes ekstra høyt krav til mye effekt. For eksempel til kutting av tykke metallplater.

Egenskapene ved laser som gjør laserkutting mulig er at en laser kun har én bølgelengde. Dette gir muligheten til å fokusere strålen ned i et punkt, som vist i Figur 32c. Et vanlig hvitt lys inneholder masse forskjellige bølgelengder. Når man så prøver å fokusere disse forskjellige bølgelengdene vil de ende opp med forskjellig avbøyning gjennom linsa, se Figur 32a. Vanlig hvitt lys har heller ikke parallelle stråler og dette fører til forskjellig avbøyninger gjennom linsa Figur 32b. Har man både parallelle stråler og i samme bølgelengde vil man kunne fokusere strålen ned til et meget lite punkt som vist i Figur 32c. Vis man for eksempel fokuserer 1 kW laser stråle ned til en diameter på 0.1mm vil effekttettheten være ca.  $125 \frac{kW}{mm^2}$  [46].



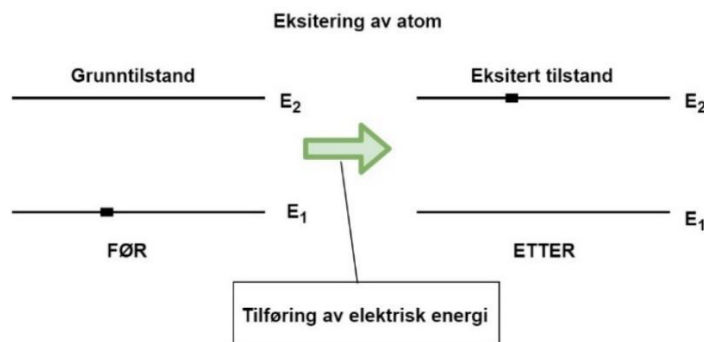
Figur 32 Forskjellen på fokusering av "vanlig" lys kontra laser stråle. [49]

Det er flere faktorer som spiller inn når man skal fokusere en laserstråle, og en av de viktigste er avstanden fra laseren til arbeidsstykket som skal kuttes. I Figur 33 vises de forskjellige faktorene som spiller inn på hvor stort fokus område man oppnår. Beveger man seg lenger unna laseren vil diameteren på det fokuserte område øke og intensiteten vil naturligvis synke, slik at det ikke vil være mulig å kutte lengere. Dette fokusområde kan variere fra typisk 0.1 mm til 150 mm, og setter derfor store begrensninger til bruksområder som krever stor rekkevidde.

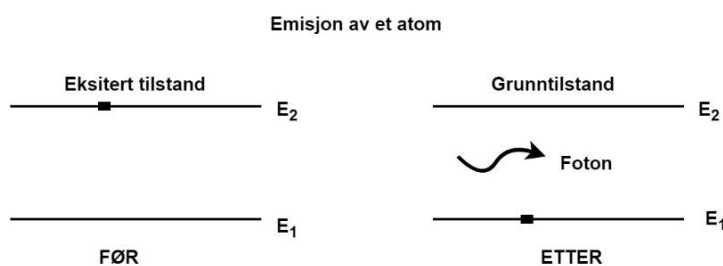


Figur 33: Fokusområde for en laserstråle og hvilke faktorer som spiller inn på størrelsen på den. Omarbeidet etter originalen [46].

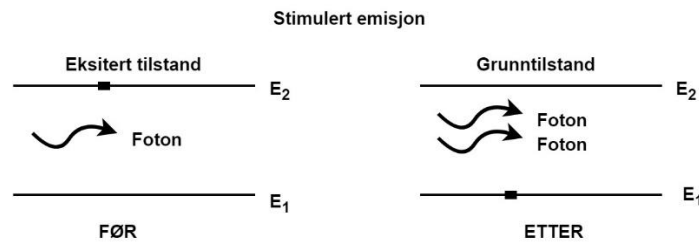
Måten en gasslaser fungerer på er ved at den bruker elektrisk energi til å eksitere elektroner i et ytterliggende skall. Dette kan enten gjøres ved å akselerere opp elektroner som igjen støter mot atomer, eller ved intens belysning med kortbølget lys, også kalt *optisk pumping*. Dette vises i Figur 34. Når elektronet så igjen hopper tilbake til sin stabile posisjon frigjør den et foton, som inneholder energiforskjellen som atomet har i de to forskjellige tilstandene, vist i Figur 35. Ved at man bruker en spesifikk gass oppnår man en spesifikk bølgelengde. En annen viktig prosess er den stimulerte emisjonen, som vil si en raskere emisjon som trigges ved at et foton passerer et eksitert atom og dermed stimulerer til emisjon, som vist i Figur 36 på neste side. På den måten vil da laserstrålen bygge seg opp [50].



Figur 34: Hva som skjer når et atom går fra en grunntilstand til en eksitert tilstand. Denne prosessen krever at man tilfører energi som vist med grønn pil. De sorte strekene er elektronskall. (Eget verk)



Figur 35: Spontan emisjon av et atom, som vil si at et elektron trekker seg fra en eksitert tilstand til en grunntilstand. Energien som skiller  $E_2$  fra  $E_1$  frigis gjennom et foton, som utgjør det vi kaller lys. (Eget verk)



Figur 36: Stimulert emisjon er et viktig fenomen for at en laser skal fungere. Stimulert emisjon vil si at et foton fra en tidligere emisjon kommer borti et eksitert atom og stimulerer til en ny emisjon. Denne emisjon vil da få nøyaktig den samme fasen. Dette bygges opp til en kraftig laserstråle. (Eget verk)

Laserkutting gjøres på en rekke forskjellige materialer som for eksempel tre, stål, titan, glass, plastikk osv. Ved siden av kutting brukes også laser til en rekke andre formål som for eksempel: gravering, markering, «drilling», rensing, sveising osv. Det er flere fordeler ved bruk av laser som skiller seg fra de mer tradisjonelle maskineringsmetodene. Det er for eksempel ingen direkte kontakt mellom kutteren og materiale som kuttes, noe som fører til minimal ødeleggelse av materialet du jobber med. Laserkutting bidrar også i stor grad til reduisering av materialbruken ved at man har muligheten til å utnytte materialstykket man har på en helt annen måte. Det er i mange tilfeller også sikrere å bruke laserkutting ettersom det ikke er noen mennesker involvert i arbeidsutførelsen.

Et annet viktig punkt ved laserkutting er dens virkningsgrad. Formelen for virkningsgrad settes opp i Formel (4.2).

$$n = \frac{\text{effekt ut}}{\text{effekt inn}} \quad (4.2)$$

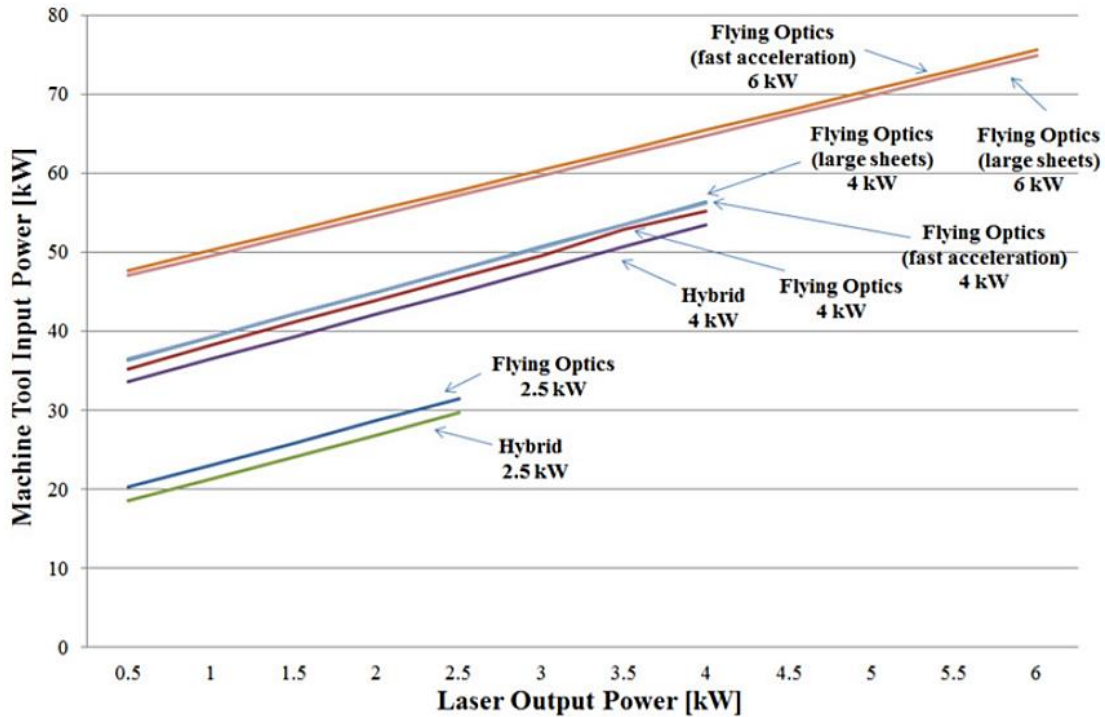
Lasere til bruk for laserkutting leveres fra 100 watt til 8 kW, men hva som kreves for drive laseren er et noe helt annet. I Tabell 11 ser man typiske virkningsgrader for de forskjellige lasertypene [51].

Tabell 11: De tre forskjellige gruppene lasere med dens tilhørende virkningsgrad og bølglengde [51].

	CO <sub>2</sub>	Fiber and Disk	Direct diode
Radiated wavelength	10,6 μm	1,06 μm	808 nm – 1550 nm
Efficiency	5 – 10%	20 – 30%	30 – 40%

Som beskrevet i Formel (4.2) er virkningsgraden et forhold mellom effekt du får ut og effekten du må tilføre. I tillegg kreves det energi til oppstart og nedkjøling etter selve

kuttingen er gjort. Det vil da si at man bruker langt høyere effekt for å drive en CO<sub>2</sub>-laser enn den gir ut, dette vises i Figur 37. Grunnen til at det velges å se på CO<sub>2</sub> og ikke andre typer, er fordi det er denne metoden som egner seg til kutting av ikke-metaller, som er ønskelig ved denne oppgavens applikasjon.

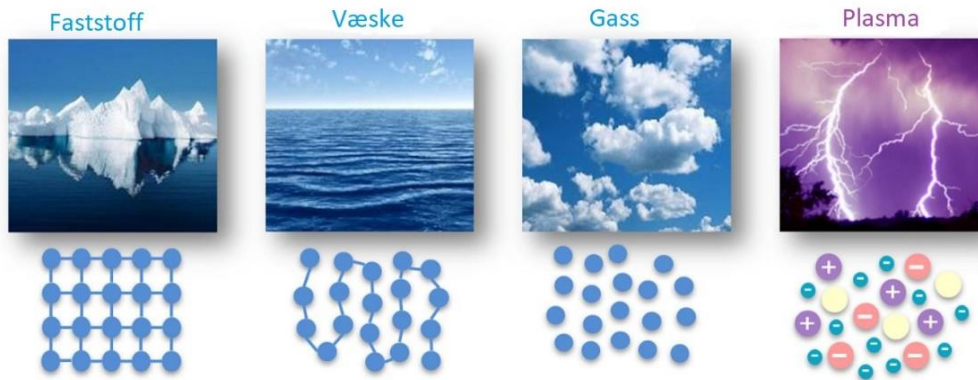


Figur 37: Forskjellen mellom effekt inn i en laserkutter kontra hvilken effekt laseren gir ut [51].

Som vist i Figur 37 ser vi forholdet mellom tilført effekt og effekt man får ut av de forskjellige variantene av CO<sub>2</sub> lasere. Tar man for seg den mest effektive varianten «Hybrid» på 2,5 kW ser vi at den krever rundt 19 kW for å yte 0,5 kW.

#### 4.4.4 Plasmakutter

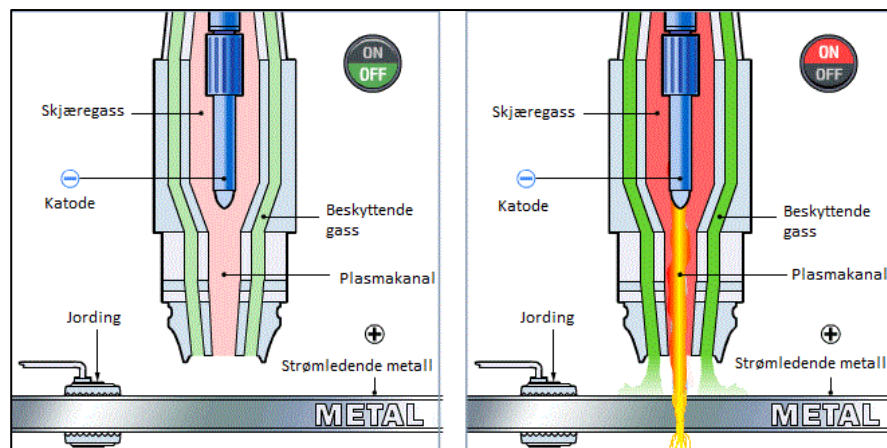
Plasma er en aggregattilstand man klarer å oppnå om man ioniserer en gass. Det vil si å varme den opp slik at elektroner og protoner i atomene skiller seg og gassen er nå ladet med negative og positive partikler. De fire aggregattilstandene som finnes for stoffer illustreres i Figur 38.



Figur 38: De fire aggregattilstandene med illustrerende struktur på atomene [52].

I plasmafasen flyter ladde partikler rundt og gassen er svært strømledende. Dette utnyttes ved plasmaskjæring.

Plasmaskjæring er en metode for å skjære strømledende materialer, vanligvis metaller. På Figur 39 kan man se et tverrsnitt av endestykket til en plasmakutter. Katoden er en elektrode som leder og gir fra seg elektroner. Gjennom plasmakanalen blåses det skjæregass. Når gassen kommer i kontakt med det strømledende arbeidsstykket dannes det en lysbue som man kan se til høyre på Figur 39. Lysbuen (plasmastrålen) antennes av at høyfrekvente pulser tvinges gjennom en trang åpning, kalt gassdysen. Redusert diameter på dysen øker gasshastigheten og elektrisk motstand i lysbuen og gassen. Da kan temperaturen stige opp mot 10 000 til 20 000 K. Denne høye temperaturen kombinert med høy hastighet, gir en høy effekt på et konsentrert lite område på arbeidsstykket og det fører til gjennomsmelting og at fugen blåses ren. Ettersom man beveger endestykket over materialet så vil man kunne skjære fine snitt med plasmastrålen.



Figur 39: Et snitt av endestykket på en plasmaskjærer i av- og påskrudd tilstand [53].

Katoden består som oftest av wolfram tilsatt noen prosent cerium, zirkonium eller lanthan, som skal lette tenningen og gi lengre levetid. Skjæregassen er ofte argon, hydrogen, nitrogen, oksygen eller blandinger av disse for å oppnå den varmeste strålen og beste snittkvalitet. Munnstykket av kobber er vannavkjølt og blir beskyttet mot den høye temperaturen. Beskyttelsesgassen forhindrer luft og annen forurensing i å komme inn i lysbuen og kan i noen tilfeller gjøre buen mer konsentrert avhengig av hvilken gass man bruker. Beskyttelsesgassen og skjæregassen er ofte den samme gassen. [54]

#### 4.4.5 Ultrasoniske kniver



*Figur 40: Til venstre vises en ultrasonisk kniv som typisk er installert i industrielle maskiner, mens til høyre vises en håndholdt ultrasonisk kniv [55].*

Ultrasoniske kniver er strømforsynte kniver med blad som vibrerer med 20-40 kHz. Bladet beveger seg 10-70 mikrometer i lengderetning. Det er så lite at det er usynlig for det blotte øyet [56]. Vibreringen minimaliserer friksjonen mellom materialet den kutter og bladet til kniven. Dette medbringer flere fordeler i forhold til konvensjonelle kniver: Man får et fint og rent kutt, samt at det er raskt og effektivt. Flerlagsmaterialer skjæres uten at de overlappes etter kuttet. Skjæret blir trykkfritt slik at selv de mykeste/bløtteste overflatene holder formen sin, mens kniven jobber igjennom materialet. Som for eksempel ved kutting av kaker slik som vist på Figur 41 på neste side.

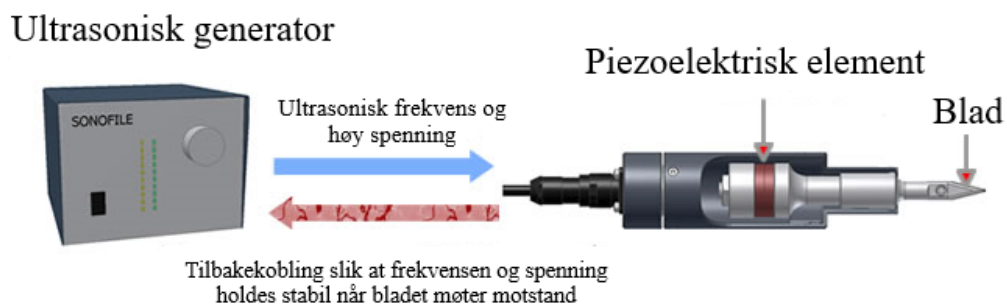




Figur 41: Til venstre ser man hvordan bløte flerlagsmaterialer ikke overlapper hverandre når det kuttes med en ultrasonisk kniv, i motsetning til å skjære med tradisjonell kniv til høyre. (Foto: Mech Tech Co.)

Ultrasoniske kniver er veldig utbredt i tekstil og mat industrien. Ultrasoniske kuttemetoder kan brukes til å klippe tekstiler, plastikk, termoplastisk folie, vevd og ikke-vevd materiale, samt mange forskjellige typer mat, både varm, kald og frossen. Ultrasoniske kniver kan både være manuellstyrt og mobile, samt at man kan integrere dem i autonome maskiner [57]. Knivmateriale er ofte titan, men kan også være legeringer av aluminium eller stål. I Cheersonic sitt datablad som kan finnes i Vedlegg 9 så forklares det at kniveggen ikke trenger å være skarp så bladet kutter bare hvis generatoren står på. Systemet består ikke av noen motor eller gir så det er enkelt å vedlikeholde og vaske.

For å klare å skape denne frekvensen på 20-40 kHz så trenger man en ultrasonisk generator. En ultrasonisk generator fungerer slik at den tar imot strøm og spenning fra en kilde og konverterer det til riktig spenning, amper og ultrasonisk frekvens og sender det videre til en signalomformer. Signalomformerer bruker piezoelektriske egenskaper for å omforme spenning til bevegelse. Piezoelektrisitet går ut på at enkelte krystaller blir elektrisk polarisert når de utsettes for trykk slik at de blir elastisk deformert [58]. Denne prosessen kan reverseres og blir brukt for å skape ønsket vibrasjon og amplitude, som overføres til verktøyet som i dette tilfellet er et knivblad. Et oppsett av hele systemet illustreres på Figur 42.

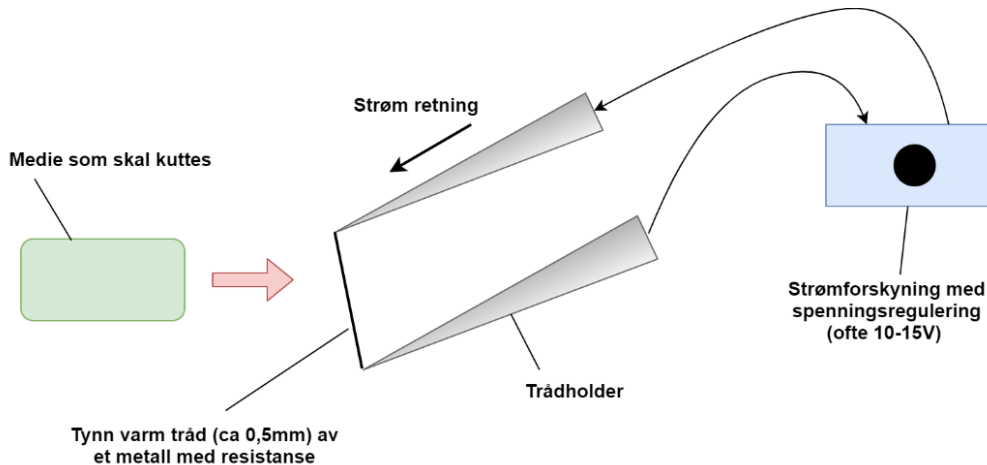


Figur 42: illustrasjon av hvordan oppsettet for bruk av en ultrasonisk kniv ser ut fra den ultrasoniske generatoren til knivbladet [56].

Det er en fordel om den ultrasoniske kniven har tilbakekobling til generatoren slik at den kan regulere automatisk for å holde spenning, amper og frekvens stabil når knivbladet

møter på motstand. Maskinene som brukes i industrien brukes vanligvis alt fra 500 til 2000 W og da har en skjærebredde på maks 300 mm. Prisen på en ultrasonisk håndholdt kniv med 300 mm langt skjæreblad er i dag rundt 30 000 kr.

#### 4.4.6 Varmetråd



Figur 43: Prinsippet som en varmetråd kutter består av. (Eget verk)

Varmetråd er en velbrukt kuttemetode som går ut på å skjære ved hjelp av en oppvarmet tynn tråd som vist i Figur 43. Anordningen består av en strømforsyning som sender strøm gjennom en tråd lagd av et materiale med elektrisk resistans. Materialer som stål og rustfritt stål egner seg, men mest egnet er Nikrom som har egenskapene at det gir jevn varme så fort det påsettes strøm, samt at den er motstandsdyktig mot oksidasjon ved høye temperaturer. Smeltepunktet til Nikrom ligger på  $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Derfor brukes ofte Nikrom trukket til tråd i varmelementer i varmeovner osv. [59]. Til bruk for kutting brukes midlertidig langt lavere temperaturer inntil maks temperaturen  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ , fordi flytegrensen til Nikrom synker betraktelig ved høyere temperaturer, noe som fører til at den lettere kan ryke. Det er også viktig at trådholderen har en eller annen slags form for fjærbelastning slik at tråden holdes under jevnt strekk. Tråden utvider seg også i lengderetning på grunn av termisk utvidelse når den blir varm.

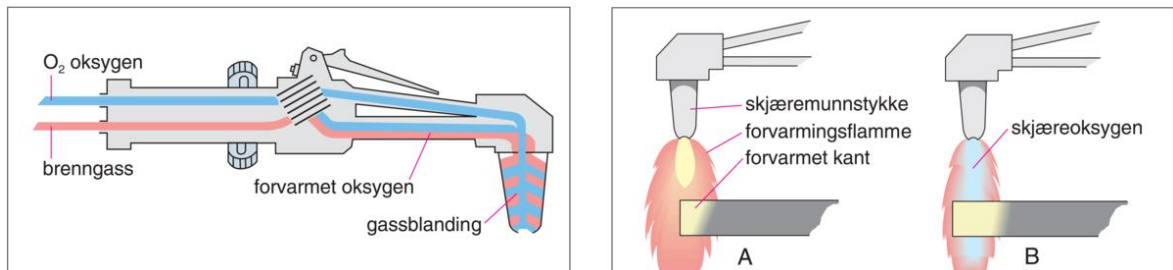
Måten man kutter på er ved å føre tråden med en jevn hastighet gjennom objektet man vil kutte. For at det skal være mulig å kutte må objektet man skal kutte bestå av et materiale som lar seg fordampe ved lav temperatur (under  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), det også viktig at det ikke er brannfare ved fordampning av materialet.

Varmetråd brukes tradisjonelt til kutting av for eksempel isopor, papp og pleksiglass, ettersom dette er materialer som lar seg fordampe ved nokså lave temperaturer, uten å ta fyr. I industrien brukes varmetrådkutting til for eksempel utskjæring av fasadekonstruksjoner til bygg, lagd av isopor, som igjen sparkles og males. Disse maskinene er ofte CNC styrte og kutter med høy presisjon. Arbeidsbredden til varmetrådkutteren er kun avhengig av lengden til tråden og kan derfor brukes til å kappe hele «vegger» om man vil.



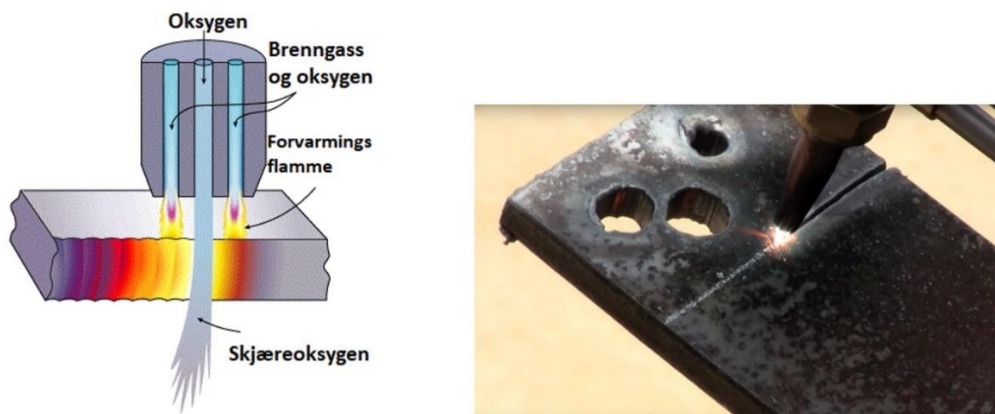
#### 4.4.7 Oksygenkjærer

Oksygenkjæring er en metode for skjæring av ulegert karbon- eller karbon-manganstål. Metoden går ut på at man først forvarmer arbeidsstykket til ca. 1000 grader i et punkt man skal begynne å skjære. Man forvarmer med antent brenngass blandet med oksygen som kommer ringformet ut av dysen som sitter i enden av skjærebrenneren som man ser på Figur 44.



Figur 44: Hvordan en oksygenkjærer fungerer. Til venstre: Prinsippskisse av skjærebrenner. Til høyre: A) Forvarming av arbeidsstykket før skjæring. B) Skjæring er satt i gang med en skjærestråle av oksygen [60].

Når arbeidsstykket er varmt nok trykker man på en knapp som skyter ren oksygen i stor fart ut av dysen i sentrum av ringflammen. Der oksygenstrålen treffer arbeidsstykket brenner jernet til jernoksider som smelter og spyles bort av den store hastigheten til oksygenet og man oppnår et fint snitt med parallelle kanter på et par mm i bredde. En illustrativ tegning kan man se til venstre på Figur 45 og til høyre ser man et virkelig scenario.



Figur 45: Til venstre vises en illustrasjon av dysen på oksygenkjæreren mens den driver og skjærer. Til høyre ser man et virkelig scenario der oksygenkjæreren brukes til å kappe et 7 mm tykt metallemne. Figuren til venstre er omarbeidet etter originalen [61] [62].


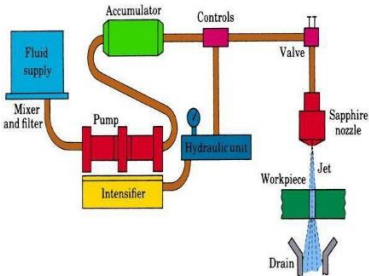
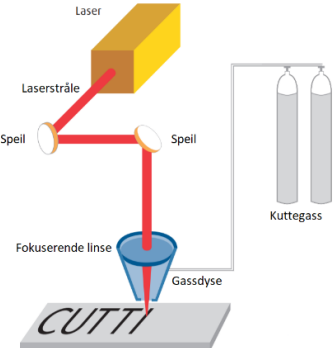
Vanlig brenngass er acetylen, men det brukes også hydrogen, propan, propylen, metyl-acetylépropadien og metan. Man ønsker å holde jevn hastighet på skjærebrenneren. Går man for fort så brenner det ikke igjennom arbeidsstykket og hvis man går for sakte så samles det jernklumper under arbeidsstykket ved kuttet. I industrien er oksygenkjærer

veldig mye brukt i reparasjonsarbeid og kapping av blokker og andre stålemner. Med spesielle brennere kan man kutte tykkelser opp til 2000 mm [60].

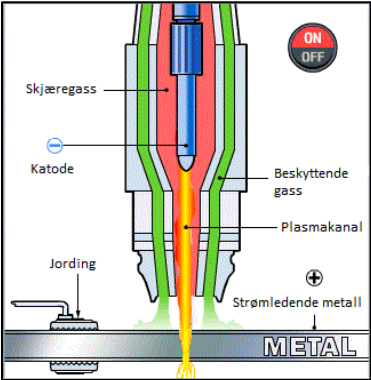

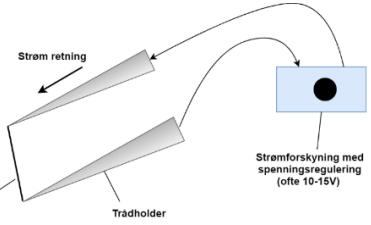
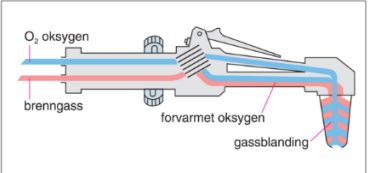
#### 4.4.8 Evaluering av alternative metoder for kutting av gras

Nå som teorigrunnet for forskjellige kuttemetoder er gjennomgått skal det gjøres en teoretisk evaluering av hvilke metoder som kan implementeres på roboten Thorvald for kutting av gras. Utvelgelsen som gjøres er i henhold til kravspesifikasjonene utarbeidet sammen med *GrassRobotics*, samt teorien som er redegjort. I Tabell 12 finnes en oppsummering av de forskjellige skjæremetodene med oppramset fordeler og ulemper ved en implementering på roboten Thorvald til å slå gras.

Tabell 12: Systematisk oversikt over fordeler og ulemper ved de forskjellige kuttemetodene brukt på roboten Thorvald til å slå gras.

Type	Fordel	Ulempe	Videre
<b>Kniv</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>+Slippte kniver gir er rent og fint kutt</li> <li>+Kan implementeres i flere kutteløsninger</li> <li>+Enkelt vedlikehold</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Blir sløv over tid og må slipes</li> <li>-Kan blir ødelagt ved kontakt med harde overflater som for eksempel stein.</li> </ul>	JA
<b>Vannkutter</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>+Brukes allerede til innhøsting av flere salattyper</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Må bære med seg vanntank som øker totalvekten</li> <li>-Består av mange komponenter</li> <li>-Veldig høyt effektforbruk</li> <li>-Begrenset kutteområde</li> </ul>	NEI
<b>Laser</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>+Brukes til å kutte mange forskjellige materialer som for eksempel tre</li> <li>+Trygt fordi systemet er kapslet inn</li> <li>+Ingen knivegg som kan bli sløv</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Fokusområdet er en begrensning på kuttebredden</li> <li>-Lav virkningsgrad = krever mye effekt for å drives.</li> </ul>	JA

Tabell 12 forts.

<p><b>Plasmakutter</b></p> 		<p>-Kan bare skjære i strømløsende materialer som metaller</p>	<p>NEI</p>
<p><b>Ultrasoniske kniver</b></p> 	<p>+Mye brukt i matindustrien og til kutting av grønnsaker +Trykkfrie kutt +Lite vedlikehold</p>	<p>-Høyt effektforbruk per kniv -Koster mye</p>	<p>JA</p>
<p><b>Varmetråd</b></p> 	<p>+Kutter bortimot trykkfritt +Relativt lite effektforbruk</p>	<p>-Vet ikke hvordan den vil funke på fuktige materialer som gras -Tråden er utsatt for å ryke dersom den treffer hindringer</p>	<p>JA</p>
<p><b>Oksygenskjærer</b></p> 	<p>+Lang kuttebredde metaller</p>	<p>-Man brenner seg igjennom arbeidsstykket for å skjære. Flammer og gras er en dårlig kombinasjon</p>	<p>NEI</p>

### Metoder som ikke tas med til videre selektering.

Av de kuttemetodene som er gjennomgått så er verken oksygenskjærer eller plasmakutter egnet til å implementeres på Thorvald for å kutte gras. Oksygenskjærer faller bort fordi man brenner graset og plasmakutter faller bort fordi den kan bare brukes på strømløsende materialer. Disse metodene blir derfor uaktuelle.

Til tross for at vannskjærer allerede brukes til innhøsting av forskjellige salattyper sør for San Francisco tilegner den seg ikke til kutting av gras med Thorvald i første omgang. Systemet krever et effektbehov som ikke er tilgjengelig å hente fra roboten, samt at

systemet er veldig tungt. I tillegg så har vannstrålen en sprutesone og en dråpesone som ikke bidrar til å kutte, men har heller den negative effekten at graset blir sprutet ned. Det er da fare for at alt graset ikke ville bli kuttet.

### **Metoder som tas med til videre selektering.**

Metodene som virker interessante å gå videre med er bruken av kniver, laser, ultrasoniske kniver og varmetråd.

Kniv brukes allerede i flere tradisjonelle slåmaskiner og vil videre i oppgaven finnes i form av knivbjelke og skiveslåmaskin.

Bruk av varmetråd til å kutte gras er et interessant tema og består av et relativt enkelt system som nødvendigvis ikke krever mye effekt. Siden varmetråd brukes til å kutte tørre materialer som blant annet papp uten at det oppstår brannfare, ser man muligheten til å kutte gras som har et mye høyere vanninnhold. Effekten av bruk av varmetråd og dens kutteevne på gras skal testes.

Ultrasoniske kniver er enn så lenge dyre og krever relativt mye effekt per kniv, men siden den allerede brukes mye i matindustrien og det påstås at man kan kutte trykkfritt med fine snitt så ser man muligheten til å kunne bruke den til å kutte gras og dette skal testes.

Bruk av laser til å kutte gras virker kanskje ikke gjennomførbart med tanke på at laser bare har ett fokusområde den kan kutte i, samt at de mest effektive CO<sub>2</sub>-laserne som brukes til å kutte ikke-metaller har en virkningsgrad mellom 5 og 10 %. Det vil derfor være interessant å finne ut av hvor mye effekt som kreves for å kutte gras og i hvilken hastighet og avstand dette kan gjøres for å vite om konseptet er konkurransedyktig. Dette skal det gjøres en test på.

Alle testene som gjennomføres kan leses om i *kapittel 8 Test av klippemetoder*.

## 5 Produktspesifisering

Dette kapitlet legger frem de forskjellige egenskapene med en begrunnelse av hva som legges bak egenskapen. De forskjellige egenskapene skal vektas etter viktighetsgrad og til slutt kommer metriske grensespesifikasjoner for produktet.

### 5.1 Produktmålsetting

Produktmålene er utviklet i henhold til kunnskapen som er tilegnet gjennom *kapittel 4 Teori og teknologiutredning* samt kravene som er utarbeidet sammen med *GrassRobotics*. Målene er oppramset i Tabell 13 og er delt inn i forskjellige egenskaper med begrunnelse.

Tabell 13: Oversikt av egenskapene med tilhørende begrunnelse for hver egenskap.

Produktegenskap	Begrunnelse
<b>Kompleksitet</b>	
Bestå av smidige deler	Delene som klippeutstyret består av skal være uttenkt slik at det ikke er fare for opphoping av gras, samt at de skal kunne operere under alle værforhold.
Et produksjonsgunstig design	Gjennom samarbeid med produsenter burde produktet utvikles slik at designet er gunstig produksjonsmessig.
<b>Vedlikehold</b>	
Robusthet	Det skal brukes slitesterke deler med lang levetid slik at produktet skal holde samme mål som dagens slåmaskiner i kvalitet.
Enkel prosedyre ved vedlikehold/reparasjon	Det bør i den grad det er mulig brukes vedlikeholdsfrie deler. Dersom delene krever vedlikehold/reparasjon skal det være av den enkelhet at sluttbrukeren selv kan utøve servicen.
Utskiftbare slidedeler	Alle deler som ses på som slidedeler skal konstrueres på en slik måte at det er enkelt å bytte de ut. Ved skader på klippeutstyret skal reparasjonen, kunne gjøres kjapt og effektivt.
<b>Pris</b>	
Konkurransedyktig pris	Prisen på kutteanordningen bør ikke overstige prisen av konkurrerende produkter. I den grad det er nødvendig bør hele roboten i sin helhet med redskapet være konkurransedyktig på pris.
Lavere driftskostnader enn konkurrerende løsninger per dekar	Slåtteutstyret skal bidra til at totalkostnaden per dekar er konkurransedyktig.

Tabell 13 forts.

<b>Ytelse og vekt</b>	
Klippeutstyret skal ha en vekt på under 100 kg.	Viktig med lav vekt da det er energibesparende og gunstig i forhold til kjøring i brattlendt terreng. Samt bidrar til et mindre energikrevende produkt som kan ha lengere opptid.
Skal kunne slå minst 50 daa gras på 8 timer.	Kutteutstyret må ha en slik bredde og kapasitet at roboten Thorvald med sin nominelle hastighet på 5 km/t skal klare å slå 50 daa på 8 timer
Effektforbruk lavere enn 780 W.	Klippeanordningen bør ha et effektforbruk lavere enn 780 W for at opptiden blir 8 timer med 3 batteripakker.
Gode gjenvekstvilkår	Kuttet som redskapet gir må føre til at gjenveksten vokser raskest mulig.
<b>Ergonomisk design</b>	
Skal ikke utøve fare for insekter og dyr.	Designet av kutteutstyret skal være av slik utforming at det forbygger skader på insekter og dyr som måtte være i nærheten.
<b>Konstruksjon</b>	
Maksimalt tillatt akslingstrykk.	Utformingen og vekten på klippeutstyret skal ikke medføre at det maksimale tillatte akslingstrykket på 100 kg overskrides.
Justerbar kutte høyde	Anordningen må kunne justeres slik at den kan kutte i konstant ønsket høyde fra bakkenivå.

## 5.2 Rangering av viktige produkttegenskaper

Det gis score for å veie viktigheten av de forskjellige produkttegenskapene i forhold til hverandre med tilhørende forklaring. Egenskapene rangeres i Tabell 14 på neste side med tallverdier fra 1 til 5 der de forskjellige verdiene er:

- 
- 1 – Ikke prioritert
  - 2 – Lite viktig
  - 3 – Ønskelig
  - 4 – Viktig
  - 5 – Obligatorisk
-

Tabell 14: Verdisetting ved de forskjellige produkttegenskapene for å vurdere viktigheten av dem med tilhørende forklaring.

Produktegenskap	Verdi	Forklaring
<b>Kompleksitet</b>		
Bestå av smidige deler	5	Siden klippeutstyret skal sitte på en autonom robot så er det obligatorisk at delene verktøyet består av gjør det mulig å gjennomføre arbeidsoppgaven uten fare for stopp, og kutte gras selv når det har blitt legde etter en regnværsdag eller kraftig vind.
Et produksjonsgunstig design	3	Dette punktet danner grunnlaget for at sluttprisen skal kunne være konkurransedyktig, men det er ønskelig etter at forsøksprosjektet er gjennomført.
<b>Vedlikehold</b>		
Robusthet	4	Det er viktig at produktet består av slitesterke og langvarige deler slik at det ikke påløper mange ekstrakostnader for sluttbrukeren.
Enkel prosedyre ved vedlikehold/repasasjon	2	Det ses på som viktig å kunne ta i bruk ny og avansert teknologi da dette er et forskningsprosjekt. Derfor anses det i mindre grad viktig at sluttbrukeren med alminnelig kompetanse skal kunne utføre vedlikeholde/repasasjonen selv.
Utskiftbare slidedeler	4	Når en slidedel trengs å skiftes er det viktig at det ikke krever mer arbeid enn nødvendig, altså at slidedelen er enkel å komme til. Siden arbeidsoppgaven må gjøres innen et kort innhøstningsvindu så er det viktig at reparasjon skal kunne gjøres effektivt ute på jordet hvis kritisk skade skulle oppstå.
<b>Pris</b>		
Konkurransedyktig pris	2	Det er ønskelig at prisen er konkurransedyktig med tilvarende produkter slik at en investering av produktet skal være rasjonelt for sluttbrukeren. Dette prosjektet er i første omgang et forskningsprosjekt så derfor er ikke dette produktmålet veldig viktig.
Lavere driftskostnader enn konkurrerende løsninger per dekar	5	Det er obligatorisk at produksjonskostnaden ved surfôr er lav, hvis den skal konkurrere med dagens løsninger. Et energieffektivt verktøy vil bidra til nettopp dette.

Tabell 14 forts.

<b>Ytelse og vekt</b>		
Klippeutstyret skal ha en vekt på under 100 kg.	4	Ettersom utstyret skal monteres på en lettvekstrobot er det viktig at vektbidraget fra verktøyet er lite. Ved å ha en lav vekt er det større mulighet for å oppnå lengre operasjonstid og det er viktig ved bruk av en batteridreven robot som har begrenset kapasitet.
Skal kunne slå minst 50 daa på 8 timer.	5	For at utstyret skal rasjonelt kunne brukes i dagens innhøstingsvinduer er det viktig at kapasiteten tilfredsstiller kravene som er satt i samarbeid med <i>GrassRobotics</i> .
Effektforbruk lavere enn 780 W.	3	Det er ønskelig at roboten med klippeutstyr skal klare å opprettholde kravene om opptid og dekar slått og da burde utstyret trekke mindre enn 780 W, med tidlige grunnlagsberegninger tatt i betraktning. Det er mulig å sette på flere batteripakker dersom effektbehovet til kutteutstyret skulle være mer enn 780 W, men det vil gå på bekostning av vekten.
Gode gjenvekstvilkår	5	Ved hypping høsting er det obligatorisk at gjenveksten vokser raskt til ettersom man ønsker så mye total tørrstoffavling som mulig.
<b>Ergonomisk design</b>		
Skal ikke utøve fare for insekter og dyr.	4	Insekter og dyr har en sentral rolle i næringskjeden og er derfor viktig at skånes.
<b>Konstruksjon</b>		
Maksimalt tillatt akslingstrykk.	5	Hvis det maksimale tillatte akslingstrykket på 100 kg overskrides så vil det oppstå problemer med styring av roboten fordi svingning av hjulene begrenses av vekten på akslingen i den nåværende versjonen av Thorvald. Det er derfor obligatorisk at dette tas hensyn til for at produktet skal fungere best mulig.
Justerbar kutte høyde	5	For gode gjenvekstvilkår er det obligatorisk at gras kan kuttes med 10 cm stubbhøyde. Om det er ønskelig å kutte i en annen høyde så skal dette være fullt mulig.



### Oppsummering av hva som ønskes av produktet.

Det veldig viktig at produktet består av smidige deler slik at det ikke er fare for stopp ved for eksempel opphoping av gras, samt at utstyret skal kunne kutte når graset er legde. Med tanke på at dette i første omgang er et forskningsprosjekt så kan faktorer som produksjonslinjen fokuseres på etter at felttestingen er gjennomført for å få en konkurransedyktig pris på produktet.

Produktet skal bestå av mange slitesterke deler slik det ikke påløper mange ekstrakostnader for sluttbruken. De samme slitedelene skal være enkle å bytte ut hvis det skulle trenge, slik at en reparasjon ute på jordet kan gjøres effektivt siden høstingsvinduet er kort. Det er viktig å se mulighetene til å bruke ny og avansert teknologi som kan trenge ekstern vedlikeholdshjelp, framfor å lage et produkt der sluttbrukeren selv med alminnelig kompetanse skal kunne reparere produktet. Det er veldig viktig at produktet er energieffektivt slik at det bidrar til at produksjonskostnaden ved surfôr senkes.

Kutteutstyret bør ha en vekt under 100 kg ettersom batterikapasiteten er begrenset og høy vekt fører til mer energiforbruk. I tillegg så bør ikke vekten føre til at maksimalt akslingstrykk på 100 kg overskrides ettersom svingeegenskapene til hjulene begrenses av dette. Det er ønskelig om effektforbruket er under 780 W, men hvis utstyret trekker mer effekt så er det mulig å installere en batteripakke til for å øke kapasiteten. Dette vil da gå på bekostningen av vekten. Klippeutstyret må kunne slå minst 50 dekar på 8 timer for at det skal være et produkt som kan brukes rasjonelt. Det er essensielt at klippeutstyret gir rask gjenvekst fordi man ved hyppig høsting ønsker å få så mye tørrstoffavling som mulig.

### 5.3 Metriske grensespesifikasjoner av produktet

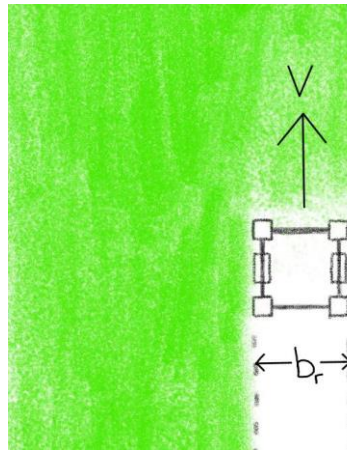
De satte grensespesifikasjonene danner rammene for konseptgenereringen og er satt i henhold til roboten Thorvald som er den valgte plattformen for prosjektet. Plattformen har sine dimensjoner og begrensninger som sammen med eksisterende produkter danner grunnlaget for disse spesifikasjonene.

Dimensjon	Min	Maks
Bredde	1700 mm	6000 mm
Lengde	1400 mm	1650 mm
Høyde på gras for kutting	100 mm	1000 mm
Vekt	-	200 kg
Kuttehastighet	3,7 km/t	5 km/t

Minimumsbredde er satt etter bredden på Thorvald som er 1700 mm og maksimum 6000 mm ettersom den største eksisterende løsningen er denne bredden. Det vil dessuten bli komplisert å frakte den langs veien om kutteverktøyet blir bredere. Minimumslengde er satt til 1400 mm da dette er lengden fra midten av Thorvald der hurtigfestet designes og 500 mm foran framhjulene som gir rom for at graset skal kunne legge seg før Thorvald kjører

over det. Maksimallengden er satt til 1650 mm da totale lengden på Thorvald blir 2500 mm og det ikke er ønskelig å ha enten lengden eller bredden større enn hva man kan frakte langs vei uten videre komplikasjoner. Kutteverktøyet skal kunne klippe alt gras som er høyere enn 100 mm og lavere enn 1000 mm da avlingen kan komme opp i denne høyden. maksimal vekt settes til 200 kg da dette er maksimal akslingslast på to hjulenheter. Under vises en estimering på minimumskuttehastighet som må til for å nå produktmålet på 50 dekar slått på 8 timer.

### Beregning av minimums kuttehastighet



Figur 46: viser bredden ( $b_r$ ) kutteverktøyet slår med farten ( $v$ ).

Det gjøres en grov estimering for å se hvor fort slåtteutstyret må kunne slå gras for å oppnå en samla slått på 50 dekar på 8 timer.

### Bredden ( $b_r$ ) kutteverktøy.

$$b_r = 1,7m$$

### Omgjøring fra dekar til kvadratmeter.

$$Areal = 50dekar = 50\,000m^2$$

### Beregning av sekunder for 8 timer.

$$t = 8t \cdot 3600s = 28800s$$

### Beregning av teoretisk minste kuttehastighet( $v$ ).

$$v = \frac{s}{t} \tag{5.1}$$

$$A = L \cdot B \tag{5.2}$$

$$v = \frac{Areal}{b_r \cdot t} = \frac{50000m^2}{1,7m \cdot 28800s} = 1,02m/s \approx 3,7km/t$$

Ser av estimeringen at kutteverktøyet minst må kunne slå graset i en hastighet på 3,7 km/t dersom kuttebredden på er 1,7 m. I tillegg må det iberegnes noe tid til orientering og transport, det vil da være nødvendig med å kunne kutte noe kjappere for å nå ønsket areal på 8 timer.



## 6 Konkurrerende løsninger

Nå som det er redegjort for hvilke egenskaper produktet som utvikles skal ha, er det nødvendig å se på de konkurrerende løsningene som finnes. De konkurrerende løsningene som undersøkes er løsninger som likner produktet i konsept og funksjon. Det må være en maskin som kan styres enten med GPS eller fjernkontroll og den må kunne kutte gras i våte forhold som kan brukes til grovfôr. Bemannet tohjulstraktorer som har samme arbeidsoppgave er også aktuelt å se på. Løsningene er satt opp med bilde og forklarende tekst under.

### Timan RC-1000 Dobbeltknivbjelke [63]



*Figur 47: Timan RC-1000 med dobbeltknivbjelke.*

Timan er et dansk selskap som leverer forskjellige maskiner innenfor grøntområder, vintervedlikehold og gatelydding i hele Europa. I Figur 47 ser man Timan RC-1000 modellen med en dobbel knivbjelke påmontert. Den har en arbeidsbredde på 1,7 m. Oppgitt fra selskapet så kan den kutte over 10 dekar per time. Med en bredde på 1,7 m så tilsvarer det ca. 6 km/t. Knivbjelken kan høydejusteres slik at man kan kutte i forskjellige høyder. Den er hydraulisk dreven og opereres med en fjernkontroll. Bruksområde er for gras som man ønsker å snitte fint og som skal brukes til fôr. Totalvekt for maskin og knivbjelke er rundt 500 kg. Maskinen har en 14 liters tank og bruker omtrent 4,0 liter per time. Pris på maskinen er 369 000 kr, mens den doble knivbjelken koster 85 000 kr.

**RoboFlail vario** [64]

*Figur 48: RoboFlail vario med knivbjelke.*

I Figur 48 ser man RoboFlail vario som er en kontrollstyrt, dieseldreven maskin med 30 liters tank utviklet av KommTek i Tyskland. Den har en topphastighet på 8 km/t og veier 1200 kg uten verktøy. Påmonterte verktøy kan veie opp til 450 kg. Knivbjelken som er påmontert har en bredde på 1,65 m. Roboten alene er 265/125/120 cm i lengde, bredde og høyde. Motorrommet kan tilte til siden slik at det alltid står vertikalt selv om roboten kjører i en helning. Maskinen har en pris på 469 000 kr og knivbjelken koster 106 000 kr.

**Brielmaier** [65]

*Figur 49: Brielmaier påmonter dobbeltnivbjelke.*

Brielmaier er spesialister på klipping av gras med tohjulstraktor i bratte forhold. De leverer løsninger til flere typer jorder, selv våtmark. I Figur 49 ser man bilde av en Brielmaier dobbel knivbjelke med 3,5 m i arbeidsbredde, men man kan få knivbjelker fra 1,25 m opptil 4,3 m, og 6 m ved bruk av to maskiner som er sammenkoblet. Motoren er Kohler 4-takts bensin og drivsystemet er hydraulisk. Det finnes hurtigfeste slik at redskapet lett kan demonteres og byttes med noe annet, for eksempel en rake eller vender. Denne 3,5 m modellen veier 440 kg. Hjulene er designet for å få best grep, samt skade jorda minst mulig. I tillegg så senkes marktrykket med brede hjul. Den kan styres ved håndtakene eller med en kontroll med 150 m rekkevidde. GPS styring for maskinen er under utvikling. Hastigheten kan justeres fra 0 til 10 km/t og brukererfaring hevder at drivstofforbruket er

ca. 0,3 liter per dekar. Prisen på denne tohjulstraktoren med utstyr er 28 140 €. Knivbjelken alene koster 7 690 €.

### **RoboEco slåmaskin [66]**



*Figur 50: RoboEco med påmontert slåutstyr.*

RoboEco slåmaskin er utviklet av det Italienske firmaet ENERGREEN. De leverer forskjellige maskiner med utstyr innenfor landskappleie, gras- og buskklipping, veikantrydding, skogrydding, snøbrøyting og liknende. RoboEco har en vekt på 870 kg, mens klipperedskapet veier 106 kg. Den har en arbeidsbredde på 180 cm og redskapet kan tiltes +/- 20° slik at knivbjelken alltid følger samme høyde langs bakken. Maksimum arbeidshelling er 50°, og kan kjøre opp til 7 km/t. Enheten styres med kontroll som har en rekkevidde på 150 m. Dimensjonene til maskinen uten redskap er i høyde/bredde/lengde 97/154/154 cm. Pris for RoboEcoen er 444 000 kr og prisen for knivbjelken er 61 250 kr.

### **Reform slåmaskin M2D [67]**



*Figur 51: Reform tohjulstraktor med fingerbjelke.*

I Figur 51 ser man en Reform slåmaskin M2D som er en tohjulstraktor med knivbjelke ment for å klippe gras, selv i bratte bakker. Den har mekanisk giring og en topphastighet på 4,8 km/t. Motorstørrelsen er 9 hk og den går på bensin. Den har en klippebredde på 160 cm og hele maskinen veier 181 kg. Prisen på denne slåmaskinen er 123 000 kr



**Agria 8000-64 Sylinderslåmaskin [68]**

*Figur 52: Agria 8000 sylinderslåmaskin.*

Agria 8000-64 er en slåmaskin med én roterende sylinder som vist i Figur 52. Den er utviklet for å kutte mye og langt gras som legges rett i smale strenger. Den har en kuttebredde på 64 cm og en topphastighet på 3,5 km/t. Motoreffekten er 4,8 kW eller 6,5 hk og vekten til maskinen er 65 kg. Prisen på skiveslåmaskinen er 30 000 kr.

**Grassbots [69]**

*Figur 53: Grassbots med påmontert slåtteutstyr.*

GrassBots som vist i Figur 53 er en robot utviklet i Danmark. Prosjektet hadde oppstart i mars 2013 og ble avsluttet i februar 2015. Roboten er utstyrt med navigasjonssystemer og sensorer for å kunne slå gras autonomt. Kuttebredden er på 3 meter. Vekten til roboten er 2 200 kg og vekten til slåtteutstyret er 800 kg. Den drives av en 100 hk dieselmotor.



**Köppl Gekko skiveslåmaskin [70]**

*Figur 54: Köppl Gekko skiveslåmaskin.*

Selskapet Köppl leverer en rekke løsninger av tohjulstraktorer med påmontert utstyr innenfor snøbearbeiding, veirydding, skogrydding og jordbruksløsninger. Köppl Gekko med skiveslåmaskin, som vist i Figur 54, er en av løsningene de leverer innenfor slåing av gras. Skiveslåmaskinen har en kuttebredde på 175 cm og den har en topphastighet på 8 km/t. Maskinen kan styres ved håndtaket eller med en fjernkontroll som har rekkevidde på 300 m. Totalvekten på roboten med slåtteutstyr er 450 kg. Prisen på tohjulstraktoren Gekko er 312 500 kr og 67 500 kr for skiveslåmaskinen.

**Mattro Aebi EC130 [71]**

*Figur 55: Mattro Aebi EC130.*

Mattro er et Østerisk selskap som designer og produserer elektriske beltedrevende plattformer. I Figur 55 ser man typer Aebi EC130, her med påmontert beitepusser, som er utviklet for å utføre arbeid der arbeidsforholdene ikke er behagelige for et menneske. Den kan styres med fjernkontroll, men har også et GPS system som gjør det autonom. Den drives av 8,8 kWt batterier og har en brukstid på 4 timer avhengig av redskap før den må lades opp igjen. Makshastigheten er 20 km/t og den kan arbeide i 55° helning. Vekten på maskinen uten redskap er 355 kg. Med fingerbjelke og girkasse fra Maskinimportøren med bredde på 155 cm vil totalvekten bli 410 kg. I størrelse er maskinen 70/123/147 cm i H/B/L. Prisen på maskinen er 450 000 kr og prisen på fingerbjelken med girkasse er 25 000 kr.

En oppsummerende oversikt er listet opp i Tabell 15.

Tabell 15: En oversiktlig framstilling av spesifikasjonene til de forskjellige konkurrerende løsningene.

Navn	Kuttebredde	Topp-hastighet	Vekt	Styring	Pris
<b>Timan RC-1000 Double acting cutter bar</b>	170 cm	7 km/t	550 kg	Kontroll	369 000 kr/ 85 000 kr
<b>RoboFlail vario</b>	165 cm	8 km/t	1200 kg	Kontroll	469 000 kr/ 106 000
<b>Brielmaier</b>	350 cm	10 km/t	440 kg	Manuelt/Kontroll/ GPS	281 400 kr/ 76 900 kr
<b>RoboEco slåmaskin</b>	180 cm	7 km/t	976 kg	Kontroll	444 000 kr/ 61 250 kr
<b>Reform slåmaskin M2D</b>	160 cm	4,8 km/t	181 kg	Manuelt	123 000 kr
<b>Agria 8000-64 Skive-slåmaskin</b>	64 cm	3,5 km/t	65 kg	Manuelt	30 000 kr
<b>GrassBots</b>	300 cm	Uvisst	3000 kg	Kontroll/GPS	Ikke i salg
<b>Köppl Gekko skiveslå-maskin</b>	175 cm	8 km/t	450 kg	Manuelt/Kontroll	312 500 kr/ 67 500 kr
<b>Mattro Aebi EC130</b>	130 cm	20 km/t	430 kg	Kontroll/GPS	450 000 kr/ 25 000 kr
<b>Gjennomsnitt</b>	188 cm	8,5 km/t	810 kg		290 000 kr / 79 500 kr

Gjennom denne analysen har man utviklet et grunnlag for egenskaper og funksjoner ved konkurrerende løsninger. Disse egenskapene, samt prisen på de forskjellige løsningene bør tas i betraktningen gjennom utviklingen av en klippeanordning til Thorvald. Roboten Thorvald har i dag en vekt på rundt 200 kg. Vekt målet for slåtteutstyret er at den skal veie under 100 kg. Det gir en totalvekt på ca. 300 kg. Det er langt lavere enn gjennomsnittet på 810 kg for de konkurrerende løsningene.

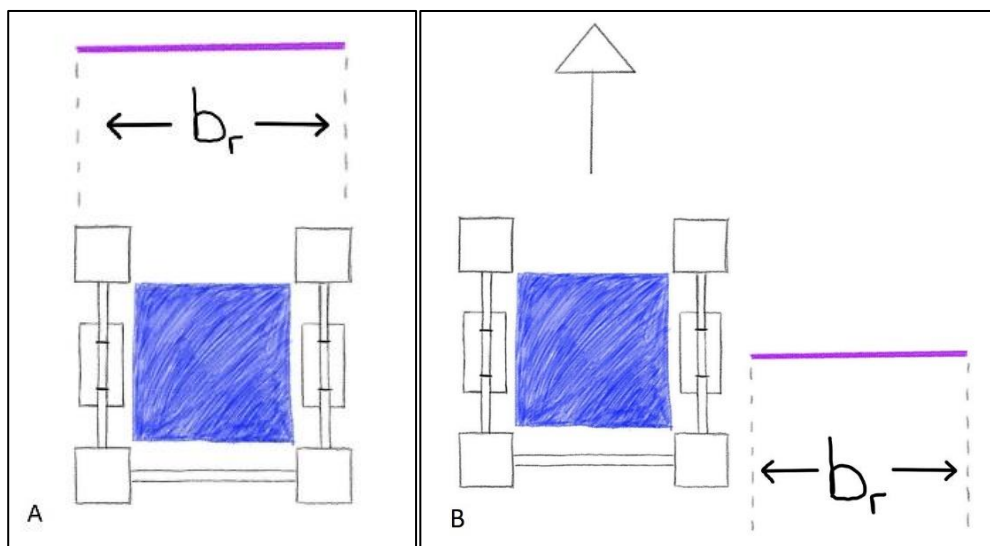
Ubemannende maskiner som fjernstyrte eller GPS-styrte har muligheten til å operere i brattlendt terreng. Dette ses som en stor fordel for å kunne utnytte arealer som i dag ikke har kunnet vært benyttet da en bemannet traktor ikke egner seg til bruk i slike hellinger.

## 7 Konseptene implementert på Thorvald

I dette kapitlet presenteres enkle og egne håndskisser av hvordan de utvalgte slåmaskinene og de alternative klippemetodene kan implementeres på roboten Thorvald. Det legges også ved en forklaring på mulig virkemåte og funksjon. Det blå feltet representerer koblingssystemet mellom verktøy og robot, men det er under utvikling så i første omgang er fokus hvordan verktøyet vil se ut på roboten. Alle verktøyene er festet foran roboten for at man enkelt skal kunne se hvordan de er utformet. Tegningene er ikke detaljerte og er ment for å gi en illustrasjon av hvordan det kan se ut.

### 7.1 Plassering av slåtteutstyr

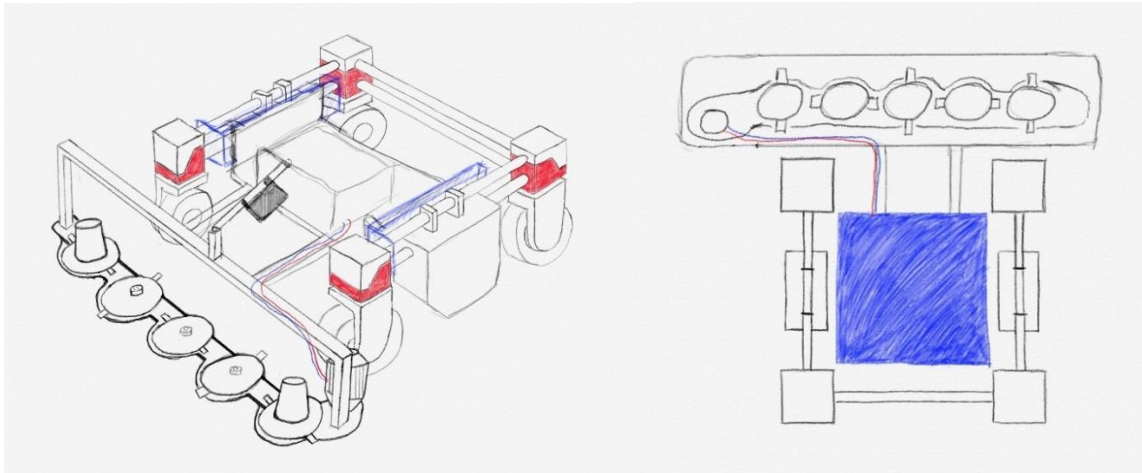
Fra *kapittel 2.3 Oppdragsbeskrivelse og kravspesifikasjoner* er satt at kutteanordningen skal gjøre det mulig for Thorvald å unngå å kjøre i uslått gras. Dette for å ikke legge graset før det skal kuttes. I Figur 56 under ser man to mulige løsninger for hvordan plasseringen av kutteanordningen kan løse problematikken.



Figur 56: Figur A er Thorvald med frontmontert kutteverktøy, mens Figur B er Thorvald med sidemontert kutteverktøy.

Som vist i Figur 56 kan kutteanordningen som vist i Figur A monteres foran roboten, mens i Figur B monteres ved siden av roboten. Det velges å gå for en frontmontering av kutteverktøyet ettersom man på den måten har muligheten til å kunne flytte vekten fra kutteverktøyet nærmest mulig massesenteret til roboten Thorvald. Man vil på den måten ha større margin for å ikke overstige det maksimale akslingstrykket på 100 kg, per motorenhet. Videre vil de forskjellige konseptenes mulige utseende og plassering skisseres.

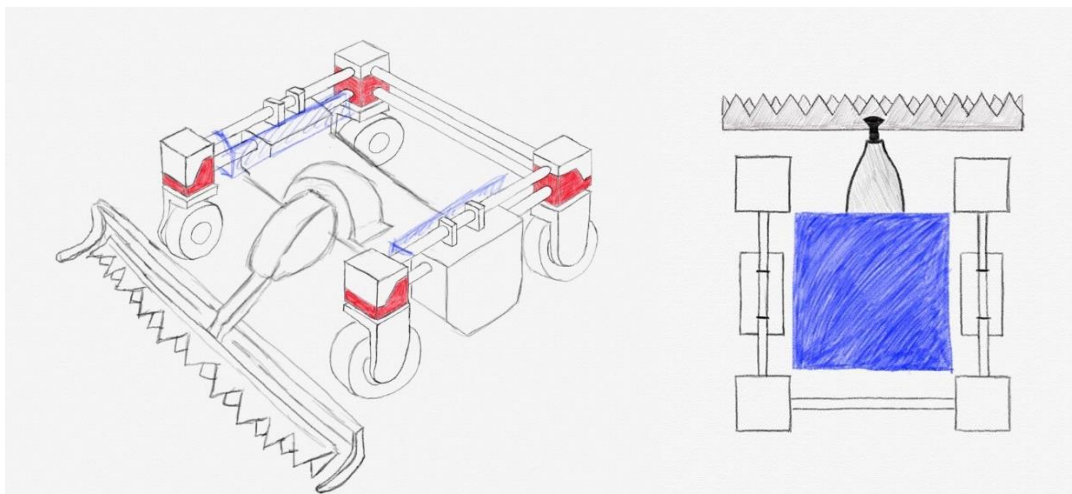
## 7.2 Skiveslåmaskin



Figur 57: Et konsept av skiveslåmaskinen implementert på roboten Thorvald sett i 3D og ovenfra.

Slik man kan se på Figur 57 så kan skiveslåmaskinen være montert med motor på siden. Skivene er koblet sammen med tannhjul slik at de alle drives av samme motor, samt at det ikke er fare for at knivene treffer hverandre når de er plassert med  $90^\circ$  forskyvning. En annen mulighet er å bruke trimmetråd i stedet for kniver slik en grasrydder har. Bjelken som skivene er montert på er i kontakt med bakken, det er høyden på denne bjelken som bestemmer stubbehøyden. Det vil også være nødvendig med løfting av utstyret ved transport og orientering før neste kutt. Fra kapittelet 4.3.1 Roterende slåmaskin ser man at skiveslåmaskin er en av de tyngre slåmaskin typene. Det er derfor viktig å designe skiveslåmaskinen på en slik måte at det ikke er fare for at maksimal belastning per motorenhet overskrides.

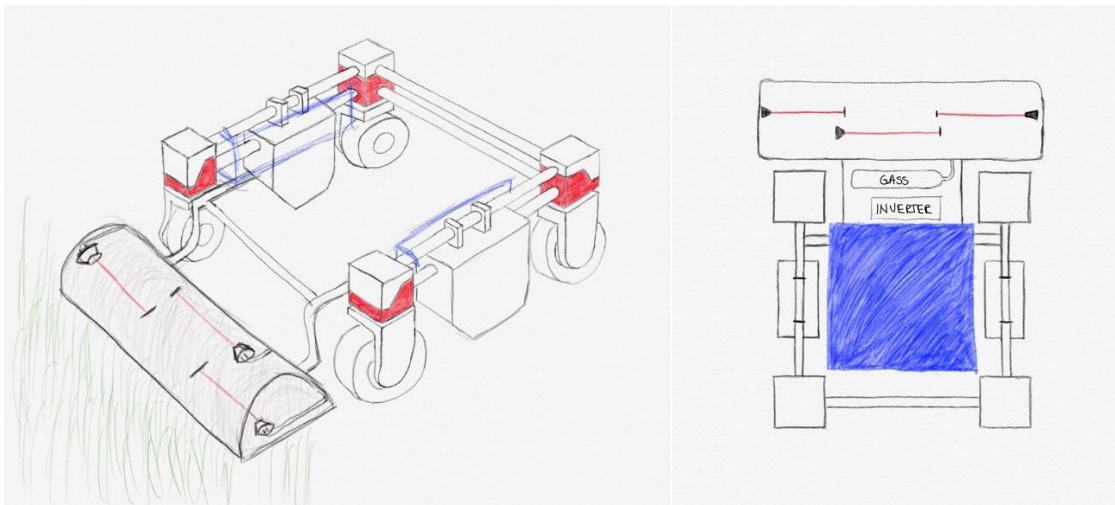
## 7.3 Knivbjelke



Figur 58: Et konsept av knivbjelken implementert på roboten Thorvald sett i 3D og ovenfra.

Knivbjelken er montert med drivaksel i midten. Den har tradisjonelt høydejusteringsskids på knivbjelken som den sklir på, eller hjul som den kan rulle på. Disse justeres etter ønsket stubbehøyde på graset som slås. På den måten så trenger ikke Thorvald å bære hele konstruksjonen under drift, men det vil være nødvendig å løfte knivbjelken ved transport eller orientering før neste kutt. Det vil også her være viktig å designe kutteutstyret på en slik måte at ikke den maksimale akslingsvekten overskrides. Knivbjelken blir tradisjonelt drevet av krafttaket på tohjulstraktoren den sitter på, men i dette tilfellet vil det være aktuelt å se på andre driftsmetoder som utnytter energikilden som er tilgjengelig på Thorvald. Ettersom Roboten er utstyrt med 48V batteripakker er en mulig løsning å drive bjelken med en elmotor.

## 7.4 Laserkutter

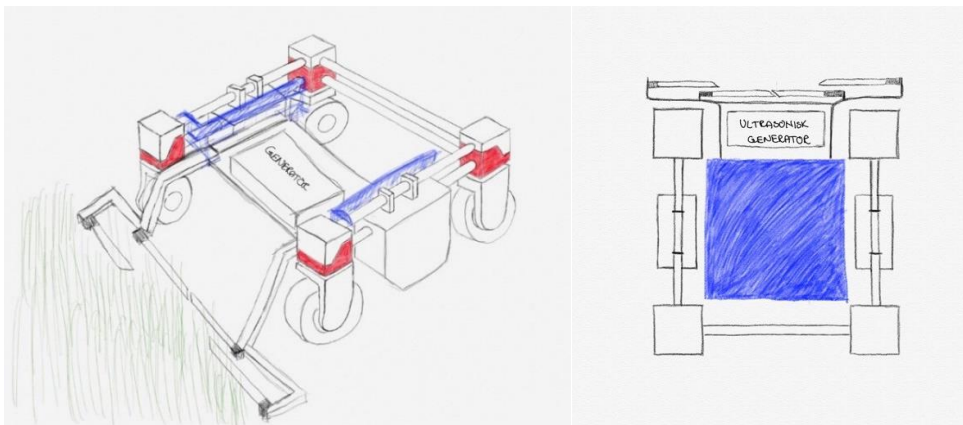


*Figur 59: Et konsept av laserkutter implementert på roboten Thorvald sett i 3D og ovenfra.*

Laserkutteren er montert foran roboten i en egen kapsel for å beskytte mot stråling. Laseren fungerer ikke bra over lange avstander på grunn av fokusområdet så derfor kan det tenkes at flere laserer etter hverandre kunne vært en løsning. Graset kommer da innunder kapselen før det blir kuttet av laseren og legger seg bak. Kapselen kan for eksempel bestå av et rammeverk som er høyere enn graset, med en overliggende duk for beskyttelse fra laserstrålingen, slik at graset kommer innunder uten at det legger seg for mye. En form for stubbehøyderegulering må designes.



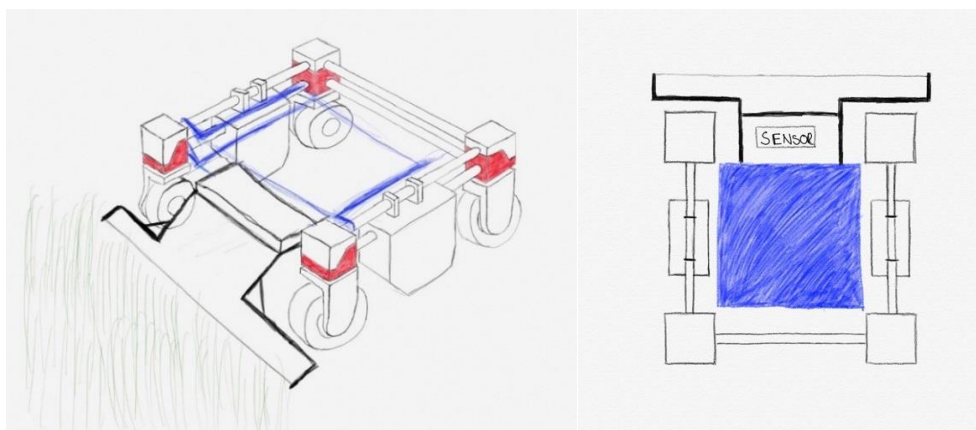
## 7.5 Ultrasoniske kniver



Figur 60: Et konsept av ultrasoniske kniver implementert på roboten Thorvald sett i 3D og ovenfra.

Produsenter av ultrasoniske kniver lager blader opp til 400 mm i lengderetning. Derfor er det tenkt at en kombinasjon av flere kniver, montert slik at de overlapper hverandre, kan være en løsning. Man trenger da en generator som genererer ultrasonisk frekvens, samt ønsket spenning og amper. Prinsippet er at knivbladene, som vibrerer med 20-40 kHz, trykkfritt skal kunne skjære igjennom graset. Graset legger seg deretter bak kniven og er ikke i veien for videre kutting. Verktøyet er forholdvis lett og kan bæres av roboten, en slags form for stubbehøyde regulering må designes.

## 7.6 Varmetråd



Figur 61: Et konsept av varmetråd implementert på roboten Thorvald sett i 3D og ovenfra.

Varmetrådløsningen som man ser i Figur 61 er tenkt slik at en motstandswire er oppspent. Det kan være en lang sammenhengende tråd eller oppstykket i intervaller. Strømforsyningen kan komme fra batteriene til Thorvald, men må reguleres i forhold til motstanden i tråden. Tanken er at den glødende tråden skal brenne seg igjennom graset og deretter legger graset bak seg. Denne kuttemetoden krever også en form for stubbehøyde regulering. Konstruksjonen er relativt lett noe som gir mindre fare for å overstige den maksimale akslingslasten per motorenhet.

## 8 Test av klippemetoder

I dette kapittelet skal de forskjellige kuttemetodene testes for å se på deres gjennomførbarhet samt påvirkning på graset. Ettersom det naturligvis er ønskelig å få så stor totalavling som mulig er rask gjenveksten en viktig faktor. Som beskrevet i *kapittel 4.1 Gras og grovfôr* er gode gjenvekstvilkår avhengig av stubbehøyde og kutteoverflaten. For å få en indikasjon på om dette stemmer måles gjenveksten hos de forskjellige kuttemetodene.

Det er da nødvendig å gjøre to forskjellige tester. Den ene testen tar for seg gjennomførbarheten til de ikke tradisjonelle kuttemetodene mens den andre testen tar for seg testing av hastigheten på gjenvekst ved de forskjellige kuttemetodene. For å kunne gjennomføre tester med gras på denne årstiden ble det nødvendig å dyrke frem gras i drivhus.

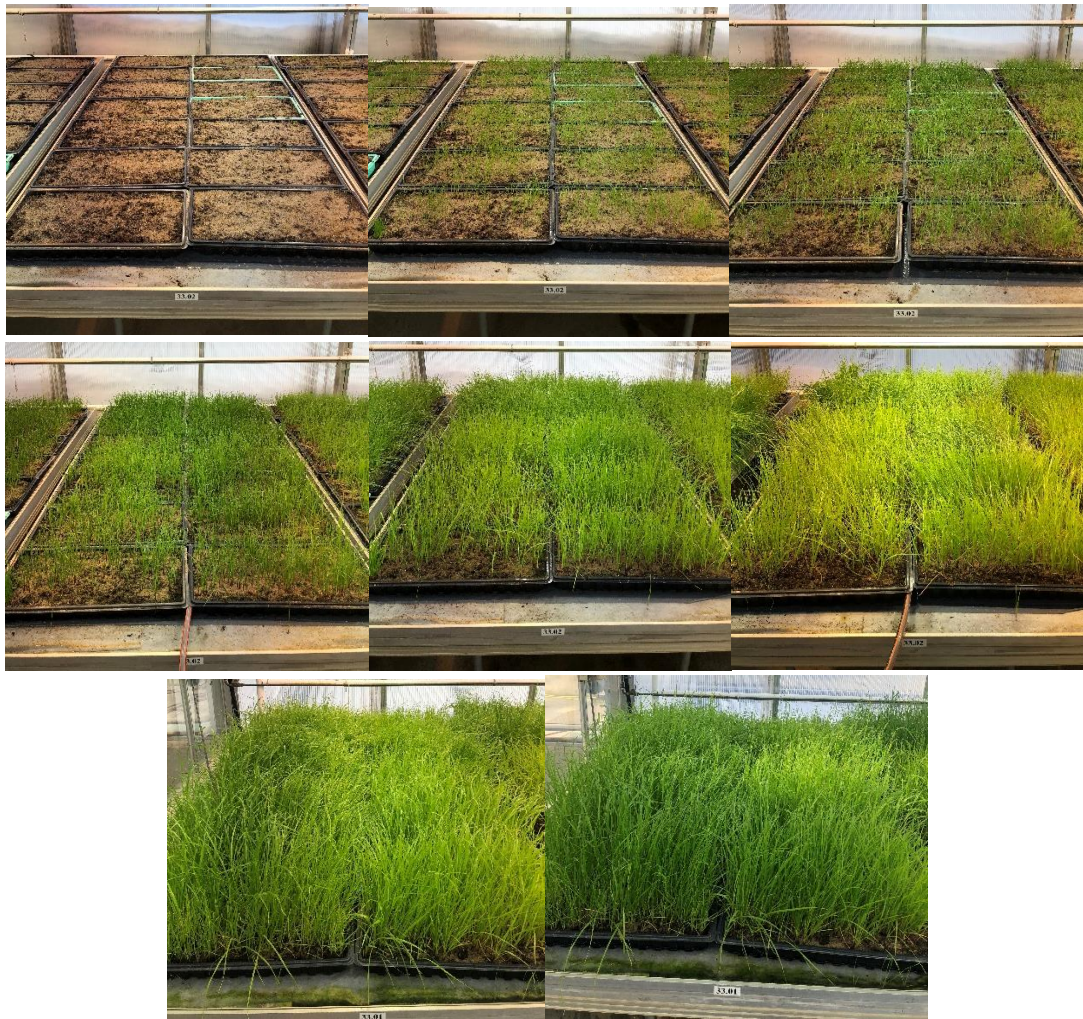
### 8.1 Vollebekk

Vollebekk er et forskningsområde som brukes til forskning av planter, i og utenfor drivhus. For dette forsøket har det blitt dyrket frem gras i plantekar. For å få en rask oppvekst av gras, har det blitt brukt ettårig raigras som har blitt sådd med tilsvarende tetthet som det ville vært ute på enga. Dette graset skal gi en god indikasjon på både kuttemotstand og gjenvekstvilkår ifølge avdelingsingeniør ved instituttet for plantevitenskap, Øyvind Jørgensen.

For oppbygning av plantekar har overingeniør ved senteret for klimaregulert planteforskning, Svend Pung, bidratt med instruksjoner. I Figur 62 ser man en bildeserie som illustrerer de forskjellige oppbygningstrinnene av forsøksriggen og vekststadiene til graset.







Figur 62: Trinnvis oppbygningen av plantekarene og vekstfasene til graset. Bildene av veksten er tatt med jevne mellomrom over 32 dager fra første spiring. (Eget foto)

Graset vokste under følgende vilkår. Fra 12.mars til 4.april var gjennomsnittstemperaturen 22°C og fra 4.april til 16.april var gjennomsnittstemperaturen 18°C. I tillegg ble graset bestrålt med samme lysintensitet døgnet rundt. Dette var anbefalinger gitt av Øyvind Jørgensen for å få vokst graset så fort som mulig. Raigrasfrøene ble sådd 12.mars, men første indikasjon til plantevekst var 16.mars, hvor graset da hadde vokst 4 cm. Antall døgngader blir da regnet ut fra og med 16.mars til og med 16.april med de respektive gjennomsnittstemperaturene.

$$20 \text{ døgn} \cdot 22 \text{ grader} + 12 \text{ døgn} \cdot 18 \text{ grader} = 656 \text{ døgngader}$$

På testdagen hadde mye av graset allerede skutt, og det gjenspeiles i antall døgngader. Som beskrevet i *kapittel 4.1 Gras og grovfôr* er det gunstig å høste graset i underkant av 500 døgngader for å oppnå  $FEM > 0,9$ , som er energirikt gras. I dette forsøket så var det ønskelig å klippe graset på et senere utviklingsstadiet fordi da består graset av en tykkere stengler som gir et mer sammenlignbart gras med grasblandingen som består av timotei, kløver, hundegras osv. som skal brukes i dette prosjektet.



## 8.2 Gjennomførbarheten hos alternative kuttemetoder

Det ønskes å se på evnen de utradisjonelle metodene har til å kutte gras, og gi et omtrentlig estimat på energiforbruket de måtte ha. Etersom test, forsøksmetode og mål er felles for både laserkutter, varmetråd og ultrasoniske kniver lages det kun én testmal med tre resultater og konklusjoner.

### Testhypotese

Laser, varmetråd og ultrasoniske kniver vil på en effektiv måte kunne konkurrere med de tradisjonelle kuttemetodene når det kommer til kuttehastighet og gjenvekstvilkår.

### Mål for testen

Sette opp en god nok test som kan gi troverdige resultater som kan bekrefte eller avkrefte testhypotesen nevnt ovenfor.

Studere kuttensnittet og sammenlikne mot tradisjonelle klippemetoder for å kunne si noe om gjenvekstvilkårene.

Finne ut av hvilken hastighet det er mulig å kutte i med både laser, varmetråd og ultrasoniske kniver.

### Verktøy

#### Laser:

Laserkutter (Thunder laser MARS 90)

Testtrigg (som forhindrer jord i laserkutter)

Gras i plantekar (900X600X70)

Effektmåler (Hameg HM8115-2)

#### Varmetråd:

Strømforsyning (Laboratory DC power supply – GW GPR-1810H)

Motstandstråd (Nikkel)

Varmetråd holder (selvlaget brakett, med innspenning til motstandstråd og ledninger)

#### Ultrasonisk kniv:

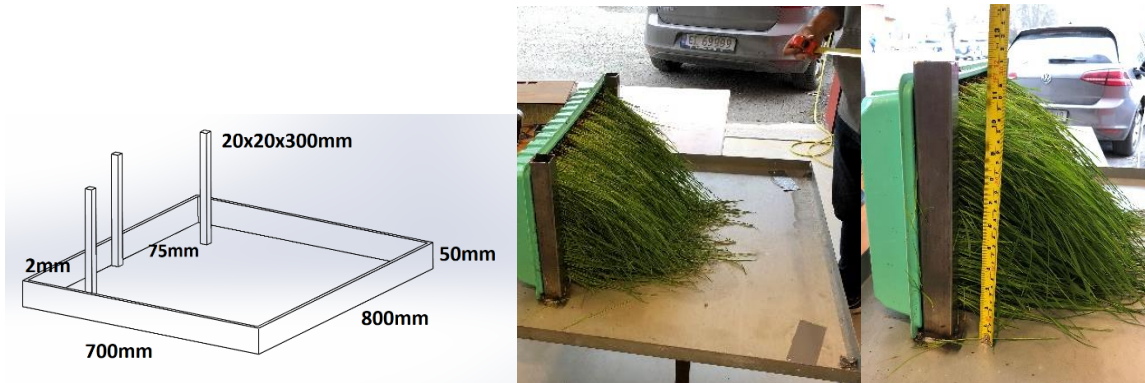
Håndholdt ultrasonisk kniv (Modell: HFC300)

Håndholdt ultrasonisk kniv (Modell: UCF305)

## Forsøksmetode

### Laser:

Ettersom det er ønskelig å opprettholde sikkerheten for menneskene rundt et forsøk som omhandler laser, ble det gjort et valg om å bruke en laserkutter som opererer i et lukket kammer med de sikkerhetstiltak den krever. Det er da nødvendig med en testrigg som gjør det mulig å sette plantekaret loddrett samtidig som man ikke ønsker å søle jorden i maskinene. I Figur 63 vises arbeidstegningen samt testriggen som ble laget på verkstedet ved NMBU.



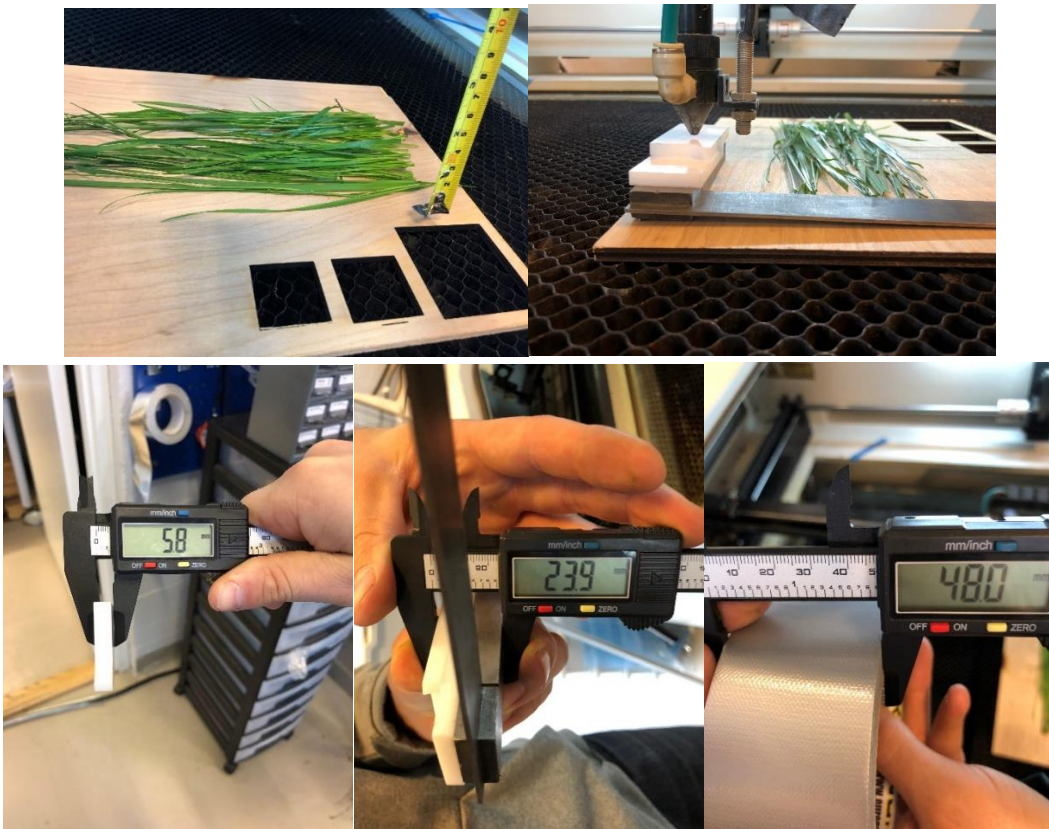
*Figur 63: Testriggen som er laget av 2 mm tykke stålplater og firkantprofiler. Det høyre bildet viser i tillegg at det er om lag 25 cm med gras i den vertikale retningen som det skal kuttes i. (Eget foto)*

Testriggen med plantekaret settes så inn i laserkutteren som vist i Figur 64. Laserhodet justeres til den ønskede stubbehøyden på 10 cm. Deretter kuttes alle kutt på maksstyrken som er 60 W laserstyrke med varierende kuttehastighet for å se kutte egenskapene til laseren på gras.



*Figur 64: Testriggen med plantekaret plassert inn i laserkutteren. Laser hode justeres til den ønskede stubbehøyden 10 cm. (Eget foto)*

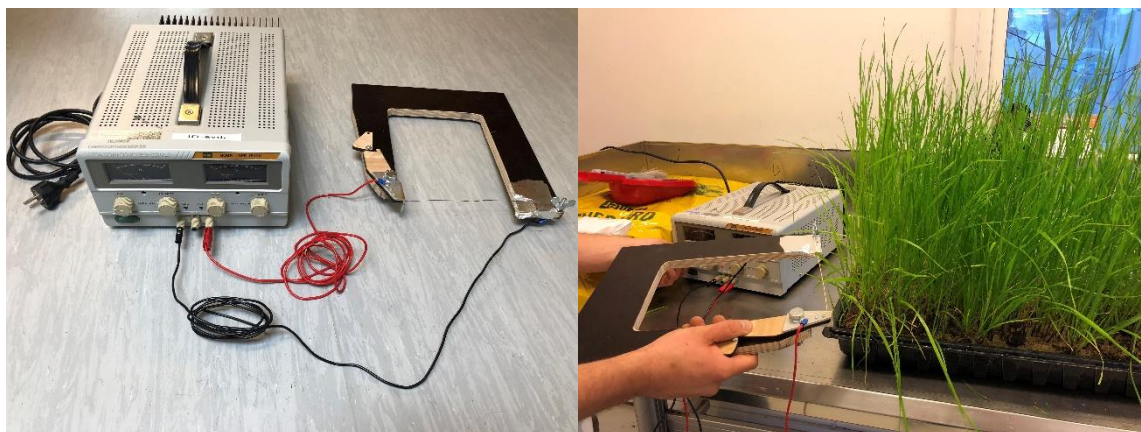
Det gjøres også en test for å teste viktigheten av å holde seg innenfor fokusområde til laserstrålen, som beskrevet i *kapittel 4.4.3 Laserkutter*. For teste dette kjøres laserhode med forskjellige høyde over en plate med gras oppå som vist i Figur 65.



*Figur 65: Testplaten med gras på og de forskjellige avstandene laseren er kjørt over med.  
(Eget foto)*

### Varmetråd:

For varmetråd forsøket setter man opp strømforsyningen, deretter kobles varmetrådkutteren over pluss- og minusuttaket, slik at man lager en lukket krets man kan påsette en strøm som vist i Figur 66 på neste side. Det anbefales å la spenningen være en «fri» variabel mens man justerer strømstyrken, ettersom motstanden på tråden varierer med temperaturen på den. Det er en enkel måte å forsikre seg om at man ikke ødelegger tråden.



Figur 66: Til venstre ser man oppsettet med strømforsyning og tilkoblet varmetråd-kutter. Til høyre vises forsøket på å kutte gras med varmetråd-kutteren. (Eget foto)

Det lar seg gjøre å måle temperaturen på tråden med IR-pistol eller TC element. Det går også an å anslå temperaturen ut ifra fargen på tråden ettersom dette er linket direkte opp mot emisjon. Ved skimting av en glødene rødfarge vil tråden holde ca. 650 grader celsius, ved klar rød farge er tråden på ca. 800 grader celsius. Fra *kapittel 4.4.6 Varmetråd* anbefales det å holde seg til temperaturer under 300 grader for at tråden ikke skal ryke. Det testes i dette forsøket likevel med temperatur helt opp til 800 grader celsius for å se kutteferdighetene.

#### Ultrasonisk kniv:

Test av om ultrasoniske kniver kunne brukes til å kutte gras ble gjennomført av selskapet Cheersonic som er ledende innenfor design, utvikling og produksjon av ultrasoniske maskiner i Kina med over 20 års erfaring. Forsøksmetoden gikk ut på at man skulle føre den ultrasoniske kniven gjennom graset med en jevn håndbevegelse.

## Resultater

#### Laser:

Laseren ble testet med en styrke på 60 W med hastighet på 300, 150 og 50 mm/s i hastighet. Figur 67 på neste side viser resultatet etter å ha kjørt over med alle de tre forskjellige hastighetene. Altså liten eller ingen form for kutting av graset. Lavere hastighet på laseren ble ikke testet da man er avhengig av å holde minimum 1000 mm/s for å kunne konkurrere med de andre slåttesystemene.





*Figur 67: Resultatet etter å ha kjørt over med tre overkjøringer med sine respektive hastigheter på 300,150 og 50 mm/s. Viser liten eller ingen tegn til kutting. (Eget foto)*

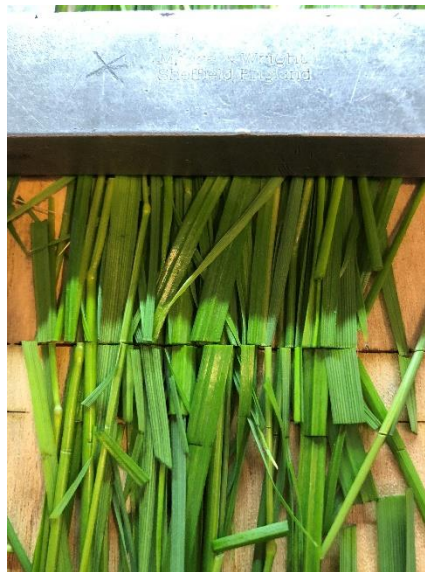
I Figur 68 vises hvilken påvirkning laseren hadde på graset. Det var altså ikke nok effekt på laseren til å klare å kutte av et eneste strå. Man ser også at skadefelt har en stor bredde som tyder på at laserstrålen har hatt et «lite» fokusert angrepspunkt på strået.



*Figur 68: Skaden laseren gjorde på graset med overkjøringshastighet på 50 mm/s. (Eget foto)*

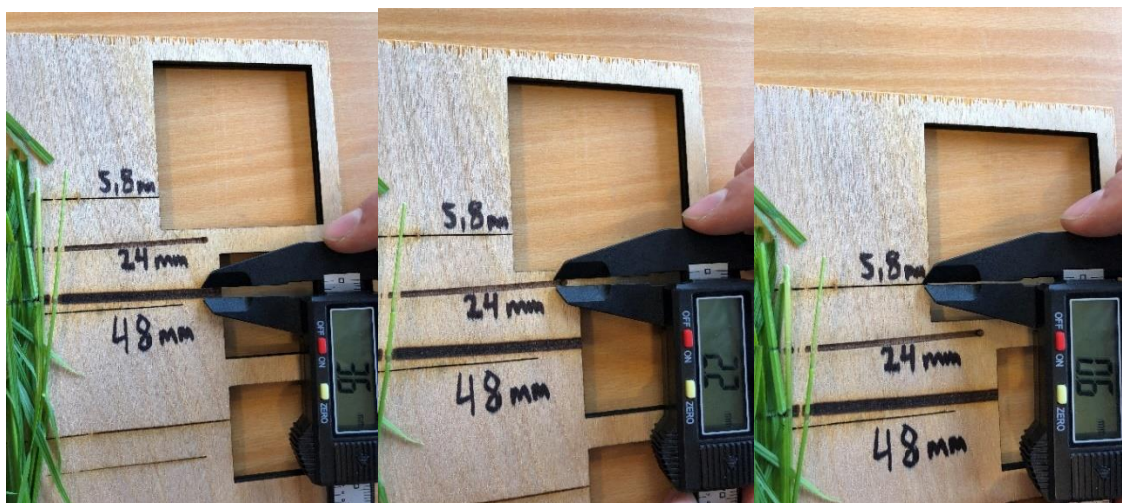
Ved testing av kutting i fokusområde som ligger om lag 6mm fra laserhode vises det helt andre kutteegenskaper ved laserkuttingen. Her kuttes det rett gjennom grasstråene ved en hastighet på 150 mm/s som vist øverst i Figur 69 på neste side. Ved hastighet på 300 mm/s

ble kun de øverste stråene kuttet, mens de stråene som lå bak noen andre ikke ble det. Dette vises nederst i Figur 69.



Figur 69: Kutting med 60 W laserstråle med en hastighet på 150 mm/s og en høyde på 6 mm over platen. (Eget foto)

I Figur 70 ser man avtrykket som laserstrålen setter i platen ved overkjøring med forskjellige lengder ifra platen. Dette avtrykket kan ses på som diameteren det er på laserstrålen når den treffer platen. Denne diameteren er som beskrevet i kapittel 4.4.3 *Laserkutter* direkte koblet opp mot intensiteten laserstrålen har. Dette vil da si at laseren får en veldig dårlig intensitet ved at man øker avstanden fra laserhode.



Figur 70: Avtrykket laserstrålen setter i platen med de forskjellige avstandene fra platen. (Eget foto)

For å gi et grovt estimat på hvilken intensitet man oppnår ved de forskjellige avstandene til laserhode, gjøres det beregninger etter formel 9.1.

$$\text{Lys intensitet} = \frac{\text{effekt}}{\text{Areal}} = \frac{P}{A} \quad (9.1)$$

$$\text{Lys intensitet} = \frac{\text{effekt}}{\text{Areal}} = \frac{60}{D^2 \cdot \frac{\pi}{4}}$$

$$\text{Lys intensitet ved 6 mm} = \frac{60 \text{ W}}{D^2 \cdot \frac{\pi}{4}} = \frac{60 \text{ W}}{(0,6 \text{ mm})^2 \cdot \frac{\pi}{4}} = \mathbf{212 \text{ W/mm}^2}$$

$$\text{Lys intensitet ved 24 mm} = \frac{60 \text{ W}}{D^2 \cdot \frac{\pi}{4}} = \frac{60 \text{ W}}{(2,2 \text{ mm})^2 \cdot \frac{\pi}{4}} = \mathbf{15 \text{ W/mm}^2}$$

$$\text{Lys intensitet ved 48 mm} = \frac{60 \text{ W}}{D^2 \cdot \frac{\pi}{4}} = \frac{60 \text{ W}}{(3,6 \text{ mm})^2 \cdot \frac{\pi}{4}} = \mathbf{5,9 \text{ W/mm}^2}$$

Man kan se at ved en økt avstand med en økt diameter på laserstrålen, synker laserstrålens intensitet betraktelig.

I situasjonen nevnt ovenfor, leses det av et effektforbruk på 420 W mens laserstrålen er gitt til å tilsvare 60 W. Etter formel 4.2 beregnes virkningsgraden under.

$$n = \frac{\text{effekt ut}}{\text{effekt inn}} = \frac{60 \text{ W}}{420 \text{ W}} = 0,143 = 14,3 \%$$

Virkningsgraden er altså 14,3 % som er normalt i forhold til tilsvarende lasere.

#### Varmetråd:

I Figur 71 på neste side ser man at den varmetråden sliter med å kutte graset. Noen av stenglene knekker og brenner av til slutt, men de fleste grasstråene bøyes bare av istedenfor å bli kuttet. Her ser man også at det er så høyt trykk på varmetråden at den bøyes, tiltros for at den har en strammefunksjon som prøver å holde den rett. Ved ytterligere pressing mot graset røk tråden. Her kjøres det også på en temperatur som er langt over ønskelig for å opprettholde styrken i tråden. Dette ble prøvd da graset ikke viste noen tegn til å bli kuttet ved lavere temperaturer.



*Figur 71: Varmetrådens påvirkning på graset med temperatur opp mot 800 grader celsius. (Eget foto)*

I situasjonen nevnt ovenfor, leses det av en spenning på 9 V og 9 A som tilsvarer et effektforbruk på 81 W på 22 cm varmetråd. Dette tilsvarer rundt 370 W/m som er relativt lite effektforbruk sammenlignet med effekt forbruket til de andre tradisjonelle slåmaskinene som vist i *kapittel 4.3.2 Knivbjelke*.

#### Ultrasoniske kniver

Cheersonic rapporterte om at hvis de prøvde å kutte graset mens det sto oppreist i jorda, slik som forsøksmetoden beskrev, la det seg bare ned fordi det var ikke nok motstand i stilken til at graset kunne stå imot kraften. De måtte da holde graset samlet og legge det ned på en plate for å kunne kutte det. Testen ble filmet og oppsettet for testen kan man se på Figur 72 på neste side.





*Figur 72: To forskjellige ultrasoniske kniver som kutter gras. Til venstre ser man en håndholdt kniv som vanligvis er installert på industrielle kuttemaskiner (UCF305), mens til høyre ser man en håndholdt kniv som er mer vanlig til personlig bruk (HFC300).  
(Foto: Cheersonic)*

Tilbakemeldingene fra Cheersonic var at graset var vanskelig å kutte med ultrasonisk kniv. Begge knivene vibrerte med en frekvens på 20 kHz og trakk 1500 W. Kniven til høyre på Figur 72 måtte de skjære med som en vanlig kniv for å komme igjennom graset, altså ha en frem og tilbake bevegelse, mens kniven til venstre kuttet igjennom bare med presskraft. Anbefalingene deres etter å ha testet knivene var at ultrasoniske kniver ikke er egnet til å kutte gras.

## Konklusjon

### Laser:

Testen viser det samme som teoridelen i *kapittel 4.4.3 Laserkutter* påker, at å holde seg innenfor laserens sitt fokusområde er en viktig faktor for å lykkes med kutting samt at virkningsgraden er svært lav. Som testen viser er man allerede på utsiden av fokusområde 24 mm fra laserhodet. Derfor kutter laseren ingen av grasstråene på prøvecuttingen av graset som står i plantekaret. Det snevre fokusområde sammen med den dårlige virkningsgraden fører til et mye høyere effekt behov enn først antatt.

Som testen viser klarer man å kutte ca. 1cm med gras i en hastighet på 0,15m/s, da ville man trengt 170 lasere av denne typen for å klare å kutte bredden på 170 cm som står i kravspesifikasjonene. Det hadde resultert i et effektforbruk på 42 kW/m som er vanvittig mye høyere enn effekt forbruket på tradisjonelle kuttemetoder, samt en kuttehastighet som er langt lavere. Det er ønskelig å kunne klippe i minimum 1,5 m/s for å kunne rekke over nok arealet i forhold til kravspesifikasjonene. Det konkluderes derfor med at laser til bruk som kutteutstyr påmontert Thorvald er lite egnet.

### Varmetråd:

Testen viser at varmetråd egner seg dårlig til kutting av gras. Selv ved temperaturer langt over det som er anbefalt for en varmetrådkutter, kutter den tilnærmet ingen av stråene. Dette kan skyldes det høye vanninnholdet som er på om lag 85 % i strået når det kuttet. Vannet

kjøler ned tråden og den får dermed en dårlig gjennomtrengningsevne fordi varmen går til å fordampe vannet.

#### Ultrasoniske kniver:

Etter anbefalinger fra Cheersonic og etter videoanalyse av testen konkluderes det med at ultrasoniske kniver egner seg dårlig til å kutte gras.

### 8.3 Gjenvekstvilkår

Det ønskes å se hvilken påvirkning de forskjellige kuttemetodene har på gjenveksthastigheten på graset, samt påvirkningen av stubbehøyde. Dette for å styrke oppunder teorigrunnlaget som tilsier at et rent kutt gir bedre gjenveksts vilkår enn et rufsete et, samt stubbehøyde på minimum 10 cm. Dette er et avgrenset forsøk som gjøres på ettårig raigras dyrket i drivhus. Det gjøres ikke tester på gjenvekst hos de ikke tradisjonelle metodene da det ble konkludert med at de egner seg dårlig til kutting av gras påmontert Thorvald.

#### **Testhypoteser**

Et fint kutt vil gi raskere gjenvekst enn et kutt som er rufsete.

Stubbehøyde på 10 cm eller mer gir raskere gjenvekst en stubbehøyde under 10 cm.

#### **Verktøy**

Roterende kutter (Laget av HMR)

Kantklipper (Jonsered GT2128)

Hekksaks (Makita DUH651Z) (Denne har dobbeltniv som kan sammenlignes med kniv-bjelken)

Saks (For å illustrere et perfekt kutt som er helt rett)

#### **Forsøksmetode**

For å kunne sammenligne de forskjellige kuttemetodene og stubbehøyden kuttet det med 5, 10 og 15 cm stubbehøyde for hver metode. I Figur 73 vises de ferdig kuttete plantekarene med de forskjellige stubbehøydene. Plantekarene plasseres så tilbake i drivhuset med samme vekstvilkår som tidligere. Disse optimale vekstvilkårene med full lysintensitet hele døgnet gjøres for at det skal være mulig å gjennomføre testen innenfor denne oppgavens tidsrammer. Det vil kunne bli noe mindre differanse mellom de forskjellige kuttemetodene

ettersom planten alltid har tilgang på vann og ikke den grad vil bli påvirket av væsketapet fra de rufsete kuttene. Deretter måles gjenvekst høyden hver dag.



*Figur 73: De forskjellige redskapene som det er kuttet med, samt kuttehøydene 5, 10 og 15 cm. (Eget foto)*

Forklaring på de forskjellige kuttemetodene vist i Figur 73. Øverst til venstre er det tatt med en kantklipper med trimmetråd. Øverst til høyere er det brukt en roterende knivkutter som sammenlignes med sylinder og skiveslåmaskinen. De to nederste bildene i viser hekkeklipper med dobbeltvirkende kniv og til høyere saks. Disse to verktøyene er tatt i bruk for å illustrere bruken av knivbjelke.

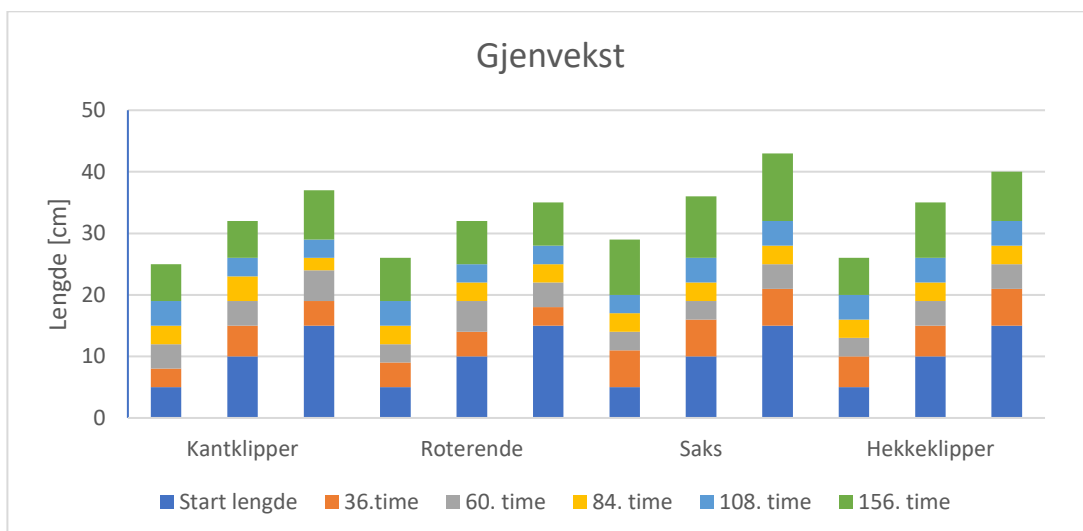
## Resultater

I Figur 74 ser man forskjellen på kuttoverflaten ved bruk av saks og roterende kniv. Til venstre et rent og fint kutt fra saks, mens til høyre et rufsete kutt fra den roterende kniven. Graset til høyre kan se ut som nesten er dratt fra hverandre.



Figur 74: Illustrerer forskjellen på kutteoverflaten med saks og roterende kniv. Til venstre ser man et rent og fint kutt, mens til høyre ser man et strå som er slått av med rufsete overflate. (Eget foto)

Målingene som ble gjort av gjenveksten er de første 108 timene gjort for hver 24. time. Den siste målingen markert i grønn er gjort med et intervall på 48 timer. Resultatene er satt opp i Figur 75.



Figur 75: Den blå fargen viser de respektive startlengdene på 5, 10 og 15 cm for hver kuttemetode, deretter vises utviklingen frem til de angitte timene med forskjellige farger. Det siste intervallet markert i grønt er over 48 timer istedenfor 24 timer som de andre fargene.

Av grafen ser man at det er saks og hekkeklipper som kommer best ut med sine 43 cm og 40 cm gjenvekst, kontra 37 og 35 cm for kantklipper og roterende kutter. Disse resultatene var for stubbehøyden på 15 cm. Tabell 16 viser den summerte gjenveksten for de forskjellige kuttemetodene.

*Tabell 16: Summert gjenvekst etter 156 timer for de forskjellige kuttemetodene. Her er altså gjenveksten fra 5, 10 og 15 cm lagt sammen.*

	Kantklipper	Roterende	Saks	Hekkeklipper
Summert gjenvekst fra alle stubbehøyder	<b>64 cm</b>	<b>63 cm</b>	<b>78 cm</b>	<b>71 cm</b>

Fra Tabell 16 ser man at saks og hekkeklipper har en lengere gjenvekst enn kantklipper og roterende klipper.

Tabell 17 viser den gjennomsnittlige gjenveksten ved de forskjellige stubbehøydene.

*Tabell 17: Gjennomsnittlig gjenvekstlengde etter 156 timer for de respektive stubbehøydene på 5, 10 og 15 cm.*

	5cm	10cm	15cm
Gjennomsnittlig gjenvekst for alle metodene	<b>21,5 cm</b>	<b>23,8 cm</b>	<b>23,8 cm</b>

Resultatet viser at det er noe bedre gjenvekst på graset som har blitt kuttet med stubbehøyde på 10 cm eller mer.

### **Foreløpig konklusjon**

Resultatene styrker oppunder teorigrunnlaget som sier at et fint kutt og stubbehøyde over 10 cm vil gi raskere gjenvekst fra *kapittel 4.1 Gras og grovfôr*.



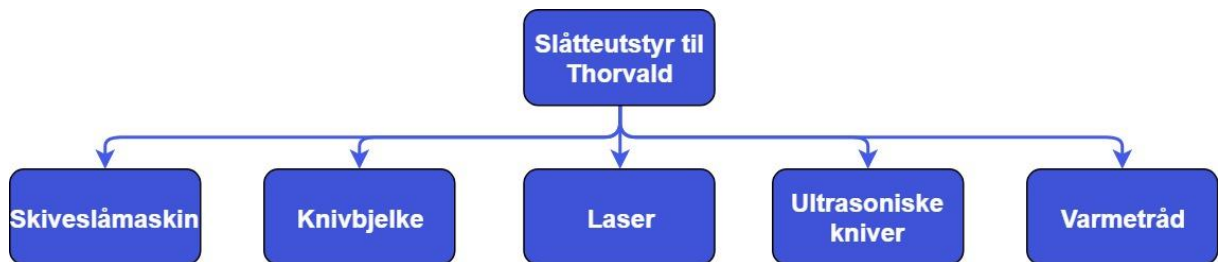


## 9 Konseptgenerering

Dette kapittelet tar for seg utviklingen av de forskjellige funksjonene som må til for å nå hovedmålet ved denne oppgaven. Først fremlegges en skjematisk funksjonsanalyse, deretter evalueres alle alternativene.

### 9.1 Funksjonsanalyse

De forskjellige løsningene som kan utføre hovedfunksjonen ved denne oppgaven er satt opp i Figur 76. Dette funksjonstreet skal på en enkel måte synliggjøre de forskjellige løsningene som evalueres i dette kapittelet.

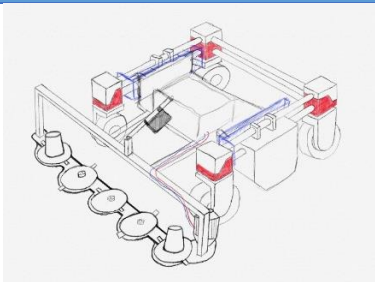


Figur 76: En oversikt over de forskjellige løsningene som evalueres til å utføre oppgavens funksjon.

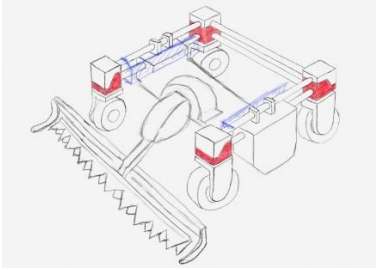
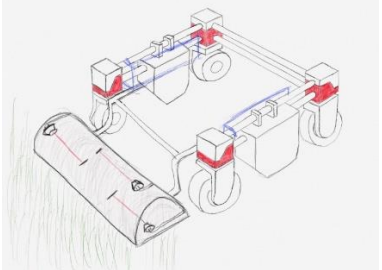
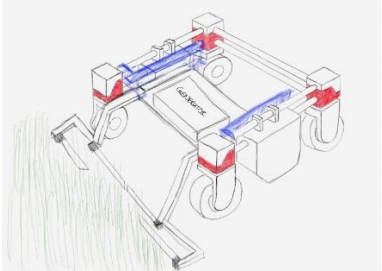
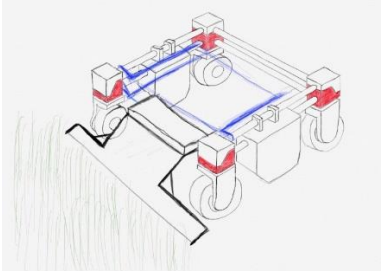
### 9.2 Løsningsalternativer

Nå som et teorigrunnlag er etablert, samt en test som går på gjennomførbarhet og gjenvekst, gis det en kort gjennomgang av de forskjellige kuttemetodene med tilhørende fordeler og ulemper i Tabell 18.

Tabell 18: En oppsummering med begrunnelse for hvilke kuttemetoder som tas med videre og hvilket som ikke tas med.

Illustrasjon	Diskusjon
	<p><b>Skiveslåmaskin</b></p> <p>Skiveslåmaskinen påmontert kniver eller trimme-tråd har et høyt effektbehov, lite gunstig gjenvekstvilkår samt dårlig påvirkning på dyr og insektlivet. Fordelen med at denne kuttemetoden kan slå gras i en høy hastighet blir også overflødig når den nominelle hastigheten til Thorvald er 5 km/t. Noe som derimot er gunstig ved denne kuttemetoden er at den så å si er fri for pakkings problemer med gras. Den har også muligheten til å breispre graset direkte.</p>

Tabell 18 forts.

Illustrasjon	Diskusjon
	<p><b>Knivbjelke</b></p> <p>Knivbjelke har et lavt effektbehov sammenlignet med de andre kuttemetodene. Den kommer gunstig ut når det kommer til gjenvekstvilkår og påvirkning på dyr og insektliv som er viktig for en balansert økologi. Den kan leveres med vedlikeholdsfri oljebad girkasse til omgjøring fra rotasjonsbevegelse til lineær bevegelse. Slidedelene som knivblad er enkle å komme til ved utskiftning. Ulempene ved knivbjelken er at den mer utsatt for driftsstans ved uforutsette hindringer på jordet, som plastposer, steiner, trær eller lignende.</p>
	<p><b>Laser</b></p> <p>Snevert fokusområde samt dårlig virkningsgrad som fører til et meget høyt effektbehov er hovedgrunnen til at denne kuttemetoden ikke når målene som skal til for å gjøre det til et rasjonelt produkt til bruk som slåtteutstyr på Thorvald. Når det er sagt er fordel ved laser at den krever meget lite vedlikehold ettersom det få eller ingen bevegelige deler.</p>
	<p><b>Ultrasoniske kniver</b></p> <p>For lav bøyemotstand i graset gjør at det ses utfordrende å kutte gras med ultrasoniske kniver da graset legger seg istedenfor å bli kuttet. Det er imidlertid også et meget dyrt produkt som krever mye effekt relativt til de andre kuttemetodene som det ses på i denne funksjonsanalysen. Den største fordelen er at ultrasoniske kniver er tilnærmet vedlikeholdsfrie, ettersom den mekaniske bevegelsen er minimal.</p>
	<p><b>Varmetråd</b></p> <p>Til tross for fordelen med lav vekt, vedlikeholdsfri system og lavt effektforbruk, er dette kuttemetoden lite egnet til å slå gras og det er bevist gjennom testing. Den vil da ikke tilfredsstillende ytelsesmålene som er satt ved produktspesifisering.</p>

Det vil i neste kapittel bli gjennomført en utvelgelse basert på kuttemetodenes egenskaper listet opp i tabellen over.



## 10 Egenscreening av type anordning

I dette kapittelet skal det gjøres en utvelgelse av kuttemetode gjennom selekteringsverktøyet Pughs. Det settes opp en selekteringsmatrise, der de rangerte produkttegenskapene brukes med tilhørende vektning fra *kapittel 5.2 Rangering av viktige produkttegenskaper*.

### 10.1 Egen konseptscreening

I dette kapittelet utvikles en selekteringsmatrise og de forskjellige produkttegenskapene ved de ulike kuttemetodene gis en verdi fra 1 til 3. De forskjellige verdiene defineres i listen under.

- 1 – Tilfredsstillende ikke
- 2 – Tilfredsstillende i noen grad
- 3 – Meget godt tilfredsstillende

Selekteringsmatrisen i Tabell 19 fungerer slik at vektningen av de respektive produkttegenskapene ganges med verdien de enkelte kutteutstyrene får ved de enkelte produkttegenskapene. Dette gjøres for å tydeligere kunne skille kuttemetodene fra hverandre. Deretter legges alle verdiene sammen for hver kuttemetode og de får en totalsum hvor den som scorer høyest, er den metoden som egner seg best til å kutte gras.

Tabell 19: Selekteringsmatrisen som tar for seg utvelgelsen av egnet kuttemetode for landbruksroboten Thorvald.

Produkttegenskap	Vekt	Skiveslå-maskin	Knivbjelke	Laser	Ultrasonisk kniv	Varme-tråd
<b>Kompleksitet</b>						
Bestå av smidige deler	5	3	2	1	1	1
Enkelt å montere og demontere	4	2	3	2	1	3
Et produksjons gunstig design	3	2	3	1	1	3
<b>Vedlikehold</b>						
Robusthet	4	3	3	3	3	1
Enkel prosedyre ved vedlikehold	2	2	2	1	1	3
Utskiftbare slidedeler	4	3	2	2	2	3
<b>Pris</b>						

Tabell 19 forts.

Produkttegenskap	Vekt	Skiveslå- maskin	Knivbjelke	Laser	Ultrasonisk kniv	Varme- tråd
Konkurransedyktig pris	2	2	3	1	1	3
Lavere driftskostnader enn konkurrerende løsninger per dekar	5	2	3	1	1	3
<b>Ytelse og vekt</b>						
Klippeutstyret skal ha en vekt på under 100 kg.	4	2	3	3	3	3
Skal kunne slå minst 50 daa på 8 timer.	5	3	3	1	1	1
Effektforbruk lavere enn 780 W.	3	1	2	1	1	3
<b>Ergonomisk design</b>						
Skal ikke utøve fare for insekter og dyr.	4	1	3	2	3	2
<b>Konstruksjon</b>						
Maksimalt tillatt akslingstrykk.	5	2	3	3	3	3
Justerbar kutte høyde	4	3	3	2	3	2
	SUM	132	159	95	113	125

Seleksjonsmatrisen gir høyest vektet verdi til knivbjelken på 159 poeng. Denne verdien skiller seg markant fra de andre alternativene. Det betyr at det knivbjelken som er mest egnet som kuttemetode til Thorvald i henhold til de produktmålsettingene som er satt. Den kuttemetoden som har fått nest høyest vektet verdi er skiveslåmaskinen med sine 132 poeng, den bør derfor ses som en potensiell erstatter om det skulle vise seg stor skepsis fra ekstern testen, om bruk av knivbjelke. En ting å bemerke seg er verdiene til varmetråd, som ligger like under skiveslåmaskin med sine 125 poeng. Varmetråden får en såpas høy vektet verdi fordi den ville vært et meget godt alternativ dersom den hadde hatt evnen til å kutte gras, noe den ikke hadde. Ettersom selekteringsmatrisen kun har med to punkter som går direkte på ytelse rettet mot kuttingen og gjenvekstvilkår av gras, vil ikke nødvendigvis metodene som er lite egnet til å slå gras få markant lavere vektet verdi.

Under kommer forklaring til scorene som er gitt til de forskjellige kuttemetodene for de forskjellige produktmålene:

### **Skiveslåmaskin**

Skiveslåmaskinen får full uttelling på smidige deler ettersom de roterende knivene så å si er immune for pakking av gras eller andre typer stans. Knivene drar med seg graset uansett. Noe lavere score gis for et produksjonsgunstig design dette fordi den består av veldig mange bevegelige deler som er maskinert med høy presisjon, og derfor en betydelig kostnad. Når det kommer til vedlikehold gis det full poengsum for dens robuste og slitesterke design, samt enkle metoden å skifte kniver på. Ettersom det kan dra med seg en mer omfattende jobb å reparere drivverket bestående av en rekke drev, får den noe lavere score på punktet om enkel prosedyre ved vedlikehold/repasasjon.

Skiveslåmaskinen får middels score når det kommer til pris, dette fordi dens kompliserte drivverk gir den en nokså høy produksjonskostnad samt at den har et 3 ganger så høyt effektbehov som knivbjelken, som fører til høyere driftskostnader. Dette gir den også dårlig poengsum på dens effektforbruk som er høyere enn 780 W med ønsket kuttebredde og hastighet. Det trekkes poeng ved dens reduserte gjenvekstvilkår samt høye vekt, mens dens kapasitet gis full score.

### **Knivbjelke**

Knivbjelken får middels score når det kommer til smidige deler, dette fordi ved bruk av for eksempel fingerbjelke kan være fare for pakking av gras oppe på kniven som kan sette dens funksjon ut av drift. Andre hindringer som plast poser eller lignende kan også gjøre at den slutter å kutte på det område posen dekker til. Knivbjelken består av enkle komponenter som krever lite maskineringsteknikk som gir den full poengsum på punktet om et produksjons gunstig design.

Vedlikeholdet og reparasjoner ved en knivbjelke som består av få deler som er enkle å komme til poeng settes med god score. Både pris og driftskostnader score gis med full score ettersom knivbjelken kan lages forholdsvis billig samt dens lave effekt behov. Dens ytelse ses også som meget gode og poeng settes med full score.

Knivbjelken er skånsom mot insekt- og amfibielivet, som gir den tre poeng på dette punktet. Når det kommer til høydejustering av kutte høyde scorer metoden fullt ut. Dette fordi bjelken flekser ved lange spenn, noe som gjør at den følger terrenget godt. Dette på skliende høydejusteringsskids.

### **Laser**

Laserkutter er komplisert utstyr som scorer dårlig når det kommer til kompleksitet og vedlikehold. Dette fordi det kreves ekstern kompetanse for alt av vedlikehold og reparasjoner. Laserne er derimot brukt mot industriene og kan derfor leveres meget robuste. Når det kommer til pris og driftskostnader ved en laserkutter ses det som en kostbar løsning.

Dette fordi det er meget dyr teknologi å kjøpe inn samt dens lave virkningsgrad som fører til et stort effektbehov. Dens totale vektet verdi blir lav da den gjennom teori og testing viser seg lite egnet til kutting av gras.

### **Ultrasoniske kniver**

Ultrasoniske kniver scorer også lavt på flere av produktmålene ettersom det gjennom testing viser seg å være en uegnet løsning for kutting av gras. Samt at den enn så lenge er meget dyr.

### **Varmetråd**

Varmetråd er både lett, lite kompleks og krever lite energi, men dens manglende evne til å kutte gras gir den ubrukelig til tross for en grei totalscore.

## **10.2 Foretrukket løsning**

Ved hjelp av selekteringsmatrisen i forrige kapittel konkluderes det med at knivbjelken er det mest eigna kutteredskapet i forhold til de produktmålene som er satt. Innenfor knivbjelker finnes det en rekke forskjellige typer som nevnt i *kapittel 4.3.2 Knivbjelke*. De forskjellige typene er optimalisert for forskjellige formål avhengig av kapasitet og bruksområde.

Blant knivbjelker finnes det flere forskjellige leverandører. ESM og BCS er de største i Europa som leverer knivbjelker til de fleste maskinprodusenter som utvikler tohjulstraktorer eller lignende som bruker knivbjelker. ESM er den desidert største leverandøren, og har også best erfaring med å serve utviklingsprosjekter med den veiledning og støtte det måtte trenge. Det har derfor blitt valgt å bruke ESM som leverandør av knivbjelke.

Gjennom diskusjon og veiledning med ESM er det kommet frem til at Bidux-systemet er det best eigna systemet for formålet. Den type knivbjelke er den som i størst grad er lagd for profesjonelt bruk og som brukes av tilsvarende konkurrenter som Brielmaier osv. Denne bjelken typen er minst utsatt for pakking av gras, samt den mest energieffektive bjelken de har. Sammen med knivbjelken trenger man en girkasse som omgjør roterende bevegelse til lineær bevegelse. Det finnes forskjellige løsninger med forskjellige krav til vedlikehold. ESM leverer en girkasse i oljebad som skal være tilnærmet vedlikeholdsfri. Ettersom produktmålet robusthet vektlegges med verdien 4 som beskrevet i *kapittel 5.2 Rangering av viktige produktegenskaper* velges det å gå for den noe dyrere, men vedlikeholdsfrie girkassen i oljebad.

# 11 Tidlig lønnsomhetsanalyse

Selv om det er i et tidlig stadium så kan det være relevant å se om en investering i Thorvald med knivbjelken lønner seg for sluttbrukeren og eventuelt hvor fort den tilbakebetales, kontra å kjøpe en av de konkurrerende løsningene. Da er det viktig å sammenligne de totale kostnadene som innebærer driftskostnader, vedlikeholdskostnader, investeringskostnader og arbeidskostnader. Det er ønskelig å gjennomføre en grov inntjeningsanalyse som forteller hvor mange dekar man må slå før en investering i Thorvald med knivbjelken tilbakebetales. Vedlikeholdskostnader for kutteanordningen til Thorvald og konkurrenten er uforutsigbare kostnader og vanskelig å estimere så de blir neglisjert i denne analysen. Det vil bli brukt investeringskostnader og driftskostnader basert på de gjennomsnittlige verdiene fra *kapittel 6 Konkurrerende løsninger* når det kommer til estimeringen av kostnaden ved konkurrerende løsning.

## Kostnadsestimat og inntjeningsanalyse

Kostnadsestimat ved bruk av konkurrerende løsning:

### Kjøpsskostnad

De gjennomsnittlige verdiene på maskin og slåttestyr man kan finne i Tabell 15 i *kapittel 6 Konkurrerende løsninger* er på 290 000 kr og 79 500 kr. Totalt blir det:

$$\begin{aligned} \mathbf{kjøpsskostnad}_{konkurrent} &= \mathit{pris}_{maskin} + \mathit{pris}_{ststyr} = \\ &290\,000\text{ kr} + 79\,500\text{ kr} = \mathbf{369\,500\text{ kr}} \end{aligned}$$

### Driftskostnad

En gjennomsnittlig verdi på forbruk per dekar hos de konkurrerende løsningene er regnet ut til å være 0,35 l/daa.

$$\mathit{forbruk} = 0,35 \frac{\text{l}}{\text{daa}}$$

Med en gjennomsnittlig drivstoffpris fra januar 2017 til mars 2018 på 14,17 kr blir driftskostnadene [72]:

$$\begin{aligned} \mathbf{driftskostnad}_{konkurrerende} &= \mathit{forbruk} \cdot \mathit{avgift}_{diesel} = \\ &0,35 \frac{\text{l}}{\text{daa}} \cdot 14,17 \frac{\text{kr}}{\text{l}} = \mathbf{4,96\text{ kr/daa}} \end{aligned}$$

### Arbeidskostnad

De konkurrerende løsningene styres med fjernkontroll eller manuelt. Det er derfor viktig å inkludere arbeidskostnaden til bonden.

$$\mathit{arbeidskostnad}_{time} = 350 \frac{\text{kr}}{\text{timen}}$$

Omregning til arbeidskostnaden per dekar, med gjennomsnittlig data på hastighet og klippebredde tatt i betraktning, gir en arbeidskostnad per dekar på:

$$\mathit{arbeidskostnad}_{dekar} = 21,9 \frac{kr}{daa}$$

### Total kostnad

Ved å legge alle faste og variable kostnader sammen så får man en kostnadsligning:

$$y_{konkurrent} = 4,96x + 21,9x + 369\,500 = 26,86x + 369\,500$$

Kostnadsestimat ved bruk av Thorvald med knivbjelke:

### Kjøpskostnad

Roboten Thorvald er den dag i dag estimert til å koste 250 000 kr. Om dette er salgspris ved en serieproduksjon er usikkert, men man antar det i denne analysen. Dette prisen vil variere avhengig av hvor mange og hvilke sensorer roboten trenger. Det gjøres et grovt overslag og bestemmes at sensorer for styring og navigering vil øke totalprisen med 100 000 kr. En serieproduksjon av knivbjelken og drivmotor antas til å være 30 000 kr.

Totalprisen på Thorvald med klippeanordning vil da være:

$$\begin{aligned} \mathit{kjøpskostnad}_{Thorvald\ m/knivbjelke} &= \mathit{pris}_{Thorvald} + \mathit{pris}_{sensorer} + \mathit{pris}_{knivbjelke\ m/motor} \\ &= 250\,000\ kr + 100\,000\ kr + 30\,000\ kr = 380\,000\ kr \end{aligned}$$

### Driftskostnad

De tilgjengelige wattimene på 3 batteripakker er:

$$\mathit{wattimer}_{total} = 3 \cdot \mathit{wattimer}_{batteri} = 3 \cdot 3\,360\ Wt = 10\,080\ Wt$$

At Thorvald med klippeanordningen skal klare å slå 50 dekar gras før batteriene må lades gir oss ett forbruk per dekar på:

$$\mathit{forbruk} = \frac{10\,080\ Wt}{50\ daa} = 201,6 \frac{Wt}{daa} = 0,2016 \frac{kWt}{daa}$$

Driftskostnadene for Thorvald ved kutting av gras med 3 batterier, med gjennomsnittlig strømvavgift på 98,2 øre/kWt hentet fra SSB [73], der kraft, nett og avgifter er inkludert:

$$\begin{aligned} \mathit{driftskostnad}_{Thorvald} &= \mathit{forbruk} \cdot \mathit{avgift}_{strøm} = \\ &0,2016 \frac{kWt}{daa} \cdot 0,982 \frac{kr}{kWt} = 0,198\ kr/daa \end{aligned}$$

## Arbeidskostnader

Siden roboten Thorvald skal jobbe autonomt er det ingen arbeidskostnader for bonden.

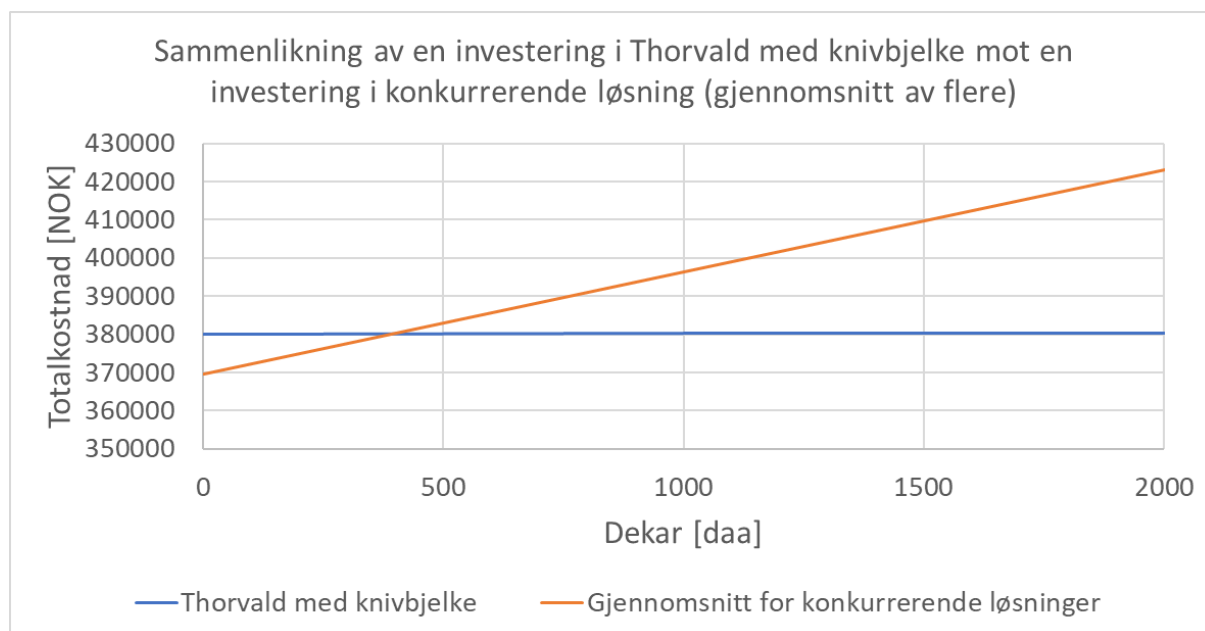
## Total kostnad

Ved å legge alle faste og variable kostnader sammen så får man en kostnadslikning:

$$y_{\text{Thorvald med knivbjelke}} = 0,198x + 380\,000 \text{ kr}$$

## Sammenlikning

I Figur 77 ser man hvor mange dekar man må slå før man har tjent inn roboten med klippeutstyr, uten å ta med kostnader som vedlikehold og andre reparasjonskostnader som kan oppstå underveis.



Figur 77: Tidlig lønnsomhetsanalyse for en investering i Thorvald med knivbjelken.

Av Figur 77 kan man se at kjøpskostnaden til Thorvald med knivbjelken er 10 000 kr dyrere enn konkurrerende løsninger med de antagelsene som er gjort. Ved 411 daa slått gras så vil forskjellen i kjøpskostnad være tilbakebetalt. Og bonden går i pluss etter dette stadiet. Men det finnes store usikkerheter ved denne analysen. Siden dette er en tidlig lønnsomhetsanalyse hvor kostnaden av roboten og sensorene ikke er spikret fast ved en serieproduksjon kan den være feilaktig. Det man kan fastslå er at driftskostnadene er betydelig lavere ved bruk av den autonome Thorvald. Sluttbrukeren kan spare 26 662 kr per 1000 dekar slått. I tillegg så er det kjent faktum at en forbrenningsmotor, som de konkurrerende løsningene har, har høyere og hyppigere vedlikeholdskostnader enn elektromotorene som driver Thorvald og knivbjelken.





## 12 Ekstern konseptscreening

For å få objektive innspill fra kompetanserike folk innenfor fagfeltet, har det blitt gjennomført jevnlig møter gjennom utviklingsprosessen. Ved hjelp av disse møtene har man fått tilbakemeldinger fra flere innfallsvinkler fra folk med variert kompetanse.

### 12.1 Målsettinger for møtene

Møtene har bestått av åpne dialoger der det er rom for alle innspill. Møtene har også foregått på et kompetansenivå slik at alle skulle henge med på poengene som ble fremlagt. Møtene har ledet opp til diskusjon, der fordeler og ulemper ble drøftet objektivt.

### 12.2 Testpopulasjon

Det var to testpopulasjoner, den ene var Thorvaldteamet ved Saga Robotics, mens den andre populasjonen var gruppen i forskningsprosjektet *GrassRobotics*.

#### Saga Robotics

Saga Robotics er teamet som har utviklet Thorvald II plattformen som skal brukes i dette prosjektet. Dette teamet har laget roboten fra bunn av, og kan derfor bidra med innspill på hvilke egenskaper roboten har. De har også en bred erfaring i implementering av verktøy og styring av forskjellige dynamiske og ikke dynamiske komponenter, som gjør det svært verdigfult å ha ukentlige møter med dem. Gruppen består av stipendiater og ferdigutdannede masterstudenter.

#### *GrassRobotics*

*GrassRobotics* består av en gruppe folk med bakgrunn helt fra grasdyrkingen skjer til melken/kjøttet er ferdig. Gruppen består også av folk med helt andre innfallsvinkler som fylkesmenn og ledere for Bondelaget.

Følgende personer har bidratt fra *GrassRobotics*:

<b>Nils Bjugstad</b>	<b>Professor NMBU – Fakultetet for real FAG og teknologi</b>	Ekspert innenfor agroteknikk
<b>Tilmann Hettasch</b>	<b>PhD Tekniske universitet i Munchen. Tine – Spesialrådgiver</b>	Ekspert innenfor maskin fag og systemer
<b>Synnøve Rivedal</b>	<b>Forsker NIBIO</b>	Ekspert innen vekstvilkår for gras og matproduksjon
<b>Liv Østrem</b>	<b>Forsker NIBIO</b>	Ekspert innen vekstvilkår for gras, og matproduksjon

<b>Håvard Steinshamm</b>	<b>Seniorforsker NIBIO</b>	Ekspert innen fôrdyrking og utnytting grovfôrs arealer, samt fôrutnyttelse hos drøvtyggere.
<b>Thor André Fløtre</b>	<b>Siviløkonom HMR Voss</b>	Leverandør av tjenester med maskinering og produktutvikling fra HMR Voss som har 84 års erfaring som firma. Mjølkebonde
<b>Anders Felde</b>	<b>Leder Leder i Sogn og Fjordlande Bondelag</b>	Fronter bøndenes behov og utfordringer.
<b>Anders Moen</b>	<b>Produksjonsingeniør Orkel</b>	Utvikler av landbruksmaskiner. Rådgiver bær og teknikk
<b>Jan Karstein Henriksen</b>	<b>Rådgiver Norges Landbruksrådgiving Agder</b>	Programmert grovfôrøkonomi
<b>Dag Helle</b>	<b>Utdannet agrotekniker Regionssjef for Felleskjøpet Møre og Romsdal, Sogn og Fjordane og Hordaland</b>	Ekspert innenfor landbruksmaskiner
<b>Bjørn-Harald Haugsvær</b>	<b>Sivilagronom Fylkesmann Sogn og Fjordane</b>	Fronter bøndenes behov og utfordringer.

### 12.3 Innhold og kommunikasjonsform

Møtene startet med en presentasjon av oppgavens ståsted og utfordringer i form av PowerPoint presentasjoner. Deretter ledet det opp til diskusjon rundt utfordringene som ble tatt opp. Med Saga Robotics var disse møtene mer eller mindre ukjentlig, mens med *GrassRobotics* var det satt av to heldagsmøter samt en middag for å bli kjent.

## 12.4 Tilbakemelding og tolkning

Tilbakemeldinger fra disse møtene har blitt notert og tatt med som en naturlig del av denne rapporten. De innvendinger og diskusjoner som har blitt gjort har ført oppgaven i den retning den har tatt.

Tilbakemeldingene fra siste møte som tok for seg bruken av Bidux-knivbjelken er listet opp i Tabell 20.

*Tabell 20: Tilbakemeldinger fra det siste møte om bruken av Bidux-bjelken på Thorvald, samt drøfting og mulig løsning.*

Tilbakemelding	Drøftet mulig løsning
<p><b>Legde</b> I utgangspunktet skal kuttemaskinen brukes til å slå gras i tidlig utviklingsfase, men dersom det skulle bli aktuelt å slå tradisjonelt 2-3 slått system vil graset kunne være i et senere utviklingsstadiet. Dette fører til at det oppstår en vis fare for legde, noe som betyr at graset har lagt seg jamt med bakken. Det vil da kunne oppstå utfordringer med å holde en jevn stubbehøyde eller kutte graset i det hele tatt ettersom det ligger lavere enn den innstilte stubbehøyden på kniven.</p>	<p><b>Stråløfter</b> Det vil kanskje være nødvendig med en ekstra anordning for å «løfte» graset i forkant av kutteprosessen. En annen mulighet er å kjøre i motsatt retning av legden. Det vil kunne gjøre det enklere å «løfte» graset før det kuttes.</p> <p>Dette er en utfordring man ikke vet omfanget av enda. Det ønskes derfor å ses nærmere på ved utprøving av prototypen.</p>
<p><b>Tetlagt gras gir dårlig fortørking</b> Ved noen slåmaskintyper kan graset selv med breispreiding få en redusert fortørking grunnet den flate og tette strukturen det legger seg på etter at det har blitt slått. Dette gjelder fortrinnsvis ved kutting av gras i en sen utviklingsfase.</p>	<p><b>Rufser</b> Det vil da kunne være nødvendig med en «rufser» for rote til strukturen det legger seg i. En mulig løsning er en bak montert roterende trommel på Thorvald som kan «kaster» graset bakover.</p> <p>Dette er en utfordring man ikke vet omfanget av enda. Det ønskes derfor å ses nærmere på ved utprøving av prototypen.</p>
<p><b>Stråskiller for å unngå pakking av gras oppå girkassa til kniven.</b> Ettersom girkassa er sentrert på midten av knivbjelken er det en vis fare for at graset trengs å føres forbi den.</p>	<p><b>Stråskiller</b> En mulig løsning er en stråskiller i fremkant av girkasse.</p> <p>I etterkant av møtet ble det undersøkt nærmere og funnet ut at dekslet over girkassa er festet til lineær bevegelsen til kniven slik at den rister av graset.</p>

Tabell 20 forts.

Tilbakemelding	Drøftet mulig løsning
<p><b>Løftemekaniske for transport.</b></p> <p>Da roboten må transporteres er det gunstig at knivbjelken kan løftes slik at knivene er mindre utsatt for skader.</p>	<p><b>Løftefunksjon</b></p> <p>En hurtigtilkobling av verktøy på Thorvald med løftefunksjon er under utvikling så det vil være nødvendig å lage en egen opphengsramme med løftefunksjon.</p>

Ut av tabellen over ser man et lite utdrag av tilbakemeldingene fra det siste møte. Disse og tilbakemeldingene fra de tidligere møtene har alle blitt drøftet og brukt i utviklingen. De utfordringer det knyttes større usikkerhet til, samt de som ikke rapporten omhandler å løse, drøftes i *kapittel 14.2 Resultatdiskusjon*. Noen av punktet vil være naturlig å videreføre til videre arbeid.

## 13 Tidlig prototype

Dette kapitlet tar for seg en presentasjon av en tidlig prototype som skal lages. Det gjøres noen grunnlagsberegninger og FEM simuleringer på deler av prototypen. Utredning-, utvikling og monteringskostnadene blir presentert og det fremlegges anbefalte tilsyns- og vedlikeholdsprosedyrer.

### 13.1 Mål for prototype

Prototypen lages for *GrassRobotics*. Gjennom bygging og testing av prototypen skal det undersøkes flere ting. I første omgang skal begrensningene til kuttemetoden og effektforbruket kartlegges. Dette for å ha mer nøyaktig grunnlag ved beregning av oppetid og maksimalt slåtteareal man klarer på en ladning. Det er også viktig med tanke på optimering av motorstørrelse. Det testes også i hvilken grad Thorvald kan utføre denne oppgaven autonomt og hvilke utfordringer som knytter seg til det.

Prototypen skal brukes i forbindelse med prosjektet på NIBIO Fureneset i Sogn og Fjordane. Prototypen skal testes over en periode på 4 år, på et område som er 2,3 dekar. Før prototypen sendes over til Vestlandet, skal funksjonen ved den forhåndstestes og forbedres om nødvendig slik at den er egnet til kutting av gras. Deretter gjøres det mer omfattende tester på Fureneset for å blant annet teste hypotesene som man kan lese om i *kapittel 1.4 GrassRobotics*.

### 13.2 Spesifisering av prototype

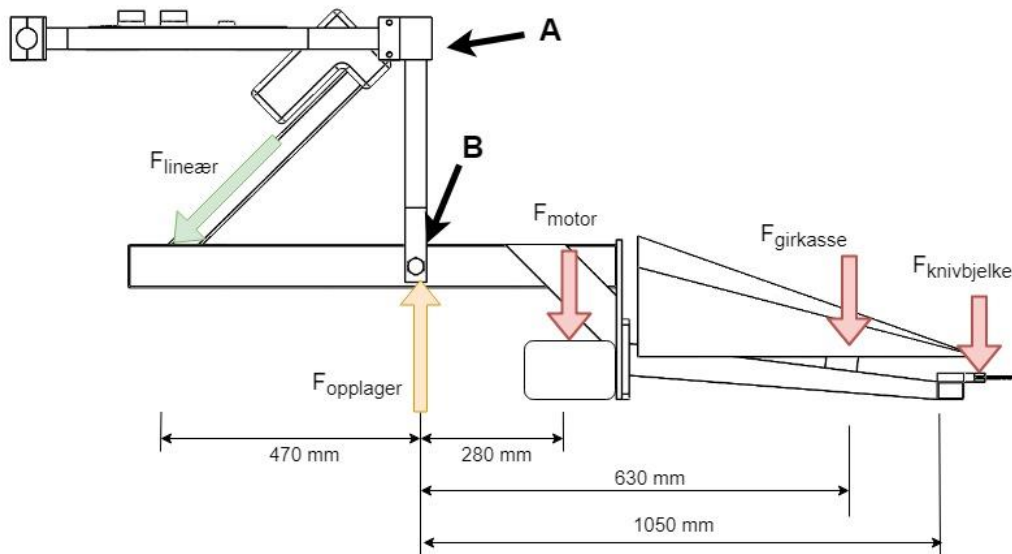
Etter å ha kommet frem til at bruk av en Bidux knivbjelke er den mest egnede kutteanordningen til bruk på Thorvald så blir det neste steget å implementere den på roboten. Det som er viktig da er plasseringen av knivbjelken på Thorvald. Knivbjelken trenger en egen motor til drift, som igjen trenger tilkobling til en energikilde. Knivbjelken må være festet til en opphengsramme som igjen er festet til roboten Thorvald. Opphengsrammen trenger bevegelige deler slik at det er mulighet for å løfte knivbjelken ved transport. Det velges å bruke en bjelke med kuttebredde på 1,7 m.

### 13.3 Grunnlagsberegninger

I dette kapitlet gjøres det enkle styrkeberegninger i de mest utsatte knutepunktene i rammen som holder knivbjelken, samt en dimensjonering av lineæraktuatoren fra Linak. I Figur 78 på neste side ser man en illustrasjon av belastningsbilde som rammen er utsatt for.

#### 13.3.1 Styrkeberegninger

Det gjøres noen enkle knutepunkts beregninger for å sjekke de kritiske punktene mot flyt. Dette for å sjekke om de tilgjengelige profilene som protypen skal bygges av er tilstrekkelig.

**Beregning av knutepunkt B:**

Figur 78: Belastningsbilde på rammen som bærer knivbjelken. A og B er de to knutepunktene som den belastende spenningen blir estimert.

De utsatte knutepunktene som vil bli undersøkt er A og B. Til beregning av spenningene i punkt B blir det brukt snittmetoden.

De forskjellige kreftene:

$$F = m \cdot g \quad (13.1)$$

$$F_{motor} = 25kg \cdot 9,81 \frac{N}{kg} = 245N$$

$$F_{girkasse} = 42kg \cdot 9,81 \frac{N}{kg} = 412N$$

$$F_{knivbjelke} = 34kg \cdot 9,81 \frac{N}{kg} = 334N$$

Regner ut momentet i punktet B,  $M_B$ :

$$\sum M_B = 0$$

regner positiv retting med klokken

$$M = F \cdot L \quad (13.2)$$

$$-M_B + F_{motor} \cdot 280mm + F_{girkasse} \cdot 630mm + F_{knivbjelke} \cdot 1050mm = 0$$

$$M_B = F_{motor} \cdot 280mm + F_{girkasse} \cdot 630mm + F_{knivbjelke} \cdot 1050mm$$



$$M_B = 245N \cdot 280mm + 412N \cdot 630mm + 334N \cdot 1050mm = \mathbf{678860 \text{ Nmm}}$$

Regner ut motstandsmomentet  $W$  mot bøying om sterk akse på firkantprofilet som er 80x45 med 4 mm tykkelse:

$$H = 80, B = 45, h = 72, b = 37$$

$$W = \frac{BH^3 - bh^3}{6H} \quad (13.3)$$

$$W_B = \frac{BH^3 - bh^3}{6H} = \frac{45 \cdot 80^3 - 37 \cdot 72^3}{6 \cdot 80} = \mathbf{19228 \text{ mm}^3}$$

Regner ut opptredende bøyspenning  $\sigma_b$  i firkantprofilet i overarmen:

$$\sigma_b = \frac{M}{W} \quad (13.4)$$

$$\sigma_{b,B} = \frac{M_B}{W_B} = \frac{678860 \text{ Nmm}}{19228 \text{ mm}^3} = \mathbf{35,3 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{b,B} < \sigma_{till}$$

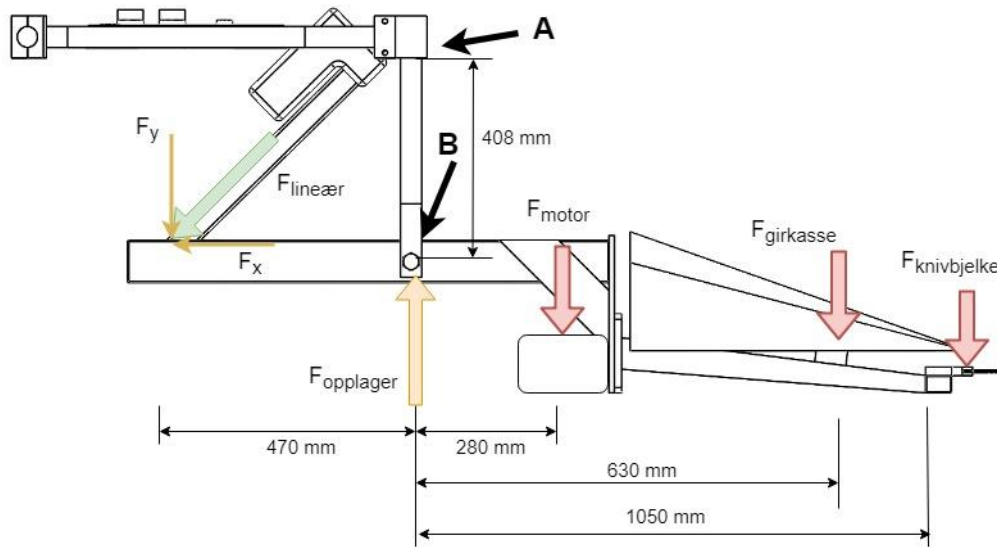
Finner sikkerhetsfaktor i bøypåkjent ramme:

$$\eta = \frac{\sigma_{till}}{\sigma_{opptredene}} \quad (13.5)$$

$$\eta = \frac{355 \text{ MPa}}{35,3 \text{ MPa}} = \mathbf{10}$$

Sikkerhetsfaktor mot flyt i materialet i punkt B er på 10. Dette viser en kraftig overdimensjonering som er greit ved en prototype, men som bør optimeres ved en eventuell videreutvikling.

### Beregning av lineæraktuator og knutepunkt A:



Figur 79: belastingsbilde til rammen som holder knivbjelken samt dekomponering av lineæraktuatorkraften.

Til beregning av spenningene i punkt A blir det brukt snittmetoden. Egenvekten til konstruksjonen som knivbjelken er festet i er neglisjerbar i moment beregningen om opplageret men tas med ved beregning av  $F_{opplager}$  til beregning av normalspenning i punkt A. Lineæraktuatorens kraft dekomponeres i x og y.

Regner ut momentet om punktet B, for å finne  $F_y$ :

$$\sum M_B = 0$$

regner positiv retting med klokken

$$-F_y \cdot 470 \text{ mm} + F_{motor} \cdot 280 \text{ mm} + F_{girkasse} \cdot 630 \text{ mm} + F_{knivbjelke} \cdot 1050 \text{ mm} = 0$$

$$F_y = \frac{F_{motor} \cdot 280 \text{ mm} + F_{girkasse} \cdot 630 \text{ mm} + F_{knivbjelke} \cdot 1050 \text{ mm}}{470 \text{ mm}}$$

$$F_y = \frac{245 \text{ N} \cdot 280 \text{ mm} + 412 \text{ N} \cdot 630 \text{ mm} + 334 \text{ N} \cdot 1050 \text{ mm}}{470 \text{ mm}} = \mathbf{1444 \text{ N}}$$

Regner ut vinkelen  $\phi$  til lineær aktuatoren i forhold til det horisontale planet:

$$\phi = \cos^{-1}\left(\frac{\text{hos}}{\text{hyp}}\right) = \cos^{-1}\left(\frac{470 \text{ mm}}{600 \text{ mm}}\right) = \mathbf{38,4^\circ}$$

Finner  $F_{\text{lineær}}$ ,  $F_{\text{opplager}}$  og  $F_x$ :

$$F_{\text{Lineær}} = \frac{F_y}{\sin 38,4^\circ}$$

$$F_{\text{Lineær}} = \frac{1444N}{\sin 38,4^\circ} = \mathbf{2325N}$$

$$F_x = F_{\text{Lineær}} \cdot \cos 38,4^\circ$$

$$F_x = 2325N \cdot \cos 38,4^\circ = \mathbf{1822N}$$

$$F_{\text{oppalger}} = F_{\text{motor}} + F_{\text{girkasse}} + F_{\text{knivbjelke}} + F_y$$

$$F_{\text{opplager}} = 245N + 412N + 334N + 1444N = \mathbf{2435N}$$

Regner ut momentet i punktet A,  $M_A$ :

$$\sum M_A = 0$$

*regner positiv retting med klokken*

Ettersom  $f_y$  utlignes mot  $f_{\text{motor}}$ ,  $f_{\text{girkasse}}$  og  $f_{\text{knivbjelke}}$ . Tas de ikke med i moment beregningen i punkt A. Deler  $f_x$  på 2 ettersom det er fordelt på to profiler.

$$-M_A + (F_x/2) \cdot 408\text{mm} = 0$$

$$M_A = (F_x/2) \cdot 408\text{mm} =$$

$$M_A = (1822N/2) \cdot 408\text{mm} = \mathbf{371688Nmm}$$

Regner ut motstandsmomentet  $W$  mot bøyning på firkantprofilene som er 40x40 med 4 mm tykkelse:

$$H = 40 \text{ mm}, B = 40 \text{ mm}, h = 32 \text{ mm}, b = 32 \text{ mm}$$

$$W = \frac{BH^3 - bh^3}{6H} \quad (13.2)$$

$$W_B = \frac{BH^3 - bh^3}{6H} = \frac{40 \cdot 40^3 - 32 \cdot 32^3}{6 \cdot 40} = \mathbf{6298 \text{ mm}^3}$$

Regner ut opptreddende bøyingspenning  $\sigma_b$  i firkantprofilen i overarmen:

$$\sigma_{b,A} = \frac{M_B}{W_B} = \frac{371688 \text{ Nmm}}{6298 \text{ mm}^3} = \mathbf{59 \text{ MPa}}$$

Regner ut opptredende normalspenning  $\sigma_N$  i firkantprofilen øverst i rammen:

$$A_{firkantprofil} = 40 \text{ mm} \cdot 40 \text{ mm} - 32 \text{ mm} \cdot 32 \text{ mm} = 576 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (13.5)$$

$$\sigma_N = \frac{(F_{opplager}/2)}{A_{firkantprofil}} = \frac{(2435 \text{ N}/2)}{576 \text{ mm}^2} = 2 \text{ MPa}$$

Finner total opptredende spenning  $\sigma_{tot,p}$  i toppen av overarmen:

$$\sigma_{tot,p} = \sigma_b + \sigma_N = 59 \text{ MPa} + 2 \text{ MPa} = 61 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{tot,p} < \sigma_{till}$$

Finner sikkerhetsfaktor i bøyepåkjent ramme:

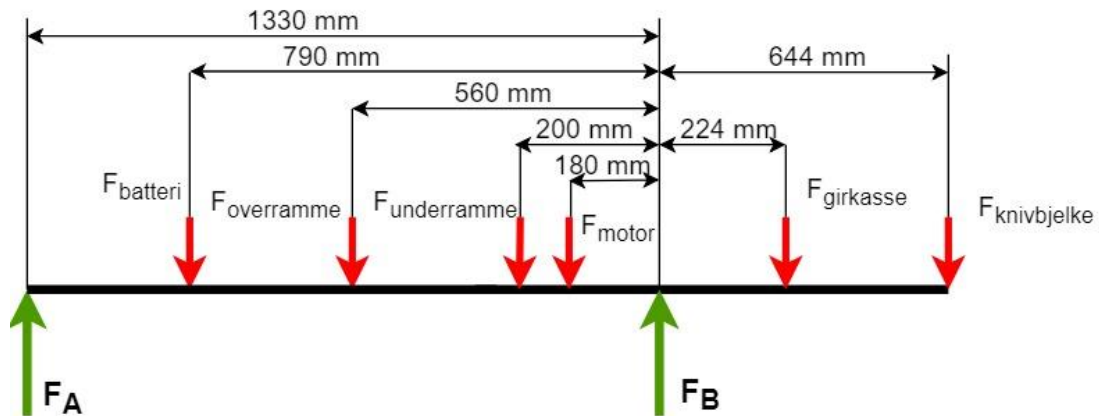
$$\eta = \frac{\sigma_{till}}{\sigma_{opptredene}} \quad (13.4)$$

$$\eta = \frac{355 \text{ MPa}}{61 \text{ MPa}} = 5,8$$

Sikkerhetsfaktor mot flyt i profilet ved punkt A er på 5,8. Dette viser en kraftig overdimensjonering som er greit ved en prototype, men som bør optimeres ved en eventuell videreutvikling.

### Beregning av akslingslast:

For å sjekke at man ikke overskrider maksimal akslingslast, gjøres det en beregning på komponentene som prototypen består av. Ettersom det i fremtiden skal designes en opphengsramme som skal festes til hurtigfestet som utvikles parallelt med denne oppgaven, vil det trolig bli mindre vekt bidrag fra de komponentene. Dette fordi det både brukes en mye lettere motor og at rammen bli mindre i utstrekning, samt at den kan optimeres med mindre profiler enn det som er brukt for prototypen.



Figur 80: Strektegning til beregning av akslingslasten i  $F_B$ .  $F_A$  er de to bakere hjulene, mens  $F_B$  er den fremmere akslingen der knivbjelken er festet.

De forskjellige kreftene:

$$F_{\text{batteri}} = 443 \text{ N}$$

$$F_{\text{overramme}} = 196 \text{ N}$$

$$F_{\text{underramme}} = 240 \text{ N}$$

$$F_{\text{motor}} = 245 \text{ N}$$

$$F_{\text{girksomme}} = 412 \text{ N}$$

$$F_{\text{knivbjelke}} = 334 \text{ N}$$

Regner ut momentet om punktet B, for å finne opplager A:

$$\sum M_B = 0$$

regner positiv retting med klokken

$$F_A \cdot 1330 \text{ mm} - F_{\text{batteri}} \cdot 790 \text{ mm} - F_{\text{overramme}} \cdot 560 \text{ mm} - F_{\text{motor}} \cdot 200 \text{ mm} - \\ F_{\text{underramme}} \cdot 180 \text{ mm} + F_{\text{girksomme}} \cdot 224 \text{ mm} + F_{\text{knivbjelke}} \cdot 644 \text{ mm} = 0$$

$$F_A = (F_{\text{batteri}} \cdot 790 \text{ mm} + F_{\text{overramme}} \cdot 560 \text{ mm} + F_{\text{motor}} \cdot 200 \text{ mm} + \\ F_{\text{underramme}} \cdot 180 \text{ mm} - F_{\text{girksomme}} \cdot 224 \text{ mm} - F_{\text{knivbjelke}} \cdot 644 \text{ mm}) / 1330 \text{ mm}$$

$$F_A = (443 \text{ N} \cdot 790 \text{ mm} + 196 \text{ N} \cdot 560 \text{ mm} + 245 \text{ N} \cdot 200 \text{ mm} + \\ 240 \text{ N} \cdot 180 \text{ mm} - 412 \text{ N} \cdot 224 \text{ mm} - 334 \text{ N} \cdot 644 \text{ mm}) / 1330 \text{ mm} = \mathbf{183,9 \text{ N}}$$

Regner ut opplagerkraften  $F_A$  som er lasten som fordeles på de to motorenhetene,  $F_A$ :

$$+\uparrow \sum F_y = 0$$

$$F_A + 183,9 \text{ N} - 443 \text{ N} - 196 \text{ N} - 245 \text{ N} - 240 \text{ N} - 412 \text{ N} - 334 \text{ N} = 0$$

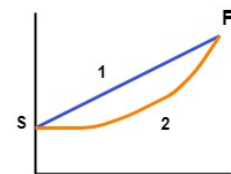
$$F_A = -183,9 \text{ N} + 443 \text{ N} + 196 \text{ N} + 245 \text{ N} + 240 \text{ N} + 412 \text{ N} + 334 \text{ N} = \mathbf{1686,1 \text{ N}}$$

Ser av beregningen at vekten  $F_A$  kommer på 1686,1 N dette tilsvarer en vekt på 172 kg, som vil si at akslingstrykket per aksel kommer på 86 kg. Dette er under 100kg og derfor innenfor kravet gitt i *kapittel 2.3 Oppdragsbeskrivelse og kravspesifikasjoner*. Ettersom rammen som er bygget for prototypen er betraktelig overdimensjonert i forhold til hva den trenger å være, er dette en indikasjon på at akslingstrykket ikke kommer til å bli et problem ved utvikling av opphengsrammen som skal festes til hurtigfestet som er under utvikling.

### 13.3.2 Effektbehovsestimering til drift av knivbjelke

Fra *kapittel 4.3.2 Knivbjelke* er det beskrevet at en knivbjelke med kuttehastighet på 11 km/t bruker 1,07 kW/m. Det vil derfor bli gjort en estimering for å anslå hvilket effektbehov som kreves for å kunne kutte i topphastigheten til Thorvald som er 5 km/t.

For å estimere hvilke effektbehov knivbjelken har ved en kuttehastighet på 5 km/h, må det gjøres noen antagelser. Den første antagelsen som gjøres er at effektbehovet øker lineært med kuttehastigheten. Dette er grovt estimat, men vil gi høyere effektbehov enn en antagelse om at effektbehovet hadde økt eksponentielt, som vist i Figur 81. Antagelsen er derfor et overslag som styrker sikkerheten om at estimeringen er høy nok. Den andre antagelsen som må gjøres er hvor stor



Figur 81: lineær og eksponentiell linje.

prosentandel av effektbehovet som går med til å holde kniven i gang ved kuttehastighet 0 km/t. Da et slikt effektbehov går med til friksjon og tap, på grunn av deler som skal akselereres og retarderes. Undersøkelser gjort ved universitet i Illinois, Urbana er det funnet ut at en knivbjelke bruker 56 % av effektforbruket ved en kuttehastighet på 0 km/t [74]. Gjør et overslag og antar at forbruket som går med til tomgangskjøringen er på 60%.

Funksjonen som beskriver den lineære kurven:

$$\text{Effektbehov per meter i 11 km/t} = \frac{9,6 \text{ kW}}{9 \text{ m}} \approx \mathbf{1,07 \text{ kW/m}}$$

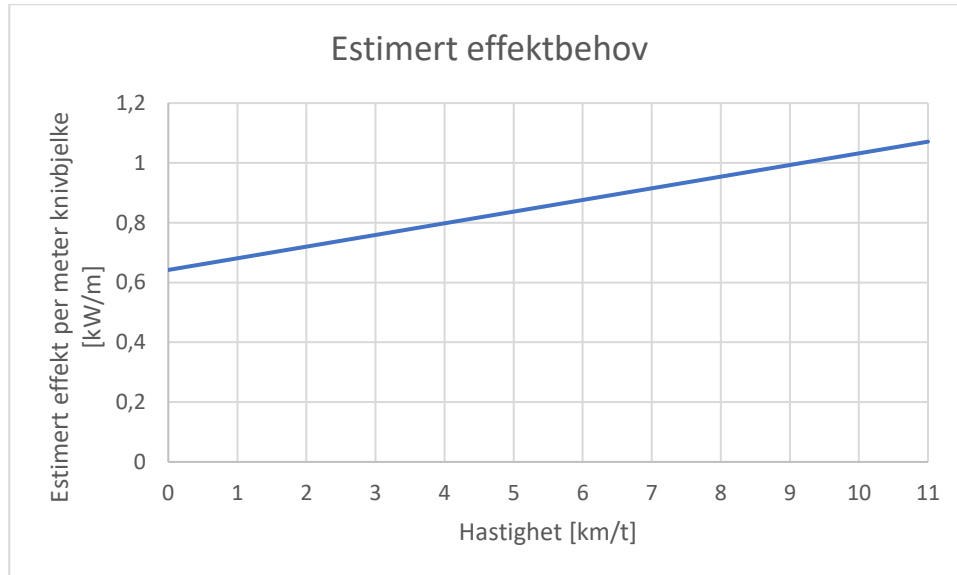
$$\text{Effektbehovet ved kuttehastighet på 0 km/t} = 0,6 \cdot 1,07 \text{ kW/m} = \mathbf{0,642 \text{ kW/m}}$$

$$\text{Økningen i effektbehov per km/t} = \frac{1,07 \text{ kW/m} - 0,642 \text{ kW/m}}{11 \text{ km/t}} = \mathbf{0,039 \frac{\text{kW/m}}{\text{km/t}}}$$

Estimert effektbehov per meter knivbjelke ( $x$ ) og hastighet ( $v$ )

$$= \mathbf{0,642 \text{ kW/m} \cdot x + 0,039 \frac{\text{kW/m}}{\text{km/t}} \cdot x \cdot v}$$

Plotter man denne kurven fra 0 til 11 km/t får man grafen vist i Figur 82. Her kjenner man igjen et par nøkkeltall som 0,642 kW forbruk ved kuttehastighet 0 og 1,07 kW ved kuttehastighet 11 km/t.



Figur 82: Effektbehovet per meter knivbjelke med et antatt effektbehov på 60% for å overvinne friksjon og akselerasjoner når kuttehastigheten er 0 km/t.

Ved å sette inn en hastighet på 5 km/t i funksjonen til grafen over får man et effektforbruk på 0,837 kW/m. Med en knivbjelke på 1,7 m blir det estimerte effektbehovet 1,42 kW.

### 13.3.3 Energibehovsestimering til drift av knivbjelke

En estimering av energiforbruket per dekar vil være nyttig i en utvalgelse av energikilde til motoren som skal drive knivbjelken. Det er nå estimert et effektforbruk på 1420 W ved en kuttehastighet på 5 km/t og knivbjelke som er 1,7 m bred.

**Estimering av slått areal på en time med en kuttehastighet på 5 km/t:**

$$\text{Slått areal på én time} = 1,7 \text{ m} \cdot \frac{5}{3,6} \text{ m/s} \cdot 3600 \text{ s} = 8500 \text{ m}^2 = 8,5 \text{ daa}$$

Det vil si at det går med 1420 Wt for å slå 8,5 dekar.

**Estimerer energiforbruk per dekar:**

$$\text{Energiforbruk per dekar} = \frac{1420 \text{ Wt}}{8,5 \text{ daa}} = 167 \text{ Wt/daa}$$

Estimeringen gir et energiforbruk på 167 Wt/daa. Dette er et grovt estimat som forutsetter kontinuerlig drift samt at effektforbruket fra forrige estimering er rett.



### Beregning av nødvendig kapasitet for å opprettholde produktmål om oppetid:

I *kapittel 5.1 Produktmålsetting* er det satt som mål at effektforbruket bør være lavere enn 780 W for at oppetiden skal bli 8 timer med 3 batteripakker og en kjørehastighet på 5 km/t. Med de beregningene som er gjort ovenfor så vil ikke målet tilfredsstilles. Man ser derfor nødvendigheten av å putte én batteripakke til på Thorvald for å øke kapasiteten. Fra *kapittel 4.2 Tidlige grunnlagsberegninger* hentes wattimene per batteripakke.

Med fire batteripakker blir den tilgjengelige kapasiteten:

$$\text{Wattimer til rådighet} = 4 \cdot 3360 \text{ Wt} - 480 \text{ W} \cdot 8 \text{ t} = \mathbf{9600 \text{ Wt}}$$

Antall dekar slått på én ladning med det beregnede energiforbruket per dekar til knivbjelken ved kjøring i 5 km/t:

$$\text{dekar slått} = \frac{9600 \text{ Wt}}{167 \text{ Wt/daa}} = \mathbf{57,49 \text{ daa}}$$

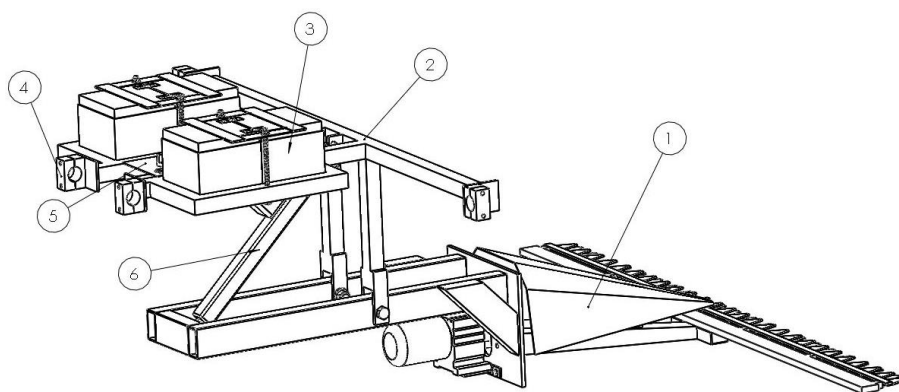
Thorvald med knivbjelken klarer å opprettholde målet om å slå minst 50 dekar på 8 timer ved bruk av 4 batteripakker.

## 13.4 Presentasjon av tidlig prototype

I dette kapitlet skal det fremlegges en løsning av designet til konseptet som brukes til prototypen. Hovedkomponenter og standardkomponentene vil bli framstilt mer nøyaktig.

### 13.4.1 Sammenstilling

Gjennom grundig etterforskning av teorigrunnlag, testing av kuttemetoder og evaluering av foretrukket løsning gjennom et eksternt panel har man utviklet et løsningsalternativ til tidlig prototype som man kan se i Figur 83. Hovedmåls- og eksplosjonstegning finnes i *Vedlegg 1-3* samt eksplosjonstegninger på knivbjelke og girkasse fra ESM i *Vedlegg 5-6*. Designet av prototypen er funksjonsbasert og rettet mot testingen som skal gjøres. Den er designet for å kunne kutte plantekarene som er grodd frem i drivhusene på Vollebekk samt slå enga på jordet på Fureneset.



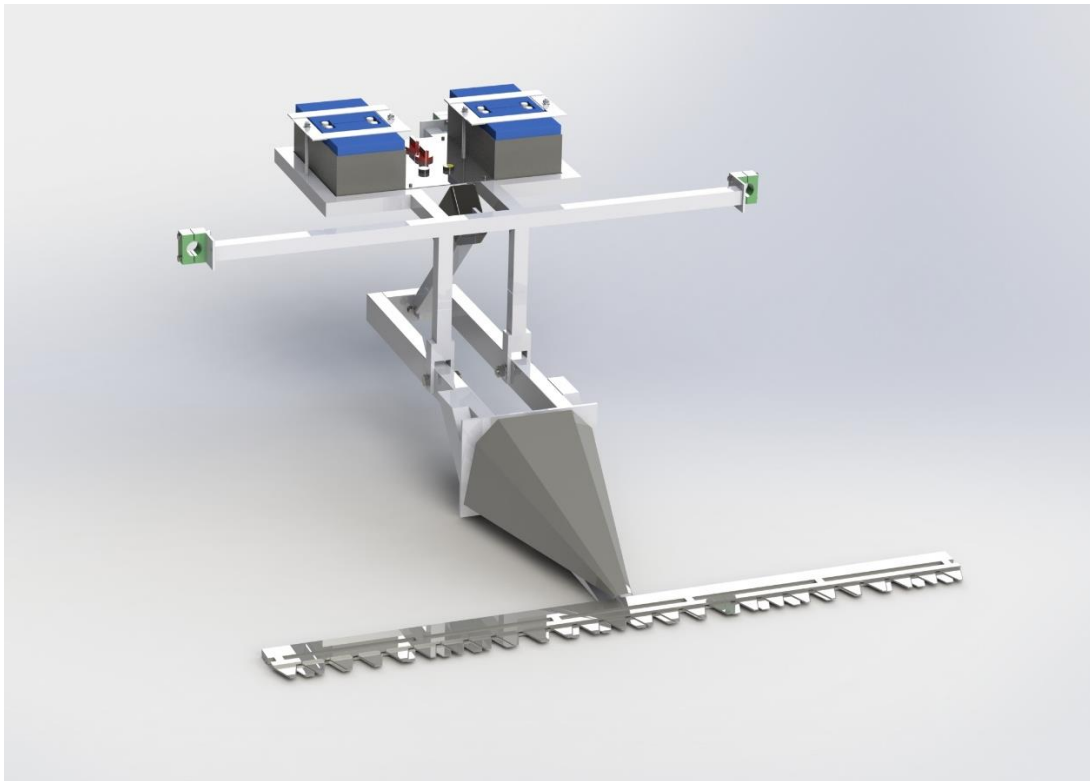
Figur 83: Et løsningsalternativ av tidlig prototype.

De forskjellige komponentene i Figur 83 listes i Tabell 21.

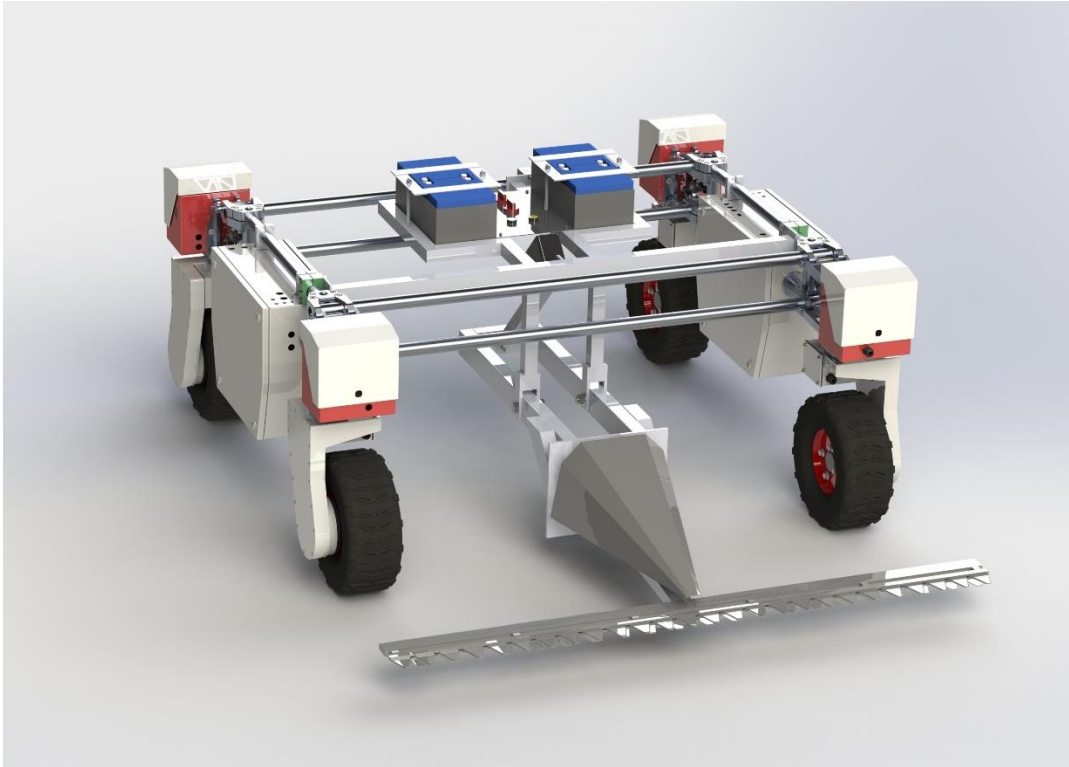
Tabell 21: Hovedkomponenter med tilhørende nummer.

Nummer	Komponent
1	Knivbjelke med elektrisk motor
2	Opphengsramme
3	Batteriholder og batterier
4	Klammer
5	Kontrollpanel
6	Lineæraktuator

Knivbjelken sett forfra både demontert og montert på Thorvald kan man se i Figur 84 og Figur 85 på neste side.



Figur 84: Knivbjelken med girkasse, batteriholder, kontrollpanel, klammer, elmotor og opphengsramme.

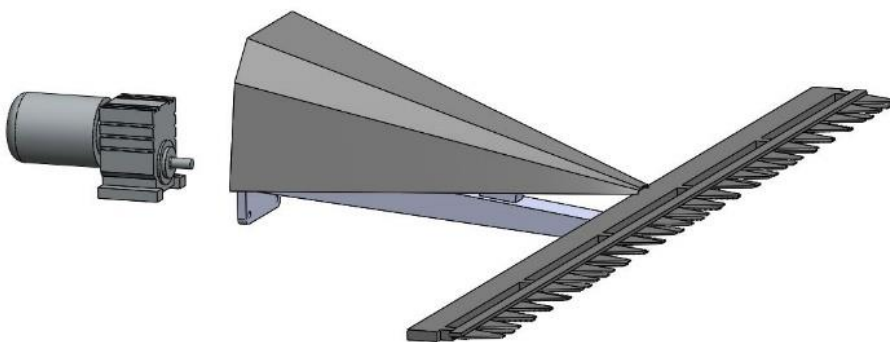


Figur 85: Knivbjelken montert på Thorvald med klammer.

### 13.4.2 Hovedkomponenter

For å få et mer oversiktlig bilde over hva hovedkomponentene består av så er det laget eksplosjonstegninger ved de forskjellige komponentene.

#### 1. Knivbjelke med elektrisk motor

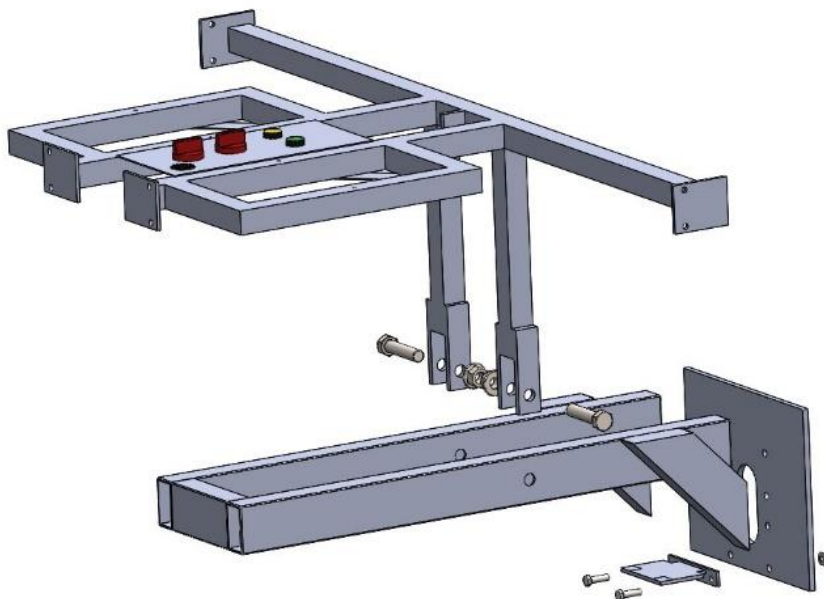


Figur 86: Eksplosjonstegning av knivbjelken med elektromotor.

Bidux-knivbjelken er festet til en girkasse som transformerer roterende bevegelse til lineær bevegelse. Som tidligere nevnt i *kapittel 2.3 Oppdragsbeskrivelse og kravspesifikasjoner* er det ønskelig å drive knivbjelken med robotens allerede implementerte energikilde som er 48V batteri. Saga Robotics har kommet med anbefalinger om å bruke børsteløs

elektromotor også kaldt BLDC da dette er motorer som har et meget høyt effekt/vekt forhold. Dette er gunstig når man skal holde vekten nede. Det ses også fornuftig å bruke denne type motor da det kan brukes samme styring som Thorvald bruker til fremdriftsmotorene sine. Dette forenkler prosessen for å gjøre knivbjelken en del av den autonome roboten. Børsteløse DC motorer i denne størrelsesorden lages på bestilling og får derfor en lang leveringstid. På grunn av tidsperspektivet til oppgaven er leveringstiden på en slik motor for lang og det velges heller å gå for en 24 V børstemotor som er lagerført og har kortere leveringstid. Dette medfører behovet for en egen energikilde som leverer 24 V til elektromotoren. Elektromotoren som er anskaffet har en effekt på 1500 W og rotasjonshastighet på 3000 rpm. Den er derfor bestilt med girboks med utveksling på 3,5 som gir ønsket turtall på 860 rpm inn til girkassen til knivbjelken. Koblingen mellom utgående akslingstap fra girkasse på 24 V motor og splinen i girkassen på knivbjelke skjer med en overgangshylse. Spline er standard Din 5482.

## 2. Opphengersramme



Figur 87: Eksplosjonstegning av opphengersrammen.

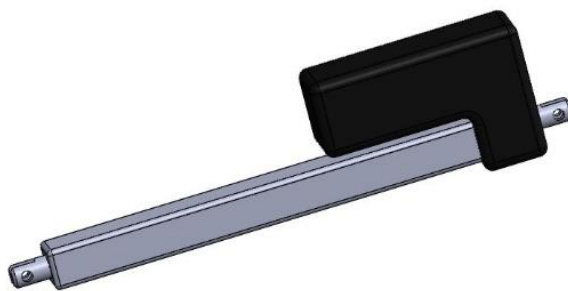
Opphengersrammen består av en overdel og en underdel. Overdelen er den delen der kontrollpanelet sitter, og som festes med klammere til robotens rammeverk. Kontrollpanelet er festet til med skruer mellom to batteriholdere. Overdelen er sveiset sammen med 40x40x4 mm konstruksjonsstål. Sentrert på den tverrgående profilen sitter det en brakett med en 10 mm hull som lineærakutatoren festes i. Underdelen er festet med M20 bolter og mutter til overdelen slik at den er bevegelig om festepunktet. Underdelen er sveiset sammen med 80x45x4 mm konstruksjonsstål. I fremkant av underdelen er det sveiset en 10 mm festeplate som girkassen til knivbjelken skal være festet til med fire M10

bolter. Den har to høydejusteringer slik at man skal kunne slå graset som står i plantekarene som er grodd frem i drivhusene på Vollebekk, samt slå enga på jordet på Furneset. I de to nederste M10 boltene skal det være festet en brakett som den elektriske motoren skal kunne festes på. Materialeegenskapene for konstruksjonsstålet som er brukt finnes i Tabell 22. Grunnen til at denne ståltypen er valgt er fordi det er det som er tilgjengelig på verkstedet på skolen.

Tabell 22: Materialeegenskapene til konstruksjonsstålet som er brukt til prototypen.

NS-EN 10025-2	Strekfasthet $R_m$ [MPa]	Flytegrense $R_e$ [MPa]	Egenvekt [kg/m <sup>3</sup> ]	E-modul [MPa]	Poissons ratio $\nu$
<b>S355J0</b>	510	355	7850	$2,1 \cdot 10^5$	0,3

### 3. Lineæraktuator



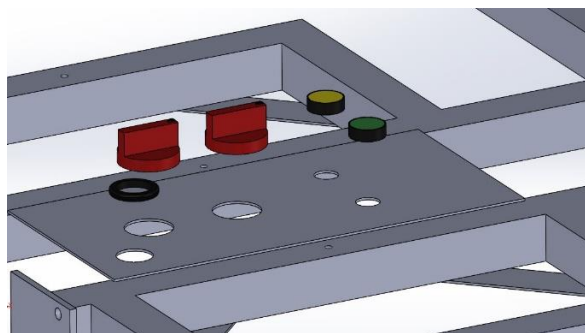
Figur 88: En lineæraktuator

Lineær aktuatoren er festet i bakkant av opphengsrammens underdel til midten av den tverrgående profilen i overdelen av opphengsrammen med M12 bolter. Den skal gi mulighet til å heve og senke knivbjelken og kunne reguleres fra kontrollpanelet. Det utvikles i førsteomgang ingen flytfunksjon for denne lineær akutatoren. Dette fordi Thorvald allerede har en fjæring i rammen som kan utnyttes til formålet. Om denne flytfunksjonen er tilstrekkelig må undersøkes ved videre testing. Fra kapittel 13.3.1 *Styrkeberegninger* estimeres det en belastning på 2325N, velges derfor å gå for en lineær aktuator LA 36 fra Linak. Dette er en lineær aktuator med IP 66 klassifisering som vil si at den er spylesikker under høyt trykk [75]. Noe som er praktisk ved vasking av knivbjelken.

LA 36 har følgende spesifikasjoner:

- 3400 N i hold
- 2600 N i push/pull
- 32 mm/s
- 24 V
- 600 mm + 350 mm utslag
- Vekt: 6 kg
- Mekanisk slurekobling ved overbelastning

#### 4. Kontrollpanel

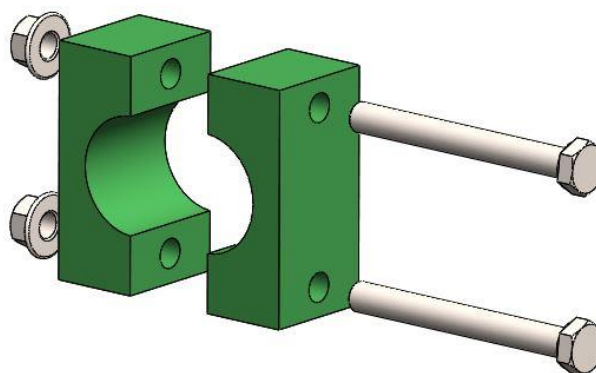


Figur 89: Eksplosjonstegning av kontrollpanelet.

Kontrollpanelet består av en dørkaluminiumsplate som er festet oppå den overliggende opphengsrammen. For at det ikke skal oppstå korrosjon mellom stålplate og aluminium så skal det være et galvanisk skille mellom dem. Dette løses ved å bruke blindnaglemutter som festes i 40x40 profilet som bygger 1 mm opp av profilet. Dørkaluminiumsplaten er festet til blindnaglemutter med fire rustfrie M5 unbrakobolter og fiberpakninger. På den måten er aluminiumen aldri i kontakt med stålet. I tillegg er rammen overflatebehandlet med maling som også hindrer galvanisk tæring.

På kontrollpanelet sitter det to strømbrytere og to trykkbrytere. Den første er en hovedstrøms bryter til hele anlegget, mens den andre er en av/på bryter til knivbjelken. Dette for at man skal kunne skru av hele anlegget slik at det verken skal stå å dra strøm, og som en sikkerhet for at ikke noen av funksjonene skal aktiveres ved at man kommer borti noen av bryterne. Koblingen av elektronikken skjer på undersiden. Der det også kommer til å sitte en 100 ampers automatsikring. Koblings skjema på dette er fremvist i *kapittel 13.7 Tilsyn, vedlikeholdsmetoder og koblings skjema*.

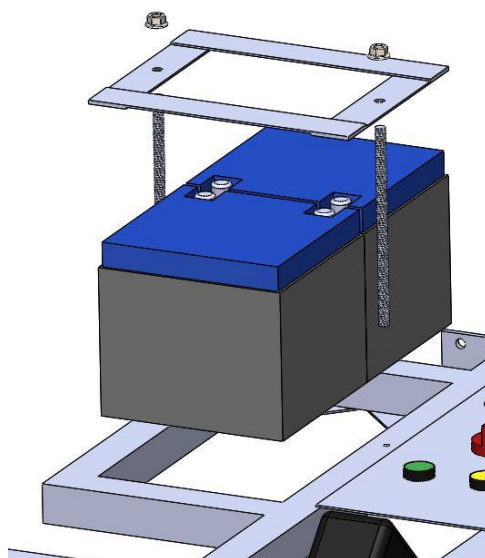
#### 5. Klammer



Figur 90: Eksplosjonstegning av klammer med bolt.

Opphengsrammen festes med M10 bolter gjennom totalt fire klammere til rammen til Thorvald. Det sitter to i framkant på sidene og to i bakkant nærmere midten.

## 6. Batteriholder og batterier



Figur 91: Eksplosjonstegning av batteriholder og batteri

Det sitter to batteriholdere på rammen hvor det i hver beholder skal sitte to 12 V batterier. Disse seriekobles og parallellkobles slik at man får 24 V spenning inn til børstemotoren. Batteriene leverer 35 Ah hver som ved en serie kobling og en parallellkobling blir 70 Ah. Batteriene er festet med en overliggende braket, som er festet i to M10 gjengestag til rammen. Braketten er sveist sammen av fire 2x40 mm flatprofiler. Kapasiteten batteriene må levere estimeres ut ifra data hentet fra *kapittel 13.3.3 Energibehovsestimering til drift av knivbjelke*.

Det er estimert et energibehov på 167 Wt/daa. Finner nødvendig Ah timer for å slå 2,3 dekar:

$$\text{Energibehov for å slå 2,3 dekar} = 2,3\text{daa} \cdot 167\text{Wt/daa} = 384,1\text{Wt}$$

Omgjøring til amperetimer etter formel (2.1):

$$P = U \cdot I \quad (2.1)$$

$$\text{Energibehov for å slå 2,3 dekar} = \frac{384,1\text{Wt}}{24\text{V}} = \mathbf{16\text{Ah}}$$

Dette er et grovt estimat som beskriver hvilke energiforbruk man har ved kontinuerlig drift. Det vil være fornuftig å gå for minimum den doble kapasiteten fra en batteripakke ettersom det er mange feilkilder som fører til at energibehovet blir større. Det brukes derfor for dette testforsøket en batteripakke med 70 Ah for å være sikker.



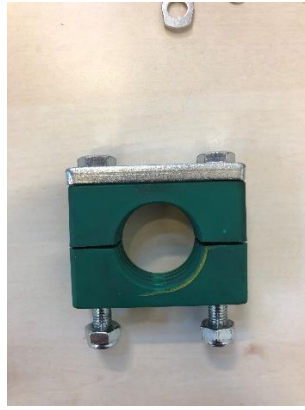
### 13.4.3 Standardkomponenter

For å holde prisene nede på prototypen er det lønnsomt å bruke hyllevarer der det er mulig. Komponentene som er kjøpt inn er listet opp i Figur 92 på neste side.

A)



B)



C)



D)



E)



F)



G)



H)



I)



Figur 92: Innkjøpte standard komponenter

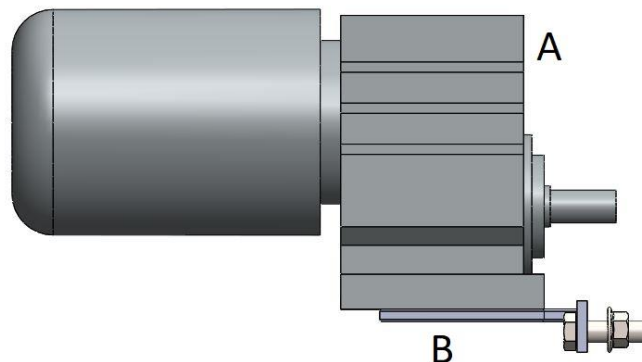
Standardkomponentene er listet opp i Tabell 23.

Tabell 23: Oversikt over standardkomponentene.

Bokstav	Komponent
<b>A</b>	Bolter, mutter, vingmutter og skiver
<b>B</b>	Klammer
<b>C</b>	Gjengestag
<b>D</b>	Bidux-knivbjelke med girkasse
<b>E</b>	Lineæraktuator fra Linak (LA36)
<b>F</b>	Strømbryter og vippebryter
<b>G</b>	12 V batteri
<b>H</b>	Rørkabelsko
<b>I</b>	Strømledning

### 13.5 FEM

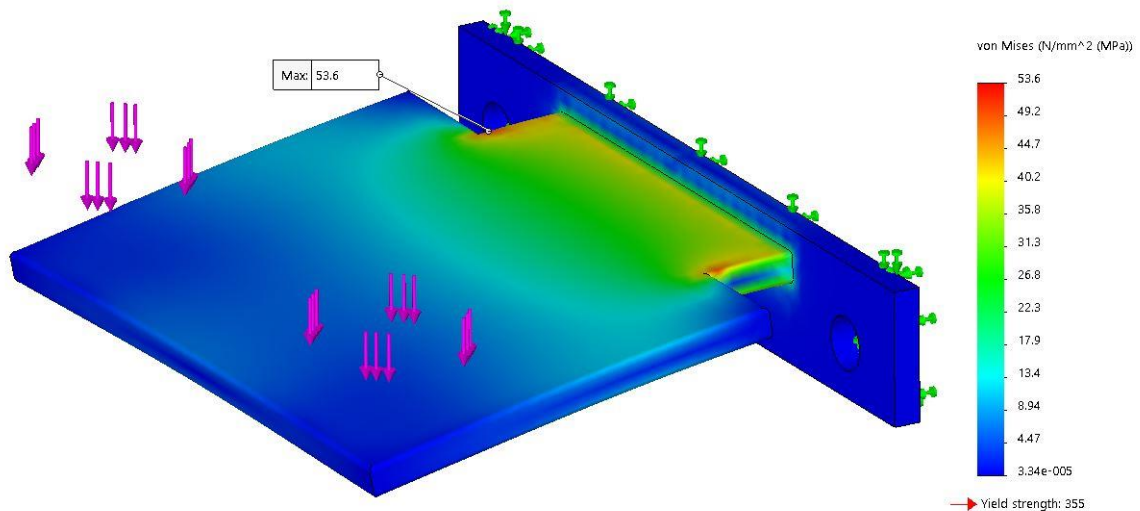
Det skal kjøres simulering i Solid Works av motorbraketten for å finne ut av om den tåler vekten av DC-motoren som er på 25 kg, samt sjekke nedbøying. Tilfellet er vist på Figur 93. Braketten er av materiale S355J0, slik som resten av rammen.



Figur 93: A: Motor mer girboks. B: Motorbrakett med bolter.

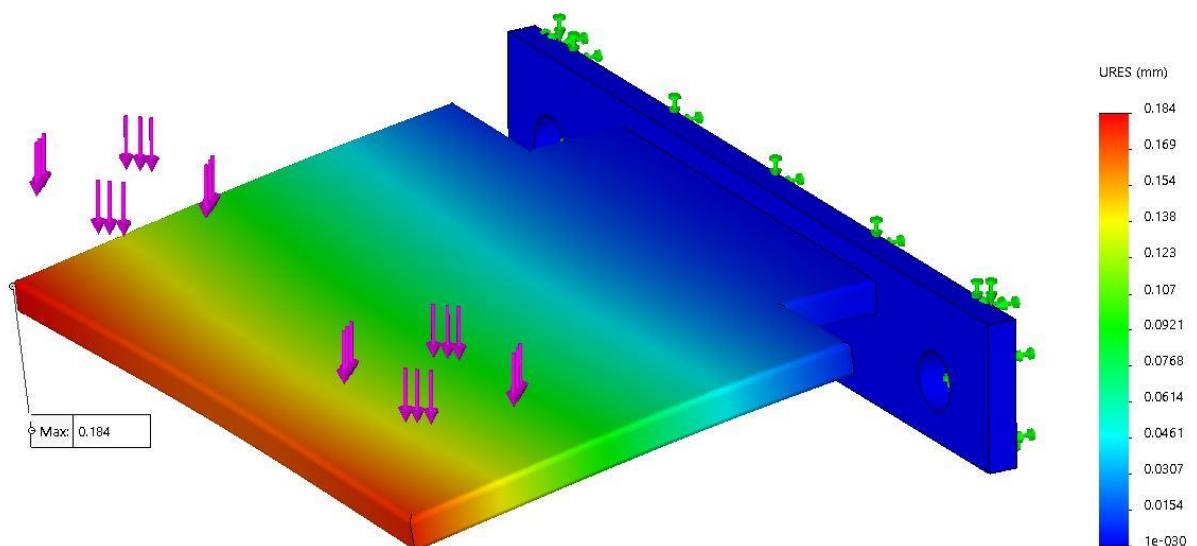
Man ser for seg det verste scenario og plasserer hele vekten til motor og girboks ytterst på braketten, lengst fra boltene.

Resultatene fra simuleringen vises i Figur 94 og Figur 95 på neste side.



Figur 94: Viser spenningene som opptrer i braketten ved en påsatt last på 25 kg ytterst på braketten.

Simuleringen viser en maks spenning på 53,6 MPa. Siden denne spenningen oppstår i bare ett punkt, rett ved en kjerv så kan man anta at det er en singularitet og et misvisende resultat. Den mer riktige spenningen som opptrer er sannsynligvis spenningen lengst fra den påsatte lasten. Det er det gule feltet og den er rundt 40 MPa. Med en flytegrense på 355 MPa gir det en sikkerhetsfaktor på  $\frac{355 \text{ MPa}}{40 \text{ MPa}} = \mathbf{8,9}$ . Braketten kan dimensjoneres ned, men det som er avgjørende er hvor mye nedbøyning man får. Akslingstappen ut fra elmotoren skal inn i en overgangshylse fra kilespor til spline, så man har noen millimeter å gå på i slark i hylsa ifølge leverandøren Drivetek AS som har levert motoren.



Figur 95: Nedbøyning av braketten ved en påsatt last på 25 kg ytterst på braketten.

Av simuleringen kan man se at den maksimale nedbøyningen er på ca. 0,2 mm. Denne nedbøyningen er minimal og vil ikke komme i konflikt med akslingstappen. Braketten kunne vært optimert med tynnere gods, men for prototypen gjøres ikke dette.

### 13.6 Prototipekostnader

I Tabell 24 er det listet opp priser på alle deler og komponenter som er kjøpt inn, samt materiell- og arbeidskostnader. Timesatsene er hentet fra Dynatec sine listepreiser for prototyp utvikling, fått gjennom møte med verksmester. Materialkostnadene er hentet fra prisene som tas på verkstedet ved NMBU. Komponentpriser er fra innhentede tilbud fra leverandører.

*Tabell 24 er en oversikt over alle deler og arbeidstimer med tilhørende priser som har godt med til utviklingen av prototypen.*

Materiell	Mengde	Enhetspris	Sum
<b>Firkantprofil 80x45x4</b>	2600 mm = 20,9 kg	30 kr/kg	630 kr
<b>Firkantprofil 40x40x4</b>	5300 mm =24,4 kg	30 kr/kg	733 kr
<b>Flattjern 80x6</b>	400 mm = 1,536 kg	30 kr/kg	46 kr
<b>Flattjern 40x10</b>	560 mm =1,792 kg	30 kr/kg	54 kr
<b>Flattjern 40x2</b>	1120 mm = 0,72 kg	30 kr/kg	22 kr
<b>Bolt M20x90</b>	2 stk = 0,720 kg	55 kr/kg	40 kr
<b>Låsemutter M20</b>	2 stk = 0,086 kg	77 kr/kg	7 kr
<b>Bolt M12x50</b>	2 stk = 0,156 kg	55 kr/kg	9 kr
<b>Låsemutter M12</b>	2 stk = 0,030 kg	77kr/kg	3 kr
<b>Bolt M10x90</b>	8 stk = 0,352 kg	55 kr/kg	20 kr
<b>Låsemutter M10</b>	8 stk = 0,084 kg	77 kr/kg	8 kr
<b>Bolt M5x25 (Rustfri)</b>	8 stk	12 kr/stk	96 kr
<b>Låsemutter M5 (Rustfri)</b>	8 stk	8 kr/stk	64 kr
<b>Poppnaggel m/gjenger</b>	4 stk	20 kr/stk	80kr
<b>Bolt M5x20 umbrako</b>	4 stk	16 kr/stk	64kr
<b>Klammer 40M</b>	4 stk	250 kr/stk	1000kr
<b>Stålplate 300x270x10</b>	1 stk = 6,5 kg	30 kr/kg	200 kr
<b>Stålplate 373x118x2</b>	1 stk = 0,7 kg	30 kr/kg	22 kr
<b>Lineæraktuator LA36</b>	1 stk	3600 kr/stk	3600 kr
<b>Ledninger</b>	-		300 kr
<b>Hovedstrømsbryter</b>	2 stk	298 kr/stk	596 kr
<b>2 polet vippebryter</b>	2 stk	98 kr/stk	196 kr
<b>Batteri 35Ah</b>	4 stk	699 kr/stk	2798 kr
<b>ESM Knivbjelke 170cm</b>	1 stk	8750 kr/stk	8750 kr
<b>ESM Oljebad girkasse</b>	1 stk	15500 kr/stk	15500 kr
<b>24 V DC motor og gir</b>	1 stk	19950 kr/stk	19950 kr

Tabell 24 forts.

Materiell	Mengde	Enhetspris	Sum
<b>Rusthemmende grunning</b>	4 stk	159 kr/stk	636 kr
<b>Overflatebehandling lakk</b>	4 stk	159 kr/stk	639 kr
<b>DEL SUM (materiell)</b>			<b>56060 kr</b>
Arbeids oppgave	Arbeidstimer	Enhetspris	Sum
<b>Kapping</b>	4 t	650 kr/time	2600 kr
<b>Sveising</b>	5 t	650 kr/time	3250 kr
<b>Boring</b>	2 t	650 kr/time	1300 kr
<b>Montering</b>	2 t	650 kr/time	1300 kr
<b>Design av rammen til tidlig prototype (modellering, dimensjonering og komponentsammensetning)</b>	45 t	650 kr/time	29250 kr
<b>Utredning og utvikling av egnet kutteverktøy</b>	1800 t	650 kr/time	1 170 000 kr
<b>DEL SUM (arbeid)</b>			<b>1 207 700 kr</b>
<b>Total (materiell og arbeid)</b>			<b>1 263 760 kr</b>

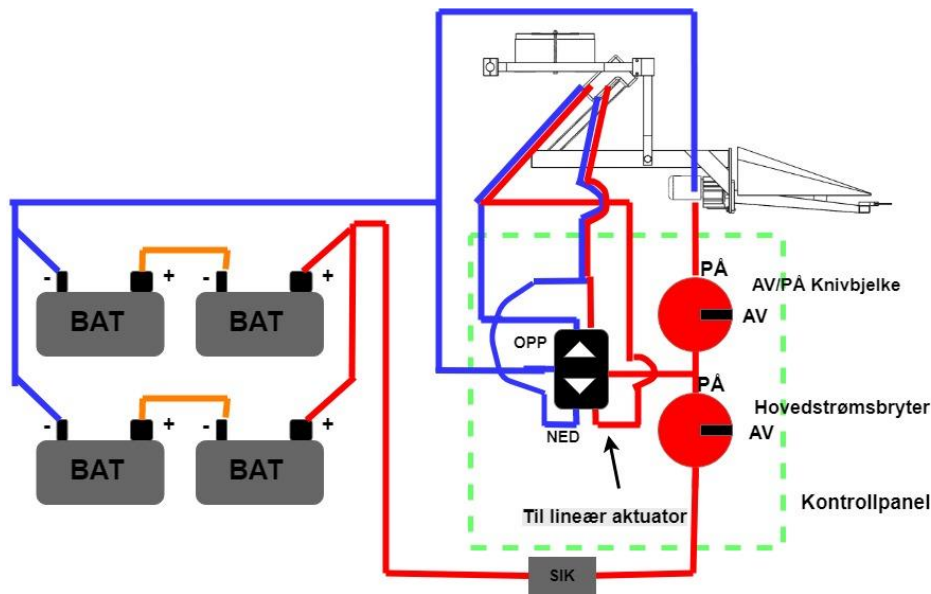
Totalkostnad for utviklingen og sammenstillingen av prototypen er 1 262 488 kr. Arbeidstidene kommer fra ulønnet arbeid og kan skrives av.

### 13.7 Tilsyn, vedlikeholdsmetoder og koblingskjema

Tilsyn og vedlikehold er en av de viktigste punktene for at en maskin skal kunne fungere optimalt og ha lang levetid. Tilsyn gjøres ved den daglige vasken som utføres etter avsluttet arbeidsoppgave. I *Vedlegg 7-8* er det lagt ved anbefalte service instruksjoner på girkasse og knivbjelke fra ESM. De viktigste punktene går ut på tilsyn, vask og smøring av bevegelige deler. Det er i samme vedlegg også en feilsøkingstabell som gir tips og triks til hva som kan være årsaken ved forskjellig problematikk samt reparasjonsmetode. Kutteverktøyet er designet med sprutsikre komponenter men anbefales likevel å oppbevares under tak. Dette for å minske risikoen for korrosjon av elektronikk og konstruksjon.

Kontrollpanelet er koblet som vist i Figur 96 på neste side. Plusspolen som kommer fra batteripakken er koblet via en automatsikring før den går inn i hovedstrømsbryteren. Minus polen er koblet direkte i bryteren til lineær aktuatoren og elmotoren. Bryteren til lineær aktuatoren henter strøm fra utgangspolen på hovedstrømsbryteren, deretter velges polariteten avhengig om du skal kjøre lineær aktuatoren inn eller ut.





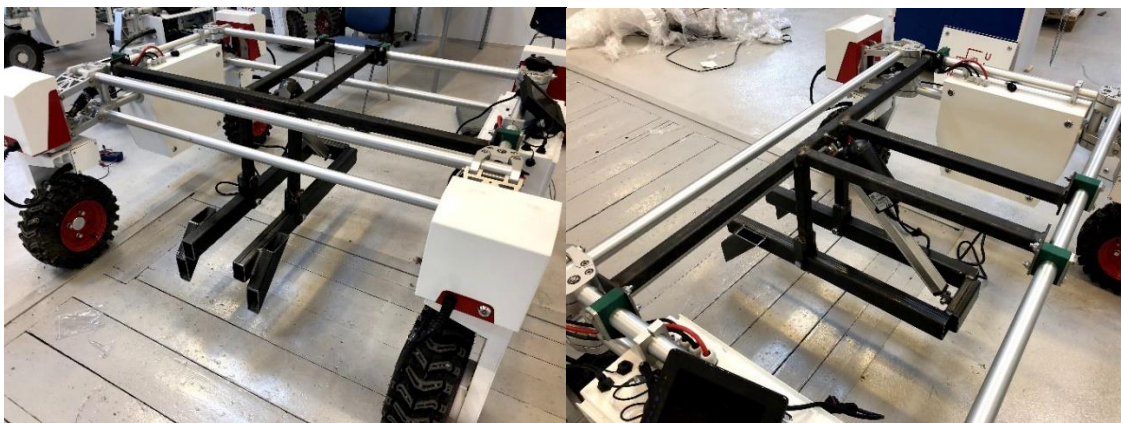
Figur 96: Koblingskjema til kontrollpanel.

### 13.8 Modularisering

Produktet som er utviklet har en rekke andre mulige bruksområder. Med enkle modifikasjoner skal knivbjelken kunne brukes til andre formål. Klippeutstyret kan brukes til å kutte andre grasvekster og kan eksempelvis ved påmontering av ekstrautstyr være en del av en tresker. Den kan også brukes til å klippe grasvekster og mindre buskvekster ved for eksempel veikanter eller mellom tilplantede rader med for eksempel epletrær.

### 13.9 Fremvisning av ferdig prototype

Bilder av sluttprodukt:



Figur 97: Bilder fra prøvemonteringen før hel sveising av ramme.



*Figur 98: Til venstre ser man underrammen helsveiset og overflate behandlet med grunning og lakk. I midten ser man overrammen helsveiset og overflatebehandlet med grunning og lakk. Til høyre vises kontrollpanelet påmontert overrammen,*



*Figur 99: Det galvaniske skillet ved bruk av blindnaglemutter og fiberpakning mellom stålprofilen og dørkaluminiumsplatene*





*Figur 100: Ferdigstilt prototype.*

## 14 Prosessevaluering og diskusjon

Dette kapittelet tar for seg en evaluering av arbeidsprosessen og resultatene i denne oppgaven.

### 14.1 Prosessdiskusjon

Siden denne oppgaven gikk ut på å designe et verktøy til roboten Thorvald, som for oss var ukjent i virkemåte, ble de tre første ukene av denne perioden brukt til å studere roboten og oppbygningen av prosessene som gjør det mulig å styre den. Dette ble gjort sammen med Saga Robotics teamet i Brasil på et samarbeidsuniversitet ved navnet Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro. Dette var en lærerik opplevelse både med tanke på plattformen Thorvald og at vi fikk et innblikk i hvordan de jobber med robotisering i en annen del av verden. Denne forkunnskapen som nå var etablert var med å forsterke oppfatningen av plattformens muligheter og begrensninger.

Vår filosofi var at det var viktig å tilegne seg kunnskap tidlig om hvordan graset ville bli behandlet for å ha en god forutsetning for å kunne lage en kutteverktøy som kunne behandle det på best mulig måte. Denne framgangsmåten førte oss inn i et langt større grasstudium enn først antatt. Gras er komplisert. Deretter kom ønske om å finne en ny og revolusjonerende måte å kutte graset på. Dette førte til et studium av kuttemetoder som avdekket mye mer enn det som først var tenkt. De viktigste funnene fra disse studiene er satt sammen til en teoridel i denne rapporten. Det viste seg til og med gjennom testing at de nye og revolusjonerende metodene ikke var så revolusjonerende, men at det gamle gode fortsatt var det mest egnet.

Prosesstrinnene tidligere nevnt i oppgaven har i stor grad blitt gjennomført i kronologisk rekkefølge, der nytten av å kunne ta med seg datidens informasjon tilbake i stegene før har vært stor. Noen av punktene har det i mindre grad blitt lagt vekt på, som for eksempel kostnadsestimering, da viktigheten av å komme frem til et rasjonelt produkt har fått en viktigere rolle. Den tilbakekoblingen fra prototype til trinnet som omhandler evaluering og eksterntest har kun blitt gjort i utviklingsstadiet med CAD tegninger. Dette fordi den ferdigstilte prototypen ble laget da knivbjelken kom i slutten av prosjektet. Det vil i videre arbeid være viktig å ta med seg resultatene fra testingen av prototypen tilbake i evalueringstrinnet, for videre utvikling.

Det var hele tiden et ønske fra oss å kunne bygge en prototype. Problematikken rundt dette kom fort etter vi ble kjent med begrepene «produksjonstid» og «leveringstid». Det viste seg at vi burde vært mye tidligere ute, skulle vi hatt god tid til å bygge en optimalisert prototype og teste den. Dette førte til at arbeidet med å ferdigstille rapporten, samt byggingen av prototypen ble noe mer intenst en ønsket. Materialene og dimensjonene på prototypen måtte da velges ut ifra hva som var tilgjengelig på verkstedet på dette tidspunkt. Selv om det gikk med mye tid til Brasilturen og ikke minst litteraturstudier har det vært en lærerik prosess.

## 14.2 Resultatdiskusjon

Når det kommer til testforsøket vi gjennomførte for å sjekke gjenvekstvilkårene hos gras ved bruk av de forskjellige kutteverktøyene, er populasjonen og antall tester mangelfull for å kunne konstatere at noe er statistisk sikkert. Testene ga oss likevel nyttefull erfaring og en indikasjon på at hypotesen om at et rent kutt stemte. Hadde man hatt bedre tid og ikke minst en årstid som gjorde det egnet å dyrke ute ville man kunne hatt økt populasjonen og dermed den statistiske sikkerheten. Det ble i forsøket brukt kun ettårig raigras, og forholdene var veldig optimale med stabil gjennomsnittstemperatur og konstant belysning. For å bedre kunne simulere et virkelig scenario burde det vært blandet flere grasarter i plantekarene, samt at gjennomsnittstemperaturen og UV-bestrålingen burde gjenspeile forholdene en norsk sommer. Men selv da ville det kunne være en viss usikkerhet fordi matjorden man bruker i plantekarene inneholder ikke akkurat samme næringsblanding sånn som ute på et jorde, samt at temperatur og UV-stråling er forskjellig i hele landet.

Lønnsomhetsanalysen som ble gjennomført er noe vag og inneholder stor usikkerhet rundt estimeringen av kjøpskostnadene til Thorvald med knivbjelken. Grunnen til det er at utgående salgpris ved en serieproduksjon av Thorvald ikke er bestemt enda. Det gjør det vanskelig å estimere kostnad av robot og sensorer. I tillegg så er ikke roboten testet tilstrekkelig for å kunne vite hvilke vedlikeholdskostnader som vil påløpe og hvor mye de vil koste.

Det er gjennomført forenklete simulering og håndberegninger av de mest kritiske punktene ved prototypen. Det ble sett fornuftig å gå for dimensjoner med større sikkerhetsfaktor fremfor et optimert design. Både fordi simuleringen var forenklet og at hovedfokuset var å få et funksjonelt produkt som det kunne gjøres testing på. Ved design av endelig tilknytningsramme til fremtidig hurtigfeste på Thorvald vil det være nødvendig med videre optimering for å få et vektbesparende design.

Når det kommer til effektbehovet til knivbjelken, ligger det usikkerhet omkring hvor mye redusert effektbruken blir ved et tidlighøstet gras samt den reduserte kuttehastigheten Thorvald kommer til å kjøre i. Det er derimot stor grunn til å tro at effektbehov er lavere enn ved den østeriske rapporten nevnt i *kapittel 4.3.2 Knivbjelke*. Gitt at effektbehovsestimeringen stemmer er effektforbruket på bjelken høyere enn ønsket fra produktmålene. Noe som fører til at de vil kunne være nødvendig å se på muligheten for montere flere batteripakker på Thorvald. Det anbefales videre å finne ut ved hjelp av testing hva det faktiske effektbehovet er, for å så se på behovet for antall batteripakker. Det vil dessuten være interessant å se effektbehovet på forskjellige kuttehastigheter og forskjellige arter gras. Det vil også være interessant å se på påvirkningen av å senke rotasjonshastigheten på elmotoren som driver knivbjelke, og på den måten senke skjærehastigheten på kniven.

Det knyttes også stor usikkerhet til om bruken av stengelbehandling har positiv virkning på breispredd gras. Dette fordi Jan Karstein Henriksen fra Norges landbruksrådgivning tipset om at graset kunne ha en tendens til å tettlegge seg ved noen slåmaskintyper. Dette

kunne unngås mente han ved bruk av stengelbehandling av et eller annet slag. Dette bør testes ved videre arbeid med denne prototypen.



## 15 Konklusjon og videre arbeid

Det har blitt utviklet en et energieffektivt klippeverktøy som skal gjøre det mulig for den autonome roboten Thorvald å slå enga. Klippeverktøyet er designet etter robotens begrensninger og bruksomgivelsene den er beregnet for. Utviklingsarbeidet er et resultat av litteraturstudiet som er gjort om gras og slåtte-/kutteutstyr. Studiene har gitt en fordypning innen vekstforhold hos gras, samt virkemåte og funksjon hos de forskjellige kuttemetodene. Klippeverktøyet er 3D modellert med tilhørende tekniske tegninger og en tidlig prototype er bygget. Hovedmålet ved prosjektet er dermed besvart.

### 15.1 Resultater

Resultatene som fremlegges i dette kapittelet er kun rettet mot klippeverktøyet og ikke prototypen med 24 V børstemotor og stålramme med lineæraktuator. Prosjektet har resultert i et klippeverktøy med følgende egenskaper:

- Klippeverktøyet er 1034 mm langt, 1800 mm bredt, 305 mm høyt og veier 82 kg med bruk av en 1,5 kW børsteløs DC motor.
- Vekt bidraget fra protypen tilsvarer en akslingslast på 86 kg
- Klippeverktøyet kan kutte gras i en hastighet på 5 km/t
- Ved bruk av 4 batteripakker på Thorvald vil man kunne slå minst 50 dekar på 8 timer i en hastighet på 5 km/t.
- Klippeverktøyet har et effektforbruk på 1420 W ved kuttehastighet på 5 km/t.
- Klippeverktøyet har et energiforbruk på 167 Wt/daa
- Rotasjonshastigheten på inngående aksel er på 850 rpm.
- Klippeverktøyet består av slitesterke komponenter med lang levetid.

### 15.2 Anbefalinger

Anbefalinger til videreutviklingen av bruken av Thorvald i prosjektet *GrassRobotics*:

- Undersøke mulighetene for å ha en bredere klippeanordning.
- Det bør gjøres en estimering av produksjonskostnaden av Thorvald slik at man kan definere en utsalgspris.
- Det bør utvikles et brukervennlig program som gir bonden mulighet til å enkelt kunne bestemme hvilke jorder Thorvald skal jobbe på til hvilken tid.
- Det bør ses på muligheten til å kunne koble programmet grovfôrøkonomi opp mot styringen av Thorvald.
- Undersøke behovet for «tilruffsing» av graset som er breispredd.

### 15.3 Videre arbeid

Som nevnt har *GrassRobotics* planer for videre testing av roboten Thorvald til bruk som slåtteredskap. Videre arbeid som ikke inngår direkte i prosjektet er listet på neste side.

- Finne ut ved hjelp av testing hva effektbehovet er ved slåing av frøblandingens dyrket av NIBIO på Fureneset for hyppige høstinger.
- Undersøke påvirkningen av å senke rotasjonshastigheten på elmotoren som driver knivbjelke, og på den måten senke skjærehastigheten på kniven.
- Finne det optimale forholdet mellom kuttehastighet og skjærehastighet på knivene for å bruke minst mulig energi per dekar.
- Designe en opphengsramme tilpasset hurtigkoblingssystemet som er designet parallelt med denne oppgaven.
- Tilkoble styringen av motor og høydejustering til styreenheten i Thorvald slik at knivbjelken for å gjøre det mulig for Thorvald å styre knivbjelken autonomt.
- Teste om det er nødvendig og designe en ekstra flytfunksjon i tillegg til den som allerede er i rammen til Thorvald.



## 16 Referanser

### Skriftlige kilder

- [4] H. R. Schacht, Landbrugets mekanisering, Skandinavisk bogforlag, 1947, pp. 108-109.
- [7] S. B.D. og C. Van Ouwerkerk, Soil Compaction in Crop Production, Amsterdam: Elsevier Science, 1994.
- [8] L. DR, T. GC og C. W. Gregorich EG, «Least limiting water range indicators of soil quality and corn production, eastern Ontario, Canada,» i Soil and Tillage Research, Elsevier, 2004, pp. 151-170.
- [13] J. Johannessen, Tekniske Tabeller, J.W. Cappelens A/S 2002, 2013.
- [14] R. Hibbeler, Mechanics of Materials, 9 red., Pearson Education South Asia Pte Ltd, 2014.
- [15] S. Pugh, Total Design, 1. utgave red., Addison-Wesley Publishers Ltd., 1990.
- [21] R. Oppermann og H. U. Gujer, Artenreiches Grünland: Bewerten und fördern - MEKA und ÖQV in der Praxis, Ulmer, 2003.
- [40] E. Reyssat, «Slicing Softly with Shear,» American Physical Society, 2012.
- [44] S. Thanomputra og T. Kiatiwat, «Simulation study of cutting sugarcane using fine sand abrasive waterjet,» Agriculture and Natural Resources , pp. 146-153, Mars 2016.
- [49] A. Ivarson, «On the Physics and Chemical Thermodynamics of Laser Cutting,» Tekniska högskolen i Luleå, Luleå, 1993.
- [51] K. Kellens, G. Rodrigues, W. Dewulf og R. J. Duflou, «Energy and Resource Efficiency of Laser Cutting Processes,» ELSEVIER, Leuven, 2014.

### Nettkilder

- [3] Norsk Folkemuseum, «Ljå,» 9 April 2014. [Internett]. Available: <https://digitaltmuseum.no/011023291902/lja>. [Funnet 23 April 2018].
- [5] Portal, «Landbruksmaskiner,» [Internett]. Available: <http://portal.fagbokforlaget.no/menypunkt.cfm?id=76-283-1&mpid=4827,7233>. [Funnet 22 Februar 2018].

- [9] V. Medvedev og C. WG, «Soil criteria for assessing the maximum permissible ground pressure of agricultural vehicles on Chernozem soils,» i *Soil and Tillage Research*, Elsevier, 1995.
- [10] NIBIO, «LandbruksMeteorologisk Tjeneste,» [Internett]. Available: <http://lmt.nibio.no>.
- [11] O. Rognstad og T. A. Steinset, «Landbruket i Norge 2011 - Jordbruk, skogbruk og jakt,» 2 November 2012. [Internett]. Available: [https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/artikler-og-publikasjoner/\\_attachment/91107?\\_ts=13c5d8b68f8](https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/artikler-og-publikasjoner/_attachment/91107?_ts=13c5d8b68f8). [Funnet 13 Februar 2018].
- [15] S. Pugh, *Total Design*, 1. utgave red., Addison-Wesley Publishers Ltd., 1990.
- [16] O. Kval-Engstad, «Hva er grovfôr?,» 3 Februar 2017. [Internett]. Available: <https://grovfornett.nlr.no/fagartikler/6964/>. [Funnet 2018 Mars 8].
- [17] I. Selmer-Olsen, «Konservering av surfôr,» 3 Februar 2017. [Internett]. Available: <https://grovfornett.nlr.no/fagartikler/6706/>. [Funnet 12 Mars 2018].
- [18] O. M. Harstad, «fôrenhet,» 2 Juni 2015. [Internett]. Available: <https://snl.no/fôrenhet>. [Funnet 4 Februar 2018].
- [20] J.-E. Bjørlo og Arild Jakobsen, «Høstetidspunkt for å få høy energikonsentrasjon (2006),» 7 Februar 2017. [Internett]. Available: <https://nordland.nlr.no/fagartikler/7770/>. [Funnet 27 Februar 2018].
- [22] O. Kval-Engstad, «Tidspunkt for hausting, tal haustingar og driftsmåte på avlingsmengd og avlingskvalitet i eng,» 3 Februar 2017. [Internett]. Available: <https://grovfornett.nlr.no/fagartikler/6702/>. [Funnet 13 Mars 2018].
- [23] L. K. Sola, «Optimaliser grovfôret,» 3 juni 2016. [Internett]. Available: <https://rogaland.nlr.no/media/2254754/grovforkval-optimalisert-grovfor-medsverreheggset-bv2016-22-nlrrogaland.pdf>. [Funnet 10 April 2018].
- [24] J. K. Henriksen, «Økonomisk og klimasmart grasberging,» 14 November 2016. [Internett]. Available: <https://agder.nlr.no/fagartikler/klimasmart-grasberging/>. [Funnet 14 Mars 2018].
- [25] Å. T. Randby, S. Heggset, A. K. Bakken og H. Steinshamn, «TAP AV TØRRSTOFF VED GRASHØSTING OG LAGRING,» Juli 2017. [Internett]. Available: <https://www.fiska.no/kunnskap/2017/juli/tap-av-toerrstoff-ved-grashoesting-og-lagring/>. [Funnet 24 April 2018].
- [26] S. Heggset, «Fortørking av gras,» 8 Juni 2017. [Internett]. Available: <https://grovfornett.nlr.no/fagartikler/fortorking-av-gras/>. [Funnet 12 Mars 2018].
- [27] Time and date, «Årlig sol-graf for Oslo,» [Internett]. Available: <https://www.timeanddate.no/astronomi/sol/norge/oslo>. [Funnet 29 Mars 2018].

- 
- [30] Maskin importøren, «AGRIA 8000 skiveslåmaskin,» [Internett]. Available: <https://www.maskinimp.no/products/skiveslamaskin-agria-8000>. [Funnet 09 04 2018].
- [32] ESM, «Oszillierende Mahtechnik,» [Internett]. Available: <https://www.esm-ept.de/produkte/oszillierende-mahtechnik/>. [Funnet 10 03 2018].
- [35] F. Handler, «Agrar Anzeiger,» 5 Januar 2017. [Internett]. Available: [http://www.josephinum.at/fileadmin/content/BLT/Publikationen/1601\\_00.pdf](http://www.josephinum.at/fileadmin/content/BLT/Publikationen/1601_00.pdf). [Funnet 28 Mars 2018].
- [41] ChefSteps, «How Knives Cut,» [Internett]. Available: <https://www.chefsteps.com/activities/how-knives-cut>. [Funnet 12 Mars 2018].
- [42] mech4study, «Water Jet and Abrasive Water Jet Machining,» 1 4 2017. [Internett]. Available: <http://www.mech4study.com/2017/04/water-jet-and-abrasive-water-jet-machining-principle-working-equipment-application-advantages-and-disadvantages.html>. [Funnet 28 2 2018].
- [43] A. Almar-Næss, «Vannskjæringsteknikk,» 15 Februar 2009. [Internett]. Available: [https://snl.no/vannskj%C3%A6ring\\_-\\_teknikk](https://snl.no/vannskj%C3%A6ring_-_teknikk). [Funnet 4 Mars 2018].
- [45] Ramsay highlander, «Romaine/green leaf lettuce waterjet mechanical,» [Internett]. Available: <http://www.ramsayhighlander.com/products/romaine/green-leaf-lettuce-harvester.htm>. [Funnet 23 04 2018].
- [50] A. R. Trygve Holtebekk, «Laser - intens lyskilde,» 20 Februar 2018. [Internett]. Available: [https://snl.no/laser\\_-\\_intens\\_lyskilde](https://snl.no/laser_-_intens_lyskilde). [Funnet 23 Mars 2018].
- [52] GRINP, «Plasma Physics,» [Internett]. Available: <http://www.grinp.com/plasma/physics.html>. [Funnet 25 Mars 2018].
- [53] «CNC Plasma Cutting Machine,» 1 September 2011. [Internett]. Available: <https://plasmamax.blogspot.no/2011/09/>. [Funnet 23 Mars 2018].
- [54] A. Almar-Næss, «Plasmaskjæring,» 14 Februar 2009. [Internett]. Available: <https://snl.no/plasmaskjæring>. [Funnet 4 Mars 2018].
- [57] Telsonic ultrasonic, «Ultrasonic knife: Cutting of convenience products,» [Internett]. Available: <https://www.telsonic.com/en/ultrasound-technology/ultrasonic-knife-for-cutting/>. [Funnet 2 Mars 2018].
- [58] J. Sandstad, «Piezoelektrisitet,» 20 Februar 2018. [Internett]. Available: <https://snl.no/piezoelektrisitet>. [Funnet 7 Mars 2018].
- [59] M. D. Sabatino, «Store Norske Leksikon,» 20 02 2018. [Internett]. Available: <https://snl.no/nikrom>. [Funnet 14 03 2018].

- [60] A. Baggerud og A. Almar-Næss, «Oksygeskjæring,» 14 Februar 2009. [Internett]. Available: <https://snl.no/oksygenskjæring>. [Funnet 9 April 2018].
- [61] The Welding Institute, «Oxyfuel cutting - process and fuel gases,» [Internett]. Available: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/oxyfuel-cutting-process-and-fuel-gases-049/>. [Funnet 9 April 2018].
- [63] Timan, «RC-1000 Double acting cutter bar,» [Internett]. Available: <http://www.timan.dk/uk/products/rc-1000/double-acting-cutter-bar.aspx>. [Funnet 6 April 2018].
- [64] Kominvest-AKMT, «Radiostyrt mower KommTek RoboFlail vario (oversatt),» [Internett]. Available: <http://www.cominvest-akmt.ru/models/roboflail-vario>. [Funnet 17 April 2018].
- [65] Brielmaier, «Brielmaier, 27 PS Motor, Stachelwalzen 5-reihig,» [Internett]. Available: [http://www.grundbichler.at/brielmaier\\_27ps.html](http://www.grundbichler.at/brielmaier_27ps.html). [Funnet 26 Mars 2018].
- [66] Maskinimpotøren AS, «ENERGREEN Slåmaskin,» [Internett]. Available: <https://www.maskinimp.no/products/slamaskin-energgreen>. [Funnet 10 April 2018].
- [67] Østerbø Maskin AS, «Reform slåmaskin M2D,» [Internett]. Available: <https://osterbo.no/butikk/reform-slamaskin-m2d/>. [Funnet 10 April 2018].
- [68] Maskininpotøren AS, «AGRIA 8000 Skiveslåmaskin,» [Internett]. Available: <https://www.maskinimp.no/products/skiveslamaskin-agria-8000>. [Funnet 10 April 2018].
- [69] GrassBots, «FroboMind Robot:GrassBots,» [Internett]. Available: [http://frobomind.org/oldwiki/index.php%3Ftitle=FroboMind\\_Robot:GrassBots.html](http://frobomind.org/oldwiki/index.php%3Ftitle=FroboMind_Robot:GrassBots.html). [Funnet 24 April 2018].
- [70] YouTube, «KÖPPL GEKKO mit Scheibenmähwerk SM130,» 22 Juli 2016. [Internett]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=dniyn861rxg>. [Funnet 24 April 2018].
- [71] Robot Makers, «OLYMPUS DIGITAL CAMERA,» 4 Desember 2017. [Internett]. Available: <https://robotmakers.de/en/olympus-digital-camera-2/>. [Funnet 28 April 2018].
- [72] Statistisk Sentralbyrå, «Sal av petroleumsprodukt,» 16 April 2018. [Internett]. Available: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/petroleumsalg/maaned>. [Funnet 3 April 2018].
- [73] Statistisk Sentralbyrå, «Elektrisitetspriser,» 26 Februar 2018. [Internett]. Available: <https://www.ssb.no/elkraftpris>. [Funnet 27 April 2018].

- [74] P. C. Johnson, «Energy requirements and productivity of machinery used to harvest herbaceous energy crops,» 3 Februar 2012. [Internett]. Available: <https://www.ideals.illinois.edu/handle/2142/42312>. [Funnet 2 Mai 2018].
- [75] Glamox, «IP-Klassifisering,» [Internett]. Available: <https://glamox.com/no/beskyttelsesklasser>. [Funnet 25 04 2018].

## Bildekilder

- [1] Wikipedia, «Sickle,» [Internett]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Sickle>. [Funnet 23 April 2018].
- [2] iStock by Getty Images, «Sickle Pictures, Images and Stock Photos,» [Internett]. Available: <https://www.istockphoto.com/no/photos/sickle?sort=mostpopular&mediatype=photography&phrase=sickle>. [Funnet 23 April 2018].
- [6] Youtube, «2017 First Cut of Hay with Big Tractor Power,» 16 Mai 2017. [Internett]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=KG-9QndyGmQ>. [Funnet 23 April 2018].
- [12] N. Kristine Løwe, «Her er roboten som skal redde jordbær fra soppangrep,» 24 April 2017. [Internett]. Available: <https://forskning.no/2017/04/her-er-roboten-som-skal-redde-jordbær/produsert-og-finansiert-av/nmbu>. [Funnet 5 Februar 2018].
- [19] Norgesfôr, «Utviklingsstadier i korn,» [Internett]. Available: <https://plantekultur.no/plantevern/utviklingsstadier-i-korn/>. [Funnet 26 Februar 2018].
- [28] Maksin og redskap as, «skiveslåmaskin SB serien,» 2018. [Internett]. Available: <http://jfnorge.no/slamaskiner/3-punktmonterte-slamaskiner/sb/>. [Funnet 09 04 2018].
- [29] Inter- tech, «Rotorslåmaskin,» [Internett]. Available: <http://inter-tech.no/rotorslamaskiner/>. [Funnet 12 04 12].
- [31] Rønning, «Knivbjelke ESM 137cm til Muta Maestral,» [Internett]. Available: <http://rmsalg.no/knivbjelke-esm-137-cm-til-muta-maestral.html>. [Funnet 09 04 2018].
- [33] ENGINEERING 360, [Internett]. Available: [https://www.globalspec.com/learnmore/motion\\_controls/engines\\_components/industrial\\_engines](https://www.globalspec.com/learnmore/motion_controls/engines_components/industrial_engines). [Funnet 27 04 2018].

- [34] Engineering toolbox, [Internett]. Available: [https://www.engineeringtoolbox.com/electrical-motors-hp-torque-rpm-d\\_1503.html](https://www.engineeringtoolbox.com/electrical-motors-hp-torque-rpm-d_1503.html). [Funnet 27 04 2018].
- [36] MELHUS MOTOR, «Beitepusser,» [Internett]. Available: <https://melhusmotor.no/produkt/traktor/beitepusser/beitepusser-pto-140-cm>. [Funnet 09 04 2018].
- [37] Finn.no, «Kampanje! Husqvarna 336 FR, kratt og gressrydder,» [Internett]. Available: <https://www.finn.no/bap/webstore/ad.html?finnkode=41423236&fks=41423236>. [Funnet 9 April 2018].
- [38] Stanley, [Internett]. Available: <https://www.xn--verkty-fya.no/knivblad-stor-1992-100stk-stanley>. [Funnet 12 Mars 2018].
- [39] Reise veska, «Kulturminne på Møkster,» [Internett]. Available: [http://org.uib.no/reiseveska/HTML-filer/Hordaland/austevoll/austevoll\\_mokster\\_05.htm](http://org.uib.no/reiseveska/HTML-filer/Hordaland/austevoll/austevoll_mokster_05.htm). [Funnet 12 Mars 2018].
- [46] BOC, «Laser cutting LASERLINE,» 2010. [Internett]. Available: [https://www.boconline.ie/internet.lg.lg.irl/en/images/laser\\_cutting674\\_78872.pdf?v=1.0](https://www.boconline.ie/internet.lg.lg.irl/en/images/laser_cutting674_78872.pdf?v=1.0). [Funnet 20 03 2018].
- [47] N. H. j. Andrew H. Rawicz, «Theodore H. Maiman,» 2014. [Internett]. Available: <http://www.nasonline.org/publications/biographical-memoirs/memoir-pdfs/maiman-theodore.pdf>. [Funnet 20 Mars 2018].
- [48] Spilasers, «Laser cutting of metal,» [Internett]. Available: <http://www.spilasers.com/application-cutting/the-various-types-techniques-of-laser-cutting/>. [Funnet 18 03 2018].
- [55] Cheersonic, «Handheld ultrasonic knives,» [Internett]. Available: <http://www.cheersonic.com/portfolio-items/handheld-ultrasonic-knives/>. [Funnet 15 Mars 2018].
- [56] Sonotec Co., «Workings of the ultrasonic cutter,» [Internett]. Available: <http://www.sonotec.com/en/tec.html>. [Funnet 2 Mars 2018].
- [62] Youtube, «how to cut with a torch. oxygen acetylene welding cutting torch,» 13 April 2010. [Internett]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=7EGmrPiumEU&t=74s>. [Funnet 9 April 2018].

# Vedlegg

1. Hovedmålsetting knivbjelke med el-motor
2. Hovedmålsetting prototype
3. Eksplosjonstegning prototype
4. «Naturverträgliche Mähtechnik» av ProRegio.
5. Eksplosjonstegning girkasse ESM
6. Eksplosjonstegning knivbjelke ESM
7. Service instruksjon girkasse
8. Service instruksjon knivbjelke
9. Informasjons- og datablad fra Cheersonic

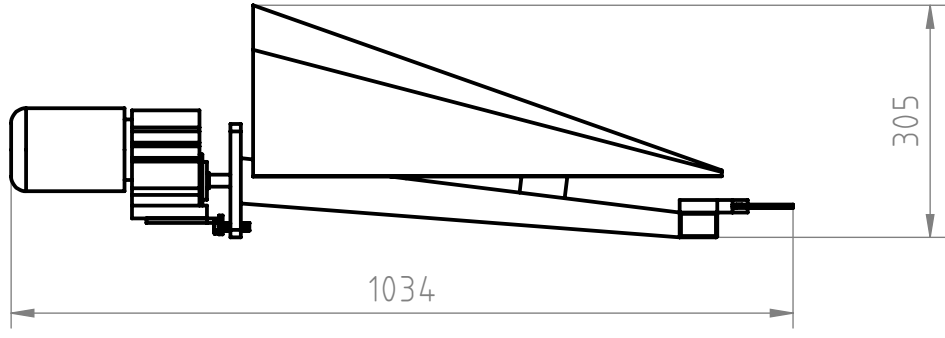




1 2 3 4

A

A

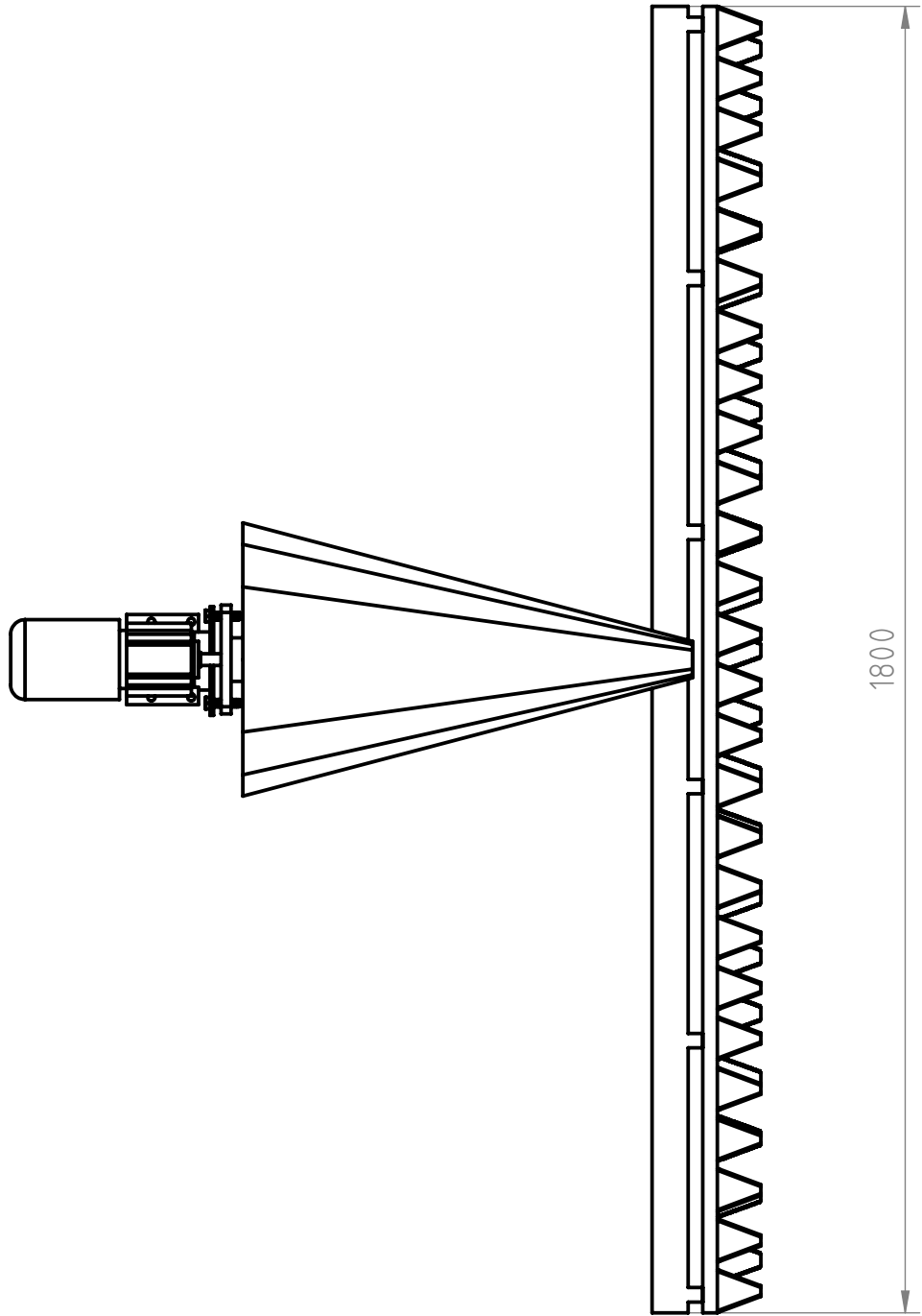


B

B

C

C



D

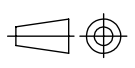
D

E

E

F

F



1:10 (A4)

Tittel  
HOVEDMÅL KNIVBJELKE MED ELMOTOR

Dato: 10.5.18

1 2 3 4

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

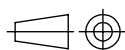
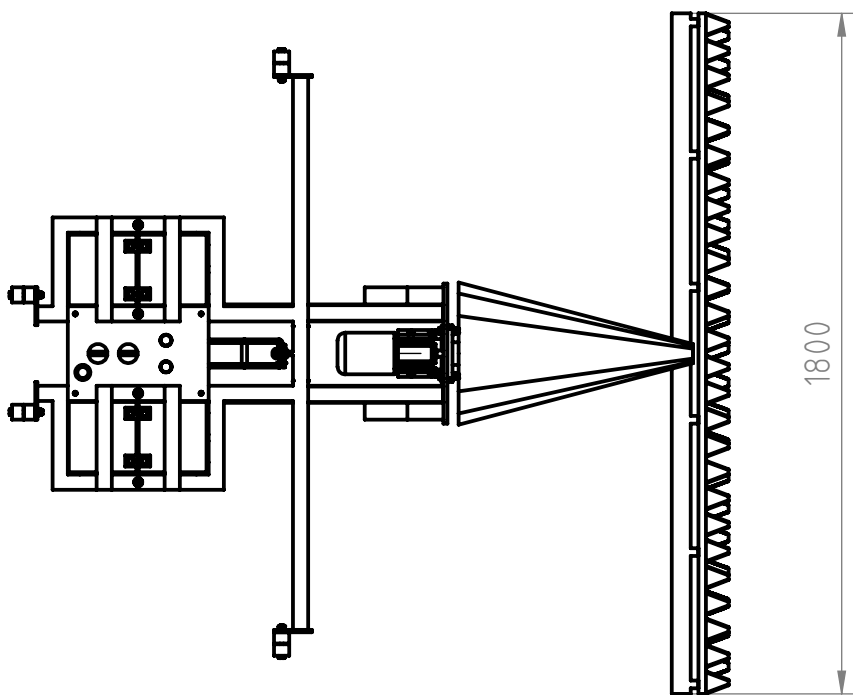
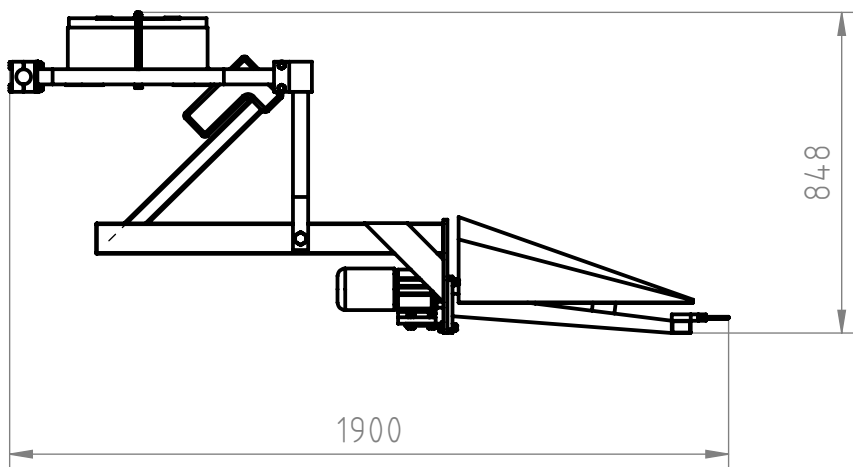
D

E

E

F

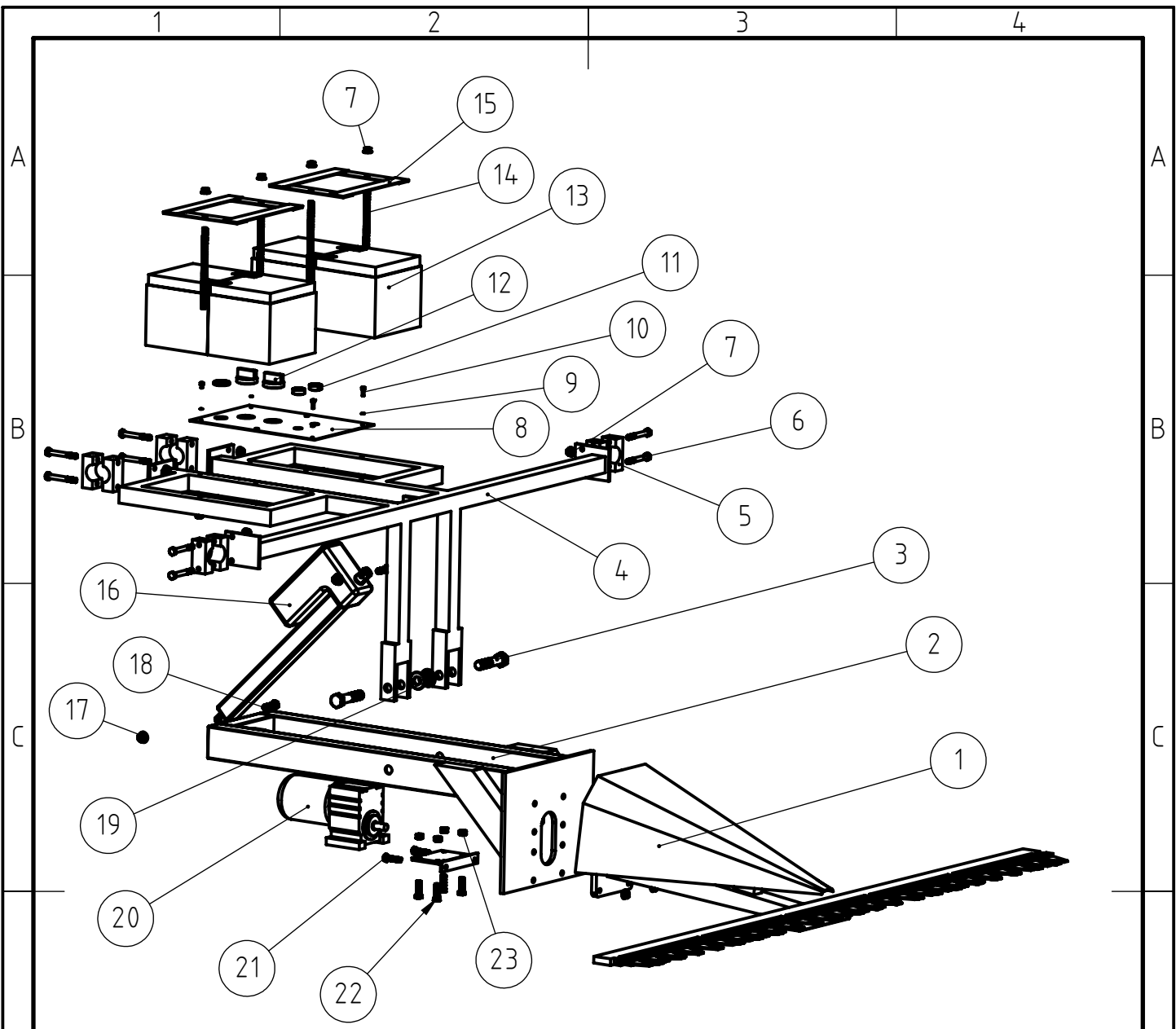
F




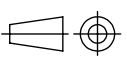
1:20 (A4)

Tittel:  
HOVEDMÅL PROTOTYPE

Dato: 10.5.18



Nr	Del	Kvantum	Nr.	Del	Kvantum
1	Knivbjelke med girkasse	1	13	Batteri	4
2	Underarm (ramme)	1	14	Gjengestag	4
3	ISO 8765 - M20x1.5 x 90 x 46-S	2	15	Batteriholder	2
4	Overarm (ramme)	1	16	Lineærakuator	1
5	Klammer	8	17	ISO - 4161 - M12 - N	2
6	ISO 8765 - M10x1.0 x 80 x 26-S	8	18	ISO 8676 - M12x1.5 x 40-S	2
7	ISO - 4161 - M10 - N	20	19	ISO - 4161 - M20 - N	2
8	Kontrollpanel	1	20	Elmotor med girkasse	1
9	Fiberpakknig	4	21	ISO 8676 - M10x1.0 x 40-S	4
10	ISO 4762 M5 x 16 - 16N	3	22	ISO 8676 - M10x1.0 x 35-S	4
11	Trykkbryter	1	23	ISO - 4034 - M10 - N	4
12	Strømsbryter	2			

	 1:15 (A4)	Tittel: EKSPLOSJONSTEGNING AV PROTOTYPE
		Dato: 10.5.2018



## informiert



- Naturverträgliche Mähtechnik
- Streu- und Nasswiesenpflege

### Der Messerbalken contra Rotationsmäherwerk



Braunfrosch

Früher fanden Störche in unseren Wiesen Frösche in hoher Dichte. Durch die Rotationsmähtechnik sind sie heute selten geworden.

### Spezifischer Leistungsvergleich

	Doppelmesser- mäher	Trommelmäher	Scheibenmäher
Flächenleistung (ha/h und m Arbeitsbreite)	0,7 - 1,1	0,8 - 1,2	0,8 - 1,2
Gewicht (kg/m Arb.)	2 - 3	8 - 12	5 - 10
Leistungsbedarf ab Gelenkwelle (kW/m Arb.)	70 - 90	210 - 260	150 - 250

Der Kraftbedarf ist beim Doppelmesser-  
Mähwerk 3x geringer als beim  
Trommel- und Scheibenmäherwerk.

**Schneidtechnik/Messerbalkentechnik – artenschonend, aber höherer Verschleiß**

#### Fingerbalken-Mähwerk

Fingermäherwerke besitzen als Schneide eine hin und her bewegbare Reihe von Messerklingen. Die Verstopfungsanfälligkeit führte zur Verdrängung der Technik.

#### Doppelmesser-Mähwerk

Beim Doppelmesser-Mähwerk bewegen sich zwei Klingenreihen gegenläufig. Die Verstopfungsgefahr ist stark verringert. Moderne Messer mit hoher Standzeit gewährleisten eine hohe Flächenleistung.

#### Rotationstechnik – wartungsarm, aber hohe Verluste bei Amphibien

#### Trommelmäherwerk (Kreiselmähwerk)

Hauptbestandteile dieses Mähwerks sind die Mähtrummeln. Bei Rotation treten aus der Trommel 3-4 Einzelmesserklingen.

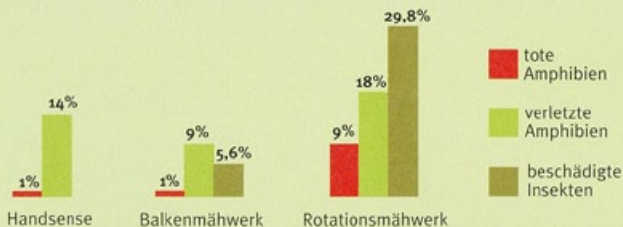
#### Scheibenmäherwerk

Auf einem Trägerbalken rotieren flache, ovale Mähscheiben, an denen jeweils zwei oder drei Einzelmesserklingen befestigt sind.



**Fazit: Der Messerbalken ist keine Technik von gestern – aus ökologischer Sicht sollte er bevorzugt werden.**

### Naturverträglichkeit von Mähgeräten



### Indirekte Auswirkungen

Mit modernen Mähgeräten können enorme Flächenleistungen erzielt werden, so dass große Gebiete binnen kürzester Zeit abgemäht sind. In diesen an Landschaftsstrukturen armen Gebieten finden beispielsweise Amphibien nur schwer einen geeigneten Lebensraum. Durch ungemähte Randstreifen kann ein wirksamer Beitrag zur Erhaltung vieler Tierarten geleistet werden.

Auswirkungen verschiedener Mähmethoden auf Amphibien und Insekten: **Balkenmäherwerke schonen Frösche, Heuschrecken und Falter.**



Scheckenfalter

Insekten sind ein zentrales Glied in der Nahrungskette. Insektenreichtum in Wiesen ist eine wichtige Grundlage für das Vorkommen von Amphibien. In der Nahrungskette bilden die Amphibien ihrerseits eine bedeutende Nahrungsgrundlage für den Weißstorch und für andere Wirbeltiere.



- Vorkommen einer Rote-Liste-Art
- Vorkommen einer sonstigen, grünlandtypischen Art



## Die Streuwiese und ihre Bewohner



Grasglucke



Enzianbläuling



Sumpfschrecke



Schwertschrecke



Hufeisenzurjunfer



Warzenbeißer

### Pflegehinweise

Mahd ab Anfang September

Sonderfälle:

- Mahd ab Mitte September bei besonderen spätblühenden Arten wie Schwalbenwurzian
- Mahd alle 2-3 Jahre bei schwachwüchsigen Kleinseggenriedern
- Mahd Anfang August zur gezielten Dezimierung dominierender Arten wie Goldrute oder Schilf

Messerbalken verwenden; dabei eine Mahdhöhe mindestens 10 cm einhalten, um Verletzungen des Bodens zu vermeiden und die direkten Tierverluste beim Mähen zu verringern.

## Die Nasswiese und ihre Bewohner



Weißstorch



Distelfalter



Rösels-Beißschrecke



Grasfrosch

### Pflegehinweise

Zwei Schnitte: 1. Schnitt ab Mitte Juni, keine Düng- und Pflanzenschutzmittel

Sonderfälle:

- Mahd ab Anfang Juni zur schnelleren Aushagerung
- Heuwiesenmahd ab Anfang August
- Düngung mit Festmist bis zu 150 dt/ha alle 2 Jahre zur Kräuterförderung

Vorhandene Maschinen können mit einfachen Mitteln für die Feuchtgebietspflege umgerüstet werden.

Schlepper mit Giterrädern und zwillingsbereiftem Ladewagen



## Randstreifen und ihre Bewohner



Heidegrashüpfer



Florfliege



Zebra spinne



List spinne



Zauneidechse



Braunkehlchen

### Pflegehinweise

Grasstreifen/-inseln von der Mahd ausnehmen:

- mindestens 5% der Fläche stehen lassen
- jährlich wechselnde Flächen
- Für Wiesenbrüter Randstreifen über den Winter bis Ende Juni stehen lassen



● Vorkommen einer Rote-Liste-Art

● Vorkommen einer sonstigen, grünlandtypischen Art

**PROREGIO**  
Landschaftspflege

**Systemtechnik KUNZELMANN**

MASCHINEN & GERÄTEBAU

AGRO-SERVICE LANDMASCHINEN FACHBETRIEB UMWELTECHNIK · MASCHINEN ZUR ÖKOLOGISCHEN LANDSCHAFTSPFLEGE

Peter Kunzelmann, Maschinen & Gerätebau, Castellbergstraße 1, 79235 Vogtsburg, Ortsteil Achkarren,

Telefon (076 62) 69 98, Telefax (076 62) 60 61, E-mail Kunzelmann.Peter@t-online.de · www.kunzelmann-peter.de

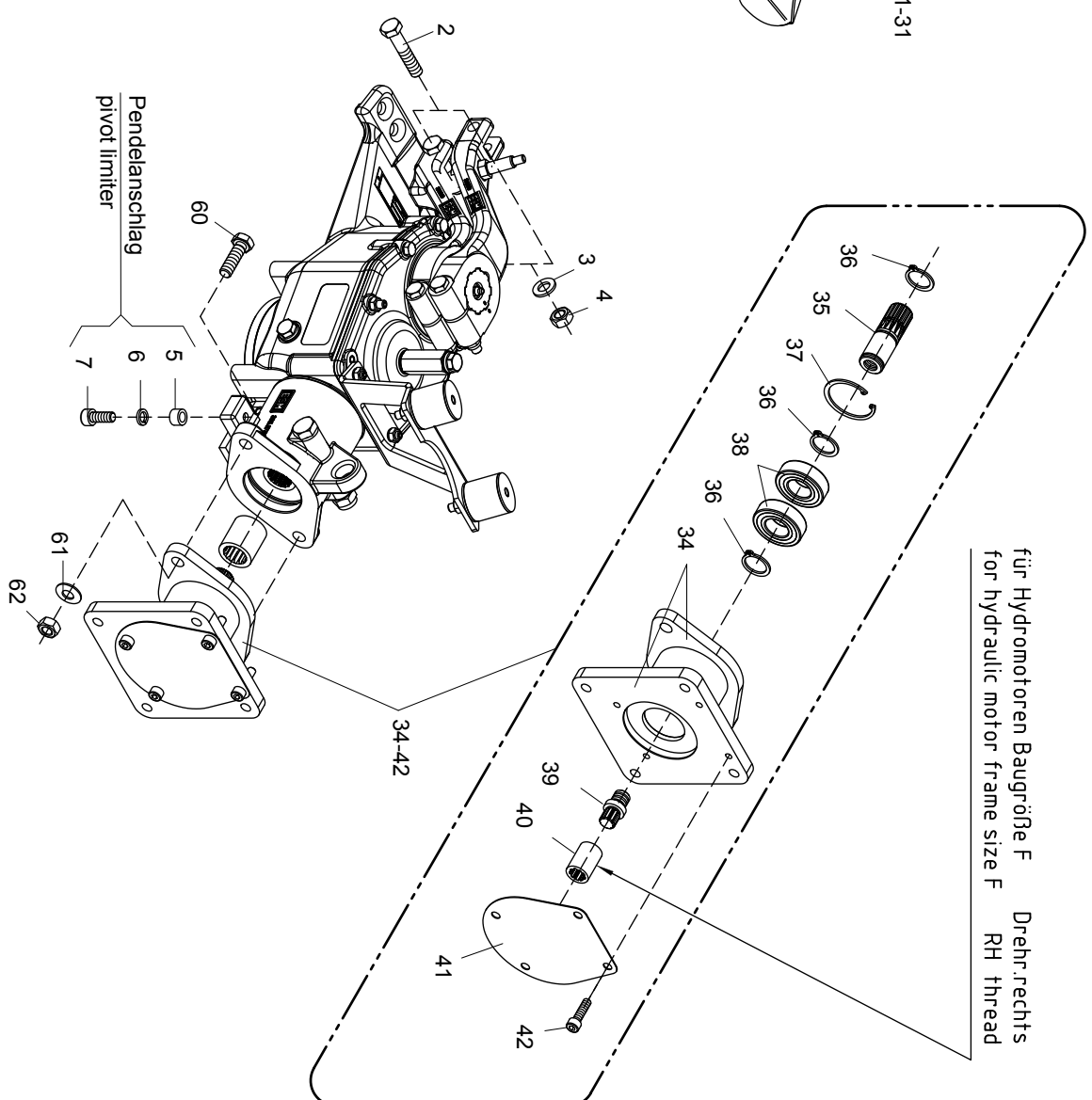
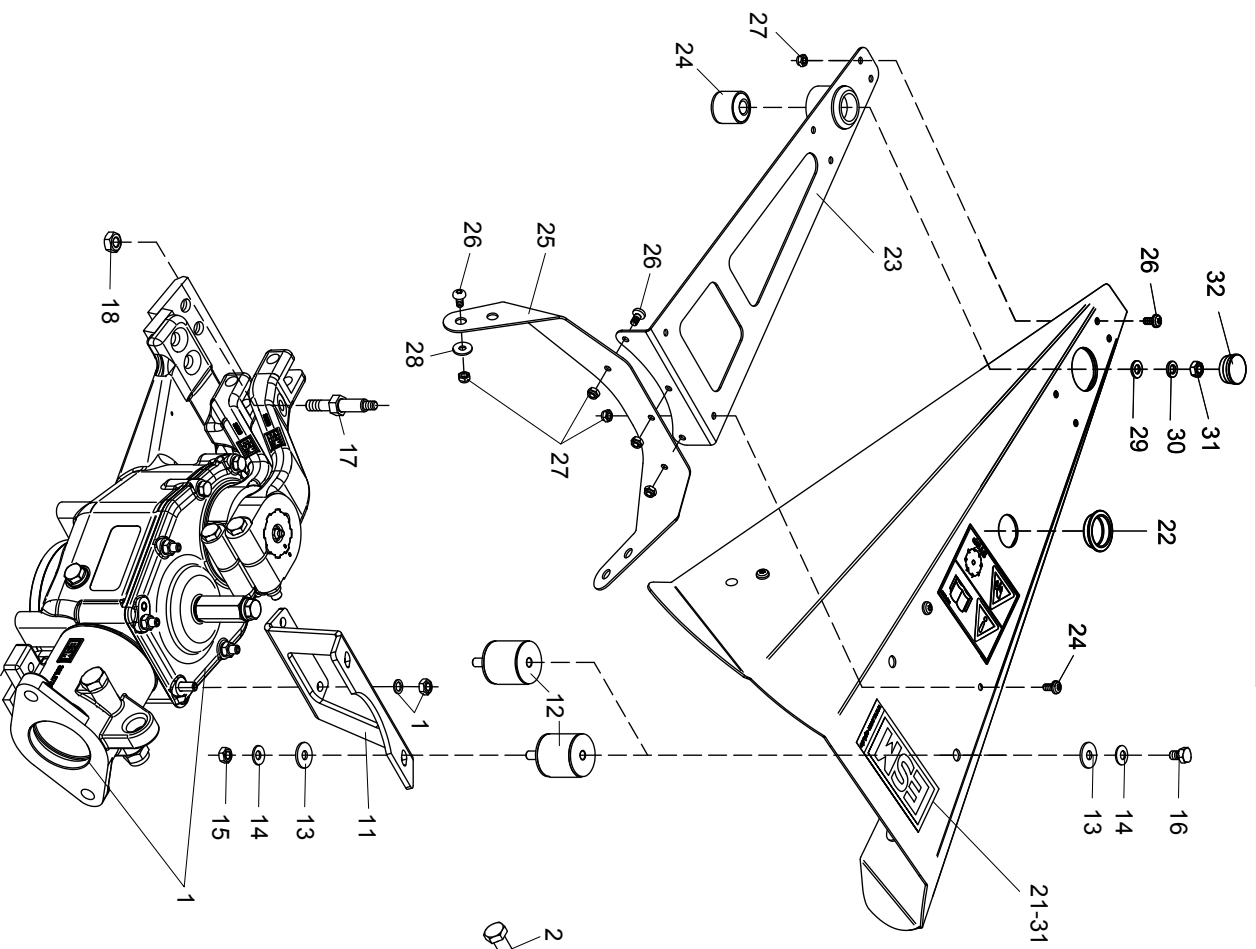


**DM - Ölbad-Mittelmähantrieb**  
mit beweglicher Haube und Pendelanschlag  
**DK - Oil bath mid-mounted cutter drive**  
with pivot limiter and oscillating protection hood

**137 3480**



28.05.2017



für Hydromotoren Baugröße F    Drehr. rechts  
for hydraulic motor frame size F    RH thread



Ennepetaler Schneid.-u.  
Mähetechnik GmbH u. Co KG  
Kölner Straße 29  
D-58256 Ennepetal  
Telefon (02333) 9688-0  
Telefax (02333) 9688-88  
Internet: www.esm-epi.de



**DM - Ölbad-Mittelmähetrieb**  
mit beweglicher Haube und Pendelanschlag  
**DK - Oil bath mid- mounted cutter drive**  
with pivot limiter and oscillating protection hood

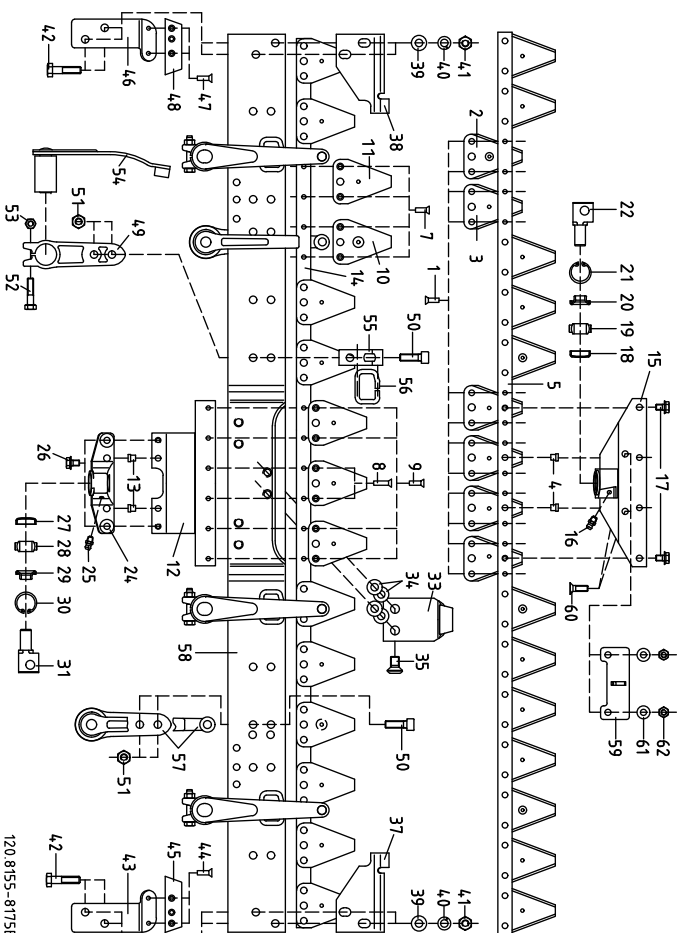
**137 3480**



28.05.2017

Pos.	Teil-Nr. Part number	Bezeichnung	Description		Pos.	Teil-Nr. Part number	Bezeichnung	Description	
1	137 3200	DM - Ölbad-Mittelmähetrieb	DK-Oil bath mid- mounted cutter drive		34-42	285 0890	Anbauflansch kpl.	Adapter flange cpl.	
2-4	240 2320	Festigung für Gelenkbolzen	Fasterers for connecting bolt		34	285 0880	Anbauflansch	Adapter flange	
2	560 0950	Sechskantschraube	Hexagon bolt		35	300 5990	Welle	Shaft	25x2,0
3	555 0210	Scheibe	Washer		36	566 0130	Sicherungsring für Wellen	Retaining rings for shafts	52x2,0
4	537 0440	Sechskantmutter	Hexagon nut		37	566 0320	Sicherungsring für Bohrungen	Retaining ring for bores	6205 2RS
5	324 4620	Distanzbuchse	Spacer bushing		38	590 0480	Rillenkugellager	Grooved ball bearing	
6	565 0700	Federling	Spring lock washer		39	323 1160	Kupplungsstück	Coupler	
7	561 0500	Zylinderschraube	Cylinder head screw		40	324 1650	Kupplungshülse	Clutch bushing	
					41	928 1100	Abdeckkarton	Cover paperboard	
					42	561 0330	Zylinderschraube	Cylinder head screw	M 8x30
11	361 4370	Halter für Schutzhaube	Bracket for hood		60	560 3030	Sechskantschraube	Hexagon bolt	M 12x40
12	568 0540	Rundlager Typ B	Rubber buffer type B		61	565 0270	Sperrkantscheibe	Washer	SKM 12
13	555 0610	Scheibe	Washer		62	537 0440	Sechskantmutter	Hexagon nut	M 12
14	565 0250	Sperrkantscheibe	Safety washer						
15	537 0420	Sechskantmutter	Hexagon nut						
16	560 2190	Sechskantschraube	Hexagon bolt						
17	323 6330	Lagerbolzen	Carrier bolt						
18	537 0410	Sechskantmutter	Hexagon nut						
21-31	276 0720	Schutzhaube kpl.	Protection hood cpl.						
22	532 0480	Verschluss-Stopfen	Plastic plug						
23-24	279 0975	Träger kpl.	Carrier compl.						
24	568 0110	Silenblock	Silenbloc						
25		Querverstärkung	Brace						
26	562 1530	Linse schraube	Lens head screw						
27	537 0600	Sicherungsmutter	Lock nut						
28	555 0600	Scheibe	Washer						
29	555 0190	Scheibe	Washer						
30	565 0110	Federling	Spring lock washer						
31	537 0420	Sechskantmutter	Hexagon nut						
32	532 0530	Verschluss-Stopfen	Plastic plug						
33	324 1230	Kupplungshülse	Clutch bushing						





120 8155-87TSET

Emmepreteler Schneid- u.  
Mähtechnik GmbH u. Co.KG  
Köhler-Strasse 29  
42699 Solingen  
Telefon (02333) 9688-0  
Telefax (02333) 9688-88  
Internet: www.esm-epi.de

**ESM** ® **Doppelmesserschneidwerk**  
für Ölbad Mittelhähnantrieb  
Untermesser gezahnt **Alulux** ®

Artikel-Nr.	Schnittbreite
120 8155	126 cm
120 8165	135 cm
120 8175	170 cm

Pos.	Art.-Nr.	Bezeichnung	Pos.	Art.-Nr.	Bezeichnung	Pos.	Art.-Nr.	Bezeichnung
1	323 2001	Senkmet 6x19	18	599 0310	Verschlussdeckel	46	246 0230	Abschlussmesser LH
2	267 1171	Messerklinge mit Pilz	19	521 0080	Gelenklager	47	54 4 0171	Senkmet 5x20
3	344 1551	Messerklinge	20	367 2360	Dichtung	48	321 2410	Schnuplatte
4	323 0860	Mittelhähnbolzen	21	566 0280	Sicherungsring	49	272 0150	Halter kpl.
5	352 1090	Messerrücken für 126 cm	22	323 0950	Gelenkbolzen	50	561 0520	Zylinderschr. M 10x30
6	355 1100	Messerrücken für 135 cm	24	345 0920	Messerkopf f. Unterm.	51	537 0410	Sechskantmutter M 10
7	355 1100	Messerrücken für 170 cm	25	551 0010	Kegelstirnrippel	52	600 1430	Sechskant schr. M 8x40
8	323 2001	Senkmet 6x19	26	562 0430	Verbus-Ripp-Schraube	53	537 0420	Sechskantmutter M 8
9	323 1901	Senkmet 6x20	27	599 0310	Verschlussdeckel	54	267 1270	Messerkopf f. OM
10	344 0990	Messerklinge gez. mit Pilz	28	521 0080	Gelenklager	55	330 1160	Federplatte
11	344 0980	Messerklinge	29	367 2360	Dichtung	56	365 0250	Bügel
12	247 1890	Mittelhähnbolzen	30	566 0280	Sicherungsring	57	267 1360	Messerkopf f. UM
13	323 0860	Mittelhähnbolzen	31	323 0950	Gelenkbolzen			
14	352 1090	Messerrücken für 126 cm	32	238 1590	Messerauflage	58	311 7860	Balkenrücken für 126 cm
15	355 1100	Messerrücken für 135 cm	33	555 1440	Schraube PS 13x19x0,5	59	311 7870	Balkenrücken für 135 cm
16	355 1100	Messerrücken für 170 cm	34	323 2660	Senkschraube	60	311 7880	Balkenrücken für 170 cm
17	247 1930	Messerkopf kpl. f. Oberm.	35	332 1330	Messerkopf f. Oberm.	61	279 0280	Grasabweiser
18	247 1910	Messerkopf für Obermesser	36	332 1350	Messerkopf f. Oberm.	62	561 1820	Senkschraube M 8x25
19	557 0010	Kegelstirnrippel	37	525 0200	Schnurle 10,5	63	565 0250	Spannribschraube SK708
20	562 0430	Verbus-Ripp-Schraube	38	537 0120	Federling A10	64	537 0420	Sechskantmutter M8
21	599 0310	Verschlussdeckel	39	561 0280	Sechskantmutter M 10			
22	323 0950	Gelenkbolzen	40	560 2660	Sechskantschr. M 10x40			
23	344 1551	Messerklinge	41	246 0030	Abschlussmesser RH			
24	323 0860	Mittelhähnbolzen	42	544 0171	Senkmet 5x20			
25	352 1090	Messerrücken für 126 cm	43	321 2430	Schnuplatte			
26	355 1100	Messerrücken für 135 cm	44	272 0150	Halter kpl.			
27	355 1100	Messerrücken für 170 cm	45	561 0520	Zylinderschr. M 10x30			
28	323 2001	Senkmet 6x19	46	537 0410	Sechskantmutter M 10			
29	323 1901	Senkmet 6x20	47	600 1430	Sechskant schr. M 8x40			
30	344 0990	Messerklinge gez. mit Pilz	48	537 0420	Sechskantmutter M 8			
31	344 0980	Messerklinge	49	267 1270	Messerkopf f. OM			
32	247 1890	Mittelhähnbolzen	50	330 1160	Federplatte			
33	323 0860	Mittelhähnbolzen	51	365 0250	Bügel			
34	352 1090	Messerrücken für 126 cm	52	267 1360	Messerkopf f. UM			
35	355 1100	Messerrücken für 135 cm						
36	355 1100	Messerrücken für 170 cm						
37	323 2001	Senkmet 6x19						
38	323 1901	Senkmet 6x20						
39	344 0990	Messerklinge gez. mit Pilz						
40	344 0980	Messerklinge						
41	247 1890	Mittelhähnbolzen						
42	323 0860	Mittelhähnbolzen						
43	352 1090	Messerrücken für 126 cm						
44	355 1100	Messerrücken für 135 cm						
45	355 1100	Messerrücken für 170 cm						
46	323 2001	Senkmet 6x19						
47	323 1901	Senkmet 6x20						
48	344 0990	Messerklinge gez. mit Pilz						
49	344 0980	Messerklinge						
50	247 1890	Mittelhähnbolzen						
51	323 0860	Mittelhähnbolzen						
52	352 1090	Messerrücken für 126 cm						
53	355 1100	Messerrücken für 135 cm						
54	355 1100	Messerrücken für 170 cm						
55	323 2001	Senkmet 6x19						
56	323 1901	Senkmet 6x20						
57	344 0990	Messerklinge gez. mit Pilz						
58	344 0980	Messerklinge						
59	247 1890	Mittelhähnbolzen						
60	323 0860	Mittelhähnbolzen						
61	352 1090	Messerrücken für 126 cm						
62	355 1100	Messerrücken für 135 cm						
63	355 1100	Messerrücken für 170 cm						
64	323 2001	Senkmet 6x19						
65	323 1901	Senkmet 6x20						
66	344 0990	Messerklinge gez. mit Pilz						
67	344 0980	Messerklinge						
68	247 1890	Mittelhähnbolzen						
69	323 0860	Mittelhähnbolzen						
70	352 1090	Messerrücken für 126 cm						
71	355 1100	Messerrücken für 135 cm						
72	355 1100	Messerrücken für 170 cm						
73	323 2001	Senkmet 6x19						
74	323 1901	Senkmet 6x20						
75	344 0990	Messerklinge gez. mit Pilz						
76	344 0980	Messerklinge						
77	247 1890	Mittelhähnbolzen						
78	323 0860	Mittelhähnbolzen						
79	352 1090	Messerrücken für 126 cm						
80	355 1100	Messerrücken für 135 cm						
81	355 1100	Messerrücken für 170 cm						
82	323 2001	Senkmet 6x19						
83	323 1901	Senkmet 6x20						
84	344 0990	Messerklinge gez. mit Pilz						
85	344 0980	Messerklinge						
86	247 1890	Mittelhähnbolzen						
87	323 0860	Mittelhähnbolzen						
88	352 1090	Messerrücken für 126 cm						
89	355 1100	Messerrücken für 135 cm						
90	355 1100	Messerrücken für 170 cm						
91	323 2001	Senkmet 6x19						
92	323 1901	Senkmet 6x20						
93	344 0990	Messerklinge gez. mit Pilz						
94	344 0980	Messerklinge						
95	247 1890	Mittelhähnbolzen						
96	323 0860	Mittelhähnbolzen						
97	352 1090	Messerrücken für 126 cm						
98	355 1100	Messerrücken für 135 cm						
99	355 1100	Messerrücken für 170 cm						
100	323 2001	Senkmet 6x19						
101	323 1901	Senkmet 6x20						
102	344 0990	Messerklinge gez. mit Pilz						
103	344 0980	Messerklinge						
104	247 1890	Mittelhähnbolzen						
105	323 0860	Mittelhähnbolzen						
106	352 1090	Messerrücken für 126 cm						
107	355 1100	Messerrücken für 135 cm						
108	355 1100	Messerrücken für 170 cm						
109	323 2001	Senkmet 6x19						
110	323 1901	Senkmet 6x20						
111	344 0990	Messerklinge gez. mit Pilz						
112	344 0980	Messerklinge						
113	247 1890	Mittelhähnbolzen						
114	323 0860	Mittelhähnbolzen						
115	352 1090	Messerrücken für 126 cm						
116	355 1100	Messerrücken für 135 cm						
117	355 1100	Messerrücken für 170 cm						

Thank you for purchasing an **ESM Quality Product**

This user manual and our safety instructions must be read, understood and always be available for reference to all other users. Should this cutting unit be assembled with other components to create a machine, as specified by the Machinery Directive 2006/42/EC, both the information in this manual and the safety instructions must be integrated into operating instructions of the completed machinery!

**TECHNICAL INFORMATION**

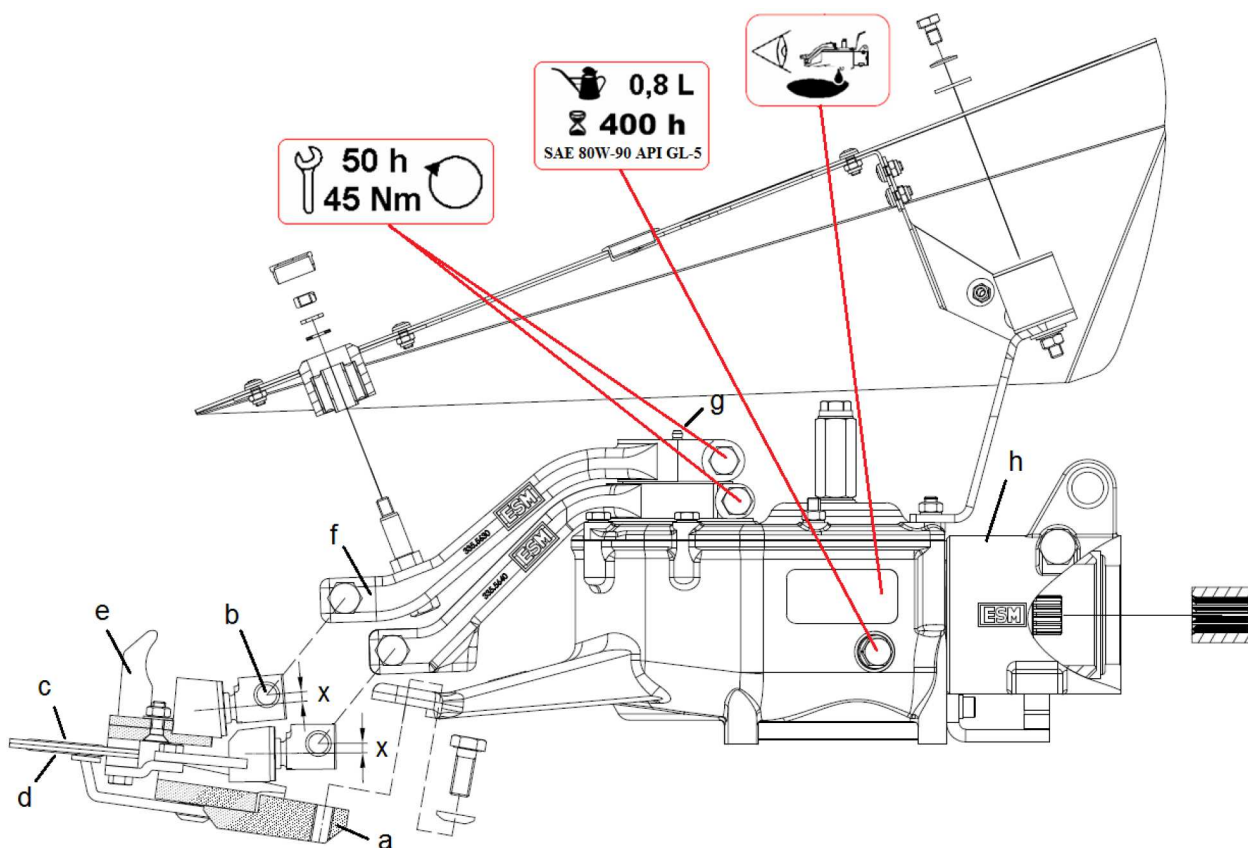
Working width	up to 2,04 m	Mowing speed	up to 5 km/h
Double-stroke rate per min.	up to 800	Top and bottom knife stroke	84 mm

**ASSEMBLY: CUTTER DRIVE TO IMPLEMENT CARRIER**

The assembly of the cutter drive is only permitted at points agreed between ESM and the respective device manufacturer. Should the installation respectively the drive deviate, then the manufacturer of the completed machinery is responsible for the assembly and operational safety as well as for the provision of comprehensive assembly instructions in his operating manual!

**ASSEMBLY: CUTTER DRIVE TO CUTTERBAR**

The correct assembly of the cutterbar to the cutter drive is to be carried out as follows:



1. Remove the knives from the cutterbar as described in the user manual of the cutterbar and the protective cover
2. Mount the cutterbar to the base plate (a) of the cutter drive using the fasteners provided.
3. When installing the knives (bottom knife (d) and subsequently the top knife(c)), ensure that main bore (x) of the connecting bolt (b) is positioned above the axis of the connecting bolt!
4. Fold down the top guide arms (Ensure the correct positioning of the guide bushings to the carrier studs).
5. Adjustment of the knives: The top and bottom knives must glide upon another without any free play between them; the same applies to the bottom knife (d) and the knife support (e).
  - a. Rotate the drive to the central position (Oscillating drive arms are vertically aligned)
  - b. To keep the contact pressure of the knives on the knife support as low as possible, place an insert of approx.  $y = 0.3 - 0.5$  mm between the bottom knife (d) and the knife support (e).
  - c. Apply light down pressure to the two middle sections of the top knife(c), firmly tighten the two clamp bolts on the connecting bolt and remove the insert.
6. Check the running characteristics and, if required, attach the safety equipment and knife protection strip.

We recommend rechecking and if necessary redoing the adjustment after a short test run.

**INTENDED USE:**

This equipment may only be used for standard agricultural, forestry and municipal mowing, as well as for extensive landscape cutting operations. In special cases (refer to the specific operating instructions) operation of the equipment is also allowed when it is in a vertical position. Any use other than the intended is not permitted and the manufacturer accepts no liability for any damages which may thereby be incurred. The Intended use also includes the adherence to all safety, assembly, disassembly, commissioning, operation and servicing specifications of the manufacturer and the distributors

For your own safety, never operate this cutter drive with a rotational speed higher than 800 RPM!

**ATTENTION!**

**Due to its functional design, all potential risks cannot be eliminated. The attached document "General Safety Instructions" makes reference to these residual risks, for the avoidance of which the operator bears the full responsibility!**

**MAINTENANCE:**

Operational breakdowns caused by inadequate or improper maintenance may lead to high repair costs and long downtimes of the cutter drive. Regular inspections and maintenance to assure operational reliability is therefore essential!! The following is to be observed:

- First oil change after approx. 50 - 60 operating hours, subsequently after approx. every 400 operating hours, but at least annually. Use approx. 0.8 litre Gear Oil SAE 80W-90 API GL-5.
- Lubricate only with clean greases, depending on the operating time and temperature, at least every 4-6 operating hours and after each cutting operation or high pressure cleaning. To be lubricated are the oscillating drive arm bearings (g) and the pivot flange (h).
- All bearings are to be regularly checked for wear.
- Always ensure the mechanical secure connection of all fasteners (attend to tightening torques!) and the protective cover.
- In the possible event, that the oscillating drive arm adapter bearings need to be replaced, ensure that the oscillating drive arms (f) are subsequently reinstalled in its original position. In this position, the stroke must be equal to both sides.
- Always pay attention to any possible oil leakages on the drive.
- We recommend that all repairs are to be carried out by a professional.

**SPARE PARTS:**

We would like to bring to your attention that only ESM original spare parts and accessories should be used, as only these have been tested and approved by us. The fitting and/or use of other products may compromise the function and the safety of the machine. We accept no warranty and liability for damages resulting from the use of other than original spare parts and accessories.

**ADDITIONAL TECHNICAL INFORMATION**

Further technical information, such as spare parts lists and user manuals are to be found on our Website: [www.esm-ept.de](http://www.esm-ept.de). For specific questions please make contact directly with your dealer or the manufacturer.

Thank you for purchasing an **ESM Quality Product**

This user manual and our safety instructions must be read, understood and always be available for reference to all other users. Should this cutting unit be assembled with other components to create a machine, as specified by the Machinery Directive 2006/42/EC, both the information in this manual and the safety instructions must be integrated into operating instructions of the completed machinery!

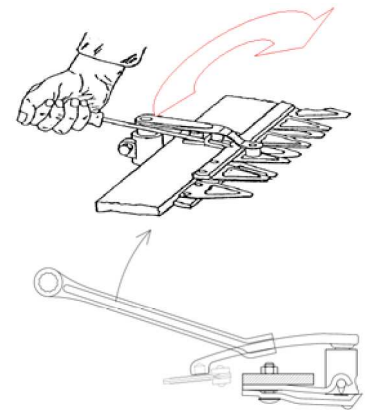
Doubleknife Types:

	Doubleknife – "bidux"	Doubleknife – "bidux ES"	Double knife "76,2"
Top knife guide arm	Leaf spring	Leaf spring	Forged part
Bottom knife guide arm	Ball bearing guide	Rubber bearing guide	Rubber bearing guide
Knife section hole spacing	42 mm	42 mm	38,1 mm

**ASSEMBLY: REMOVAL AND INSTALLATION OF THE KNIVES**

**WEAR PROTECTIVE GLOVES!!**

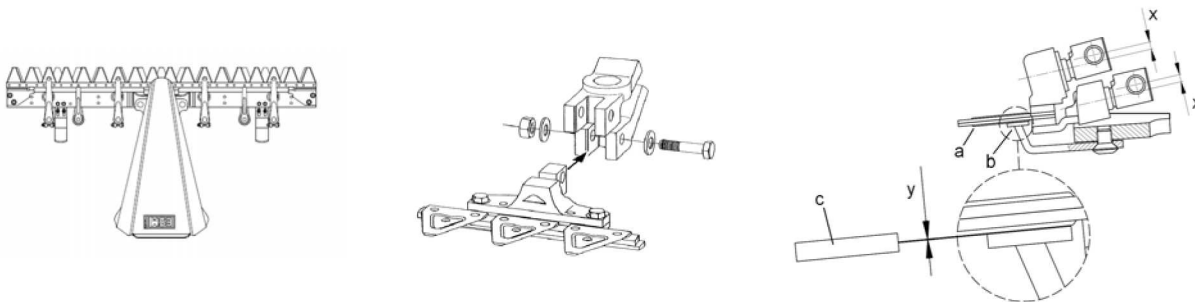
1. Fold up all top knife guide arms, double knife bidux / bidux ES with a screwdriver, double knife "76,2" with ESM special tool (335.3300).
2. If necessary, remove the knife protection strip
3. Removal of the knives: Take hold of the top knife with both hands and pull out the knife in a slightly tilted frontward position. Lever out the bottom knife with a screwdriver and pull out the knife in upward direction. Important: Do not leave the top guide arms in the raised position for a prolonged period of time = relief for the rubber pivot bearing
4. Installation in reverse sequence. Important: Ensure that the guiding section studs are inserted into the designated bottom guide arm bushings and that the studs are sufficiently lubricated.
5. Adjust knife guides as described in: **Maintenance: Inspection, Adjustment and Cleaning**
6. Attach the knife protection strip



**ASSEMBLY: CUTTERBAR TO DRIVE/MACHINE**

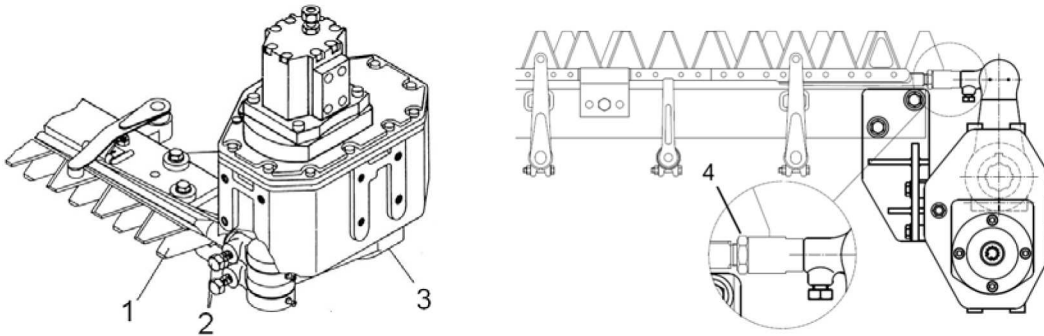
The assembly of the cutterbar is only permitted at points agreed between ESM and the respective device manufacturer. Should the installation respectively the drive deviate, then the manufacturer of the completed machinery is responsible for the assembly and operational safety as well as for the provision of comprehensive assembly instructions in his operating manual! Assembly of the Cutterbar is described briefly in the following. The assembly instructions for the respective cutter drive specify the detailed procedure:

**Central drive: Doubleknife - Oil-bath mid-mounted Cutter drive**



1. Remove the knives from the cutterbar as previously described
2. Attachment of the cutterbar to the cutter drive using the screws provided.
3. When installing the knives (bottom knife and subsequently the top knife), as described above, ensure that main bore of the connecting bolt (Fig. 2/X) is positioned above the axis of the connecting bolt!
4. Fold down the top guide arms (Ensure the correct positioning of the guide bushings to the carrier studs).
5. Adjustment of the knives: The top and bottom knives must glide upon another without any free play between them; the same applies to the bottom knife and the knife support.
  - a. Rotate the cutter drive to the central position (Oscillating drive arms are vertically aligned)
  - b. To keep the contact pressure of the knives onto the knife support as low as possible, place an insert (c) of approx.  $y = 0.3 - 0.5$  mm between the bottom knife (a) and the knife support (b).
  - c. Apply light down pressure to the two middle sections of the top knife, firmly tighten the two clamp bolts and remove the insert.
6. Check the running characteristics and, if required, attach the safety equipment and the knife protection strip.

**Side Drive: Doubleknife - Oil-bath-Cutter drive 1920**



1. Assembly of the cutterbar to the drive shoe respectively the oil bath drive and/or portal frame.
2. Fold down the top guide arms (Ensure the correct positioning of the guide bushings to the carrier studs).
3. Tighten knife head - clamp bolts (2) to a torque of 125 Nm.
4. Adjustment of the knives: The top and bottom knives must glide together without free play; also the bottom knife (1) must not touch the drive shoe.
  - a. Bring the cutter knife into a central position, in this position the knife head bearings are in alignment.
  - b. Loosen bolts (3) securing the oscillating arms and adjust the oscillating drive arm position as required. Ensure that the knives remain straight (no vertical distortion).
  - c. The knives must lie flat on top of each other without any free-play between them. Additionally, if adjustment is needed loosen the lock nut (4) on the top knife head and turn the knife until a flat contact between the knife sections is reached.
  - d. Next, recheck the height clearance between bottom and top knife.
  - e. Check if clamp bolts (3) on the knife heads and the oscillating arms (3) are screwed on tightly. Next we recommend a short test run and a recheck to the proper position of the knives.
5. Check the running characteristics and, if required, attach the safety equipment and knife protection strip.

**INTENDED USE:**

This equipment may only be used for standard agricultural, forestry and municipal mowing, as well as for extensive landscape cutting operations. In special cases (refer to the specific operating instructions) operation of the equipment is also allowed when it is in a vertical position. Any use other than the intended is not permitted and the manufacturer accepts no liability for any damages which may thereby be incurred.

The Intended use also includes the adherence to all safety, assembly, disassembly, commissioning, operation and servicing specifications of the manufacturer and the distributors.

For your own safety, never operate this cutterbar;

- at a rotational speed over 900 rpm on walk - behind machines
- at a rotational speed over 1200 rpm on attached/installed units with a working width up to 3.1 m
- at special working widths and/or applications without prior technical consultation with the manufacturer

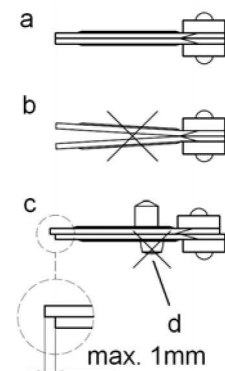
**ATTENTION!**

**Due to its functional design, all potential risks cannot be eliminated. The attached document "General Safety Instructions" makes reference to these residual risks, for the avoidance of which the operator bears the full responsibility!**

**MAINTENANCE: INSPECTION, ADJUSTMENT AND CLEANING**

Operational breakdowns caused by inadequate or improper maintenance may lead to high repair costs and long downtimes of the cutterbar. Regular inspections and maintenance to assure operational reliability is therefore essential!!

- Only sharp, well adjusted and ground knives work trouble free
- The knives must always be straight, bent knife sections and knife backs must be straightened
- If there is heavy wear-off or damage to the knives, we recommend replacing the knives
- Damaged, loose or worn out knife sections need to be replaced
- Knife sections must lie flat on top of one another without any free-play between them (a). Should this not be the case, the knife guides must be straightened or need to be replaced due to heavy wear down.
- Guiding sections with worn carrier studs (d) must be replaced on time, since the knife guide arms can no longer function properly with worn carrier studs.
- If the knife protrusion is greater than 1 mm the guide arms must be straightened accordingly





**Knife guide:**

The pressure of the guide arms to the knives is factory set to 130-160N (13-16kp) and is checked with a spring scale with the knives assembled, directly behind the guide bushing of the guide arms. An adjustment of the pressure is possible, as described below, but seldom necessary. Only after the first 50 hours of operation, or hitting solid obstacles and after repairs does this pressure setting need to be checked.

Design and Pressure Adjustment Double Knife "bidux"

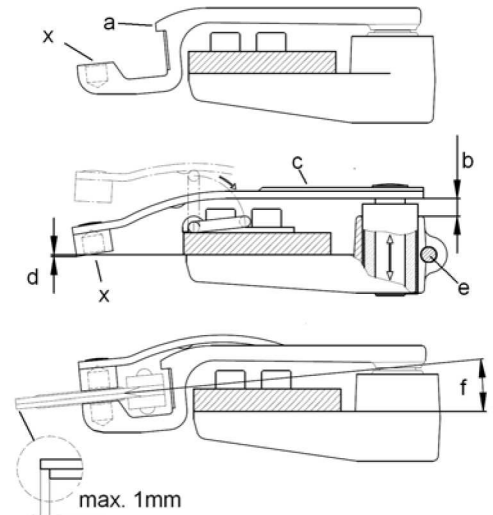
The bottom guide arms (a), which form a unit with its holder and its pivot bearing, determine the correct position of the knife to the bar back respectively the end knife plates.

The top guide arms (c), are built as leaf springs and are mounted in maintenance-free and height-adjustable rubber pivot bearings, which through their position, determine the pressure on the knives.

Adjustments are to be carried out as follows:

Remove the knives and close the guide arms (c). To attain the proper pressure setting (130 -160N (13-16kp), the bottom edge of each individual top guide arm/bushing must stand about 1mm lower than the bottom edge of the bar back (d).

Should a pressure correction be necessary, loosen the clamp bolts (e) and, using a hammer, bring the guide arm (c) respectively its pivot bearing into the correct higher or lower position. Attention! Retighten the clamp bolts (e).

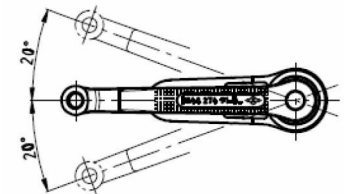


**INSPECTION:**

With a regular check (knives being in central position), the clearance (b = min 7.5 mm, max 11mm), the angular measure (f = 5.5°) and the maximal knife protrusion of 1 mm should be verified. If this is not the case, it indicates a deformation/damage to the guide arms (a, c) and/or the guide arm pivot bearings. For easy inspection and straightening of the guide arms refer to the following scaled (1:1) illustration.

**NOTICE:**

- The knife guide should be cleaned regularly and all friction points (x) should be regularly lubricated.
- Pay attention to wear in the guide bushings of the guide arms.
- Attention – do not over turn the bottom guide arm "bidux"! To avoid damage to the built-in pivot bearing/gasket the guide arm may be turned to each side by a max. of 20°.



Design and Pressure Adjustment Double Knife "bidux ES"

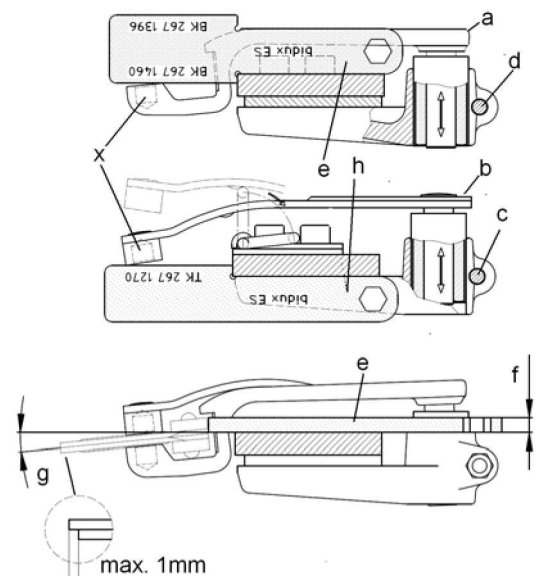
The bottom guide arms (a) are built as forgings and mounted in maintenance-free height-adjustable rubber pivot bearings. With their position they determine both the position and the pressure on the knives.

The top guide arms (b) are built as leaf springs and mounted in maintenance-free height-adjustable rubber pivot bearings. With their position they determine both the position and the pressure on the knives.

Adjustments are to be carried out as follows:

Remove the knives and, with the ESM Adjustment Gauge (e) #364.4470, first set the proper height position of each of the bottom guide arms. Do this by placing the gauge (e), with the guide arms specific number facing down, on the top side of the bar back (as shown in fig.) Next, after loosening the clamp bolts (d), the height position of the guide arm (a) is to be adjusted until the gauge just touches the guide arm/bushing. Finally the clamp bolts (d) are to be retightened.

Now the correct pressure (90-120N (9-12kp) of the top guide arms on knives must be additionally adjusted. This is carried out as follows: Close the guide arm (b) place the adjustment gauge (h) #364.4480 on the lower edge of the bar back (as shown in the fig.) Next, after loosening the clamp bolts (c), the height position of the guide arm (b) is to be adjusted until the gauge just touches the guide arm/bushing. Finally the clamp bolts (d) are to be retightened.



**INSPECTION:**

With a regular check (knives being in central position), the clearance (f = 8 mm/thickness of the gauge), the angular measure (g = 5.5°) and the maximal knife protrusion of 1 mm should be verified. If this is not the case, it indicates a deformation/damage to the guide arms (a, c) and/or the guide arm pivot bearings. For easy inspection and straightening of the guide arms refer to the following scaled (1:1) illustration.

**NOTICE:**

- The knife guide should be cleaned regularly and all friction points (x) should be regularly lubricated.
- Pay attention to wear in the guide bushings of the guide arms

**Design and Pressure Adjustment Double Knife "76,2"**

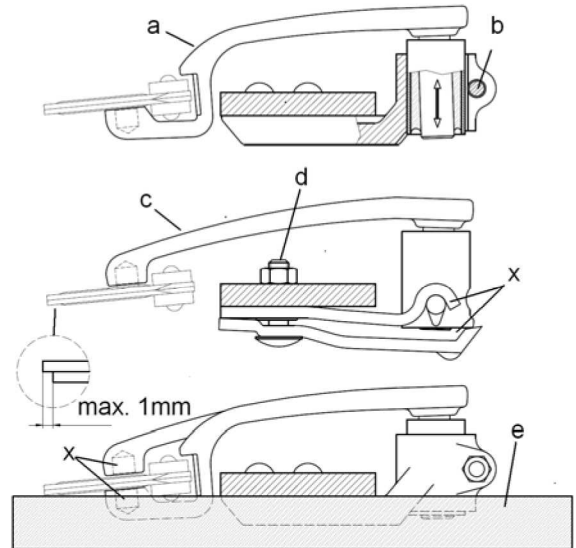
The bottom guide arms (a) are built as forgings and mounted in maintenance-free height-adjustable rubber pivot bearings. With their position they determine both the position and the pressure on the knives.

The top guide arms (c) are built as forgings and are mounted in a spring package. They determine the pressure on the knives only.

Adjustments are to be carried out as follows (knives in central position):

Firstly, after loosening the clamp bolts (b), the position of the knife in the cutterbar is adjusted by an up/down movement of the guide arms (a) respectively their pivot bearings (using a hammer). Correct adjustment is achieved when the section tip is aligned with the bottom edge of the bar back (verification with a ruler (e)).

Inspection and adjustment of the pressure is seldom necessary. The pressure is checked with a spring scale and the knives assembled, directly behind the guide bushing of the guide arms(c). An adjustment, done by turning the nut (d), is necessary if the pressure is not in the range of 130-160 N (13-16kp). Attention! A half-turn of the nut corresponds to a pressure change of approx. 40 N (Check the parallelism of the knives with the bar back – if need be correct it accordingly).



**INSPECTION:**

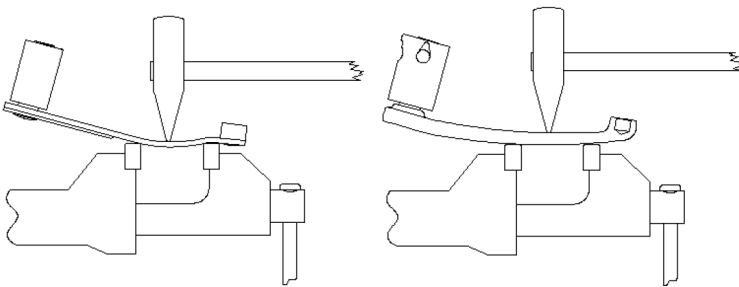
With the following control (knife in the central position) the knife tips should align with the bottom edge of the bar back and the knife protrusion should not exceed 1 mm. If this is not the case, it indicates a deformation/damage to the guide arms (a, c) and/or the guide arm pivot bearings. For easy inspection and straightening of the guide arms refer to the following scaled (1:1) illustration.

**NOTICE:**

- The knife guide, here especially the space between the springs, should be cleaned regularly and all friction points (x) should be regularly lubricated.
- Pay attention to wear in the guide bushings of the guide arms

**Straightening the Guide Arms:**

If, after the proper adjustment of the knife guides, deviations to the given control measurements are found, than possible the guide arms are bent and need to be straightened. For easy inspection and straightening of the guide arms, follow the scaled illustrations provided in this manual and the method illustrated below.



**Caution! DO NOT hit the hardened frontal parts of the guide arms ..... Risk of breakage!**

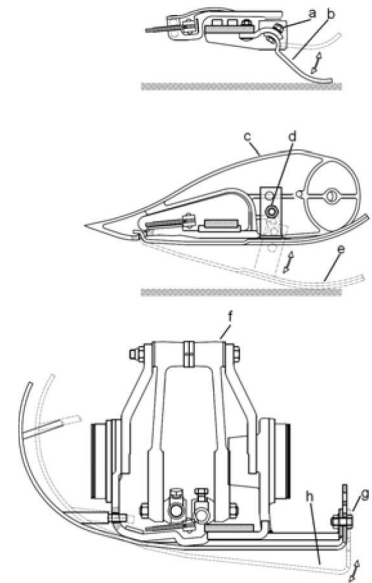
### Adjusting the cutting height

The cutting height of the cutterbar is set through the gliding skids (b) attached to the cutterbar, or the gliding soles (e, h) attached to the outer shoe (c) respectively the inner shoe (f). An adjustment to the cutting height is carried out as follows:

Gliding skids; for adjustment, loosen the clamp bolt (a), turn the gliding skid (b) into the desired cutting height position and retighten the clamp bolt.

The outer shoe (c) provides a clean cutting edge, divides the crop, guides the cutterbar in the desired cutting height and serves as a basis for the mounting of the optional swath plate. To set the cutting height, loosen the clamping screw (d) and refasten the gliding sole (e) into the desired position.

Inner shoe (f); for adjustment: remove the mounting screw (g) and then refasten the gliding sole (h) into the desired position.



### CUTTERBAR:

After every cutting operation, the top knife has to be removed to assure proper cleaning of the cutterbar and all the relevant guiding and friction surfaces. Before the reassembly of the knife, check and repair damaged parts, straighten bent knife sections, sharpen blunt sections and apply lubrication to all relevant guide and frictions surfaces. If no cutting work is to be done for an extended period, remove knife and make sure to store it safely in a dry location.

### Knife Head:

Please ensure that there is no excessive free-play between the knife head and the drive element, as too much free-play may cause the knife back to break.

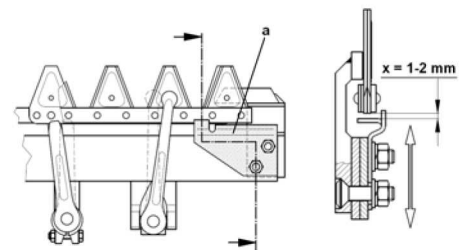
In case of adjustable knife heads, the free-play should be readjusted, after every knife change, to approx. 0.1- 0.2 mm. For non-adjustable knife heads, the appropriate parts have to be replaced if the free-play is greater than 1 mm.

Lubrication should be done with compression-proof grease only! Damaged parts are to be exchanged immediately!

### Knife guide plates:

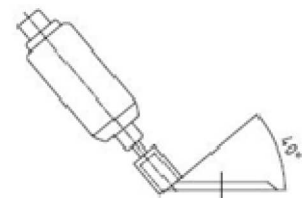
These plates (a) have the task of preventing a jumping and bending of the knives when stones or other foreign objects come into the knife.

For the adjustment of knife guide plates the knife has to be in end of stroke position. The slotted holes on these plates permit an exact adjustment. With correct adjustment of the plates, a gap x of approx.. 1-2 mm should be given between knife guide plate (a) and knife back.



### Sharpening of Knives:

The proper sharpening of the knives is of great importance for clean and trouble-free mowing. The proper sharpening procedure for the knives is described in detail in our guideline: **Professional Sharpening of Knives**. Sharpen the blades of your double-knife cutterbar at an angle of 40 degrees.



**Attention: Do not let the cutting edges overheat, or they will loose their temper and therefore blunt much quicker**

### REPLACING SINGLE KNIFE SECTIONS:

Heavily worn or damaged knife sections can be replaced individually. The replacement of individual sections should be carried out by a specialist and/or according to our instructions **Proper Replacement of Individual Knife Sections**.



**Maintenance and Lubrication Instructions:**

Lubrication should be done with compression-proof grease only: If the implement is being used for cutting eatables, all lubricated parts coming in contact with the material to be cut, must be lubricated with food grade lubricants only!

Maintenance Instructions	Operating hours / Periods		
	Every 4 h	Every 8 h	Every 5-25 h
Checking of the knife guides:		X	
Checking of the knives and the knife head		X	
Check the entire cutterbar for loose and damaged parts, especially components relevant to safety.		X	
Grease knife head bearing	X		
Grease carrier bolt and guide bushings		X	
Sharpen Knives			X
Cleaning of the Cutterbar	daily		

**Trouble-shooting and Remedy:**

For quick and easy problem identification, the following table provides a list of the most common problems, its related cause and the remedy needed.

Problem	Cause	Remedy
Cut material becomes stuck between the top and bottom knife	Knives are blunt Knives are not straight Knife Sections are not aligned Bottom guide arms deformed	Replace or sharpen knives Remove and straighten knives Straighten knife sections Straighten guide arms
Section tips of the bottom knife work themselves into the sections of the top knife.	Top knife protrudes to far over the bottom knife	Straighten top knife guides
Rattling along whole length of the cutterbar	Guide bushing not sitting on carrier studs	Reposition guide arms/bushings onto carrier studs
Knife sections are not sitting flat on top of each other	Knife sections or knife buckled, Knife back distorted	Check the straightness of the knives, if necessary, straighten the knife sections until they are all aligned
Guide arms/bushings jump off the carrier studs	Guide arms twisted Carrier bushings/studs worn out	Straighten the guide arms Replace bushings /studs
Knife backs break	Excessive rotational speed Excessive play in the knife head Improperly attached knife head Improper adjustment of the knife guides	Reduce rotational speed Check and remove excessive free-play in all the relevant parts Readjust the knife guides

**Spare Parts:**

We would like to bring to your attention that only ESM original spare parts and accessories should be used, as only these have been tested and approved by us. The fitting and/or use of other products may compromise the function and the safety of the machine. We accept no warranty and liability for damages resulting from the use of other than original spare parts and accessories.

**Additional Technical Information**

Further technical information, such as spare parts lists and user manuals, are to be found on our Website: [www.esm-ept.de](http://www.esm-ept.de). For specific questions please make contact directly with your dealer or the manufacturer.



## ULTRASONIC FOOD CUTTING SOLUTION



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



## CHEERSONIC ULTRASONICS



For the first time since using flintstones for cutting food, Cheersonic pre-sents a real improvement. Compare Cheersonic's cutter unique features with the use of knives! Finally you found a way to eliminate annoying trouble in the work ow. Switch to a real high-tech solution: cutting with the power of ultrasonics.



## APPLICATION

It can be widely used in cutting slitting cream layer cake, mousse cake sandwich, date paste cakes, steamed sandwich cake, napoleon, swiss rolls, brownies, tiramisu, cheese, ham sandwiches and other baked goods.

Can be divided into a variety of shapes cut baked goods and frozen foods, such as round, square, fan-shaped or triangular. And can make custom models ultrasound solutions to customer specific needs and the existing conditions, welcome to sample testing.





## CHOOSE CHEERSONIC



Cut with ease through soft, hard, frozen, sticky or otherwise difficult material thanks to a powerful physical impact: ultrasonic cavitation.

Don't squeeze, don't mess, save time!





## ADVANTAGE



Ultrasonic cutting  
Clean, neat cuts every time



Ordinary cutting

- Friction-less cutting with the power of cavitation.
- No smearing, neat cuts every time.
- Cuts equally nice through soft or hard material.
- Cuts warm, cold and even frozen food.
- Substantially increases process speed.
- No shearing forces. No or just minimal distortion of the cutting substrate.  
Cuts pressure free even through very delicate material.
- Very simple cleaning without disassembling.
- Blunt blade reduces risk of accidents. Cuts only if generator is on.
- Existing equipment is easy to modify. No more motors, gears and other moving parts.
- Less time and costs for cleaning, maintenance and repair.



## SOLUTION & SUPPORT



- Inline portioning solution – INLINE Series
- High-production portioning solution – UFM Series
- Economic portioning solution – UFC Series
- Handheld ultrasonic cutting solution – HFC Series



## HIGH-PRODUCTION PORTIONING SOLUTION – UFM SERIES

UFM Series of ultrasonic cutting machines are professional range which are typically designed for medium-size food manufactory with medium output.

### UFM3000 Ultrasonic Food Slicing Equipment

- Standard configuration: Stainless steel frame, PU food grade conveyor belt.
- Control system: self-developed three-axis control system and friendly interpersonal interface.
- Cutting means cutting the upper and lower drive: servomotor.
- Main belt drive: servomotor.
- Ultrasonic cutting system: Optional tool head refer to UFC Series.
- Automatic mode: jog mode optional password protection system.
- Security Door: Open the door that is power to stop work.
- Slice width / sectioning speed: adjustable, the cutting height can be preset.



### UFM5000 Intelligent Ultrasonic Food Cutting Equipment

- Control system: self-developed six-axis control system, interpersonal and friendly interface.
- Multi-axis displacement drive: servo motors – precise positioning.
- Cutting device vertical drive: servo motors – multi-stage transmission.
- Ultrasonic cutting system: Optional tool head refer to UFC Series. The ultrasonic cutting head rotated at any angle.
- Automatic mode, jog mode optional password protection system, slitting stored.
- Security Door: Open the door that is power to stop work.
- Slice width / sectioning speed: adjustable, the cutting height can be preset.







## INLINE PORTIONING SOLUTION – INLINE SERIES



- Autocut ultrasonic slicing units are automatic range which are typically designed for large-size food manufactory with fast portion ting and large output.
- These ultrasonic food cutting units are suitable for soft or sticky food such candy bar, chocolate, gateaux, sponge cake and so on. The ultrasonic vibration on blade gives each slice clean edge.
- Our engineer teams could design or rebuild your current production line to meet your individual demand of ultrasonic slicing.





## ECONOMIC PORTIONING SOLUTION – UFC SERIES

This series is suitable for small food production. Can be used in combination, such multiple stand-alone devices used in ultrasonic food cutting and assembly line modules. Alternatively a corresponding frame supporting an economic-type device. For more information, please contact sales engineer.

### Ultrasonic generator

An important part of the ultrasonic food cutting system, the latest several significant power.



### Ultrasonic transducer

Standard core component ultrasonic transducer as an ultrasonic instrument.



### Ultrasonic blade

To be customized according to the actual situation. Made of titanium alloy. Cutter length in the range of 82-355mm; cutter Effective cutting height is 40-150mm. Flange can be customized. It can be used in combination.



Model	Width of blade	Height of blade	Height of the effective blade
UFC82	82mm	70mm	40mm
UFC30	30mm	128mm	60mm
UFC100	100mm	128mm	60mm
UFC200	200mm	128mm	60mm
UFC255	255mm	128mm	60mm
UFC305	305mm	128mm	60mm
UFC355	355mm	128mm	60mm
UFC152	152mm	258mm	150mm



## HANDHELD ULTRASONIC CUTTING SOLUTION – HFC SERIES



HFC Series of ultrasonic cutting machines are professional range which are typically designed for small-size food stores with small output.

- The portable design, simple operation.
- Improve the customer's using experience.
- Expanding the usage of ultrasonic food cutting knife in the food field.



Model	Length of blade	Height of blade	Length of the effective blade
HFC300	390mm	25mm	300mm
HFC200	284mm	25mm	210mm



## HOW TO WORK WITH CHEERSONIC

- Visit the website for more details and send us the enquire, we will reply it within 24 hours
- Welcome to visit our official website for more details and leave message on "contact us", we will reply it within 24 hours
- Let our sale engineers know your condition and requirement and then we will estimate your process and let you know the solutions
- We will help you test and estimate if you send us your materials for test
- The ultrasonic solutions will be made according to your condition





***Switzerland Office***

Cheersonic Corp.Europe  
Boesch 80a  
6331 Huenenberg  
Switzerland  
Europe@cheersonic.com  
41 76 723 8093

***China Office***

Cheersonic Ultrasonics Co., Ltd  
Room 1409-1410, Building 6, No 19  
Jinping Road, Fuyang, Zhejiang  
311400  
info@cheersonic.com  
86 571 8791 0406

Liquid Process Solution  
liquid@cheersonic.com  
86 571 8535 6082

Ultrasonic Welding Solution  
welding@cheersonic.com  
86 571 8535 8852

Ultrasonic Cutting Solution  
cutting@cheersonic.com  
86 571 8535 9372





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

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway