



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 30 stp

Fakultetet for realfag og teknologi

Utvikling av redskap til ugressrobot

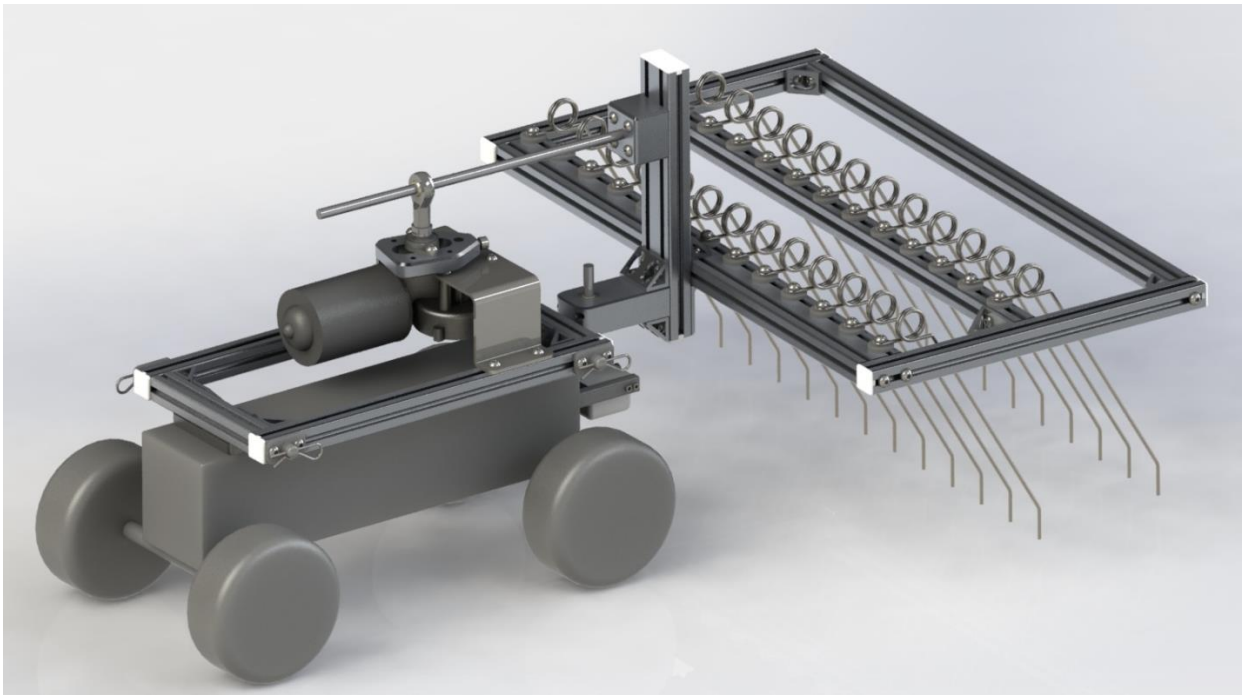
Sondre Østerholt Poulsen

Maskin-, prosess og produktutvikling

Utvikling av redskap til ugressrobot

av

Sondre Østerholt Poulsen



Masteroppgave i Maskin, prosess og produktutvikling

Fakultet for realfag og teknologi

NMBU Våren 2024



Forord

Mastergradsoppgaven utgjør avsluttende prosjektarbeid i sivilingeniørutdanningen ved Fakultetet for realfag og teknologi, Norges miljø og biovitenskapelige universitet (NMBU). Gradsprosjektet er gjennomført våren 2024 på det toårige masterprogrammet for Maskin, prosess- og produktutvikling ved Institutt for maskinteknikk og teknologiledelse, og har et omfang på 30 studiepoeng. Treårig ingeniørfaglig bachelor er tidligere gjennomført på Universitetet i Sørøst-Norge med studieretning Smart produktdesign, ved Fakultet for teknologi, naturvitenskap og maritime fag.

Antallet mennesker på jorden øker stadig, og med det også behovet for mat. Produksjon av mat innebærer å holde uønskede vekster borte fra åkeren. Fjerning av ugress er en arbeidskrevende prosess som tradisjonelt krever nøye ettersyn og tilstedeværelse av bonden. Uten økning i jordbruksareal og stadig større behov for mat, er det et press på bonden for å effektivisere. Jordbruket har nådd et punkt innen jordbruksteknologi hvor man ikke bare kan øke størrelsen på redskapet for å oppnå bedre effektivitet. Bonden er derfor avhengig av mer arbeidskapasitet, uten at det går utover lønnsomheten. I et samfunn med stadig dyrere arbeidskraft, er dette et regnestykke som ofte ender med lavere lønnsomhet for bonden. Det er derfor et behov for løsninger som kan effektivisere, uten at det går på bekostning av matvaren, miljøet og menneskene som spiser og arbeider med den.

Som student på Norges miljø- og biovitenskapelige universitet er denne problemstillingen svært aktuell og danner bakgrunnen for gradsoppgaven. Kunnskap og lærdom tilegnet gjennom utdanningen gir grunnlaget for å utvikle et redskap som kan være med på å løse utfordringene bonden, miljøet og samfunnet står ovenfor. I tillegg til å bruke eksisterende kunnskap, har arbeidet ført til økt forståelse for landbruket og metoder innen økologisk bekjempelse av ugress.

En stor takk rettes til hovedveileder professor Nils Bjugstad ved NMBU Realtek. Bjugstad har gjennom hele prosjektet bidratt med stor faglig kunnskap og prosjektnyttige innspill og stilt seg til rådighet ved alle forespørsler. En stor takk rettes også til avdelingsingeniør Mikkel Einvik Stryker ved NMBU Realtek, for nyttig råd og hjelp, samt fremstilling av måleredskap brukt i prosjektet. Jeg vil også takke professor Lars Olav Brandsæter ved NMBU Biovit for nyttige bidrag under prosjektet.

Ås, 15 mai.2024

Sondre Østerholt Poulsen

Sondre Østerholt Poulsen

Sammendrag

Jordens befolkning øker stadig og dermed også behovet for mat. Jordens ressurser er begrenset og klimaet endrer seg raskt. På områder som før var egnet til matvareproduksjon, opplever man at det blir stadig vanskeligere å utføre landbruket på samme måte som før. Stadig mer landbruksareal blir gjort om til industritomter, hyttetomter og vei. Dette fører til at bonden må tenke nytt og unytte gode jordbruksarealer på en mest mulig effektiv måte.

Landbruket er i stadig utvikling, med det også behovet for økt effektivitet. Effektivisering har vært en naturlig del av landbruket helt siden menneskene begynte å kultivere land. Bruk av redskap gjør at man kan oppnå større avlinger, med mindre arbeid. Siden den industrielle revolusjonen har utviklingen vært preget av at redskapene øker i størrelse. Det er derimot en grense for hvor stort et redskap kan være, før det dukker opp negative sider som følge av dette. Ved bruk av tunge redskap vil jorden pakkes, noe som kan føre til mangel på drenering og at vannet ikke kommer igjennom det øverste laget av pakket jord. Plantene kan få problemer med å danne skikkelige røtter og jorden mister mange av sine naturlige egenskaper som er viktige for plantenes vekst. For store redskaper vil også kunne være upraktisk på trange plasser og steder hvor man må kjøre presist for å utføre en arbeidsoppgave. Mindre traktorer og redskaper kan i mange tilfeller være nødvendig. Mindre redskaper og traktorer fører til at man må bruke mer tid på arbeidet. Løsningen er da ofte flere traktorer, som fører til økt arbeidsbehov og økte kostnader.

I tillegg til endringer i klima og redusert jordbruksareal, sees det også en økende interesse i dagens samfunn for bærekraftige praksiser og regenerativt jordbruk, som ikke bare fokuserer på økt produksjon, men også på å opprettholde helse og fruktbarhet i jorda over tid. På sikt er det også mer bærekraftig med tanke på å bevare ressursene på et levedyktig nivå så lenge som mulig, noe som er mer sentralt enn noen gang. Økologisk landbruk vil i mange tilfeller være bedre for menneske og bedre for naturen, men avlingene kan bli mindre og arbeidsmengden øker. Særlig når det kommer til bekjempelse av ugress uten bruk av plantevernmidler er arbeidsmengden stor. Det er derfor behov for løsninger som kan effektivisere, uten at det går på bekostning av matvaren, miljøet og menneskene som spiser og arbeider med den.

Teknologisk utvikling med økologisk landbruk i sentrum er derfor en sentral del av fremtidens jordbruk. Alt fra presisjonsjordbruk og automatisering til bruk av droner og sensorer for å overvåke avlinger og optimalisere ressursbruk, er løsninger som bidrar til å øke produktiviteten og redusere kostnadene. Autonome løsninger reduserer arbeidsmengden og vil på sikt kunne senke kostnadene for bonden. Ved introduksjon av autonome roboter er også bruken av elektrisk energi en naturlig del av utviklingen mot et mer bærekraftig jordbruk.

I denne sammenhengen er prosjektets mål å utvikle et redskap som kan integreres på en autonom robot og tar hensyn til behovene i økologisk jordbruk. Dette arbeidet danner grunnlaget for gradsoppgaven. Utviklingen tar utgangspunkt i å brukes med en liten elektrisk radiostyrt bil. En liten robot vil bruke mindre energi og generelt ha lavere miljøavtrykk. Ved å gå for en liten robot vil kostnadene holdes lave slik at det er mulig å bruke de i sverm. Dette sammen med at robotene kan arbeide døgnet rundt vil bidra til økt effektivitet. På grunn av robotens størrelse, er det fokusert på ugressbekjempelse etter at jorden er bearbeidet av større redskap. Rotugress som er etablert, vil kreve en større redskapsbærer enn den radiostyrte bilen for å bekjempes effektivt. En lett elektrisk robot med lang driftstid som holder jorden fri for ugress, er derfor det spesifikke målet i prosjektet. Arbeidet i prosjektet er begrenset til utviklingen av ugressverktøyet, det vil derfor ikke bli gått inn på utvikling av den autonome og elektriske delen av roboten.

Arbeidet i prosjektet er delt opp i fire hovedfaser. Første fase gikk ut på å analysere oppdragsgivers krav, sette opp målsetninger, fremdriftsplan, litteraturgransking og markedsanalyse. Gjennom litteraturgranskingen og markedsanalysen ble det klart at autonome roboter innenfor landbruket har fått god fart i utviklingen de siste årene. Robotene derimot ofte har høy pris. Videre gikk arbeidet til utforskning av aktuelle metoder og redskaper som kunne være aktuelle for roboten. En seleksjonsmatrise ble brukt for å skille ut de ulike alternativenes positive og negative sider. Noe enkel testing ble også gjort. En løsning som baserer seg på harvende tinder ble valgt, og arbeidet gikk videre med skissering og modellering. I denne fasen ble det utført flere tester underveis med prototyper laget ved hjelp av 3D-skriver. Etter ferdigstilling av fungerende prototype ble det så utført testing og loggføring av harvens effektivitet med ulike konfigurasjoner og hastigheter. I den siste fasen ble det utført endelig materialvalg, levetidsanalyse, valg av produksjonsmetoder og kostnadsoverslag.

Gjennom prosjektets faser er det utviklet en ugress-harv som bruker sideveis utslag for å øke effektiviteten. Utslaget drives av en elektrisk motor med vinkeldrev som er montert på bilens ramme. Utslaget overføres ved hjelp av stålstang påmontert et glidende kuleledd. Dette sikrer tilstrekkelig «slingring» i konstruksjonen uten at bevegelsen er ukontrollert. På denne måten oppnås en slitesterkt og holdbar mekanisme, med lang levetid.

Det er gjennom hele prosjektet jobbet med å holde vekten på redskapet så lav som mulig. Selv om økt vekt kan gi bedre grep til bilen og dypere arbeidsdybde, vil en lettest mulig løsning være mer energieffektivt. Vektbesparelsen kan også brukes til å øke driftstiden per lading ved å øke størrelsen eller antallet batterier. Materialene er også valgt med hensyn til god korrosjonsbestandighet. Aluminiumslegeringene 6105 og 6061 er i hovedsak brukt, i tillegg til festemidler og motor-brakket av AISI 304/A2 (EN 1.4301) stål.

Harvens ramme er konstruert av T-spor aluminium-profiler, som gir en løsning som er lett, modulær og enkel å tilpasse ulike ønsker under produksjon. De modulære løsningene bidrar også til at det blir enklere for brukeren å utføre reparasjoner og justeringer selv. Antall tinder og tindeavstand kan enkelt varieres og man er ikke begrenset av faste monteringshull. Det er også konstruert en monteringsramme for montering av utslagsmotor til bilen. Monteringsrammen danner også en god base for montering av andre fremtidige komponenter. Da T-spor profiler er brukt også her, vil tilpasning til de autonome komponentene være enkel. Et forslag til beskyttende deksel som monteres på rammen over bilen er også konstruert. Det er også utviklet et forslag til løftemekanisme for harven. Denne vil kunne brukes til å løfte harven over bakken, slik at man kan kjøre uten at harven går i jorden og på den måten spare energi. Løftemekanismen vil også gjøre det mulig for roboten å rygge uten av tindene låser seg fast i jorden.

Testing og kartlegging av harvens effekt var en sentral del av prosjektet. Da prosjektet fant sted i vintermånedene var det ikke mulig å utføre utendørs tester. Et innendørs jordbed ble derfor brukt i kombinasjon med kunstige ugress. Som kunstige ugress ble golf-pegger av plast brukt. Under forsøkene ble jorden raket, pakket og de kunstige ugressene ble satt opp med likt mellomrom og dybde. Ulike parameter som hastighet på bilen, tindeavstand, tindeantall, utslagshastighet, utslagsstørrelse og harvtype ble variert mellom hver runde. Det ble også utført tester for måling og kartlegging av bilens trekk-kapasitet og strømforbruk med de ulike harvkombinasjonene. Resultatet av testingen var at den konstruerte ugress-harven med utslag, ga økt effektivitet på rundt 10% sammenliknet Terrateck harvens energiforbruk. Arbeidet med testingen var tidkrevende og møysommelig, men ga nyttig data og innsikt i hva som påvirket redskapenes effektivitet og energiforbruk. Det er på bakgrunn av testingen gitt anbefalinger for innstillinger som kan gi best resultat ved bruk av ugressredskapet.

Da utviklingen av ugressredskapet kun er en del av den komplette autonome roboten, vil det være naturlig at det gjenstår arbeid knyttet til utviklingen av den autonome og elektriske delen. Testing av endelig komponentkonfigurasjon på naturlige ugress, er også sentralt før ferdigstilling. Harven og de tilhørende komponentene som er utviklet, danner samlet sett et godt grunnlag for videre utvikling av en autonom ugressrobot.



Innholdsfortegnelse

1 Termliste / Ordliste	5
1.1 Akronymmer og Forkortelser	5
1.2 Symboler og enheter	5
1.3 Formler	5
2 Innledning	6
2.1 Bakgrunn	6
2.2 Problem definisjon	9
2.3 Prosjekt mål og begrensinger	9
2.3.1 Hovedmål	9
2.3.2 Delmål	9
2.3.3 Forenklinger og antagelser	9
2.4 Rapport kvalitetssikring	10
2.4.1 Rapport	10
3 Prosjektplan og organisering	10
3.1 Fremdriftsplan	10
3.2 Prosjekt resurser	11
4 Oppdragsgivers krav og markedsundersøkelse	11
4.1 Oppdragsgivers krav	11
4.2 Markedsundersøkelse	12
5 Tekniske krav og konsept design	18
5.1 Tekniske krav	18
5.2 Funksjonsanalyse	19
5.3 Konsept drøfting	21
5.3.1 Bil	21
5.3.2 Energi	22
5.4 Konsept drøfting ugressverktøy	23
5.4.1 Harv	23
5.4.2 Fres	24
5.4.3 Tråd og knivskjær	25
5.4.4 Rullende kurv	26
5.5 Konsept design	27
5.5.1 Fres og kurvrulle	27
5.5.2 Harv	30
5.5.3 Pugh konsept analyse	32
6 Utvikling, prototyping og testing	33
6.1 3D-modellering	33



6.2 Hurtig prototyping og testing	33
6.2.1 Kurvrulle	33
6.2.2 Tinder	34
6.2.3 Harv doble tinder	37
6.2.4 Harv med utslag og fast ramme	38
6.2.5 Terrateck harv med utslag	43
6.2.6 Aluminiums-harv med utslag og drill	48
6.2.7 Aluminiums-harv med utslag og viskermotor	50
6.2.8 Løftehjul	53
7 Testmetoder	54
7.1 Bilens trekkraft og energiforbruk	54
7.2 Effekt og kraftsammenlikning hjul og belter	55
7.3 Bilens hastighet	56
7.4 Utslagsmotor spesifikasjoner og strømforbruk	56
7.4.1 Utslagsmotor momentbehov	56
7.4.2 Utslagsmotor energiforbruk	57
7.5 Effekt og kraftmåling bil uten utslag	57
7.6 Effektforbruk bil med utslag	58
7.7 Ugressverktøyet	58
7.7.1 Testmetode	58
7.7.2 Kunstig ugress	61
7.7.3 Kategorisering av ugress	62
8 Testresultater	63
8.1 Effekt og kraftsammenlikning hjul og belter	63
8.2 Bilens hastighet	63
8.3 Utslagsmotor spesifikasjoner og strømforbruk	63
8.3.1 Utslagsmotor momentbehov	63
8.3.2 Utslagsmotor energiforbruk	63
8.4 Effekt og kraftmåling bil uten utslag	63
8.5 Effektforbruk bil med utslag	63
8.6 Ugressverktøyet	63
9 Analyse av testresultater	64
9.1 Effekt og kraftsammenlikning hjul og belter	64
9.2 Utslagsmotor spesifikasjoner og strømforbruk	64
9.2.1 Utslagsmotor momentbehov	64
9.2.2 Utslagsmotor energiforbruk	64
9.3 Effekt og kraftmåling bil uten utslag	64



9.4 Effektforbruk bil med utslag	66
9.5 Sammenlikning av harv uten utslag med utslagsharv.....	66
9.6 Bilens driftstid	67
9.7 Ugressverktøyet.....	68
9.7.1 Tindeavstandens påvirkning.....	69
9.7.2 Kjøre hastigheter	69
9.7.3 Samling av resultater.....	70
9.7.4 Sammenlikning av harvenes effektivitet.....	71
9.7.5 Oppsummering av harvenes testresultater	74
10 Konklusjon av testing	75
10.1 Effekt og kraftsammenlikning hjul og belter	75
10.2 Utslagsmotor	75
10.3 Effekt og kraftmåling bil uten utslag	76
10.4 Effektforbruk bil med utslag.....	76
10.5 Bilens driftstid	76
10.6 Ugressverktøyet.....	77
10.6.1 Tindeavstandens påvirkning.....	77
10.6.2 Kjøre hastigheter	77
10.6.3 Utslagsmekanismens effekt.....	77
10.7 Feilkilder	78
11 System og detaljert design	78
11.1 System og modulært design	78
11.1.1 Generelle designvalg.....	78
11.1.2 Utslagsmekanismens utforming og konstruksjon	79
11.2 Detaljert design og ferdig design.....	79
11.2.1 Utslagsmotor og innfesting	79
11.2.2 Monteringsramme på bil	81
11.2.3 Deksel	83
11.2.4 Utslagsarm	84
11.2.5 Harv innfesting til bil	85
11.2.6 Tinder og fester	89
11.2.7 Harv	90
11.2.8 Harv med løftehjul	92
11.2.9 Ugressrobot sammenstilling	94
11.3 Materialer og komponenter	95
11.3.1 Aluminiumsprofiler.....	95
11.3.2 Festemateriell.....	95



11.3.3 Stålstang, kuleledd og slepestang-lager	96
11.3.4 Monteringsbrakett motor	96
11.3.5 Tind og monterings-skive	96
11.4 Kostnader og produksjonsmetoder	97
11.4.1 Harvens ramme og monteringsramme	97
11.4.2 Festemateriell	98
11.4.3 Monteringsbrakett motor	98
11.4.4 Tind og monterings-skive	98
11.4.5 Utslagsmotor	99
11.4.6 Deksel og montering	99
11.4.7 Øvrige konstruerte deler	99
11.4.8 Samlet kostnad for ugressverktøy	100
11.5 Livsløpsanalyse	101
11.6 Overholdelse av regelverk og HMS	102
12 Nullserie produksjon og markeds-lansering	103
12.1 Nullserie	103
12.2 Markeds-lansering	103
13 Analyse av levetidsslutt «End of life»	104
14 Prosessevaluering og diskusjon	105
14.1 Evaluering	105
14.2 Sluttdrøfting	107
14.3 Konklusjon	110
14.4 Videre arbeid og anbefalinger	111
15 Referanser	112
16 Vedlegg	116
16.1 Produksjonstegninger	116
16.2 Monterings instruksjoner	125
16.3 Tabeller	125
16.3.1 Effekt og kraftmåling bil uten utslag	125
16.3.2 Effektforkbruk bil med utslag	126
16.3.3 Samlet kostnad for ugressverktøy	127
16.3.4 Resultater fra testing med kunstige ugress	128
16.3.5 Fullskala produksjonstegninger	128



1 Termliste / Ordliste

1.1 Akronymer og Forkortelser

RC	Remote Controlled (radiostyrt)
TRX-4	Radiostyrt elektrisk bil
Autonom	Selvstyrt
KU	Kunstig ugress
Golfpegg	Pinne av tre/plast for plassering av golfball
Nm	Newtonmeter
O/min og OPM	Norsk: Omdreininger per minutt
FDM	Fused deposition modeling
QFD	Quality function deployment

Tabell 1.1 Spesiell terminologi og forkortelser benyttet i rapporten

1.2 Symboler og enheter

Symbol	Betydning	Unit
P	Effekt	W (Watt)
U	Spenning	V (Volt)
I	Strøm	A (Ampere)
R _m	Materialets strekkfasthet	N/mm ²
R _e	Materialets flytegrense	N/mm ²
mAh	Milliamperetimer	mAh

Tabell 1.2 Symboler og enheter benyttet i rapporten

1.3 Formler

Elektrisk effekt kan regnes ut ved hjelp av formel:

$$P = U \times I \quad (1.1)$$

2 Innledning

2.1 Bakgrunn

Landbruket er en sentral del av samfunnet. I dagens stadig skiftende landskap møter landbrukssektoren en rekke utfordringer, alt fra klimaendringer til økende global og nasjonal etterspørsel etter mat. Med et økende behov for mat må disse utfordringene løses. Landbruket har derfor et behov for økt effektivitet med løsninger som holder bærekraft og lønnsomhet for bonden i sentrum.

Produksjon av mat, og særlig grønnsaker byr i seg selv på en rekke utfordringer. Ugress utgjør en betydelig trussel mot avlinger, og bekjempelse av ugress kan være en ressurskrevende og tidkrevende oppgave for bønder. Innenfor økologisk jordbruk er utfordringene enda større når det gjelder ugressbekjempelse, da bruken av kjemiske sprøytemidler er begrenset eller forbudt [1]. Under stort sett all dyrking av grønnsaker er det fordelaktig med minst mulig ugress, med unntak av steder som kan ta nytte av ugressets skjermende effekt fra vind [2]. Store mengder ugress vil generelt kunne resultere i både lavere avling og nedsatt kvalitet [2].

I møte med disse utfordringene har teknologiske fremskritt spilt en avgjørende rolle i å forme moderne landbruk. Tradisjonelt har alt arbeid i landbruket krevd store mengder arbeidskraft fra både dyr og mennesker. Siden 1900-tallet har derimot behovet for arbeidskraft stadig gått ned. Fra midten av 1900-tallet har den teknologiske utviklingen av maskiner og materiell gått raskt [3]. Behovet for mennesker er derimot fortsatt til stede og en flaskehals for økt effektivitet og lønnsomhet.

Tradisjonelle metoder, som manuell fjerning av ugress eller kjemiske sprøytemidler, har begrensninger når det gjelder arbeidseffektivitet, kostnadseffektivitet og miljøpåvirkning. Manuell fjerning av ugress krever ofte flere titalls arbeidstimer per dekar i gulrot og andre direkte-sådde vekster [2]. Ugrasproblemet er størst i direkte-sådde kulturer som gulrot, kålrot, nepe og frøløk, fordi disse har langsom tilvekst i starten [2]. Under økologisk grønnsakdyrking er det avgjørende at man har fjernet mesteparten av rot-ugresset før man begynner å dyrke grønnsaker [2]. Det er likevel behov for gjentagende ugressfjerning gjennom sesongen. For de mest følsomme vekstene, som gulrot og løk, kan det være behov for to eller flere rensninger innen den kritiske perioden er over [2]. Den kritiske perioden er tiden det må være mer eller mindre fritt for ugress, perioden varierer fra vekst til vekst [2]. De fleste kulturvekster blir mindre påvirket av ugress etter rundt halve vekstsesongen er overstått.

Under økologisk jordbruk er de i hovedsak to metoder som er brukt, termisk og mekanisk bekjempelse [2]. Termisk bekjempelse bruker varme fra kilder som for eksempel damp eller brennende gass. Termisk bekjempelse egner seg best på frøgress og har dårligere effekt på rot-ugress [2]. En annen ulempe med termiske verktøy er at de også dreper mye av det som befinner seg i jorden utenom ugress. Man kan derfor ende opp med en «død» jord.

Den andre løsningen er å fjerne ugresset mekanisk. Den mest arbeidsintensive er å fjerne ugresset manuelt, enten bare med hendene eller med ulike redskaper som skraper, river og liknende. Dette er derimot svært tidkrevende og derfor også kostbart. I dagens jordbruk vil denne løsningen kun være aktuell i den mest kritiske perioden eller for dyrkning av vekster som tillater denne økte kostnaden. Under normal dyrkning av grønnsaker er det bruk av mekaniske maskiner som gjelder.

I dag finnes det en rekke verktøy som kan brukes med traktor og andre sleperedskaper. Man kan skille mellom redskap som arbeider mellom rader og de som arbeider over en eller flere rader. Forberedning av jorden før såing er ofte gjort ved bruk av ugress-harv [2] eller fres. Denne kan arbeide over store arealer relativt raskt og gir et godt utgangspunkt for såingen.

Etter kulturveksten er sådd er det mulig å blind-harve [2]. Blindharvingen må gjøres etter at veksten av spirt og må utføres grunnere enn så-dybden [2]. For små-frøede vekster er dette vanskelig å oppnå og metoden egner seg derfor best for vekster med større frø, som erter og bønner [2].

Når det ikke lenger er mulig å blind-harve, eller for vekster dette ikke egner seg for, må man arbeide mellom radene. Mindre og mer presise redskap kreves da for å få plass. Redskaper som brukes i dag er for eksempel skrapepinner, skjær, børste, fingerhakker, hypper og små rad-fresere [2]. For å unngå skade på kulturvekstene og opprettholde god presisjon må arbeidsbredden og hastigheten reduseres. Dette fører til at arbeidet går saktere og mye tid vil gå bort til arbeidet med ugressbekjempelsen.

En av de mest sentrale tilnærmingene til å øke effektiviteten og lønnsomheten i landbruket er bruken av robotikk og førerløse systemer. Spesielt har autonome roboter vist seg å kunne være med på å optimere drift, redusere ressursbruk og øke avlingene. Det er derimot store kostnader knyttet til slike systemer. Selv om ugressrobotene som finnes i dag er mindre i størrelse enn tradisjonelle traktorer og utstyr, er de fortsatt svært kostbare. Ofte er de også beregnet på store flate arealer med få hindringer.

Ugressrobotene på markedet bekjemper ugress på en rekke måter. Alt fra bruk av sensorer som identifiserer og eliminerer ugress, til maskiner som bruker tradisjonelle verktøy med en autonom bærer. Verktøyene som brukes er både mekaniske og kjemiske. Teknologier som maskinsyn, kunstig intelligens og presisjonsnavigasjon gir et effektivt verktøy [4], men gjør at prisen kan bli høy.

En liten og lett robot vil kunne ha god rekkevidde med lave kostnader. En liten og «billig» robot kan også brukes i sverm, uten av det blir en for stor kostnad for bonden. På denne måten er man ikke avhengig av at en robot går på rundgang. Dødtid i produksjonen vil da minimeres og man unngår at ugresset får tid til å ta overhånd. Dersom det er store avstander mellom ulike dyrkningsfelt, vil det også være mulig å ha roboter stasjonert fast på et arbeidsområde. Man unngår da å bruke tid på transport mellom områdene uten at det blir for kostbart.

Siden roboten drives av elektrisk energi, vil det lokale utslippet elimineres. Sammenliknet med store tradisjonelle redskapet brukt på traktorer vil man også unngå at det slippes ut avgasser. Dette er viktig i alle typer jordbruk, men ekstra viktig innenfor økologisk jordbruk hvor målet er en mest mulig ren prosess. Selv om det i dag finnes et økende antall traktorer og andre redskaper drevet av elektrisitet, bidrar størrelse og vekt til at energiforbruket kan være unødvendig stort.

En annen positiv effekt av en liten robot er at den ikke pakker jorden på samme måte som tyngre redskaper gjør. Dagens redskaper har en tendens til å stadig bli større for å øke effektiviteten. Dette fører til at også vekten øker. Tett og pakket jord kan føre til problemer både under tørre og våte forhold. Jordpakking kan redusere rotveksten, jordens evne til å transportere vann og det er fare for vannmangel [5]. Redusert rotvekst kan gi avlingstap og kvalitetstap på avlingen, særlig for ømtålige vekster. I noen tilfeller kan pakket jord føre til at det oppstår renner i jorden da vannet ikke finner veien gjennom jordlaget fort nok [5]. Innenfor økologisk jordbruk er det særlig ønskelig å bevare den naturlige jordstrukturen for å opprettholde jordens prosesser og biologiske liv. Problemet med jordpakking øker med varierende klima og store nedbørsmengder, i kombinasjon med store og tunge redskaper.

Utviklingen av verktøyet tar utgangspunkt i at det skal brukes med en liten elektrisk radiostyrt bil. Den radiostyrte bilen, Traxxas TRX-4, er i utgangspunktet beregnet for bruk til hobbybruk og lek. Traxxas TRX-4 har tidligere blitt brukt til liknende prosjekt på NMBU [6], men den har ellers gode egenskaper som kompakt størrelse, firehjulsdrift samt mulighet for bruk av belter som hjul.

Ugressverktøyet blir basisen for videre utvikling mot en autonom ugressrobot. Roboten skal brukes til å fjerne ugress uten bruk av kjemiske midler. Ugressroboten er i hovedsak tiltenkt brukt mellom så/planterader og ikke på åpne så-sletter som for eksempel kornåkrer. Bruk av bilen som en autonom robot, uten menneskelig styring, vil det ikke gås inn på i prosjektet. Det er også mulig at verktøyet som utvikles vil kunne brukes på andre trekkverktøy som er mer tilpasset formålet.

En løsning som kombinerer bruken av nøyaktige navigasjonssystemer med et tradisjonelt verktøy i mindre skala, vil kunne gi en løsning med lavere kostnad for bonden. Gjennom prototyping, testing og utvikling tar prosjektet sikte på å bidra til fremtidens landbrukspraksis ved å finne løsninger som kan øke effektiviteten, redusere kostnader og minimere miljøpåvirkningen av ugressbekjempelse innenfor økologisk jordbruk. En god løsning vil ikke bare gagne bønder og landbruksindustrien, men også bidra til å opprettholde en bærekraftig matproduksjon og bevare naturressurser for kommende generasjoner.

2.2 Problem definisjon

Utvikle ugressverktøy til bruk på elektrisk radiostyrt bil.

2.3 Prosjekt mål og begrensinger

2.3.1 Hovedmål

Hovedmålet med prosjektet er å utvikle et verktøy som trekkes eller monteres på en elektrisk radiostyrt bil. Verktøyet bør også kunne brukes på andre trekkverktøy. Testing og dokumentering av RC bilens egenskaper som driftstid og trekraft er viktig for å finne ut om løsningen kan ha en reell nytteverdi. Testing og dokumentering av verktøyets virkning står også sentralt, sammen med metoden som blir brukt for dette.

2.3.2 Delmål

Å finne modulære løsninger står sentralt da det vil være store variasjoner i hva slags området roboten skal arbeide på. Hvor tett det er mellom hver plante og rad, jordtype, fuktighet i jorden, hvor tett jorden er pakket er noen av de mest sentrale variasjonene som man bør kunne tilpasse seg etter.

Det er viktig å holde vekten til roboten så lav som mulig for å oppnå best mulig driftstid. Løsninger som sparer energi i form av økt effektivitet vil kunne kompensere for noe økning i vekt.

Utføre testing av verktøyet/ene. Både for å kartlegge verktøyets effekt, men også for å se på hvordan ulike parametere påvirker resultatet. For eksempel vekt av verktøy, hastighet og vinkel på verktøyet mot jorden. Andre parametere kan bli variert avhengig av hva slags verktøy som utvikles.

2.3.3 Forenklinger og antagelser

Prosjektets arbeid vil bli utført i vintermånedene. Testing av verktøyets resultater vil derfor finne sted inne. Kunstig ugress (KU) i form av golfpegger vil bli brukt som en erstatning for naturlig ugress. Da det er nødvendig å gjøre mange tester med ulike innstillinger og forhold, vil det være for tidkrevende å dyrke ugressplanter innendørs for testing.

Jordtypen som brukes er av typen Plantasjen hagejord [7]. Jordtypen er brukt da den allerede var i jordbedet som ble brukt for testing. Det var også vanskelig å oppdrive andre typer jord på denne årstiden innenfor rimelig tid. Jordtypen har høyt innhold av torv og vil i de fleste tilfeller ikke være lik jorden som blir brukt i jordbruket. Jordtypen trekker mye vann og holder lenge på fuktigheten. Den er også myk selv under relativt hard komprimering. Samlet sett så er ikke jordtypen optimal for å gjenskape forholdene som finnes i Norge [2]. På grunn av tidsramme og oppsettet av testområdet, er det heller ikke mulig å variere på fuktinnholdet i jorden - noe som hadde vært ønskelig.

Utendørsmiljø påvirker joden på en rekke måter, noe som kan resultere i jord med svært ulik oppførsel og egenskaper. Tørke eller store mengder regn vil kunne gjøre at verktøyet ikke er brukelig. Bruk av verktøyet og bilen under slike varierte forhold er derfor ikke mulig å gjennomføre i et innendørs testoppsett.

Det er forsøkt å gjøre testingen så naturlig og korrekt som mulig. På grunn av de nevnte faktorene, vil det mest sannsynlig oppstå avvik fra om man hadde gjort testene utendørs og med naturlig ugress.

Styring av bilen er gjort manuelt og det er ikke gjort noe arbeid for å gjøre bilen autonom. Andre eventuelle innstillinger på verktøy blir derfor også gjort manuelt. Det vil heller ikke bli gjort valg av elektriske komponenter med mindre annet er spesifisert.

2.4 Rapport kvalitetssikring

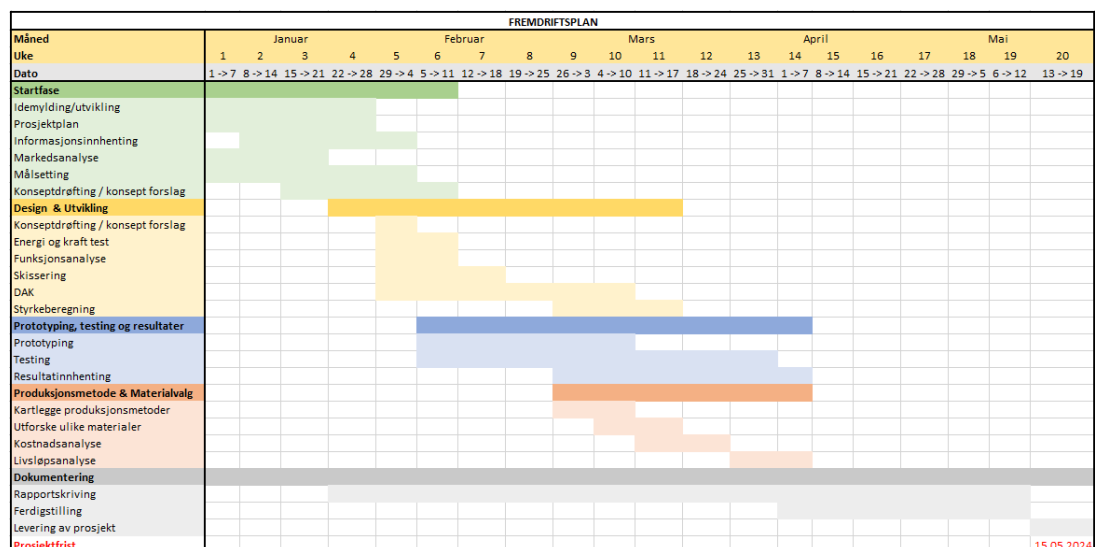
2.4.1 Rapport

Rapporten er blitt sjekket, og referanser, tabellnummer, figurnummer, formelnummer, sidetall og beregninger er selv-sjekket eller sjekket av en ekstern part.

3 Prosjektplan og organisering

3.1 Fremdriftsplan

Fremdriftsplanen som ble utarbeidet i starten av prosjektet kan sees på figur 3.1. Fremdriftsplanen er delt opp i: «startfase», «design og utvikling», «Prototyping, testing og resultater», «Produksjonsmetode og materialvalg» og «Dokumentering». Det ble her lagt vekt på å komme hurtig i gang med «Startfasen» slik at arbeidet videre ville ha bedre flyt. Dokumentering ble utført gjennom hele prosjektarbeidet.



Figur 3.1 Prosjektets fremdriftsplan.

3.2 Prosjekt resurser

Prosjektets ressurser er delt inn i to hovedkategorier: fysiske og menneskelige ressurser. De fysiske ressursene representerer elementer som blir brukt for å oppnå ønsket resultat og de menneskelige ressursene er de som tar i bruk og styrer de fysiske ressursene.

En master oppgave på 30 poeng vil ifølge NMBU sine sider [8] ha en forventet arbeidsmengde på rundt 750 timer. Denne tiden er derimot kun et estimat eller forslag og arbeidstiden vil kunne bli større og mindre. Det er ikke tatt hensyn til dette estimatet i arbeidet eller telt timer som er brukt. Veiledning fra veileder er satt opp til 40 timer. Dette er i likhet med arbeidsmengden for studenten ikke en grense eller et mål, og vil kunne variere fra nevnt mengde.

Foruten veiledning vil de menneskelige ressursene inkludere aktiviteter som idemyldring, litteratur gransking, prosjektplanlegging, funksjonsanalyse, modellering, kalkulering/beregning, valg av produksjonsmetoder, materialvalg, livsløpsanalyse, kostnadsevaluering, bruk av ulike evalueringsmetoder (for eksempel PUGH seleksjonsmatrise), prototyping og rapportering/dokumentering.

De fysiske ressursene som er tilgjengelig i faget omfatter blant annet materialer for produksjon, testing og prototyping, samt verktøy og utstyr som brukes i forbindelse med dette. Verkstedet på NMBU er tilgjengelig for valg av materialer, produksjon av både testutstyr og prototyper/ferdig produkt, samt veiledning og eventuelle innvendinger de skulle ha for fremstilling av produkt og prototype. Valg av materialer for prototyping og testing vil avhenge noe av tilgjengelighet og budsjett. Videre innebærer de fysiske ressursene digitale programvarer som Solidworks og 3D-skriver som brukes i forbindelse med produksjon av prototyper.

4 Oppdragsgivers krav og markedsundersøkelse

4.1 Oppdragsgivers krav

Oppdragsgivers krav er gitt av prosjektets veileder gjennom dialog.

Verktøyet som skal utvikles skal baseres på elektrisk radiostyrt bil (Traxxas TRX-4), med eventuelle endringer og tilpasninger av denne etter behov. Verktøyet planlegges å brukes om utgangspunkt for autonom ugressbekjempelse. Det er ikke et mål å utvikle noe av den autonome elektriske delen i dette prosjektet. Den endelige funksjonen bør derimot tas hensyn til i utviklingen.

Verktøyet med bil er tiltenkt brukt mellom planterader, evt. under plantetuneller og andre steder hvor det er trangt og vanskelig å komme til med større redskap. Vekster som avhenger av lite konkurranse i etableringsfasen vil også kunne dra nytte av en hyppig ugressbekjempelse som ellers ikke er effektiv med menneskelig styring. Bilen og verktøyets samlede størrelse bør på bakgrunn av arbeidsområde være så liten som mulig, uten at det går på for stor bekostning av funksjon. Redusert vekt og størrelse vil kunne gi økt rekkevidde noe som er sentralt i prosjektet. Det er også essensielt at ugressbekjempelsen foregår uten bruk av kjemiske midler for å kunne bruke verktøyet i økologisk jordbruk.



God driftstid for roboten avhenger av lette løsninger, dersom det er mulig. En liten og lett robot vil kreve lite energi og spare miljøet. En lett og liten robot setter begrensinger for hvilke ugress den kan fjerne. Målet med roboten er ikke å fjerne ugress med dype røtter. Det vil være nødvendig å bearbeide jorden med større redskap før såing, slik at det ikke befinner seg ugress med dype røtter under såing. Robotens oppgave vil være å vedlikeholde jorden og holde den fri for frøgress.

Verktøyet skal kunne brukes på ulike underlag, stigninger og under ulike værforhold. Det er derimot ikke krav om at verktøyet skal kunne brukes i regnvær da dette er lite hensiktsmessig. Beskyttelse mot periodevist regn, støv og andre elementer er en fordel. Dersom det er mulig, bør verktøyet kunne tilpasses ulike avstander mellom planterader. Dersom verktøyet kan løftes eller deaktiveres på annen måte er det positivt, men ikke et krav.

Løsninger som kan tilpasses og justeres er ønskelig for å kunne øke redskapets bruksområde. Holdbarhet er viktig da roboten vil brukes lange perioder av gangen. Mulighet for enkel utskifting av deler vil være viktig for å unngå dødtid som følge av ødelagt utstyr.

Testing, dokumentering og anbefaling av ulike innstillinger som fart, vinkler og annet vil være ønskelig for å kunne bekrefte verktøyets reelle virkning. Innstillinger og anbefalinger avhenger av verktøyets endelige form og virkemåte.

4.2 Markedsundersøkelse

Ugressbekjempelse er et område som tradisjonelt har vært løst på to måter, mekanisk og kjemisk. Noen vekster tåler konkurranse fra ugress i startfasen, mens andre har behov for hjelp frem til de er store nok til å klare seg selv. Om man ser bort fra den kjemiske ugressbekjempelsen, er den mekaniske ugressbekjempelsen svært arbeidskrevende. Avhengig av plantetype og metode, oppstår det ofte situasjoner hvor det er vanskelig å komme til, spesielt med store maskiner.

Kombinasjonen av at ugressbekjempelse er arbeidskrevende, samt at det kan være vanskelig å komme til, har gjort at roboter er blitt tatt i bruk i nyere tid. Markedet for slike førerløse maskiner har på kort tid blitt stort, og det finnes svært mange variasjoner og typer.

I hovedsak bruker robotene ulike variasjoner av kjemisk og mekanisk bekjempelse. Man bør også skille mellom de som beveger seg over flere rader samtidig og de mindre som kan bevege seg mellom rader. Man kan også dele inn i to kategorier basert på om roboten arbeider «blindt» eller om den bruker kameraer og andre sensorer til å kjenne igjen ugress. Robotene med sensorer angriper da kun planter som blir registrert som ugress.

Norske Kilter har utviklet roboten Kilter AX-1, figur 4.1. Roboten har en pris på rundt EUR 120 000, som tilsvarer NOK 1 400 000 [9]. AX-1 bruker bildeanalyse av bakken i realtid og sprøyter en liten dose ugressmiddel på ugresset [10]. Sammenliknet med tradisjonell ugresssprøyting, reduserer man mengden av ugressmidler som havner på kulturveksten betraktelig. Selv om det er noe usikkerhet knyttet til hvor farlig rester av plantevernmidler er for mennesker og natur [11], vil mer presis bruk alltid være å foretrekke for alle parter.

Kilter trekker også frem at man ved å begrense bruken av sprøytemidler til å treffe kun ugresset, kan øke avlingene med hele 35% [10]. Selv om det ikke er aktuelt å bruke sprøytemidler i dette prosjektet, så understreker dette hvor nyttig en slik robot kan være for bonden.



Figur 4.1 Kilter AX-1 [9].

Naïo Technologies har utviklet en rekke ulike roboter som er tilpasset ulike type vekster og plantemetoder: vindruer, mellom-rad og en større universal plattform (over-rad). Universalplattformen Naïo Orio [12] er en spennende, men samtidig en enkel løsning, figur 4.2. Naïo Orio er som en vanlig liten firehjuls traktor, men den er autonom og elektrisk. I tillegg har den mulighet for montering av verktøy på midten av traktoren. Alle de fire hjulene kan svinge og har egen motor. Dette gjør at man kan kontrollere verktøyet nøyaktig, selv på trange plasser. Naïo Orio veier 1450kg, er rundt 4 meter lang og kan gå opptil 5,5 km/t [13]. På grunn av størrelsen kan man sette på verktøy som brukes på tradisjonelle små traktorer, uten mye tilpasning. Størrelsen gjør også at man er nødt til å jobbe over så-bedd og rader med planter. Størrelsen gjør at prisen blir tilsvarende høy på rundt NOK 2-3 millioner pr. enhet uten avgifter, frakt og verktøy [13]. Størrelsen som roboten har, er ikke aktuell i prosjektet, men tanken om å kombinere tradisjonelle verktøy med en moderne verktøybærer har mye potensial.



Figur 4.2 Naïo Orio [14].

Naïo har også en mindre Oz robot, som sett på figur 4.3. Naïo Oz er 130cm lang, veier 150kg og kan gå i opptil 1,8km/t [15]. Oz roboten kan dekke hele 1000 m²/time. Det betyr at den kan komme over et betraktelig stort område innenfor et døgn. Siden den bruker GPS til å navigere, kan den også jobbe om natten og er kun begrenset av batteritiden. Roboten bruker i likhet med Orion tradisjonelle ugressverktøy som for eksempel harv, finger-hjul og bladskraper. Selv om Naïo Oz er mye mindre enn Orion modellen, koster den likevel om lag NOK 400 000 uten avgifter, frakt og verktøy [16].



Figur 4.3 Naïo Oz [17].

Farmdroid er et dansk selskap som har utviklet en robot som fjerner ugress mekanisk, figur 4.4. Farmdroid hadde i 2011 en pris på EUR 66 000 - 90 000, som tilsvarer rundt NOK 800 000 - 1 050 000 [18]. Farmdroid FD20 har en vekt på 900kg og måler i utgangspunktet 3,5x3,7x1,5m (LBH), litt avhengig av konfigurasjon. Den navigerer ved hjelp av GPS og har en kapasitet på rundt 6,5 hektar per døgn [19]. Ved bruk av solcellepaneler og effektiv energibruk kan roboten arbeide hele døgnet, under de rette forholdene. Solcellene sikrer lite nedetid, og ifølge Farmdroid kan en robot dekke hele 20 hektar [19]. Roboten kan arbeide over 2-12 rader med minimum 22,5cm mellom radene [19].

Farmdroid FD20 fjerner ugresset ved bruk av blad-skraper som løfter og kutter ugresset. Verktøyene er bevegelige ved hjelp av motorer, slik at skrapen kan beveges ut og inn mellom hver plante. Det spesielle med Farmdroid FD20 er at den også brukes til å sette frøene. Ved hjelp av presis GPS navigasjon vet den nøyaktig hvor frøene settes. Frøenes posisjon lagres, og det er denne informasjonen roboten bruker for å vite hvor den skal arbeide senere. Den bruker altså ikke sensorer for å skille mellom ugress og kulturvekst, men kun posisjon.

Løsningen Farmdroid FD20 benytter, vil i noen tilfeller være svært effektiv og vil fjerne mye av det manuelle arbeidet knyttet til både såing og ugressbekjempelse. Bruken av solceller til å forlenge driftstiden er også svært interessant. Det er derimot noen begrensninger med at man er avhengig av å bruke roboten også til såing og at den kun arbeider ut ifra posisjon. Dersom det oppstår de minste avvik i enten såing eller ugressfjerning, vil det kunne oppstå problemer og tap av avling. Bløt jord og bratt terreng er to eksempler på faktorer som kan gjøre at løsningen ikke egner seg.



Figur 4.4 Farmdroid FD20 robot [20].

Ekobot er et svensk selskap som har utviklet roboten WEAI, figur 4.5. Roboten har en vekt på 600kg og har en arbeidshastighet på 5 km/t [21]. Roboten koster rundt EUR 90 000, som tilsvarer NOK 1 050 000 [21]. Roboten kan arbeide over 4-8 rader, 10-12 timer per døgn og kan dekke et areal på opptil 10 hektar. Ekobot WEAI bruker små armer som slår ugresset ut av jorden. Roboten navigerer ved hjelp av GPS, men i motsetning til Farmdroid FD20, bruker den sensorer og kamera til å identifisere ugresset. Dette gjør at man ikke er avhengig av like nøyaktig såing. En av utfordringene med å bruke visuell gjenkjenning av ugress, er at noen ugress kan være vanskelig å skille fra kulturvekster, særlig i den tidlige fasen når planten spirer. Ekobot har løst dette ved å bruke kunstig intelligens. I følge Ekobot fjerner roboten opptil 70% av ugresset [21]. En ulempe ved bruk av visuell gjenkjenning av ugress er at dette blir betraktelig vanskeligere ved dårlig belysning. Arbeid på natten vil derfor kreve kunstig belysning, og det er usikkert hvordan dette påvirker effektiviteten.



Figur 4.5 Ekobot WEAI [22].

Det finnes også mindre roboter, som for eksempel Tertill, se figur 4.6. Tertill roboten koster rundt NOK 3500 uten frakt og avgifter, noe som gjør den til en svært billig løsning. Dette er en robot som bruker roterende tråder, som en kantklipper, for å kutte ugresset. Den har ingen form for navigasjon og beveger seg uten å vite hvor den er. Når den treffer en fast hindring så endrer den retning. Man er derfor nødt til å sette opp beskyttelse rundt planter som er myke og ikke tåler å bli kjørt på. Løsningen egner seg derfor best der det er et godt stykke mellom plantene og ikke for større jorder hvor plantene står tett. Siden den kun kutter delen av ugresset som er over bakken, vil ugress som har større røtter med lagring av næring under bakken kunne komme opp igjen. Man fjerner dermed ikke problemet, men holder det kontinuerlig i sjakk. Tertill roboten er derimot et godt eksempel på hvordan en liten og «dum» robot kan holde ugress borte på en billig måte.



Figur 4.6 Tertill ugressrobot [23]

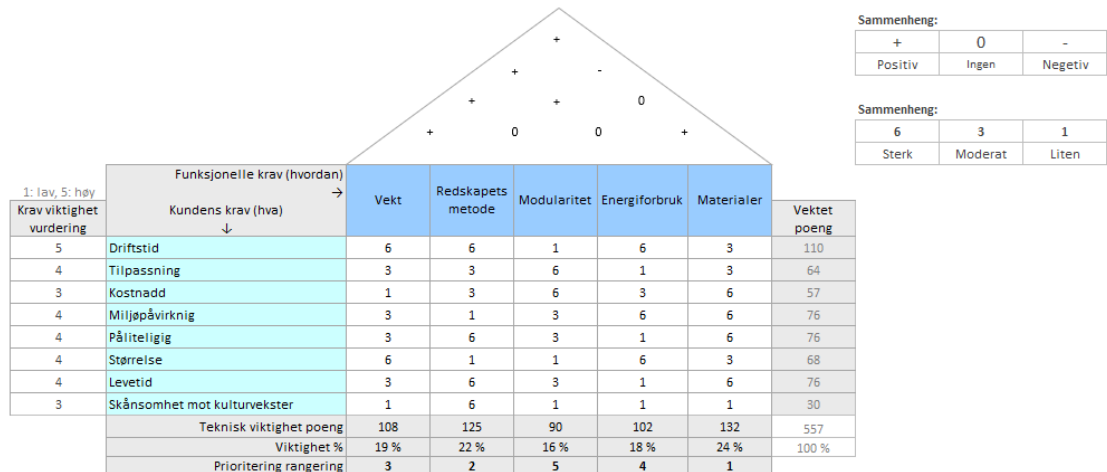
Felles for de fleste eksisterende løsninger innen autonom ugressbekjempelse er at de er kostbare og arbeider til dels sakte. De mindre robotene arbeider som oftest på/mellom en rad av gangen. Dette kombinert med en treg fart gjør at man trenger flere roboter, noe som ender i store kostnader. De større robotene kompenserer noe for dette ved å arbeide over flere rader av gangen.

Ut fra de eksemplene som er tatt med i rapporten, kan man konkludere med at en enklere robot som arbeider med mindre presisjon, men oftere og raskere, kan være en god løsning. I tillegg vil en lett og liten robot har betydelig lavere marktrykk på jorda. Dette er spesielt ønskelig i økologisk jordbruk for å opprettholde en mest mulig luftig, levende og naturlig jord [2].

5 Tekniske krav og konsept design

5.1 Tekniske krav

Ut fra oppdragsgivers krav er det gjort en QFD analyse, figur 5.1. De mest sentrale kravene er her satt opp med sentrale «løsninger». Kravene og løsningene er så vektet. Løsningenes sammenheng graderes med +, 0 og -. Løsningenes forhold med kravene vektet med 1, 3 og 6.



Figur 5.1 QFD analyse av kundekrav.

Ut fra analysen viser det seg at de ulike løsningene kommer relativt likt ut i viktighet. Materialer kommer ut som den viktigste posten. Valg av materialer har sterk innvirkning på energiforbruk, kostnad, pålitelighet og levetid. Modularitet kommer på bunnen. Redskapets metode er naturligvis en viktig del av løsningen. Det er lite poeng i å tilfredsstille de andre kravene om redskapet ikke arbeider effektivt og med et godt resultat. Modularitet er viktig, men bør ikke påvirke de andre faktorene for mye. Modulære løsninger ansees som positivt, særlig med tanke på tilpassning og utbygging av deler. Energiforbruk og vekt henger tett sammen. Energiforbruket henger også sammen med hvordan redskapet arbeider. Samtidig vil et tyngre redskap som fjerner mer ugress kunne være mer effektivt enn et veldig lett redskap som bruker mindre energi. Samlet sett vil det være viktig å vurdere hvor mye en egenskap øker den samlede gevinsten. Noen egenskaper, som for eksempel modularitet, vil ha flere negative sider enn positive, men viktigheten av egenskapen kan veie opp for de negative sidene og være sentrale i et godt produkt.

Lav vekt og lang driftstid står sentralt i utviklingen av ugressverktøyet. Da bilen som skal trekke verktøyet i seg selv er liten og lett, setter dette noen begrensinger på hvilke områder bilen kan arbeide og hvilke ugress den kan bekjempe. Robotens verktøy vil derfor fokusere på frøgress i spirende fase. Rotugress med dype røtter vil ikke være hensiktsmessig å fjerne med roboten. Rotugress vil kreve et kraftig og tungt verktøy for å komme tilstrekkelig dypt i jorden. For roboten vil dette kreve mye energi i forhold til robotens størrelse.



5.2 Funksjonsanalyse

Utviklingen av ugressredskapet er prosjektets hovedmål. Da ugressverktøyet kun er en del av roboten, vil det være begrenset hvilke funksjoner som kan varieres utenom metoden for fjerning av ugress. Når det kommer til valg av redskapsmetode som skal utvikles, er det en rekke faktorer som må tas hensyn til. Blant annet:

- Verktøyets effektivitet
- Energiforbruk
- Vekt
- Levetid
- Modularitet/tilpasning
- Er det skånsomt mot vekstene man ønsker å beholde
- Pris

Verktøyets effektivitet kan måles i hvor stor del av arealet man kjører over som blir berørt av verktøyet, og videre om ugresset tar skade av det. Effektiviteten er muligens den viktigste vurderingsfaktoren når det kommer til type verktøy. Det er lite poeng med et verktøy som oppfyller alle andre krav, dersom det ikke fjerner ugresset.

Energiforbruk og vekt henger i stor grad sammen, da et tungt verktøy vil kreve mye energi for å trekke. Energiforbruket og vekten er derfor også koblet dirkete sammen med hvor lenge man kan kjøre roboten på ett batteri. Energiforbruket er derfor, i likhet med verktøyets effektivitet, svært viktig. På den ene siden kan man ha verktøy som har høy effektivitet, men som bruker mye energi. På den andre siden kan man ha et mindre effektivt verktøy som krever mindre energi å bruke. Det er her også viktig å trekke inn at ugresset kan spire svært fort, og at det derfor ikke holder å kjøre over en gang. Man må regne med å kjøre over helt frem til de ønskede vekstene er store nok til å tåle at mindre ugress kommer opp.

Under energiforbruk må man vurdere om man skal ha et verktøy som i seg trenger energi for å kunne gjøre arbeid. For eksempel et roterende verktøy som enten krever egen motor, eller bruker mekanisk energi fra bilen eller underlaget for å drives. Dersom man velger å gå videre med en slik løsning, må dette kunne rettferdiggjøres i form av økt effektivitet. En slik løsning vil mest sannsynlig også øke prisen på verktøyet.



Verktøyets levetid avhenger av en rekke faktorer. Hvordan verktøyet vil klare seg under lengre tids bruk, er vanskelig å forestille seg. Det er derimot noen ting man bør vurdere og ta hensyn til for at levetiden skal være best mulig. Generelt kan man si at økt kompleksitet vil være negativt for levetiden, da det vil være flere deler og punkter som kan svikte. En enkel løsning vil i mange tilfeller gjøre at problemer unngås. Dersom man går for et alternativ hvor verktøy har en form for bevegelse utenom bilens bevegelse, vil dette kunne påføre økt slitasje og kortere levetid. Ved bruk av et verktøy som beveger seg bør man derfor kunne rettferdiggjøre dette med økt effektivitet som kompenserer for økt slitasje. Mulighet for brukeren å kunne bytte enkeltdeler bør tas med i betraktning for valg av løsning.

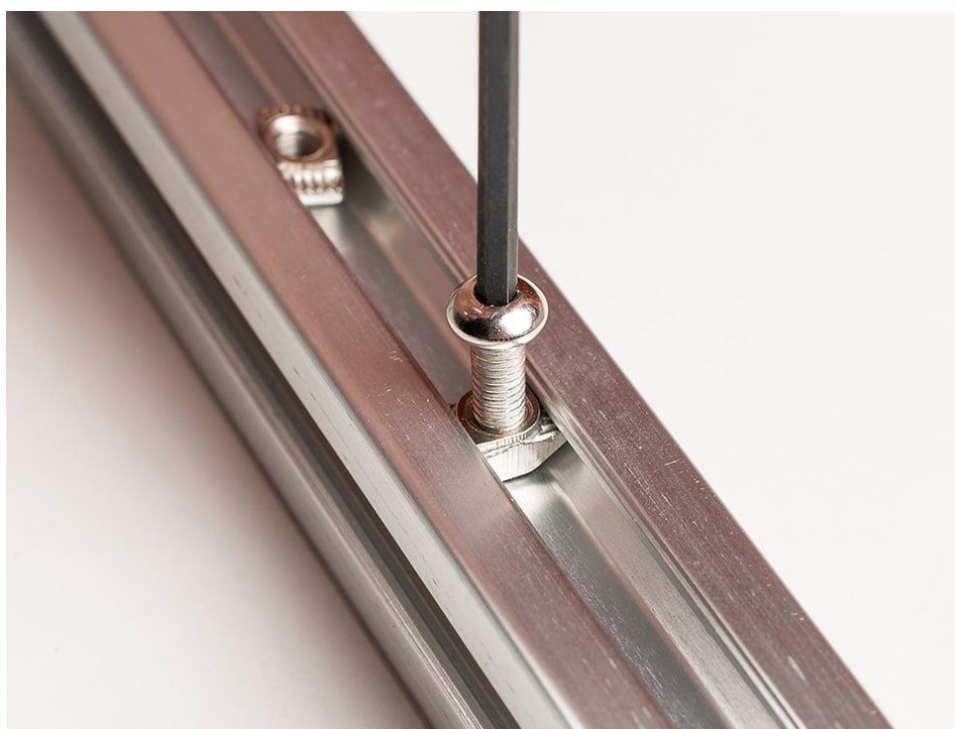
Modularitet og tilpasning er igjen et viktig punkt. Det er en rekke variabler som endrer seg mellom ulike typer vekster og måten de dyrkes på. For eksempel vil avstanden mellom så-rekker variere mellom ulike kulturvekster og fra bonde til bonde. Et verktøy som gjør det mulig å tilpasse seg noe, vil være positivt. Man slipper da å ha flere mer eller mindre like verktøy som er tilpasset spesifikt en situasjon.

Dersom verktøyet skal brukes over vekstene må det være skånsomt nok til at de ikke tar skade av det. Det er også mulig å bruke sensorer og programvare for å finne en løsning hvor verktøyet aktivt unngår vekster. Dette er derimot komplisert og fordyrer roboten. En slik løsning vil også kunne ha behov for å bevege seg saktere, sammenliknet med en enklere løsning, som arbeider uten å aktivt ta hensyn til hva som er vekst og ugress. Dersom det er mulig, vil derfor en enklere løsning, som også er skånsom nok til å arbeide over vekstene, være positivt.

5.3 Konsept drøfting

5.3.1 Bil

Bilen Traxxas TRX-4, som skal trekke/bære verktøyet er satt, og kan ikke endres på. Bilens mål og vekt kan sees i tabell 5.1. Det er derimot mulig å gjøre endringer på bilen og dens karosseri. Ulike metoder for å montere verktøy er kanskje det mest sentrale. En mulighet er å bruke aluminiumsprofiler til å lage en ramme, gjerne profiler som har spor for montering av passende mutter og skruer. Figur 5.2 viser en 2020 aluminiums profil med slike spor. Slike profiler er også enkle å sette sammen til ønsket form ved hjelp av hjørnebraketter. Rammen kan da brukes til å montere på aktuelt utstyr. På denne måten unngår man å gjøre modifikasjoner på bilen. Monteringspunkter for rammen til bilen må konstrueres etter bilens geometri og eksisterende festepunkter. På tabell 5.1 kan bilens dimensjoner sees.



Figur 5.2 Eksempelbilde av aluminiumsprofil [24].

Del	Mål	Beskrivelse
Traxxas TRX-4	260mm	Bredde (hjul-hjul)
Traxxas TRX-4	270mm	Høyde (uten ramme)
Traxxas TRX-4	510mm	Lengde (hjul-hjul)
Traxxas TRX-4	190mm	Høyde med (med ramme)
Traxxas TRX-4	2,4 kg	

Tabell 5.1 Bilens mål og vekt.



5.3.2 Energi

Da utviklingen av ugressverktøyet kun er første del av en eventuell videre utvikling av en autonom robot, vil det i prosjektet være mest hensiktsmessig å se bort fra hvordan man skal drifte et verktøy og selve bilen. Systemene knyttet til dette vil også kreve en strømkilde, og det vil være hensiktsmessig med kun ett batteri. Man kan da også se for seg at man kan ha et system for automatisk lading og eventuelt batteribytte. Noen opplysninger og vurderinger er derimot tatt med.

Den radiostyrte bilen kommer originalt med et batteri for styring og drift. Dette er relativt lite i størrelse og derfor lav kapasitet, 7,4V 5600mAh (41,44Wh). Dersom man skal ha et verktøy som drives helt eller delvis av strøm, må enten bilen og verktøyet ha felles batteri eller ett batteri hver. Siden bilens motor og styring går på 7,4V, og et eventuelt verktøy drevet av strøm mest sannsynlig ikke vil ha den samme spenningen, vil det være mest praktisk å ha et eventuelt fellesbatteri med spenning over 7,4V. En rekke komponenter finnes i for eksempel 12V, 24V og 36V. Det vil være naturlig å ta utgangspunkt i standard verdier.

5.4 Konsept drøfting ugressverktøy

5.4.1 Harv

Ugressharving av jord er en metode som lenge har vært brukt i tradisjonelt jordbruk [2]. Man skiller da gjerne mellom blindharving, som er harving etter såing, men før spiring, og harving etter spiring av kulturveksten.

Metoden er enkel, men effektiv, og en stor fordel er at man kan fjerne ugress også etter at kulturveksten har spirt. På figur 5.3 sees en liten håndholdt «harv» av størrelse og form som kan være aktuelt for bilen å trekke. En ulempe her er at dersom man ønsker å rygge bilen med verktøy, må verktøyet løftes opp. En av harvens store fordeler er at man relativt enkelt kan variere hvor bredt den skal arbeide. Det er også mulig å variere antall tinder og tettheten av dem, noe som gjør det enkelt å tilpasse forholdene.



Figur 5.3 Terrateck harv 30" [25].

5.4.2 Fres

Bruk av roterende fres gir effektiv fjerning av ugress. På figur 5.4, kan en fres beregnet på fjerning av mose sees. En fordel med fres er at man ikke trenger like mye vekt i selve redskapet for å arbeide effektivt, sammenliknet med for eksempel harv. Den krever derimot konstant motorkraft for å drives, noe som vil påvirke rekkevidden. Motordrevne redskaper vil også være mer komplekse, og derfor gi økt kostnad. En ulempe ved bruk av fres er at dersom jorden har mye steiner, kan det oppstå skader på verktøyer. På en liten fres, som vil være aktuell for roboten, vil det også være mulig at bilen stopper opp eller skifter retning. Siden roboten er liten og lett, kan det være at en fres vil påvirke retningsstabiliteten negativt, uavhengig av hindringer i jorden. En annen ulempe med fres er at den pulveriserer jorden, noe som kan føre til tilslamming av jorda etter vanning og regn [2]. Fresens arbeidsbredde vil i utgangspunktet være konstant, men dersom man har et redskap med løse tinder, kan muligens disse fjernes/monteres for å justere bredden.



Figur 5.4 Illustrasjonsbilde av moseriver [26].

5.4.3 Tråd og knivskjær

Bruk av tråd/knivskrape kan gi gode resultater, figur 5.5. Redskapet fungerer ved at man skjærer gjennom jordens øverste lag og på den måten kutter og drar opp ugresset. Selv om metoden kan være effektiv, er det noe usikkert om bilen vil ha nok vekt og kraft til å arbeide godt. Om jorden har mye stein, vil det også være mulig at roboten setter seg fast. Harde og tette jordtyper vil være vanskelig å trenge igjennom, det samme gjelder dersom jordskorpen er tørket til et hardt lokk. Arbeidsbredden kan ikke justeres uten å bytte ut tråden eller kniven.



Figur 5.5 Knivskrape og trådskraper [27][28].

5.4.4 Rullende kurv

Rullende kurv er et interessant redskap, figur 5.6. Redskapet fungerer ved at kurvens tråder blir presset ned i jorden og løftet opp. En fordel med denne løsningen sammenliknet med fres, er at man ikke trenger ekstra motor. I likhet med tråd/bladskrapen er det usikkert om bilen vil ha nok vekt og kraft til å gjøre verktøyet effektivt. Hindringer i jorden og variasjoner i terreng vil kunne gjøre redskapet mindre effektivt. Arbeidsbredden kan ikke justeres og man vil måtte bytte ut kurven for å tilpasse den.



Figur 5.6 Kurv-harv [29].

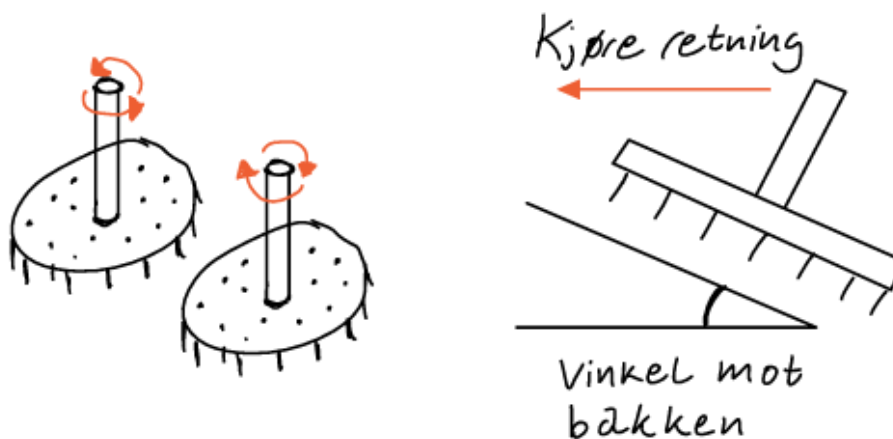
5.5 Konsept design

Etter å ha sett på aktuelle løsninger ble det valgt å se nærmere på harv, kurvrulle, skjær og fres. Det ble også laget noen enkle skisser for ulike løsninger.

5.5.1 Fres og kurvrulle

Et verktøy bestående av en fres kan gi gode resultater. Ulempen med en fres er at man trenger ekstra motor og strømforsyning. Figur 5.7 viser en enkel skisse av et vertikalt fresehode. Fordelen er at et slikt verktøy vil kunne gjøre effektivt arbeid. Dersom bakken er ujevn og fylt av mye stein er det derimot mer usikkert hvor effektiv en fres vil være. Større maskiner som bruker fres, har stor kraft og egenvekt som gjør at hindringer har mindre å si.

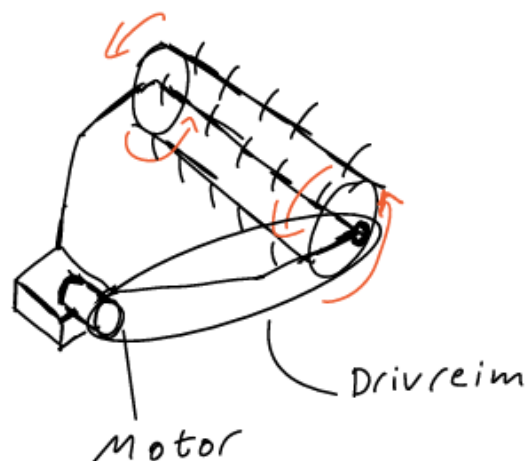
En løsning for å kompensere for ujevnheter og stein kan være å bruke fleksible fjærer som skjær. Dette vil være mulig på både vertikal fres og horisontal fres. Fleksible tinner i kombinasjoner med fjærende holdepunkt for hvert fresehode kan også være en mulighet. Den roterende bevegelsen på de vertikale fresene med bilens lave vekt og størrelse gjør at man bør ha to fresehoder. Dersom hvert hode går med motsatt retning, vil man kunne få en mer stabil styring og man unngår at bilen blir dratt i en retning. Det bør også være en vinkel fra bakken mot fresen, for lettere å komme over små variasjoner på bakken. En fres med horisontal akse kan både være montert foran og bak. For å kunne kjøre effektivt når fresen ikke er i gang, bør det være mulig å løfte den.



Figur 5.7 Skisse av vertikal fres.

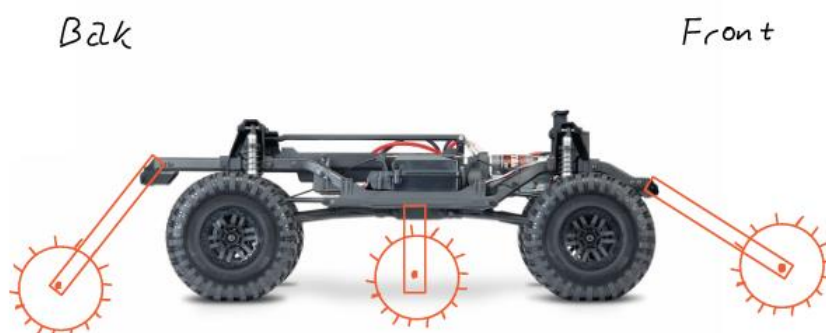
Fres med horisontal akse kan være en mer retningsstabil løsning, figur 5.8. Sammenliknet med vertikal fres så unngår man også at jorden blir kastet i hauger og man vil kunne få et mer jevnt resultat. En annen fordel med horisontal fres er at man kan velge om fresen skal rotere mot kjøreretningen, eller med. Om fresen roterer mot kjøreretningen vil det kreve mer kraft å trekke fresen, men den vil arbeide dypere. Roterer fresen med kjøreretningen vil fresen skyve bilen noe, men med noe grunnere arbeidsdybde. På denne måten er det mulig å tilpasse dybden den arbeider på ved å endre retningen på fresen, i tillegg til vekter, kjørehastighet og rotasjonshastighet. Horisontal fres kan også ha nytte av å ha fjærende tinner og en innfesting som ikke er helt stiv. En mulighet er at fresen i innfestningen til bilen kan være hengslet om horisontal akse. Ved store hindringer vil da fresen løftes over og gjøre minimale utslag på stabiliteten til bilen. Dette er en fordel sammenliknet med vertikal fres som må ha en noe mer stiv innspenning.

Dersom jorden er hard og tørr, kan en kombinasjon av fres og skjær være en mulig god løsning. En fres montert foran vil løse opp jorden, og et skjær montert under eller bak kan rive opp eventuelle gjenværende ugress. Dette gir derimot enda mer kompleksitet og vekt.



Figur 5.8 Skisse av mulig løsning for drift av fres.

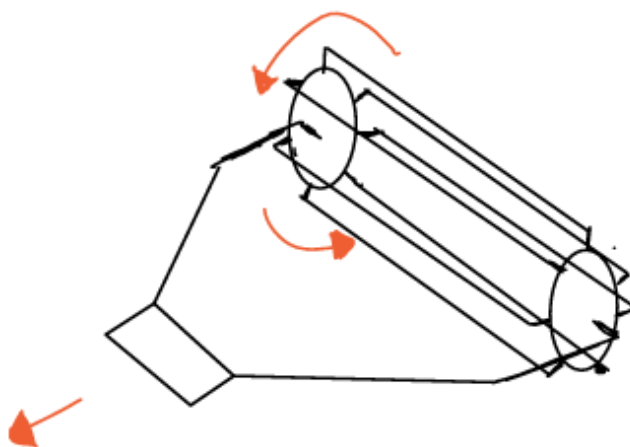
Figur 5.9 viser mulige plasseringer av en horisontal fres. Ved montering under bilen er det mindre plass og fresen må da ha mindre diameter. En slik montering vil derimot gjøre roboten svært kompakt og manøvrerbar, noe som er positivt. Montering foran vil lettere kunne resultere i at man setter seg fast eller «stuper» over fresen. Montering bak vil mest sannsynlig være mer kompensere for hindringer og ujevnheter. Ellers vil montering foran og bak gi relativt like egenskaper.



Figur 5.9 Mulige plasseringer av fres/rulle.

En annen mulighet er en kurvrulle. Figur 5.10, viser en som ruller etter bilen. For å trenge tilstrekkelig ned i jorden vil det her være behov for noe vekting. En fordel med denne løsningen er at den er enkel. Skal man derimot kunne løfte kurven over bakken under transport vil dette kunne by på problemer, avhengig av hvor mye vekt man trenger for å gjøre den effektiv.

En ulempe som gjelder både kurvrullen og fresene er at det er vanskelig å gjøre tilpasninger på hvor bredt verktøyet arbeider. Det kan være positivt ha mulighet til dette siden bredden mellom planterader kan variere etter metode og type vekst.



Figur 5.10 Skisse av kurvrulle.

5.5.2 Harv

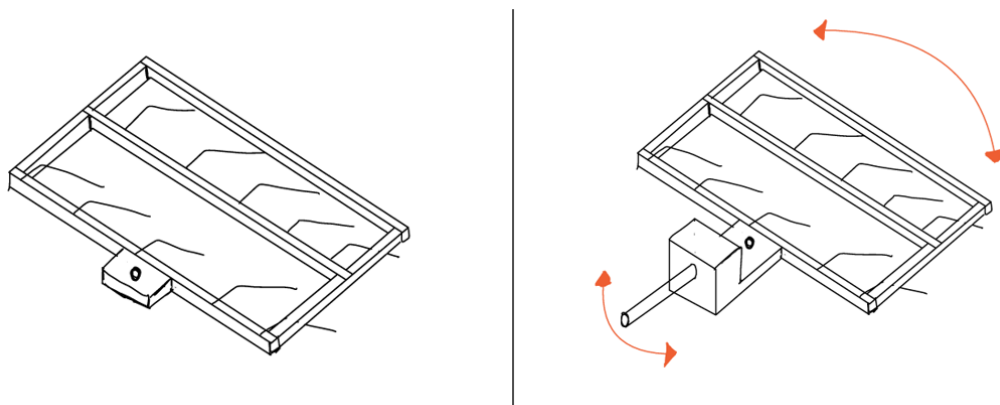
Det ble laget noen enkle skisser for ulike løsninger med harv. Figur 5.11 viser til venstre en enkel harv og til høyre en harv med sideveis bevegelse. Harving er en mye brukt metode på større redskaper. Det er en enkel løsning som har få bevegelige deler og er i utgangspunktet en løsning med potensiale for lang levetid.

På grunn av bilens lave vekt og størrelse vil verktøyet, i likhet med de tidligere nevnte, være utsatt for ujevnheter og hindringer. Fjærende tinner vil her også kunne kompensere noe for dette. Fjærende tinner vil også være med på å gjøre det mulig å kjøre over planter uten at de tar nevneverdig skade. Dersom innfestingen til bilen er helt stiv, kan det slå negativt ut på bilens stabilitet. En innfestning med noe fleksibilitet og slingring vil derfor være å foretrekke.

En negativ side med harven er at den til tross for lav vekt og enkelhet tar relativt stor plass. Et verktøy bestående av harv vil derfor gjøre at man trenger noe større plass for å snu og bevege seg. Dersom man ønsker at roboten skal ha mulighet til å rygge, trengs det en mekanisme for å løfte harven opp over bakken. Dette vil også være greit å ha dersom man vil ha muligheten til å kjøre uten at harven er i kontakt med bakken.

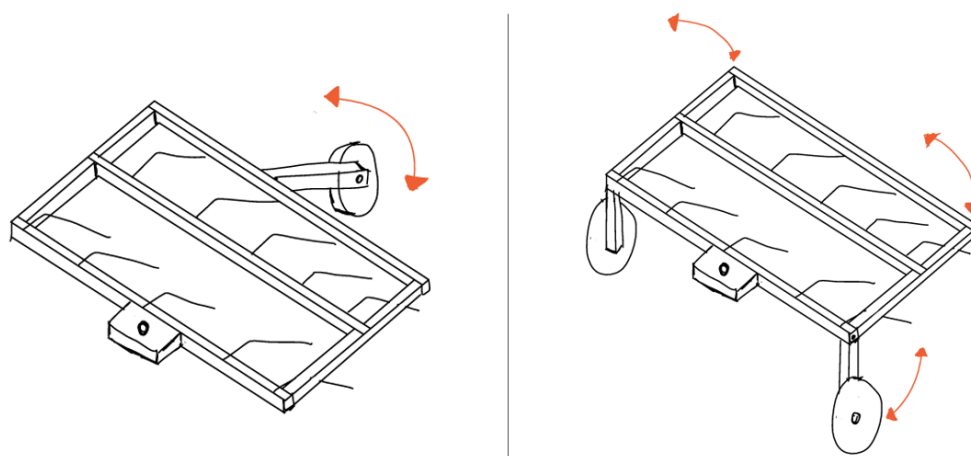
En stor fordel med harv er at det er mulig å gjøre en rekke tilpasninger av verktøyet. Både av brukeren og under produksjon. Brukeren kan enkelt variere antall tinner og hvor tett de skal stå. Det vil også være mulig, avhengig av harvens konstruksjon, å produsere ulike bredder og størrelser uten at det vil føre til store utslag i pris.

Dersom roboten skal gå imellom planteradene, vil det være sannsynlig at noen områder av bakken ikke kommer i kontakt med tindene. Bilen vil i smale rader ikke ha mulighet til å variere sin plassering mellom radene. En løsning som vil kunne kompensere for dette er å ha en harv som har sideveis bevegelse. Harvens og tindenes plassering vil da variere for hver gang roboten kjører over. Det er mulig at en slik løsning kan gjøre av tindene arbeider mer effektivt, siden de også beveger seg sidelengs. En ulempe med slik løsning er at mekanismen for utslaget mest sannsynlig må monteres på bilen og da tar opp plass. Det er derimot ikke en avgjørende faktor.



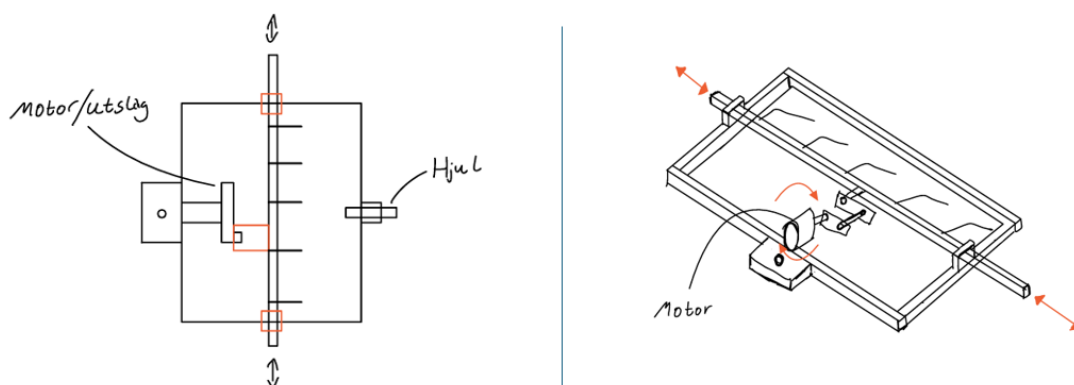
Figur 5.11 Skisse av vanlig harv og harv med sideveis bevegelse.

Det ble også skissert et par løsninger av harv med hjul, figur 5.12. På skissen til venstre trengs det en mekanisme som skyver hjulet under rammen og på den måten løfter harven opp fra bakken. Skissen til venstre viser en løsning med to hjul hvor rammen må vippes opp for at hjulene skal gå klar av bakken. En tredje mulighet er å ha en lineær aktuator som kan løfte og senke ett eller to hjul. Dette er muligens å foretrekke siden man da ikke legger noe mer vekt på bilen eller endrer dens tyngdepunkt. En aktuator begrenser heller ikke bruken av eventuelt utslag.



Figur 5.12 Skisse av harv med hjul.

På figur 5.13 vises en skisse av en harv med utslag. Denne skiller seg fra harven med utslag på 5.12 ved at det kun er tindene som beveger seg fra side til side og ikke hele harven. Fordelen med en slik løsning er at man kan montere hele mekanismen på selve harven slik at bilen er mer eller mindre urørt. Det er derimot usikkert om bilen vil ha nok vekt og stabilitet til at harvens bevegelse ikke bare dytter på bilen. For å undersøke dette må det eventuelt lages en prototype.



Figur 5.13 Skisse av harv med sideveis utslag og fast ramme.

5.5.3 Pugh konsept analyse

For å sammenlikne de ulike verktøyene ble det satt opp en Pugh-seleksjonsmatrise, som vises i tabell 5.2. Den nåværende løsningen er satt til Terrateck 75cm, da denne er brukt ved tidligere prosjekter med bilen og er tilgjengelig. Vektingen av de ulike kriteriene er til dels basert på antagelser da det er vanskelig å forutse effektivitet, endelig vekt osv.

Kriterium	Beskrivelse	TERRATECK 75 CM	Harv (lettere)	Harv med utslag	Vertikal fres	Horisontal fres	Rullende kurv	Skjær
	Vekting (1-5)	Nåværende løsning	Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 3	Alternativ 4	Alternativ 5	Alternativ 6
Levetid/holdbarhet	3	0	0	-1	-1	-1	0	0
Vekt	3	0	1	0	-1	-1	0	0
Skånsomhet mot kulturvekster	4	0	0	0	-1	-1	-1	-1
Kompleksitet	2	0	0	-1	-1	-1	0	0
Antatt verktøyeffektivitet	5	0	0	1	1	1	0	1
Pris	2	0	0	-1	-1	-1	0	0
Antatt rekkevidde	4	0	1	1	-1	-1	0	-1
Tilpasning/modularitet	4	0	1	1	0	1	0	1
Passer løsningen bilens egenskaper	4	0	0	0	0	0	0	-1
	Sum	0	3	0	-5	-4	-1	-1
	Vektet Sum	0	11	6	-13	-9	-4	-3

Tabell 5.2 Pugh-seleksjonsmatrise for ulike verktøy.

Ut fra resultatet av Pugh analysen kommer de ulike alternativene ut med en vektet og en uvektet sum. Uvektet kommer vertikal og horisontal fres dårligst ut. Bakgrunnen for dette er i hovedsak økt vekt, kompleksitet og skånsomhet mot kulturvekstene. «Harv» alternativet er satt opp med antagelse om at det er mulig å gjøre denne lettere enn Terrateck harven.

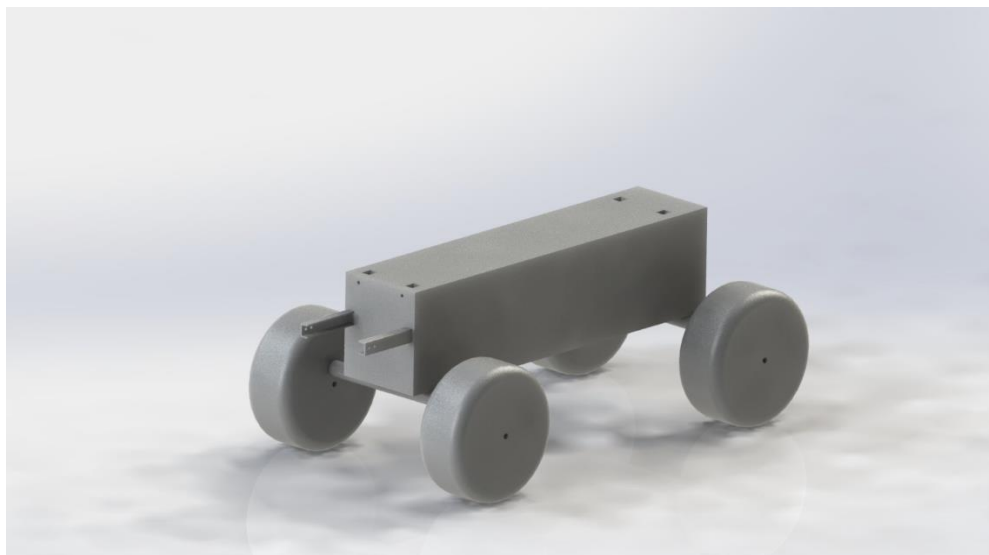
Et punkt som ikke kommer frem i Pugh-matrisen er at harv med utslag vil også kunne brukes uten utslag dersom det er ønskelig. Dette kan være aktuelt dersom det er trangt eller utslaget viser seg å ha mindre effekt i noen situasjoner. Den viktigste grunnen til å ha en harv uten utslag er at man da kan kjøre over plantene etter de har spirt, opp til en viss størrelse. Dette avhenger igjen av at ikke selve bilen gjør skade på vekstene, noe som er uvisst.

Basert på resultat av analysen velges det å gå videre med harvene og utforske muligheten for en løsning med utslag. I tillegg til harvene vil det være interessant å undersøke kurvrullen, spesielt med tanke på om bil en kan klare å trekke vekten og motstanden kurven vil gi.

6 Utvikling, prototyping og testing

6.1 3D-modellering

Til digital modellering er Solidworks brukt. For å kunne gjøre prosessen med utvikling mest mulig effektiv, ble det laget en forenklet modell av Traxxas TRX-4 bilen, figur 6.1. Det er ikke lagt vekt på korrekt utforming, men mål og plassering av festepunkter er kopiert så godt som mulig.



Figur 6.1 Utviklingsmodell Traxxas TRX-4.

6.2 Hurtig prototyping og testing

6.2.1 Kurvrulle

Det ble laget en enkel prototype ved hjelp av ståltråd, 3D skriver, gjengestang og festemateriell, som sett på figur 6.2. Prototypen ble laget for å undersøke hvor mye vekt som trengs. Prototypen ble testet ved å påføre ulike mengder trykk med hendene mens den ruller fritt. Det ble gjort tester på både pakket og upakket jord. På upakket jord gjorde verktøyet godt arbeid. På pakket jord ble det derimot klart at det var behov for mye trykk for å komme gjennom det øverste laget av pakket jord. Ved mye trykk, rullet kurven svært tungt. På bakgrunn av dette ble den ikke tatt med i videre testing da bilen vil bruke uforholdsmessig mye energi for å drive denne type verktøy.



Figur 6.2 Prototype av kurvrulle.

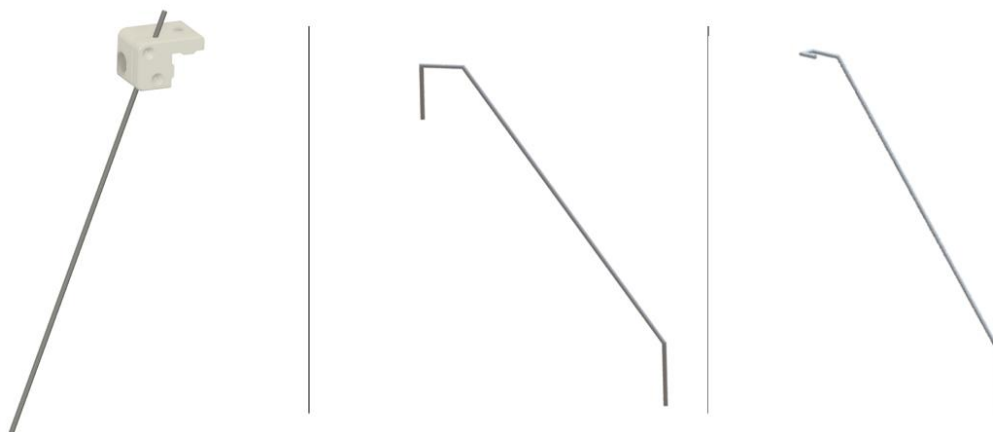
6.2.2 Tinder

Diverse ulike tinder og metoder for å feste de med ble konstruert og testet. Tindenes design og tykkelse spiller en stor innvirkning på hvordan harven arbeider. Det ble derfor kjøpt inn pianotråd for å kunne lage tinder, figur 6.3. Pianotråden er laget av en ståltype med relativt høyt innhold av karbon [30], som gjør det mulig å herde den. Liknende alternativer for stiv tråd finnes også i rustfrie varianter. Pianotråden er mulig å bøye i kald tilstand og holder formen godt sammenliknet med bløt ståltråd. Det ble kjøpt inn pianotråd i tykkelse 2mm, 3mm og 4mm. Ut fra håndtering av enkel testing av tråden på 2mm var det tydelig at denne var for myk til å trenge gjennom jordskorpen uten å bøye seg for mye. Det ble derfor besluttet å ikke ta med 2mm tråden videre.



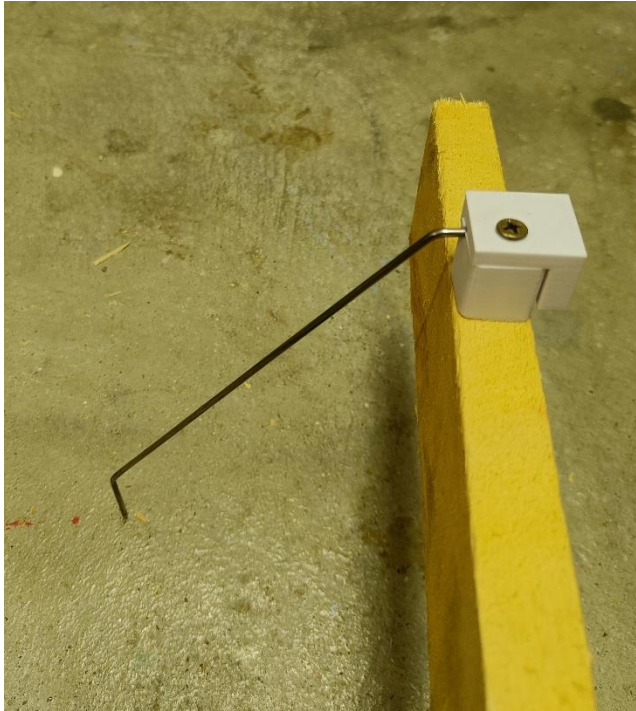
Figur 6.3 Pianotråd [31].

Flere ulike former og metoder for innfesting ble så testet, se figur 6.4. Det ble laget tinder uten knekk på enden, og med knekk på enden. Det ble ikke laget tinder med fjærsurringer, på grunn av manglende utstyr for å gjøre dette.



Figur 6.4 Digitale prototyper av tinder og innfesting.

En prototype av tind med to bøyer og innfesting ble laget av 3mm pianotråd, figur 6.5. Avstand fra innfesting til bunn var 200mm.



Figur 6.5 Tind prototype.

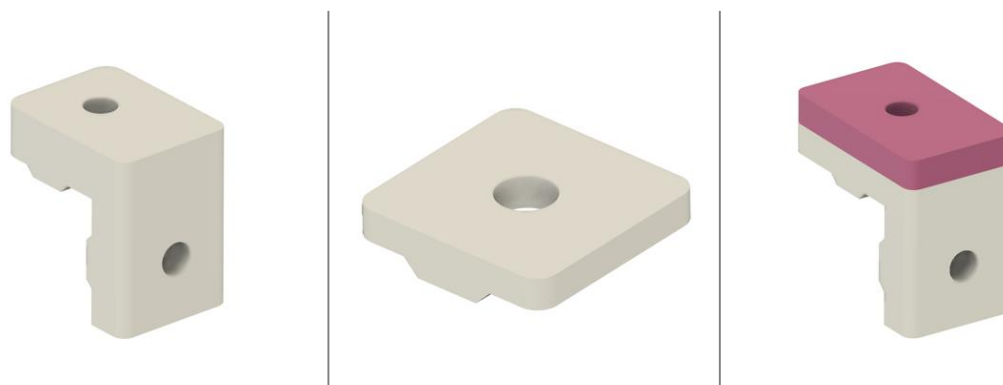
Terrateck harven var tilgjengelig fra oppstart av prosjektet, figur 6.6. Det var derfor naturlig å bruke disse tindene til testing og sammenlikne med tinder uten fjær. Terrateck tindene har en tråddykkelse på 3mm med en avstand fra innfesting til bunn på 200mm. Tindene har også en knekk 25mm fra enden. Dette gjør at enden på tinden står vinkelrett med innfestingen. På denne måten oppnår man en mer aggressiv tind, sammenliknet med om den hadde hatt en lavere vinkel mot bakken.



Figur 6.6 Terrateck tinder.

Ulike løsninger for innfesting av Terrateck tindene ble konstruert og laget ved hjelp av 3D-skriver, figur 6.7. Innfestingen ble tilpasset for å kunne monteres på 20x20mm aluminiums profiler. Innfestingen i midten av figur 6.7 ble laget slik at man kan montere tinden med kun en skrue. For å unngå at innfestingen med tinden roterer under bruk, ble det laget en form som passer profilens monterings spor. Det ble også laget en slik innfesting uten spor. Disse ble så laget i både ABS og TPU plast ved hjelp av 3D-skriver [32][33]. TPU er en myk og fleksibel termoplast. Hensikten med å lage prototype i både TPU og ABS er at TPU platen vil gi etter og tilpasse seg tinden når den skrues fast. På den måten vil den muligens holde tiden mer stabil.

Innfestingene til høyre og venstre på figur 6.7 er like, med unntak av en myk plate på den til høyre. Denne myke platen, representert i rødt, ble laget av den mykere TPU platen, og resten av ABS plast. Ulempen med denne løsningen for innfesting er at man trenger to skruer for montering.



Figur 6.7 DAK-modell av prototyper innfesting av Terrateck tind.

Samtlige av løsningene for innfesting av Terrateck tindene ble testet manuelt. Tindene ble montert og dratt sideveis ved hjelp av en vekt helt til de beveget seg eller de var så bøyd at det ikke var mulig å dra mer. Det viste seg at innfesting ved hjelp av en skrue var tilstrekkelig. Dette gjør også flytting og bytting av tinder raskere. Sporet som ble laget for å holde tinden i riktig retting var heller ikke nødvendig. Innfestingen med TPU fungerte like godt som platen av hard ABS. Det ble gjort tester med ulike tykkelser på platen, fra 2mm til 5mm. Platen på 2mm var for tynn til å gi nok mothold og bøyde seg lett. Dette kan derimot være annerledes ved bruk av annen type plast. Platene med tykkelse på 3mm, 4mm og 5mm hold tindene like godt.

Ved undersøkelse av innfestingsplaten etter montering, viste det seg at selv den hardere ABS platen også ga noe etter og formet seg noe til tinden. Selv om dette påfører noe «skade» på platen, er dette en positiv egenskap, siden det hjelper å holde tinden sikkert på plass. Utbytting av platene vil ikke være noe nevneverdig kostnad for kunden i bytte mot en mer sikker montering og mindre problemer. Ved montering ble det brukt M5 skrue med skive og passende mutter. Siden 3mm platen ga tilstrekkelig godt resultat og passer med standard skruelengder, for ikke å kollidere med profilen, ble denne tatt med videre i utviklingen.

6.2.3 Harv doble tinder

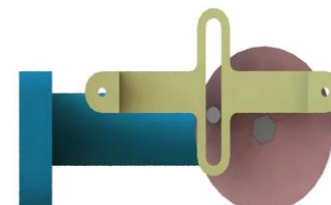
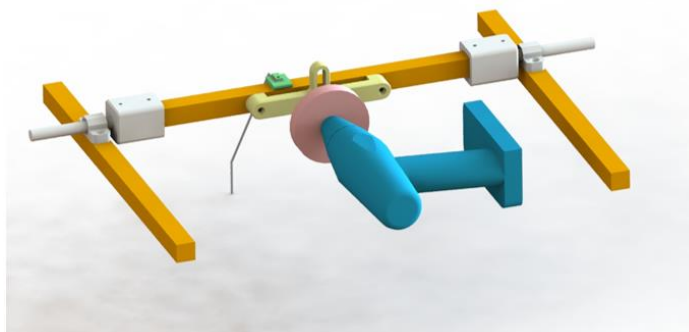
Det ble også laget en prototype med bruk av treramme og doble tinder, som sett på figur 6.8. Tindene ble innkjøpt fra Biltema [26] og har en trådtykkelse på 5mm med 110mm mellom hver tind. Testingen ble gjort manuelt uten bruk av bilen. Tindenes trådtykkelse viste seg her å være for stor. Selv om de har en innebygd fjær så hadde denne liten effekt, selv med relativt hardt trykk mot jorden. Tykkelsen på tråden gjør også at det kreves mer kraft for både å bryte gjennom jorden og trekke tindene gjennom. I tillegg er det på grunn av tindenes doble konstruksjon vanskelig å plassere tindene tilstrekkelig tett, selv med dobbel rad. Tinder av typen som brukes på Terrateck harven er å foretrekke både med tanke på energiforbruk og resultat, men også i forhold til innfesting.



Figur 6.8 Dobbeltind prototype og testing.

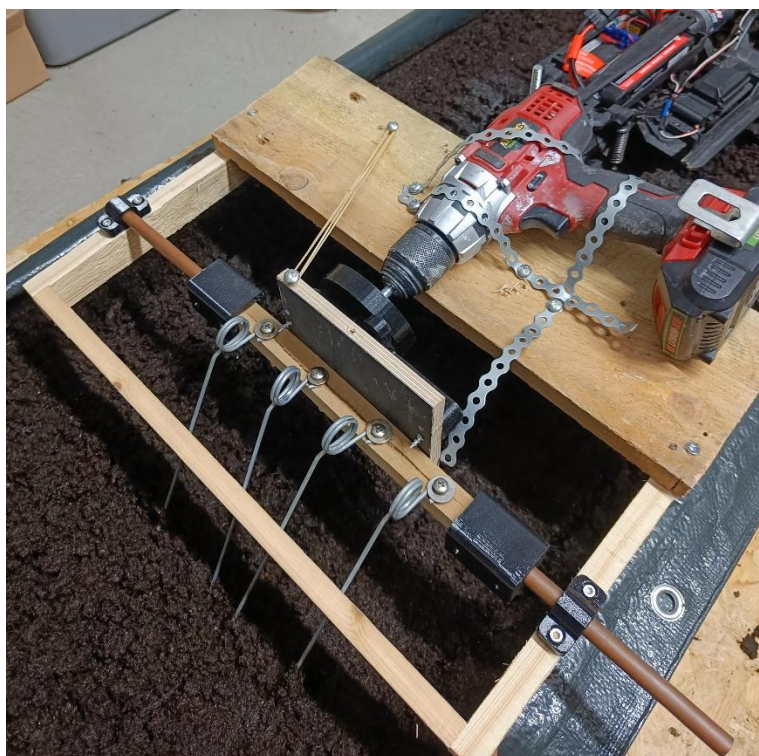
6.2.4 Harv med utslag og fast ramme

En prototype ble laget for å kunne teste en harv med utslag og fast innspenning av harvens ramme til bilen. Den digitale modellen for utslagsmekanismen vises på figur 6.9. Det ble her brukt en mekanisme liknende den som finnes i stikksager, til høyre på figur 6.9. Profilen som tindene festes på monteres med glidende lagre i hver ende. Fordelen med denne mekanismen er som nevnt tidligere, at alt kan monteres på selve harven.



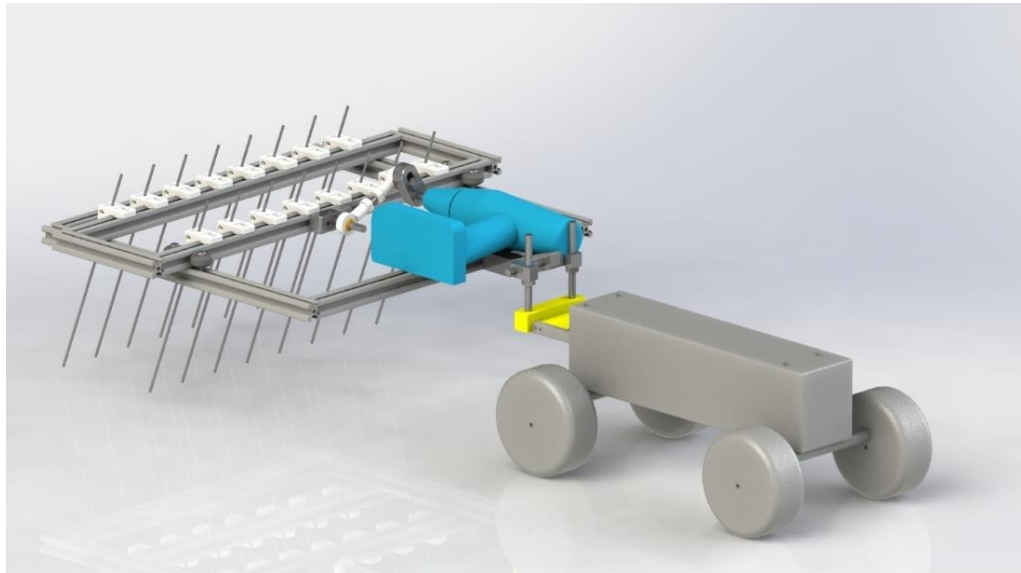
Figur 6.9 DAK-modell av harv med utslag.

En prototype ble så laget av tre, Terrateck tindene, deler produsert på 3D-skriver, drill og diverse festemidler, prototypen kan sees på figur 6.10. Det ble her kun brukt fire tinner, da hensikten var å teste mekanismen og effekten av den. Innfestingen av harven til bilen var hengslet om horisontal akse, slik at mest mulig av utslaget blir overført til tindene og ikke tas opp av bilen.

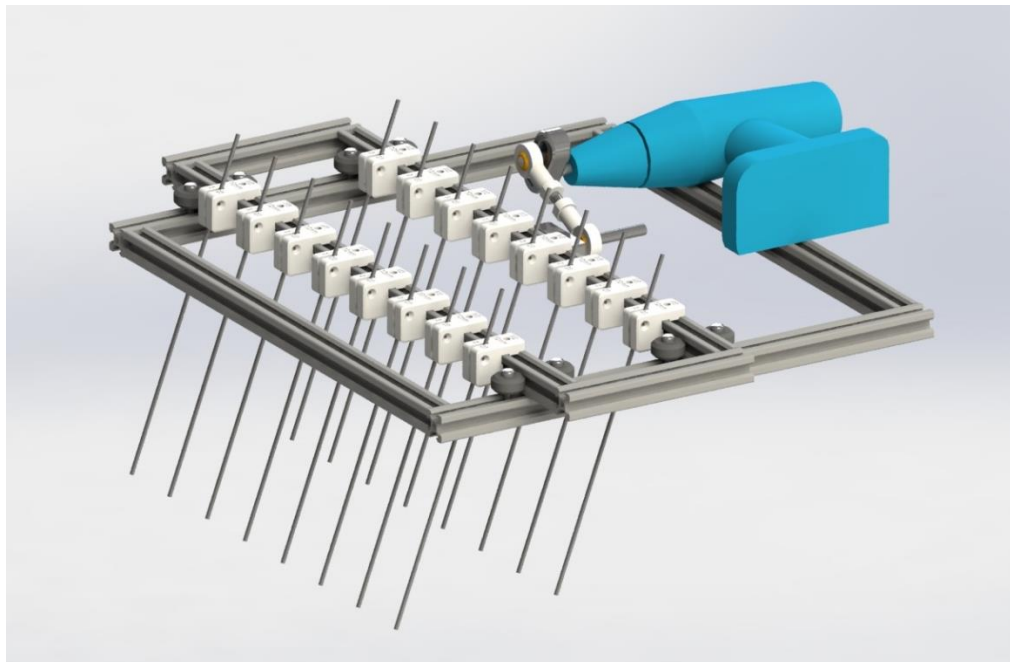


Figur 6.10 Prototype av utslagsmekanisme med fast ramme.

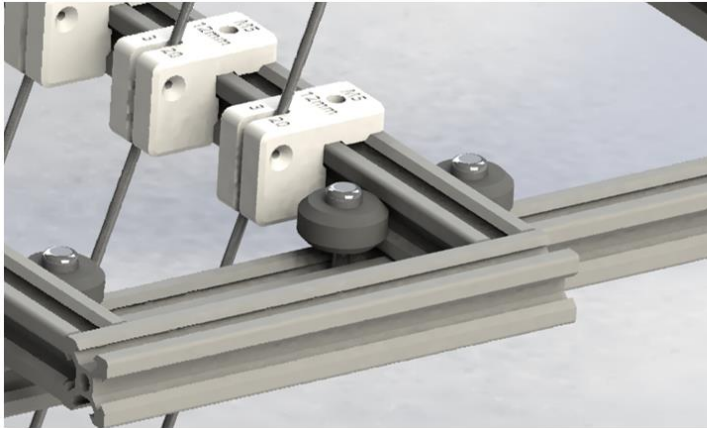
Ut fra testingen med prototypen virket det som at utslaget kunne ha en positiv effekt på å dekke større areal per overkjøring. Det ble derfor besluttet å lage en mer detaljert prototype i Solidworks, figur 6.11 og figur 6.12. DAK-modellen ble konstruert ved hjelp av 20x20mm V-Spor aluminiums profiler. V-Spor profilene har en 45-graders vinkel i sporet, som gjør at man kan bruke gummikledde kulelagre som glidende opplagring, figur 6.13.



Figur 6.11 DAK-modell av fast ramme med utslag.



Figur 6.12 DAK-modell av fast ramme med utslag.



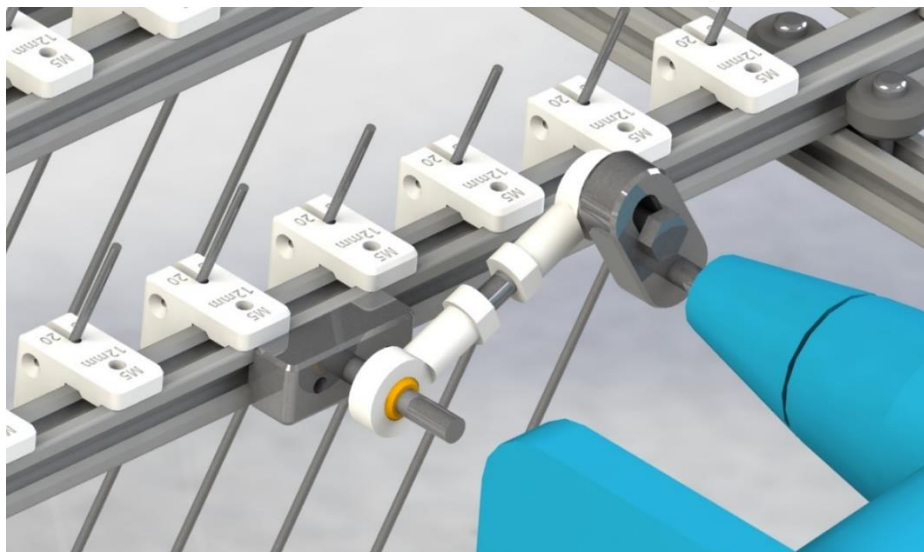
Figur 6.13 Detaljer: Fast ramme med utslag og V-Spor hjul [34].

Utslagsmekanismen ble konstruert ved hjelp av kuleledd med indre M8 gjenger og hull på 8mm, figur 6.14. Kuleleddene har en indre kule som roterer fritt. Ved montering av bolt eller liknede gjennom hullet, får den begrenset bevegelsesfrihet. Dette er en gunstig egenskap ettersom man får noe «slingring» i mekanismen, uten at den er for stor og uforutsigbar.



Figur 6.14 Kuleledd [35].

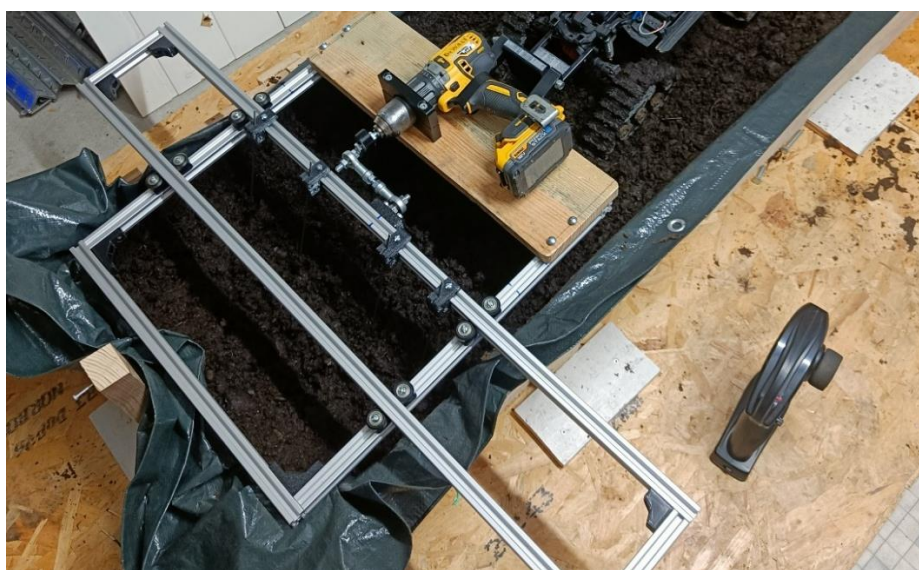
Figur 6.15 viser et nærbilde av mekanismen for utslag. Utslaget kan justeres både ved å justere avstanden mellom de to kuleleddene og hvor langt ut fra motorens akse kuleleddet monteres.



Figur 6.15 Detaljebilde av utslagsmekanisme fast ramme.

Det ble så laget en fysisk prototype drevet av en elektrisk drill, figur 6.16. Rammen ble på dette tidspunktet ikke kuttet i lengden for å kunne gjøre eventuelle endringer, samt å kunne bruke profilene til andre løsninger.

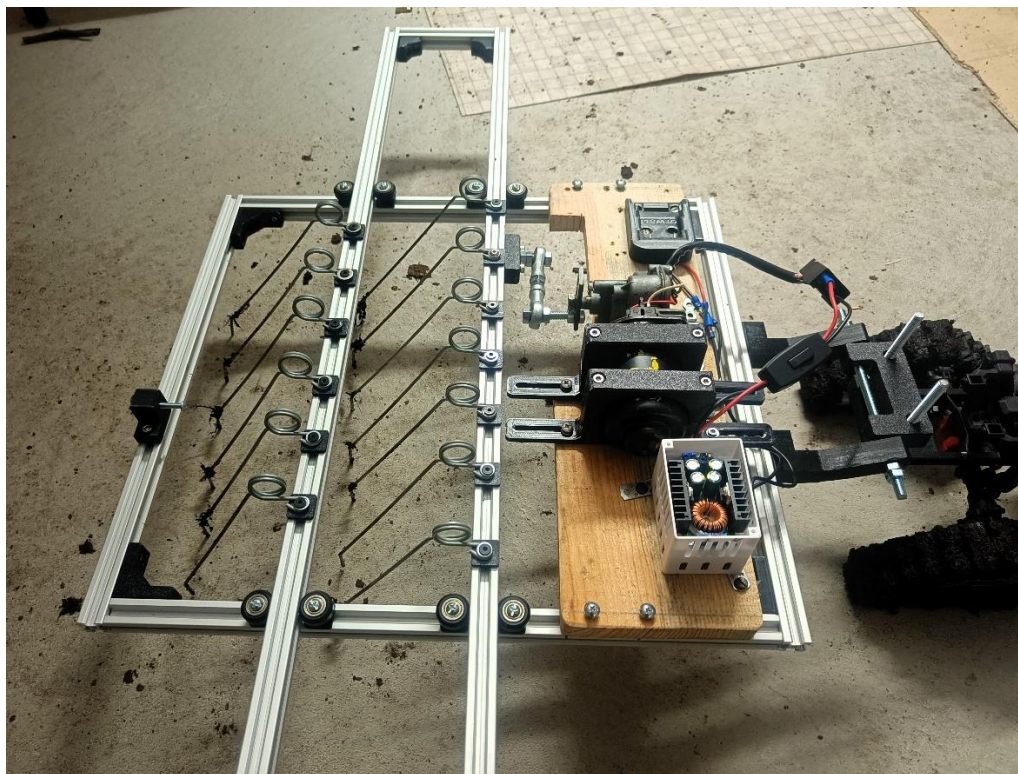
Det ble gjort tester med ulik hastighet på både bil og drill. Utslaget ble også justert. Prototypen fungerte godt og utslaget virket å gi en økning i areal som ble berørt per overkjøring. Ved lave hastigheter på bilen ble derimot utslaget i liten grad overført til bakken. Det samme skjedde med 3mm tindene og spesielt på Terrateck tindene som er ekstra fjærende. Tindene i 4mm var stivere sidelengs, slik at mer av bevegelsen ble overført. Det var derimot vanskelig å justere drillens turtall til ønsket hastighet. Det ble derfor besluttet å bytte ut den elektriske drillen med en annen motor.



Figur 6.16 Prototype av harv med fast ramme og utslag.

En vindusviskermotor ble kjøpt inn for å lettere kunne justere til ønsket hastighet. På figur 6.17 vises rammen med vindusviskermotoren. Harven forble uendret med unntak av monteringen av viskermotoren.

Motoren ble drevet med ett drillbatteri og en spenningsjusterer [36]. Motoren har i utgangspunktet to ulike hastigheter, men ved å justere spenningen er det mulig å oppnå både høyere og lavere hastigheter. Ved 18V hadde motoren en rotasjons hastighet på 50 o/min og 80 o/min.



Figur 6.17 Prototype av harv med fast ramme og vindusviskermotor.

Testing ble gjort på jord både med Terrateck og egenproduserte tinder. Både kjørehastighet og hastigheten på motoren ble variert, samt utslaget. I likhet med testene gjort med drill, ble utfallet at lite bevegelse fra utslaget ble overført. Spesielt ved lav hastighet på bilen var overført utslag svært liten. Justering av utslagsturtallet hadde liten innvirkning. Tindene med tykkelse på 4mm og 20 grader mot bakken, uten knekk på enden, ga mest overført utslag. Ved lave hastigheter hvor kontrollen på bilen er best, var utslaget derimot nesten fraværende. Ved lave hastigheter og når bilen stod stille, begynte bilen å gynte fra side til side. Det ble derfor forsøkt å justere bilens fjærer til både myke og harde. Det ble også forsøkt å komprimere fjærene og låse bilen mot akslingen, slik at bilens ramme hadde tilnærmet null fjæring. Dette forbedret ikke utfallet og bilen endte med å hoppe fra side til side.

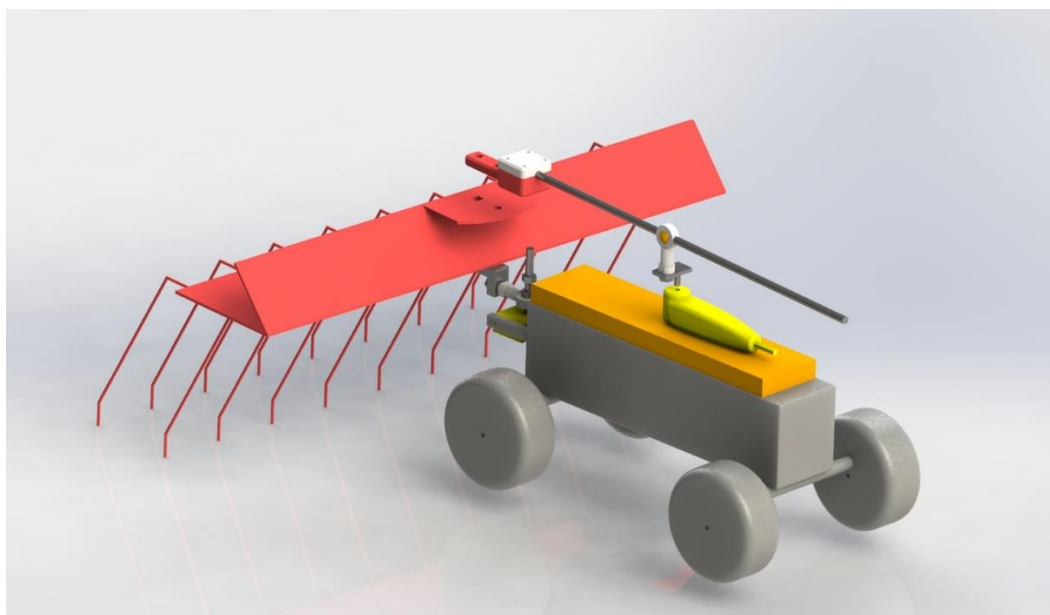
Konklusjonen fra testingen av harv med stiv ramme og utslag er dermed at dette ikke er en god løsning. For å få noe nytte av denne løsningen må bilen kjøre i høy hastighet, noe som i kombinasjon med utslaget gjør den vanskelig å kontrollere. Det er noe usikkert hva som gjorde at denne effekten ikke oppstod på den første prototypen av tre. Hovedgrunnen er nok av det da ble benyttet kun fire tinder, og den samlede motstanden i jorden ble da liten nok til at bilens vekt kunne holde imot.

6.2.5 Terrateck harv med utslag

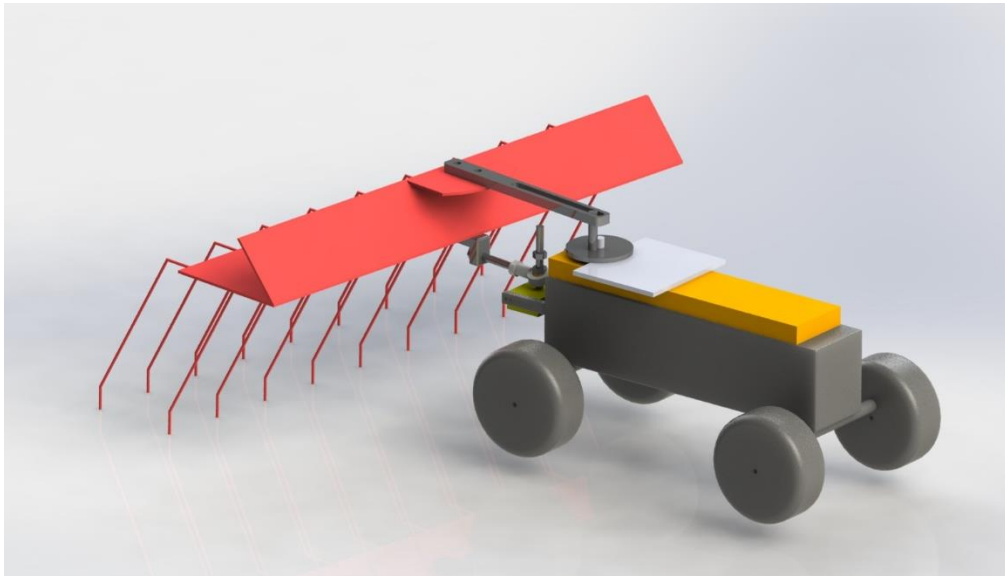
Da den første prototypen for utslag med få tinder ga et positivt utslag, fortsatte arbeidet med den andre mulige løsningen for harv med utslag. Utgangspunktet for løsningen er at harven er festet til bilen på kun ett punkt, hengslet om vertikal akse (Figur 5.11). Ved å kombinere denne innfestingen med en mekanisme som gir harven utslag, var ønsket å kunne nå et større areal per overkjøring.

Siden det var noe usikkerhet om en harv med utslag ville ha noe effekt, samt være mulig å bruke, ble Terrateck harven brukt som utgangspunkt for prototypingen og tidlig testing. Det kan også være greit å ha en utslagsmekanisme for Terrateck harven slik at man kan sammenlikne resultatene mer korrekt på et senere tidspunkt. I denne forbindelse ble en DAK-modell laget av Terrateck harven, for lettere å kunne konstruere rundt den.

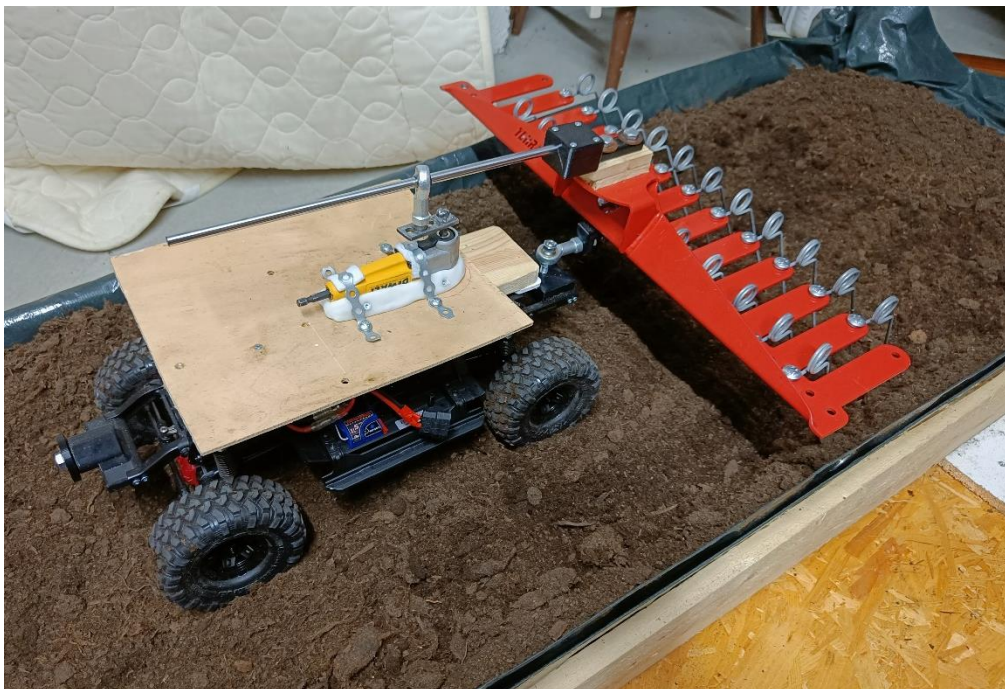
Flere ulike mekanismer ble konstruert og modellert i DAK, to av dem vises på figur 6.18 og figur 6.19. Prototype for mekanismen med vinkeldrev vises på figur 6.20. Vinkeldrevet kobles på elektrisk drill med hastighetsregulator. Mekanismen består av et glatt solid stålrør og kuleledd som er montert utenfor vinkeldrevets akse. Av de konstruksjonene som ble modellert, så var det denne som virket best.



Figur 6.18 Utslagsmekanisme Terrateck harv.

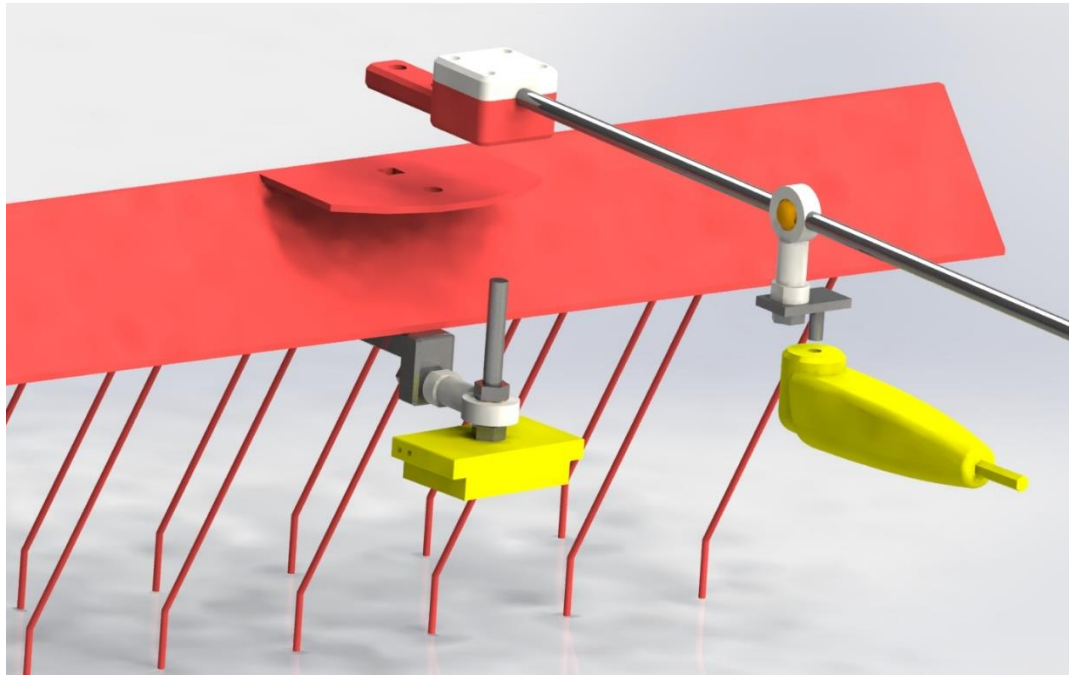


Figur 6.19 Utslagsmekanisme Terrateck harv.



Figur 6.20 Prototype av utslagsmekanisme.

Innfestingen av harven til bilen viste seg å være svært viktig. På den første prototype og modellen ble innfestingen laget ved hjelp av kuleledd som var tredd på en vertikal bolt, figur 6.21. Høyden på harven kan justeres ved å skru på mutteren. Delene ble laget ved hjelp av 3D-skriver. Tanken var at harven da kan bevege seg fritt i horisontalt plan rundt bolten. Det fungerte til dels, men kuleleddet gjorde at harven vippet for mye opp og ned på kantene, som sett på figur 6.22. Det ble forsøkt å justere bilens fjærer, samt å låse de. Dette ga liten innvirkning da harven uansett beveget seg for fritt i innfestingen.

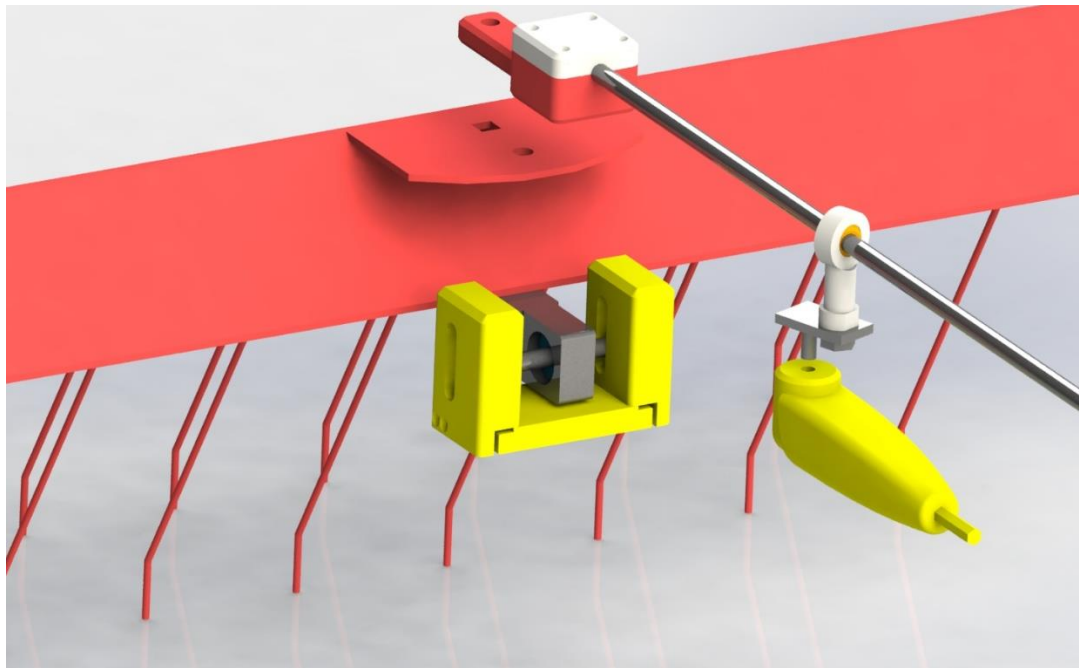


Figur 6.21 Innfesting med kuleledd.



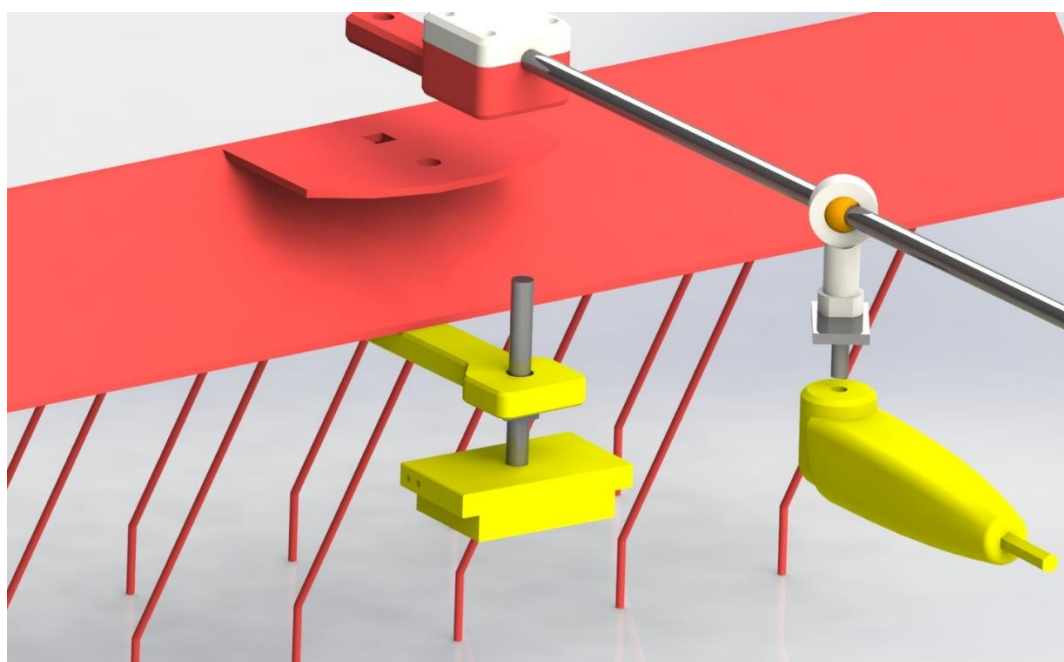
Figur 6.22 Innfesting med kuleledd, bilen vrís.

En annen innfesting ble så modellert, og prototype laget ved hjelp av 3D-skriver. Her har innfestingen en horisontal bolt med et kulelager hvor harven festes på. Kulelageret er så festet til selve harven på kun ett punkt slik at den kan rotere. Høyden på innfestingen kan så justeres ved å flytte den horisontale akse opp og ned. Denne løsningen er en mer «låst» løsning da oppsettet er mye stivere med mindre slingring. Under testing av prototypen viste det seg at det var for lite slingring og at det oppstod fastlåsnings i mekanismer. Når fastlåsing ikke oppstod var derimot effekten god. Det ble forsøkt å gjøre justeringer på konstruksjonen og innfestingen, men konklusjonen ble at det samlet sett var en dårlig løsning.



Figur 6.23 Innfesting med horisontal akse.

En løsning som hadde mer slingring måtte til, uten av det var for mye av det. En innfesting med vertikal akse med kulelager festet til bolten ble så laget, figur 6.24. Innfestingen ble kun støttet opp fra undersiden med en mutter, og ikke låst fast ovenfra. Kulelageret gir en fri bevegelighet om vertikal akse og harven kan bevege seg noe om opp og ned med litt vridning. Harven har ikke mulighet til å hoppe av da den holdes fast av utslagsmekanismen. Denne løsningen viste seg å gi passende mengde med slingring til innfestingen og mekanismen fungerte godt.



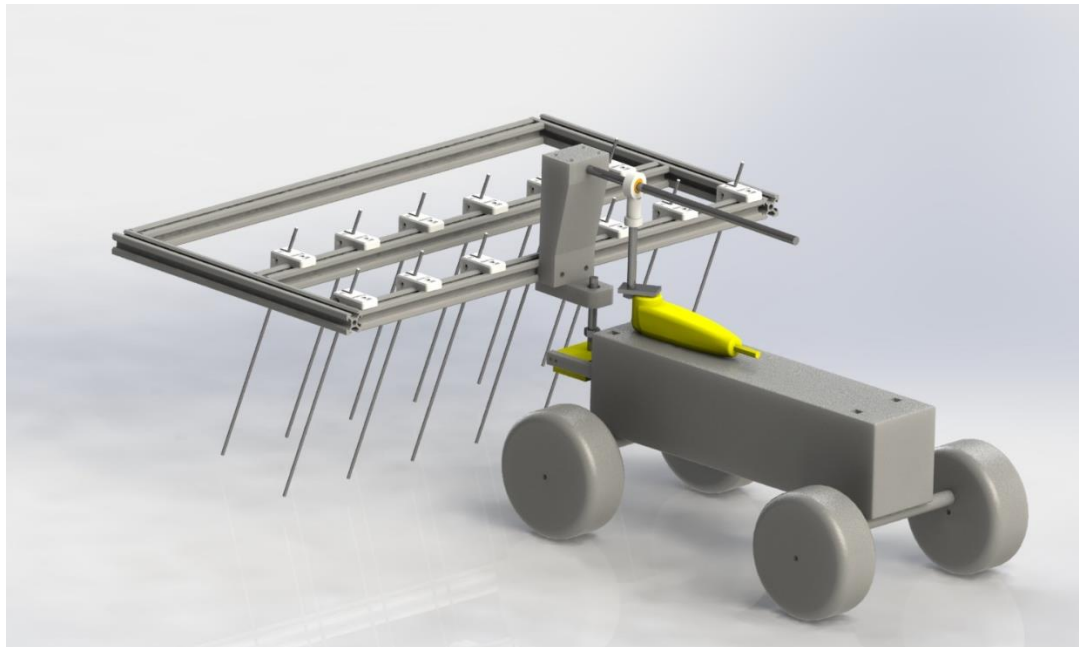
Figur 6.13 Innfesting med kulelager og vertikal akse.

Det ble her også gjort justeringer på bilens fjærer for å se hvilken innvirkning dette kunne ha. Denne justeringen ga ikke spesielt mye innvirkning på resultatet og bilen hoppet fortsatt en del fra side til side. Bilens aksling ble så låst mot karosseriet, slik at den var helt avstivet. Noe fjæring var det fortsatt i bilens hjul. Denne avstivningen gjorde at bilen gikk mer stabilt og mekanismen var mer effektiv. Det er derimot ugunstig å kjøre uten fjærer fordi større hindringer kan vippe bilen. Fjærer som er betraktelig mer stive enn originalfjærer kan være en løsning som beholder noe fjæring, men gir bedre utslag. Det ble ikke forsøkt å bytte fjærene, og den låste akslingen ble beholdt.

6.2.6 Aluminiums-harv med utslag og drill

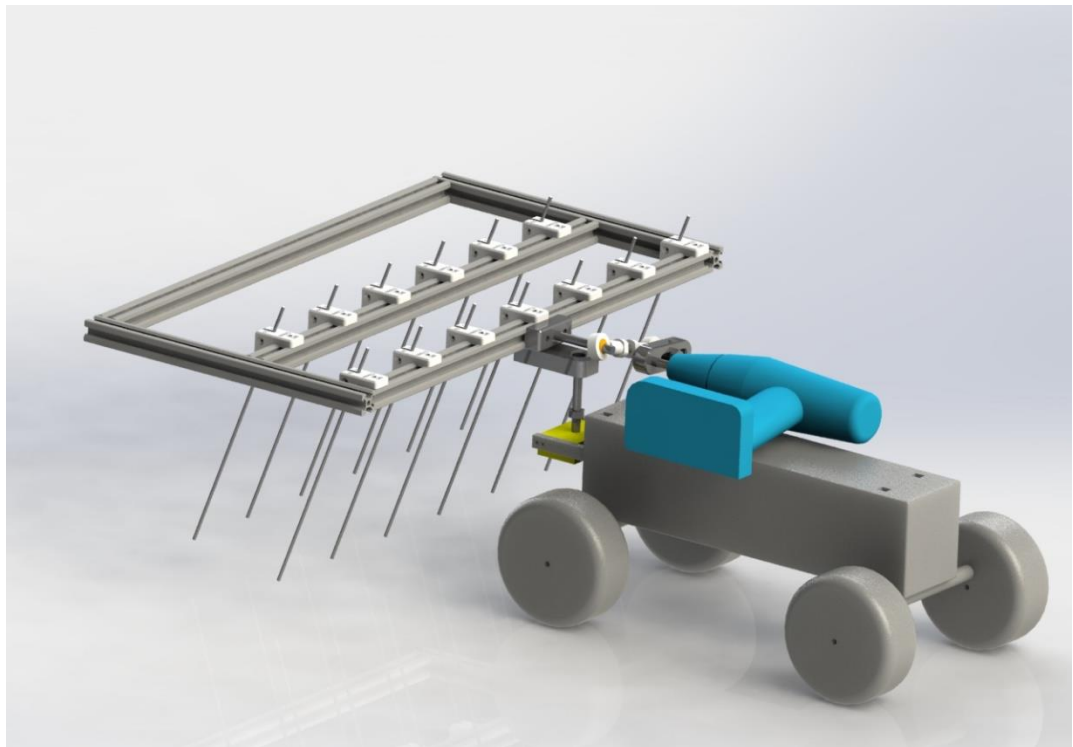
Da Terrateck harven med utslag virket å gi god effekt, ble det besluttet å ta med denne mekanismen over til harv laget av aluminiumsprofiler med drill som motor. Rammen ble laget modellert og laget av 20x20mm aluminiumsprofiler, figur 6.25. Rammen har en bredde på 500mm og en dybde på 300mm. Den bakerste profilen gir ekstra stabilitet i rammen og kan også brukes for montering av eventuelt løftehjul. Den gjør det også mulig å justere hvor langt fra hverandre de to rekkene med tinder er fra hverandre.

Rammen og mekanismen fungerte godt. Både Terrateck tindene og de egenproduserte tindene ble testet. Tindene på 4mm var for stive, mens 3mm tindene uten knekk på enden fungerte bedre. Det ble også tydelig at Terrateck tindenes fjær spiller inn på bilens stabilitet. Ved små variasjoner i underlaget blir disse tatt opp av fjærene, slik at harven går jevnere. De ga et generelt bedre resultat da flere av tindene var i kontakt med underlaget til enhver tid.



Figur 6.25 Aluminiums-harv med utslag og drill, mekanisme 1.

Det ble også laget en versjon med liggende motorakse, figur 6.26. Denne fungerte også godt, men bilen var noe mer ustabil under bruk av denne. Denne mekanismen ble derfor sløyyet i den videre utviklingen.

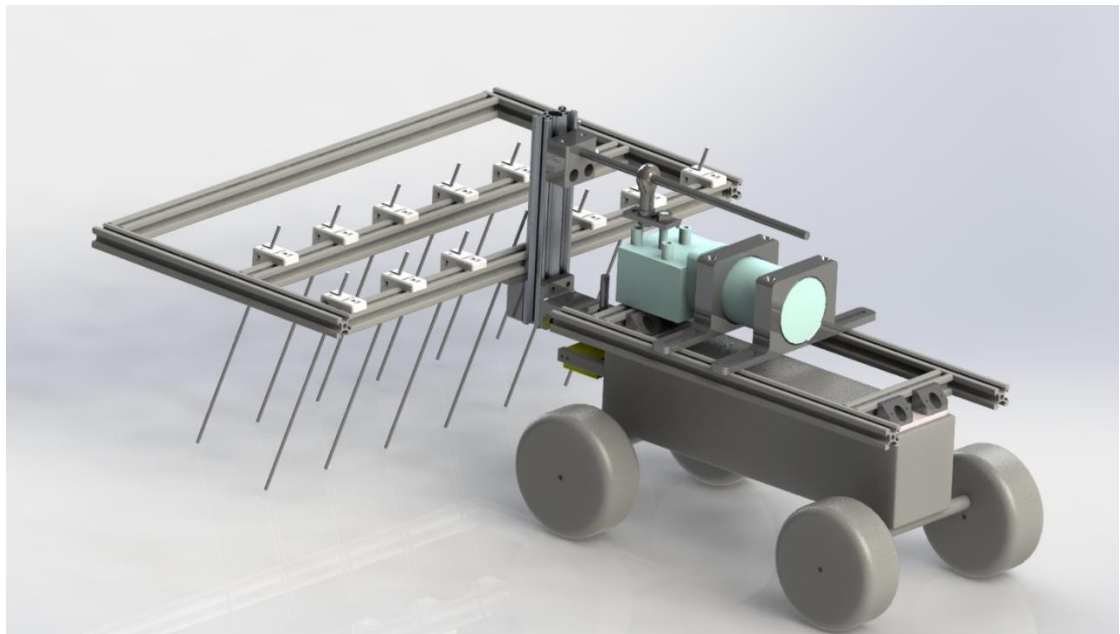


Figur 6.26 Aluminiums-harv med utslag og drill, mekanisme 2

6.2.7 Aluminiums-harv med utslag og viskermotor

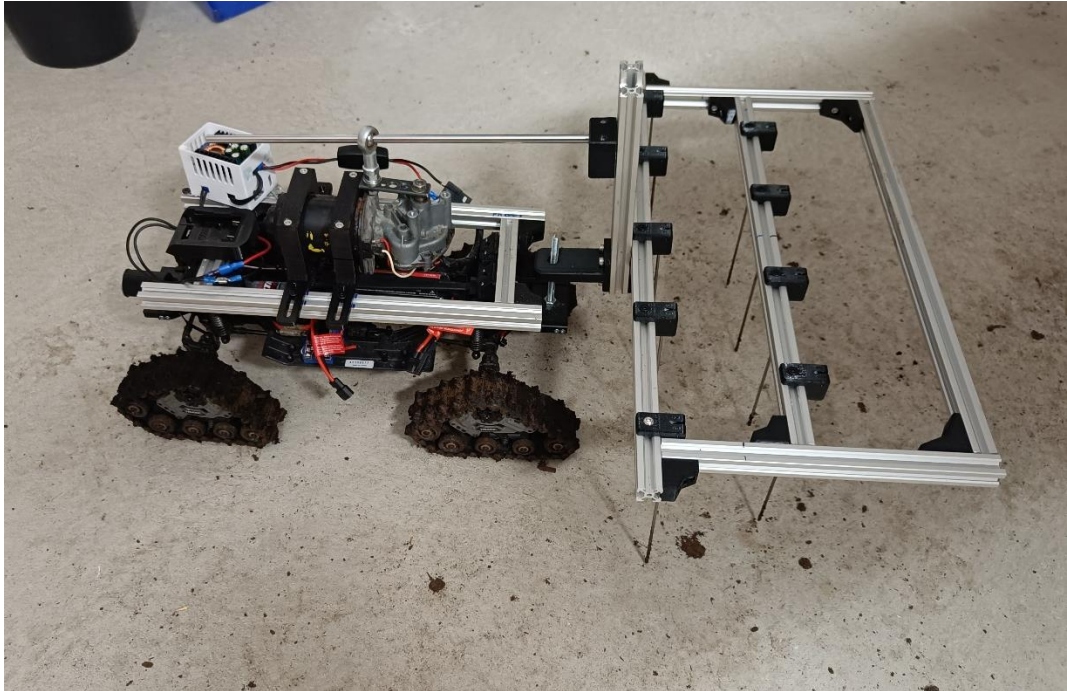
Under testingen var det på grunn av drillen vanskelig å kontrollere hastigheten korrekt. Harven med utslagsmekanisme ble derfor tilpasset bruk av viskermotoren som ble brukt på tidligere prototyper. Mekanismen ble beholdt og tilpasset viskermotoren. Delen som stålstangen monteres på ble byttet ut med en 20x40mm aluminiums profil. Profilen gjør det enkelt å justere høyde på stålstangen samtidig som den er stiv og stabil. Innfestingen for harven til bilen ble beholdt og tilpasset 2040 profilen. DAK-modellen for harven med bil og komponenter vises i figur 6.27.

Det ble her også laget en ramme for montering av motoren og andre komponenter til bil av 20x20mm aluminiums profiler. Denne gir en betydelig mer stabil innfesting, samtidig som den gir mange punkter for montering.



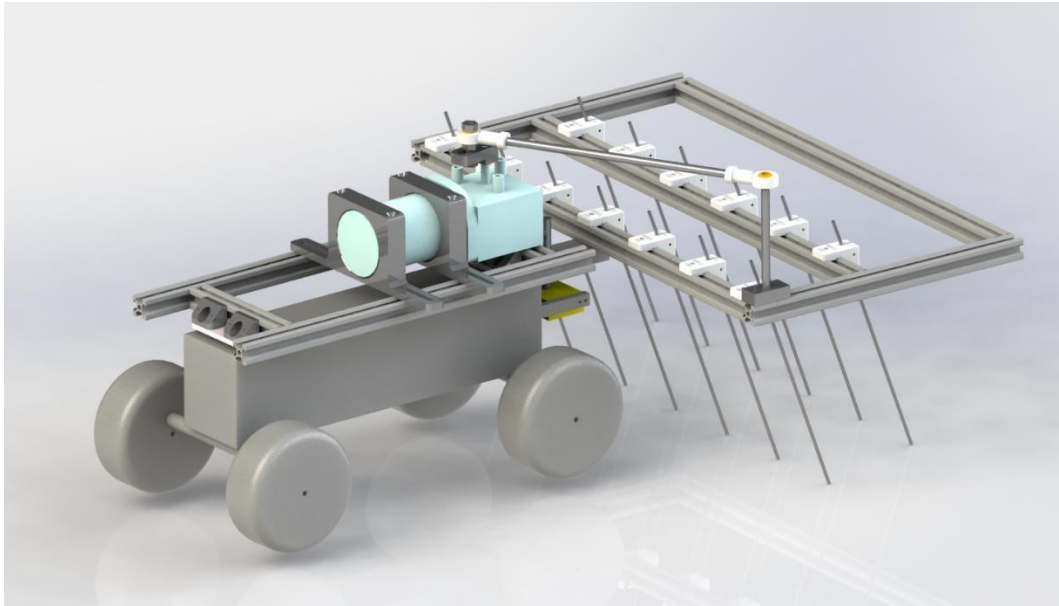
Figur 6.27 Aluminiums-harv med viskermotor, mekanisme 1.

Den fysiske prototypen vises på figur 6.28. Viskermotoren ble drevet av et drillbatteri, med strøm og spenningsjusterer. Ulike tunder ble montert og testet. På dette tidspunktet ble bilen brukt med belter istedenfor hjul. Ut fra uformelle tester var det tydelig at beltene ga betydelig mer trekkraft.



Figur 6.28 Prototype aluminiums-harv med viskermotor, mekanisme 1.

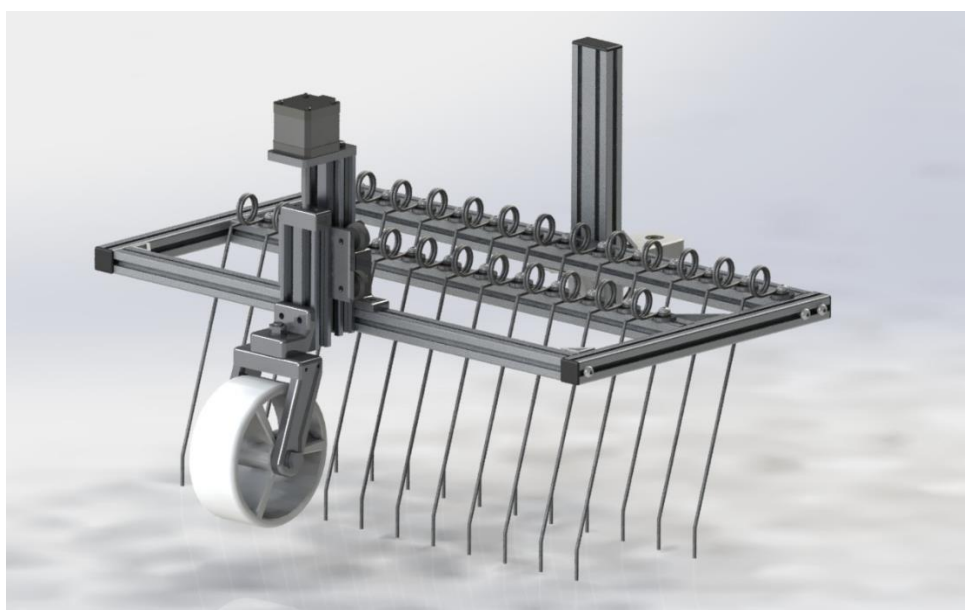
Det ble laget en tredje versjon av Utslagsmekanismen, figur 6.29. Bakgrunnen for dette var å unngå kuleleddet som glir over metallstangen. Dette kan være et svakt punkt dersom det blir mye jord som lager riper og økt mostand på stangen. Mekanismen fungerte i seg selv godt, men den var svært sensibel for om motoren og mekanismen var sentrert på rammen. Siden mekanismen er usymmetrisk, holder det ikke bare justere ett punkt for å endre utslaget. Om man endrer hvor langt fra motorens akse stangen er festet, må man også endre på stangens lengde. Dette gjør at mekanisme nr. 2 er å foretrekke i den endelige testingen.



Figur 6.29 Aluminiums-harv med viskermotor, mekanisme 3.

6.2.8 Løftehjul

Det ble også modellert opp en mulig løsning for løftehjul, figur 6.30. Denne bruker en steppermotor for å heve og senke hjulet [37]. Steppermotoren kan styres med høy presisjon slik at man alltid vet hvor langt ute hjulet er. Hjulet er festet på en plate med hjul som beveger seg på en 20x40mm V-spor aluminiums profil. Steppermotorens akse er festet til en gjenget stang som beveger hjulet når motoren spinner. Hjulet har en gaffel med vinkel og kulelager slik at det kan rotere om vertikal akse. På denne måten retter hjulet seg etter retningen bilen kjører. I tillegg til å kunne løfte harven helt over bakken, er det også mulig at man kan bruke hjulet til å løfte harven delvis over bakken dersom man skulle ønske lavere trykk på bakken. Det ble ikke laget en fysisk prototype av løftehjulet.



Figur 6.30 DAK-modell av forslag til løftemekanisme.

7 Testmetoder

7.1 Bilens trekkraft og energiforbruk

Testing av bilens trekkraft vil gi nyttig kunnskap om bilens egenskaper. For å kartlegge robotens rekkevidde er det nødvendig å teste bilens energiforbruk. Det er mulig å montere belter på bilen, istedenfor hjul, figur 7.1. Det er derfor interessant å undersøke hvor mye innvirkning beltene har for bilens trekkraft og energiforbruk.

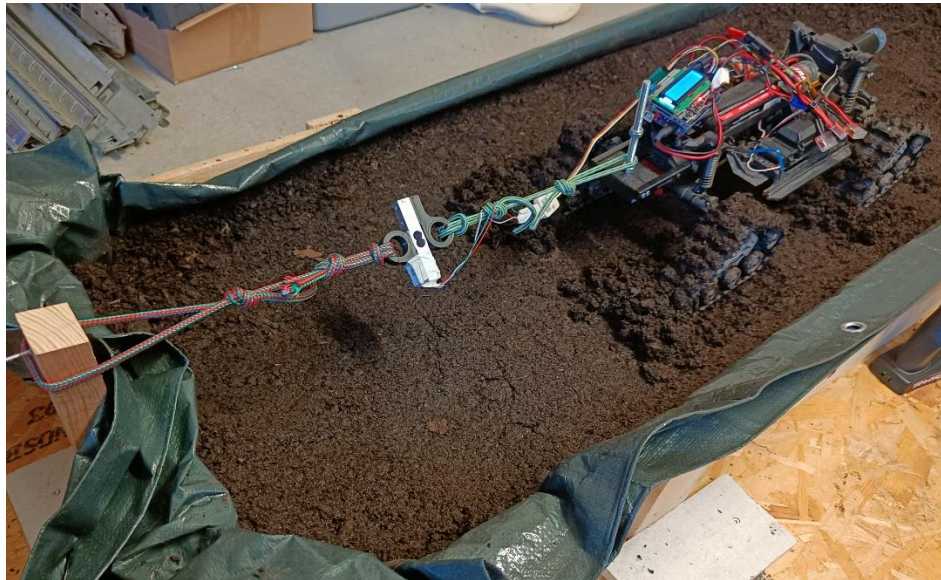


Figur 7.1 Traxxas TRX-4 belter [38].

Til testing av bilens trekkraft og energiforbruk ble det på forespørsel laget en kraft- og strømlogger. Loggeren er svært nyttig da den gjør det mulig å se strømforbruket og kraften i sammenheng. På den måten, gir det bedre klarhet i når det brukes mye energi og hvordan det henger sammen med motstanden fra harven. På grunn av verktøyets konstruksjon med utslagsmekanismen, var det ikke mulig å gjøre målinger med kraftmåleren i bruk. Stikk-målinger av utslagsmotorens strømforbruk ble derfor gjort i en egen test. Strømforbruket til bilen med utslagsmekanismen i bruk, ble derimot gjort. Bilen har ikke innebygd måler av hvor mye strøm som er igjen. Batteriene ble derfor ladet opp jevnlig for å ha mest mulig likt utgangspunkt.

7.2 Effekt og kraftsammenlikning hjul og belter

Det ble gjort tester for å undersøke om belter er å foretrekke fremfor hjul, figur 7.2. Bilen ble festet til et solid holdepunkt med kraft- og strømlogger imellom. Bilen ble så kjørt på hastighetene 50%, 75% og 100%, i både løs og pakket jord.



Figur 7.2 Testoppsett for måling av maksimal trekkraft.

7.3 Bilens hastighet

Det er aktuelt å kjøre bilen med verktøy i ulike hastigheter for å undersøke effekten dette har. For å kunne variere hastigheten ble en fjernkontroll av typen Spektrum DX3C [39] brukt da prosentvis fartskontroll ikke var tilgjengelig på den originale kontrolleren.

På grunn av at det innendørs-jordbedet har kort lengde, er det vanskelig å gjøre målinger av farten på en presis måte. Vekter ble derfor brukt til å gjøre farts-tester over en lengde på 15 m. Vektene ble festet til bilen ved hjelp av tau, figur 7.3. Vektene tilsvarte trekkraft på 25 N. 25 N ble valgt ut ved å ta gjennomsnittet fra trekktestene med aluminiums harv påmontert Terrateck tinder, se tabell 7.1. Den gjennomsnittlige summen på 22,7 N ble så rundet opp til 25N for å ha noe margin. Testene ble gjort på relativt glatt linoleumsgulv med belter på bilen.

Tindeavstand (mm)	Gjennomsnitt trekkraft (N)
20	30
30	20
55	18
Gjennomsnitt	22,7

Tabell 7.1 Trekkraft i sammenheng med avstand mellom tinder.



Figur 7.3 Vekter brukt til testing av hastighet [40].

7.4 Utslagsmotor spesifikasjoner og strømforbruk

Da det er vanskelig å beregne eller simulere et oppsett som tilsvarer jord, ulike hastigheter og fleksibilitet i tindene, var det mest hensiktsmessig å undersøke motorens kraft og momentbehov ved hjelp av fysiske tester. Dette ble gjort både for moment og effektbehov.

7.4.1 Utslagsmotor momentbehov

Til testingen av momentbehov for utslagsmotoren ble prototypen med drill brukt. Denne har en kløtsj som kan stilles inn på ulike momenter hvor den begynner å slure. Momentet fra drillen på gitte innstillinger kan så måles ved hjelp av en momentmåler. Harven med 23 tinder (20mm tinde avstand) ble brukt da denne vil gi mest mostand for motoren. Det ble kjørt på hastighetene 50, 75 og 100%. Rotasjonshastigheten på drillen ble satt så nærme 50 o/min og 80 o/min som mulig, da dette var verdiene som ble brukt i testingen av verktøyets effektivitet på ugresset.

7.4.2 Utslagsmotor energiforbruk

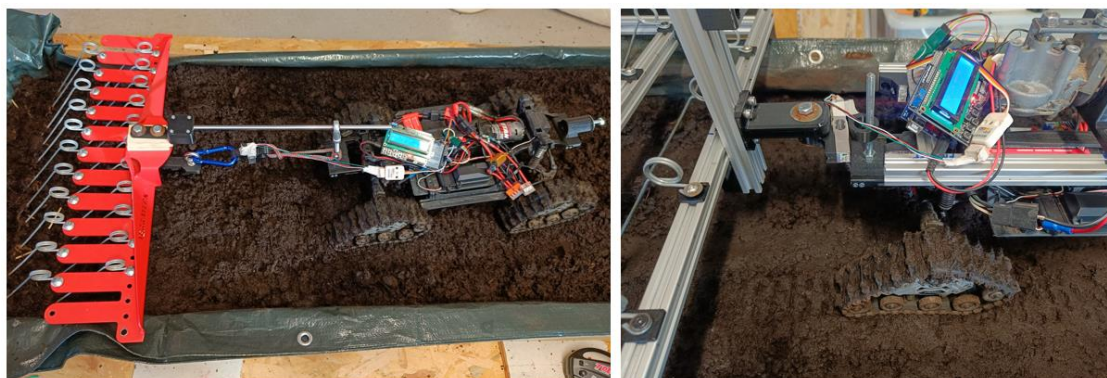
Det ble testet hvor mye strøm viskermotoren brukte under kjøring. Dette ble gjort ved hjelp av amperemeter. Det ble kjørt med aluminiums-harven med tindeavstand på 20, 30 og 55mm og hastighetene 50, 75 og 100%. Motorens rotasjonshastighet ble målt ved hjelp av en turtallsmåler [41]. Tabell 7.2 viser en oversikt over komponentenes vekt som ble brukt under testing.

Redskap	Vekt (g)	Kommentar
Terrateck med tinder	3100	20 tinder, slepefeste og utslangsstang
Aluminiums-harv	2240	23 Tinder, slepefeste og utslangsstang
1 stykk tind	33	1 Terrateck tind med skrue og mutter
Utslagsmekanisme med ramme og motor	3010	Med batteriholder og spenningsregulator
TRX-4 batteri	295	Originalt batteri, 7.4 V 5800 mAh
Dewalt 4Ah batteri	613	Brukt under testing

Tabell 7.2 Komponentenes vekt.

7.5 Effekt og kraftmåling bil uten utslag

Det ble gjort tester av bilens effektbehov og trekkmotstand, for både aluminiums-harven og Terrateck-harven. Disse testene ble gjort uten utslagsmotoren, på grunn av loggerens monteringsmuligheter. Terrateck ble testet med tindeavstand på 20mm og 20 tinder. Aluminiums-harven ble testet med Terrateck-tindene. Her var tindeavstanden 20, 30 og 55mm med henholdsvis 23, 17 og 10 tinder. Det ble kjørt i hastighetene 50, 75 og 100%. Oppsettet av testen kan sees på figur 7.4.



Figur 7.4 Testoppsett for måling av trekkraft og energiforbruk under bruk.

7.6 Effektforbruk bil med utslag

Testing av strømforbruket for bilen ved bruk av aluminiums-harv med utslag ble gjort med tindeavstand på 20, 30 og 55mm. Hastigheten på utslagsmotor ble satt til 50 o/min og 80 o/min. Bilens fart ble satt til 50, 75 og 100%. Jorden ble raket, jevnet og pakket for hver endring av hastigheten. Det ble kjørt en gang med pakket jord, før jorden ble lett raket og kjørt en gang på løs jord.

7.7 Ugressverktøyet

Testing av verktøyets effektivitet på ugresset er en viktig og tidkrevende prosess. Da prosjektet finner sted under vintermånedene er det ikke mulig å gjøre tester ute. Innendørsfasiliteter hvor det er mulig å dyrke ugress til testing er heller ikke tilgjengelig. En kunstig løsning vil derfor være nødvendig for å kunne teste effekten av ugressverktøyet på best mulig måte. Det er i denne forbindelse tatt i bruk kunstig ugress i form av golf-pegger. Denne metoden er tidligere brukt for testing av liknende håndverktøy [42] på «School of Food and Agriculture, USA». Artikkelen som er publisert om arbeidet, «Testing a tine weeder with artificial weeds in the controlled conditions of a soil bin» [42], beskriver også metode for klassifisering av graden ugresset blir bekjempet. Metoden som er brukt i prosjektet er hentet herifra [42]. Det er ellers hentet inspirasjon og tips fra dette prosjektet for å kunne gjøre testingen på best mulig måte og med færrest mulig ukjente variabler.

7.7.1 Testmetode

Et jordbed ble brukt for å utføre testingen. Dybden på jorden var omtrent 20cm. Jorden som ble brukt var av typen «Plantasjen plantejord» i sekk [7]. Bakgrunn for valg av denne jorden var tilgjengelighet, samt at det var jordtypen som allerede befant seg i bedet. Jordtypen har høyt innhold av torv, noe som gjør at den ikke likner normal jord, som man vil finne naturlig.

Jorden ble vannet, før den stod i omtrent 48 timer. Fuktigheten ble da målt til 20%. Jorden ble så vendt for å få ut større klumper og fordele fuktigheten. Det ble så vannet litt til. Etter 24 timer var fuktigheten på ca. 30% og forsøkt holdt på dette nivået gjennom testingen. Jorden ble raket ut og jevnet før den ble pakket ved hjelp av en rulle med vekt på 20kg. for å oppnå så konstante forhold som mulig. Fuktigheten ble gjennom testperioden målt jevnlig og forsøkt holdt rundt 30%.

De kunstige ugressene ble satt opp med en tetthet på 30 KU pr. 0,25 m². I artikkelen «Testing a tine weeder with artificial weeds in the controlled conditions of a soil bin» [42], ble det testet ulike tettheter av ugress fra 10-60 KU pr. 0,25 m². Det er her en balansegang mellom hva som gir et jevnt resultat og hvor mye arbeid det er å sette ned ugressene. Man må også vurdere hva som er naturlig tetthet til ugressene. Ut fra artikkelen kommer det frem at lavere tilfeldig avvik oppstår ved en tetthet på 30 KU pr. 0,25 m² [42]. Avviket faller noe mot 60 KU pr. 0,25 m², men dette er minimalt sammenliknet med arbeidet å sette ned dobbelt så mange kunstige ugress. En tetthet på 30 KU pr. 0,25 m² virker også å være en tetthet som kan tilsvare naturlige tilstander. 30 KU pr. 0,25 m² tilsvarer en avstand mellom hver golfpegg på 10 cm. Det ble laget en sette-mal for å kunne oppnå mest mulig konsistent resultat. Ugressene ble satt ned slik at hode var helt over bakken. Siden ugressene blir satt ned manuelt vil det oppstå noen variasjoner på settingen. Oppsett med kunstige ugress og jordbed kan sees på figur 7.5.



Figur 7.5 Jordbed med ferdig oppsatte kunstige ugress.

Testing ble gjort både med harven laget med aluminiumsprofiler og Terrateck harven. Utslagsmotoren har to hastigheter. Spenningen ble justert til 18 V, da hadde motoren en hastighet på 50 og 80 o/min. Hastigheten økte ikke over denne spenningen. Utslagets størrelse ble satt til 55 og 150mm. Utslaget er et teoretisk tall som ble målt ved testing på hardt underlag. I bruk på jord vil utslaget være mindre. Mellom hver endring av innstillinger på bilen ble jorden raket, jevnet ut og pakket før ugressene ble satt ut igjen. 55mm virket å være minimum utslag hvor tindene overlappet hverandre for hvert utslag. Ved utslag over 150mm beveget harven seg unødvendig mye på utsiden av bilens bredde. Tindene som ble brukt var utelukkende av typen Terrateck.

De ulike harv-konfigurasjonene kan sees i tabell 7.3.

Harv type	Vinkel tinder (°)	Tykkelse tind (mm)	Avstand mellom tinder (mm)	Antall tinder
Terrateck	20	3	20	20
Harv utslag Terrateck tind	30	3	20	23
Harv utslag Terrateck tind	20	3	30	17
Harv utslag Terrateck tind	20	3	55	10
Harv uten utslag Terrateck tind	20	3	20	23
Harv uten utslag Terrateck tind	20	3	30	17
Harv uten utslag Terrateck tind	20	3	55	10

Tabell 7.3 Harv-konfigurasjoner.

7.7.2 Kunstig ugress

Det kunstige ugresset (KU) som ble brukt i artikkelen [42] hadde en lengde på 35mm. Golfpegger av plast med lik lengde ble derfor kjøpt inn for å unngå ukjente variabler, figur 7.6. Golfpeggene i artikkelen [42] var laget av tre, dette ansees å ikke gjøre noe utslag. Fordelen med de valgte golfpeggene er at de har skarpe farger som er lette å se i jorden. Golfpeggen har et hode som kan tilsvare et spirende ugress. De er også harde og glatte, slik at tindene glir lett over om det ikke er nok kontakt og kraft.

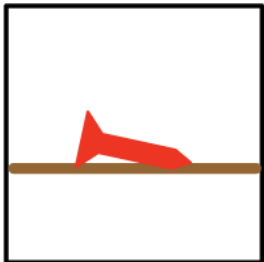
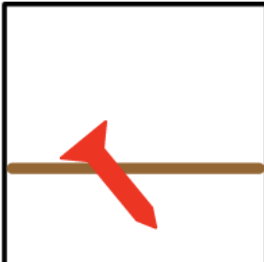
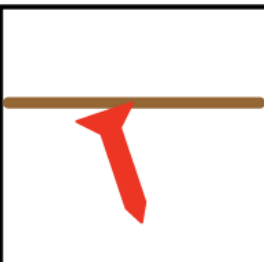
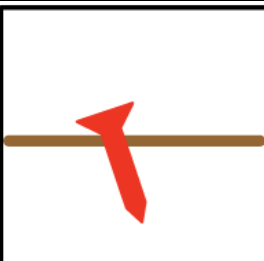
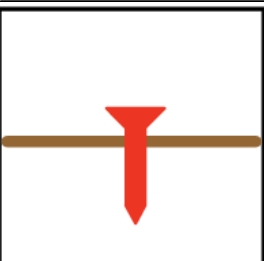


Figur 7.6 Bildet viser 35mm golfpegger som ble brukt under testing [43].

7.7.3 Kategorisering av ugress

For å kunne føre statistikk over hvor godt ugressverktøyet fungerer må man kategorisere ugressene. Metoden ble hentet fra «Testing a tine weeder with artificial weeds in the controlled conditions of a soil bin» [42]. Ugresset føres inn i fem ulike kategorier: uberørt, noe berørt, begravd, betraktelig berørt og helt opprevet ugress. Ytterligere beskrivelse kan sees i tabell 7.4, som også illustrerer ugressets karakteristikk ved hver kategori.

Kategori nr. 1,2 og 3 ble «klassifisert» som dødt og nr. 4 og 5 ble klassifisert som «levende» [42].

Kategori nr.	Kategori	Beskrivelse	Illustrasjon
1	Helt opprevet	Helt dratt ut av jorden og/eller enden vises	
2	Berørt	Toppen er mellom 90° og 45° til jordflaten og/eller hodets underside vises	
3	Begravd	≥95% av toppen er begravet med jord	
4	Noe berørt	Berørt i noe grad av verktøyet	
5	Uberørt	Helt urørt fra sin originale posisjon	

Tabell 7.4 Kategorisering av ugressets tilstand etter bruk av ugressverktøy.

8 Testresultater

8.1 Effekt og kraftsammenlikning hjul og belter

Resultatene fra testingen av trekraft og energiforbruk med belter og hjul kan sees i tabell 8.1. Det ble tatt gjennomsnitt av de 10% største verdiene av dataene fra både kraftmåling og effektmåling. Gjennomsnittet er tatt for å luke vekk uteliggende ekstremalverdier som av ulike grunner kan oppstå.

Belter løs		Belter pakket		Hjul løs		Hjul pakket	
Kraft	Effekt	Kraft	Effekt	Kraft	Effekt	Kraft	Effekt
33 N	75,1 W	35 N	73,9 W	24,0 N	59,8 W	24,1 N	58,8 W

Tabell 8.1 Kraftsammenlikning hjul og belter.

8.2 Bilens hastighet

Ved 40% hastighet gikk bilen så vidt fremover og ved 30% stod den stille. Hastighet mellom 50% og 100% ble derfor brukt til testing. Forholdet mellom prosentvis gass og hastighet i km/t kan sees i tabell 8.2.

Prosent fart (%)	Hastighet i km/t
50	1,3
60	1,7
70	2,1
80	2,6
90	3,0
100	3,5

Tabell 8.2 Sammenheng mellom hastighet målt i km/t og prosentvis hastighet.

8.3 Utslagsmotor spesifikasjoner og strømforbruk

8.3.1 Utslagsmotor momentbehov

Resultatet fra momenttestingen ga et moment-behov på Ca. 2,5 Nm ved bruk av aluminiums-harv med 23 tinder (20mm tinde avstand) montert.

8.3.2 Utslagsmotor energiforbruk

Resultatene fra flere målinger av strømforbruket til motoren vises i tabell 8.3. Strømmen ble omregnet til effekt ved hjelp av formel 1.1. På grunn at verdiene var tilnærmet like ble det besluttet å ta ett gjennomsnitt av målingene.

Motor o/min	Strøm (I)	Spenning (V)	Effekt (W)
50	0,5	18	9
80	0,7	18	12,6

Tabell 8.3 Motoreffekt behov

8.4 Effekt og kraftmåling bil uten utslag

Resultatene fra testene kan sees som vedlegg under 16.3.1.

8.5 Effektforkbruk bil med utslag

Resultatene fra testene kan sees som vedlegg under 16.3.2.

8.6 Ugressverktøyet

Resultatene fra testene kan sees som eksternt vedlegg under 16.3.4.

9 Analyse av testresultater

9.1 Effekt og kraftsammenlikning hjul og belter

Effektforbruket ved løs og pakket jord er relativt like med økning på 1,62% for beltene og 1,70% for hjulene. Trekkraften øker derimot betraktelig. I pakket jord er trekkraft-økningen på 45,23% og i løs jord er økningen 37,50%. Sammenlikner man hvor mye effektforbruket øker fra hjul til belter, er dette på henholdsvis 25,68% (løs jord) og 25,59% (løs jord).

9.2 Utslagsmotor spesifikasjoner og strømforbruk

9.2.1 Utslagsmotor momentbehov

Resultatet av testingen av moment ga et moment på ca. 2,5 Nm. Siden metoden for testingen er noe usikker, samt at forholdene under bruk i naturlige omgivelser kan variere fra jordbedet, bør 2,5 Nm anses som et minimum og momentet bør ligge over dette med god margin. 50% over bør være tilstrekkelig.

9.2.2 Utslagsmotor energiforbruk

Utslagsmotoren bør ha en effekt på minimum 12,6 W.

9.3 Effekt og kraftmåling bil uten utslag

Tallene for loggeren er gått igjennom og det ble tatt et gjennomsnitt av verdiene fra målingene. For videre å forenkle resultatene er det igjen tatt et gjennomsnitt av målingene for de ulike hastighetene, tabell 9.1. Resultatene er interessante å sammenlikne med testing av verktøyenes effektivitet.

Type harv	Gjennomsnittlig effektbehov	Gjennomsnittlig kraftbehov
Terrateck 20 tinder (20mm)	92,8 W	31,1 N
Alu. Harv 23 tinder (20mm)	103,6 W	33,6 N
Alu. Harv 17 tinder (30mm)	98,0 W	26,6 N
Alu. Harv 10 tinder (55mm)	78,0 W	19,7 N

Tabell 9.1 Gjennomsnittlig effekt og kraftbehov.



Noe av det mest interessante fra testingen er hvor mye energi som bilen bruker og hvor mye antall tinder har å si. For å sammenlikne resultatene fra Terrateck harven, med 20 tinder, og aluminiums harven med varierende antall tinder, er det tatt et gjennomsnitt av effekt og kraftbehovet. Dette tallet ble så delt på antall tinder harven har, resultatet kan ses i tabell 9.2.

Type harv	Gjennomsnittlig effektbehov pr. Tind	Gjennomsnittlig kraftbehov pr. Tind
Terrateck 20 tinder (20mm)	4,6 W	1,6 N
Alu. Harv 23 tinder (20mm)	4,4 W	1,5 N
Alu. Harv 17 tinder (30mm)	5,8 W	1,6 N
Alu. Harv 10 tinder (55mm)	8,3 W	2,0 N

Tabell 9.2 Gjennomsnittlig effekt og kraftbehov per tind.

Sammenlikner man effekten og kraftbehovet fra løs til pakket jord er dette relativt likt. Det ble tatt et gjennomsnitt av tallene fra de ulike hastighetene 50, 75 og 100%, se tabell 9.3. Endringen i effektforbruket er fra -4,6% til 2,8% og endringen i kraftbehovet er fra -1,2% til 5%. Det kan være antall tester som er gjort som gjør at verdiene varierer, men man allikevel konkludere med at endringen er minimal mellom løs og pakket jord. Ved annen jordtype kan derimot resultatene komme til å variere ytterligere.

Type harv	Endring effekt	Endring effekt	Endring Kraft	Endring kraft
Terrateck (20mm)	1,5 W	2,8 %	0,7 W	2,2 %
Alu. Harv (20mm)	3,3 W	4,0 %	-0,1 W	-1,2 %
Alu. Harv (30mm)	4,5 W	5,0 %	1,2 W	5,0 %
Alu. Harv (55mm)	-3,4 W	-4,6 %	-0,2 W	-0,4 %

Tabell 9.3 Endring i effekt og kraftbehov fra løs til pakket jord.

9.4 Effektforbruk bil med utslag

Tallene for loggeren er gått igjennom og det ble tatt et gjennomsnitt av verdiene fra målingene. For videre å forenkle resultatene er det igjen tatt et gjennomsnitt av målingene for de ulike hastighetene, tabell 9.4. Resultatene er interessante å sammenlikne med testing av verktøyenes effektivitet. Siden loggingen av bilens strømforbruk er gjort uavhengig av utslagsmotoren, er effektbehovet med utslagsmotoren satt opp som en egen post i tabellen.

Type harv	Gjennomsnittlig effektbehov bil med utslag	Gjennomsnittlig effektbehov bil og utslagsmotor 50 o/min	Gjennomsnittlig effektbehov bil og utslagsmotor 80 o/min
Alu. Harv 23 tinder (20mm)	79,7 W	88,7 W	92,3 W
Alu. Harv 17 tinder (30mm)	73,2 W	82,2 W	85,8 W
Alu. Harv 10 tinder (55mm)	81,3 W	90,3 W	93,9 W

Tabell 9.4 Gjennomsnittlig effekt og kraftbehov.

For å bedre kunne sammenlikne resultatene mellom de ulike harvene er det tatt et gjennomsnitt av effekt og kraftbehov. Dette tallet ble så delt på antall tinder harven har, resultatet vises i tabell 9.5.

Type harv	Gjennomsnittlig effektbehov bil med utslag pr. Tind	Gjennomsnittlig effektbehov bil og utslagsmotor 50 o/min pr. Tind	Gjennomsnittlig effektbehov bil og utslagsmotor 80 o/min pr. Tind
Alu. Harv 23 tinder (20mm)	3,5 W	3,9 W	4,0 W
Alu. Harv 17 tinder (30mm)	4,3 W	4,8 W	5,0 W
Alu. Harv 10 tinder (55mm)	8,1 W	9,0 W	9,4 W

Tabell 9.5 Gjennomsnittlig effekt og kraftbehov pr. Tind.

9.5 Sammenlikning av harv uten utslag med utslagsharv

For å sammenlikne hva slags effekt utslaget har på effekt og kraftbehovet, er det laget en tabell 9.6. Det er tatt utgangspunkt i harv uten utslag.

Ut fra resultatene i tabellen kan man se at harven med 23 tinder, har lavere effektbehov ved bruk av utslagsmekanismen. Endringen er tilnærmet lik ved både 50 og 80 o/min. Harvene med 17 og 10 tinder øker derimot sitt effektbehov under bruk av utslagsmekanismen. Bakgrunnen for dette er at effekt per tind er større ved bruk av utslagsmotoren, siden den tilfører enda med effekt som må fordeles på hver tind. En annen faktor som spiller inn, er at harvene med færre tinder har mer kraft pr. tind slik at de går dypere. Sammenlikner man tallene direkte uten å se på prosent, er derimot forskjellene relativt små målt i effekt.

I tabell 9.6 kan man se at effektbehovet faller ved bruk av utslagsmekanismen, tindeavstanden er oppgitt med harvtype. Dette kan forklares ved at tindene går grunnere i jorden.

Type harv	Terrateck 20mm	Alu. Harv 20mm			Alu. Harv 30mm			Alu. Harv 55mm		
		0	50	80	0	50	80	0	50	80
Utslag (o/min)	0	0	50	80	0	50	80	0	50	80
Effekt (W)	4,6	4,4	3,9	4,0	5,8	4,8	5,0	8,3	9,0	9,4
Endring i effekt	0 %	-4 %	-15 %	-13 %	26 %	4 %	8,7 %	80 %	95 %	104 %

Tabell 9.6 Harvenes effektbehov per tind.

9.6 Bilens driftstid

Den radiostyrte Traxxas TRX-4 bilen har et batteri med kapasitet 5800mAh og spenning på 7,4V, dette gir batteriet en kapasitet på 43 Wh. For harven brukt til testing er ikke utslagsmekanismen driftet av bilens batteri. For å få med innvirkningen motoren har, er driftstiden basert på bilens eget batteri. Basert på resultatene gjort på effektforbruk, er driftstid regnet ut i tabell 9.7.

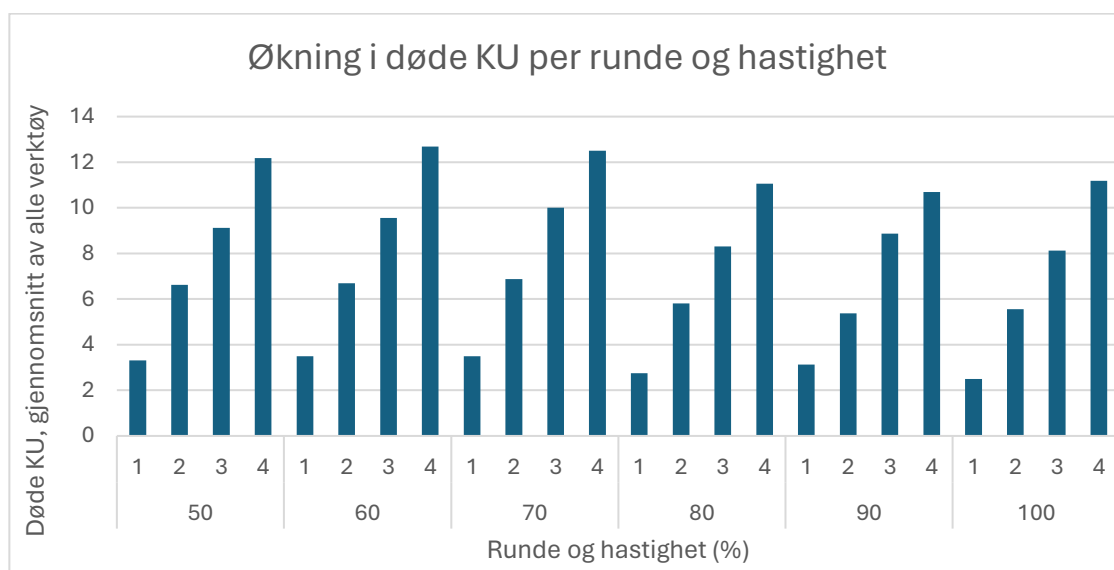
Harv	Utslag (o/min)	Effektbehov (W)	Driftstid (min)
Terrateck	0	92,8	27,8
Alu-harv 20mm	0	103,6	24,9
Alu-harv 30mm	0	98	26,3
Alu-harv 55mm	0	78	33,1
Alu-harv 20mm	50	88,7	29,1
Alu-harv 30mm	50	82,2	31,4
Alu-harv 55mm	50	90,3	28,6
Alu-harv 20mm	80	92,6	27,9
Alu-harv 30mm	80	85,8	30,1
Alu-harv 55mm	80	93,9	27,5

Tabell 9.7 Driftstid.

9.7 Ugrossverktøyet

Det ble kjørt 576 runder med ulike variasjoner og satt ned rundt 4608 kunstige ugross, i tillegg til tester som ikke ble loggført. Det er en rekke måter man kan analysere resultatene. Det mest sentrale er å undersøke hvilken effektivitet verktøyet har med de ulike innstillingene. I tillegg til å undersøke hvilken effekt utslagsmekanismen har på ugrosset. Sammenlikning av den utviklede harven med Terrateck harven er også sentral.

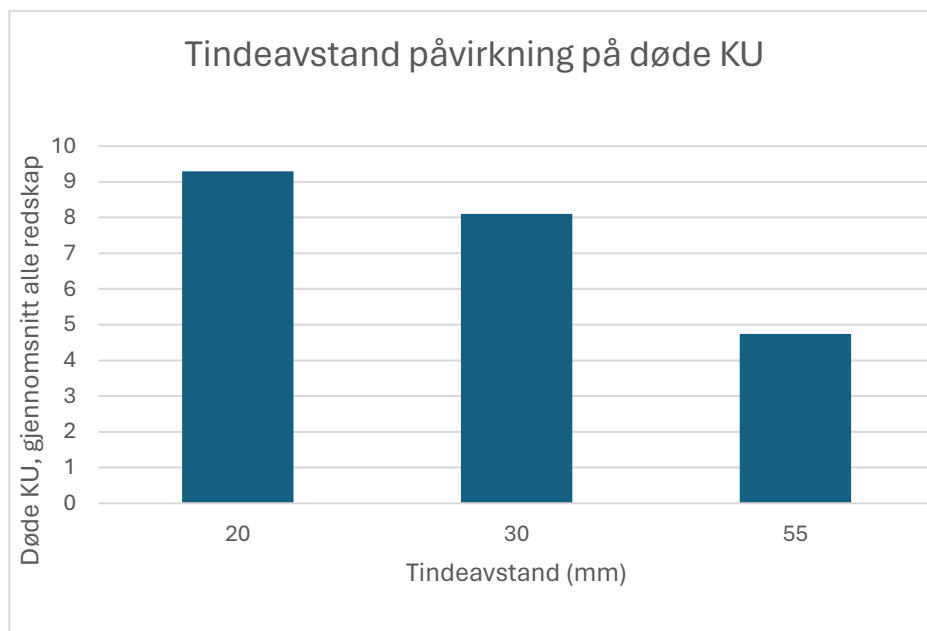
På figur 9.1. sees antall KU som klassifiseres som døde og levende. Her ser man tydelig at antall døde ugross øker tilnærmet lineært fra første til fjerde runde [44]. Dette utfallet gjelder også for de fleste enkelttestene. Det er derfor besluttet å samle resultatene til et samlet gjennomsnitt av rundene for å få mer data per oppsett.



Figur 9.1 Viser økningen i døde kunstige ugross per runde og hastighet.

9.7.1 Tindeavstandens påvirkning

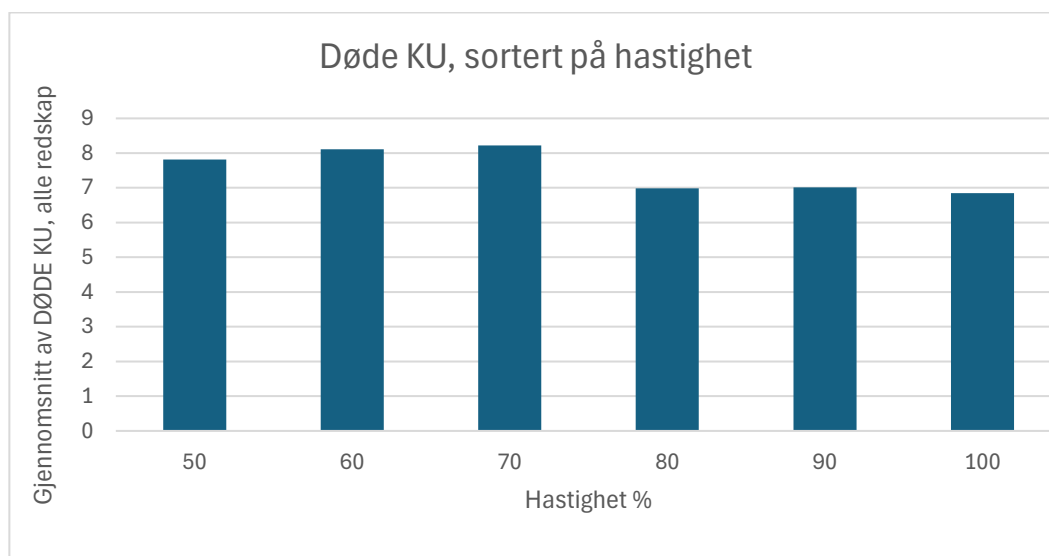
Tindenes avstand og antall påvirker resultatet mye. Figur 9.2 viser et gjennomsnitt av alle harv-konfigurasjonene, uten Terrateck harven. Harven med 20mm tindeavstand har 15% flere døde KU, men 35% flere tinder enn 30mm harven. Sammenlikner man 20mm med 55mm er økningen i døde KU henholdsvis 96% med 130% flere tinder.



Figur 9.2 Sammenheng mellom tindeavstand/antall tinder og døde KU.

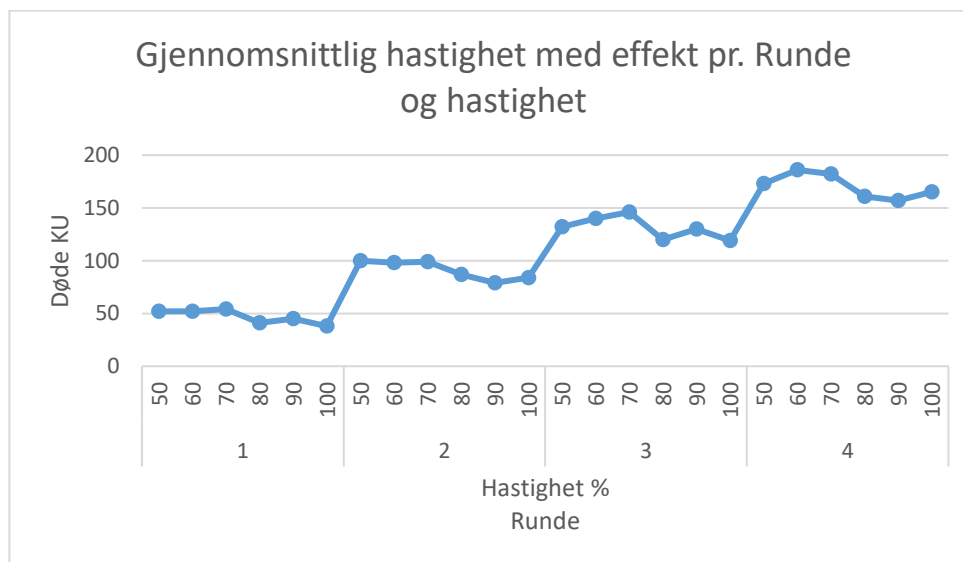
9.7.2 Kjørehastigheter

De mest effektive hastighetene med gjennomsnitt av alle harv-konfigurasjonene, uten Terrateck harven, kan sees på figur 9.3. Hastighetene fra 50-70% viser seg å være mest effektive, med lavere effektivitet mellom 80 og 100%. Tar man et gjennomsnitt av døde KU på hastighetene 50-70% og 80-100% faller effektivitet 14%. I tillegg kommer faktorer som økt energiforbruk inn ved høyre hastigheter.



Figur 9.3 Antall døde kunstige ugress fordelt på ulike hastigheter.

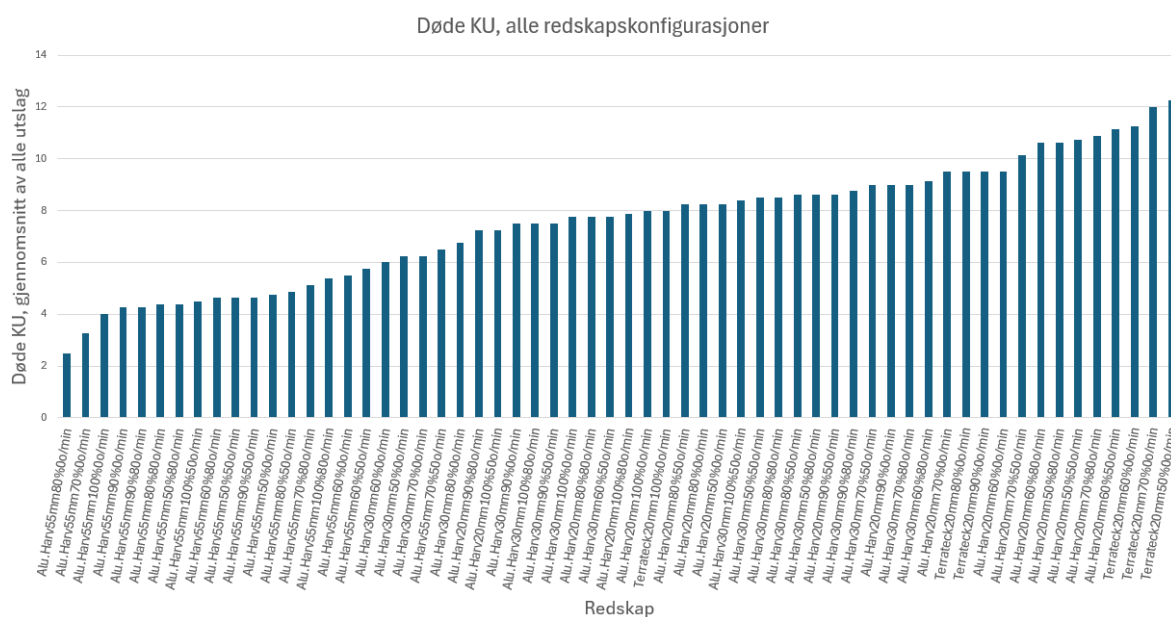
Figur 9.4 viser i tillegg til økningen pr. runde, også hvilke kjørehastigheter som gir best effekt. Tallene er et gjennomsnitt av alle verktøy og innstillinger, med unntak av Terrateck harven. Samlet sett ansees en kjørehastighet på 50-70% som mest fordelaktig ut fra de gjennomsnittlige resultatene.



Figur 9.4 Døde KU per runde og hastighet.

9.7.3 Samling av resultater

Figur 9.5 viser gjennomsnitt av døde KU for de ulike konfigurasjonene, uavhengig av utslag. Her ser man at Terrateck harven uten utslag har de tre største verdiene for antall døde KU, etterfulgt av aluminiums-harv med tindeavstand 20mm. Figuren gir en god oversikt over det totale testresultatet, uten at man får med effekten av utslaget.



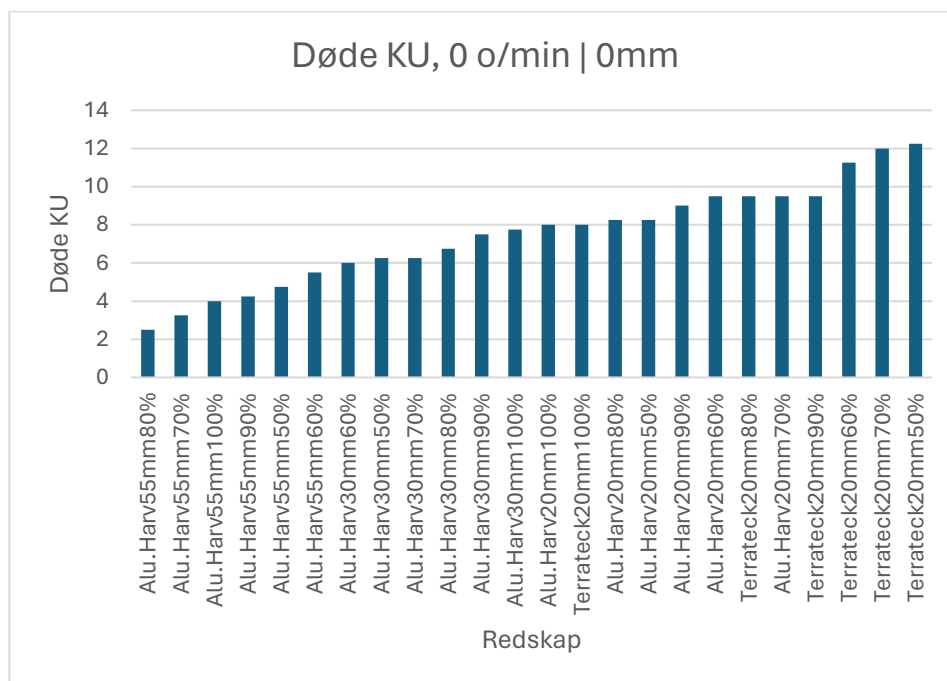
Figur 9.5 Samlet oversikt over døde KU for alle konfigurasjoner, uavhengig av utslag.

9.7.4 Sammenlikning av harvenes effektivitet

For å bedre kunne sammenlikne hvilken effekt utslaget har, er de ulike redskapskonfigurasjonene delt opp i de ulike innstillingene for utslag.

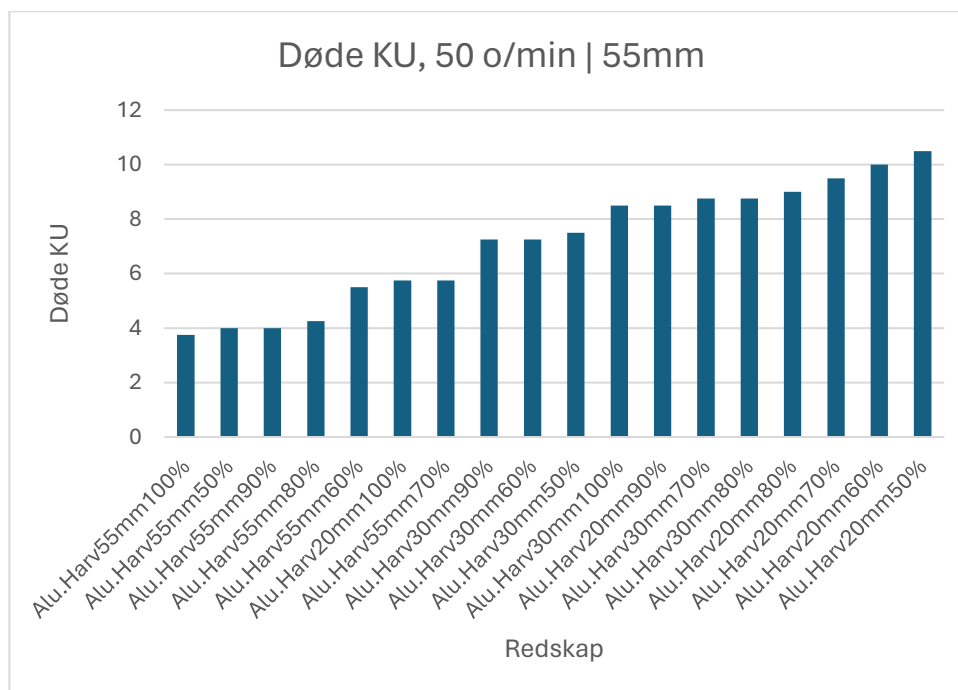
Rotasjonshastigheten er stilt inn på 50 o/min og 80 o/min, og utslags-størrelse på 55mm og 150mm. Harvens konfigurasjoner varierer ellers med tindeavstand og hastighet.

Figur 9.6 viser alle harvene, uten utslag. Her kommer det frem av Terrateck harven (12,25 døde KU) er mest effektiv med 20mm 70% som beste aluminiumsharv (9,5 døde KU).



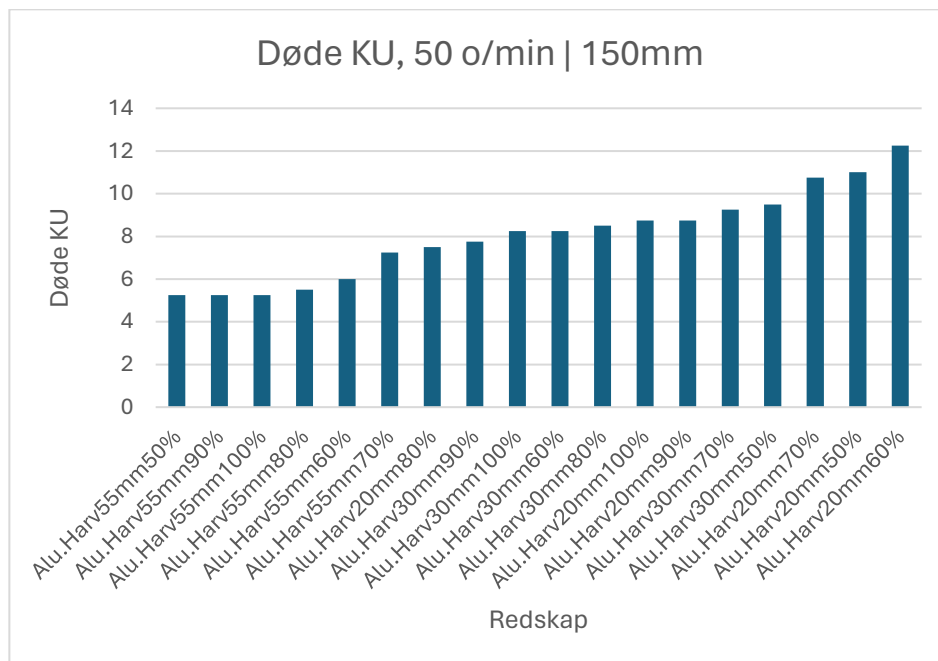
Figur 9.6 Oversikt Døde KU per redskap ved 0 o/min | 0mm.

På figur 9.7 er utslaget satt til 50 o/min og 55mm. Her kommer harven med 20mm tindeavstand og 50% hastighet best ut (10,5 døde KU). Harvene med 20mm tindeavstand og hastighetene 60,70% kommer på plassene bak.



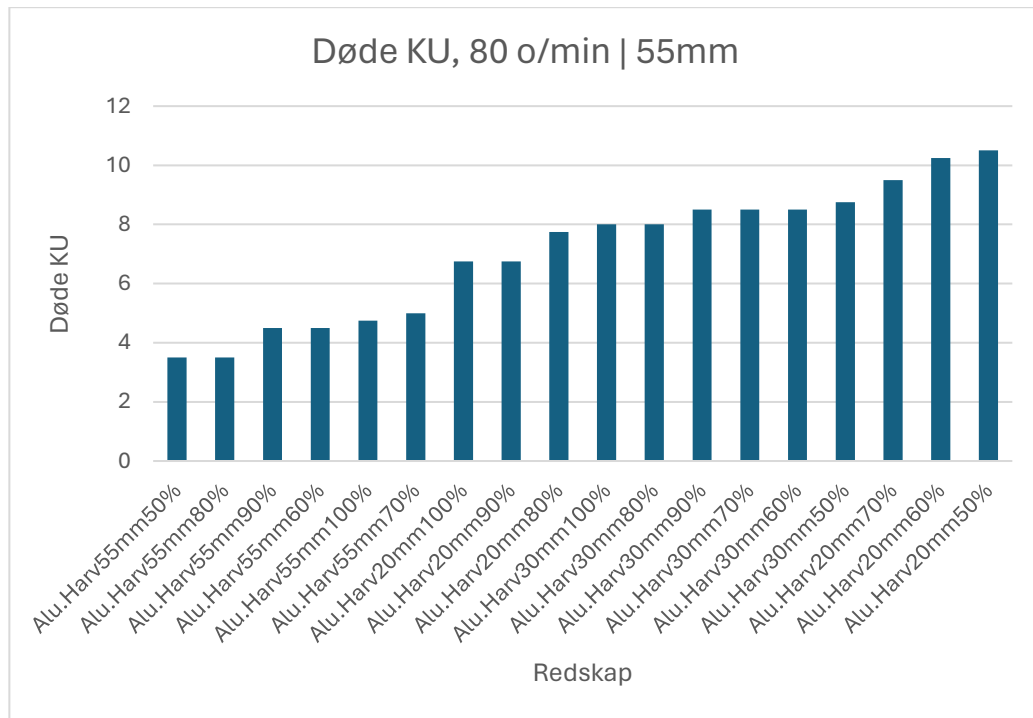
Figur 9.7 Oversikt Døde KU per redskap ved 50 o/min | 55mm.

På figur 9.8 er utslaget satt til 50 o/min og 150mm. Her kommer harven med 20mm tindeavstand og 60% hastighet best ut (12,20 døde KU). Harvene med 20mm tindeavstand og hastighetene 50,70% kommer på plassene bak.



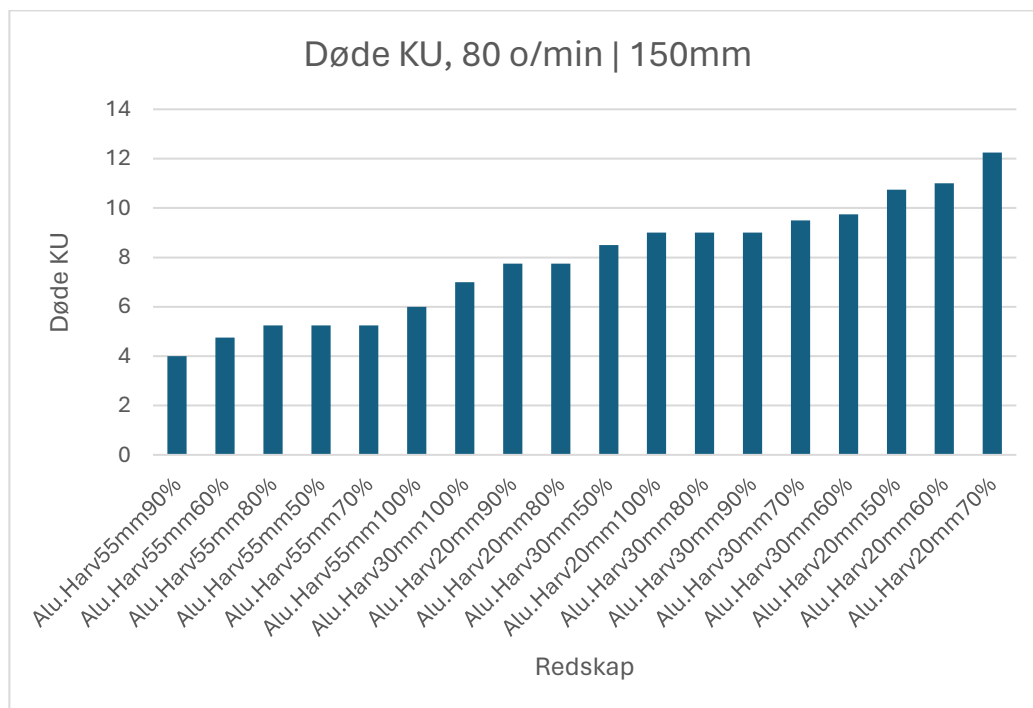
Figur 9.8 Oversikt Døde KU per redskap ved 50 o/min | 150mm.

På figur 9.9 er utslaget satt til 80 o/min og 55mm. Her kommer harven med 20mm tindeavstand og 50% hastighet best ut (10,55 døde KU). Harvene med 20mm tindeavstand og hastighetene 60,70% kommer på plassene bak.



Figur 9.9 Oversikt Døde KU per redskap ved 80 o/min | 55mm.

På figur 9.10 er utslaget satt til 80 o/min og 150mm. Her kommer harven med 20mm tindeavstand og 70% hastighet best ut (12,15 døde KU). Harvene med 20mm tindeavstand og hastighetene 60,70% kommer på plassene bak.



Figur 9.10 Oversikt Døde KU per redskap ved 80 o/min | 150mm.

9.7.5 Oppsummering av harvenes testresultater

En samling av de beste resultatene vises i tabell 9.8, i tillegg til aluminiums-harven uten utslag. Her kan man se at det er Terrateck-harven, uten utslag, som kommer best ut. Aluminiums-harvene med utslag på 150mm følger like etter med 55mm utslag ett hakk under.

Redskap	Utslag	Døde KU
Terrateck	0 0	12,25
Alu-Harv	50 o/min 150mm	12,2
Alu-Harv	80 o/min 150mm	12,15
Alu-Harv	80 o/min 55mm	10,55
Alu-Harv	50 o/min 55mm	10,5
Alu-Harv	0 0	9,25

Tabell 9.8 Beste resultater.

For samtlige harv-konfigurasjoner var det hastighetene 50-70% som ga best resultat. Hvilken hastighet som ga aller best resultat varierte noe mellom disse, men tindavstanden var 20mm for samtlige harver. Det ble tatt et gjennomsnitt av disse topp tre resultatene, for å jevne ut toppene (Tabell 9.9). Den samme rekkefølgen oppstår, med kun små variasjoner mellom Terrateck og aluminiums-harven med 150mm utslag.

Redskap	Utslag	Døde KU
Terrateck	0 0	11,83
Alu-Harv	50 o/min 150mm	11,32
Alu-Harv	80 o/min 150mm	11,3
Alu-Harv	80 o/min 55mm	10,08
Alu-Harv	50 o/min 55mm	10

Tabell 9.9 Gjennomsnittet av topp tre beste resultater.

De ulike resultatene med variasjon av utslaget er sammenliknet med Terrateck-harvens resultat, tabell 9.10. Et gjennomsnitt av de topp tre beste resultatene ble brukt. Siden 50 og 80 o/min var såpass like, ble også disse samlet til et gjennomsnitt. Her kommer det frem at aluminiums-harven med utslagsmekanisme på det beste er 4,4% dårligere enn Terrateck harven.

Ser man på sammenlikningen av aluminiums-harvene med og uten utslag, forbedres resultatet med 20% for 150mm harven. Det var altså utslagets størrelse som utgjorde mest forskjell, ikke motorens omdreininger per minutt. Ut fra analyse av komplett data er dette også representativt for det samlede resultatet.

Redskaper	Utslag	Forskjell døde KU
Alu-Harv vs. Terrateck	0 0	-21%
Alu-Harv vs. Terrateck	50&80 150mm 0 0	-4,4%
Alu-Harv vs. Terrateck	50&80 55mm 0 0	-15,5%
Alu-Harv vs. Alu-Harv	50&80 150mm 0 0	+20%
Alu-Harv vs. Alu-Harv	50&80 55mm 0 0	+8,1%

Tabell 9.10 Sammenlikning av effektivitet mellom ulike harv-konfigurasjoner.

10 Konklusjon av testing

10.1 Effekt og kraftsammenlikning hjul og belter

Ut fra testingen er det klart at beltene gir bedre trekraft, samtidig som de er mer effektive. Det velges derfor å beholde beltene i den endelige konfigurasjonen.

10.2 Utslagsmotor

Ut fra testene må utslagsmotoren ha en effekt på minst 12,6 W og 2,5 Nm. Motor som velges må baseres på disse verdiene.

Under testingen ville det mest ideelle vært å bruke en strøm-logger, slik at det kunne vært regnet ut et gjennomsnitt og man kunne sett eventuelle topper i målingene. Dette var ikke tilgjengelig under perioden da testingen ble utført og ble derfor ikke gjort.



10.3 Effekt og kraftmåling bil uten utslag

Ideelt sett burde aluminiums-harven og Terrateck-harven hatt en test med samme antall tinder, dette ble ikke utført. Tindeavstanden ble basert på den tettste plasseringen som var mulig på Terrateck harven. Hvilken tindeavstand som gikk opp med harvens bredde var også avgjørende.

Basert på testingen kommer det frem at harven av aluminium med 23 tinder har lavest effektbehov per tind. Bakgrunnen for dette er mest sannsynlig harvens egenvekt. Effektbehovet per tind øker for harvene med færre tinder. Dette er mest sannsynlig på grunn av at harvens egenvekt blir fordelt på færre tinder. Hver tind vil trenge lenger ned i bakken og skape mer motstand. Samtidig blir mostanden på grunn av vekten fordelt på færre tinder. Egenvekten øker kun minimalt med flere tinder. Konklusjonen av testene er derfor at den lettere harven av aluminium har lavere effektbehov per tind.

10.4 Effektforbruk bil med utslag

Resultatet av testene viser at effektbehovet er noe større på harven med 23 tinder sammenliknet med 17 tinder. Harven med 10 tinder har overaskende høyt effektbehov. Ut fra testresultatene, kommer det frem at effektbehovet økte betraktelig ved fart 100%. Testen ble derfor gjennomført en gang til, med liknende resultat. Ut fra visuell observasjon kan det legges til at harven ved denne hastigheten, med utslag, hoppet ukontrollert. I kombinasjon med at harven også hadde få tinder, resulterte dette i at de ulike tindene boret seg usystematisk dypt ned og rykket i harven. Man kan derfor konkludere med at utslaget og få tinder er mindre fordelaktig for bilens manøvrerbarhet.

10.5 Bilens driftstid

Ut fra beregningen av bilens driftstid kommer det frem at samtlige redskapskonfigurasjoner ligger på omtrent 30 minutter. Det mest overraskende er at harven med utslag får en lengre driftstid enn harven uten utslag. Basert på observasjoner under testing tyder det på at bakgrunnen til dette er at tindene går grunnere i bakken ved bruk av utslag. På den måten blir motstanden mindre og effektbehovet følger etter, til tross for at utslagsmotoren har et eget effektbehov.

Driftstiden på 30 minutter med det originale batteriet, er relativt lavt. Batteriet som er brukt under beregningen er det originale batteriet til den radiostyrte bilen og er relativt lite i både kapasitet, vekt og størrelse. Batteriet med kapasitet på 43 Wh har en vekt på kun 312 gram. Det bør ikke være noe problem å ha en batterivekt på ti ganger dette, noe som vil resultere i en driftstid på rundt 5 timer, uten å ta med energiforbruket som det autonome systemet vil kreve.

10.6 Ugrossverktøyet

10.6.1 Tindeavstandens påvirkning

Siden tallene som er brukt i analysen av tindeavstandens påvirkning er et gjennomsnitt, og andre faktorer som energiforbruk spiller inn, vil det være variasjoner mellom de ulike konfigurasjonene. Ut fra testresultatene kan det likevel sees en klar trend med at det ikke nødvendigvis er en proporsjonal økning i antall tinder og tetthet med antall døde KU. Ved bruk av harven med 55mm tindeavstand (10 tinder) med utslag, oppførte harven seg ustabil. Dette påvirket effektiviteten og bilens retningsstabilitet. Det kan derfor konkluderes med at harv med få tinder og utslag bør unngås. Harvene med høyere antall tinder beveget seg mer stabilt og jorden ble bearbeidet godt. Antall tinder bør velges ut fra jordtype og ugress tetthet.

10.6.2 Kjørehastigheter

Kjørehastighetene som ga best resultat under testing var hastighetene fra 50-70%. Ut fra testing av hastighet tilsvarer dette en hastighet på 1,3-2,1 km/t. Avhengig av jordtype og harvkonfigurasjon vil hastigheten kunne variere noe.

10.6.3 Utslagsmekanismens effekt

Sammenliknet med Terrateck-harven gir aluminiums-harven med utslag et dårligere resultat målt i døde kunstige ugress. Trekker man inn resultatene fra energimålingene endres derimot utfallet. Aluminiums-harven med tindeavstand 20mm, uten utslag, hadde 4% lavere energiforbruk enn Terrateck-harven. Aluminiums-harven, med utslag 50 og 80 o/min, hadde henholdsvis 15 og 13% lavere energiforbruk per tind, sammenliknet med Terrateck-harven. Om man ser på de prosentvise forskjellene, har aluminiums-harven en økt effekt på gjennomsnittlig 9% sammenliknet med Terrateck-harven. Forskjellen er ikke stor, men over tid vil den kunne utgjøre en merkbar forskjell.

Det er her viktig å legge til at ved visuell observasjon under testing, ga utslaget en effekt som ikke kommer godt med i testresultatene. Det virker som at mer av jorden blir berørt ved bruk av utslag. Siden effektforbruket per tind faller ved bruk av utslag kan det tyde på at tindene går grunnere i jorden. Terrateck-harven er tyngre enn aluminiums-harven, og det er mulig at en noe høyere vekt på aluminiums-harven vil kunne gjøre at effekten av utslaget kommer enda bedre ut. Samlet sett gjør energibesparelsen at utslagsmekanismen har en positiv effekt på antall ugress det er mulig å ta per runde.

10.7 Feilkilder

Når det kommer til konfigurering av harvene kunne testene blitt utført med flere finere inndelinger av hastighet på bil, utslagsmotor, utslags-størrelse, tindeavstand, tindevinkel og tinde-utstikk. Kombinasjonsmulighetene er utallige, og testene ble begrenset på grunn av tid.

Strømforbruket til bilen med utslagsmekanismen i bruk var ikke mulig å måle med loggeren som ble brukt. Manuelle målinger ble derfor gjort på ulike hastigheter. Målingene ga et lite varierende resultat, og et gjennomsnitt ble derfor brukt. Dette vil kunne påvirke utfallet av energiforbruket da målingene ikke følger bilens konfigurering.

11 System og detaljert design

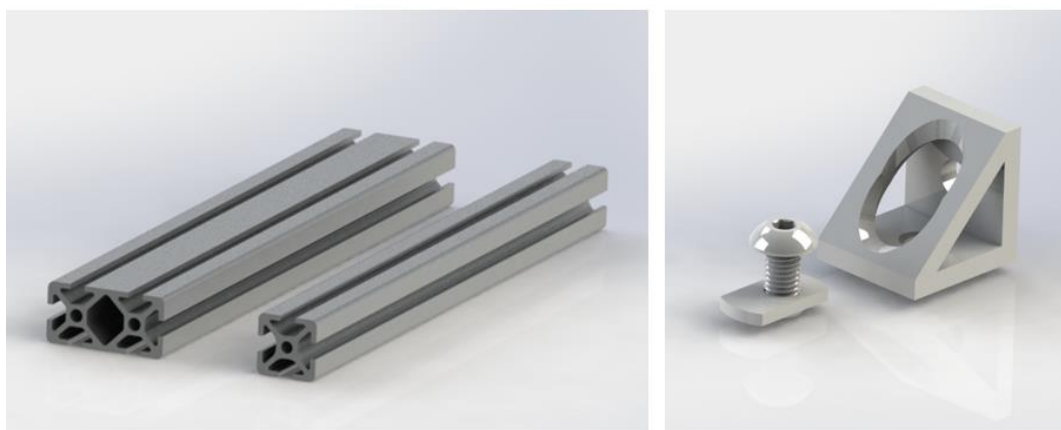
11.1 System og modulært design

11.1.1 Generelle designvalg

For å enkelt kunne tilpasse harven, ble aluminiumsprofilene fra utviklingsfasen beholdt. Ved å i stor grad bruke standardiserte braketter, skruer og andre festeanordninger sparer man på produksjons- og utviklingskostnaden samtidig som man får en modulær konstruksjon, figur 11.1.

Bruken av aluminiumsprofiler og skruer som festemiddel, gjør også at det er mulig å bytte ut deler av konstruksjonen. Dersom det oppstår skader på komponenter, slipper man derfor å bytte ut hele delen. Det samme gjelder dersom man ønsker for eksempel å ha en bredere harv med samme antall tinger. Man kan da beholde profilene som utgjør harvens dybde for å kun bytte ut profilene som utgjør harvens bredde.

Under produksjon vil også bruken av aluminiumsprofiler gjøre at man kan produsere en rekke ulike størrelser og konfigureringer. Sammenliknet med om man skulle sveiset en ramme i en rekke ulike konfigureringer, er kostnader mye lavere ved bruk av ferdige profiler.



Figur 11.1 T-spor aluminiumsprofiler, brakett og skure med T-spor mutter.

Foruten bruk av standard ferdigproduserte braketter og aluminiumsprofiler har det vært et ønske om å bruke ferdigproduserte komponenter også ellers i konstruksjonen. Bakgrunnen for dette er å spare på produksjons og utviklingstiden. Komponenter som har en glidende og rullende funksjon, må anses som slitedeler. Bruk av standard komponenter vil da også komme til gode for sluttbruker. Komponenter som krever spesialiserte løsninger og tilpasninger, har blitt konstruert etter behov.

11.1.2 Utslagsmekanismens utforming og konstruksjon

Utslagsmekanismen som fungerte best under prototyping og testing var type 1, kapittel 6.2.7 (Figur 6.27). Selv om denne løsningen tar noe plass gir den ønsket bevegelse på en måte som gjør at bilen lar seg styre stabilt. Bilens evne til å styre presist er svært viktig for effektiv bruk. Best resultat ble oppnådd når bilens fjæring ble justert til låst stilling. Låst fjæring er derfor en del av bilens endelige konstruksjon.

11.2 Detaljert design og ferdig design

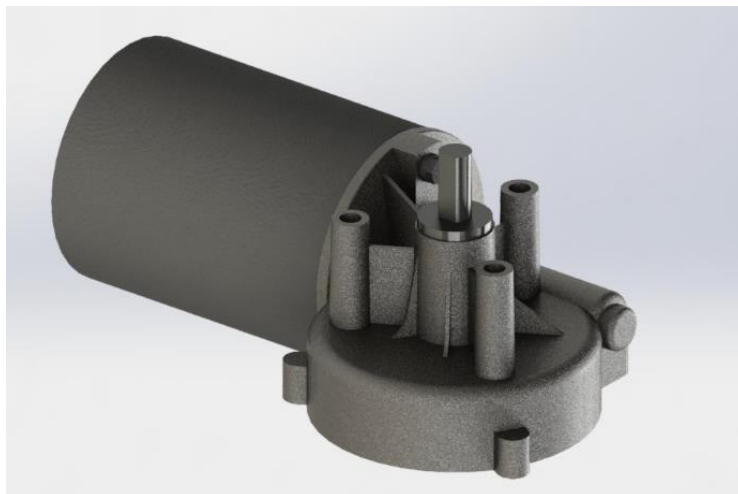
11.2.1 Utslagsmotor og innfesting

Siden det ikke er sett på styring av roboten og det elektriske knyttet til dette, er det ikke sikkert den valgte motoren vil passe. Motoren må tilpasses strømkilden som brukes til resten av roboten. Siden selve bilen går på 7,2V er denne spenningen generelt for lav for de fleste tilgjengelige alternativer. Det er allikevel gitt et forslag for motor som kan brukes og hvilke spesifikasjoner den bør ha

Motoren som skaper bevegelse på verktøyet må gå under kravene som ble funnet under prototyping og testingen, kapittel 8.3 og 9.2. Her kom det fram at motoren må ha et minimum dreiemoment på 2,5 Nm og effekt på 12,6 W. Som nevnt her bør motoren derimot ha noe margin mot disse tallene. Ulike konfigurasjoner av harven, jordtype, fuktighet og andre forhold vil variere. En noe overdimensjonert motor vil også være med på å øke motorens levetid. Man unngår da å kjøre den på grensen av hva den har kapasitet til, samtidig som man tar høyde for større og mindre utslag av belastning.

Det er mulig å beregne og konstruere en motor og gir sammensetting fra bunnen, men en allerede tilgjengelig ferdig kombinasjon av gir og motor vil kunne være billigere. Spesielt ved lavere produksjonsserier. Siden bilen er utgangspunkt for videre utvikling av en autonom robot vil utslagsmotoren tilpasses resten av systemets spesifikasjoner. På bakgrunn av dette er utslagsmotoren som er brukt i den endelige konstruksjonen kun et forslag til motor. Festebraketten som brukes til å montere motoren må derfor beregnes å tilpasses endelig motor. Det samme gjelder innfesting av utslagsarmen. Dette vil derimot ikke være behov for store endringer så lenge motoren holder seg i liknende form.

Motor beregnet til å drive vindusviskere på bil ble brukt til prototyping. Disse motorene har ofte turtall rundt det som er ønskelig, 50-100 o/min. De har også høyt dreiemoment med vinklet gir, som gjør mekanismen mer kompakt. Motoren det er brukt som utgangspunkt for endelig design er en viskermotor beregnet på VW Golf II. Motoren kan fås med tappert aksling innfesting og sylindrisk med spor, som sett på figur 11.2 [45]. Motoren er beregnet for 12V med effekt på 14,4 W, dreiemoment på 10 Nm og rotasjonshastighet på ca. 50 og 90 o/min. Samtlige spesifikasjoner passer godt med ønskede verdier. Det er også mulig justere verdiene noe ved innstilling av spenning.



Figur 11.2 DAK-modell av utslagsmotoren.

Innfestningsbraketten til motoren er designet i tynnplate, figur 11.3. Denne løsningen gir en stabil innfesting som er enkel å justere og montere.

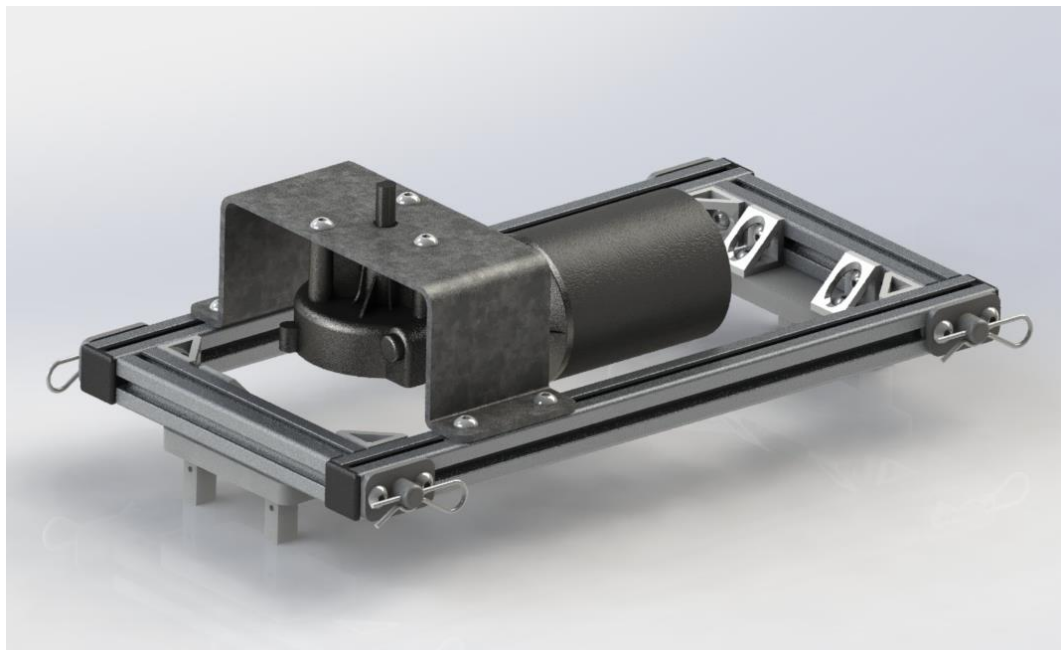


Figur 11.3 DAK-modell av brakett for montering av utslagsmotor til ramme

11.2.2 Monteringsramme på bil

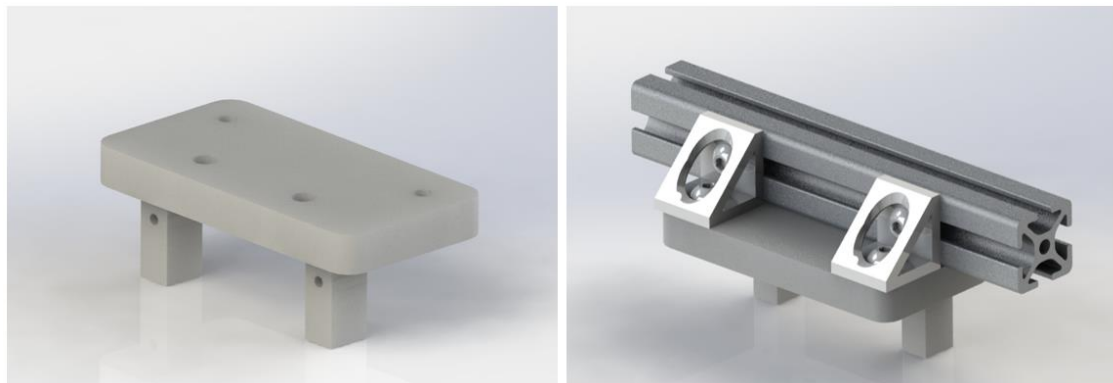
En god og sikker montering for utslagsmotor og andre komponenter ble konstruert av 20x20mm aluminiumsprofiler. Aluminiumsprofilene brukt i prototypingen var av typen V-spor som er beregnet for bruk med rullende hjul. Dette er det derimot ikke behov for i konstruksjonen. T-spor profiler ble derfor valgt istedenfor.

Innfestingsrammen for bilen i sammenstilling kan sees på figur 11.4. Det er her tatt med alle festemidler og braketter nødvendig for å sette sammen rammen og montere den til bilen. Alle komponenter er av standard tilgjengelige type med unntak av monteringsbrakett til bil, motorbrakett og feste for deksel. I tillegg til festemidler og braketter er det også tatt i bruk endelokk for å forhindre at jord og vann legger seg i profilene.



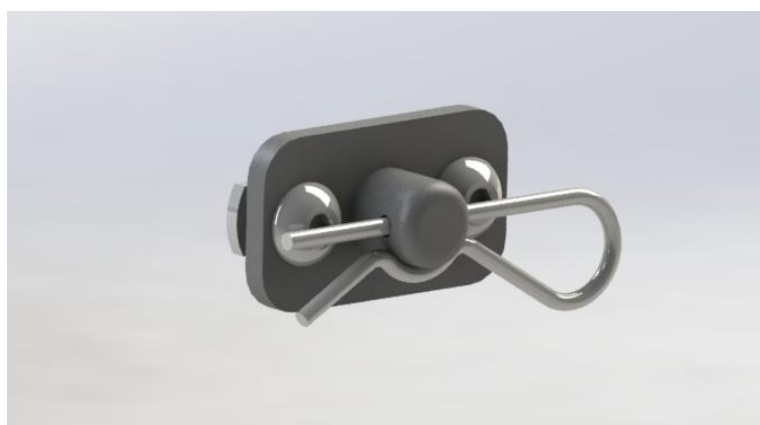
Figur 11.4 Monteringsramme.

Monteringen av rammen til bilen gjøres ved hjelp av et feste, som vist til venstre på figur 11.5. Festet kombineres med 20x20mm braketter for å gjøre delen enklest mulig å produsere, samt spare materiale.



Figur 11.5 Feste av monteringsramme til bil.

Til feste av deksel på monteringsrammen brukes splinter, figur 11.6. Splintene er raske å ta av og på, som gjør det enkelt å fjerne dekslet etter ønske. Det er totalt fire slike på monteringsrammen.



Figur 11.6 Monteringspunkter for deksel.

11.2.3 Deksel

Et deksel som dekker utslagsmekanismen og bilens elektronikk vil være sentral å få på plass før bruk i felt. Det er noe usikkert hvor stor plass komponentene til styring og kontrollering av roboten tar, man må derfor beregne å gjøre endringer på dekslet. Dekslet som er laget, er derfor å anse som et forslag til en mulig løsning.

Dekslet har en enkel form, med hovedformål å beskytte robotens komponenter. I tillegg til å beskytte mot regn og støv vil dekslet også skjerme mot sol. Dekselets enkle form er laget med hensyn til å gjøre produksjonen billigst mulig. Siden bilen kjører i lav hastighet, er det heller ikke behov for å holde luftmotstanden lav. Dekslet festes til bilens monteringsramme ved hjelp av splinter, se figur 11.7.

Ved å gjøre dekslet rødt blir roboten mer synlig, noe som øker sikkerheten for mennesker som befinner seg i nærheten av den. Dersom den skulle sette seg fast vil fargen også gjøre den lettere å lokalisere.



Figur 11.7 Bil med deksel.

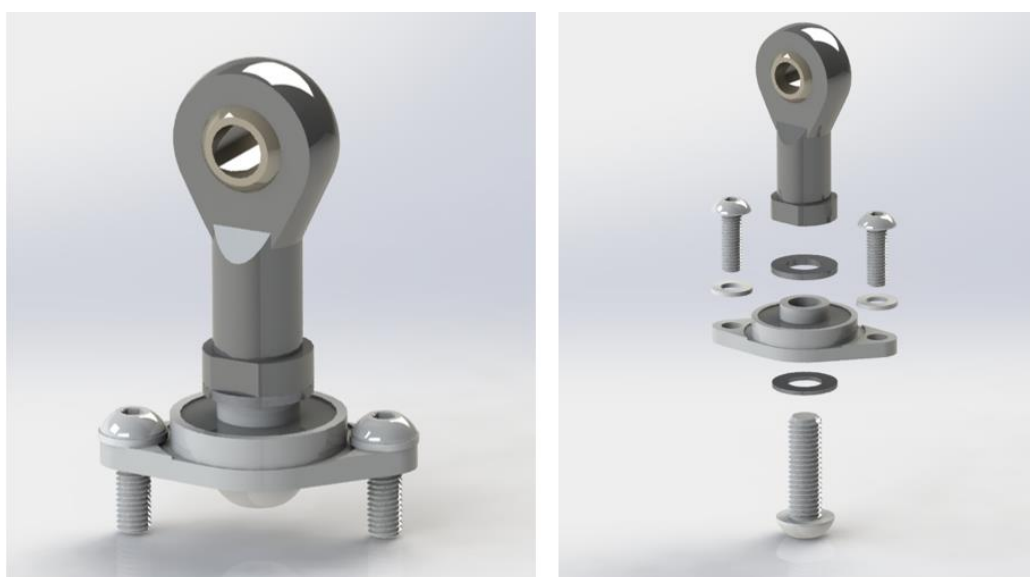
11.2.4 Utslagsarm

Armen som skaper utslaget har tre innstillinger for utslaget; 15, 30 og 45mm, figur 11.8. Utslagsarmen monteres på motorens aksling ved hjelp av en skrue som låser armen mot akslingen.



Figur 11.8 Utslagsarm med kuleledd og motor.

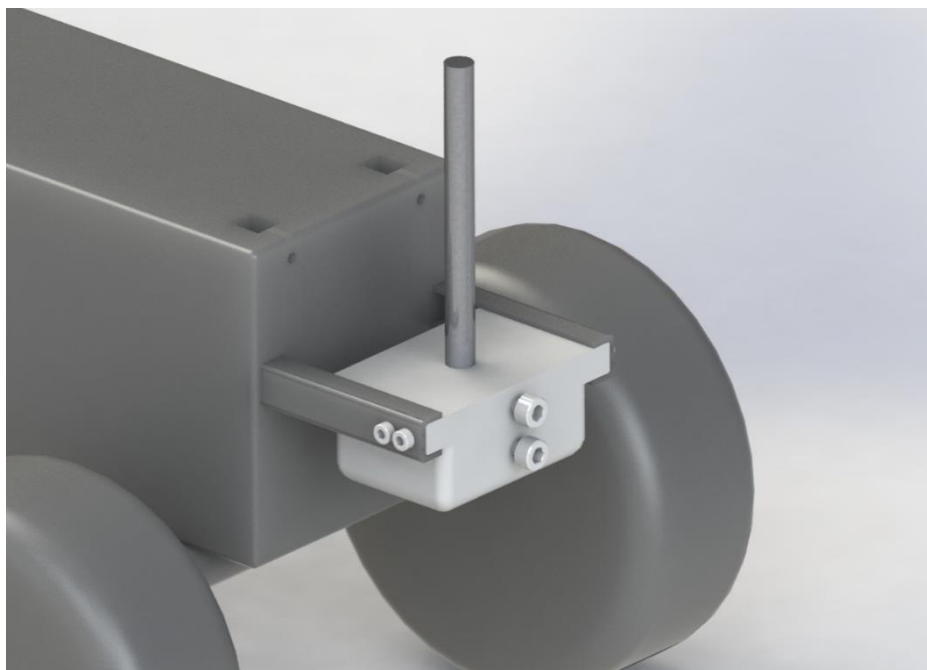
Kuleleddet som kobler stangen fra harven til motoren festes til utslagsarmen ved hjelp av et kulelager, figur 11.9. På denne måten kan kuleleddet rotere med lav motstand og det kreves kun to skruer for å endre utslaget. Det ble her laget ulike konstruksjoner for innfestingen av kuleleddet, men den endelige løsningen bruker et ferdigprodusert kulelager med innfesting. Det gir en lett og kompakt løsning med lave kostnader. Både kulelageret og kuleleddet er slidedeler som må byttes med jevne mellomrom. Få og lett tilgjengelige festepunkter er viktig for enkel utskifting av disse delene, noe som er prioritert i den endelige løsningen.



Figur 11.9 Glidende kuleledd på utslagsarm.

11.2.5 Harv innfesting til bil

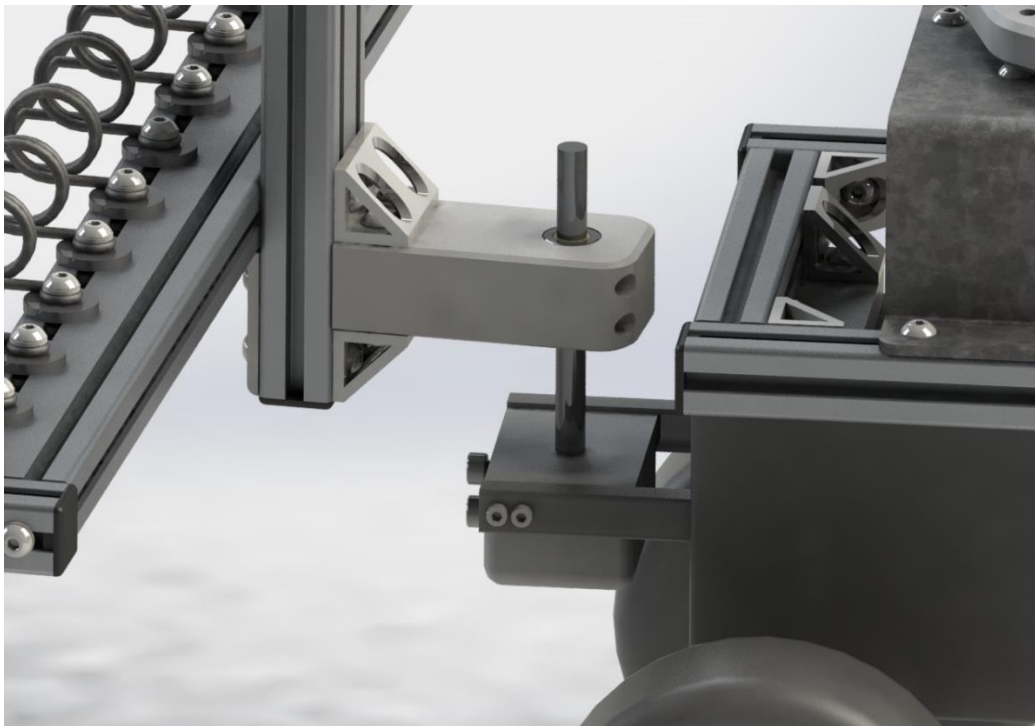
Harven er koblet til bilen på to punkter, «slepefeste» bak på bilen og gjennom utslagsmekanismen. Slepefestet på bilen består av en 110mm lang glatt stang med diameter på 8mm, figur 11.10. Stangen låses fast i et feste som monteres på bilen ved hjelp av to M5 skruer. Festet er tilpasset bilens eksisterende festepunkter slik at ingen modifiseringer av bilen er nødvendig. Festet monteres ved hjelp av fire M3 skruer. Stanglengden er kommet frem til gjennom testing og prototyping, slik at man akkurat kan løfte av harven uten å demontere noe.



Figur 11.10 Slepefeste på bil.

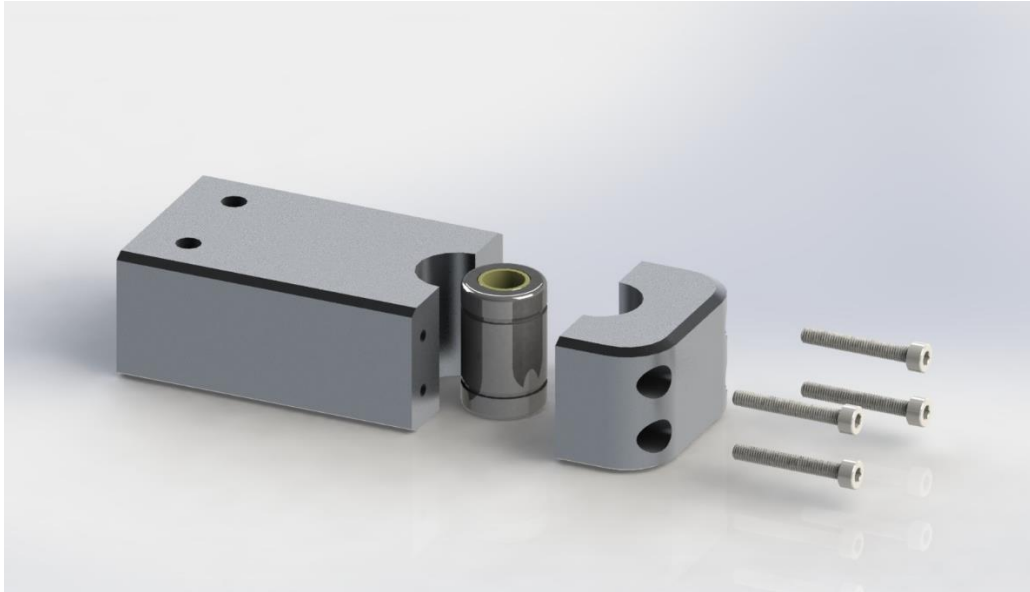
Til stangen festes harven ved hjelp av et tørt glidelager og holder for denne, figur 11.11. Stangen med lagret gjør av harven kan bevege seg fritt opp og ned, i tillegg til sidelengs bevegelse rundt stangens akse. Ved å bruke et tørt glidelager fremfor et med smøring unngår man at skitt og vann ødelegger glideevnen. Etter kort tid vil skitt og manglende smurning slite ut delene. Det tørre lagret tåler også bedre støt og vibrasjoner.

Glidelageret festes til harven ved hjelp av monteringen som vises på figur 11.12. Lagerholderen monteres til harven ved hjelp av festebraketter og skruer. På grunn av utslagsmekanismen kan ikke harven hoppe av festet. Dersom man plasserer utslagsarmen i posisjon lengst bort fra harven kan man derimot akkurat vippe den av uten å demontere noe.



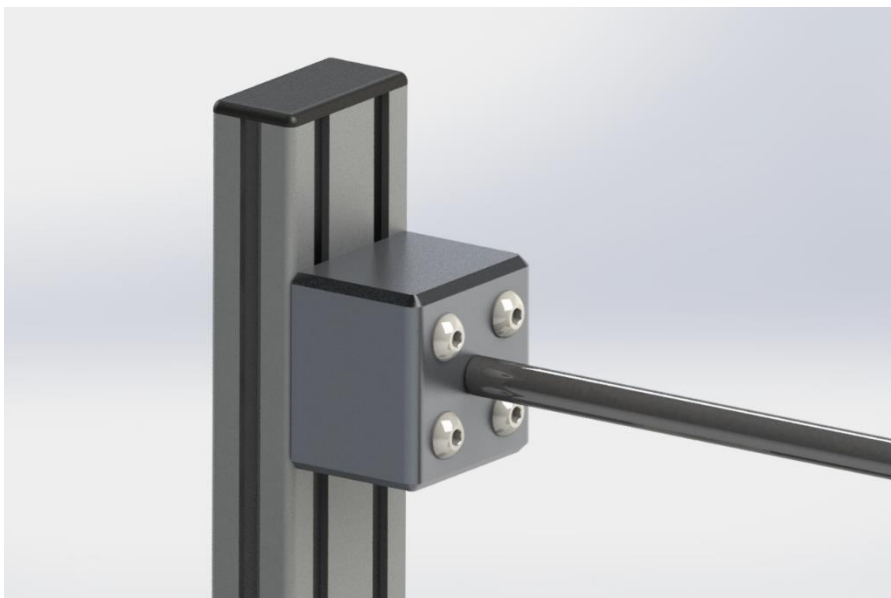
Figur 11.11 Festepunkt for harv til bil.

Glidelageret monteres i festet og holdes på plass ved hjelp av fire M3 skruer. Det er da enkelt å bytte ut lagret når det blir slitt ut, figur 11.12.



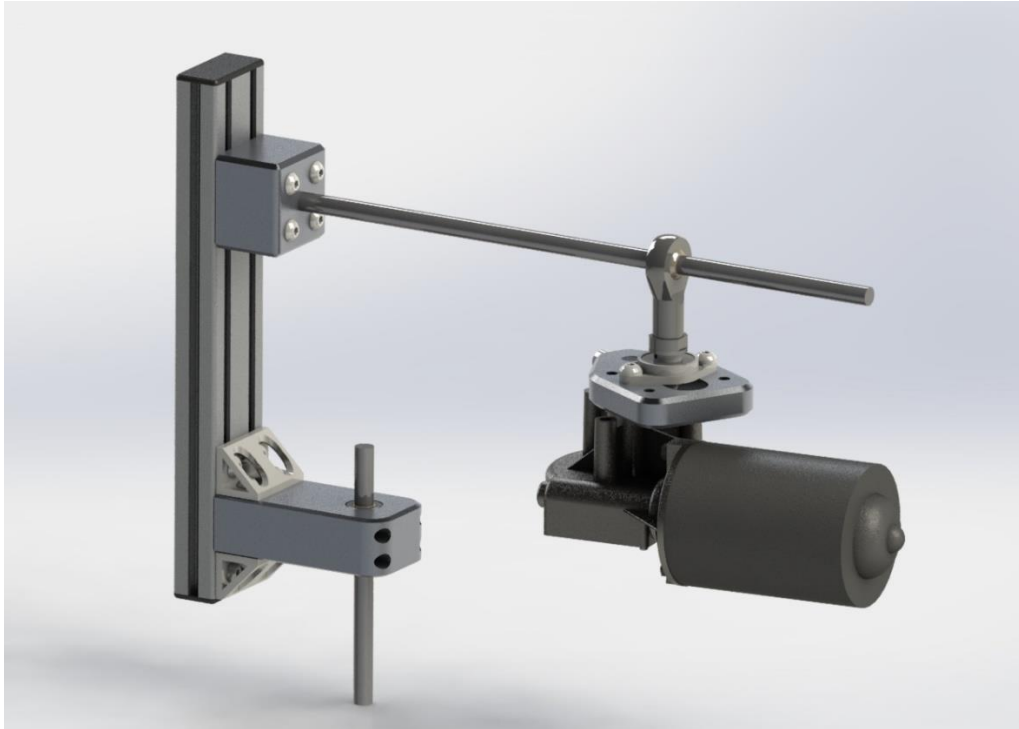
Figur 11.12 Slepepunktets glidelager-holder.

Stangen som overfører bevegelsen fra motoren monteres med et feste som vist på figur 11.13. Festet kan justeres opp og ned på den vertikale profilen. På denne måten kan man endre vinkelen på harven. Dette vil også justere hvor mye trykk som legges på harven.



Figur 11.13 Utslagstangen med montering.

Hele utslagsmekanismen, uten bil, kan sees på figur 11.14. Utslagsstangen er gjenget i enden og skrus inn i festet.



Figur 11.14 Utslagsmekanismen uten bil.

11.2.6 Tinder og fester

Tindens utforming ble basert på Terrateck tinden da denne hadde klart best effekt, figur 11.15. Løkken for innfestingen er noe endret for å passe M5 skruer til montering.



Figur 11.15 DAK-modell av tind.

Innfestingsplaten for tinden er rund slik at den ikke må orienteres i forhold til aluminiums profilen, figur 11.16. Tindens plassering kan enkelt justeres ved å løsne skruen.



Figur 11.16 Tind med innfesting.

11.2.7 Harv

Harvens ramme er konstruert med 20x20mm (2020) og 20x40mm (2040) T-spor aluminiumsprofiler, figur 11.17. 2040 profilene er brukt der hvor 2020 ikke gir nok stabilitet. Den tverrgående 2040-profilen festes ved hjelp av skruer gjennom den langsgående 2020-profilen. Festing uten braketter gir et solid resultat der hvor man ikke har behov for å gjøre justeringer. Den bakre tverrgående 2020-profilen festes med en gjennomgående skruer og en brakett. Man kunne brukt en 2040-profil her, men 2020 gir mer enn nok stivhet i rammen, man sparer også vekt. Alle profilenes ender er tettet igjen med lokk for å unngå av støv og vann kommer inn.

Harvens tinder monteres på den midtre 2020-profilen og den tverrgående 2040-profilen. Den midtre profilen er montert med dobbel brakett og skruer. Ved å bruke doble braketter på en side av profilen, kan man utnytte hele bredden til montering av tinder. Den midtre profilen er flyttbar ved å løsne fire skruer, slik at man kan justere avstanden mellom de to radene av tinder.

Den bakre 2020-profilen gir ekstra stabilitet til rammen, det vil også være mulig å bruke denne for en tredje rad med tinder. Den kan brukes til å montere løftehjul.



Figur 11.17 Harvens ramme.

Den vertikale 2040-profilen er festet med en 20x40mm brakett i overkant og en 40x40mm brakett i underkant, figur 11.18. På grunn av at den vertikale 2040-profilen er mottakeren av utslagsmekanismen, er stabil innfesting ekstra viktig her.



Figur 11.18 Harvramme detaljer, sett fra undersiden.

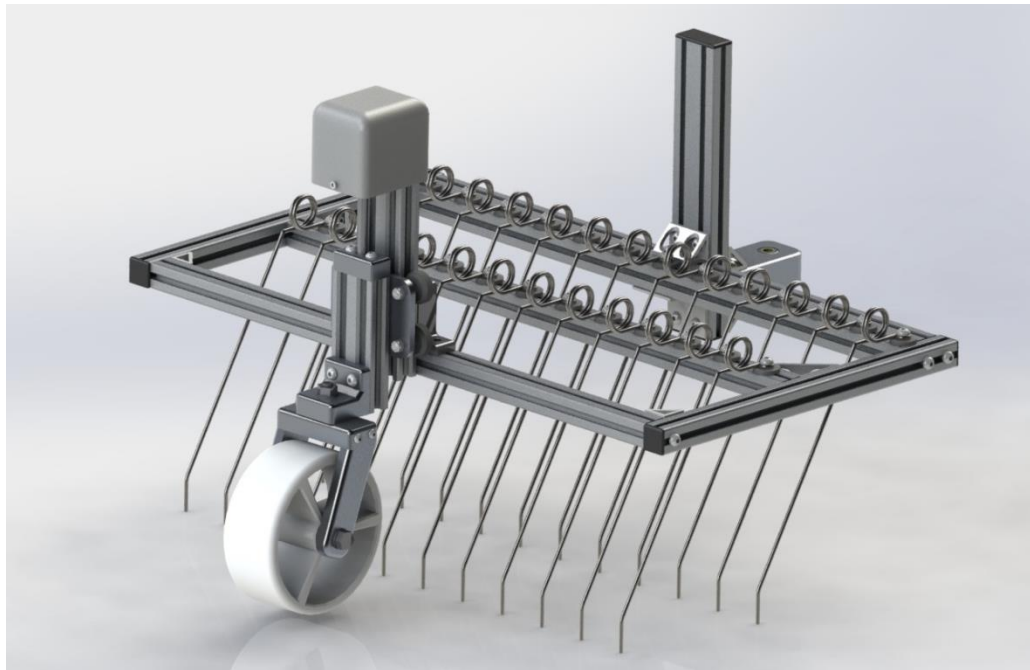
Hele harven med 23 tinder vises på figur 11.19.



Figur 11.19 Komplette harv.

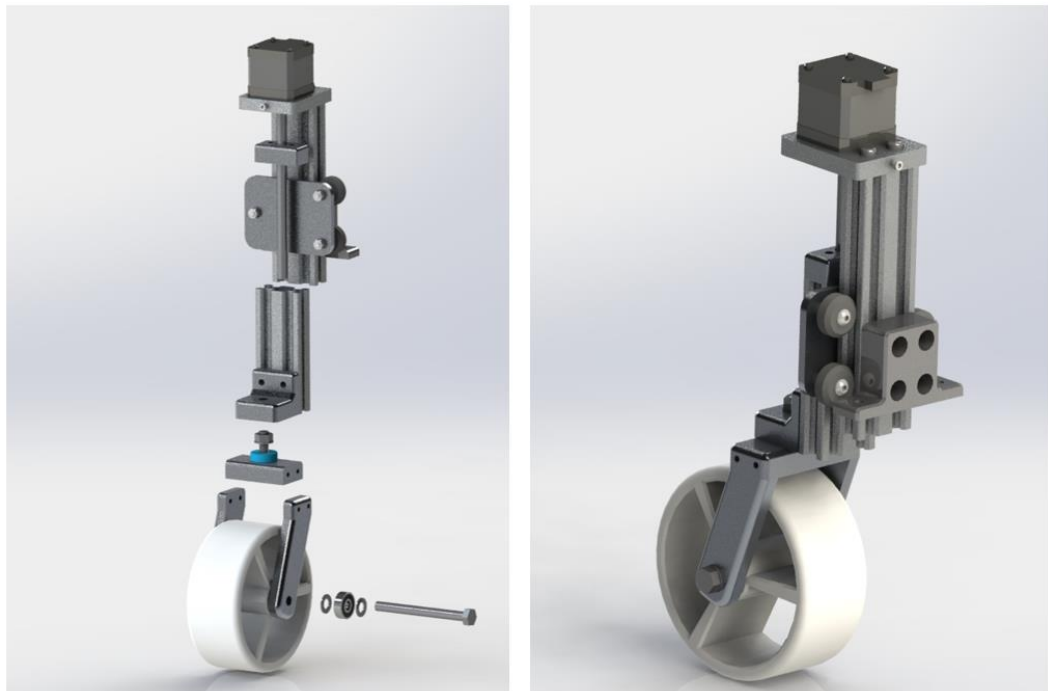
11.2.8 Harv med løftehjul

Muligheten for å kunne løfte harven over bakken var et ønske, men ikke et krav fra oppdragsgiver. Det ble gjort noe testing og prototyping på en slik løsning, men ikke tilstrekkelig nok til å kunne si at det er en 100% fungerende løsning. Løftehjulet med mekanisme er derfor å anse som et forslag til mulig løsning og ikke en del av det endelige produktet. Harven med påmonter hjul og løftemekanisme kan sees på figur 11.20.



Figur 11.20 Harv med løftehjul.

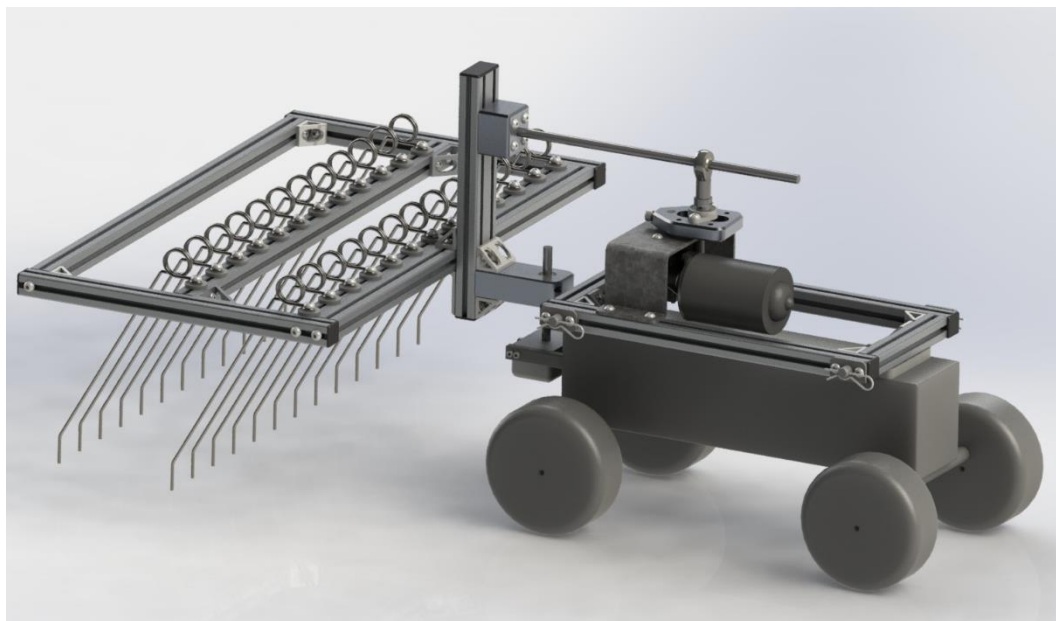
Løftemekanismen med hjul vises i sammenstilling på figur 11.21. Hjulet er festet til en gaffel med kulelager, slik at den roterer fritt om vertikal akse. Hjulet er så festet til en V-spor 20x40mm aluminiums profil som er montert til harven med V-spor hjul. Ved hjelp av en stepp-motor kan da hjulet løftes opp og ned etter behov. På grunn av at harven og utslagsarmen er festet med glidende lager vil harven følge etter.



Figur 11.21 Detaljebilde av løftemekanisme for hjul.

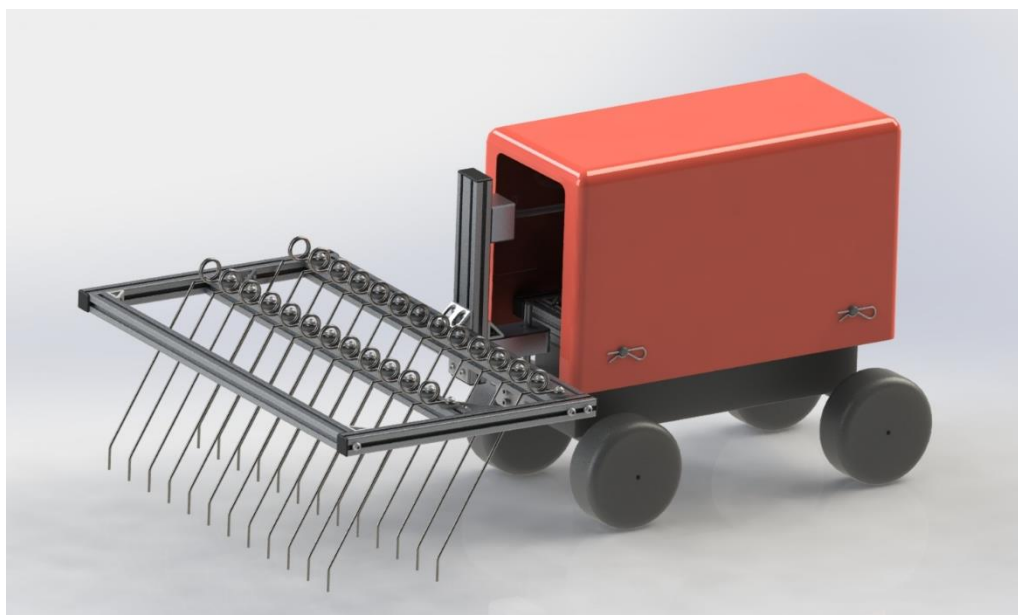
11.2.9 Ugressrobot sammenstilling

Den komplette ugressroboten, uten deksel, kan sees på figur 11.22.



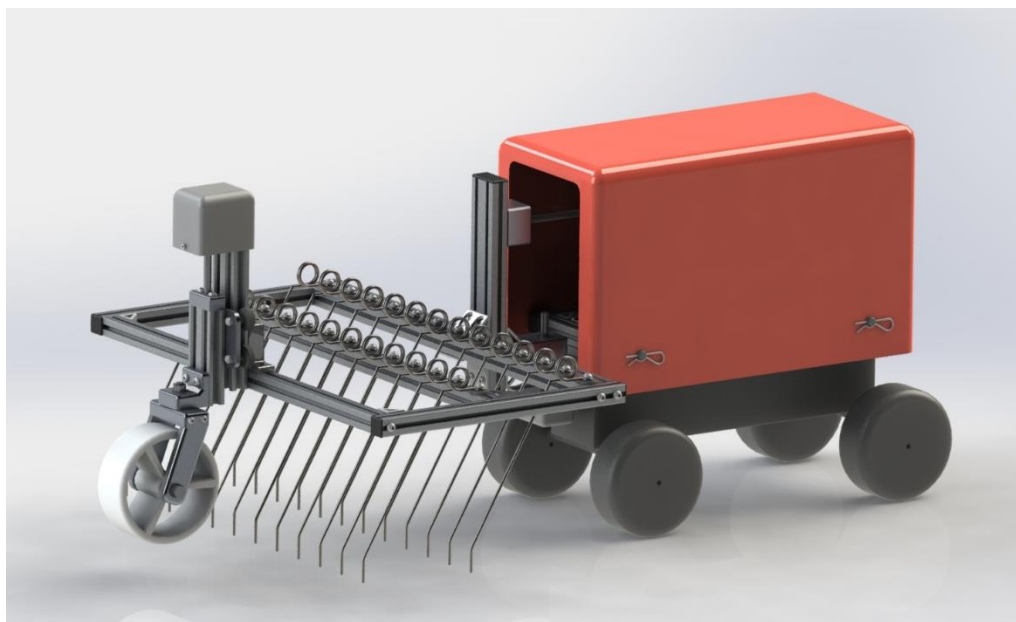
Figur 11.22 DAK-modell av komplett ugressrobot, uten deksel.

Den komplette ugressroboten med deksel kan sees på figur 11.23.



Figur 11.23 DAK-modell av komplett ugressrobot, med deksel.

Ugressrobot med deksel og løftemekanisme vises på figur 11.24.



Figur 11.24 DAK-modell av komplett ugressrobot, med deksel og løftemekanisme.

11.3 Materialer og komponenter

Under konstruksjonen ble McMaster-Carr [46] brukt til innhenting av de ulike komponentene. McMaster-Carr har en svært komplett katalog med profiler, braketter og annet festemateriell. I tillegg er DAK-modeller tilgjengelig for samtlige komponenter. Dette gjør prosessen enklere og mer ryddig for innhenting av komponenter. Materialspesifikasjoner er hentet herfra med mindre annet er spesifisert. Materialer i syrefast (rustfritt) stål og aluminium er valgt for å unngå korrosjon i best mulig grad.

11.3.1 Aluminiumsprofiler

Både harvens ramme og monteringsrammen til karosseriet er designet med anodiserte T-spor aluminiumsprofiler i dimensjonene 20x20mm og 20x40mm. McMaster-Carr opplyser at aluminium av typen 6061 T4 er brukt [46]. Denne aluminiums-legeringen har «medium» styrke ($R_e = 110 \text{ N/mm}^2$ og $R_m = 207 \text{ N/mm}^2$) og har høy resistans mot korrosjon [47] [48]. God korrosjonsmotstand er viktig siden materialet vil bli utsatt for fukt. Materialets styrke anses tilstrekkelig da kreftene rammene blir utsatt for er minimale i forhold til dimensjoner, uten at det er gjort noen form for simulering annet en tester gjort med prototypene.

11.3.2 Festemateriell

Brakettene som er brukt under konstruksjon er hentet inn fra McMaster-Carr [46]. Brakettene er produsert i 6105 aluminium med anodisert overflate [49]. Selv om 6105 aluminium ikke følger ISO-standard, har den god korrosjonsmotstand og styrken ansees som tilstrekkelig til formålet [50].

Skruer og muttere som er brukt i konstruksjonen er hentet inn fra McMaster-Carr [46]. Samtlige muttere og skruer er produsert i AISI 304/A2 (EN 1.4301). AISI 304 er syrefast og styrken ansees som tilstrekkelig til formålet.

11.3.3 Stålstang, kuleledd og slepestang-lager

Stålstangen som brukes til overføring av utslaget til harv og slepefeste er laget av AISI 304/A2 (EN 1.4301) syrefast stål [51]. AISI 304 har god korrosjonsmotstand og er mulig å produsere med høy presisjon [51], noe som er ekstra viktig ved bruk av glidende lagre. Stålstangen som ble brukt under prototyping og testing var av samme ståltype og det var ingen tegn til slitasje eller deformasjoner.

Kuleleddet som ble brukt i prototypen hadde kule av stål. Kuleleddet som overfører utslaget fra motoren beveger seg repeterende over stangen. En kule av stål er derfor ikke en god løsning på sikt da det vil føre til stor slitasje på stangen. I den endelige konstruksjonen er det derfor valgt et kuleledd med kule som fungerer som et tørt lager. Kuleleddet er produsert av Igus med kule av «igumid G» [52]. Dette er et selvsmørende materiale som fungerer godt under støvete og våte forhold [52]. Det er også helt korrosjonsfritt, lett og tåler støt godt [52].

Slepestang-lager er også valgt fra produsenten Igus, av typen «drylin R» [53]. Lagret har de samme gode egenskapene som kuleleddet, bare i en annen form.

11.3.4 Monteringsbrakett motor

Motorbraketten er konstruert i 3mm tynnplate, AISI 304/A2 (EN 1.4301) syrefast stål. Ståltypen egner seg godt til tynnplate produksjon og ansees å ha tilstrekkelig styrke til formålet [54].

11.3.5 Tind og monteringssskive

Tindene som ble brukt under prototyping og testing var laget av Terrateck [25]. Tindene er laget av galvanisert stål og det ble observert begynnende korrosjon. På bakgrunn av dette er det en fordel med tinder laget av rustfritt stål for å unngå dette. Spesielt siden roboten vil befinne seg ute i friluft over lang tid uten at den nødvendigvis blir vasket eller tørket.

Tinder laget av kaldtrukken EN 1.4301 (AISI 304) vil gi god motstand mot korrosjon [55]. Denne er også godt egnet til produksjon av fjærer [56].

11.4 Kostnader og produksjonsmetoder

Komplett tabell med kostnadsoversikt vises som vedlegg under 16.3.3. Produksjonstegninger av konstruerte komponenter og sammenstillinger vises som vedlegg under 16.1.

11.4.1 Harvens ramme og monteringsramme

T-spor profilene som er valgt har en mer eller mindre standardisert form slik at det er enkelt å anskaffe braketter, skruer, muttere og annet festemateriell. Dette gjør det enkelt å skru de sammen i ulike sammenstillinger og konfigurasjoner. Profilene kommer anodisert fra leverandør. Profilene som ble brukt er 20x20mm (Figur 11.25) og 20x40mm (Figur 11.26). Produksjonstegning for profilene som krever gjenging og boring, kan sees som vedlegg under 16.1, nummer 9 og 10.



Figur 11.25 2020 aluminiumsprofil [57].



Figur 11.26 2040 aluminiumsprofil [57].

Under testing ble det utelukkende brukt braketter til montering, da hyppig justering underveis var nødvendig. Når det kommer til montering av rammer under produksjon, ble noen av brakettene byttet ut med skruer og hull i profilene. Bakgrunnen for dette er at hull med gjenger gir like god, om ikke bedre, stabilitet sammenliknet med bruk av kun braketter. Det gjør det også enklere å sette sammen rammen, på bekostning av en liten økning i produksjonskostnad som følge av boring og gjenging. Man kunne vurdert å gjøre tilnærmet alle sammenføringer ved hjelp av boring, gjenging og muttere, men bruk av braketter gir verdifull fleksibilitet. I noen tilfeller gir også bruken av braketter økt stivhet til konstruksjonen.

Siden profilene er ferdig produsert vil den eneste «produksjonen» bestå av å kappe profilene til spesifisert lengde, samt å bore og lage gjenger der det er spesifisert. Ved bestilling av profiler vil det være mulig å få de ferdig kappet til spesifisert lengde, produksjonskostnader er derfor ikke vurdert for rammens profiler.

11.4.2 Festemateriell

Braketter, skruer og muttere som er brukt i konstruksjonen er hentet fra McMaster-Carr [46]. Priser for disse komponentene er også hentet herifra og vises i tabell under 16.3.3. Frakt og avgifter er ikke tatt med.

11.4.3 Monteringsbrakett motor

Monteringsbrakett for utslagsmotor er konstruert for produksjon i tynnplate. Produksjonsmetoden er kostnadseffektiv selv ved lavere serier. Ved bruk av Solidworks Costing ble det kalkulert en enhetskostnad på NOK 135 ved bruk av AISI 304 (EN 1.4301 1D) 3mm tynnplate. Produksjonstegning for motorbrakketen kan sees som vedlegg under 16.1, nummer 8.

11.4.4 Tind og monterings-skive

Produksjon av tinder krever spesialverktøy og det vil være hensiktsmessig å bruke en bedrift som spesialiserer seg på dette. Et anbud ble derfor hentet inn som ga en enhetskostnad på NOK 69. Produksjonstegning for tinden kan sees som vedlegg under 16.1, nummer 13.

Skiven som brukes til å montere tinden til aluminiumsprofilen må også produseres. Som nevnt i prototype og testfasen gjorde en noe myk skive at tinden ble lås bedre fast. Til prototypene ble 3D-skrevet ABS plast brukt. Denne produksjonsmetoden fungerte bra under testing og ingen av skivene ble ødelagt, selv etter gjentatt montering og demontering.

I utgangspunktet er ikke 3D-printing egnet til produksjon av store serier. I noen tilfeller kan man derimot spare store summer og tid, sammenliknet med for eksempel sprøytstøping. Skivene er små og enkle å produsere på en 3D-skriver, noe som reduserer de negative sidene. Ved bruk av en standard FDM [68] 3D-skriver [58] tar det omtrent 3 min å produsere en skive med materialkostnad på NOK 0,243. Skivene produseres da med 100% innfyll av plast. Prisen er uten strøm og maskinkostnad ved bruk av ABS med kilopris på NOK 200 [59]. En serie på 100 produserte verktøy med 23 tinder per enhet, totalt 2300 skiver, vil da ta 115 timer å produsere. Produksjonstiden ansees som rimelig tidsbruk med hensyn til lav produksjonskostnad. 3D-printede skiver ved hjelp av FDM-skriver vil samlet sett være den beste produksjonsmetoden ved en serie på 100 verktøy.

Til sammenlikning ble «Solidworks Costing» brukt til å undersøke produksjon av platene ved hjelp av sprøytstøping. Enhetskostnaden endte da på NOK 60,72. Støpeformen er grunnen til den høye prisen da denne er svært kostbar å produsere. For å kunne rettferdiggjøre og investere i støpeform må derfor produksjonsantallet være betydelig høyere. Produksjonstegning for monterings-skiven kan sees som vedlegg under 16.1, nummer 11.

11.4.5 Utslagsmotor

Utslagsmotoren er omtalt i kapittel 11.2.1 og vil bli kjøpt inn fra produsent [45]. Motorens pris på NOK 350, er hentet inn fra produsent uten frakt og avgifter.

11.4.6 Deksel og montering

Bilens deksel skal produseres av ABS-plast. Det er her mulig å produsere med både sprøytstøping og vakuumforming [66]. Produksjon av støpeform for sprøytstøping vil resultere i store kostnader og utelukkes derfor ved lave produksjonsserier. Produksjonstegning for karosseri kan sees som vedlegg under 16.1, nummer 03.

Kostnad for produksjon av karosseri ved hjelp av vakuumforming ble basert på Solidworks «Costing» analyse, samt innhenting av anbud fra produksjonsbedrift [67]. Enhetskostnaden endte da på NOK 366 ved produksjon av 100 enheter.

Festene for montering av karosseriet kan produseres i plast. Ved en serie på 100 redskaper må det produseres totalt 400 enheter, 4 per bil. Solidworks «Costing» ble brukt for å undersøke kostnad for produksjon ved bruk av sprøytstøping. Enhetskostnad kom da på NOK 174,8 ved bruk av ABS plast. I liket med festene for tindene er det her mulig å produsere ved hjelp av FDM 3D-skriver [68]. Enhetskostnaden ender da på NOK 0,72 kr ved bruk av ABS plast. Hver del tar omtrent 9 minutter å produsere. For 400 enheter tar det da omtrent 7 timer for produksjon, noe som ansees som rimelig tidsbruk med hensyn til lav produksjonskostnad. 3D-skriver produksjon av fester for karosseri er derfor den foretrukne produksjonsmetoden. Produksjonstegning for dekselmontering kan sees som vedlegg under 16.1, nummer 12.

11.4.7 Øvrige konstruerte deler

De gjenværende delene som utslagsarm, hengerfeste (lager-holder), rammefeste til bil, stangholder slepefeste og utslagsstang feste er alle konstruert av 6061 aluminium. Egnede produksjonsmetode for samtlige deler vil være CNC-maskinering. Produksjonstegninger for delene kan sees som vedlegg under 16.1.

For å øke levetiden til aluminiumet vil det bli anodisert [49]. Prosessen gir en hard overflate som tåler slag og fukt. Anodiseringen bør ha en tykkelse på minimum 25 μm for å kunne tåle utendørs bruk og slitasje [60]. Det er også mulig å gi aluminiumet farge, men det vil ikke forbedre slitestyrken og motstandsdyktighet ovenfor korrosjon. Aluminiumets naturlige farge velges derfor.

Solidworks «Costing» ble brukt for å gjøre et overslag på produksjonskostnad ved en serie på 100 enheter med aluminium 6061 med anodisert overflate, tabell 11.1.

Del	Behov pr. enhet	Pris produksjon (NOK)	Pris materialer (NOK)	Pris Totalt (NOK)
Utslagsarm	1	196,2	16,1	212,3
Hengerfeste A	1	130,7	6,1	136,7
Hengerfeste B	1	128,6	18,1	146,6
Slepefeste stangholder	1	173,5	25,7	199,2
Feste utslangsstang	1	132,0	14,4	146,4
Rammefeste til bil	2	127,4	9,3	136,7
Tind	23	60	9	69
Tind skive	23	-	0,243	0,243
Deksel	1	288	78	366
Deksel montering	4	-	0,72	0,72

Tabell 11.1 Produksjonskostnader for konstruerte deler.

11.4.8 Samlet kostnad for ugressverktøy

Samlet komponentkostnadd vises i tabell 11.2. Monteringskostnader er ikke tatt med.

Delegruppe	Totalpris pr. delegruppe (NOK)
Harv	5095,9
Monteringsramme	993,8
Slepefeste	265,6
Utslagsmekanisme	742,1
Totalsum	7097,3

Tabell 11.2 Kostnadsoversikt for ugressverktøy

I kostnadsoverslaget er det ikke tatt med kostnad knyttet til utvikling. I prosjektet er det ikke loggført timer brukt på arbeidet. Utviklingskostnaden er derfor basert på NMBUs arbeidsmengde-anslag på 750 timer, for 30 poengs masteroppgave [8]. Timepris er satt til NOK 400, basert på Teknas lønnsstatistikk for ingeniører med mastergrad [61]. Antall produserte enheter er også her satt til 100 enheter. Samlet utviklingskostnad, uten materiell blir da NOK 300 000. Per enhet blir det da NOK 3000 i utviklingskostnad. Enhetskostnaden inkludert utvikling ender da på NOK 10 097. Det antas at den ferdige roboten, med autonom styring vil få en kostpris på rundt NOK 30 000.

11.5 Livsløpsanalyse

En livsløpsanalyse (LCA) ble gjort ved hjelp av Solidworks «Sustainability». Analysen ble utført på det utviklede harv-redskapet uten strømkilde. Parameterne som ble brukt var 10 års levetid, 10 års brukstid og 100 W/Time. Ut fra vekstperiode ble brukstiden satt til 3 måneder i året og 12 timer om dagen. Det resulterer i et årlig strømforbruk på 108kWh. Området for produksjon og bruk ble satt til Europa. 70% av materialene ble satt til resirkulering, 15% til forbrenning og 15% til deponi. Det er noe usikkerhet bak denne fordelingen: Da konstruksjonen er enkel å demontere og består av materialer med gode resirkulerings egenskaper, ansees anslaget som konservativt. Den satte levetiden forutsetter bytte av slitedeler som lager og tinder. Metoden som er valgt for livsløpsanalysen er CML [62]. Resultatene fra analysen vise på figur 11.27.

Carbon Footprint



3700 kg CO_{2e}

Material:	480 kg CO _{2e}
Manufacturing:	2600 kg CO _{2e}
Use:	620 kg CO _{2e}
Transportation:	8.8 kg CO _{2e}
End of Life:	2.3 kg CO _{2e}

Total Energy Consumed



5.5E+4 MJ

Material:	6200 MJ
Manufacturing:	3.7E+4 MJ
Use:	1.2E+4 MJ
Transportation:	120 MJ
End of Life:	1.8 MJ

Air Acidification



34 kg SO_{2e}

Material:	2.9 kg SO _{2e}
Manufacturing:	27 kg SO _{2e}
Use:	4.2 kg SO _{2e}
Transportation:	0.105 kg SO _{2e}
End of Life:	1.5E-3 kg SO _{2e}

Water Eutrophication



1.5 kg PO_{4e}

Material:	0.312 kg PO _{4e}
Manufacturing:	1.0 kg PO _{4e}
Use:	0.152 kg PO _{4e}
Transportation:	0.014 kg PO _{4e}
End of Life:	1.7E-3 kg PO _{4e}

Figur 11.27 LCA resultater.

Komponentene med størst bidrag til miljøpåvirkning vises på figur 11.28. Motoren er utelatt da det ikke foreligger dokumentasjon for miljøpåvirkning på denne. Materialet 6061 aluminium som er valgt for produksjon av aluminiums-delene og profilene har i utgangspunktet ikke noe innhold av resirkulert materialer. Selv om aluminium har gode egenskaper for resirkulering, gjør fraværet av resirkulert materiale at utslaget fra produksjon blir stort for disse komponentene. Aluminiumsprofilene er ferdigproduserte og kan derfor ikke endres. Det er derimot mulig at andre kilder for liknende profiler kan være laget av aluminium med høyre innslag av resirkulert materiale. Den beste måte å påvirke resultatet på er å endre aluminiumslegeringen til en som inneholder mer resirkulert materiale. Aluminiumslegeringen 6061 vil gi god levetid og mulighet til resirkulering ved endt livsløp. Delene som skal produseres av aluminium er også relativt små og den antatte produksjonsserien lav slik at eventuelle utslag blir små.

Komponent	Karbon	Vann	Luft	Energi
Utslagsarm 8mm	43	0.023	0.599	430
Hengerfeste (bil)	49	0.012	0.325	910
Slepekrok holder 8mm	47	0.011	0.317	890
Utslagsstang feste	30	7.2E-3	0.200	560
Deksel montering	5.7	3.1E-3	0.080	57
Monteringsplate motor	2.3	8.2E-3	9.4E-3	25

Figur 11.28 Topp fem bidrag til miljøpåvirkning.

11.6 Overholdelse av regelverk og HMS

Da roboten vil bli brukt i landbruket til matproduksjon er det viktig at komponentene som brukes samsvarer med krav om bruk av materialer som ikke er helsefarlige. Under utviklingen av redskapet er det valgt materialer som vil forurense miljøet roboten skal brukes i minimalt. For eksempel metaller med god korrosjonsmotstand og lagre som er beregnet til bruk av til matproduksjon [52][53]. Siden roboten vil drives av elektrisk energi, vil den i seg selv ikke ha noe form for lokalt utslipp.

Hvilke lover og forskrifter som vil gjelde for bruk av roboten vil avhenge av endelig utforming og styringssystem. Det er vanskelig å gjøre vurderinger på dette området uten å vite hvordan robotens endelige utforming, virkemåte og styring vil være. Det er derfor ikke gått inn på hvilke lover og forskrifter det ferdige produktet må overholde.

12 Nullserie produksjon og markeds lansering

12.1 Nullserie

Da noen av komponentene som ble brukt i prototypingen er skiftet ut på den endelige konstruksjonen, vil det være nødvendig å gjøre en nullserie med endelig konfigurasjon. Nullserien vil brukes til testing hos potensielle brukere i det naturlige bruksmiljøet. Det må her påberegnes å gjøre mindre endringer for å etterkomme eventuelle mangler som kommer frem ved testing. Nullserien er siste steg før endelig produksjon og derfor siste mulighet til å gjøre endringer. Det vil være naturlig å gjennomføre nullserien først når den autonome delen av roboten også er ferdig utviklet, slik at man får en mest mulig komplett test.

12.2 Markeds lansering

Plan for lansering på markedet vil være mest hensiktsmessig å utarbeide etter at den komplette autonome roboten er utviklet. Endelig produksjonskostnad vil påvirke utsalgspris og er sentral for fremlegging av plan for lansering på markedet. Det er derfor ikke gjort noe forslag eller anbefalinger for lansering av kun ugressverktøyet på markedet.

«Urobot» er brukt som arbeidsnavn og er et forslag til mulig navn ved lansering. Navnet består av «Ura» som er en versjon av «ugras» og «bot» som er en forkortning av «robot». På figur 12.1 kan det sees et forslag til logo for «urabot».



Figur 12.1 Forslag til «Urobot» logo.

13 Analyse av levetidsslutt «End of life»

Levetidsslutt er til dels diskutert i kapittel 11.5 «Livsløpsanalyse». Det er inkludert noen detaljer og tillegg for å skissere en noe mer omfattende plan for produktet ved endt levetid. Da ugressverktøyet kun er en del av roboten, vil løsningene for endt levetid endres avhengig av robotens endelige konfigurasjon.

Aluminium utgjør en betydelig del av konstruksjonen. Aluminium har utmerkede gjenvinningsegenskaper [69]. Gjenvinning av aluminium krever opptil 95% mindre energi sammenlignet med å produsere det fra grunnen av. Aluminium beholder også sine egenskaper gjennom flere gjenvinningssykluser [69]. For å bevare spesifikke legeringsegenskaper, er det viktig å skille ulike legeringer. Både monteringsrammen og harven er satt sammen ved hjelp av skruer. Det er derfor enkelt å demontere og skille de ulike delene fra hverandre. Gjenvinning av samtlige aluminiums komponenter vil være den beste løsningen for endt levetid.

For deler laget av stål gjelder mange av de samme hensynene som med aluminium. Delene som er laget av stål er skruer, muttere, stålrør og festebraketter. Det er utelukkende brukt AISI 304 stål (EN 1.4301), det vil derfor ikke oppstå blanding av legeringer. AISI 304 kan gjenbrukes opptil åtte ganger, som er med på å senke fremtidig miljøpåvirkning [63].

Plastkomponenter har også gode gjenvinningsegenskaper. Deler laget av ABS-plast kan gjenvinnes med minimal tap av kvalitet [64], som gjør den til en attraktiv løsning for å redusere miljøpåvirkningen av avfall. Delene laget av ABS-plast er profildeksler, bilens deksel og monteringen av dekslet.

Lagrene som er brukt er produsert av Igus. Polymerene som blir brukt i deres produkter har spesifikke sammensetninger som gjør at de ikke egner seg til resirkulering sammen med tradisjonell plast [65]. For å unngå at deres produkter brennes eller går til deponi har Igus et eget resirkuleringsprogram [65]. På denne måten vil lagrene kunne gjenbrukes til produksjon av nye lagre.

14 Prosessevaluering og diskusjon

14.1 Evaluering

Det er gjort en evaluering og drøfting på de plassene i prosessen hvor det har oppstått problemer og utfordringer. Hensikten er å evaluere både prosessen, produktet og identifisere mulige områder for forbedring.

Testingen på kunstige ugress var nødvendig som følge av årstiden prosjektet ble utført på. Det ble her benyttet et innendørs jordbed. Jorden som ble brukt her var av typen Plantasjen Hagejord [7]. Jordtypen er rik på torv og vil i mange tilfeller avvike fra jorden som blir brukt i jordbruket. Denne jordens karakteristikk vil kunne ha påvirket resultater noe. Jordtypen vil derimot uansett variere fra ulike områder og hva som dyrkes. En fordel med jordtypen er at den er lett tilgjengelig slik at det er enklere å sette opp liknende forsøk for andre.

Arbeidet med testing og loggføring av redskapets resultater var mer tidkrevende enn ventet. Selve prosessen med raking, pakking og nedsetting av de kunstige ugressene var svært tidkrevende. Loggføring av resultatet etter kjøring tok også mye tid for å unngå feil i målingene. Loggføringen kunne ikke starte før den endelige konstruksjonen var bortimot ferdigstilt. Dette førte til at testingen ble gjort på slutten av prosjektperioden. Under testing av redskapet var det også her nødvendig å gjøre justeringer på konstruksjonen. Justering av parametere og endring av harvkonstruksjonen var også tidkrevende. Spesielt da det kun var ett sett med tinder som måtte byttes frem og tilbake mellom de ulike harvene. For å få mer stabilitet og datagrunnlag i målingene vil det være nødvendig å utføre mer testing.

Valg av parametere og innstillinger for de ulike harvene ble gjort noe usammenhengende. Terrateck harven har en tindeavstand på 20mm, og denne ble derfor også brukt på en av aluminiums-harvene. Tindeantallet på Terrateck-harven var 20, og 23 på aluminiums-harven. Dette gjorde at det ble litt vanskeligere å sammenlikne resultatene uten å gjøre de om til måling per tind. Dette er ikke et stort problem, men det ville vært mer naturlig å velge likt tindeantall. Når det kommer til harvens andre spesifikasjoner som utslags-hastighet og størrelse finnes det uendelige kombinasjoner. Det var derfor nødvendig å ta et valg. Det kunne med fordel vært gjort mindre inndelinger av disse parameterne, men det ble ikke gjort, med bakgrunn av tidsbruken dette ville medført.

Det ble som beskrevet i rapporten, startet med enkle prototyper for å se hvordan de ulike ideene fungerte i praksis. De enkle prototypene ble så brukt til testing med og uten bil. I tilfellet for harven med utslag og fast ramme var resultatene gode under testing med den enkle prototypen. Det ble derfor besluttet å gå videre med denne løsningen til en mer komplett prototype. Ved ferdigstilling av denne viste det seg at mekanismen ikke fungerte som ønskelig. Tiden som ble brukt på denne blindveien skulle helst vært unngått. Bedre testing med den enkle prototypen burde derfor vært gjort.

Bruken av aluminiumsprofiler gjorde fremstilling av prototyper mye enklere og raskere. Prototypingen ble i starten av prosjektet gjort ved hjelp av tre. Dette gjorde det mer tidkrevende å gjøre endringer, samt at sammenstillingen var mer upresis. Særlig var bruk av aluminiums profilene nyttige til montering på bilen da det her var behov for å kunne justere hvor utslagsmotoren var montert. Bruken av aluminiumsprofiler burde derfor vært gjort på et tidligere tidspunkt. Når det kommer til utslagsmotoren ble en vanlig drill brukt i tidlig prototyping. Senere ble det anskaffet en viskermotor. Dette burde blitt gjort på et tidligere tidspunkt da den i høy grad forenklet justering av hastighet, utslag og montering.

Testingen av kraft og strømforbruk ga nyttige data. Et problem som oppstod var at det ikke var mulig å montere kraftloggeren mellom slepepunktet og harven. Tester for kraft ble derfor ikke gjort med utslag. Det kunne derimot vært mulig å gjøre logging av strømforbruk under ugressstesting. Dette ville gitt data som var mer direkte knyttet til hver harvs konfigurasjon. Det ble istedenfor gjort testing av energiforbruk og på kunstige ugress hver for seg. Resultatene ble så ført sammen på best mulig måte. Dette vil nok føre til noen avvik. Bakgrunnen for at strømlogging ikke ble gjort under testing på kunstig ugress, var at loggeren ble tilgjengelig en tid etter at testingen var begynt. Loggeren var også noe ustabil, slik at resultatene til tider ikke ble lagret. Dette sammen med at det var mange løse ledninger på loggeren, gjorde at det ikke var hensiktsmessig å gjøre strømmålinger under testing på kunstige ugress.

Mekanismen som kan løfte haven opp av bakken med et rullende hjul ble ikke ferdigstilt. Det ble derimot gjort noen tester for å se hvordan harven oppførtes seg under løft med tanke på innfestingen. Dette ga gode resultater, men en komplett prototype ble ikke fremstilt. En videre utvikling på dette feltet vil være naturlig for å kunne bygge og kjøre uten at harven er aktivert.

Komponenter og deler ble i stor grad hentet fra McMaster [46]. Dette er en amerikansk leverandør som har en bred katalog. Redskapets kostnad ble også basert på McMaster sine priser. Det vil her være naturlig å velge en mer lokal produsent eller leverandør for å spare unødvendig frakt og kostnad knytte til dette. Asiatiske, som vel som europeiske leverandører, vil være mer egnet for større produksjonsserier. Ved valg av andre leverandører vil man i også i større grad kunne velge hvilke materialer komponentene skal produseres av. For eksempel bruk av aluminium med større innhold av resirkulert metall.

14.2 Sluttdrøfting

Gjennom arbeidet med utviklingen av ugressredskapet har tilegnet kunnskap fra studiet blitt brukt. Ny kunnskap har også blitt tilegnet, spesielt innen økologisk jordbruk og hvilke metoder og hensyn man må ta her. Metoder, verktøy og teknikker fra studiet er brukt for å gjøre prosessen mest mulig effektiv. På denne måten er best mulig resultat oppnådd i løpet av den tilgjengelige tiden.

Arbeidet startet med krav og ønsker for redskapet, gitt av oppdragsgiver. Lang driftstid, elektrisk drift, god effektivitet, holdbare løsninger, lave kostnader for drift og produksjon stod i sentrum. Redskapet skulle passe inn i økologisk landbruk hvor disse verdiene er sentrale.

Under utviklingen av ugressredskapet var det mange mulige veier å gå når det kommer til valg av metode for fjerning av ugress. Undersøkelser av hvilke løsninger som brukes på tradisjonelle traktorer var derfor viktig for å få et bilde av hva som kunne passe roboten og ikke. Utforskningen av ulike muligheter ble tidlig kombinert med enkel testing for å se hvordan metodene egnet seg for mindre skala. Dette var svært nyttig da det ikke alltid er lett å forestille seg hvordan noe vil oppføre seg i virkeligheten. En løsning basert på harvende tinder ble valgt på bakgrunn av holdbarhet, kompleksitet og effektivitet. Det ble også vurdert om et utslag på harven kunne ha en positiv innvirkning på effektiviteten. Denne tanken var spennende og ble tatt med videre i utviklingen.

Konstruksjonen av utslagsmekanismen bød også på mange mulige veier til målet. Når man som ingeniør skal utvikle noe, er det ofte fristende å gå for løsninger hvor deler kun kan bevege seg i en retning og kun dit man vil. I prosjektets tilfelle så er bilen som brukes som trekkverktøy svært liten og lett. Dette gjør at dersom man ønsker å ha et verktøy som beveger seg på noen måte, så overføres denne bevegelsen fort til bilen. Noe som gjør det vanskelig og uberegnelig å styre bilen. Dette er ugunstig, spesielt med tanke på om man skal kunne styre den autonomt. Eventuelle humper og hindringer på bakken vil også ha samme effekt på bilen.

For å motvirke denne effekten var det derfor nødvendig å finne en løsning for overføring av utslaget og montering av harven til bilen, som ikke har en helt låst bevegelse. Verktøyets egne bevegelse og eventuelle hindringer vil da ha mindre innvirkning på bilens stabilitet. På den andre siden, kan man heller ikke ha et verktøy som har ubegrenset bevegelsesfrihet. Da vil verktøyet kunne låse seg fast til en stilling og/eller få bevegelser som er utenfor området man ønsker å bearbeide. Det var derfor viktig å finne en metode for innfestning som tillater mindre utslag og bevegelser innenfor der man ønsker at verktøyet skal være. Kuleleddet med tørt lager viste seg å være en løsning som ga tilstrekkelig slingring i konstruksjonen uten at det ble for løst.

Utslagsmekanismen viste seg å ha god innvirkning på resultatet under testing. Utslagsmekanismen ga en prosentvis økning i døde ugress på rundt 10% i forhold til energiforbruket. Foruten denne økningen i målt effektivitet, ble det visuelt observert at harven dekket en større del av arealet den kjørte over ved bruk av utslaget. Noe som bør ha positiv innvirkning på ugressverktøyets effektivitet. Resultatet fra testingen vil derimot kunne avvike fra hvilke resultater som oppnås ved bruk i naturlige omgivelser.

Valg av tinder var et spørsmål som kom tidlig opp i utviklingen. Tindende utgjør en liten men sentral del av harvens funksjon. Det ble gjort forsøk på å utforme egne tinder av både myk og herdet ståltråd. Produksjon av fjærer krever derimot spesielle verktøy for å oppnå god presisjon og ønsket sluttresultat. Disse tindene ga derimot intet resultat i form av økt effektivitet. Tindene som var montert på Terrateck-harven ble derfor brukt videre. Dersom det hadde vært mer tid tilgjengelig ville det vært interessant å gjøre endringer på tindene for å se hva slags utslag som kan oppnås. Særlig med tanke på vinkel, tykkelse og stivhet.

Det utviklede redskapet gir sammenliknet med Terrateck-harven, en rekke fordeler når det kommer til mulighetene for tilpasning og effektivitet. Det vil være mulig for å brukeren å tilpasse antall tinder og avstanden mellom de uten å være begrenset av monteringshull. Det vil også være mulig å tilpasse produksjonen, slik at man kan lage harver som er både større og mindre enn størrelsen som er konstruert i prosjektet.

Aluminiums-harven har mulighet for montering av tre rader med tinder og bortimot hele harvens bredde kan brukes til montering av tinder. Til tross for dette er aluminiums-harven lettere enn Terrateck-harven. Vektbesparelsen kan enten brukes til å spare energi, eller det er mulig å montere batterier på harven for å arbeide dypere i jorden.

Robotens driftstid ble regnet ut til rundt 30 minutter med originalt batteri, noe som i utgangspunktet er en kort driftstid per opplading. Det er her viktig å legge til at bilens originale batteri er lite og ikke beregnet til å trekke og drive annet enn bilen. Ved videre utvikling av en komplett robot vil det være naturlig å øke batteriets størrelse for betydelig bedre rekkevidde. Løsninger for automatisk opplading og eventuelt automatisk bytte av batteri vil også øke opptiden til roboten.

Prosjektarbeidet har hatt god fremgang gjennom hele perioden. Det er derimot noe ting som kunne vært gjort annerledes. Oppstart av testing og loggføring fant sted mot slutten av perioden for arbeidet. Det kunne her vært bedre tid til å utføre tester med variasjon av flere variabler. Testingen tok lengere tid enn ventet, slik at noe av tiden beregnet til bruk på rapportering og endelig ferdigstilling gikk bort til dette. Det er ikke så mye man kunne gjort annerledes enn å få ferdigstilt en testbar prototype på et tidligere tidspunkt. Loggføring av redskapets effektivitet med måling av strøm underveis er også noe som kunne forbedret datainnhenting. Dette er drøftet tidligere, men det handler også her om at prosessen for testing var tidkrevende og at innføring av strømlogging ville ført til ytterligere tidsbruk. Ferdigstilling og testing av løftemekanismen for harven ville også vært positivt. Siden harvens form og sammensetning endret form underveis ble noen løsninger for løfting forkastet. Løsningen som er inkludert i rapporten som et forslag, kom mot slutten av utviklingsperioden hvor testing og loggføring ble begynt. Innhenting av komponenter for å kunne teste en slik prototype ville i seg selv også tatt noe tid. Tiden strakk derfor ikke til for å utvikle en fullt testbar prototype for løfte-mekanismen.

Siden utviklingen av redskapet kun er en del av den komplette roboten, vil det være naturlig at det gjenstår arbeid knyttet til utviklingen av den autonome og elektriske delen. Komponentene og løsningene knyttet til ugressverkøyet behøver testing med endelig konfigurasjon før produksjon. Målene for prosjektet er nådd og samlet sett så utgjør arbeidet en god start for videre utvikling av den komplette autonome ugressroboten.

14.3 Konklusjon

Ugressverktøyet som skal brukes med autonom robot, er utviklet med mål om å fjerne ugress uten bruk av plantevernmidler. Ved å gå for en lett og liten elektrisk robot er det mulig for brukeren å øke sin effektivitet, uten at det krever mer menneskelig arbeidskraft. Løsningen vil kunne spare brukeren for kostnader som følge av dette. Den ferdige roboten vil også kunne spare miljøet fra utslipp som følge av forbrenning, samt at det lokale utslippet som normalt kommer i kontakt med kulturvekstene elimineres. God driftstid og lavt energiforbruk er en sentral del av filosofien bak roboten. Roboten kan også med fordel brukes i sverm for å øke kapasiteten og effektiviteten ytterligere.

Valg av metoden for fjerning av ugresset er gjort på bakgrunn av litteraturgransking, markedsanalyse, prototyping og testing. Harvløsningen med utslag ble valgt som en enkel, energieffektiv, holdbar og effektiv metode. Harven ble utviklet med hensyn til bilens dimensjoner med fokus på lav vekt. I tillegg til utvikling av selve redskapet med utslagsmekanisme, er det også konstruert en monteringsramme for montering til bilen. Et forslag til mulig løsning av deksel for beskyttelse mot regn, sol og støv er konstruert. Samt et forslag til løsning for løftmekanisme for harven. Testing av prototyper i innendørs jordbed er brukt som metode for dimensjonering og konstruksjon av redskapet. Materialer og komponenter er valgt med hensyn til lavt energiforbruk, miljøhensyn og levetid med mulighet for utbytting av slitedeler.

I utviklingen er det fokusert på modulære løsninger som gjør redskapet mulig å tilpasse, både under produksjon og for sluttbruker. De modulære løsningene og designvalgene gjør det også enkelt for brukeren å reparere og bytte ut slitte deler ved behov. På denne måten vil redskapetets levetid forlenges, og miljøavtrykket blir lavere. Ved endt levetid bidrar løsningene til at det er mulig å skille samtlige komponenter fra hverandre, som forenkler og bedrer mulighetene for resirkulering betraktelig.

Testing av parametere som utslagshastighet, utslagsstørrelse og kjørehastighet er en sentral del av arbeidet i prosjektet. Hensikten med testingen er å kartlegge robotens optimale innstillinger for best mulig effektivitet. Det ble brukt kunstige ugress i form av golf-pegger i innendørs jordbed. Metoden for testing gir en god indikasjon på hvordan roboten vil fungere i naturlige omgivelser. Ved bruk av kunstige ugress var det også mulig å utføre flere tester på kortere tid, sammenliknet med om man skulle dyrket ugress til formålet.

Det er produsert produksjonstegninger og «renderinger» basert på 3D-modellene laget i Solidworks. Solidworks funksjoner som «Costing» og «Sustainability» er brukt i utviklingen for å kartlegge henholdsvis kostnader knyttet til produksjon og hvilke faktorer som har innvirkning på komponentenes miljøpåvirkning. Forslag til produksjonsmetode for de konstruerte delene, er også gjort ved hjelp av Solidworks. Redskapetets utforming er basert på hvilken funksjon som skal oppnås og i liten grad utseende.

I prosjektet er det blitt utviklet og testet et ugress-verktøy til bruk på autonom robot. Hovedmålet er oppfylt etter de krav og ønsker som er gitt fra oppdragsgiver. Det resulterende produktet utfører arbeidet med fjerning av ugress på en effektiv og miljøvennlig måte. Prosessen er dokumentert ved hjelp av bilder, tabeller, tekniske tegninger, DAK-modeller og tekst.



14.4 Videre arbeid og anbefalinger

Da utviklingen av ugressverktøyet kun er en del av den komplette autonome roboten, vil det være naturlig at det gjenstår arbeid knyttet til utvikling med å gjøre bilen til en autonom robot. Det er gjort noen anbefalinger som det bør sees nærmere på ved den videre utviklingen.

Variasjon av vekt plassering kan være med på å gi bilen bedre grep og øke effektiviteten. Det kan være aktuelt å bruke vekter til denne jobben, men bruk av batterier som vekter vil være mer energi-økonomisk. Man kan da plassere flere mindre batterier der hvor det behøves, for å skape mer trykk mot jorden.

Bruk av solceller for å forlenge driftstiden er en løsning som er blitt brukt på flere andre autonome roboter. En tynn og lett solcelle vil kunne øke driftstiden på en effektiv måte uten at det er en stor kostnad. Man kan da også bruke solcellen som en del av dekslet som beskytter roboten. En annen mulighet er å montere en solcelle over selve harven for å bruke vekten til å øke trykket mot jorden.

Da roboten utsettes for lave påkjenninger i forhold til dimensjonen som er brukt i konstruksjonen, vil de fleste typer materialer ha tilstrekkelig styrke. Det kan derfor være aktuelt å endre på materialvalg for noen av komponentene slik at de har et høyere innhold av resirkulert materiale. Dette gjelder særlig aluminiumsprofilene da de utgjør mest masse av materialene som er brukt.

Valg av utslagsmotor som er brukt i den endelige konfigurasjonen er som nevnt et forslag. Motoren må tilpasses strømkilden som skal brukes for de andre delene av roboten. Det vil være hensiktsmessig å samle alle strømkildene til ett batteri. Ved bruk av ett felles batteri blir oppsettet enklere og bytte av batteri vil gå raskere.

15 Referanser

Kilder:

1. Plantevernpreparater tillatt i økologisk landbruk. <https://www.agropub.no/fagartikler/plantevernpreparater-tillatt-i-okologisk-landbruk> [Brukt 10.03.2024]
2. Plantevern i økologisk landbruk, Bind 2 - Grønnsaker og potet. www.plantevernleksikonet.no [Brukt fra 10.04.2024 - 25.04.2024]
3. Den industrielle revolusjon – Store norske leksikon. <https://snl.no/denindustriellerevolusjon> [Brukt 12.04.2024]
4. Capabilities. <https://www.agrobot.com/> [Brukt 12.04.2024]
5. Ingen enkle og varige tiltak mot jordpakking. <https://www.nibio.no/nyheter/ingen-enkle-og-varige-tiltak-mot-jordpakking> [Brukt 20.04.2024]
6. Traxxas TRX-4, radiostyrt bil. <https://traxxas.com/products/landing/trx-4/> [Brukt 15.04.2024]
7. Plantejord. <https://www.plantasjen.no/plantejord> [Brukt 20.04.2024]
8. NMBUs sider om gradsoppgave. <https://www.nmbu.no/emne/m30-ds> [Brukt 29.03.2024]
9. Kilter AX-1 - Future Farming. <https://www.futurefarming.com/kilter-ax-1-detects-and-eliminates-weeds/> [Brukt 23.03.2024]
10. Kilter AX-1 — Kilter. <https://www.kiltersystems.com/ax1> [Brukt 23.03.2024]
11. Plantevernmidler – Store norske leksikon. <https://snl.no/plantevernmidler> [Brukt 24.03.2024]
12. Orio - Naïo Technologies. <https://www.naio-technologies.com/en/orio-is-the-most-versatile-tool-carrier/> [Brukt 24.03.2024]
13. Naïo Orio - Future Farming. <https://www.futurefarming.com/naio-orio/> [Brukt 24.03.2024]
14. Weighing The Viability of an Autonomous Future. <https://www.farm-equipment.com/articles/20997-weighing-the-viability-of-an-autonomous-future> [Brukt 24.03.2024]
15. Oz - Naïo Technologies. <https://www.naio-technologies.com/en/oz/> [Brukt 25.03.2024]
16. Naïo Oz - Future Farming. <https://www.futurefarming.com/naio-oz-mechanical-weeding-robot-and-farmhand/> [Brukt 25.03.2024]
17. Naïo Oz - Future Farming. <https://www.futurefarming.com/naio-oz-mechanical-weeding-robot-and-farmhand/> [Brukt 25.03.2024]
18. FarmDroid FD20 - Future Farming. <https://www.futurefarming.com/farmdroid-fd20-automatic-seeding-and-weeding/> [Brukt 25.03.2024]
19. Farmdroid FD20 – FarmDroid. <https://farmdroid.com/products/farmdroid-fd20/> [Brukt 25.03.2024]
20. Hort demo highlights farmdroid fd20. <https://www3.farmersjournal.ie/machinery/news/hort-demo-highlights-farmdroid-fd20-seed-n-weed-robot-772880> [Brukt 25.03.2024]
21. Ekobot WEAI – Ekobot. <https://www.ekobot.se/products/ekobot-weai/> [Brukt 27.03.2024]

22. Ekobot proves effective in removing weeds in onions. <https://www.futurefarming.com/tech-in-focus/field-robots/ekobot-proves-effective-in-removing-weeds-in-onions/> [Brukt 25.03.2024]
23. Tertill lukerobot. <https://tertill.com/> [Brukt 25.03.2024]
24. Aluminum Extrusion. <https://www.adafruit.com/product/1157> [Lastet ned 20.03.2024]
25. Terrateck harv. <https://www.johnnyseeds.com/tools-supplies/weed-control/tine-weeders/tine-harrow-30%22-7968.html> [Brukt 30.03.2024]
26. Moseriver. <https://www.biltema.no/fritid/hage/hagemaskiner/hagestellmaskiner/mosefjernvertikalskjarer-rs-32--2000040090> [Lastet ned 20.03.2024]
27. Oscillating stirrup hoe. <https://www.terrateck.com/en/houes-pousse-pousse/141-sarclair-oscillant-175mm.html> [Lastet ned 20.04.2024].
28. Delta Wire Hoe. <https://www.johnnyseeds.com/tools-supplies/weed-control/hoes-cultivators/wire/delta-wire-hoe-7945.html> [Lastet ned 20.03.2024].
29. Mechanical weed control highlights. <https://blog-fruit-vegetable-ipm.extension.umn.edu/2019/09/mechanical-weed-control-highlights.html> [Lastet ned 30.03.2024]
30. Pianotråd. <https://no.wikipedia.org/wiki/Pianotr%C3%A5d> [Brukt 02.04.2024]
31. Pianotråd. <https://www.modellers.no/aeronaud/ant773015/pianotr%c3%a5d-1-5x1000mm> [Lastet ned 02.04.2024]
32. PETG-plast. https://en.wikipedia.org/wiki/Polyethylene_terephthalate [Brukt 05.04.2024]
33. TPU-plast. https://en.wikipedia.org/wiki/Thermoplastic_polyurethane [Brukt 05.04.2024]
34. V-sport hjul. <https://www.123-3d.se/Creality3D-Creality-3D-V-slot-hjul-2st-200103001-i2600-t14793.html> [Lastet ned 23.04.2024]
35. Kuleledd. www.alibaba.com [Lastet ned 23.04.2024].
36. Spenningsjusterer. https://en.wikipedia.org/wiki/Buck_converter [Brukt 15.04.2024]
37. Steppermotor. <https://snl.no/steppermotor> [Bruk 20.04.2024]
38. Traxxas belter. <https://www.samirc.no/products/traxxas-8880-traxx-deep-terrain-tracks-complete-set-trx-4> [Brukt 30.03.2024].
39. RC-kontroller. <https://www.spektrumrc.com/> [Brukt 26.03.2024]
40. Vektskiver. <https://sporttema.no/styrke/vektskiver-2530-mm/vektskiver-25-mm-05-kg-50.0.7530.3/730> [Lastet ned 05.04.2024]
41. Turteller. <https://no.wikipedia.org/wiki/Turteller> [Brukt 15.04.2024]
42. Testing a tine weeder with artificial weeds in the controlled conditions of a soil bin. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/wre.12595> [Lastet ned 20.03.2024]
43. Golf-pegger. <https://www.aliexpress.com/item/1005005200712273.html> [Lastet ned 15.04.2024]
44. Lineær funksjon. https://no.wikipedia.org/wiki/Line%C3%A6r_funksjon [Brukt 25.04.2024]
45. Viskermotor. <https://www.skv.pl/en/Parts/19SKV001/?searchString=19SKV001&partGroup=Wiper%20Motor> [Brukt 25.04.2024]

46. McMaster-Carr delekatalog. <https://www.mcmaster.com/> [Brukt 10.02.2024 – 20.04.2024]
47. Aluminium 6061. <https://www.smithmetal.com/pdf/aluminium/6xxx/6061.pdf> [Lastet ned 15.04.2024]
48. Aluminium 6061. <https://www.fergusonperf.com/the-perforating-process/material-information/specialized-aluminum/6061-aluminium-alloy/> [Brukt 15.04.2024]
49. Overflatebehandling av aluminium. https://www.hydro.com/no-NO/aluminium/produkter/ekstruderte-profiler/tjenester/overflatebehandling/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw88yxBhBWEiwA7cm6pWQr_2Kh0ghQb1OkjF9UOStRk96t9vVhXdZXzsh7Tv o-WxtkJfU5BoCS2kQAvD_BwE [Brukt 20.04.2024]
50. Aluminium 6105. <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=8628> [Brukt 15.04.2024]
51. Stålstang. <https://www.mcmaster.com/products/~-/tolerance-rating~tight/?s=~%2Fstainless-steel~%2Fsystem-of-measurement~metric%2Ftight-tolerance-multipurpose-304-stainless-steel%2Fdiameter~8-mm> [Brukt 01.04.2024]
52. Igus igubal lager. https://www.igus.no/product/igubal_KBRM_KBLM?artnr=KBRM-08 [Brukt 05.04.2024]
53. Igus lager. <https://www.igus.com/product/1185?artNr=RJZM-01-08> [Brukt 04.04.2024]
54. AISI 304/A2 (EN 1.4301) stål. <https://www.xometry.com/capabilities/sheet-metal-fabrication/stainless-steel/> [Brukt 23.04.2024].
55. EN 1.4301 (AISI 304) stål. <https://www.agst.de/4301?lang=no> [Brukt 20.04.2024]
56. Fjærmaterialer. <https://www.diamondwire.com/about-springs/spring-material-properties/stainless-steel-wire-springs.html> [Brukt 20.04.2024]
57. Aluminiumsprofil. <https://www.mcmaster.com/products/~/?s=structural-framing%2F-slotted-framing-and-fittings%7E%2F-slotted-framing-rails-4%2F-slotted-framing-rail-profile%7Esingle%2Fsystem-of-measurement%7Emetric%2F%5D> [Brukt 23.04.2024]
58. 3D-skriver. <https://www.prusa3d.com/product/original-prusa-mk4-2/> [Brukt 25.04.2024]
59. ABS-plast. <https://www.prusa3d.com/en/product/black-easyabs-filament-1kg/> [25.04.2024]
60. Overflatebehandling med anodisering. <https://www.alumeco.no/kunnskap-og-teknikk/overflatebehandling/anodisering/> [Brukt 01.05.02.2024]
61. Mastergrad lønn. <https://www.tekna.no/> [Brukt 02.05.2024]
62. CML. <https://oneclicklca.zendes.com/hc/en-us/articles/360015036980-Impact-Assessment-Categories-CML-TRACI-and-PEF> [Brukt 02.05.2024]
63. Resirkulering av stål. <https://www.amardeepsteel.com/blog/SpecificBlog/304-vs-316/difference-between-stainless-steel-304-316-grades.html> [Brukt 03.05.2024]
64. Resirkulering av ABS-plast. <https://www.conserve-energy-future.com/is-abs-plastic-recyclable.php> [Brukt 03.05.2024].



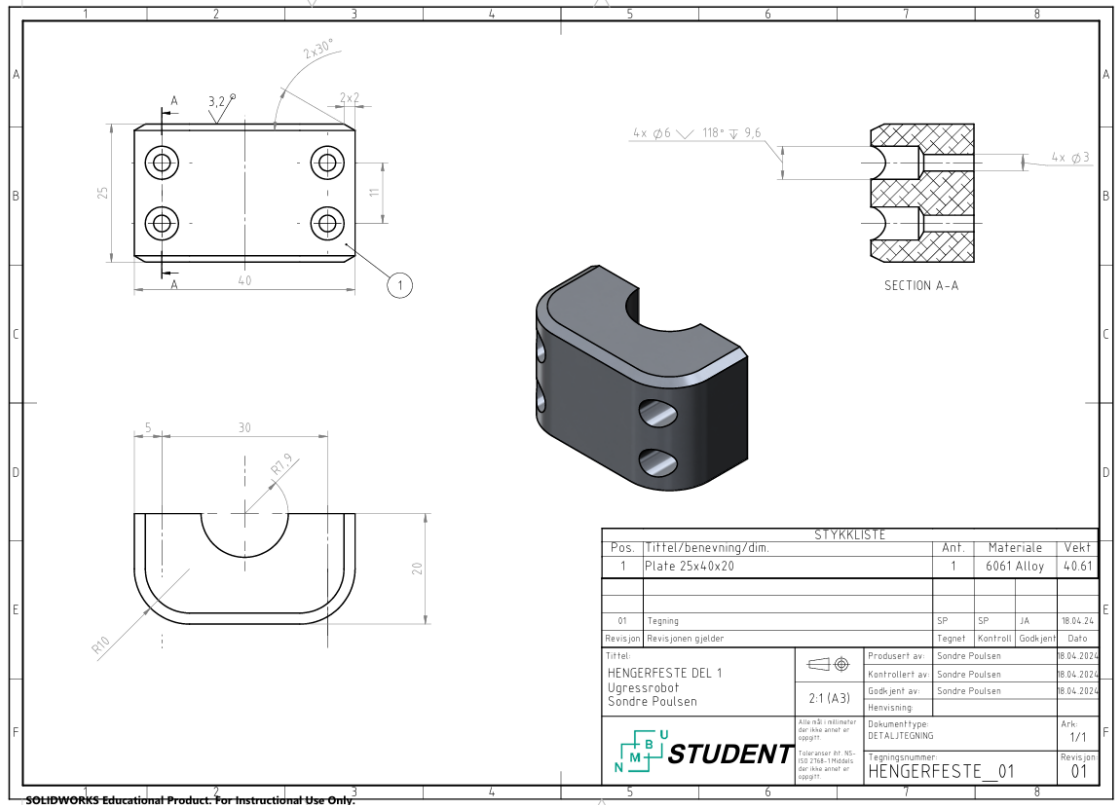
65. Igus resirkulering. <https://www.igus.eu/info/plain-bearings-iglidur-properties> [Brukt 28.04.2024]
66. Vakuumforming – Store norske leksikon. <https://snl.no/vakuumforming> [Brukt 02.05.2024]
67. Injection Molding Service. <https://www.pcbway.com/rapid-prototyping/injection-molding/> [29.04.2024]
68. FDM. <https://www.stratasys.com/en/guide-to-3d-printing/technologies-and-materials/fdm-technology/> [Brukt 29.04.2024]
69. Resirkulering av aluminium. <https://international-aluminium.org/resource/aluminium-recycling-fact-sheet/> [Brukt 02.05.2024]

16 Vedlegg

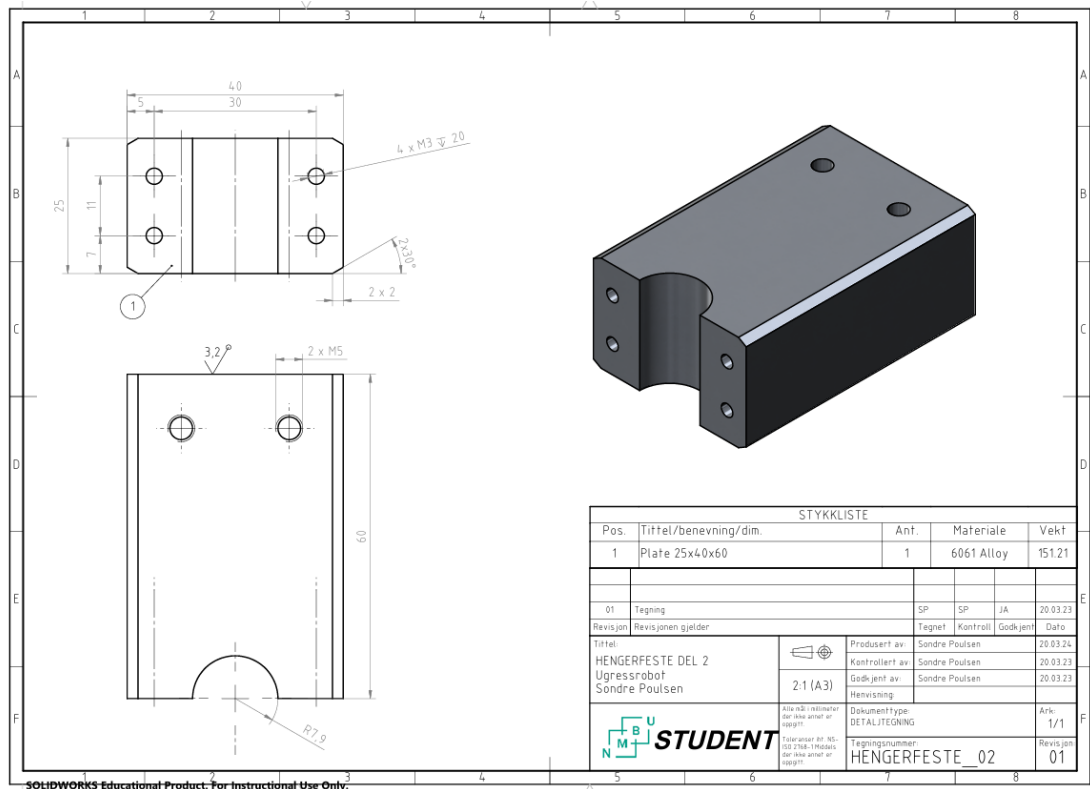
16.1 Produksjonstegninger

Tegning nr. Tittel:

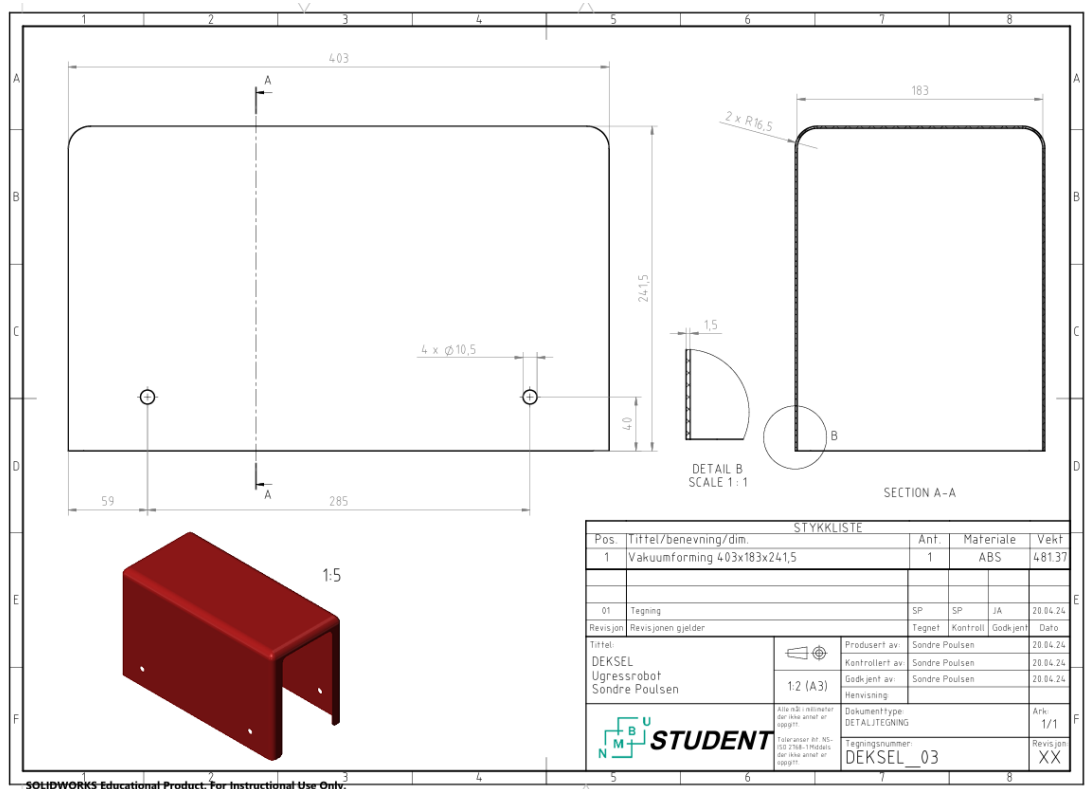
01 Hengerfeste del 1



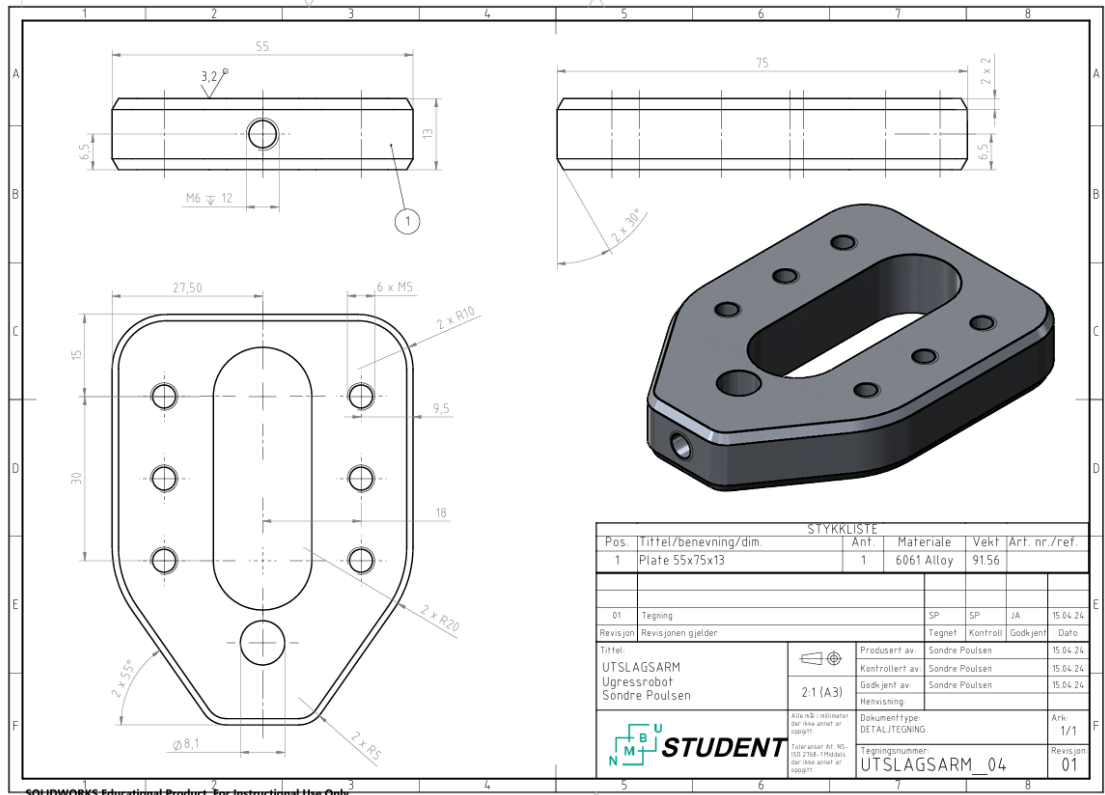
02 Hengerfeste del 2



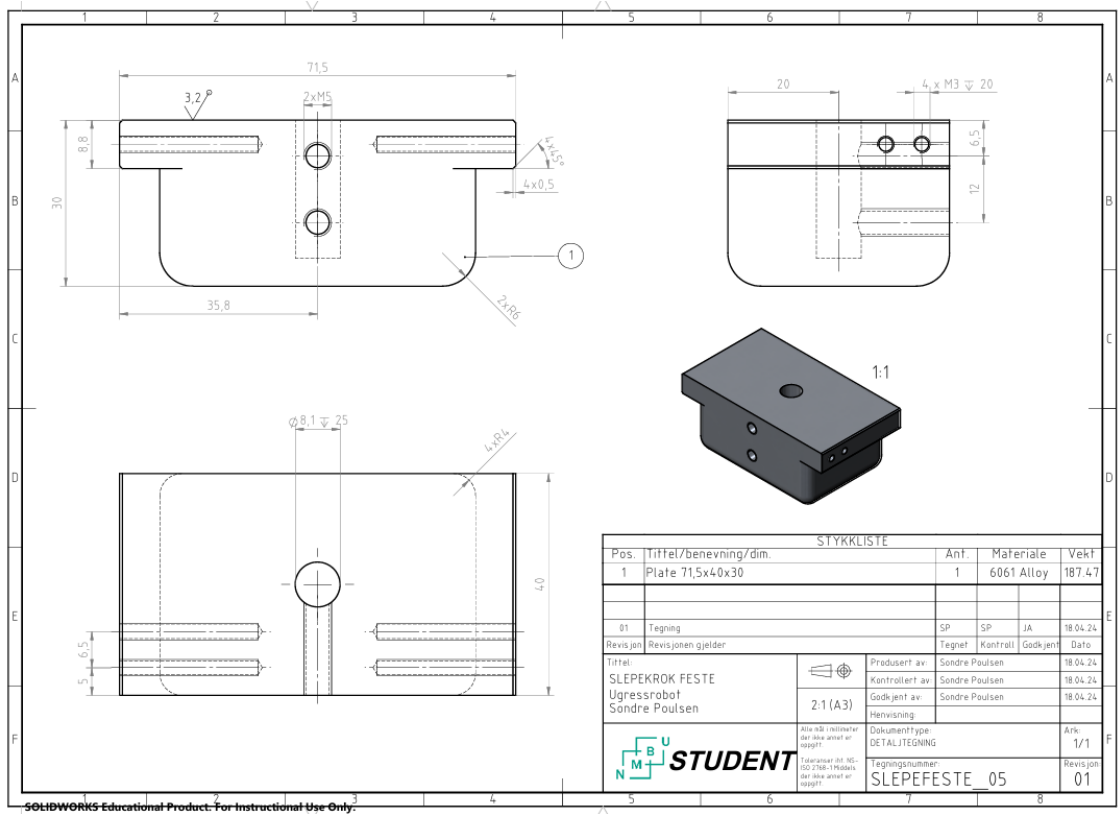
03 Deksel



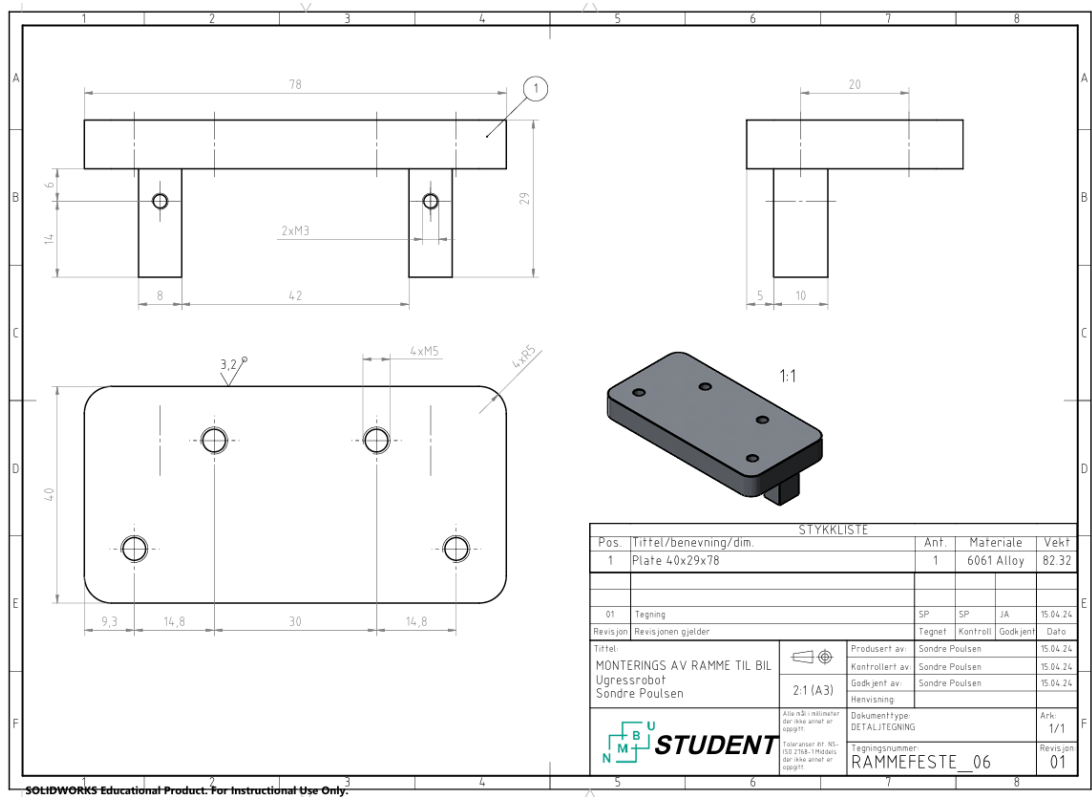
04 Utslagsarm



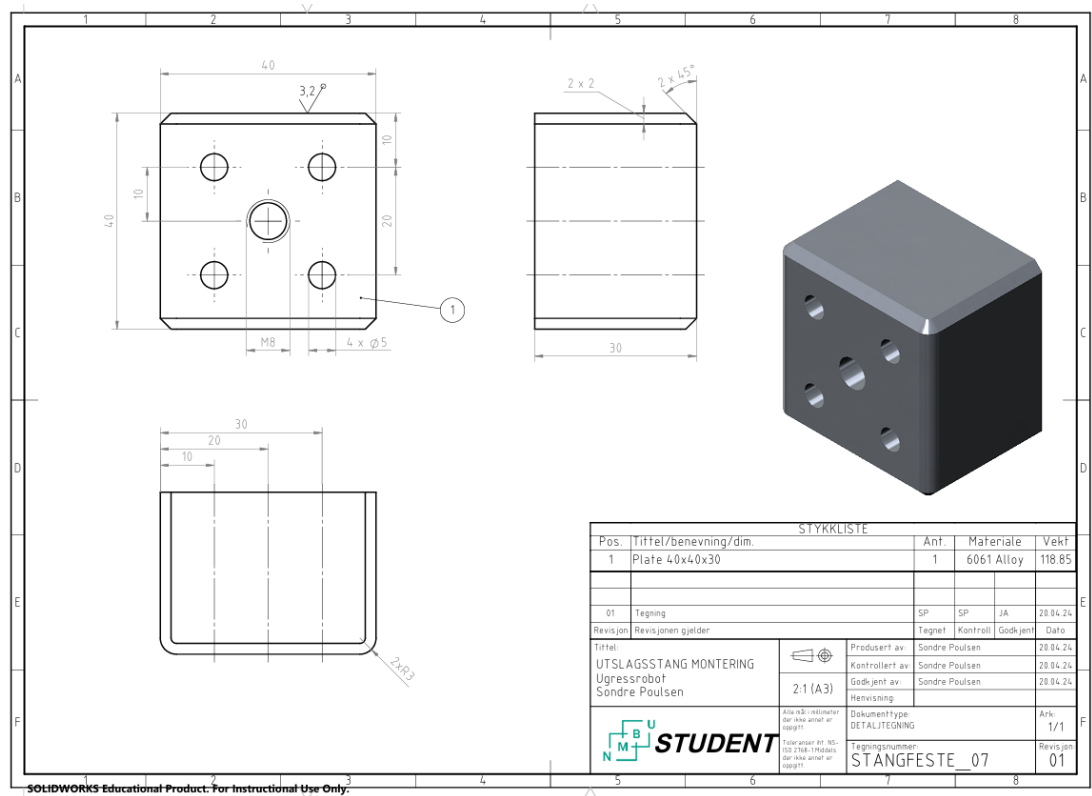
05 Slepefeste



06 Rammefeste



07 Stangfeste



08 Monteringsbrakett motor

Technical drawing of a motor mounting bracket. Dimensions include: total length 272.3, hole spacing 113.2, 12.5, 25, 101.5, 10, 21, 53.1, 124.2, 53.1, 4.0, 43.3, 30, 10, 60, 3. Hole diameter is $\varnothing 10$. Surface treatments: UP 90° R 1, DOWN 90° R 5. Material: Tynnplate 272,3x60x3.

STYKKELISTE				
Pos.	Tittel/benevning/dim.	Ant.	Materiale	Vekt
1	Tynnplate 272,3x60x3	1	AISI 304	385,7

01	Tegnet	SP	SP	JA	25.04.24
Revisjon	Revisjonen gjelder				Dato
Tittel	MONTERINGSBRACKETT MOTOR	Produisert av	Sondre Poulsen		
	Ugressrobot	Kontrollert av	Sondre Poulsen		
	Sondre Poulsen	Godkjent av	Sondre Poulsen		
	Henvising:	Henvising:			
	1:1 (A3)	Dokumenttype	DETALJTEGNING		
		Tegningsnummer	MOTORBRACKETT_08		
		Ark	1/1		
		Revisjon	01		

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

09 2040 500mm Alu. Profil

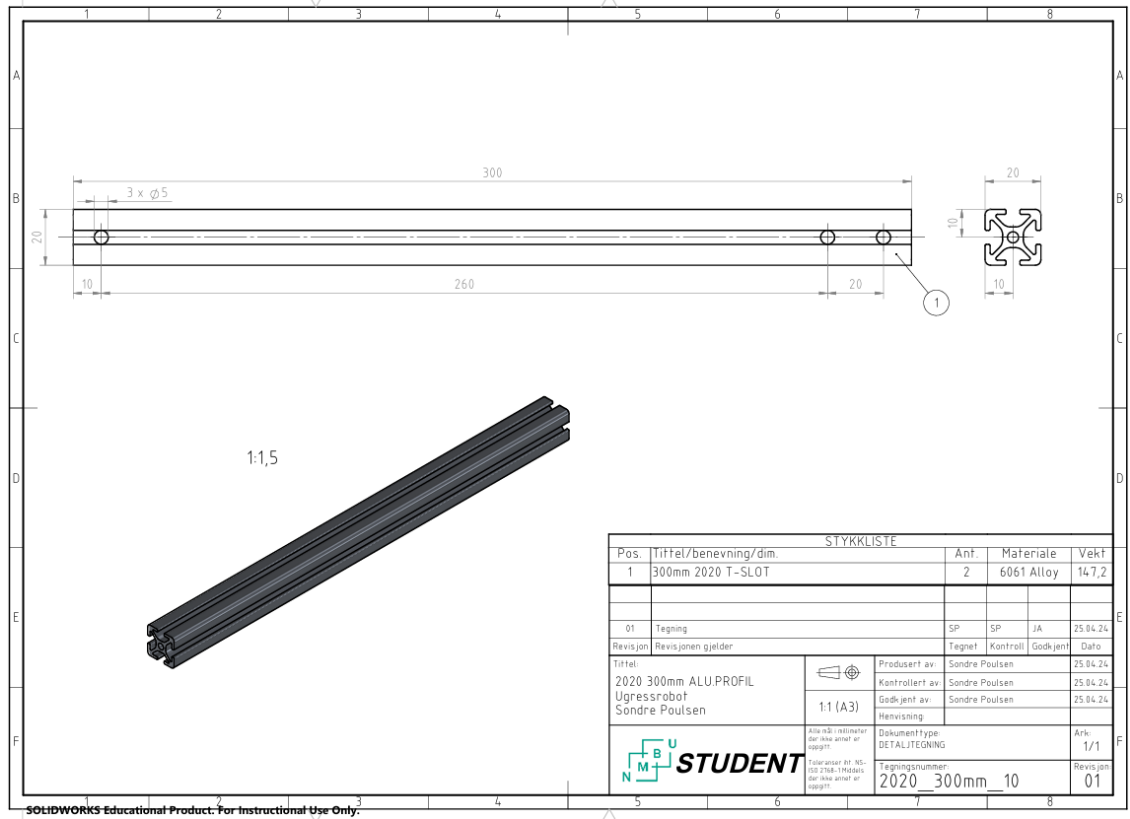
Technical drawing of a 2040 500mm aluminum profile. Dimensions include: length 500, height 20, width 40, hole spacing 10, 20, 35. Hole diameter is $4 \times M5 \varnothing 35$. Material: 6061 Aluminium.

STYKKELISTE				
Pos.	Tittel/benevning/dim.	Ant.	Materiale	Vekt
1	500mm 2040 T-SLOT	1	6061 Aluminium	439,3

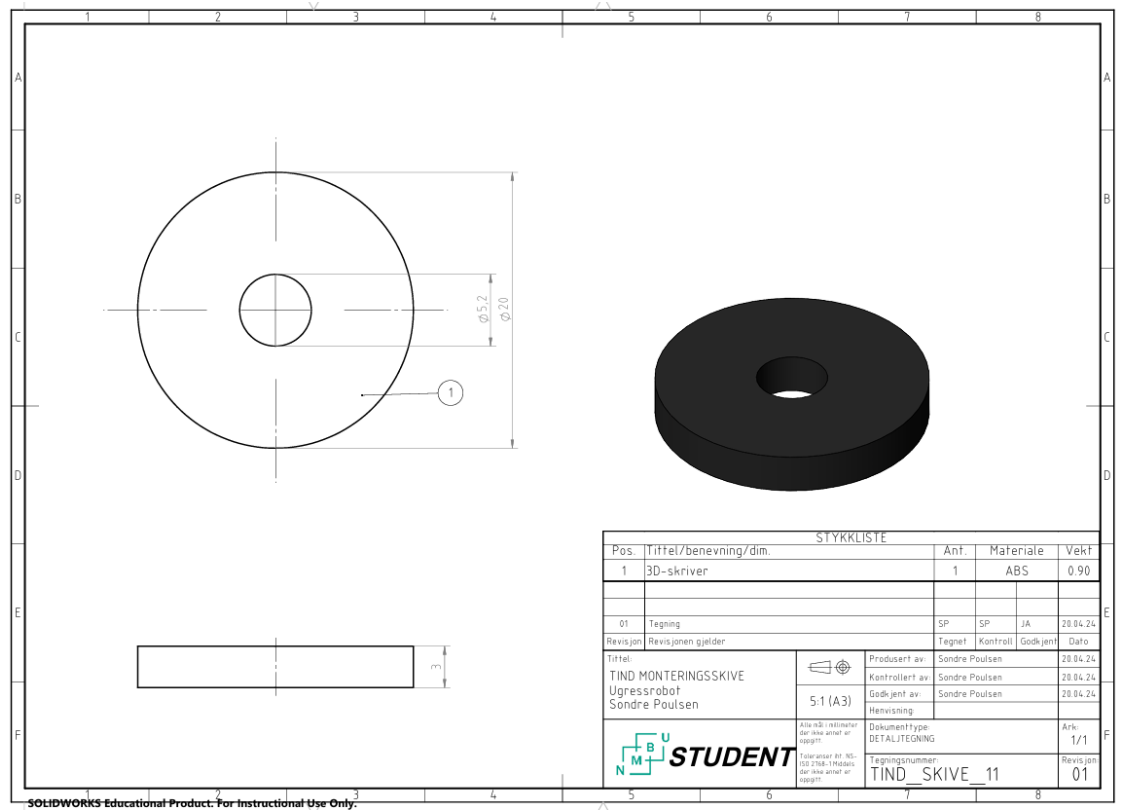
01	Tegning	SP	SP	JA	25.04.24
Revisjon	Revisjonen gjelder				Dato
Tittel	2040 500mm ALU.PROFIL	Produisert av	Sondre Poulsen		
	Ugressrobot	Kontrollert av	Sondre Poulsen		
	Sondre Poulsen	Godkjent av	Sondre Poulsen		
	Henvising:	Henvising:			
	1:1 (A3)	Dokumenttype	DETALJTEGNING		
		Tegningsnummer	2040_500mm_09		
		Ark	1/1		
		Revisjon	01		

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

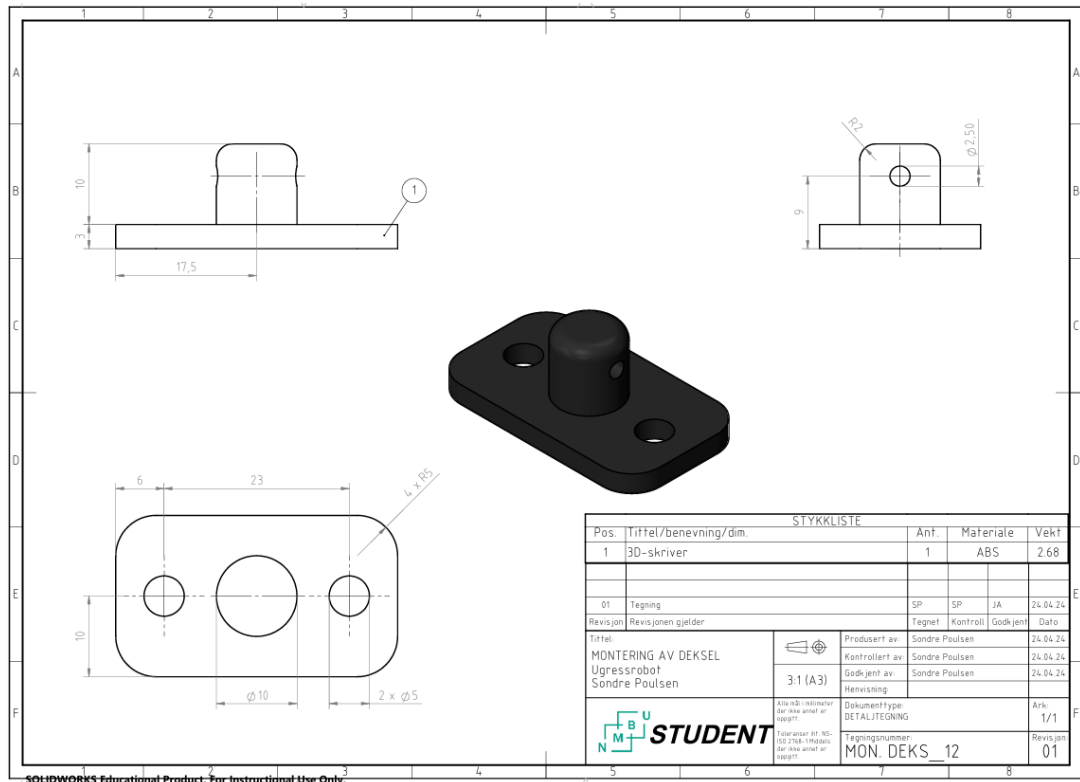
10 2020 300mm Alu. Profil



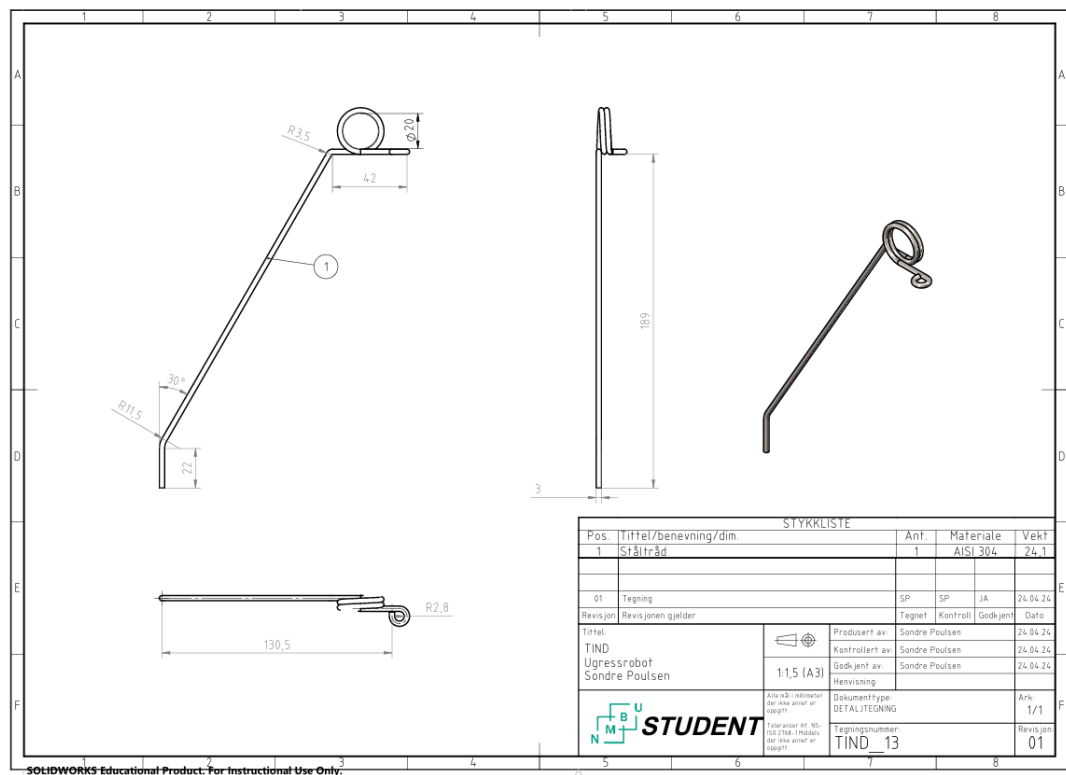
11 Tind monteringskive



12 Montering deksel



13 Tind



16 Utslagsmekanisme

STYKKELISTE				
Pos.	Tittel/benevning/dim.	Ant.	Materiale	Vekt
1	Kuleledd M8 8mm KBRM-08	1		7,1
2	M8 16x2mm Skive	1	AISI 304	1,7
3	Utslagsarm	1	6061 Alloy	88
4	M8 25mm Skruer	1	AISI 304	12
5	Lagermontering med lager 8mm	1	AISI 304	35
6	Utslagsmotor 19SKV001	1		1190
7	M6 14mm Skruer	1	AISI 304	5,7
8	M5 25mm Skruer	3	AISI 304	4,2
9	M5 15mm Skruer	2	AISI 304	2,5
10	M5 10x1,5mm Skive	2	AISI 304	0,5

01	Tegning	SP	SP	JA	25.04.24
Revisjon	Revisjonen gjelder	Tegnet	Kontroll	Godkjent	Dato
Tittel:		Produzent av:		25.04.24	
UTSLAGSMEKANISME		Sondre Poulsen		25.04.24	
Ugressrobot		Sondre Poulsen		25.04.24	
Sondre Poulsen		Sondre Poulsen		25.04.24	
1:1,5 (A3)		Hensvisning		Ark	
STUDENT		SAMMENSTILLING		1/1	
Tegningsnummer:		UTSLAGSMEKANISME_16		Revisjon	
				01	

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

17 Slepefeste

STYKKELISTE				
Pos.	Tittel/benevning/dim.	Ant.	Materiale	Vekt
1	Slepefang feste	1	6061 Alloy	188
2	Stålstang 8mm 110mm	1	AISI 304	4,4
3	M3 20mm Skruer	4	AISI 304	1,4
4	M5 18mm Skruer	2	AISI 304	4,2

01	Tegning	SP	SP	JA	25.04.24
Revisjon	Revisjonen gjelder	Tegnet	Kontroll	Godkjent	Dato
Tittel:		Produzent av:		25.04.24	
SLEPEFESTE		Sondre Poulsen		25.04.24	
Ugressrobot		Sondre Poulsen		25.04.24	
Sondre Poulsen		Sondre Poulsen		25.04.24	
1:1 (A3)		Hensvisning		Ark	
STUDENT		SAMMENSTILLING		1/1	
Tegningsnummer:		SLEPEFESTE_17		Revisjon	
				01	

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

16.2 Monterings instruksjoner

Ved sammenstilling av aluminiumsprofilene bør det brukes en form for ikke permanent gjenge-lim på skruer/muttere. Konstruksjonen utsettes for mye vibrasjoner og gjengelimet vil hindre skruene fra å løsne over tid.

16.3 Tabeller

16.3.1 Effekt og kraftmåling bil uten utslag

Terrateck 20mm tindeavstand		
Hastighet	Gjennomsnitt av Effekt (W)	Gjennomsnitt av Kraft (N)
50% Løs	60,1	31,2
50% Pakket	61,4	31,6
75% Løs	92,0	31,5
75% Pakket	97,1	31,1
100% Løs	124,0	29,5
100% Pakket	122,1	31,6

Aluminiums-harv 20mm		
Hastighet	Gjennomsnitt av Effekt (W)	Gjennomsnitt av Kraft (N)
50% Løs	72,2	36,5
50% Pakket	76,1	38,7
75% Løs	100,7	30,0
75% Pakket	109,3	30,9
100% Løs	132,9	28,2
100% Pakket	130,2	37,1

Aluminiums-harv 30mm		
Hastighet	Gjennomsnitt av Effekt (W)	Gjennomsnitt av Kraft (N)
50% Løs	63,4	26,3
50% Pakket	65,3	27,5
75% Løs	101,7	24,5
75% Pakket	115,0	28,1
100% Løs	122,0	27,1
100% Pakket	120,3	26,0

Aluminiums-harv 55mm		
Hastighet	Gjennomsnitt av Effekt (W)	Gjennomsnitt av Kraft (N)
50% Løs	96,8	21,0
50% Pakket	99,3	19,0
75% Løs	89,6	17,4
75% Pakket	83,6	19,5
100% Løs	68,4	21,0
100% Pakket	61,8	20,2

16.3.2 Effektforkbruk bil med utslag

Aluminiums-harv 20mm (23 tinder)		
Fart (km/t) Utslagsmotor (o/min) Jord	Gjennomsnittlig effekt (W)	Inkludert utslagsmotor (W)
50% OPM55 LØS	68,4	78,3
50% OPM55 PAKKET	62,4	72,3
50% OPM80 LØS	59,2	74,5
50% OPM80 PAKKET	51,5	66,8
75% OPM55 LØS	79,9	89,8
75% OPM55 PAKKET	73,3	83,2
75% OPM80 LØS	84,4	99,7
75% OPM80 PAKKET	77,8	93,1
100% OPM55 LØS	103,1	113,0
100% OPM55 PAKKET	93,3	103,2
100% OPM80 LØS	104,9	120,2
100% OPM80 PAKKET	98,3	113,6

Aluminiums-harv 30mm (17 tinder)		
Fart (km/t) Utslagsmotor (o/min) Jord	Gjennomsnittlig effekt (W)	Inkludert utslagsmotor (W)
50% OPM55 LØS	50,9	60,8
50% OPM55 PAKKET	57,5	67,4
50% OPM80 LØS	51,3	66,6
50% OPM80 PAKKET	56,2	71,5
75% OPM55 LØS	81,7	91,6
75% OPM55 PAKKET	75,6	85,5
75% OPM80 LØS	69,1	84,4
75% OPM80 PAKKET	75,1	90,4
100% OPM55 LØS	89,7	99,6
100% OPM55 PAKKET	91,7	101,6
100% OPM80 LØS	85,7	101,0
100% OPM80 PAKKET	94,3	109,6

Aluminiums-harv 55mm (10 tinder)		
Fart (km/t) Utslagsmotor (o/min) Jord	Gjennomsnittlig effekt (W)	Inkludert utlagsmotor (W)
50% OMP55 LØS	60,4	70,3
50% OMP55 PAKKET	55,2	65,1
50% OMP80 LØS	56,2	71,5
50% OMP80 PAKKET	56,5	71,8
75% OPM55 LØS	99,3	109,2
75% OPM55 PAKKET	72,6	82,5
75% OPM80 LØS	78,7	94,0
75% OPM80 PAKKET	74,8	90,1
100% OPM55 LØS	99,2	109,1
100% OPM55 PAKKET	113,1	123,0
100% OPM80 LØS	103,0	118,3
100% OPM80 PAKKET	107,1	122,4

16.3.3 Samlet kostnad for ugressverktøy

Komponent	Størrelse	Antall	Pris / Stk (NOK)	Totalpris (NOK)
Brakett	2020	16	63,03	1008,48
Brakett	2040	2	115,94	231,88
Brakett	4020	3	126,39	379,17
Brakett	4040	1	143,22	143,22
Deksel	2040	2	17,16	34,32
Deksel	2020	8	13,20	105,60
igus lager	8mm	1	137,17	137,17
Karosseri		1	366,00	366,00
Kulelager med holder	Ø8mm	1	49,50	49,50
Kuleledd	M8 Ø8mm	1	101,38	101,38
Montering for deksel		4	0,72	2,88
Monteringsskive tind		23	0,23	5,29
Motorbrakett		1	135,63	135,63
Rammefeste til bil		2	136,73	273,46
Skive	M5	29	0,39	11,23
Skive	M8	2	1,38	2,75
Skive	M5	2	0,39	0,77
Skrue knapphode	M5 50mm	6	6,71	40,26
Skrue knapphode	M5 8mm	52	1,79	93,24
Skrue knapphode	M5 12mm	27	2,20	59,40

Skrue knapphode	M5 35mm	4	1,98	7,92
Skrue knapphode	M5 15mm	2	1,86	3,71
Skrue knapphode	M5 25mm	3	3,36	10,08
Skrue knapphode	M8 25mm	1	8,64	8,64
Skrue sokkelhode	M3 22mm	4	1,21	4,84
Skrue sokkelhode	M3 35mm	4	1,98	7,92
Skrue sokkelhode	M5 18mm	2	2,33	4,66
Skrue sokkelhode	M3 20mm	4	0,90	3,60
Skrue sokkelhode	M6 14mm	1	2,95	2,95
Slepefeste		1	283,36	283,36
Slepestang	8mm 110mm	1	58,08	58,08
Splinter	2mm	4	24,75	99,00
Stangholder		1	199,21	199,21
Tinder		23	69,08	1588,84
T-profil	2040 220mm	1	36,30	36,30
T-profil	2040 500mm	1	82,50	82,50
T-profil	2020 300mm	2	36,30	72,60
T-profil	2020 500mm	2	60,50	121,00
T-profil	2020 320mm	2	38,72	77,44
T-profil	2020 130mm	2	15,73	31,46
T-spor mutter	M5	75	4,60	344,85
Utslagsarm		1	212,30	212,30
Utslagsmotor	19SKV001	1	350,00	350,00
Utslangsstang	8mm 300mm	1	158,04	158,04
Utslangsstang feste		1	146,41	146,41

16.3.4 Resultater fra testing med kunstige ugress

Eksternt tabell-vedlegg, «TESTRESULTATER UGRESSROBOT».

16.3.5 Fullskala produksjonstegninger

Eksternt PDF-vedlegg av samtlige produksjonstegninger og sammenstillingstegninger, «Produksjonstegninger».



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway