



**Høgskolen
i Innlandet**

Fakultet for anvendt økologi, landbruksfag og bioteknologi

Ole Sigurd Lodsby

Bacheloroppgave

**Høsting av de proteinrike bladene til jordskokk:
Utviklingen av et konsept og et design til
en ny høstemaskin**

Harvesting the high-protein leaves of Jerusalem artichoke: Developing a concept
and a design of a new harvester

Landbruksteknikk

6JB299

2023

Samtykker til utlån hos høskolebiblioteket

JA NEI

Samtykker til tilgjengeliggjøring i digitalt arkiv Brage

JA NEI

Sammendrag

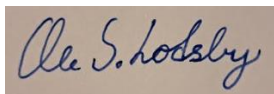
I framtiden vil etterspørselen etter protein øke betydelig. Bladene til jordskokk inneholder mye protein som potensielt kan isoleres, og brukes til å dekke denne etterspørselen. Derfor ser prosjekt InnHøst nå på mulighetene for en ny verdikjede som tar sikte på å høste, tørke og prosessere bladene for å utvinne proteinet. Underveis i prosjektperioden har man derimot sett at det er flere utfordringer ved å utvikle en egnet høstemaskin til denne oppgaven. Eksempelvis må bladene separeres fra de mindre proteinrike stenglene, på en skånsom måte som ikke forringer proteinkvaliteten. I tillegg har de overjordiske plantedelene til jordskokk flere særegne morfologiske trekk. Blant disse kan nevnes de uvanlig høye stenglene, som kan vokse seg over tre meter høye. I tillegg bør bladene gjennomgå en form for behandling som skader vokslaget deres, slik at bladene tørker raskt nok. Hvordan kan en høstemaskin for jordskokkblader utformes optimalt? For å svare på dette, gjennomførte jeg et bredt litteratursøket som avdekket flere ulike metoder som separere blader fra andre planter. Jeg fant både metoder som brukte slagere, faste plater, kniver, tråder, ruller og trykkluft. I tillegg bygde jeg en liten drilldreven slager som jeg testet i felt. For å generere nye konseptforslag til høstemaskinen, benyttet jeg en PuCC-matrise. Til slutt satt jeg igjen med tre veldefinerte forslag. To av disse baserte seg på bruk slagere, hvorav ett brukte strippermetoden. Det siste konseptforslaget benyttet imidlertid trykkluft. Til slutt satt jeg igjen med konseptet som brukte strippermetoden. Ut fra dette konseptet modellerte jeg et frontmontert traktorredskap. Det spesielle med dette redskapet, er at den har to slagere, i stedet for én, med tenner som gnir og river av blader fra stenglene.

Abstract

In the future the demand for protein will increase. The leaves of Jerusalem artichoke represents a source of high quality protein, that potentially can be isolated, and utilised to over this demand. In that context, project InnHøst investigates the possibilities for a future value chain, where the leaves are harvested, dried and processed to eventually extract the protein. During the project period, there have been discovered several challenges regarding the development of a suitable harvester for this task. For example, the leaves have to be gently separated from the low-protein stalks, to prevent the deterioration of the leaf protein quality. Besides, the aerial parts of Jerusalem artichoke have many unusual features. For instance, the unusually tall stalks can grow over three meters tall. Additionally, the leaves should be conditioned in such a way that they dry faster. How should a harvester for the leaves of Jerusalem artichoke be designed optimally? To answer this research question, I performed a thorough literature search in which I revealed several methods that are used to separate leaves from different plants. These methods utilised different kinds of beaters, fixed plates, knives, threads, rollers or pressurized air to achieve this separation. Furthermore, I built a small drill mounted beater that I tested in the field. To develop new concept proposals for the harvester, I used the a PuCC matrix. In the end, I had defined three concept proposals. Two of these were based on beaters, of which one proposal was utilised the stripper method. However, the last concept proposal used pressurized air. After an assessment, I chose the concept that utilised the stripper method to be the most fitting. Based on this concept, I modelled a 3D sketch of a front mounted tractor implement. This implement has two beaters, instead of one, with teeth that rub and tear leaves off the stalks.

Forord

Jeg begynte tidlig å utforske mulige temaer for bacheloroppgaven min. Jeg spurte det som senere ble min veileder, Hans Christian Endrerud, om aktuelle problemstillinger. Han introduserte meg for prosjektet InnHøst. Dette var lite utforsket grunn. Å kunne bidra med noe ville vært svært givende for min egen del. Oppgaven ville kreve at jeg måtte sy sammen de kunnskapene og ferdighetene jeg har tilegnet meg som bachelorkandidat i landbruksteknikk. Takk til prosjektleder i InnHøst og min veileder, Hans Christian Endrerud, som har veiledet meg fra tidlig i skriveprosessen og helt fram til målstreken. Videre må jeg takke den andre prosjektdeltakeren i InnHøst, Knut Olav Strætkvern, som har gitt meg en innføring fra det bioteknologiske perspektivet av prosjektet. Dessuten ønsker jeg takke jordskokkprodusent Louise Gjør som lot meg gjennomføre forsøket mitt på ett av hennes arealer. Til sist må jeg takke Anne-Cathrine Børke Overskott ved høgskolens bibliotek. Hun kjøpte inn en e-bok etter at jeg forespurte den, og hun ga senere innspill til metodekapitlet i oppgaven min.



Ole Sigurd Lodsby

Lunner, 30. mai 2023

Innhold

SAMMENDRAG	3
ABSTRACT	4
FORORD	5
INNHold	6
1. INNLEDNING	9
1.1 BAKGRUNN FOR VALG AV PROBLEMSTILLING	9
1.1.1 <i>Jordskokk som potensiell råvare til utvinning av protein</i>	9
1.1.2 <i>En potensiell verdikjede</i>	10
1.1.3 <i>Utfordringene ved å utvikle en høstemaskin</i>	12
1.1.4 <i>Foreløpige framskritt i utviklingen av en høstemaskin</i>	14
1.2 PROBLEMSTILLING	16
1.2.1 <i>Avgrensninger</i>	17
1.3 DISPOSISJON I RESTEN AV OPPGAVEN	17
2. TEORI	19
2.1 UTVALG AV TEORI.....	19
2.2 METODER FOR SEPARERING AV BLADER FRA PLANTER.....	19
2.2.1 <i>Slagere</i>	19
2.2.2 <i>Faste plater</i>	26
2.2.3 <i>Trykkluft</i>	27
2.2.4 <i>Kniver</i>	29
2.2.5 <i>Tråder</i>	32
2.2.6 <i>Ruller</i>	33
2.3 OPPSUMMERING AV TEORI.....	35

3. METODE	37
3.1 METODEVALG	37
3.2 FRAMGANGSMÅTE	38
3.2.1 <i>Litteratursøk</i>	38
3.2.2 <i>Forsøk i felt</i>	39
3.2.3 <i>Pugh Controlled Convergence method (PuCC)</i>	41
3.2.4 <i>Dataassistert konstruksjon (DAK)</i>	44
3.3 BEGRENSNINGER VED METODEVALG OG FRAMGANGSMÅTE	44
4. RESULTAT	45
4.1 FORSØK I FELT	45
4.1.1 <i>Tolkning av forsøket</i>	48
4.2 RESULTAT FRA UTVIKLING AV KONSEPTFORSLAG.....	48
4.2.1 <i>Konseptforslag B</i>	48
4.2.2 <i>Konseptforslag C</i>	49
4.2.3 <i>Konseptforslag D</i>	50
4.3 VURDERING OG SELEKSJON AV KONSEPT	51
4.4 DESIGN AV HØSTEMASKINEN	53
4.4.1 <i>Oppbyggingen til høstemaskinen</i>	53
4.4.2 <i>Drift av funksjoner</i>	55
4.4.3 <i>Vedlikehold</i>	57
5. DISKUSJON	58
5.1 KONKLUSJON	60
6. LITTERATURLISTE	62
7. VEDLEGG	69
VEDLEGG 1: TERMLISTE.....	70

VEDLEGG 2: SØKESKJEMA.....	71
VEDLEGG 3: SPESIFIKASJONER FOR DRILLENE BRUKT I FORSØKET	72
VEDLEGG 4: 3D-MODELL AV KONSEPTFORSLAG B	73

1. Innledning

1.1 Bakgrunn for valg av problemstilling

Innen 2050 vil trolig verdens etterspørsel etter protein øke med mer enn en tredjedel fra dagens nivå (Henchion et al., 2017, s. 4). Dette kommer av at befolkningen vokser og at vi har endret matvanene våre (Henchion et al., 2017, s. 2). Interessen for å utnytte plantebasert protein for å dekke denne etterspørselen har derfor økt (Henchion et al., 2017, s. 9). Planterester fra jordbruket, som for eksempel halm fra kornproduksjon, er biomasse som potensielt kan bli fornybare og pålitelige råvarer for bioraffinerier (Cherubini, 2010, s. 1414). Bioraffinerier benytter bioteknologi for å isolere byggeklossene til denne biomassen; eksempelvis er protein en slik byggekloss (Cherubini, 2010, s. 1414). Videre kan man omdanne disse byggeklossene til et bredt spekter av verdifulle bioprodukter (Cherubini, 2010, s. 1414, 1419). Blant andre Gunnarson et al. (2014, s. 236) og Long et al. (2016, s. 1387) har pekt på jordskokk som en spesielt godt egnet kulturplante til å produsere biomasse til et slikt formål.

1.1.1 Jordskokk som potensiell råvare til utvinning av protein

Som regel høstes bare knollene til jordskokk, mens stenglene, bladene og blomstene ofte hakkes opp og moldes ned i jorda. Knollene er rike på inulin, som er et kostfiber som brukes blant annet som ingrediens i kosttilskudd (Long et al., 2016, s. 1384). Derimot utgjør stenglene og bladene mye cellulose per arealenheter; opp til tre ganger så mye som det gjør for populære kulturplanter som mais, sukkerør og korn (Gunnarson et al., 2014, s. 236). Denne cellulosen kan potensielt brukes til å produsere biodrivstoff (Gunnarson et al., 2014, s. 236), men i dag høstes stenglene og bladene i beste fall som dyrefôr (Long et al., 2016, s. 1383). For å utnytte denne biomassen bedre, foreslo Long et al. (2016, s. 1386) et konsept der et bioraffineri utvinner cellulosen fra stenglene og bladene, i tillegg til å utvinne inulinen fra knollene (Long et al., 2016, s. 1386). Dermed oppnår man potensielt to verdistrømmer fra produksjonen av

jordskokk. Konseptet til Long et al. forutsetter selvfølgelig at jordskokkproduksjonen ikke går ut over kornproduksjonen. Long et al. (2016, s. 1383) argumenterer med at jordskokk er en såpass hardfør plante at den kan dyrkes på jord der korn ikke kan. Derfor behøver nødvendigvis ikke jordskokkproduksjonen oppta dyrebart kornareal (Long et al., 2016, s. 1383, 1387). Dessuten krever jordskokk liten bruk av verdifulle innsatsfaktorer som gjødsel og plantevernmidler (Long et al., 2016, s. 1383), som følgelig kan benyttes til andre formål som eksempelvis kornproduksjon.

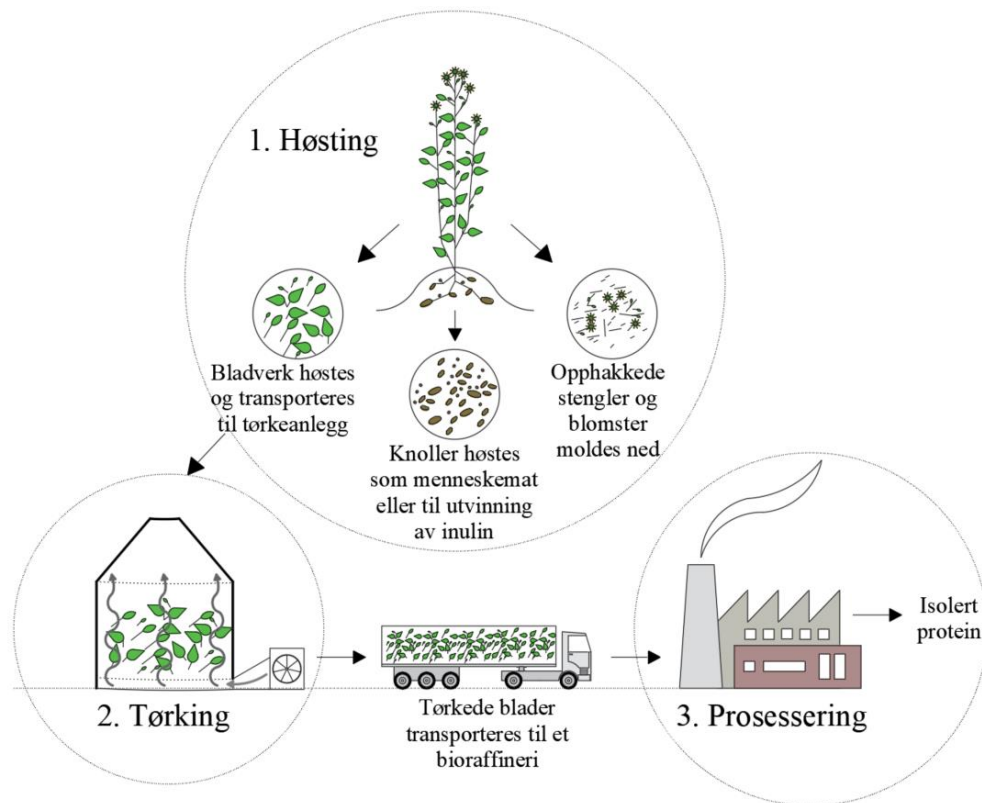
Derimot inneholder ikke bare stenglene og bladene mye cellulose. Mens stenglene består av lite protein, inneholder bladene betydelige mengder høykvalitetsprotein (Johansson et al., 2015, s. 9000; Kaszás et al., 2020, s. 2156). Dette proteinet kan isoleres fra bladene og bli et verdifullt biprodukt fra jordskokkproduksjonen; og ikke minst en lovende proteinkilde for framtiden (Johansson et al., 2015, s. 9003; Kaszás et al., 2020, s. 2162). Potensialet for en ny verdikjede som tar sikte på å utvinne dette proteinet, blir nå utforsket gjennom prosjekt InnHøst.



Figur 1. I tillegg til knollene som vokser under bakken, produserer jordskokk mye biomasse i form av blader og stengler. Potensielt kan det utvinnes mye høykvalitetsprotein fra bladene. Bildet er tatt fra en jordskokkåker på Stange i Innlandet av Ole Sigurd Lodsby.

1.1.2 En potensiell verdikjede

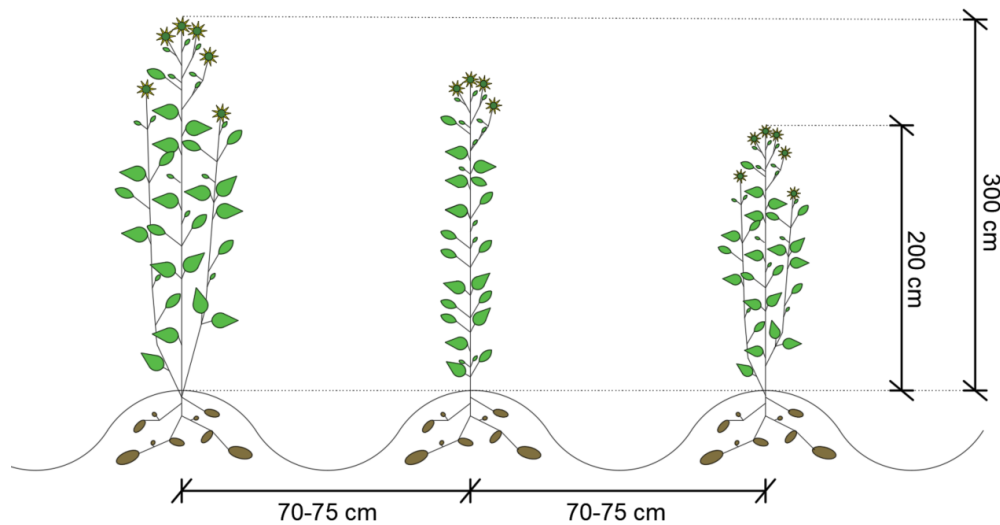
InnHøst undersøker hovedsakelig hvordan man kan mekanisere de tre sentrale arbeidspakkene i denne potensielle verdikjeden (Endrerud, 2021). Disse arbeidspakkene består kort fortalt av 1) høsting, 2) tørking og 3) prosessering av bladene. Sammenhengen mellom arbeidspakkene illustrerer jeg i figur 2. Siden det hovedsakelig er bladene som inneholder proteinet, bør i tillegg bladene separeres fra stenglene ved høsting (Knut Olav Strætkvern, personlig kommunikasjon, 7. september 2022). Samtidig bør bladene behandles skånsomt under denne høstingen, slik at kvaliteten til proteinet bevares fram til prosesseringen begynner (Strætkvern, personlig kommunikasjon, 7. september 2022). Etter høsting må bladene transporteres til ei egnet tørke, der bladene tørkes ned til et lagerfast vanninnhold (Hans Christian Endrerud, personlig kommunikasjon, 7. september 2022). I den sammenheng har Endrerud (personlig kommunikasjon, 4. mai 2023) fått bygget en tørkemodul som skal optimalisere dette tørkeforløpet. Fra tørka fraktes de tørkede bladene til et bioraffineri, der de prosesseres (Strætkvern, personlig kommunikasjon, 7. september 2022). Denne prosesseringen innebærer grovknusing, sikting, celleknusing, saftpressing, sentrifugering, klaring, syrefelling, oppsamling, innfrysing og frysetørking (Strætkvern, personlig kommunikasjon, 7. september 2022). I etterkant av disse prosessene sitter man igjen med et pulver av høykvalitetsprotein (Strætkvern, personlig kommunikasjon, 7. september 2022). Men for aller først må bladene høstes, og til dette trengs en egnet høstemaskin. Kanskje må det utvikles en helt ny type høstemaskin. Som vi skal se i det følgende, kan dette utviklingsarbeidet by på flere utfordringer.



Figur 2. Prosjekt InnHøst undersøker høsting, tørking og prosessering av bladene til jordskock. Målet er å isolere verdifullt protein. Tegnet av undertegnede i AutoCAD, ut fra personlig kommunikasjon med Strætkvern, 7. september 2022.

1.1.3 Utfordringene ved å utvikle en høstemaskin

Jordskock har noen morfologiske trekk som kan gjøre det krevende å designe en slik maskin. Eksempelvis vokser stenglene seg normalt to-tre meter høye (Long et al., 2016, s. 1383). I tillegg utvikler noen sorter én hovedstengel, mens andre kan utvikle fire til seks forgreninger som brer seg ut over fra hovedstengelen (Kaszàs et al., 2020, s. 2153). Bladene vokser ut fra forgreningspunkter langs disse hovedstenglene og forgreningene (Long et al., 2016, s. 1383). Samtidig er ikke dyrkingspraksisene standardiserte rundt om i verden (Liava et al., 2021, s. 5). Alt fra 35 til 75 cm radvaster praktiseres, men 70-75 cm er det vanligste (Liava et al., 2021, s. 5). I tillegg står ikke stenglene helt på rekke innad i hver rad, men vokser derimot ut fra fårene i vilkårlige retninger (Udahl, 2022, s. 13). Kort oppsummert kan dimensjonene til en ny høstemaskin bli vanskelige å fastsette, som figur 3 godt illustrerer.



Figur 3. Jordskokk settes med alt fra 35 til 75 cm radavstander. Stenglene blir som oftest to til tre meter høye. Tegnet av undertegnede i AutoCAD.

Ikke bare dimensjoneringen er utfordrende. I løpet av InnHøst har det vist seg at utfordringene ved å designe en høstemaskinen er flere. Innfestingen til bladene gjør dem betydelig enklere å separere fra oversiden og nedover stenglene (Udahl, 2022, s. 14). Med andre ord bør kraften fra den komponenten som skal separere bladene, komme fra blomsterenden til stenglene, og bevege seg mot rotenden. Dette kan komplisere designet til høstemaskinen nokså mye. I tillegg er det fortsatt usikkerhet rundt hvordan tørkingen av bladene skal foregå. Endrerud (personlig kommunikasjon, 7. september 2022) erfarte gjennom tørkeforsøk at avlinger bestående kun av skånsomt høstede blader kan være for tidkrevende å tørke. Derfor foreslo Endrerud (personlig kommunikasjon, 7. september 2022) at høstemaskinen bør utføre en form for bladbehandling, for eksempel en form for valsing eller klemming av bladene. I motsetning til stengelbehandling, der det vanntette vokslaget rundt stenglene punkteres for å fremskynde tørking (Srivastava et al., 2006, s. 370), er det vokslaget til bladene som her skal punkteres. En annen løsning Endrerud (personlig kommunikasjon, 7. september 2022) la fram var å la en viss andel stengler følge med bladene inn i tørka, for å gjøre det mer luftig mellom bladene. Som man kan se, er det mange hensyn å ta når man skal utvikle en høvelig høstemaskin. For å oppsummere foreløpig, bør altså høstemaskinen:

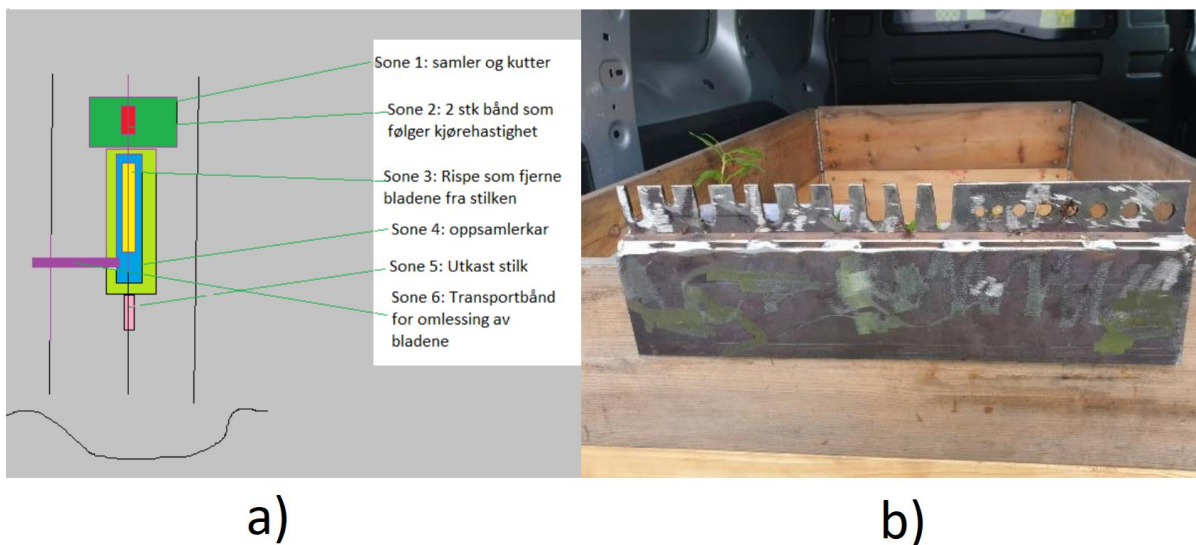
- separere bladene fra stenglene på en skånsom måte
- separere bladene fra oversiden og nedover på stenglene
- utføre en form for bladbehandling som punkterer vokslaget til bladene

1.1.4 Foreløpige framskritt i utviklingen av en høstemaskin

Selv om flere har påpekt potensialet for å utvinne protein fra bladene, har foreløpig ikke mulighetene for å mekanisere høstingen av bladene blitt undersøkt grundig (Long et al., 2016, s. 1387). I dag slås og hakkes som regel de overjordiske plantedelene av en fôrhøster, før en den gjenværende stubben knuses av en risknuser (Long et al., 2016, s. 1386). Med overjordiske plantedeler mener jeg stenglene, bladene og blomstene. Etter at disse plantedelen er hakket og knust, høstes knollene av en modifisert potetopptaker (Long et al., 2016, s. 1386). For å kunne berge den overjordiske biomassen, foreslo imidlertid Long et al. (2016, s. 1386) å kutte av stenglene med en slåmaskin med knivbjelke, og la alt materialet bakkedørke. En knivbjelke har kniver som kutter av stengler ved hjelp av en fram- og tilbakegående bevegelse (Morken et al., 2003, s. 157). Videre foreslo Long et al. (2016, s. 1387) å presse og pakke alt dette materialet samlet til rundballer, for lagring fram til prosessering. Ulempen med denne mekaniseringslinjen er at bladene ikke blir separert fra stenglene, slik Strætkvern (personlig kommunikasjon, 7. september 2022) mente var gunstig for utvinningen av proteinet. For at høsteoperasjonen skal kunne ivareta alle kravene i punktlisten i forrige avsnitt, må det undersøkes flere muligheter.

I forbindelse med InnHøst presenterte Udahl (2022) i sin bacheloroppgave et konsept for en ny høstemaskin. Konseptet blir illustrert på figur 4a. Konseptet omhandler en selvgående høstemaskinen, bestående av seks soner (Udahl, 2022, s. 14-16). I dette konseptet kjører en høstemaskinen gjennom åkeren, mens et 1) samlesystem fører én rad inn mot en 2) kuttemekanisme (Udahl, 2022, s. 15). Stenglene kuttet nede ved bakken, før de transporteres mot en 3) fast rispeplate (Udahl, 2022, s. 15). Blomsterenden av stengelen føres forbi forsengkninger eller hull i rispeplaten, der bladene rives eller dras av stenglene (Udahl, 2022, s. 15). Flere slike rispeplater ble laget og testet ut i felt, og én av dem ser du på figur 4b.

Ettersom bladene separeres, faller de ned i en 4) tank, mens stenglene føres videre bakover og faller ut på bakken (Udahl, 2022, s. 15). Når tanken er full, tømmes den i hengeren til en traktor, ved hjelp av et 6) sideveis transportbånd (Udahl, 2022, s. 15). Dette konseptet kan sies å ivareta kravene i punktlisten fra forrige underkapittel bedre. Prosjektet deltakerne i Innhøst skrinla imidlertid konseptet, fordi det var for komplisert og omfattende (Endrerud & Strætkvern, personlig kommunikasjon, 7. september 2022). Følgelig var det behov for å utvikle et mer kompakt og mindre kompleks konsept.



Figur 4. Et konsept som baserer seg på en separeringszone med rispeplater som river og drar av blader. På a) ser du en prinsippskisse for konseptet, mens på b) er et bilde av en rispeplate som ble testet i felt. Fra Udahl, 2022, s. 12; 15.

I forbindelse med prosjektet testet man høsten 2022 en vanlig tohjuls motorslåmaskin med dobbeltniv, som du kan se på figur 5. En dobbeltniv er en type knivbjelke der to knivstenger med motsatte bevegelsesretninger kutter av stengler (Morken et al., 2003, s. 158). Denne slåmaskinen ble festet til pallegafler, som igjen var montert på frontlasteren til en traktor. Mens traktoren kjørte gjennom åkeren, skulle dobbeltnivene kutte stenglene. Videre skulle stenglene falle bakover og i et påmontert oppsamlingskar. Under selve forsøket deltok jeg som hjelpemann og tilskuer. Dobbeltknivene klarte å kutte stenglene, men de fleste av dem falt forover og ned på bakken. For å løse dette problemet konkluderte Endrerud (personlig kommunikasjon, 11. oktober 2022) med at det burde monteres en kamhaspel eller lignende

som kan mate stenglene bakover og over knivene (Endrerud, personlig kommunikasjon, 11. oktober 2022). Dette forsøket var det siste framskrittet i utviklingen av en egnet høstemaskin for denne verdikjeden. Følgelig er det behov for mer utviklingsarbeid. Til nå har man sett bakgrunnen for min studie. I det følgende vil jeg derfor beskrive og avgrense problemstillingen min.



Figur 5. Endrerud testet 11. oktober 2022 en dobbeltknivslåmaskin til å kutte av og høste stengler, med bladene på. Foto: Ole Sigurd Lodsby.

1.2 Problemstilling

Som man har sett til nå, kan det potensielt utvinnes betydelige mengder høykvalitetsprotein fra bladene til jordskokk. Derimot foreligger det ennå ikke noe fullgodt forslag til hvordan man løser utfordringene ved å mekanisere høstingen. Følgelig kan ennå ikke bladene bli noen storskala råvare for framtidige bioraffinerier, som kan utvinne dette proteinet. Derfor er det behov for å utvikle en høstemaskin som kan løse disse utfordringene på en optimal måte. Hensikten med denne studien er å a) avdekke og kategorisere ulike metoder som potensielt kan brukes til å separere bladene fra stenglene til jordskokk, b) teste de fysiske egenskapene til bladene og stenglene, og c) utvikle et nytt konsept til en høstemaskin som kan løse utfordringene ved høsting. Hvordan bør en høstemaskin for jordskokkblader se ut?

Målet med denne studien er å a) utvikle en bred oversikt over metoder som brukes til å separere blader fra andre kulturplanter, b) å bruke oversikten til å generere nye konseptforslag og finne det mest egnede for høstemaskinen, og c) å framstille en 3D-modell av høstemaskinen, basert på det mest egnede konseptforslaget.

1.2.1 Avgrensninger

Grunnet den begrensede tidsrammen til bacheloroppgaven, vil jeg ikke belyse hvordan man bør løse det tekniske rundt tørkingen av bladene. Derfor får jeg ikke tilpasset høstemaskinen til den påfølgende tørkingen. Det er dessuten viktig å presisere at det ikke skal omtales eller vurderes alle mulige tilnærminger til feltmekaniseringen som potensielt kan benyttes. Å undersøke hvordan alle sonene på høstemaskinen optimalt bør se ut, vil også bli for omfattende. I stedet vil jeg avgrense studien til å omhandle hvordan separeringssonen til høstemaskinen bør se ut, og ut fra dette resultatet utvikle konseptet og designet til høstemaskinen. Av tidsmessige grunner vil jeg ikke foreta noen styrkeberegninger av 3D-modellen jeg legger fram. Følgelig går jeg heller ikke videre med å bygge noen prototype av høstemaskinen.

1.3 Disposisjon i resten av oppgaven

I innledningen har man sett at bladene til jordskokk har potensiale til å bli en verdifull råvare, men at utfordringene med mekanisere høstingen av bladene er flere. Deretter avslørte jeg problemstillingen min. Videre består oppgaven av en teoridel, en resultatdel og en diskusjon som avsluttes med en konklusjon. I teoridelen vil jeg ta en teknisk gjennomgang av de mulighetene som finnes for å separere blader fra ulike kulturplanter. Denne gjennomgangen vil bli grunnlaget for det påfølgende arbeidet med å utvikle nye konseptforslag til høstemaskinen. I metodedelen vil jeg forklare hvordan jeg gjennomførte litteratursøk, forsøk i felt, konseptutvikling og 3D-modellering for å utvikle høstemaskinen. Deretter presenterer

jeg hva kom fram til i resultatdelen. Kvaliteten til disse resultatene vurderer jeg deretter i den påfølgende diskusjonen, før jeg avslutter med å konkludere med en løsning på problemstillingen. Men først følger teoridelen, der jeg går gjennom de ulike metodene for separering av blader.

2. Teori

2.1 Utvalg av teori

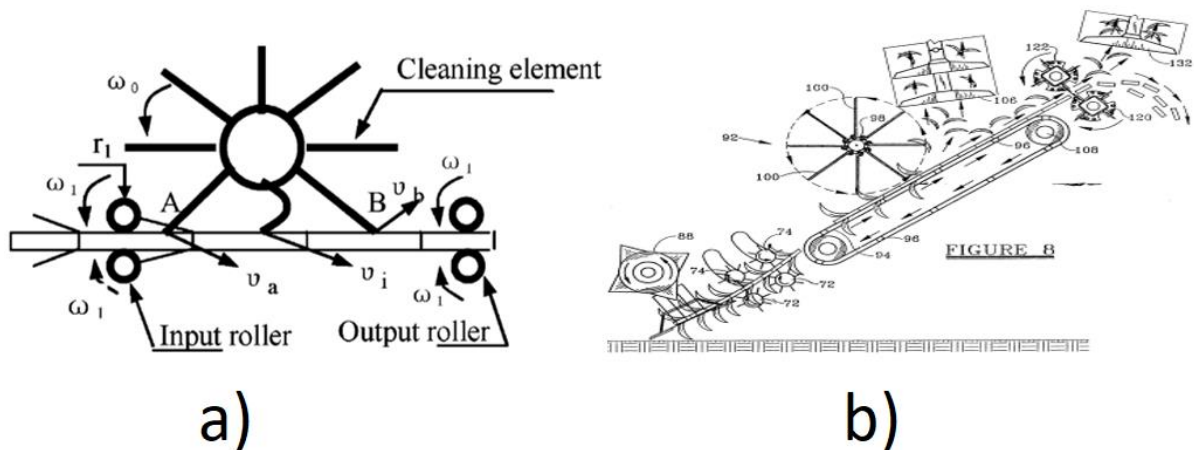
Hvordan bør man utforme en høstemaskin for jordskokkblader? Denne teoridelen vil bli det tekniske grunnlaget for det påfølgende arbeidet med å utvikle høstemaskinen. Her vil jeg gjennomgå spekteret av muligheter som finnes for å separere blader fra planter. Noen metoder er utviklet som et resultat av forskning; enten metodene er ment for å fjerne bladene eller for å høste dem. Derimot vet man at ikke alle slike tekniske metoder er verken nevnt eller behandlet av forskning (Rognsaa, 2023, s. 94). Mange metoder er derimot utviklet og patentert av enkeltpersoner for ulike kommersielle aktører. Dessuten beskrives og illustreres noen metoder best av produsentene selv. Av disse grunnene har jeg inkludert både forskningsartikler, reviewartikler, patenter og nettsider fra produsenter av høstemaskiner.

2.2 Metoder for separering av blader fra planter

2.2.1 Slagere

Én type høstemaskin for sukkerør baserer seg på at bladene løsner fra stenglene, idet stenglene kuttes i ferdige lengder av to knivsylindre (Huo et al., 2023, s. 137, 138). En luftstrøm fra én eller flere overliggende vifter suger opp fortløpende bladene opp, og blåser dem ut av maskinen gjennom en svingbar tut (Huo et al., 2023, s. 137). Høstemaskiner som derimot høster stenglene lengder, kan ha integrert separeringssoner, der én eller flere grupper med slagere løsner bladene (Huo et al., 2023, s. 133-136). Slagere er roterende sylindre som ligger på tvers av materialstrømmen i en høstemaskin, og som har festet flere komponenter som slår og gnir løs plantedeler (Srivastava et al., 2006, s. 415; Heir, 1998, s. 37). Disse komponentene

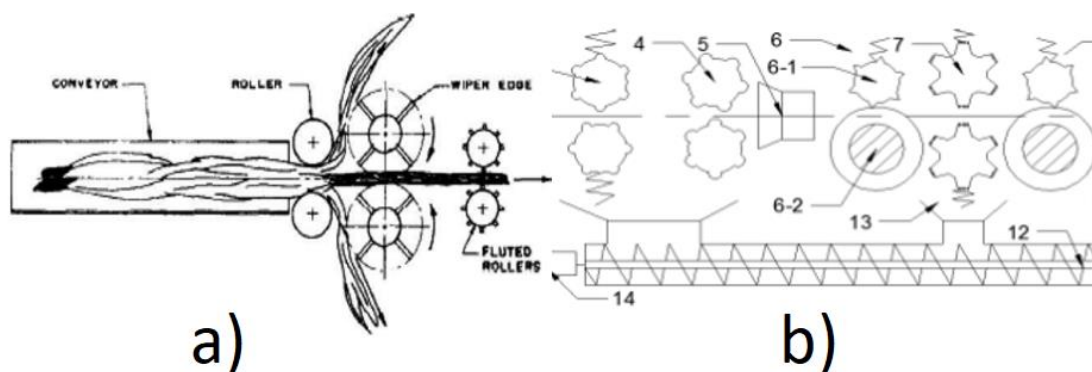
festes på tversliggende vinkelstål, slik at de danner flere rekker langs periferien til slageren (Huo et al., 2023, s. 140). Separeringssoner som de man ser på sukkerrørhøstere har roterende matevalser både i forkant og bakkant av slagerne (Li et al., 2002, s. 419), slik du ser på figur 6a. Når disse valsene mater stenglene forbi slagerne holder de en lavere periferihastighet ω_1 enn komponentene til slagerne ω_0 (Li et al., 2002, s. 419). Følgelig holder valsene igjen stenglene, mens komponentene treffer stenglene i en vinkel α (Li et al., 2002, s. 419). Siden komponentene oppstår det både en friksjonskraften F_t og en kraft F_r som virker tilbake på komponenten (Li et al., 2002, s. 420). Disse kreftene overgår de kreftene som holder bladene og stenglene sammen, og dermed løsner bladene (Li et al., 2002, s. 420). Caillouet [1] videreutviklet et konsept må sies å være en hybrid av de to førstnevnte konseptene. Her er det lagt til et transportbånd i underkant av stenglene, og i stedet er det kun én stor slager som separerer blader fra stenglene [1, s. 6]. Her er det overliggende vifter som suger ut bladene, samtidig som viftebladene hakker dem opp, før stenglene avslutningsvis kuttes i lengder av to knivsyndre [1, s. 6]. Så vidt jeg kjenner til ble aldri en slik høstemaskin bygget, men prinsippet blir illustrert på figur 6b.



Figur 6. Prinsippskisser som viser hvordan en slagere slår og gnir løs blader fra stenglene til sukkerrør. På a) ser man hvordan metoden generelt fungerer, mens b) viser en videreutvikling av metoden. Fra Li et al., 2002, s. 419; Caillouet [1, s. 36].

Ikke bare høstemaskiner for sukkerrør benytter slagere. Blant andre Wilhoit et al. (2013, s. 7) beskrev en stasjonær maskin som separerer blader fra tobakksplanter. Ut fra figur 7a kan man se at prinsippet ligner de som ble demonstrert på figur 6. Tobakksplanter som er blitt høstet

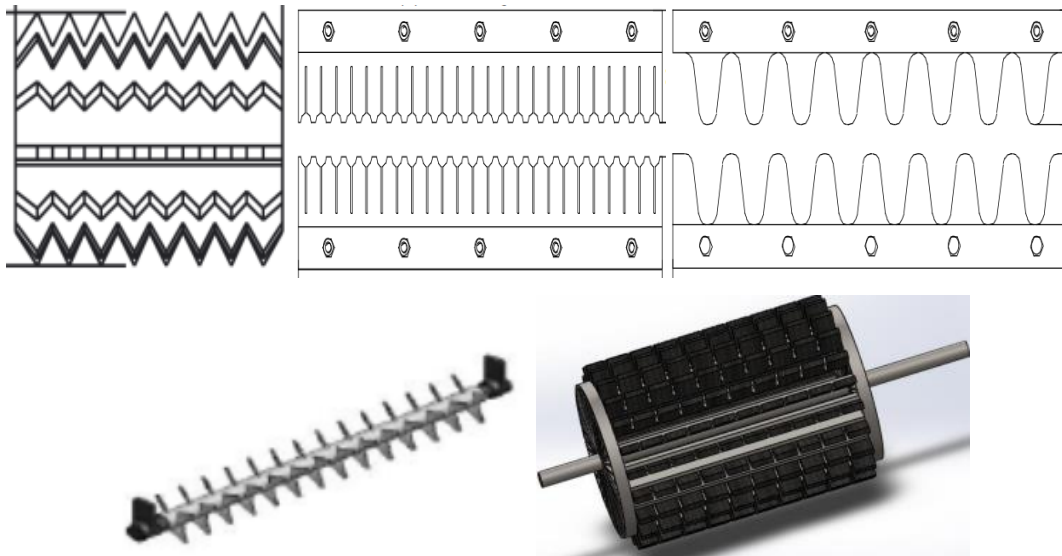
hele føres manuelt inn, med blomsterenden først, mellom to matevalser (Wilhoit et al., 2013, s. 7). Stenglene mates forbi to motroterende slagere som slår og gnir av tobakksbladene, som simpelthen faller ned i kasser i underkant (Wilhoit et al., 2013, s. 7). Også Zhesheng et al. (2018, s. 406) skisserte en lignende maskin for mais, som du kan se på figur 7b. I stedet for å hakke opp stenglene etter at kolben var blitt høstet, som er vanlig praksis, var tanken å berge stenglene hele fra jorden (Zhesheng et al., 2018, s. 406). I dette konseptet er derimot slagerne fjærbelastede, slik at spalten mellom slagerne reguleres etter tykkelsene på stenglene (Zhesheng et al., 2018, s. 406). Å fjærbelaste slagerne gjør at komponentene kan ligge helt inntil stenglene og virkelig gni av bladene, ved at det oppstår større friksjon mellom stenglene og komponentene (Patel et al., 2022, s. 2341). I tillegg er det lagt inn ruller som sentrerer stenglene inn mot slagerne (Zhesheng et al., 2018, s. 407).



Figur 7. To ulike stasjonære maskiner som bruker slagere til å slå og gni av blader fra stengler. Skisse a) forklarer prinsippet til en maskin for tobakk, mens b) viser en videreutviklet variant for mais. Fra Wilhoit et al., 2013, s. 7; Zhesheng et al., 2018, s. 406.

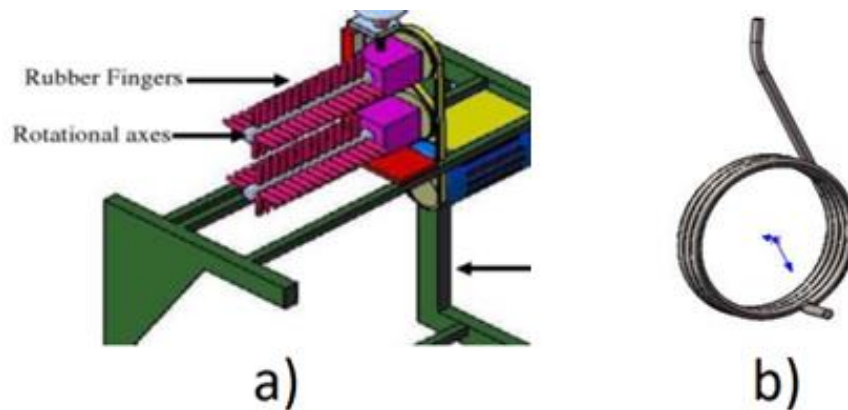
Ulike design for slike slagere med komponenter er blitt foreslått for sukkerrørhøstere (Huo et al., 2023, s. 129). Blant disse kan det nevnes komponenter av rektangulære biter av dekkgummi (Ikram et al., 2019, s. 453), fingre av nylon (Ikram et al., 2020, s. 56), kniver med gummibelegg (Patel et al., 2022, s. 2341) og flate, elastiske tenner av gummi (Jin et al., 2016, s. 58). Disse komponentene kan du studere på figur 8. Ofte er komponentene innfestet med en vinkel på rundt 20° i forhold til radien til slagere, for å øke kraften i slagene (Ikram et al., 2019, s. 453; 2020, s. 56). På noen slagere er dessuten komponentene innfestet i et heliksmønster, som gir en ytterligere mer skånsom behandling (Huo et al., 2023, s. 140). I

tillegg er slageren til Patel et al. (2022, s. 2341) fjærbelastet for å kunne være enda mer skånsom, og samtidig la komponentene ligge helt inntil stenglene og dermed oppnå stor friksjon. Som vi ser er komponentene ofte laget av en eller annen type polymer, for å gi plantedelene en mer skånsom behandling av plantedelene enn det stål gjør (Huo et al., 2023, s. 139). Eksempler på ulike design ser vi på figur 8.



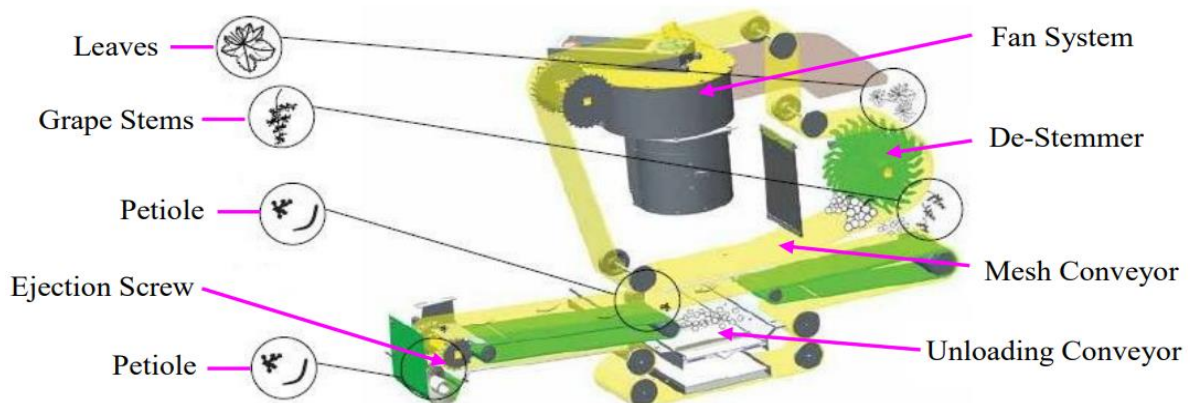
Figur 8. Fem ulike design for slagere og komponenter, til bruk på høstmaskiner for sukkerrør. Fra Patel et al., 2022, s. 2341; Jin et al., 2016, s. 59; Ikram et al., 2019, s. 453; Ikram et al., 2020, s. 56.

Den stasjonære maskinen Dekhordi et al. (2014, s. 370) bygde for krysantemum var betydelig enklere enn de du ser på figur 7. En 3D-modell av denne maskinen kan du se på figur 9a. Her føres buketter for hånd mellom to slagere, og holdes der mens fire rekker med radielt festede fingre slår og gnir av bladene langs stenglene (Dekhordi et al., 2014, s. 370, 371). Disse fingrene er kjegleformede og er laget av formstøpt gummi (Dekhordi et al., 2014, s. 370). For andre planter har man derimot forsøkt å bruke tinder. For eksempel modifiserte Shinnars et al. (2007, s. 714) et skjærebordet på en høstmaskin for grønne bønner, og brukte dette til å høste bladene til luserne. Skjærebordet består hovedsakelig av en stor slager, der 16 rader med radielt festede tinder er montert i et spiralmønster rundt slageren (Shinnars et al., 2007, s. 714). Zhang et al. (2020, s. 108) sin stasjonære maskin har flere små slagere, der noen har fjærende og noen har stive tinder. Figur 9b viser en slik fjærende tinde. Disse slagerne roterer med såpass høye turtall at tindene kutter av bladene langs stenglene (Zhang et al., 2020, s. 104).



Figur 9. To andre måter å separere blader fra planter. 3D-modellen a) viser to slagere med gummifingre, mens b) viser en fjærende tinde som kan monteres på en slager. Fra Dekhordi et al., 2014, s. 371; Zhang et al., 2020, s. 107.

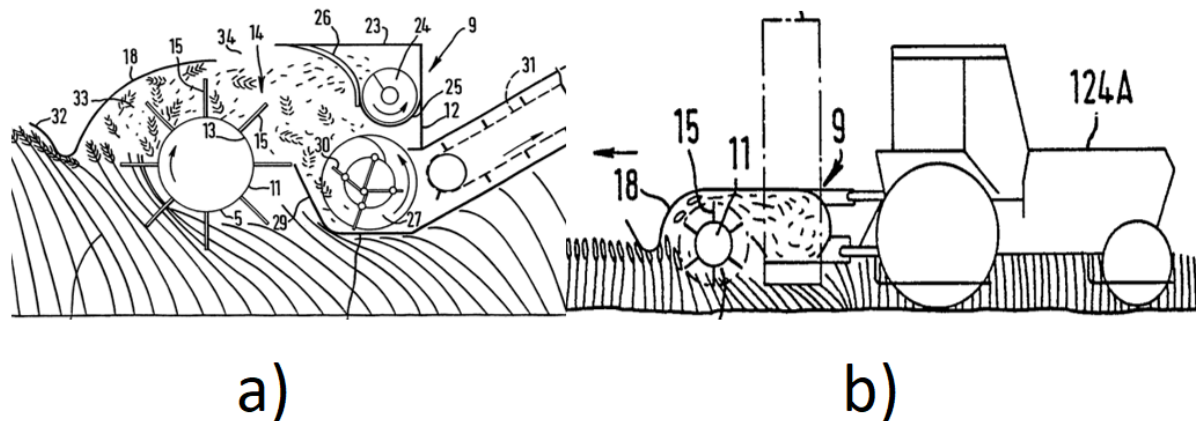
Høstemaskiner for druer har også integrert separeringssoner for blader, slik som sukkerrørhøstere (Ernard-Ferré, 2016, s. 24-30). For druehøstere er det patentert mange ulike løsninger, men felles for mange er at de hovedsakelig består av én eller flere slagere, i tillegg til ei sentrifugalvifte (Ernard-Ferré, 2016, s. 24-30). Etter hvert som bladene slås løs fra drueklasene, blir de sugd opp av undertrykket fra viften, og blåst ut på jordet (Ernard-Ferré, 2016, s. 24-30). På figur 10 ser du hvordan én slik løsning fungerer. I neste avsnitt skal jeg derimot vise en annerledes bruk av metoden.



Figur 10. 3D-modell av separeringssonen til en høstemasin for vindruer, som kombinerer slag og trykkluft for å separere blader fra drueklaser. Fra Ernard-Ferré, 2016, s. 23.

Strippermetoden

Klinner [2, s. 2, 12, 21] patenterte i 1985 en ny metode for å høste plantedeler som korn, grasfrø eller blader fra urter eller luserne. Høstemasinen kan eksempelvis ta form av en type skjærebord til skurtreskere, som vist på figur 11a [2, s. 14]. Heir (1998, s. 138) kaller disse skjærebordene stripperbord. Derimot kan også høstemaskinen være reversmontert traktorredskap, som det du ser på figur 11b, der et sideveis transportbånd avleverer plantedelene i hengeren til en annen traktor [2, s. 14]. Ved reversmontering er redskapet montert til trepunktsopphenget bak på traktoren, slik at traktoren i stedet rygger gjennom åkeren. I begge tilfeller består redskapet hovedsakelig av en dekkskjerm, som går foran en bred slager som dekker hele arbeidsbredden til redskapet [2, s. 3]. På slageren sitter det tenner, som er formet som pilspisser med mothaker, og mellom tennene er det runde hull som blir kalt «nøkkelhull» [2, s. 3]. Når redskapet avanserer i terrenget, legger dekkskjermen stenglene til planten framover (Heir, 1998, s. 138). Stenglene sklir deretter mellom pilspissene og inn i nøkkelhullene, der mothakene river og gnir av bladene, frøene eller kornene [2, s. 2, 3]. Plantedelene kastes videre opp mot innsiden av dekkskjermen, og styres bakover til [2, s. 3].



Figur 11. To prinsippskisser demonstrerer strippermetoden. Skisse a) viser et stripperbord til skurtreskere, og b) illustrerer et reversmontert traktorredskap med et sideveis transportbånd. Fra patentet til Kliner [2, s. 32, 53].

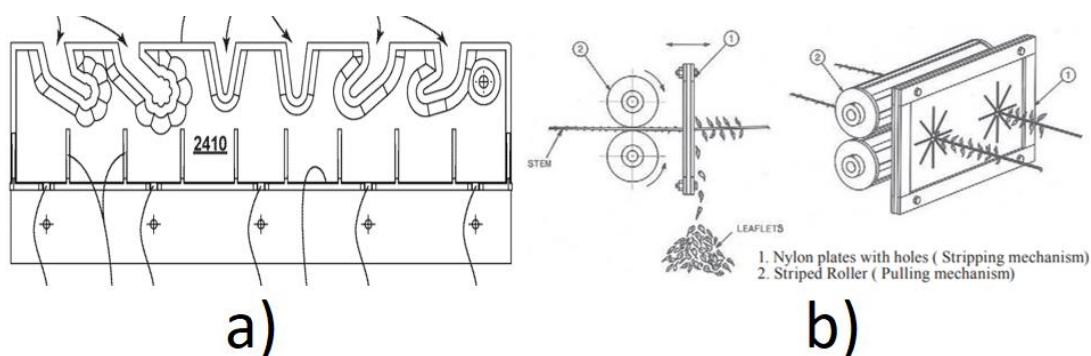
Men strippermetoden benyttes også til å høste bladene til industrihamp, før stenglene høstes. Bruce et al. (2001, s. 45) bygde en prototype av et traktormontert redskap som greide å høste majoriteten av disse bladene. Slageren som de brukte kan du studere på figur 12. Tennene var laget av et polymer som kalles polyuretan (Bruce et al., 2001, s. 45). Redskapsprodusenten Shelbourne Reynolds (u.å.), som har patentrettighetene til strippermetoden, skreddersyr i dag løsninger til montering på både traktorer, finsnittere, skurtreskere og hjullastere. På figur 12 ser du et eksempel der et redskap er montert på frontlasteren til en traktor. Her ser man hvordan bladene kan avleveres i en henger som går på siden av redskapet (Shelbourne Reynolds, u.å.).



Figur 12. Strippermetoden brukes også for å høste bladene til industrihamp. Bildet til venstre viser en forholdsvis smal slager som ble testet på en prototype. Til høyere er et frontlastermontert redskap til traktor. Fra Bruce et al., 2001, s. 45; Shelbourne Reynolds, u.å.

2.2.2 Faste plater

Det finnes også metoder som ligner rispeplaten til Udahl (2022) på figur 4. Atteberry [3, s. 4] patenterte en knivplate med ulike forsenkninger og hull, som kan monteres til en benk. Denne knivplaten er skissert på figur 13a. Stenglene til eksempelvis blomster eller industrihamp kan dras manuelt gjennom disse forsenkningene, slik at bladene kuttes av [3, s. 4]. Platen kan være laget av et polymer eller et metall, og den har både V-, U- og L-formede forsenkninger som passer til ulike planter [3, s. 5]. Noen av disse forsenkningene er glatte, mens andre er takkete [3, s. 6]. Dette er derimot kun et håndverktøy, men det finnes også mindre stasjonære maskiner som bruker faste plater. Blant andre Wilhoit et al. (2013, s. 2) beskriver en maskin der tobakksplanter blir ført manuelt inn gjennom et hull. To matevalser drar deretter plantene gjennom et to fjærbelastede plater, som videre drar av bladene (Wilhoit et al., 2013, s. 2). Naik et al. (2013) bygde og testet en nokså lik maskin. Her blir grener fra karriplanter ført gjennom koniske hull i en nylonplate, som videre gnir av bladene (Naik et al., 2013, s. 70). Ut fra hullene er det i tillegg skåret et stjerneremønster (Naik et al., 2013, s. 70). Figur 12b viser en prinsippskisse av denne maskinen. I neste avsnitt skal vi se at det ikke bare brukes mekaniske påkjenninger for å separere blader fra planter.

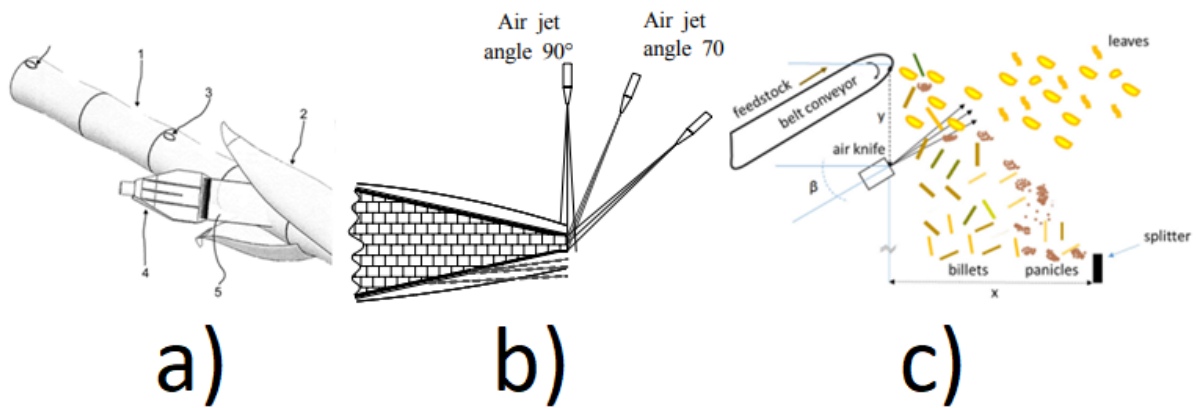


Figur 13. Faste plater som kutter eller gnir av blader fra stengler på ulike planter. Skisse a) viser et håndverktøy kalt en knivplate, mens b) viser prinsippet til en stasjonær maskin med nylonplater med koniske hull. Fra Atteberry [3, s. 16]; Naik et al., 2013, s. 70.

2.2.3 Trykkluft

Luftdyser og luftkniver

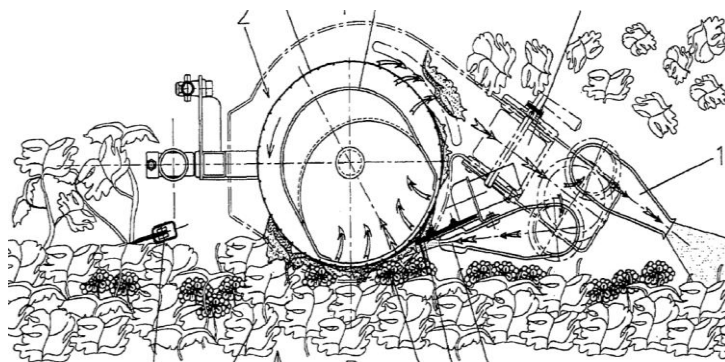
Azenha et al. [4] patenterte en metode de mente skulle være spesielt skånsom. Metoden går ut på at sukkerrør blir ført manuelt, med blomsterenden først, inn til et sett med dyser [4, s. 2]. Dysene leverer et høyt lufttrykk i en spiss vinkel inn mot stengelen [4, s. 2]. Etter hvert som stenglene mates gjennom maskinen, løfter luftstrømmen fra dysene bladene ut fra stengelen, og til slutt rives bladene av [4, s. 2]. Figur 14a skisserer hvordan Azenha et al. tenkte at bladene skal løftes ut fra stenglene. Park et al. (2010, s. 163) bygde og testet en stasjonær maskin som benyttet en lignende metode, for å skånsomt rive av bladene som ligger rundt maiskolber. Prinsippet til denne maskinen blir illustrert på figur 14b. Videre bygde Tobias et al. (2018, s. 253) bygde derimot en testrigg, hovedsakelig bestående av en luftkniv og et transportbånd. Luftkniver er en type brede luftdyser. I dette konseptet blir ferdigkuttete lengder av sukkerdurra transportert oppover, før de slippes ned foran en luftkniven (Tobias et al., 2018, s. 253). Luftkniven leverer et lufttrykk på 6,2 bar (Tobias et al., 2018, s. 253). Følgelig separeres bladene fra stenglene, og løftes videre bakover til en egen beholder (Tobias et al., 2018, s. 253). Stenglene, som er tyngre, faller ned i en egen tank (Tobias et al., 2018, s. 253). Teorien bak dette konseptet kan minne noe om rensesystemet til en skurtresker, der de letteste plantedelene separeres fra de tyngre, ved hjelp av luftstrømmen fra en vifte (Srivastava et al., 2006, s. 429). Tobias et al. (2018, s. 253) konkluderte avslutningsvis med at metoden kunne fungere, men at det trolig behøvdtes flere luftkniver. Prinsippet til Tobias et al. kan du se på figur 14c. I neste avsnitt skal vi se at man også kan benytte undertrykket til ei vifte; ikke bare overtrykket.



Figur 14. Dyser som river av blader fra a) sukkerrør, b) maiskolber og c) sukkerdurra, ved hjelp av høye lufttrykk. Fra Azenha et al. [4, s. 17]; Park et al., 2010, s. 167; Tobias et al., 2018, s. 253.

Luftsug fra vifte

Pellenc & Bonnard [5, s. 25] utviklet et bakmontert traktorredskap for vindrueprodusenter, som hovedsakelig består av ei vifte og en hul, vertikal sylinder. Veggene til sylindren er laget av en type netting, og disse veggene roterer kontinuerlig [5, s. 25]. Mens traktoren kjører mellom vinrankene, føres sylindren inntil plantene [5, s. 25]. På figur 15 ser du hvordan undertrykket fra vifta går gjennom framre del av nettingveggen, og gjør at blader blir sugd av og deretter holdt inntil nettingen [5, s. 25]. Etter hvert som at veggene roterer, og undertrykket forsvinner, faller bladene ned på bakken [5, s. 25]. Til nå i teoridelen har jeg vist flere skånsomme metoder for å separere blader fra planter. Videre skal du få se ulike måter å bruke kniver på for å kutte av blader.



Figur 15. En luftstrøm suger blader av vinranker, gjennom de roterende nettingveggene til en hul sylinder. Bladene faller på bakken, etter hvert som veggene roterer. Fra Pellenc & Bonnard [5, s. 19].

2.2.4 Kniver

Slegler

Før roten til sukkerbete høstes er det vanlig å fjerne den bladrike kronen, ved hjelp av et redskap bestående flere ulike slagerakslinger (Lammers et al., 2010, s. 464). Noen av slagerakslingene har slegler laget av stål og er relativt aggressive; slegger som skal gi en mer skånsom behandling er ofte utført i gummi eller polyuretan (Lammers et al., 2010, s. 464). En slageraksling er en tverrgående aksling som opprinnelig brukes på slagghøstere, som er redskaper som kutter og hakker opp gras (Srivastava et al., 2006, s. 350). På slagerakslingene monteres det slegler, som er en type hengslede kniver som slår av, hakker opp og kaster plantemateriale opp gjennom et utkasterrør og i en henger (Srivastava et al., 2006, s. 350; Morken et al., 2003, s. 169). På slike *defoliators* faller bladene simpelthen ned på bakken (Lammers et al., 2010, s. 464). For å kunne høste disse bladene, videreutviklet Bulgakov et al. (2020) denne metoden. En frontmontert dobbeltkutter ble modifisert, slik at bladene i stedet blir kastet opp i en henger (Bulgakov et al., 2020, s. 2, 3). Kort forklart er en dobbeltkutter en videreutviklet slagghøster, der sleglene i stedet kaster plantematerialet bakover til en tverrliggende mateskrue (Morken et al., 2003, s. 172). Videre mater skruen materialet sideves til ei kastevifte, som videre hakker opp materialet og kaster det gjennom et utkasterrør (Morken et al., 2003, s. 172). Andrzejewska et al. (2020, s. 4) modifiserte derimot en slagghøster for å kunne høste bladene til luserne. Slagerakslingen hadde fire rekker med slegler,

hvorav to ble demontert fra festeplatene; de to resterende knivene ble erstattet med kjettinger (Andrzejewska et al., 2020, s. 4). Ved å skifte ut knivene, oppnådde Andrzejewska et al. (2020, s. 4) en skånsom høsting av lusernebladene.

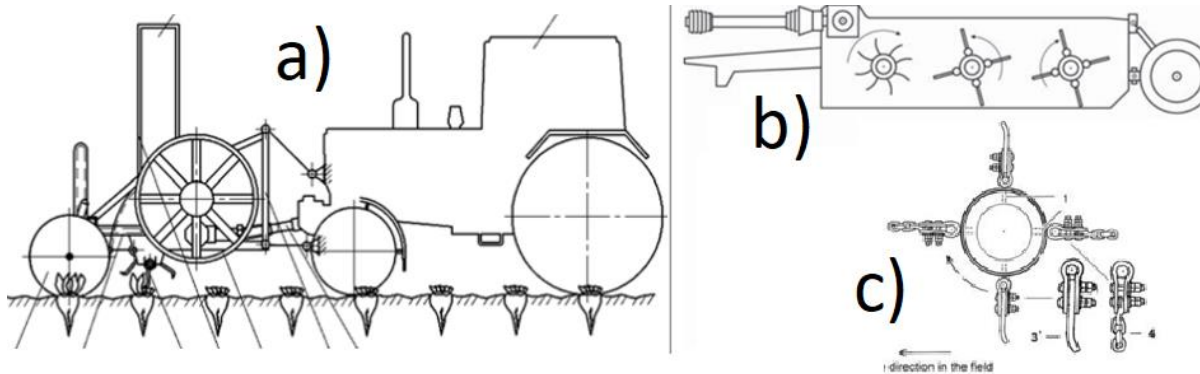
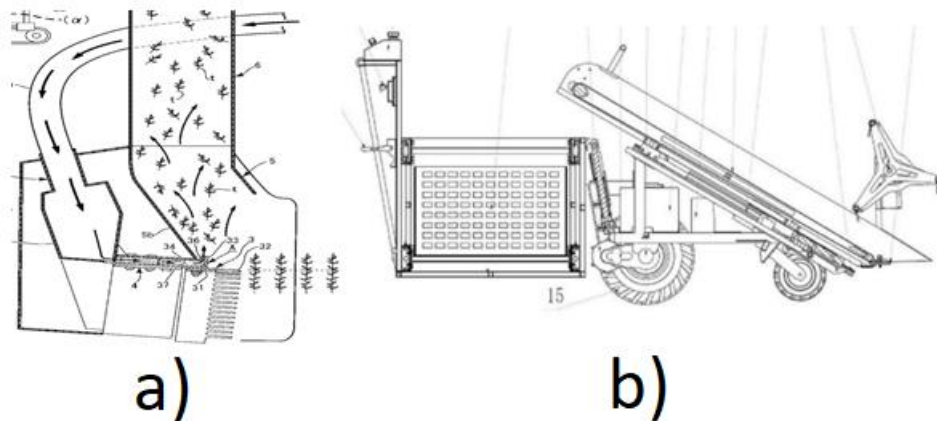


Figure 16. Måter å separere blader fra sukkerbete og luserne. Prinsippskisse a) viser en videreutviklet dobbeltkutter som høster bladene til sukkerbete. Prinsippskisse b) viser derimot et redskap der bladene legges igjen på bakken. Snittegningen c) viser en slageraksling, der annenhver kniv er fjernet, mens resterende kniver er erstattet av kjettinger. Fra Bulgakov et al., 2020, s. 3; Lammers et al., 2010, s. 465; Andrzejewska et al., 2020, s. 12.

Knivbjelker

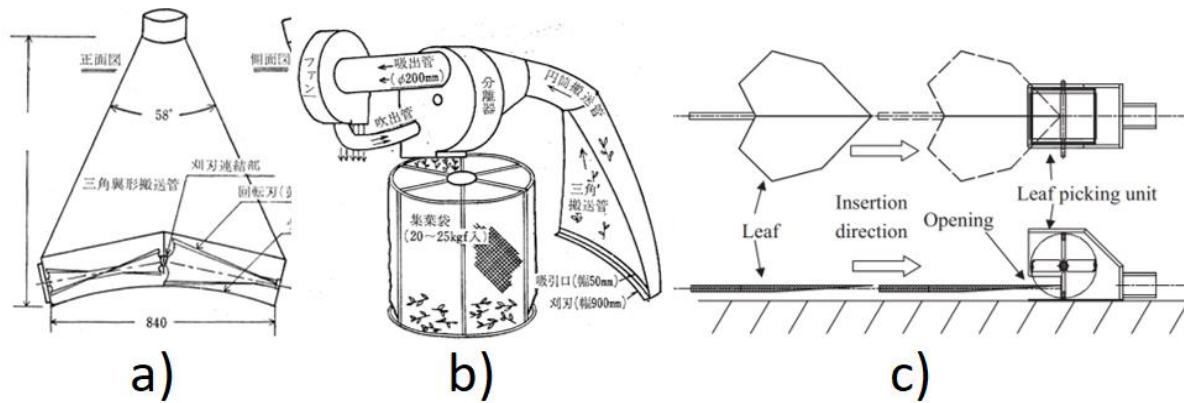
Nakano (1976, s. 26) utviklet en selvgående tehøster med en avbuet dobbeltkniv, i tillegg til en stor dyse montert over hele arbeidsbredden. Her kutter knivene av blader fra kronen til tebusker, ved hjelp av fram- og tilbakegående bevegelse (Nakano, 1976, s. 26). Deretter suges bladene opp gjennom dysen, og blåses til slutt ned i nettposer (Nakano, 1976, s. 26). På figur 17a ser du Yukimarus [6, s. 2] prinsipp, der det derimot er en dyse som blåser bladene opp gjennom et rør og ned i nettposene (Nakano, 1976, s. 26). Med Teradas [7, s. 3] løsning er det i stedet plassert en manifold med flere mindre dyser over dobbeltkniven. Her blåses simpelthen bladene direkte bakover i en stor nettpose [7, s. 3]. Videre brukes knivbjelker også for å høste bladgrønnsaker. Blant andre Chen et al. (2022, s. 3) utviklet en elektrisk, autonom høstemaskin, der en kamhaspel fører de kuttete bladene inn på et transportbånd. Bladene transporteres oppover, og faller ned i ei kasse på bak på maskinen (Chen et al., 2022, s. 3).



Figur 17. Skisser av to høstemaskiner som kutter av blader ved hjelp av knivbjelker. Prinsippskisse a) viser prinsippet til en te høster, mens b) er en enkel tegning av en autonom løsning for å høste bladgrønnsaker. Fra Yukimaru [6, s. 7]; Chen et al., 2022, s. 3.

Roterende kniver

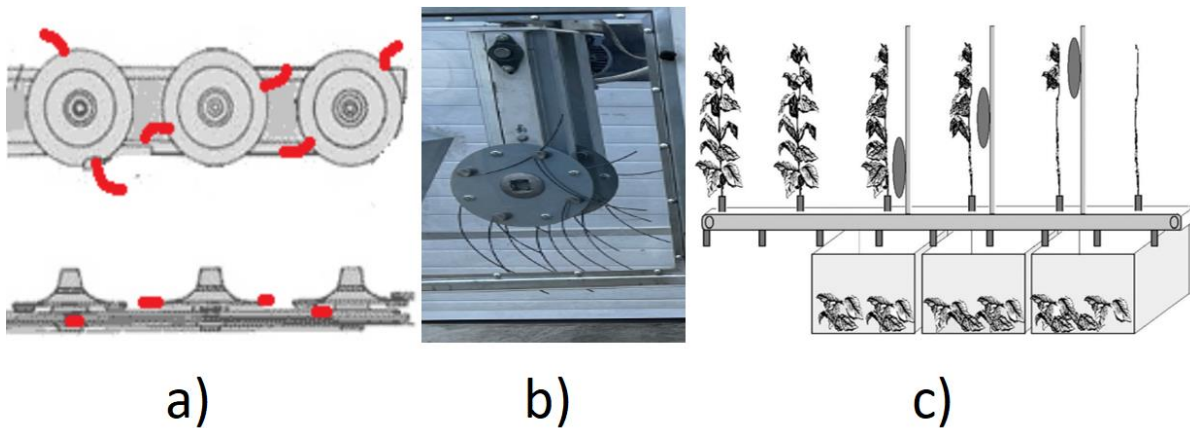
Som vi så i forrige avsnitt, bruker de fleste te høstere knivbjelker for å kutte av blader. Matsumoto-metoden bruker imidlertid en roterende bevegelse (Nakano, 1976, s. 25). Etter hvert som knivene på sylindrene kutter av bladene, suges de opp gjennom ei stor dyse til en syklon, før vifta blåser dem ned i en nettpose (Nakano, 1976, s. 25). På figur 18a ser du hvordan sylindrene er montert, og på 18b blir transporten gjennom maskinen illustrert. Nakano (1976, s. 26) poengterte, vel å merke, at disse sylindrene fører til flere knuste blader enn det knivbjelker gjør. Videre brukes roterende kniver også til å kutte av blader fra eksempelvis agurkplanter. Ota et al. (2007, s. 382) bygde en autonom maskin for drivhus, der en roterende rotor med kniver og ståltråder kutter av blader langs stenglene til agurk. Prinsippet til rotoren ser du på figur 18c. Etter hvert som bladene kuttes av, suges de gjennom rotoren og blir knust (Ota et al., 2007, s. 382). Deretter suges bladene gjennom et rør og ned i en kasse (Ota et al., 2007, s. 382).



Figur 18. Prinsipper for to ulike metoder som bruker roterende kniver til å kutte av blader fra planter. Skisse a) og b) viser gangen i en tehester etter Matsomoto-metoden, og c) viser en rotor med kniver som kutter av blader fra agurkplanter. Til høyre: En stor dyse suger opp bladverket, før vifta blåser dem inn i nettposer. Fra Matsuyama et al., 1985, s. 474; 475; Ota et al., 2007, s. 383.

2.2.5 Tråder

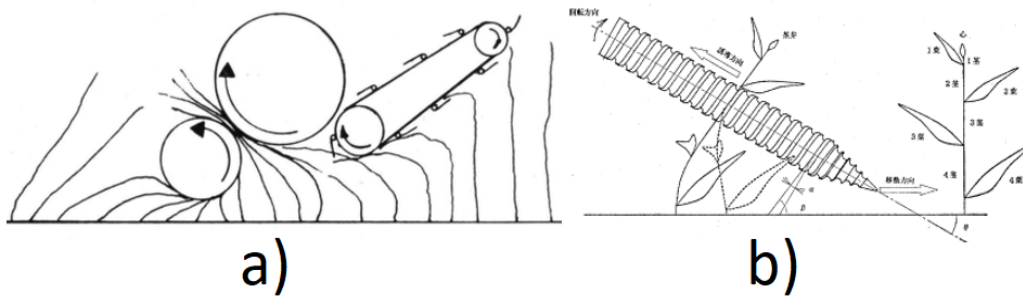
Nikam et al. (2021, s. 21) bygde et bakmontert traktorredskap som skal fjerne bladene fra sukkerrør, før stenglene høstes. På redskapet monterte Nikam et al. (2021, s. 21) fire ruller, som alle har flere lange tråder av myk gummi (Nikam et al., 2021, s. 21). Rullene roterer med høye turtall, slik at trådene slår og gnir av bladene når traktoren kjører mellom radene (Nikam et al., 2021, s. 21). Også den stasjonære maskinen til Herbas (u.å) bruker slike tråder. Her blir tørkede olivengrener lagt på et transportbånd, og ført mot en stor rotor med flere tråder av PVC (Herbas, u.å). Denne rotoren kan du se på figur 19a. Grenene blir klemt mellom transportbåndet og et overliggende bånd, og matet sakte mot rotoren mens bladene blir slått av (Herbas, u.å.). Videre foreslo Mamuladze (2023, s. 2) å bruke en bjelke roterende skiver på tehestere, i stedet for knivbjelker. Tråder av gummi eller metall vil da bli festet til skivene, slik at de kutter av tebladene (Mamuladze, 2023, s. 2). Figur 19a viser en skisse av hvordan denne maskinen er tenkt. Dessuten utviklet Wilhoit et al. (2013, s. 6) en stasjonær maskin der tobakksplanter blir klemt mellom to kjeder, og transportert forbi flere rotorer med tråder som kutter av bladene. Prinsippet til denne maskinen blir illustrert på figur 19c.



Figur 19. Rotorer med tråder som slår, gnir eller kutter av blader fra ulike planter. Skissen a) viser tre skiver med tråder som skal kutte av teblader, og bildet b) viser en rotor som slår av olivenblader. Prinsippskissen c) illustrerer tre rotorer som kutter av tobakksblader. Fra Mamuladze, 2023, s. 3; Herbas, u.å; Wilhoit et al., 2013, s. 8.

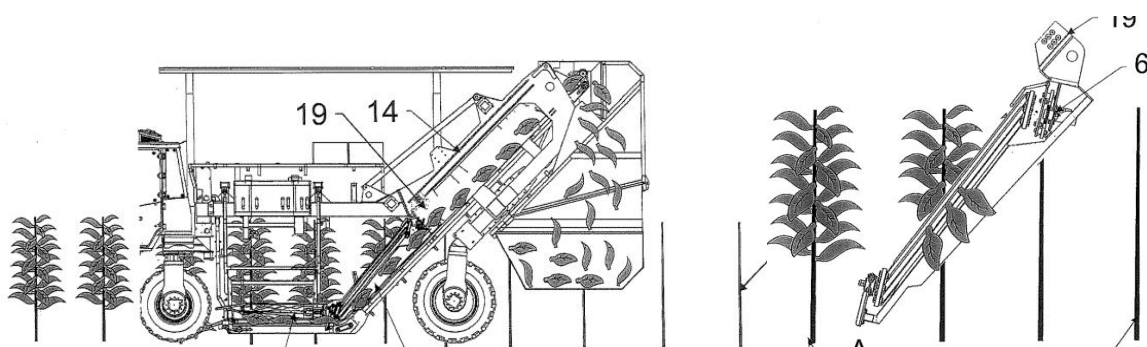
2.2.6 Ruller

Currence & Buchele (1967, s. 20) modifiserte en stengelbehandler med ruller for å høste bladene til luserne. Figur 20a viser hvordan virkemåten til redskapet er tenkt. Slike stengelbehandlere er traktormonterte redskaper som opprinnelig brukes til å klemme og knekke stenglene til allerede kuttete belgvekster, som eksempelvis luserne (Srivastava et al., 2006, s. 370; Morken et al., 2003, s. 161). I dette tilfellet brukes derimot rullene til å klemme lusernestenglene mellom seg, og deretter dra bladene av stenglene (Currence & Buchele, 1967, s. 20). Videre utviklet Okada & Gejima (1996, s. 479) en metode for å høste te, som blir illustrert på figur 20b. To par med motroterende ruller av polyacetal, som hver har fått gjenget et spiralmønster omkring seg, brukes til å dra og rive av tebladene (Okada & Gejima, 1996, s. 479). Hver rulle er formet som en sylinder med en kon foran (Okada & Gejima, 1996, s. 479). Rullene heller framover mens de arbeider (Okada & Gejima, 1996, s. 479). Et lite hull er boret langs omkretsen til hver rulle, slik at teknoppene gripes tak i (Okada & Gejima, 1996, s. 479).



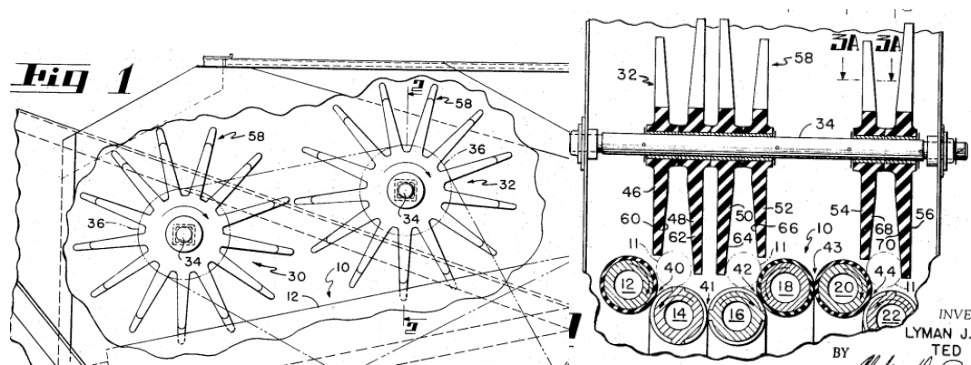
Figur 20. To ulike ruller som høster blader. Prinsipskisse a) viser en modifisert stengelbehandler som drar av luserneblader. Skisse b) én av flere ruller som brukes til å dra og rive av teblader. Fra Currence & Buchele, 1967, s. 20; Gejima et al., 1993, s. 26.

Videre presenterte Spapperi [8, s. 2] en selvgående høstemaskin for tobakksblader, som kjører over plantene. Prinsippet illustreres på figur 21. Maskinen har to grupper med hule, avlange ruller som er utstyrte med små kniver [8, s. 2]. Disse rullene danner kontraroterende par som ligger inntil hver side av stenglene, mens knivene kutter, drar og river av bladene [8, s. 3]. Rullene tar tak i bladene og kaster dem ut til transportbånd, som videre fører bladene til tanken [8, s. 2]. Frova [9] utviklet en lignende høstemaskin for sukkerør. Konseptet går ut på at avlange ruller med fingre slår og gnir langs stenglene [9, s. 7]. Først skyves stenglene framover, og holdes der av taket på maskinen [9, s. 7]. Vinkelen på stenglene er dermed slik at børstene treffer vinkelrett på stenglene [9, s. 7].



Figur 21. Høstemaskin for tobakksblader. Til venstre er en prinsipskisse av hele maskinen, og til høyre vises én av rullene idet den drar av blader. Fra Spapperi [8, s. 9; 12].

Maskiner som høster maiskolber hele har integrert en separeringssone som fjerner bladene rundt kolbene (Bern et al., 2019, s. 110). Dette gjøres ved at flere aksler med roterende, stjerneformede hjul trykker kolbene ned mellom langsgående ruller [10, s. 3]. Rullene roterer parvis mot hverandre, slik at de drar og river av bladene fra kolbene [10, s. 3]. Tegningene



Figur 22. Tegninger av stjerneformede ruller som trykker maiskolber ned mot motroterende par med ruller som drar og river av bladverk fra kolbene. Underst ser man metoden bli brukt på en høstemaskin. Fra Gunyou & Stott [10, s. 1; 2].

2.3 Oppsummering av teori

I denne tekniske gjennomgangen har vi sett at det brukes mange ulike metoder for å separere blader fra planter. Noen metoder brukes kun til fjerne blader, og enkelte knuser i tillegg bladene. Andre metoder er imidlertid ment for å høste bladene. I noen sammenhenger brukes slagere som slår og gnir, eller faste plater som kutter eller drar av blader. Også trykkluft benyttes til å blåse eller suge, slik at blader rives av plantene. Disse metodene behandler bladene forholdsvis skånsomt. Videre brukes slegler, knivbjelker, knivsyndre og rotoror med kniver til å kutte av blader. Bruk av slike kniver vil derimot hakke opp eller knuse bladene, i mange tilfeller. I tillegg benyttes myke tråder av ulike polymerer for å slå, gni eller kutte av blader fra mange ulike planter. Avslutningsvis nevnte jeg flere ulike ruller som drar, river eller kutter av bladene. Disse rullene gir også en skånsom behandling. Kort oppsummert, kan man si at de fleste metodene er temmelig skånsomme, untatt knivene og enkelte andre unntak.

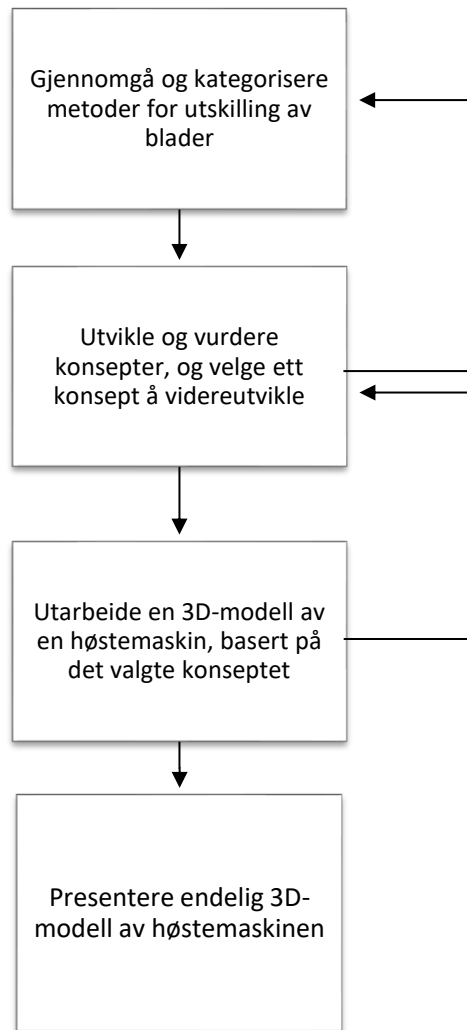
Når jeg senere skal generere nye konseptforslag til en egnet høstemaskin for jordskokkblader, holder det derimot ikke at metodene behandler bladene skånsomt. Som jeg nevnte i delkapittel 1.1.3, er én av de store utfordringene jordskokkens spesielle morfologi. Eksempelvis kan sannsynligvis langt fra alle de forannevnte metodene håndtere de tre meter høye stenglene til jordskokk. Sett i sammenheng, er de fleste andre plantene jeg nevner nokså annerledes utformede. En annen ting å merke seg, er at flere av metodene som nevnes ennå er på et teoretisk stadie. For noen metoder er det dessuten kun bygget prototyper. Derimot omtaler jeg også enkelte metoder som er velprøvde. I tillegg finnes enkelte av metodene kun som håndverktøy, eller som stasjonære maskiner. For å oppsummere teorien, finnes det finnes mange ulike metoder, men trolig vil de færreste egne seg til å høste jordskokkblader. Neste kapittel dreier seg om hvordan jeg har gått fram for å løse problemstillingen min.

3. Metode

3.1 Metodevalg

Hvordan bør, optimalt sett, en egnet høstemaskin for jordskokkblader utformes? For å kunne svare på dette, var det aktuelt å avdekke hvilke løsninger som er utviklet av andre tidligere, for lignende formål. Som oftest gjøre dette ved å gjennomføre et litteratursøk. Samtidig var nødvendig å utforske og lære mer om de fysiske egenskapene til jordskokk. I tillegg var det interessant å benytte ett eller flere verktøy for produktutvikling. Eksempelvis kunne Osbornes SCAMPER eller Pughs Controlled Convergence method (PuCC) brukes til å utvikle nye konseptforslag til høstemaskinen. For å visualisere utseendet til høstemaskinen, var det avslutningsvis aktuelt å bruke et 3D-modelleringsprogram for å visualisere høstemaskinen.

For å skaffe meg en videst mulig oversikt over mulighetene som finnes, gjennomførte jeg et bredt litteratursøk. Ut fra pilotsøkene jeg foretok innledningsvis i litteratursøket, kom det fram at slagere med komponenter av ulike polymerer var mye brukt til å separere blader fra stenglene til andre planter. Følgelig ønsket jeg å teste hvordan denne metoden potensielt kunne fungere på jordskokk. Samtidig ville jeg få et større grunnlag til å vurdere hvor godt ulike metoder for separering oppfylte kriteriene jeg satte for høstemaskinen. For å kunne generere og deretter vurdere nye konseptforslag, valgte jeg å bruke PuCC. Innen ingeniørdesign benyttes PuCC mye til slike formål (Frey et al., 2008, s. 44). Dermed kunne jeg samtidig diskutere og forklare vurderingene mine til leseren, gjennom en enkel og oversiktlig matrise (Frey et al., 2008, s. 42). Til slutt brukte jeg *Autodesk Inventor Professional 2023* til å visualisere høstemaskinen på en best mulig måte. Denne programvaren brukes av profesjonelle konstruktører, men er gratis for studenter. Flytskjemaet på figur 23 beskriver framgangsmåten min.



Figur 23. Flytskjema over framgangsmåten jeg har brukt for å løse problemstillingen.

3.2 Framgangsmåte

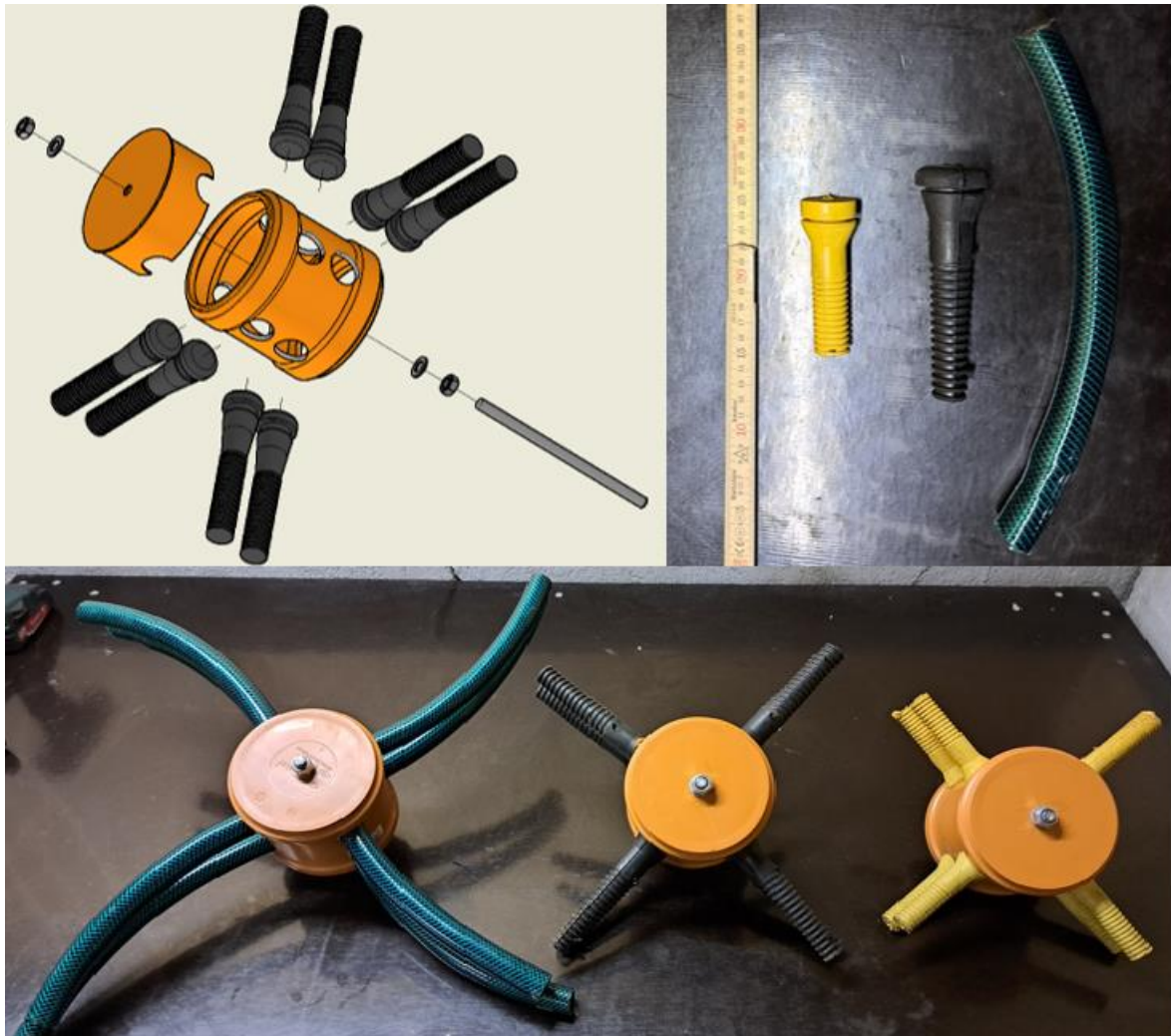
3.2.1 Litteratursøk

For å finne relevante artikler gjennomførte jeg flere raske søk i Google Scholar. Hovedsakelig benyttet jeg «snøballeffekten», der jeg fulgte nye tråder gjennom litteraturlistene til artiklene jeg fant. I tillegg gjennomførte jeg noen mer planlagte søk i fagdatabasen ScienceDirect. I

disse planlagte søkene inkluderte jeg både reviewartikler, forskningsartikler og kapitler av bøker innen fagområdet plantekultur og biologi. Derimot gjorde jeg generelt få avgrensninger av søkene mine. I tillegg gjorde jeg flere patentsøk i Google Patents. Dette var noen ganger nødvendig for å finne gode nok skisser og forklaringer av enkelte metoder. Etter å ha gjennomført flere pilotsøk, kom jeg fram til flere søkeord. Søkeskjemaet kan du se i vedlegg 2. Resultat av litteratursøket presenterte i teoridelen.

3.2.2 Forsøk i felt

For å kunne imitere hvordan slagere potensielt ville kunnet separere blader fra stenglene til jordskock, bygde jeg tre små verktøy. Figur 24 viser blant annet en 3D-modell av dette verktøyet. Hvert verktøy kunne monteres til og drives av en håndholdt batteridrill. Først boret jeg åtte hull ut gjennom sidene til en 110 mm bred dobbeltmuffe for kloakkrør. På denne muffen hadde jeg satt inn en propp på den éne siden. Gjennom proppen boret jeg videre et hull for et M8 gjengestål, som jeg deretter festet gjennom dette hullet. Gjengestålet festet jeg ved hjelp av en skive og en mutter på hver side av proppen. Dette gjengestålet kunne man feste drillen til. Hullene jeg boret gjennom sidene til muffen, gikk ut fra sentrum av røret, med to og to hull sammen, og med en vinkel 90° på mellom disse. Gjennom hvert av disse hullene festet jeg en sylindrisk finger av gummi, som dermed ble stående radielt ut fra muffen. Disse fingrene produseres av Noris, og benyttes opprinnelig på høstmaskiner for rotgrønnsaker, for å rense røttene til grønnsakene. Figur 24 viser et bilde som sammenligner de tre ulike komponentene, i tillegg til å vise de tre slagerne forfra. Til den første slageren festet jeg fingre av typen Sheli, som er en kortere og hul variant som er relativt bøyelig. Fingrene på den andre slageren heter Dalia, og er lengre, stivere og hardere fingre av massivt gummi. På den tredje slageren festet jeg derimot biter av en gummislange, som var enda lengre og stivere.



Figur 24. Tre små verktøy som skal imitere slagere. Hver av dem er utstyrt med ulike komponenter av gummi. Foto er tatt av undertegnede, 3D-modellen øverst til venstre er også tegnet av undertegnede i Inventor.

Den 29. septemer og 6. oktober 2022 gjennomførte jeg et forsøk i en jordskockåker på Fredheim gård (60° N, 11° Ø), lokalisert på Stange i Innlandet. I dette forsøket testet jeg slagerne jeg hadde bygd. Jeg holdt slagerne inntil stenglene i åkeren mens slagerne roterte, og observerte hvor effektivt bladene ble slått eller gnidd av stenglene. Ved å legge en hvit duk i underkant av stenglene, som på figur 25, kunne jeg i tillegg se hvor store skader komponentene påførte bladene og stenglene. Betrakningene jeg gjorde, noterte jeg fortløpende. For å i tillegg kunne se hvordan effektiviteten og skånsomheten endret seg ved ulike hastigheter og krefter, testet jeg tre forskjellige driller. Alle drillene hadde to gir, og de kunne levere ulike turtallsområder og dreiemoment. Spesifikasjonen til drillene kan du finne i vedlegg 3. Disse drillene var en Metabo BS 18 SET, en DeWalt DCD 791 og en Bosch GSR 18V-110 C.

Maksimalt kunne disse drillene levere dreiemoment på henholdsvis 48, 70 og 110 Nm på sine letteste gir. Jeg testet begge girene til alle tre drillene.



Figur 25. Ved å legge en hvit duk under stenglene, kunne jeg se hvor skadde bladene ble etter separering. Foto av undertegnede.

3.2.3 Pugh Controlled Convergence method (PuCC)

Gjennom mesteparten av arbeidet med oppgaven, jobbet jeg kontinuerlig med å utvikle en matrise etter framgangsmåten til PuCC-metoden, som beskrevet av Frey et al. (2008, s. 42-45). Arbeidet var en prosess der jeg i gjentatte runder genererte og definerte nye konseptforslag, i tillegg til å frasortere gamle konseptforslag som jeg etter hvert vurderte som fullstendig uegnede (Frey et al., 2008, s. 43). Matrisen bestod av én kolonne for hvert konseptforslag. Hver rad representerte ett av kriteriene jeg satte for konseptforslagene. Jeg valgte å vekte disse kriteriene mellom 1 og 3, og multipliserte denne vektingen med poengsummen for hver rute (Frey et al., 2008, s. 55-56). Som referanse brukte jeg konseptet til Udahl (2022), som foreløpig stod som det beste alternativet (Frey et al., 2008, s. 43). Etter hvert som jeg konkluderte med hvor godt et konseptforslag oppfylte kriteriene i forhold til referansekonseptet, fylte jeg inn henholdsvis – eller + i de ulike rutene, slik Frey et al. (2008, s. 43) foreslo. Dermed ble det en tredelt skala. Itså kun en tredelt skala. På nederste rad

summeres poengene, der – gir -1 poeng og + gir +1 poeng (Frey et al., 2008, s. 43). Der jeg ikke hadde nok grunnlag for å fatte en beslutning fylte jeg inn *S* (Frey et al., 2008, s. 43). Derimot fylte jeg inn *i* der jeg ønsket å understreke at en sammenheng burde utforskes videre. Både *S* og *i* ga null poeng. Det konseptforslaget som stod igjen med flest poeng, jobbet jeg videre med å utvikle og definere mer grundig (Frey et al., 2008, s. 43).

Spesifikasjoner og kriterier for konseptforslagene

Konseptet til Udahl ble skrinlagt, som nevnt i underkapittel 1.1.4, fordi det virket for komplekst og omfattende å realisere. Derfor satte jeg et krav om at høstemaskinen skulle ta form av et redskap til en basismaskin som allerede brukes i opplegget til en typisk jordskokkprodusent. Som oftest er det kun normale landbrukstraktorer som brukes i denne produksjonen. Følgelig måtte høstemaskinen bli et traktormontert redskap. For å samtidig kunne hensynta flest mulig av kravene Strætkvern og Endrerud satte for høstemaskinen (underkapittel 1.1.2 og 1.1.3), satte jeg noen flere absolutte krav til utformingen. Disse kravene samlet jeg i den påfølgende punktlisten. Disse spesifikasjonene skulle alle konseptforslagene jeg genererte oppfylle. Kort oppsummert, skal høstemaskinen:

- være et traktorredskap som stiller moderate krav til traktoren og dens utrustning.
- separere bladene fra stenglene på en skånsom måte.
- utføre en form for bladbehandling som punkterer vokslaget til bladene.

I tillegg til disse uunnværlige kravene til konseptforslagene, satte jeg flere kriterier for å vurdere de forslagene jeg utviklet. Majoriteten av disse kriteriene har også bakgrunn i innledningen, slik som kravene jeg satte. Kriteriene tilvirkningskost, kompakthet og kompleksitet inkluderte jeg for å vurdere om konseptforslagene mine var mer realistiske å videreutvikle enn referansekonseptet. De agronomiske kriteriene var derimot med for å vurdere hvordan kvaliteten på avlingen ville bli. Disse kriteriene tok hovedsakelig utgangspunkt i de bioteknologiske synspunktene Strætkvern forklarte i underkapittel 1.1.2.

Tabell 1. Kriteriene jeg satte for konseptforslagene, med beskrivelse. Disse ble brukt i PuCC-matrisen for vurdere egnetheten til konseptforslagene.

Kriterie	Beskrivelse
Produksjonskriterier	
Tilvirkningskost	Hvor mye det vil koste å produsere redskapet (direkte materialer og direkte lønn).
Funksjonelle kriterier	
Brukervennlighet	Hvor mange funksjoner og innstillinger det vil være for sjåføren.
Kompakthet	Hvor omfattende, tungt og effektkrevende redskapet vil være.
Kompleksitet	Hvor få komponenter redskapet potensielt kan bestå av.
Maskinkapasitet	Hvor stor masse som redskapet kan høste per tidsenhet.
Agronomiske kriterier	
Skånsomhet	Hvor små skader som potensielt kan oppnås på avlingen, for å bevare proteinetkvaliteten i bladverket best mulig.
Mekaniske tap	Hvor lite bladverk som søles og går tapt under høstingen.
Urenheter	Hvor liten andel av stengler og blomster som kan oppnås i avlingen.
Behov for etterarbeid	Hvor mye arbeid som trengs i etterkant av høsting, for å klargjøre til påfølgende knollopptaking.

3.2.4 Dataassistert konstruksjon (DAK)

For å tegne todimensjonale prinsippskisser av de ulike konseptforslagene, brukte jeg konstruksjonsprogrammet *Autodesk AutoCAD 2021*. Det hydrauliske koblingsskjemaet til høstemaskinen tegnet jeg også ved hjelp av *AutoCAD*. Videre tegnet jeg 3D-modellen av høstemaskinen i *Autodesk Inventor Professional 2023*.

3.3 Begrensninger ved metodevalg og framgangsmåte

Ved å avgrense søkene mine så lite som jeg gjorde i Google Scholar, fikk følgelig søkene flere tusen treff. Dermed var det usannsynlig å undersøke alle. Altså kan det fortsatt finnes flere relevante artikler, ikke minst i ulike fagdatabaser for jordbruk. Videre hadde det praktiske forsøket også sine begrensninger. Siden det ikke forelå noen prototyp av høstemaskinen, var det eksempelvis ikke aktuelt å teste ulike parametre skikkelig. Derfor foretok jeg heller ingen tallmessige registreringer som potensielt kunne blitt benyttet i statistikk. Derimot bidro forsøket til å frambringe nye erfaringer om de overjordiske plantedelene fysiske egenskaper. Bruken av PuCC bidro til at jeg kunne være kreativ. Etter hvert som jeg eliminerte konseptforslag fra matrisen, måtte jeg utvide litteratursøket ytterligere for å finne andre metoder å basere nye konseptforslag på (Frey et al., 2008, s. 43).

4. Resultat

Hvordan skal en framtidig høstemaskin for jordskokkblader se ut? For å belyse denne problemstillingen, gjennomgikk jeg i teorikapitlet flere ulike metoder for separering av blader fra planter. Disse metodene ble grunnlaget for den påfølgende prosessen med å utvikle et høvelig konsept og design for en høstemaskinen. I det følgende presenterer jeg resultatene fra denne prosessen.

4.1 Forsøk i felt

Samtlige gummikomponenter klarte å separere blader fra stenglene. Derimot forutsatte denne separeringen at komponentene traff stilken til bladet. I tillegg måtte komponentene treffe disse stilkene fra oversiden (blomsterenden av stengelen) og mot rotenden av stengelen. Dersom slagene kom nedenfra, viket derimot bladene innover og la seg inntil stenglene. Samtidig krevdes det en viss kraft i disse slagene. Følgelig separerte komponentene flest blader når slagerne ble drevet av drillen som leverte størst dreiemoment (Bosch GSR). Videre viste det seg derimot at andregir på alle tre drillene var mest effektivt. I andregir var turtallene drillene holdt høyere, mens dreiemomentet var lavere. Ergo kan man fastslå at også hastigheten til komponenten er viktig, i tillegg til kraften i slagene dens. Gummislangene, som var betraktelig lengre og stivere enn fingrene, klarte å separere de fleste bladene fra stenglene. Dalia-fingrene klarte videre å fjerne en vensetlig del når man brukte de to sterkeste drillene (Bosch GSR og DeWalt DCD). Derimot separerte de kortere og mykere Sheli-fingrene betydelig færre blader. På figur 26 ser man Sheli-fingrene i aksjon.



Figur 26. Slageren med Sheli-fingre i aksjon. Denne komponenten så ut til å slite mest med å separere bladene fra stenglene. Foto av Ole Sigurd Lodsby.

En ny utfordring som viste seg underveis, var at plantene i samme åker var på ulike utviklingsstadier. De elastiske stenglene til de minste plantene, hadde en tendens til å vikle seg rundt slagerne. Dessuten knakk de tynneste stenglene ved mindre hard behandling enn de tykkere, slik som vist på figur 27a. Derimot ser man på 27b at også de tykkeste stenglene knakk når behandlingen ble for voldsom. Spesielt gummislangene kunne none ganger kappe av stenglene. I de fleste tilfellene, derimot, knakk ikke stenglene. Som regel skled stenglene til siden for komponentene. Dessuten var Sheli- og Dalia-fingrene fleksible, slik at kunne flekse bakover og unngå å skade stenglene. Et slikt tilfelle ble fanget på bildet på som vist på figur 27c. Dermed knakk ikke stenglene.



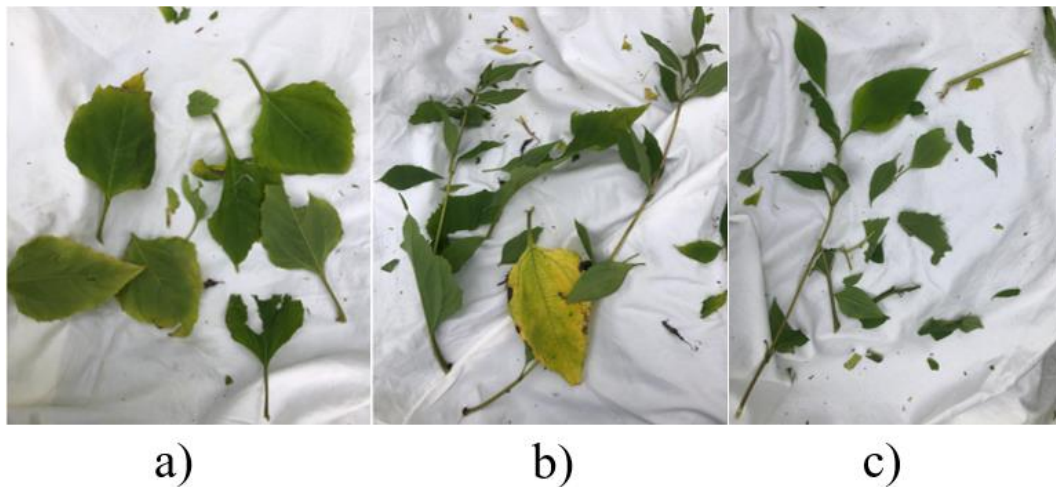
a)

b)

c)

Figur 27. Enkelte ganger kunne komponentene knekke stenglene. Bilde a) viser en tynn stengel som knakk etter et slag fra en komponent. På b) ser man at selv en tykk stengel knekker når påkjenningen blir for stor. Bilde c) viser derimot hvordan en Dalia-finger flekser bakover, slik at stengelen ikke knekker under sammenstøtet. Foto av Ole Sigurd Lodsby.

Videre fikk bladene svært ulike skader under separeringen. Noen blader var tilsynelatende like hele, mens noen fikk rifter, og andre ble delt i små biter. Gummislangene (figur 28a) var mest skånsomme mot bladene, og ga nokså hele blader. Dalia-fingre (figur 28b) ga også nokså intakte blader, mens Sheli-typen (figur 28c) overraskende nok hadde en større tendens til å slå bladene i småbiter. I dette underkapittelet har vi sett at slagere med gummikomponenter kan brukes for å separere bladene på en effektiv og skånsom måte. Men hva betyr disse observasjonene for utformingen til høstemaskinen? I det følgende avsnittet skal jeg forsøke å trekke en foreløpig konklusjon.



Figur 28. Blader i etterkant av separering ved hjelp av slageren med Dalia-fingre, drevet av tre ulike driller. På bildene ser man hvor ulike behandlinger drille gir. Bildene viser henholdsvis resultatet etter separering med drillene a) Bosch GSR b) DeWalt DCD og c) Metabo BS.

4.1.1 Tolkning av forsøket

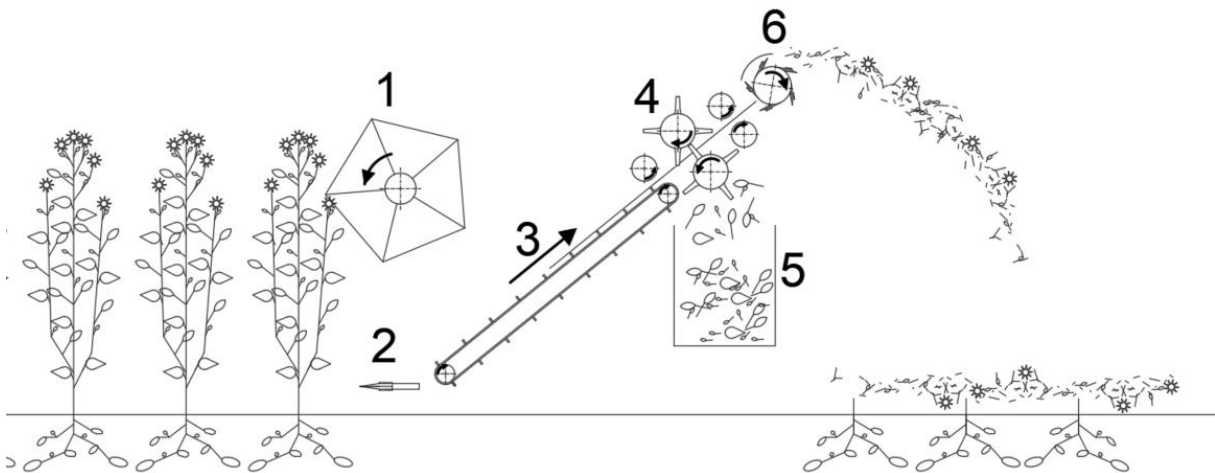
I forsøket så jeg at ulike utviklingstrinn hos plantene i åkeren førte til én og samme behandling kunne føre til at noen stengler knakk, mens andre ikke gjorde det. Følgelig kan det være behov for en enkel måte å regulere denne behandlingen på. Dersom man går for konsept som bruker slagere, kan man eksempelvis endre hastigheten til komponentene. Dette kan gjøres ved å ha en enkelt anvendelig innstilling for turtallet til slagerne, ut fra forholdene i åkeren. Tatt i betraktning at elastiske stengler kan vikle seg rundt slagerne, bør slagerne være reverserbare for å kunne fjerne opphopninger som kan oppstå. Dessuten bør komponentene på slagerne sitte tett, for at komponentene skal få riktig angrepspunkt og følgelig løsne bladene. Erfaringene fra dette forsøket tok jeg med meg inn i det påfølgende arbeidet med å utvikle konseptforslag til høstemaskinen. Disse konseptforslagene blir presentert i det følgende.

4.2 Resultat fra utvikling av konseptforslag

4.2.1 Konseptforslag B

Den første løsningen jeg endte opp med å inkludere i matrisen, baserer seg på bruk av matevalser og slagere. Metoden beskrives av Li et al. (2002, s. 419) i underkapittel 2.2.1 som omhandler slagere. Dette redskapet er tenkt å slepes bak og ut til siden for en traktor. Grunnen til at redskapet er slept, er at redskapet innebærer så mye som seks soner. En 1) kamhaspel roterer og fører stengler, med blomsterenden først, inn over en 2) dobbeltniv som kutter stenglene nede ved bakken. Deretter fører kamhaspelen stenglene inn på et 3) transportbånd. Stenglene blir derfra transportert oppover mot 4) separeringssonen, der de først klemmes mellom transportbåndet og en gummibelagt matevalse. Klemmingen bryter delvis opp vokslaget omkring bladene. Samtidig mates stenglene kontrollert mellom to kontraroterende slagere, som begge har fire rekker med radielt festede fingre av gummi. Disse fingrene gnir og slår av blader, mens stenglene føres forbi dem. Når bladene løsner, faller de ned i en 5)

storsekk, som kan skiftes ut av en annen traktor med frontlaster og pallegafler. Videre fører to nye matevalser stenglene mot en 6) knivsyylinder. Stenglene hakkes opp i biter og kastes avslutningsvis bakover og ut på bakken. Siden de overjordiske plantedelene er hakket opp, er også jorden klargjort for knolloptaking. Som figur 29 godt oppsummerer, er dette konseptforslaget nokså komplisert og omfattende. Derimot behandles bladene skånsomt, i tillegg til at det gis en viss bladbehandling. Vedlegg 4 viser en foreløpig 3D-modell av redskapet. Det neste forslaget skal du se at er nokså annerledes.

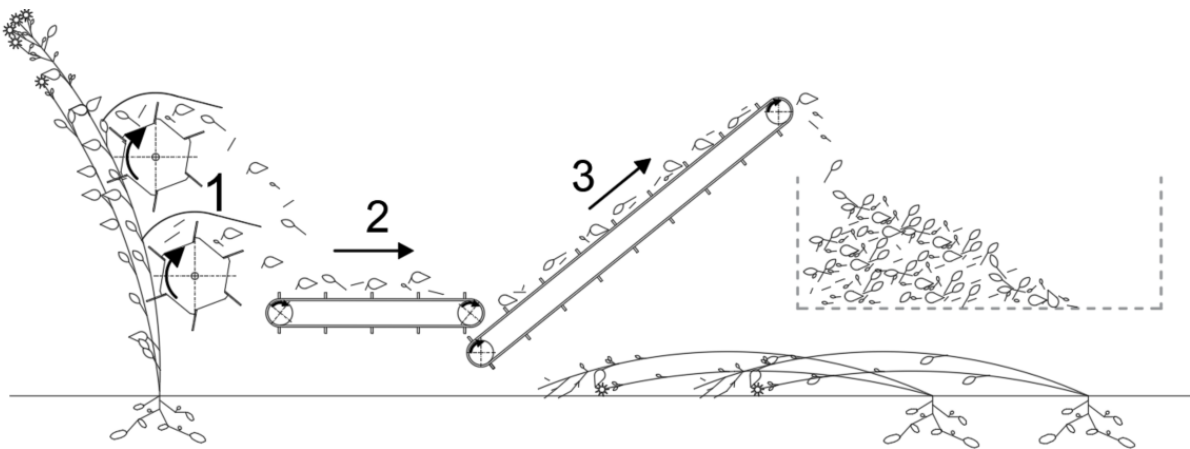


Figur 29. Prinsippskisse av et konseptforslag der slagere med gummi-komponenter separer bladene fra stenglene, før stenglene hakkes opp og breispres. Tegnet i AutoCAD av undertegnede.

4.2.2 Konseptforslag C

I motsetning til den foregående løsningen, foreslår jeg her et frontmontert redskap. Dette redskapet baserer seg på strippermetoden til Kliner [2], som demonstreres på figur 11. Redskapet består av kun tre soner, og er ment å være en videreutvikling av stripperbordet til Shelbourne (u.å.), som du kan se på figur 12. Tatt i betraktning de høye stenglene til jordskokk, har jeg lagt til en ekstra slager. I tillegg har jeg erstattet den tverrliggende mateskruen som Shelbourne (u.å.) beskriver, med nok et transportbånd. Dette tiltaket er ment for å transportere bladene sideveis på en mer skånsom måte. Når traktoren avanserer gjennom åkeren, vil stenglene skyves framover av to skjermer, før de møter 1) to roterende slagere. Hver slager

har seks rekker med tenner av den typen Klinner [2, s. 3] beskriver. Disse tennene skli inn mellom tennene, og drar deretter av bladene langs stenglene, nedenfra og oppover [2, s. 3]. Videre kaster tennene dette materialet opp mot de glatte innsidene av skjermene [2, s. 3]. Materialet føres bakover og ned på et 2) transportbånd. Derfra transporteres materialet sideveis til et nytt 3) transportbånd, som transporterer materialet oppover før det faller ned i hengeren til en annen traktor. Denne hengeren er skissert med stiplede linjer på prinsippskissen av dette konseptforslaget, som du ser på figur 30. Etter hvert som redskapet fortsetter framover i terrenget, knekker til slutt stenglene mot undersiden av rammen. Stenglene legges følgelig ned framover, og blir liggende igjen i åkeren. Dette konseptforslaget krever derfor en påfølgende arbeidsoperasjon som knuser eller fjerner stenglene, før knollopptakingen kan begynne. Med et slikt konsept kan man imidlertid oppnå et mer kompakt og mindre komplekst redskap. Derimot vil bladene få en mer aggressiv behandling, samtidig som at det trolig vil følge med flere stengler og blomster i avlingen. Altså vil det her være tennene som river og punkterer vokslaget til bladene.

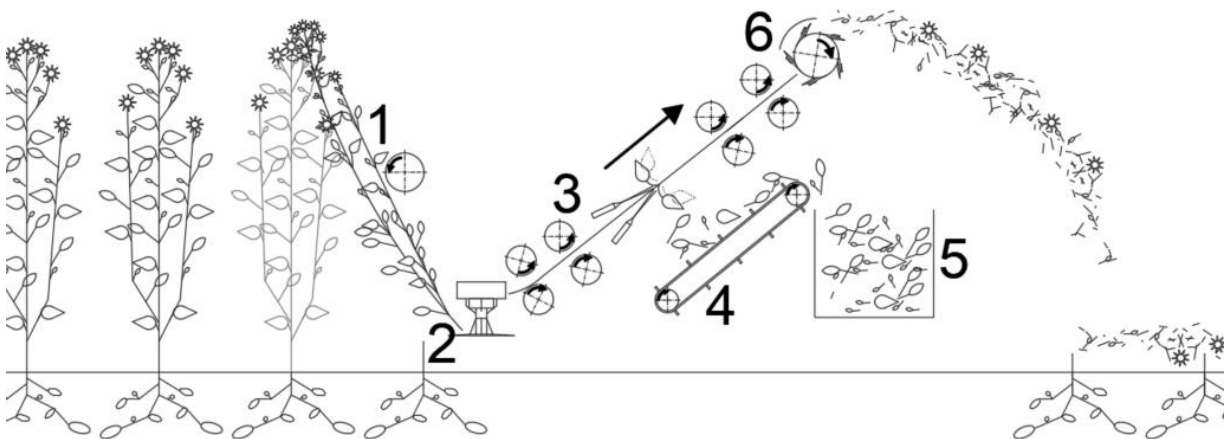


Figur 30. Prinsippskisse av konseptforslaget som benytter strippermetoden.
Tegnet i AutoCAD av undertegnede.

4.2.3 Konseptforslag D

Til forskjell fra forslag B og C, benytter denne løsningen dyser til å blåse av bladene fra stenglene. Denne løsningen er inspirert av metodene som illustreres på figur 14 og forklares i

underkapittel 2.2.3. Dette vil også være et slept redskap med seks soner, slik som forslag B. Når redskapet slepes gjennom åkeren, føres stenglene ned og framover av ei 1) nedføringsrulle. Deretter kuttes stenglene i bunn av 2) to kontraroterende tromler med kniver. Videre sklir stenglene over knivene, og videre mot 3) separeringssonen til redskapet. Her mates stenglene innover, med rotenden først, av to par med tverrliggende matevalser. Disse valsene vil klemme på bladene og skade vokslaget deres, mens de mater stenglene bakover. Samtidig blåses trykkluft gjennom de forannevnte dysene, og bladene rives av stenglene. Bladene faller ned på et 4) transportbånd, som fører dem til en 5) tank bak på maskinen. Stenglene mates videre av to nye par med matevalser, mot en 6) knivsyylinder som knutter stenglene og kaster bakover og ut på bakken. I likhet med konseptforslag B klargjøres her også åkeren fullstendig for knolloptaking. Imidlertid er konseptet noe mindre omfattende, men det kreves til gjengjeld en effektkrevende vifte som leverer trykkluften. På figur 31 ser du en prinsippskisse som forklarer gangen i redskapet.




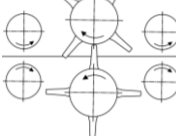
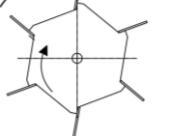
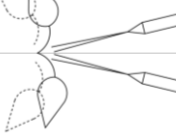
Figur 31. Konseptforslag der dyser blåser langs stenglene, slik at bladene rives av. Tegnet i AutoCAD av undertegnede.

4.3 Vurdering og seleksjon av konsept

I dette delkapitlet vurderer jeg hvor godt jeg mener de ulike konseptforslagene oppfyller kriteriene jeg definerte i avsnitt 3.2.3. Samtidig viser jeg hvor tungt de ulike kriteriene er blitt

vektet under vurderingen. Dermed får jeg vist tankegangen bak det endelige valget jeg foretar. Det endelige valget faller på det forslaget som oppnår høyest sum. Det konseptet jeg velger, vil jeg gå framstille en grundigere 3D-modell av i neste delkapittel.

Tabell 2. Matrise av med kriterier, vekting og konseptforslag.

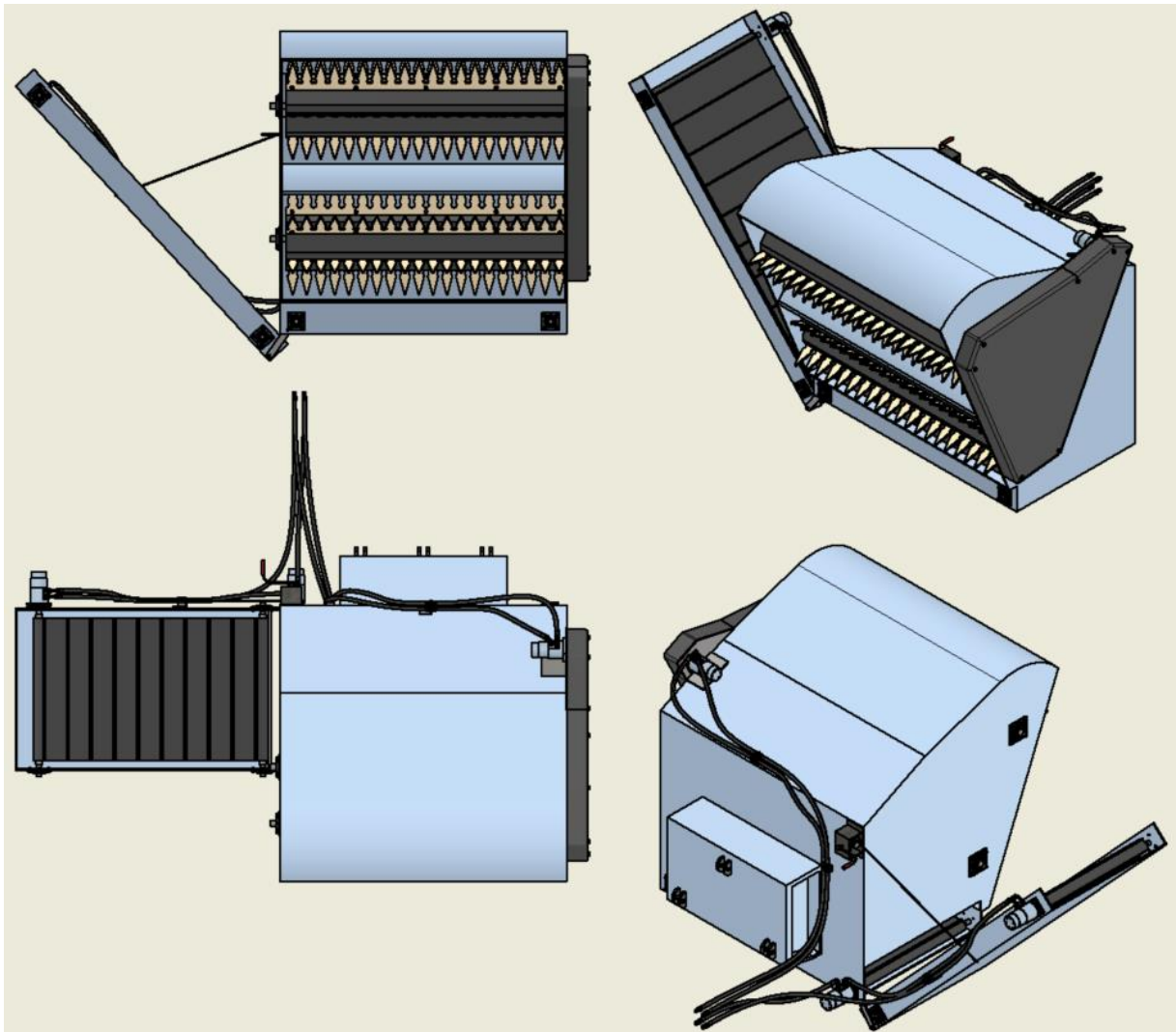
Konsept Kriterie	Vekt	 A. Rispeplate	 B. Slagere	 C. Stripper	 D. Dyser
Produksjonskriterier		Referanse			
Tilvirkningskost	2		S	+	i
Funksjonelle kriterier					
Brukervennlighet	1		-	+	S
Kompakthet	3		S	+	i
Kompleksitet	2		-	+	i
Maskinkapasitet	2		i	i	i
Agronomiske kriterier					
Skånsomhet	3		S	-	+
Mekaniske tap	1		S	-	S
Urenheter	2		S	-	S
Behov for etterarbeid	1		S	-	S
<i>Sum</i>		0	-3	1	-1

Som man ser falt valget til slutt på konseptforslag C, som baserer seg på strippermetoden til Klinner [2]. Dette forslaget vurderte jeg som det generelt enklest realiserbare av de totalt fire forslagene. Til tross for at dette konseptforslaget ikke tilfredstilte de agronomiske kriteriene like godt som de andre alternativene gjorde. Vel å merke kom både forslag B og D noe dårligere ut enn referansekonseptet, selv jeg vurderte de som fullgode løsninger på de fleste områdene. Kort oppsummert var det lite som skilte forslagene, men til slutt valgte jeg å gå videre med konseptforslag C.

4.4 Design av høstemaskinen

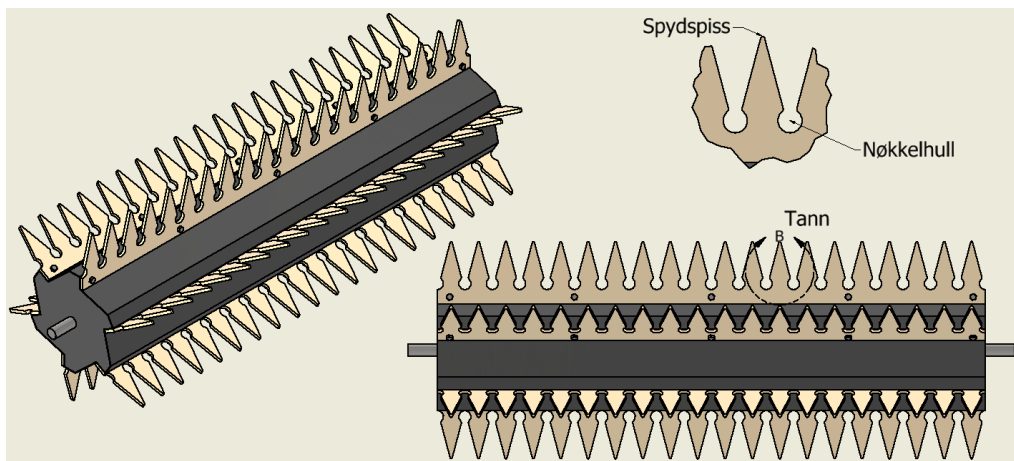
4.4.1 Oppbyggingen til høstemaskinen

Som nevnt i avsnitt 4.2.2 var konseptet ment å skulle utformes som et frontmontert traktorredskap. Som du kan se av 3D-modellen på figur 32, har jeg realisert løsningen i henhold til beskrivelsen av konseptet (4.2.2). Hovedsakelig er delene utført i stål. Bak på rammen er det montert kategori III koblingspunkter for traktor og redskap. Disse dimensjonene følger ISO-standard (*ISO 730/1*), som er angitt av Bøe (2005, s. 254). Dermed kan redskapet frontmonteres på en traktor, slik jeg opprinnelig beskrev konseptet i avsnitt 4.2.2. Eventuelt kan redskapet reversmonteres. Videre kan det nevnes at akslene til slagerne er opplagrede i lagerhus, som er skrudd inn i rammen til redskapet. Slagerne har hver sin avbøyde skjerm, som ligger i overkant. Et bredt transportbånd, som jeg kaller transportbånd 1, er montert i bunnen av rammen. Det tilsvarende brede transportbånd 2, som fører bladene ut til en henger, er opphengslet til siden av rammen. Transportbåndet kan foldes opp i transportposisjon, og legges sammen slik at båndet blir lavt nok til transport langs vei. Denne vinkelen justerer man ved hjelp av en hånddreven vinsj. Denne vinsjen som er skrudd inn på baksiden av rammen. Generelt har jeg forsøkt å komprimere designet så mye som mulig. Det svartlakkerte dekselet som er skrudd inn på siden av rammen, beskytter reimoverføringen, som jeg kommer nærmere inn på i neste avsnitt.



Figur 32. 3D-modell av redskapet, sett fra ulike vinkler. Tegnet i Inventor av Ole Sigurd Lodsby.

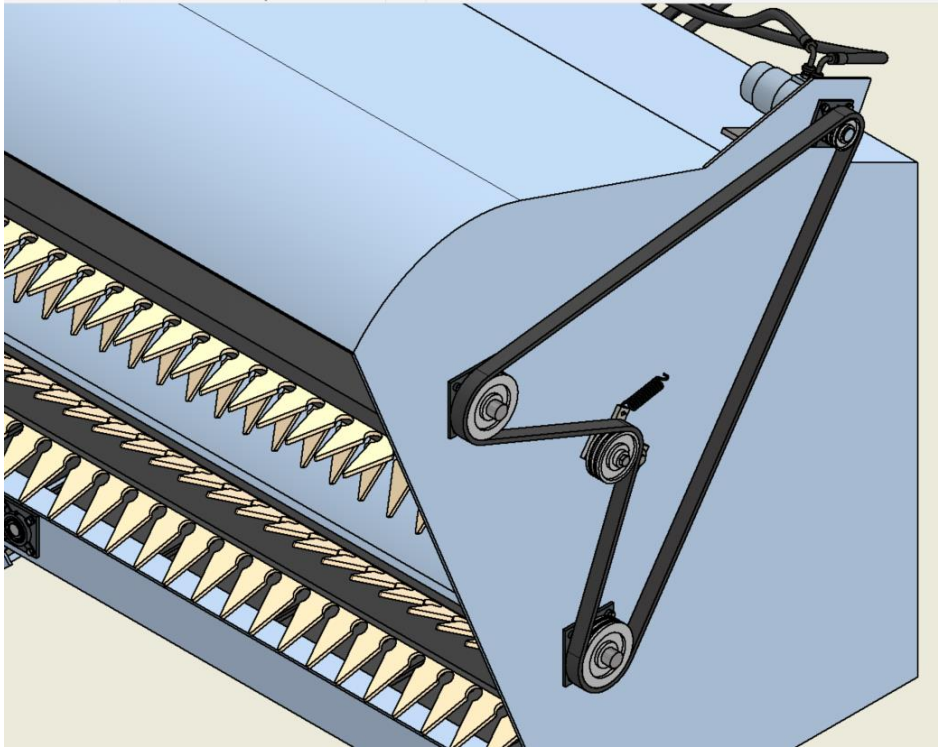
To slagere, der den éne er mer fremskutt, har seks bjelker med tenner hver. Disse tennene er skrudd fast i tverrliggende vinkelstål på slagerene. Tennene er tilnærmet identiske til de som benyttes av Shelbourne (u.å.), men de har noe større flate for å kunne dra med seg de store bladene til jordskakk. I tillegg har de nøkkelhullformede mellomrommene mellom tennene en diameter på 3 cm, for at selv de tykkeste jordskakkstenglene skal kunne skli inn i hullene. 3D-modellen av slagerne og tennene ser du på figur 33.



Figur 33. 3D-modell av slageren. Seks rekker med tenner brukes til å dra av blader underfra og oppover stenglene. Tegnet Inventor Professional 2023 av Ole Sigurd Lodsby.

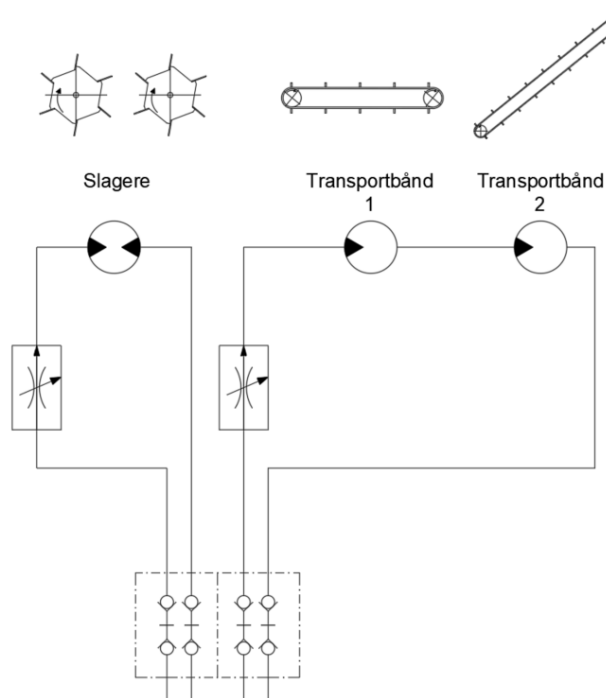
4.4.2 Drift av funksjoner

Redskapet drives fullt og helt av den interne hydraulikken til traktoren. Allikevel kreves kun to hydraulikkuttak, siden det kun er to hydrauliske kretser i anlegget til redskapet. Mange traktorer har to uttak foran, ergo settes det ikke urealistiske krav til traktorens utrustning. Turtallene til både slagerne og transportbåndene kan reguleres trinnløst, slik jeg poengterte i avsnitt 4.1.1. Denne reguleringen kan man enten utføre fra betjeningspanelet på moderne traktorer, eller ved hjelp av volumstrømsventilen til hver krets. Slike ventiler brukes til regulere den oljemengden som leveres, per tidsenhet (Srivastava et al., 2006, s. 98, 102). Det hydrauliske koblingsskjemaet til redskapet finner du på figur 35. Den éne kretsen har én hydraulikkmotor som driver begge slagerne, via en reimoverføring. På figur 34 vises hvordan dette løses. Med denne løsningen vil slagerne rotere med likt turtall. Denne motoren har to flyteretninger, slik at slagerne kan rotere motsatt vei og løsne opp i eventuelle opphopninger av materiale.



Figur 34. Reimoverføringen som driver slagene. Tegnet av undertegnede i Inventor.

I den andre kretsen er det derimot koblet inn to hydraulikkmotorer i serie. Som du kan se på koblingsskjemaet driver den éne motoren transportbånd 1, mens den andre driver transportbånd 2. Disse motorene har kun én flyteretning, siden transportbåndene ikke behøver å reverseres. Til nå i dette delkapitlet har du sett hvordan høstemaskinen er oppbygd, og de ulike funksjonene dens drives. Videre skal vi se hvordan disse funksjonene kan vedlikeholdes best mulig.



Figur 35. Forenklet koblingsskjema for redskapet. Tegnet av Ole Sigurd Lodsby i AutoCAD.

4.4.3 Vedlikehold

Akslene til slagerne og transportbåndene er opplagrede på hver side. Lagrene må følgelig smøres. I hvert lagerhus er det derfor skrudd inn en smørenippel, der man enkelt kan presse inn smørefett. I tillegg til dette rutinemessige vedlikeholdet, vil trolig tennene til slagerne kunne slites ned med tiden. Derfor er bjelkene med tenner skrudd fast i slagerne med fem sekskantskruer hver. Disse skruene kan løsnes enkelt, slik at man kan skifte hver bjelke etter behov. Deretter kan skruene festes igjen med rett tilsetningsmoment, ved hjelp av en momentnøkkel. Til sist kan man kontrollere reimoverføringen. Den svartlakkerte skjermen som du kan se på figur 32, beskytter denne overføringen. Denne skjermen er festet med sju skruer som kan løsnes. Reimen du ser på figur 34 kan fjernes og erstattes, ved å hekte av fjæren og dermed avlaste strammehjulet. Som en avslutning på resultatkapitlet har jeg nå vist hvordan designet til høstemaskinen er tenkt, ut fra det valgte konseptet. Jeg vil videre diskutere funnene mine i den påfølgende diskusjonen.

5. Diskusjon

I denne studien skulle jeg besvare hvordan en framtidig høstemaskin for jordskokkblader bør utformes. I teoridelen avdekket jeg et vidt spenn av metoder for separering av blader, men som er utviklet for andre kulturplanter enn jordskokk. Metodene grupperte jeg som slagere, faste plater, kniver, ruller eller metoder som benytter trykkluft. På et tidlig tidspunkt i dette litteratursøket, testet jeg en slager i felt. Ut fra erfaringene fra dette forsøket, genererte jeg tre konseptforslag til en ny høstemaskin. Det konseptforslaget som baserte seg på strippermetoden til Kliner [2] vurderte jeg som det mest egnede. Også mer egnet enn konseptet til Udahl (2022). Derfor utviklet jeg en 3D-modell av en høstemaskin som baserer på dette konseptet.

Udahl (2022) foreslo et konsept der en selvgående høstemaskin kutter stenglene og deretter risper av bladene, før stenglene slippes ut bak. I motsetning til Udahl, foreslo jeg et frontmontert traktorredskap der to slagere med tenner drar og river av blader, mens stenglene blir stående igjen på rot i åkeren. Når man skal utvikle et nytt konsept for en ny høstemaskin, skal man ikke bare oppnå et godt agronomisk resultat; konseptet må også være realistisk å videreutvikle til et ferdig produkt. Der Udahl presenterte en mer nyskapende og skånsom løsning, valgte jeg til slutt å videreutvikle en allerede velutprøvd metode. Rispeplaten til Udahl kan kategoriseres som en type fast plate. Gjennom litteratursøket mitt fant jeg ingen mobile høstemaskiner som benytter en lignende metode. Som Endrerud (personlig kommunikasjon, 4. mai 2023) poengterte: det tar mange år å optimalisere slike konsepter. Dersom metoden Udahl (2022) beskriver lar seg mekanisere på en tilfredsstillende måte, tror jeg allikevel at det kreves mye omfattende utviklingsarbeid for å ferdigstille en høstemaskin basert på hans konsept. Av den grunn anser jeg konsept som benytter strippermetoden som å være nærmere å kunne realiseres. Derimot tror jeg ikke strippermetoden vil gi noe perfekt agronomisk resultat. Dette viste jeg tydelig gjennom matrisen (tabell 2) der jeg sammenlignet konseptforslagene. På den annen side, vet man ikke hvor godt konseptet kan fungere i praksis, før noen prototype er blitt bygget og testet.

Gjennom prosessen med PuCC ble det klart for meg at det ikke var grunnlag for å beslutte hvordan konseptforslagene oppfylte samtlige av kriteriene jeg satte. Som jeg forklarte i avsnitt 3.2.3, markerte jeg disse feltene i matrisen (tabell 3) med bokstaven *i*. Denne bokstaven bør tolkes som en oppmuntring til å gjøre nye undersøkelser som kan avdekke hvor godt konseptforslagene oppfyller disse kriteriene. I tillegg benyttet jeg en *i* ved flere tilfeller der konseptforslaget må defineres og utvikles mer, for at man skal kunne gjøre noen vurdering. Siden det var få poeng som skilte konseptforslagene, kan fort resultatet bli annerledes hvis man får oppklart disse usikre feltene i matrisen. Derfor er det ikke sikkert strippermetoden er den beste løsningen å basere konseptet på. Derfor ønsker jeg å understreke at matrisen ikke nødvendigvis er ferdig, men i stedet representerer starten på en prosess med å generere, eliminere og vurdere nye høvelige konseptforslag.

I mitt konsept har jeg ikke valgt å integrere noen egen behandlingssone som skal skade vokslaget til plantene. Derimot tror jeg tennene på slagerne vil behandle bladene såpass aggressivt at de vil skade dette vokslaget til en viss grad. Derfor er det ikke sikkert at noen videre behandling av vokslaget er nødvendig. Dette blir selvfølgelig bare spekulasjoner, og det bør undersøkes videre. Dessuten tror jeg at tennene vil dra med seg enkelte blomster og biter fra stengler. Denne innblandingen av ulike plantedeler i avlingen kan være positivt for tørkingen (Endrerud, personlig kommunikasjon, 7. september 2022). Jeg tror at kombinasjonen av disse to forholdene kan bidra til at tørkeforløpet akselereres, slik Endrerud trodde.

Personlig tror jeg arbeidet med å utvikle en høstmaskin kun er i startgropen ennå. Konseptforslagene som allerede foreligger etter studiet mitt og Udahls (2022), kan videreutvikles, og nye forslag kan genereres. Sånn sett, vil teoridelen og PuCC-matrisen være delene av denne studien som tilfører prosjekt InnHøst mest verdi. Så vidt jeg kjenner til, finnes det ingen ligendene oversikt som omhandler flere ulike kulturplanter. Oversikten min avdekker ikke bare hvilke muligheter som finnes fra før, men kapitlet kan være en basis for å utvikle nye konseptforslag senere. Både denne tekniske oversikten og PuCC-matrisen kan gjenopptas av andre. Dessuten bør redskapet optimalt sett være tilpasset verdikjeden. Siden det fortsatt er mange løse tråder i prosjektet, kan man ikke konkludere med det beste utseendet

for høstemaskinen ennå. Det er ennå ikke klart hvordan logistikken og den tekniske utformingen til tørkeanlegg og bioraffineri skal se ut. Etter hvert som flere av disse forholdene kommer på plass, kan det være verdt å gjenoppta matrisen, og arbeide med den og foreta en ny utvelgelse. Oversikten over metoder for separering kan være et grunnlag for å kunne generere flere idéer til en framtidig høstemaskin. Hvilke slutninger kan jeg så dra ut fra denne diskusjonen?

5.1 Konklusjon

Hvordan bør, optimalt sett, en høstemaskin for jordskokkblader se ut? Det finnes metoder som en høstemaskin bæres på. I denne oppgaven valgte jeg imidlertid å utvikle et konsept og et design for et frontmontert traktorredskap. Dette redskapet baserer seg på strippermetoden, som benytter en slager med spesielle tenner til å gni og rive av blader. Opprinnelig benyttes metoden for industrihamp. For å tilpasse konseptet til å kunne høste jordskokkblader, la jeg blant annet til en ekstra slager over den første. Konseptet mitt er mer kompakt og mindre komplekst enn forslaget til Udahl. Derimot tror jeg ikke det agronomiske resultatet vil bli like godt ved å bruke strippermetoden. På grunnlag av at konseptet med slagere med tenner virker mer realiserbart, vurderte allikevel dette konseptet som mest realiserbart og derfor det beste forslaget per nå. Av den grunn utviklet jeg en 3D-modell av et frontmontert redskap til traktor, basert på dette konseptet. Dette redskapet er enkelt oppbygd, og relativt ukomplisert å bygge. Dersom man derimot velger å ikke gå videre med dette konseptet, har jeg allikevel vist at det er mulig å utvikle en egnet høstemaskin. Dersom man i framtiden lykkes med å utvikle ferdig en egnet høstemaskin, kan man potensielt høste jordskokkblader i stor skala. Da vil man ha kommet et stort steg på veien mot å realisere denne framtidige verdikjeden. Dermed kan disse bladene bli en pålitelig råvare for framtidige bioraffinerier som isolere det verdifulle høykvalitetsproteinet. Dette proteinet kan til slutt inngå i produkter og bidra til å møte framtidens etterspørsel etter protein.

Et overordnet poeng må være at studien har frambrakt en bred oversikt over muligheter for å mekanisere høstingen av bladene til jordskokk. Denne oversikten er ment å være et grunnlag for videre generering av nye konseptforslag; også for framtidig utviklingsarbeid. PuCC-matrisen er også kun et påbegynt arbeid i den store sammenhengen, og flere spørsmål står ubesvart. Derfor foreslår jeg at det gjennomføres flere forsøk i felt, for å lære mer om de fysiske egenskapene til de overjordiske plantedelene til jordskokk. Ut fra det konseptet man lander på i framtiden, kan man dessuten bygge en forenklet prototype for test i felt; eller eventuelt en testrigg for å simulere funksjonen til konseptet i et laboratorie. Dersom det offentlige tilfører betydelige midler til et nytt prosjekt i framtiden, ville det også vært interessant å importere og teste et stripperbord som det på figur 13. Ved videre forsøk kan man eksempelvis teste viktige parametre som turtall og diameter på slager, og størrelse og utforming av tennene. Dermed kan bestemmes om man skal bygge noen prototype.

6. Litteraturliste

- [1] K. Caillouet, «Apparatus and method for harvesting cane in billet form,» WO Patent 1999062324 A1, 09.12.1999. [Online]. Hentet fra <https://patents.google.com/patent/WO1999062324A1/>
- [2] W. E. Klinner, «Crop harvesting apparatus and methods,» E.P. Patent 0 316 969 A2, 26.09.85. [Online]. Hentet fra: <https://patents.google.com/patent/EP0316969A2/nl>
- [3] W. E. Atteberry, «Device and method for stripping flowers, buds, or leaves from herbs or plants,» WIPO Patent 2018204875 A1, 08.11.2018. [Online]. Hentet fra <https://patents.google.com/patent/WO2018204875A1>
- [4] A. C. Azenha, C.D.S., C. Teixeira & R.O. Barreto, «Method and defoliation machine for removing leaves from a stalk of a graminaceous plant, » P.C.T. WO Patent 2017/013126 A1, 26.01.2017. [Online]. Hentet fra: <https://patents.google.com/patent/WO2017013126A1>
- [5] R. Pellenc & C. Bonnard, «Leaf stripper, more particularly designed for selective vine leaf stripping,» U.S. Patent 20030167746 A1, 11.09.2003. [Online]. Hentet fra: <https://patents.google.com/patent/US20030167746>
- [6] S. Yukimaru, «Plucking device of riding type tea leaf plucking machine,» JP Patent 2016059356 A, 25.04.2016. [Online]. Hentet fra: <https://patents.google.com/patent/JP2016059356A/en>
- [7] J. Terada, «Traveling type tea leaf plucking machine for sweeping dew,» JP Patent 2010148519 A, 08.07.2010. [Online]. Hentet fra: <https://patents.google.com/patent/JP2010148519A/en>
- [8] A. Spapperi, «Automatic Hybrid Self-Propelled Machine For Harvesting Tobacco Leaves,» EP 3 549 434 A1, 09.10.2019. [Online]. Hentet fra <https://data.epo.org/publication-server/document?iDocId=6054539&iFormat=0>
- [9] G. Frova, «Sugarcane leaves remover methods and apparatus,» A.U. Patent 2012247030 B2, 09.11.2012. [Online]. Hentet fra <https://patents.google.com/patent/AU2012247030B2>

-
- [10] L. J. Gunyou & T. Stott, «Flexible presser wheel assemblies for corn huskers,» U.S. Patent 3366120 A, 30.01.1968. [Online]. Hentet fra <https://patents.google.com/patent/US3366120>
- Andrzejewska, J., Ignaczak, S. & Albrecht, K.A. (2020). Nutritive Value of Alfalfa Harvested with a Modified Flail Chopper. *Agronomy*, 10(5), 690. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050690>
- Bern, C.J., Quick, G. & Herum, F.L. (2019). Chapter 5 - Harvesting and Postharvest Management. S.O. Serna-Saldivar (Red.), *Corn: Chemistry and Technology* (3. utg, s. 109-145). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00005-X>
- Bruce, D.M., Hobson, R.N., White, R.P. & Hobson, J. (2001). PM - Power and Machinery: Stripping of Leaves and Flower Heads to improve the Harvesting of Fibre Hemp. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 78(1), 43-50. <https://doi.org/10.1006/jaer.2000.0632>
- Bulgakov, V., Pascuzzi, S., Ivanovs, S., Santoro, F., Anifantis, A.S. & Inhatiev, I. (2020). Performance Assessment of Front-Mounted Beet Topper Machine for Biomass Harvesting. *Energies*, 13(14), 3524. <https://doi.org/10.3390/en13143524>
- Bøe, J.K. (2005). *Traktorer og basismaskiner*. Universitetet for miljø og biovitenskap
- Chen, W., Wang, G., Hu, L., Yuan, J., Wu, W., Bao, G. & Yin, Z. (2022). PID-Based Design of Automatic Control System for a Travel Speed of the 4UM-120D Electric Leafy Vegetable Harvester. *Sustainability*, 14(21), 14066. <https://doi.org/10.3390/su142114066>
- Cherubini, F. (2010). The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals. *Energy Conversion and Management*, 52(7), 1412-1421. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.01.015>
- Currence, H.D. & Buchele W.F. (1967). Leaf-strip harvester for alfalfa. *Agricultural Engineering*, 48(1), 20-23. <https://dr.lib.iastate.edu/handle/20.500.12876/1811>
- Dehkordi, S.H.H.F., Hanjanib, P.J. & Chegini, G.R. (2014). Design, Construction and Evaluation of Chrysanthemum Flower Stem Cleaner Machine. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 8(6), 369-375. <http://jjmie.hu.edu.jo/Vol8.htm>

- Endrerud, H.C. (2021, 27. april). *InnHøst - Innovativ høsting, tørking og prosessering av grønn biomasse for uttak av verdistoffer*. Current Research Information System in Norway. <https://app.cristin.no/projects/show.jsf?id=2509588>
- Ernard-Ferré, S. (2016). *Optimization Of The Cleaning System Of Grape Harvesters Using The Discrete-Element Method* [Masteroppgave, University of Saskatchewan, Canada]. Usask HARVEST. https://harvest.usask.ca/bitstream/handle/10388/12595/Emard-Ferre_Samuel_Master_of_Science_March_20161.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Frey, D.F., Herder, P.M., Wijnia, Y., Subrahmanian, E., Katsikopoulos, K. & Clausing, D.P. (2008). The Pugh Controlled Convergence method: model-based evaluation and implications for design theory. *Research in Engineering Design*, 20, 41-58. <https://doi.org/10.1007/s00163-008-0056-z>
- Gejima, Y., Okada, Y., Nagata, M. & Ishikawa, K. (1993). Studies on the Development of Tea-Plucking Machine (Part 2) - Development of Tea-Plucking System. *Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery*, 55(4), 63-73. https://doi.org/10.11357/jsam1937.55.4_63
- Gunnarsson, I.B., Svensson, S.E., Johansson, E., Karakasheva, D. & Angelidaki, I. (2014). Potential of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) as a biorefinery crop. *Industrial Crops and Products*, 56, 231-240. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.03.010>
- Heir, J.A. (1998). *Skurtreskere og skurtresking*. Landbruksforlaget. https://www.nb.no/maken/item/URN:NBN:no-nb_digibok_2009031600015
- Henchion, M., Hayes, M., Mullen, A.M., Fenelon, M. & Tiwari, B. (2017). Future Protein Supply and Demand: Strategies and Factors Influencing a Sustainable Equilibrium. *Foods*, 6(7), 53. <https://doi.org/10.3390/foods6070053>
- Herbas D.O.O. (u.å.). *Machine for removing olive leaves from the branch*. Hentet 29. januar 2023 fra <https://herbas.hr/oprema-za-susenje-obradu-i-pakiranje-lista-masline/stroj-za-skidanje-lista-masline-sa-grana/?lang=en>
- Huo, P., Ma, S., Su, C., Ding, Z., Li, W., Qian, J., Li, L., Li, Y., Zhou, B., Peng, C. & Li, W. (2023). Sugarcane leaf-stalk separating technology: A critical review. *Biosystems Engineering*, 228, 120-148. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2023.03.009>

-
- Ikram, K., Ahmad, M., Ghafoor, A. & Tanveer, A. (2019). Design, fabrication and performance evaluation of Indigenous sugarcane leaf stripping machine. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 56(2), 451-457. <https://doi.org/10.21162/PAKJAS/19.6622>
- Ikram, K., Niaz, Y., Mansha, M.Z., Ghani, M.U., Shabir, F., Waqas, M.M., Bodlah, M.A., Nadeem, M., Afzal, A., Omer, M.M. & Waheed, A. (2020). Cleaning Material Arrangement Testing For Sugarcane Detrasher: A Simulation Approach. *Big Data In Agriculture*, 2(2), 55-58. <https://doi.org/10.26480/bda.02.2020.55.58>
- Jin, X., Du, X., Wang, D., Liu, W. & Ji, J. (2016). Flexible Plate Teeth Type Sugarcane Leaf-Stripping Device. *International Journal of Hybrid Information Technology*, 9(9), 57-66. <http://dx.doi.org/10.14257/ijhit.2016.9.9.06>
- Johansson, E., Prade, T., Angelidaki, I., Svensson, S.E., Newson, W.R., Gunnarsson, I.B. & Hovmalm, H.P. (2015). Economically Viable Components from Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) in a Biorefinery Concept. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(4), 8997-9016. <https://doi.org/10.3390/ijms16048997>
- Kaszás, L., Alshaal, T., Kovács, Z., Koroknai, J., Elhawat, N., Nagy, E., El-Ramady, H., Fári, M. & Domokos-Szabolcsy, É. (2022). Refining high-quality leaf protein and valuable co-products from green biomass of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) for sustainable protein supply. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 12(7). <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00696-z>
- Lammers, S., Olaf, P. & Olaf, R. (2010). Defoliation of sugar beets – assessment of quality and gain in delivered beet mass. *Landtechnik*, 65(6), 464-467. <https://www.landtechnik-online.eu/landtechnik/issue/view/2010-65-6>
- Li, S.P., Meng, Y.M., Ma, F.L., Tan, H.H. & Chen, W.X. (2002). Research on the working mechanism and virtual design for a brush shape cleaning element of a sugarcane harvester. *Journal of Materials Processing Technology*, 129(1-3), 418-422. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)00591-5](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00591-5)
- Liava, V., Karkanis, A., Danalatos, N. & Tsiropoulos, N. (2021). Cultivation Practices, Adaptability and Phytochemical Composition of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): A Weed with Economic Value. *Agronomy*, 11(5), 914. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050914>

- Long, X.H., Shao, H.B. Liu, L., Liu, L.P. & Liu, Z.P. (2016). Jerusalem artichoke: A sustainable biomass feedstock for biorefinery. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54(2), 1382-1388. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.063>
- Mamuladze, M. (2023). In Tea Picking Machines, the Prospect of Using a New Cutting Machine. *World Science*, 1(79). https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30032023/7944
- Matsuyama, Y., Matsukubo, T., Okamura, K., Matsumoto, Y., Awagakubo, M. & Habasaki, M. (1985). Studies on a Track Type Tea Field Working Machine (I) - Body and Tea Plucker for a Track Type Working Machine. *Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery*, 46(4), 471-478. https://doi.org/10.11357/jsam1937.46.4_471
- Morken, J., Endrerud, H.C. & Bøe, J.K. (2003). *Landbruksmaskinar* (1. utg). GAN Forlag AS
- Naik, R., Annamalai, S.J.K. & Ambrose, D.C.P. (2013). Development of Power Operated Curry Leaf (*Murraya Koenigii*) Stripper. *Agricultural Mechanization In Asia, Africa, and Latin America*, 44(1), 69-72. <https://krishi.icar.gov.in/jspui/handle/123456789/50307>
- Nakano, F. (1976). Self-Propelled Tea-Plucking Machines. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 10(1), 25-28. <https://www.jircas.go.jp/en/publication/jarq/10/1/25>
- Nikam, G., Dake, O. & Deshpande, A. (2021). Design and Fabrication of Sugarcane Trash Removal Machine. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 10(9). <https://www.ijert.org/design-and-fabrication-of-sugarcane-trash-removal-machine>
- Okada, Y. & Gejima, Y. (1996). Studies on the Development of a Tea Harvesting Machine. *Proceedings of the Korean Society for Agricultural Machinery Conference*, 06(c), 478-487. <https://koreascience.kr/article/CFKO199611919846980.page>
- Ota, T., Bontsema, J., Hayashi, S., Kubota, K., Van Henten, E.J., Van Os, E.A. & Ajiki, K. (2007). Development of a cucumber leaf picking device for greenhouse production. *Biosystems engineering*, 98(4), 381-390. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2007.09.021>
- Park, H.M., Cho, K.H., Hong, S.K. & lee S.H. (2010). Evaluation of an Air-jet and Roller Type Corn-husker. *Journal of Biosystems Engineering*, 35(3), 163-168. <https://doi.org/10.5307/JBE.2010.35.3.163>

-
- Patel, A., Moses, S.C., D'Souza, P.M. & Alam, R.N. (2022). Performance Evaluation of Tractor Operated Sugarcane Leaf Stripper through Analysis of Effect of Length, Girth and Number of Buds of Sugarcane. *International Journal of Environment and Climate Change*, 12(11), 2337-2350. <https://doi.org/10.9734/IJECC/2022/v12i1131229>
- Rognsaa, A. (2023). *Bacheloroppgaven – Skriveråd og regler for utformingen* (2. utg). Universitetsforlaget
- Shelbourne Reynolds Engineering Limited. (u.å.). *Hemp & specialty*. Hentet 1. mai 2023 fra <https://www.shelbourne.com/harvest/strip-headers/hemp-range/>
- Shinners, K.J., Herzmann, M.E., Binversie, B.N. & Digman, M.F. (2007). Harvest Fractionation of Alfalfa. *Transactions of the ASABE*, 50(3). <https://doi.org/10.13031/2013.23125>
- Showkat, M.M., Falck-Ytter, A.B. & Strætkvern, K.O. (2019). Phenolic Acids in Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): Plant Organ Dependent Antioxidant Activity and Optimized Extraction from Leaves. *Molecules*, 24(18), 3296. <https://doi.org/10.3390/molecules24183296>
- Srivastava, A., Goering, C.E., Rohrbach, R.P. & Buckmaster, D.R. (2006). *Engineering Principles of Agricultural Machines* (2. utg.). American Society of Agricultural and Biological Engineers
- Tobias, E., Gaudet, C., Viator, H., Aragon, D. & Ehrenhauser, F. (2018). Leaf and Panicle Separator for Sweet Sorghum. *Sugar Tech*, 20(3), 252-260. <https://doi.org/10.1007/s12355-017-0583-x>
- Udahl, J.F. (2022). *Utvikling av Høstingsteknologi: Høste inn bladverk fra Jordskokk* [Bacheloroppgave]. Høgskolen i Innlandet.
- Wilhoit, J.H., Duncan, G.A. & Sperry, R.G. (2013). Labor productivity with various innovations for stripping Burley tobacco. *Tobacco Science*, 50(50), 1-10. <https://doi.org/10.3381/12-023.1>
- Zhang, C.P., Wang, D., Zhang J., Li X.S & Zhang, D.D. (2020). Mechanical Design And Manufacturing Of High-Efficiency Wormwood Defoliator. *Academic Journal Of Manufacturing Engineering*, 18(1), 104-112. <https://www.ajme.ro/content.php?vol=18&year=2020&issue=1&offset=10>

Zhesheng, H., Penglai, B. & Meng, W. (2018). Design Of A Flexible Defoliator For Maize Straw.

Topics in Chemical & Material Engineering, 1(1), 405-407.

<https://doi.org/10.26480/icnmim.01.2018.405.407>

7. Vedlegg

Vedleggsoversikt

VEDLEGG 1: TERMLISTE.....	70
VEDLEGG 2: SØKESKJEMA.....	71
VEDLEGG 3: SPESIFIKASJONER FOR DRILLENE BRUKT I FORSØKET	72
VEDLEGG 4: 3D-MODELL AV KONSEPTFORSLAG B	73

Vedlegg 1: Termliste

Tabell 3. Termliste som forklarer fagtermene jeg benytter i studien.

Term	Betydning
Dobbeltkniv	En knivbjelke der to bevegelige knivstenger med motsatte bevegelsesretninger kutter av stengler
Dobbeltkutter	En høstemaskin med en slageraksling som kutter graset og kaster bak til en mateskrue. Skruen mater graset inn mot ei kastevifte som videre hakker opp graset, og kaster graset ut gjennom en tut
Knivbjelke	En bjelke med kniver som kutter av stengler ved hjelp av fram- og tilbakegående bevegelser
Luftkniv	En type luftdyse som er bredere enn en normal dyse
Reversmontering	Redskapet kobles til trepunktsopphenget bak på traktoren. I stedet for å kjøre framover, rygger i stedet traktoren gjennom åkeren
Slager	En roterende sylinder med komponenter som slår eller gnir av plantedeler, som blant andre frø eller korn, fra planter
Slageraksling	En aksel med flere slegler som opprinnelig brukes til å kutte av og hakke opp gras
Slegler	Opphengslede kniver som kutter av og hakker opp gras
Stengelbehandler	En redskap som skader vokslaget utenpå stengler, med den hensikt å akselerere tørkingen til stenglene
Stripperbord	En type skjærebord til skurtreskere, der en bred slager med tenner river og gnir av plantedeler, som eksempelvis korn, grasfrø eller luserneblader
Volumstrøm	Den oljemengden per tidsenhet som passerer gjennom en krets
Volumstrømsventil	En ventil som regulerer volumstrømmen i hydraulisk krets

Vedlegg 2: Søkeskjema

Tabell 4. Søkeskjema med elementene som ble brukt i litteratursøket.

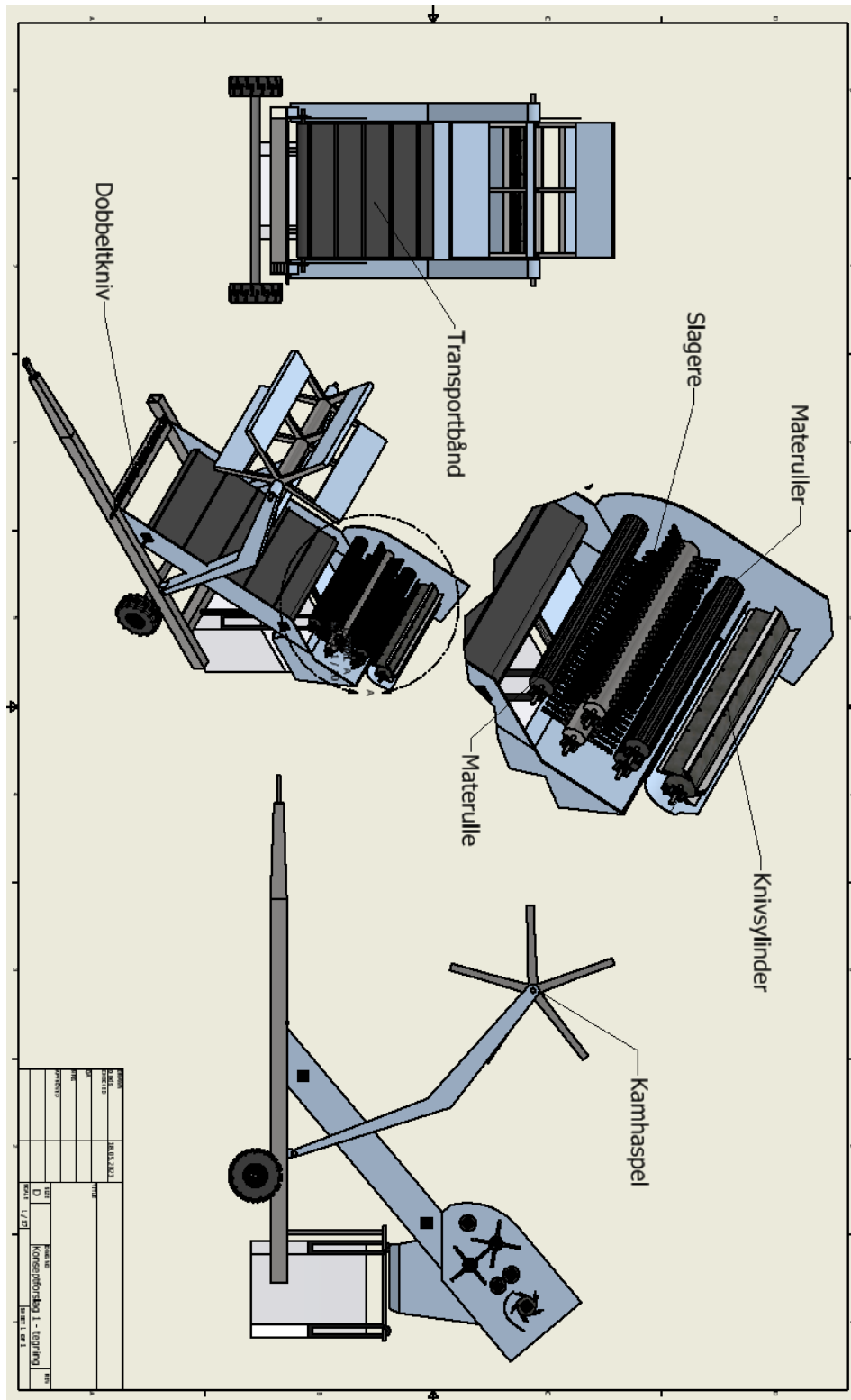
	Element 1	Element 2	Element 3
Norsk	Metode Høstemaskin Apparat Design Anordning Konsept	Fjerne Høste Løsne Avløve Rense Avskalle Plukke	Blad Blader Bladverk
Engelsk	Method Harvester Machine Apparatus Design Device Concept	Remove Defoliate Strip Harvest Deleaf Clean De-trash Husk Pick Pluck	Leaf Leaves Foliage

Vedlegg 3: Spesifikasjoner for drillene brukt i forsøket

Tabell 5. Spesifikasjoner for drillene som ble brukt i forsøket i felt.

Drill	Gir	Turtall uten belastning	Dreiemoment
<i>Navn</i>	<i>Tall</i>	<i>o/min</i>	<i>Nm</i>
Metabo BS 18 SET	1	0-450	48
	2	0-1600	24
DeWalt DCD 791	1	0-550	70
	2	0-2000	27
Bosch GSR 18V-110 C	1	0-480	110
	2	0-2100	47

Vedlegg 4: 3D-modell av konseptforslag B



Figur 36. 3D-modell av konseptforslag B. Modellen peker tydelig på de seks ulike sonene til redskapet.