

Blæstad

Kristian Ramstad

Utviklingsoppgave  
Kuttesystemer i grashøstemaskiner  
- Forslag til videreutvikling

Systems of plant cutting in forage harvesters  
- Suggestion to further development

Landbruksteknikk

2017

Samtykker til tilgjengeliggjøring i digitalt arkiv Brage JA  NEI

## Forord

Etter om lag to og et halvt år på bachelorstudiet i landbruksteknikk var det tid for å skrive bacheloroppgaven. Beslutningen om hva jeg skulle skrive om ble tatt våren 2016, men arbeidet med selve oppgaven kom ikke skikkelig i gang før januar 2017. En del tanker hadde jeg selvfølgelig gjort meg opp på forhånd, men det meste av arbeidet ble gjort i undervisningsblokka som var satt av til bachelorskriving. Man kunne alltid gjort mer for å komme i gang med arbeidet tidligere, men jeg føler likevel det har vært en god arbeidsprosess.

Temaet for oppgaven, som går på grashøsting og kutting av gras, falt ganske naturlig for meg. Jeg er oppvokst på gård med storfe, og produksjon og høsting av gras er derfor noe jeg har erfaring med. Jeg synes også det er et svært trivelig arbeid, og grashøsting av forskjellige metoder er noe som blir diskutert flittig både rundt kjøkkenbordet hjemme og blant mine medstudenter.

Man vil alltid lære noe av en slik prosess og ettersom man kommer i gang med oppgaven ser man at enkelte ting alltid kunne vært gjort på en annen måte. Dette er erfaringer man kan ta med seg og som kan komme godt med dersom man skal skrive en slik type oppgave ved en senere anledning. Totalt sett er jeg uansett godt fornøyd med resultatet. Det er et godt grunnlag dersom det en dag skulle bli aktuelt å gå videre med ideen.

Til slutt vil jeg takke min veileder Hans Christian Endrerud.

Ønsker også å rette en takk til:

Ellen Kari Aalstad for innspill i forbindelse med engelsk sammendrag.

Kristine Grimstad Veseth og Jorun Skarkerud for korrekturlesing.

Blæstad, 30. mars 2017

Kristian Ramstad

---

# Innhold

<b>FORORD .....</b>	<b>2</b>
<b>INNHold .....</b>	<b>3</b>
<b>FIGURLISTE- OG TABELLISTE .....</b>	<b>6</b>
<b>NORSK SAMMENDRAG .....</b>	<b>8</b>
<b>ENGELSK SAMMENDRAG (ABSTRACT) .....</b>	<b>9</b>
<b>1. INNLEDNING. ....</b>	<b>10</b>
1.1 BAKGRUNN. ....	10
1.2 EGEN BAKGRUNN FOR OPPGAVEN. ....	11
1.3 SLÅTT OG HØSTEMETODER.....	12
1.4 KUTTING OG TEORETISK KUTTELENGDE.....	13
1.5 LAGRING FOR ENSILERING. ....	14
1.6 ENSILERING. ....	16
1.6.1 <i>Dannelse av surfôr</i> .....	16
1.6.2 <i>Ensileringsprosessen</i> .....	18
1.6.3 <i>Faktorer som særlig påvirker ensileringa</i> .....	19
1.6.4 <i>Tap under ensilering</i> . ....	20
1.7 PRODUKTKRAV .....	22
1.8 PROBLEMSTILLING .....	23
1.9 AVGRENSNINGER .....	23
<b>2. TEKNISK UTSTYR FOR KUTTING AV GRAS.....</b>	<b>24</b>
2.1 KOMPONENTER BRUKT I ULIKE KUTTEMEKANISMER.....	24
2.1.1 <i>Slagstål</i> .....	24
2.1.2 <i>Knivsylander</i> . ....	25

---

2.1.3	<i>Knivhjul</i> .....	25
2.1.4	<i>Motstål</i> .....	25
2.1.5	<i>Pickup</i> .....	25
2.1.6	<i>Kuttekniv og knivbru</i> .....	26
2.2	<b>FORSKJELLIGE MASKINER MED ULIK KUTTEMEKANISME</b> .....	27
2.2.1	<i>Finsnitter</i> .....	27
2.2.2	<i>Lessevogn</i> .....	29
2.2.3	<i>Slaghøster</i> .....	31
2.2.4	<i>Dobbeltkutter</i> .....	34
2.2.5	<i>Presser</i> .....	34
2.2.6	<i>Rundballekutter</i> .....	35
2.2.7	<i>Halmkutter på tresker</i> .....	36
<b>3.</b>	<b>MATERIALE OG METODE</b> .....	<b>37</b>
3.1	FREMGANGSMÅTE .....	37
3.2	CONCEPT SCREENING .....	37
3.3	DATAASISTERT KONSTRUKSJON .....	37
3.4	UTREGNINGER.....	38
3.5	MICROSOFT WORD.....	38
<b>4.</b>	<b>RESULTAT</b> .....	<b>39</b>
4.1	DE FORSKJELLIG MASKINERS EGENSKAPER. ....	39
4.2	KONSTRUKSJON .....	40
4.2.1	<i>Alternativ 1</i> .....	41
4.2.2	<i>Alternativ 2</i> .....	42
4.2.3	<i>Alternativ 3</i> .....	43

---

4.2.4	<i>Alternativ 4</i> .....	44
4.3	UTVELGELSE AV KUTTEPRINSIPP.....	45
4.4	UTVIKLINGSPROSESS .....	46
4.4.1	<i>Beskrivelse</i> .....	46
4.4.2	<i>Beregninger</i> .....	46
4.5	3D MODELL AV ENDELIG FORSLAG.....	49
<b>5.</b>	<b>DISKUSJON</b> .....	<b>52</b>
<b>6.</b>	<b>KONKLUSJON</b> .....	<b>55</b>
6.1	KONKLUSJON .....	55
6.2	FORSLAG TIL VIDERE ARBEID .....	56
<b>7.</b>	<b>LITTERATURLISTE</b> .....	<b>57</b>

## Figurliste- og tabelliste

Figur 1 Fordeling av det totale silovolumet ved forskjellig tørrstoffinnhold i graset. Av forfatteren, basert på Mo 2005. ....	14
Figur 2 Frittstående plansilo, uten tak. Av Ole Gunnar Ramstad, 2017. ....	15
Figur 3 Tårnsiloer i betong bygget inne i en låve. Av forfatteren, 2017. ....	15
Figur 4 Ulike former for tørrstofftap under ensileringsprosessen ved forskjellig tørrstoffinnhold. Av forfatteren, basert på Mo 2005. ....	21
Figur 5 Slagstål av meiseltypen, av forfatteren, 2017. ....	24
Figur 6 Knivsyylinder i finsnitter, av forfatteren, 2017. ....	25
Figur 7 Pickup på lessevogn, av forfatteren, 2017. ....	25
Figur 8 Kuttekniv av typen som benyttes i lessevogner og presser, av forfatteren, 2017. ....	26
Figur 9 JF 1355 finsnitter, av Bedre Gardsdrift 2009. Brukt med tillatelse. ....	27
Figur 10 Prinsippskisse av innmating og kutteorgan på finsnitter. Tegning: John Morken. Hentet fra Barstad og Raunholm, 2003. ....	28
Figur 11 Pöttinger Faro 3500, av Bedre Gardsdrift, 2009. Brukt med tillatelse. ....	30
Figur 12 Kuttessystem i lessevogn med rotorinnmating og kuttekniver. Samme system som brukes i presser. Tegning: Krone. Hentet fra Barstad og Raunholm, 2003. ....	31
Figur 13 Serigstad fôrhøster. Denne kan kjøres både som rein slaghøster og som multikutter. Av Bedre Gardsdrift. Brukt med tillatelse. ....	32
Figur 14 Ved tørrstoffinnhold på litt over 25 % vil slaghøsteren gi en halvvektslengde opp mot 25 cm. Multikutteren vil ligge i overkant av 10 cm. Av forfatteren, basert på Mo 2005. ....	33
Figur 15 Dobbeltkutter. Tegning: Eikmaskin. Hentet fra Barstad og Raunholm, 2003. ....	34
Figur 16 Vicon RV 4216 rundballepresse, av Bedre Gardsdrift. Brukt med tillatelse. ....	35
Figur 17 Alternativ 1. Bygger på samme prinsipp som finsnitteren, men har kun en innmatervalse. Siden det ikke er noen pickup må innmatervalsen også plukke opp graset fra bakken. Av forfatteren, 2017. ....	41
Figur 18 Alternativ 2. Bygger også på finsnitterprinsippet og har kun en innmatervalse. Her er det en vanlig pickup som plukker opp graset. Av forfatteren, 2017. ....	42
Figur 19 Alternativ 3. Samme kutteprinsipp som på en halmkutter i en tresker, men med kastevifte for å transportere graset videre. Pickup og transportbånd frakter graset til kutteorganet. Av forfatteren, 2017. ....	43

---

Figur 20 Alternativ 4. Pickup og transportbånd plukker opp graset og frakter det til kutteorganet. Kutteprinsippet er som på halmkutteren, men som i en rundballekutter vil den ene akselen forsinke grasgjennomgangen for å bedre kuttingen. Av forfatteren, 2017.....	44
Figur 21 Endelig forslag til kuttssystem, av forfatteren, 2017.....	49
Figur 22 Endelig forslag til kuttssystem, av forfatteren, 2017.....	50
Figur 23 Endelig forslag til kuttssystem, 2017. ....	50
Figur 24 Endelig forslag til kuttssystem, av forfatteren, 2017.....	51
Figur 25 Endelig forslag til kuttssystem, av forfatteren, 2017.....	51
Tabell 1 Concept Screening, hvert alternativ får poeng for hvert av produktkravene. ....	39
Tabell 2 Concept Screening. Hvert alternativ får poeng for hvert produktkrav.....	45

## Norsk sammendrag

Norsk landbruk blir mer og mer opptatt av å produsere norsk mat på norske ressurser. Tine har i samarbeid med flere aktører i det norske landbruket satt i gang prosjektet Grovfôr 2020 for å øke fokuset på produksjon av grovfôr av høy kvalitet. Av faktorer som kan påvirke grovfôrkvaliteten finner vi blant annet høstemaskinen og dens evne til å kutte graset. God kutting av graset er viktig, men maskinene som gjør denne jobben best er gjerne avanserte maskiner med stort vedlikeholdsbehov, noe som koster både tid og penger.

Oppgavens problemstilling er å komme med et forslag til videreutvikling av kuttessystem som kan benyttes i høstemaskiner for gras. Produktkravene som ble satt var at kuttessystemet skulle gi en kort og jevn kuttelengde, konstruksjonen skulle være enkel, driftssikker og ha et enkelt vedlikeholdsbehov. I tillegg måtte det ha god funksjonalitet for å utføre jobben tilstrekkelig.

Flere eksisterende kuttessystemer og deres komponenter er presentert og evaluert. Evalueringen legger grunnlag for fire skisser til nye forslag. Det beste forslaget ble valgt ved hjelp av metoden concept screening. Resultatet er framstilt i en 3D-tegning og det er gjort noen beregninger for å komme fram til passende diameter på knivsylinger og innmatervalse, periferihastighet, turtall og kuttelengde. Det endelige forslaget bygger på samme kutteprinsipp som en finsnitter, og konstruksjonen består hovedsakelig av en pickup, en innmatervalse og en knivsylinger.

Jeg mener løsningen jeg har kommet fram til vil ivareta de produktkravene som er satt. Det er en enkel, robust konstruksjon som vil gi god og jevn kutting, og har en teoretisk kuttelengde på to cm. Det er ikke gjort noen fullprosjektering av konstruksjonen og det bør derfor fortas en del flere beregninger før man eventuelt produserer en prototype.



## Engelsk sammendrag (abstract)

Norwegian agriculture becomes more focused on producing Norwegian food on Norwegian resources. Tine has in cooperation with some other actors in Norwegian agriculture started a project called Grovfôr 2020 to increase the focus on production of silage of high quality. Among factors that affect the silage quality is the choice of harvesting machine and its ability to cut the grass. Satisfactory cutting of the grass is important, but the machines, which do the best job, is generally complicated and needs a lot of maintenance. This costs time and money.

The issue in this thesis is to give a suggestion how to develop a cutting system that can be used in forage harvesters. The product requirements was a short and smooth cutting length, the construction should be simple and solid and have simple maintenance. It also had to have a good functionality.

Many existing cutting systems and their components are presented and evaluated. The evaluation helped to make informed decisions about how to create four sketches for new suggestion. The best suggestion was selected with the method Concept screening. The result is presented in a 3D drawing and it is done some calculations to decide the diameter of the cutter head and the feed rollers, peripheral speed, rpm and cutting length. The final suggestion builds on same principle as a propelled forager, and the components of the construction is mainly made up of a pickup, a feed roller and a cutter head of the cylinder type.

I think the result I have concluded with will satisfy the product requirements. A simple, robust construction will give satisfactory cutting and have a theoretically cutting length of two cm. It is not a full engineering of the construction and it should be done some more calculations before possibly producing of a prototype.

# 1. Innledning.

## 1.1 Bakgrunn.

Norge er et langstrakt land med svært varierende klima. Dette gir igjen svært ulike forutsetninger for jordbruket og norsk matproduksjon. Store deler av Norges jordbruksareal, om lag 2/3, egner seg ikke for annet enn grasproduksjon. (Stabbetorp, 2015, s. 4). Husdyrhold basert på grasproduksjon, fortrinnsvis melk-, og kjøttproduksjon på storfe og sau, er dermed en viktig del av norsk matproduksjon.

Bruk av importert soya i norsk kraftfôr, selvforsyningsgrad og bærekraftig produksjon er alle sentrale temaer i norsk landbruk. Tall fra 2014 viste at Norge hadde en selvforsyningsgrad på omlag 40 % dersom man regner med det som importeres til dyrefôr. (Kronstad, 2014). Dersom selvforsyningsgraden skal økes må ikke bare menneskematen produseres i Norge på norske ressurser. Dyrefôr må også produseres av norske råvarer. Dette innebærer mindre bruk av kraftfôr og importert soya, og mer bruk av norsk gras. Importen av soya er også sett på som lite bærekraftig.

En faktor som også spiller inn på hvorvidt det er gunstig å øke grovfôrandelen av fôrrasjonen, er grovfôrets produksjonskostnad i forhold til kraftfôret. De fleste får levert kraftfôr rett i en silo på gården. Utfôringen er også svært rasjonell. Kraftfôr er et svært energikonsentrert fôr og med få innsatsfaktorer rundt anskaffelse og utfôring blir det et svært kostnadseffektivt fôrmiddel. Dersom grovfôret skal konkurrere med kraftfôret må det produseres grovfôr av god kvalitet på en effektiv og billig måte.

Tine har i samarbeid med en rekke aktører i landbruket satt i gang prosjektet Grovfôr 2020. (Simonsen, 2016, s. 3-6). Dette er et prosjekt som skal gå over tre år. Fagkunnskap skal samles og formidles på en effektiv måte til produsenter over hele landet. Dette skal gi et felles løft for å øke utbytte og lønnsomheten i norsk grovfôrproduksjon. Målet er å øke andelen grovfôr med 20 % per kg melk og kjøtt produsert. (Norsk Landbruksrådgivning, 2016).

Teknikken rundt grashøsting har, som det meste annet, hatt en voldsom utvikling de siste 60 årene. Fra høyhesjer til ensilering i silo eller rundball. Fra høygaffel og hestetransport til selvgående finsnitter. Høsteteknikken har utviklet seg og kapasiteten har økt. Mekaniseringen har skjedd fort og maskinparken blir stadig større og mer avansert. Dette i takt med at det også

i landbruksnæringa stilles større krav til effektivitet. Hver bonde drifter større enheter og skal produsere mer.

En faktor som påvirker grovfôrets kvalitet, tidsbruken rundt innhøsting og dermed den totale kostnaden, er valg av høstemaskin. God kutting av graset vil kunne gi en bedre fôr kvalitet og en enklere håndtering av graset, både ved innlegging og uttak av siloen. Dette vil påvirke positivt med tanke på grovfôrkostnaden. Maskinene som gir den beste og jevneste kuttinga er gjerne dyrere og mer avanserte enn maskinene som kutter dårligere. Når det gjelder tidsbruk er det viktig å ikke bare regne med tiden til selve grashøstingen, men også vedlikeholdsarbeidet. Avanserte maskiner øker vedlikeholdsbehovet, både i form av tid og penger, og sjansen for store, dyre reparasjoner vil også øke. Dette vil igjen påvirke grovfôrkostnaden negativt.

## 1.2 Egen bakgrunn for oppgaven.

Jeg er oppvokst på gård med mjølk- og kjøttproduksjon på storfe, og grashøsting er dermed en viktig del av gårdsarbeidet. På min hjemgård har det blitt brukt både silo og rundballer, men i 2011 ble det tatt et valg om å satse for fullt på silolegging. På gården er det de siste 20 årene benyttet både multikutter og finsnitter, men da vi bygde ny plansilo valgte vi å satse på bruk av lessevogn. Det er en løsning som fungerer bra, men for å lette arbeidet med jevning av graset i plansiloen, og muligens oppnå jevnere fôr kvalitet, kunne vi med fordel hatt en høstemaskin som gir en bedre og jevnere kutting. Lessevogna har rotorinnmating og 37 kuttekniver. Skal man oppnå vesentlig bedre og jevnere kutting må man over på finsnitter. Dette er derimot ikke ønskelig for oss da vi enten må ha med flere folk til å kjøre imellom, eller bruke vogn med integrert finsnitter som er dyrere og mer effektkrevende enn dagens løsning. En finsnitter er uansett en mer avansert og ømfintlig maskin. Den krever mer vedlikehold og det er mer som kan gå i stykker. Lessevogn er derimot en enmannslinje og en forholdsvis enkel og robust konstruksjon, noe som er ønskelig for oss.

### 1.3 Slått og høstemetoder.

For høsting av gras som skal ensileres kan vi dele inn i to metoder. Entrinnshøsting og totrinnshøsting. Ved entrinnshøsting, eller direktehøsting, høster man graset stående. Dette krever bruk av høstemaskin som både kutter graset fra rota og plukker det opp fra bakken. Stående gras har lavt innhold av tørrstoff (TS), vanligvis i området 18-22 %, men det kan også variere utover dette. (Mo, 2005, s. 29). Lavt innhold av TS betyr mye vann i graset. Dette vannet vil bli med i den videre ensileringsprosessen med de konsekvenser det fører med seg.

Ved totrinnshøsting slår man graset og legger det i streng på bakken før høsting. Man kjører da med en separat slåmaskin som primært har som oppgave å kutte graset fra rota. Den foretar ikke noen videre oppkutting av graset. I dag brukes det stort sett slepe-, front- eller trepunktsmonterte skiveslåmaskiner til denne jobben. Ved bruk av slåmaskin må man stille maskinen for å oppnå ønsket stubbehøyde. Det er viktig at slåmaskina får med seg alt graset, samtidig som stubbehøyden ikke er for lav. Ifølge Mo (2005) bør ikke stubbehøyden være under 10 cm. Ved for lav stubbehøyde øker faren for forurensing både ved at slåmaskina kan blande inn jord og annet, samt at høsteredskapen som kommer etter slåmaskina må stilles lavere for å klare å plukke opp graset.

Hensikten med totrinnshøsting er å fortørke graset for økt TS %. Slåmaskiner er derfor ofte utstyrt med stengelbehandler. Dette er en roterende aksel med fingre/tinder som plukker opp graset og kaster det ut bak. Dette fører til en luftigere streng og knekte stengler. Dette skal gjøre at graset tørker raskere. Hvorvidt dette er tilfelle er noe omdiskutert og om tørkehastigheten er høyere ved bruk av stengelbehandler vil også avhenge av hvor tørt man ønsker graset. Ved bruk av stengelbehandler og samleplater vil man uansett få lagt graset rett i streng. Har man slåmaskin uten stengelbehandler er man avhengig av å rake sammen graset før høsting.

I dag er totrinnshøsting den dominerende høstemetoden. Praktisering av totrinnshøsting og fortørking vil ha en del positive effekter:

- reduserer sjansen for feilgjæring
- forbedrer gjæringskvaliteten
- øker fôropptaket

---

- minsker det samlede tapet ved høsting og ensilering.

(Grønbæk, 2014, s. 159).

Det er delte meninger om hva som er optimalt TS-innhold og det vil også avhenge av ensileringsmetode. I følge Grønbæk (2014) er målet ved ensilering i plansilo eller markstakk et TS-innhold på 32-37 %. I Norge vil nok praksisen i mange tilfeller være en noe lavere TS %. Ved høyt innhold av TS vil tapet ute på jordet og under høsting øke. Både i form av sukkertap til ånding og ved fysisk tap av plantemasse under selve høstingen. Jo tørrere fôr, jo vanskeligere er det for maskinene og få med seg de minste partiklene. Man vil også ha noe avdrift, men dette avhenger av høstemetode. For å minske forbruk av sukker under respirasjon (ånding) bør nedtørking derfor skje så raskt som mulig. Dette gir dermed mindre tap, bedre gjæringskvalitet, bedre fôropptak og høyere ytelse.

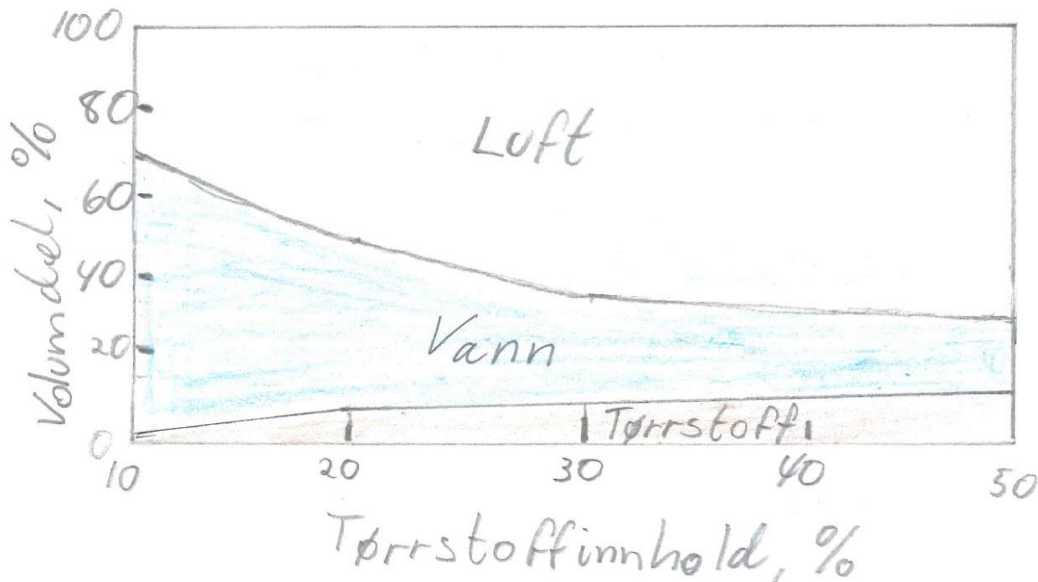
## 1.4 Kutting og teoretisk kuttelengde.

Ved valg av høstemaskin må man ta stilling til hvor god kutting av graset man ønsker seg. Nyere høstemaskiner har som regel en eller annen form for kutting, men det vil i mange tilfeller være mulig å koble ut kuttemekanismen, evt. redusere kuttelengden. Dette vil minske effektbehovet, men gras som ikke er kuttet i det hele tatt vil føre med seg en rekke ulemper.

Når vi oppgir kuttegraden til en høstemaskin oppgir vi ofte teoretisk kuttelengde. Er avstanden mellom kutteknivene 40 mm blir den teoretisk kuttelengden også 40 mm. I praksis vil kuttelengden bli ca. halvannen gang den teoretiske. (Barstad og Raunholm, 2003). For å oppgi den praktiske kuttelengden må det fortas en fysisk måling etter høsting og vi oppgir da gjerne halvvektslengde eller gjennomsnittlig kuttelengde. Halvvektslengden vil gi et høyere tall på kuttelengden enn gjennomsnittlig kuttelengde. Halvvektslengde angir skille der halvparten av graset, i form av vekt, har en lengre kuttelengde, mens halvparten har kortere. Gjennomsnittlig kuttelengde angir skille der halvparten av graset er kortere og halvparten er lengre, målt i antall partikler. (Mo, 2005).

Når plantemasse skal ensileres i silo vil man få med en viss mengde oksygen inn i silomassen. Mengden oksygen avhenger av silotype, struktur, kutting og pakkegrad. Ved innlegging av gras med 20 % TS vil man kunne få et porevolum/luftvolum på 50 % av det totale silovolumet,

mens resten er vann og TS. Det er dog vanlig å legge inn gras som er fortørket og ligger på 25-35 % TS. Denne fortørkingen vil føre til økt luftvolum. Dette betyr at jo høyere TS % det er i graset, desto bedre kutting kreves for å redusere luftvolumet. (Mo, 2005).



Figur 1 Fordeling av det totale silovolumet ved forskjellig tørrstoffinnhold i graset. Av forfatteren, basert på Mo 2005.

## 1.5 Lagring for ensilering.

Etter høsting trengs en god lagerplass som oppfyller de krav som stilles for en videre ensileringsprosess. Vi kan skille mellom to hovedmetoder, lagring i plastfolie og lagring i silo. Ved lagring i plastfolie er rundballer den vanligste metoden. Dette forutsetter bruk av rundballepresse som høstemaskin. Med denne metoden blir hver enkelt rundball pakket inn i plast og gjerne stablet på et egnet sted. Dette blir da graset lagerplass frem til det skal benyttes som fôr, og plasten er graset beholder. Det er også mulig å pakke rundballene i lange pølser i stedet for å pakke inn en og en ball. Dette vil redusere plastforbruket betraktelig. Man kan også lagre graset i pølser uten å presse det først. Man høster da graset med eksempelvis finsnitter eller lessevogn og tipper graset i en «pølsepakker» som pakker graset inn i en plastpølse. De to siste metodene er dog ikke veldig utbredt.

Lagrer man graset i silo kan vi igjen dele opp i to hovedtyper silo, plansilo og tårnsilo. Plansiloer er som regel bygget i betong. De har et plant gulv, stort sett avlangt og gjerne med litt fall for drenering av pressaft, og to, tre eller fire vegger. To eller tre vegger vil absolutt være å foretrekke da dette gjør det mulig å kjøre inn i selve siloen, både for å tippe silolasset

og for å jevne og pakke graset. Vanlig vegg høyde er tre til fire meter. Når alt graset er lagt inn legges det plastduk på toppen. For å få det lufttett kan man f. eks. bruke sandsekker rundt kantene. Nye plansiloer bygges for det meste frittstående uten tak. En enklere utgave av plansilo er utesilo, eller markstakk. Her legges graset i en haug rett på bakken, evt. oppå en plastduk, uten noen form for vegger. Som i plansilo blir graset dekket med en plastduk til slutt.



*Figur 2 Frittstående plansilo, uten tak. Av Ole Gunnar Ramstad, 2017.*



*Figur 3 Tårnsiloer i betong bygget inne i en låve. Av forfatteren, 2017.*

Tårnsilo er en stor kum, stort sett bygget i stål eller betong. Før i tiden var det vanlig med tårnsiloer i tre. Tårnsiloer kan også bygges av glassfiber. Stålsiloer er frittstående med takkuppel som inngår i selve siloen. Dette må bli slik da bunnen i siloen ligger på bakkenivå og siloene er altfor høye til å kunne bygges inn i en låve. Tårnsiloer i betong kan også bygges frittstående, men de trenger da et takoverbygg. Det er derfor vanligere at betongsiloene er bygget inn i låven. Betongsiloene strekker seg vanligvis noen meter over bakkenivå i tillegg til at bunnen ligger noen meter under bakken. Også her bruker man en plastduk på toppen for å gjøre det lufttett. I tårnsilo har man muligheten til å bruke vannbasseng som press på toppen. Man bruker da en tykk plastduk som strekker seg opp langs siloveggene og fyller deretter på med vann.

Det som er essensielt for alle typer lagring er at beholderen er helt lufttett, enten graset er pakket i en silo eller kun i plastfolie. Det skal også være oppsamling av evt. avrenning av pressaft.

## 1.6 Ensilering.

### 1.6.1 Dannelse av surfôr.

Surfôr dannes ved at rått gras går gjennom en kontrollert fermentering. Fermentering er en omsetning uten tilgang på oksygen. Det er dermed en anaerob prosess som stort sett forgår i en silo eller i en rundball, og innpakkingen må være fullstendig lufttett. Ensilering brukes som navn på denne metoden for konservering av gras. Å hindre tilgang på oksygen er helt nødvendig for å få til en kontrollert fermentering. Ved en lufttett innpakking vil den lufta som blir med inn under innlegging bli brukt opp i løpet av få timer. Når graset slås ute på jorden starter det fortsatt levende plantematerialet en respirasjonsprosess. Plantene bruker oksygen, og respirasjonsprosessen avsluttes først når siloen er lufttett og alt oksygenet er brukt opp. Samtidig som oksygenet blir brukt opp dannes det karbondioksid /CO<sub>2</sub>. Det er også mange aerobe mikroorganismer på plantematerialet som bruker opp oksygenet. For å oppnå et oksygenfritt miljø er man avhengig av faktorer som god pakking, rask innlegging og som nevnt en lufttett innpakking. I en utett silo med oksygentilgang vil aerobe mikroorganismer fortsatt holdes aktive. Man vil da raskt få en omdanning av graset som gjør det ubrukelig som surfôr. For å få kontroll over fermenteringsprosessen må man legge til rette for vekst av ønskede mikroorganismer og at veksten av uønskede mikroorganismer hemmes. (Mo, 2005).

I ensileringsprosessen ønsker vi oss en melkesyrefermentering. Melkesyrebakterier finnes på graset ved høsting i varierende mengde. Melkesyrebakteriene er fakultativt anaerobe. Dette vil si at de fungerer både med og uten tilgang på luft, men produksjonen av melkesyre foregår hovedsakelig under anaerobe forhold. Melkesyrebakterier fermenterer naturlig forekommende sukkerarter til organiske syrer, fortrinnsvis melkesyre. Melkesyra øker konsentrasjonen av hydrogenioner. Dette fører til at pH senkes så mye at veksten av uønskede mikroorganismer hemmes. Dette skyldes også udissoierte syrer. (Mo, 2005).

Konservering oppnås ved at det produseres nok syre til å hemme mikrobiell aktivitet. Konserveringens effektivitet vurderes ut ifra den syremengden som er produsert opp mot det energitapet som produksjonen har forårsaket. Homofermentative melkesyrebakterier er de mest effektive og produserer store mengder melkesyre med minimalt energitap. De heterofermentative melkesyrebakteriene er middels effektive. (Mo, 2005).



---

Eksempelvis er etanolgjæring uheldig. Gjærsopp fermenterer sukkerarter til etanol. Dette forgår med liten bruk av næringsstoffer og er svært effektivt rent energimessig. Etanol har derimot ingen konserveringseffekt og er derfor svært lite konserveringsmessig effektiv. Etanol har også vist seg å gi smaksfeil på melk. Smørsyrefermentering gir lite pH-senkende effekt. Fermentering til smørsyre er i tillegg svært energikrevende. Smørsyrefermentering og etanolgjæring er derfor svært uønsket. (Mo, 2005).

Prinsippet ved ensilering er at plantemassens sukkerinnhold fermenteres til organiske syrer, hovedsakelig melkesyre, ved hjelp av naturlig forekommende melkesyrebakterier i plantemassen. Dette senker pH og graset konserveres. (Grønbæk, 2014). Melkesyrebakterier har generelt den høyeste toleransen for surt miljø og kan motstå den laveste pH. Dette gjør at melkesyrebakteriene holder prosessen med melkesyreproduksjon i gang og dermed gjør melkesyra dominerende. For at senkingen av pH skal skje raskt, og for å unngå tap, feilgjæring og dannelse av uønskede stoffer som smørsyre og ammoniakk, må sukkeret være lett tilgjengelig for melkesyrebakteriene. (Mo, 2005). Det oppnås ved god kutting og knusing av graset. Dette resultatet blir bedre ved bruk av snitter enn ved bruk av lessevoan eller presse. Godt kuttet gras vil dermed gi en raskere og mer omfattende omdanning av melkesyre og dermed en raskere senking av pH. (Grønbæk, 2014).

Det finnes ingen fast grense for hvilken pH som hemmer/ikke hemmer vekst av de uønskede mikroorganismene da dette påvirkes av flere faktorer, eksempelvis tørrstoffprosent og temperatur. Fuktig gras vil kreve et surere miljø da mange bakterier trives godt under fuktig forhold. Ved å fortørke graset og dermed få en høyere tørrstoffprosent vil man hemme de bakteriene som trives best under fuktig forhold. Dermed kan man tolerere en høyere pH. Melkesyrebakterier tåler godt høyt tørrstoffinnhold, mens de uønskede smørsyrebakteriene er mer sensitive og krever fuktigere forhold. (Mo, 2005).

For å hemme veksten av uønskede mikroorganismer, og dermed tap av næringsstoffer i graset, er det viktig med en rask produksjon av melkesyre. Dette avhenger igjen av antall melkesyrebakterier som er på graset ved høsting og bakterienes tilgang på næring. Sukker er vannløselig og befinner seg for det meste inni plantecellene. Dermed vil god kutting og knusing av graset lette næringstilgangen for melkesyrebakteriene og føre til en rask melkesyreproduksjon og senking av pH. (Mo, 2005).

## 1.6.2 Ensileringsprosessen.

Ensileringsprosessen kan deles inn i fire faser. Man regner da ensileringsprosessen om alt som skjer mekanisk, manuelt, kjemisk og mikrobiologisk fra slått på jordet til det ligger på fôrbrettet.

- **Aerob fase.**

Direktehøstet fôr med 20-25 % TS og normalt god pakking i siloen, vil ved avsluttet innlegging ha et luftvolum på 40-50 % av det totale silovolumet. Resterende er vann og TS. Ettersom respirasjonen fortsetter vil oksygeninnholdet avta og man vil få en overgang i mikrobefloraen fra aerobe til anaerobe mikroorganismer. Denne prosessen bør gå så raskt som mulig. En raskest mulig respirasjonsfase oppnår man ved å legge inn godt kuttet gras som pakkes godt. Kort innleggingstid er positivt og det er nødvendig at siloen dekkes til og gjøres lufttett så raskt som mulig. (Mo, 2005).

- **Fermenteringsfasen**

Når alt oksygenet i silomassen er brukt opp går man over i fermenteringsfasen. Denne kan vare fra en uke til over en måned. Tidlig i fasen vil melkesyrebakteriene ha sterk konkurranse av fakultativt og strengt anaerobe mikroorganismer. De konkurrerer om næring som blir frigitt fra planteceller i oppløsning. Forutsatt av god næringstilgang vil man ved en vellykket fermentering få en sterk vekst av melkesyre. Ettersom melkesyrebakteriene får et overtak vil melkesyren bli dominerende og enterobakteriene forsvinner. Denne omskiftningen er sterkt knyttet opp mot hastigheten i melkesyreproduksjonen og en rask pH-senking. (Mo, 2005).

- **Stabil fase**

Melkesyra vil etterhvert nå en maksimal mengde. Denne mengden måles i antall kolonidannede enheter pr. gram fôr. Dette antallet vil igjen senkes da de etterhvert også vil bli hemmet av sin egen syreproduksjon. Når fermenteringen avtar går man over i en stabil fase der det skjer veldig lite. Dette forutsetter selvfølgelig en tett innpakking. Denne fasen kan vare svært lenge. Forutsatt at man holder silomassen stabil ved en lufttett innpakking vil man kunne lagre fôret i flere år uten særlig forringelse. Dette er da uvanlig slik i praksis siden fôret som regel blir brukt opp i løpet av innefôringssesongen. (Mo, 2005).

---

- **Utføringsfasen**

Når graset skal fôres ut må nødvendigvis siloen åpnes og silomassen vil eksponeres for luft. Avhengig av massens porøsitet kan luft trenge hele en meter ned i silomassen. Ved tilstrekkelig mengde oksygen vil uønskede mikroorganismer straks begynne og vokse. Dette vil føre til temperaturstigning og en stor kjemisk forandring i fôret. Dette handler først og fremst om gjærsopp og mugg som fører til en aerob nedbryting av silomassen. Innholdet av melkesyre vil blir redusert og pH stiger. Ved porøs masse og stor lufttilgang vil man i løpet av bare et døgn oppleve et like stort tørrstofftap som på en hel måned i anaerob lagring. Dette er imidlertid sterkt avhengig av temperatur, og det vil eksempelvis være stor forskjell på en åpen sydvendt plansilo om sommeren, og en tårnsilo som står skjermet under tak. Særlig om vinteren vil det sjeldent være noe problem med varmgang og stor aerob nedbrytning under uttak. (Mo, 2005).

### **1.6.3 Faktorer som særlig påvirker ensileringa.**

De fire nevnte fasene kan beskrives som de normale fasene. Det er spesielt to forhold som kan forstyrre den ønskede fermenteringa.

Mangel på eller lite effektiv bruk av næringen. Dette kan føre til at syrningsprosessen går for sakte og at man får for lite udissosiert syre likt med lav pH. Dette kan føre til en sekundærfermentering. Da vil restsukker, produsert melkesyre og eddiksyre fermenteres til smørsyre. Dette vil gi en kraftig pH-økning og aminosyrer vil omdannes til aminer og ammoniakk.

Ved for sakte fylling av siloen og/eller for sein tildekking kan temperaturøkning i siloen bli for stor. Dette kan føre til at man når optimumstemperaturen for gjærsopp og andre uønskede mikroorganismer. Disse har høyere optimumstemperatur enn melkesyrebakterier og kan derfor få en kraftig oppformering. Med nok næringsstoffer kan gjærsopp fermentere disse og fôret kan få et høyt etanolinnhold. Ved uttak vil dette føre til en rask oppblomstring av en aerob mikrobeflora dominert av gjærsopp. Dette vil igjen føre til rask varmgang og dårlig fôr. Problemer med varmgang ved innlegging kan også føre til varmgang ved uttak. Varmgang ved innlegging forårsakes av plantens livsaktivitet og aerobe mikroorganismer, mens det ved uttak skyldes gjærsopp og andre typer aerobe mikroorganismer.

Særlig i plansilo er det anbefalt å legge inn tynne lag for å pakke godt og dermed oppnå en høy volumvekt (kg TS/m<sup>3</sup>) og lite luftvolum. De faktorene som har størst innvirkning på volumvekta i form av kg TS/m<sup>3</sup>, er tørrstoffinnholdet i graset, tyngden på pakkemaskina, tykkelse på graslaget mellom hver pakking, kuttelengde og pakketid. (Mo,2005).

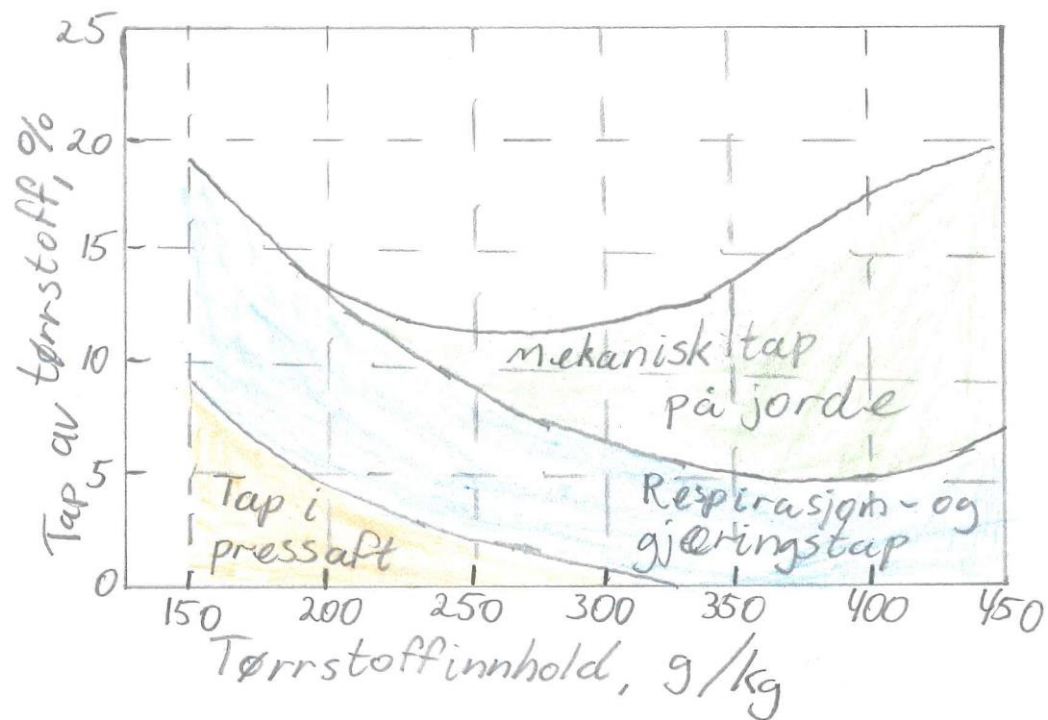
Viktige faktorer for et godt ensileringsresultat:

- Hurtig og effektiv fortørking
- Finsnitting av graset
- Komprimering av plantematerialet

(Grønbæk, 2014).

#### **1.6.4 Tap under ensilering.**

Man kan oppleve betydelig tap i form av varmgang i siloen. Dersom surfôr eksponeres for luft vil det før eller siden gå varmt. Eksponeringstiden før dette skjer varierer veldig. Stabilt, godt ensilert grovfôr, som kan ligge en uke før det skjer noe, vil ikke by på noen problemer. Opplever man derimot begynnende varmgang allerede etter en dag eller to vil det by på utfordringer i form av at uttakshastigheten fra siloen blir for lav. Man kan si at varmgangen er raskere enn utføringshastigheten. Det er derfor viktig at lufta ikke trenger for langt inn i silomassen. Man må derfor begrense porevolumet som igjen avhenger av tørrstoffinnhold, kutting og dermed pakkegrad. (Mo, 2005).



Figur 4 Ulike former for tørrstofftap under ensileringsprosessen ved forskjellig tørrstoffinnhold. Av forfatteren, basert på Mo 2005.

## 1.7 Produktkrav

God kutting av graset er altså en vesentlig faktor for å oppnå god fôrkvalitet. Skal man oppnå den korteste og jevneste kuttelengden må man investere i en dyr og avansert maskin som krever mye når det gjelder vedlikehold. Det kunne vært gunstig for bonden med en høstemaskin med et kuttssystem som ivaretar god kutting, men som likevel har en enkel konstruksjon.

Målet med et slikt produkt er at bonden skal få en maskin som gir en liten og jevn kuttelengde, men samtidig har en konstruksjon som er enkel, robust, driftssikker og med enkelt vedlikehold.

Konkrete produktkrav som stilles:

- Liten kuttelengde
  - Den praktiske kuttelengden bør være under 5 cm og for å sikre dette bør systemet konstrueres for en teoretisk kuttelengde på 2-3 cm.
- Jevn kuttelengde
  - Det er et mål at man unngår veldig varierende kuttelengde. Siden målet er en praktisk kuttelengde på under 5 cm vil det si at alt graset skal være kuttet til denne lengden.
- Enkel konstruksjon
  - Konstruksjonen må være enkel slik at eventuelle reparasjoner blir enkle å gjennomføre. En enkel konstruksjon er gjerne robust og mindre ømfintlig for driftsstans.
- Enkelt vedlikehold
  - Konstruksjonen bør ha så få deler som mulig. Særlig roterende eller bevegelige deler. Dette vil eksempelvis gi færre smørepunkter.
- Driftssikkerhet
  - Det er viktig med kraftig konstruksjon som tåler påkjenninger slik at man unngår driftsstans. Dette henger også sammen med hvor avansert konstruksjonen er. En enkel og kraftig konstruksjon vil også være driftssikker.
- Funksjonalitet
  - Det er viktig at kuttssystemet utfører den jobben som er tiltenkt tilstrekkelig. Konstruksjonens totale funksjonalitet er derfor viktig.

## 1.8 Problemstilling

Målet med oppgaven er å lage et forslag til et videreutviklet kuttessystem som kan benyttes i høstemaskiner for gras, og som ivaretar nevnte produktkrav. Resultatet skal være et utgangspunkt for en videre utviklingsprosess.

## 1.9 Avgrensninger

Oppgaven vil ikke være en fullprosjektering med styrkeberegning, beregning av effektbehov og priskalkyle.

Det vil ikke bli noen produksjon av prototype eller praktisk utprøving.

Det vil bli en presentasjon og vurdering av dagens kuttessystemer og ut ifra dette utarbeides skisser med forslag til ny løsning for å oppfylle produktkravene. Det vil bli utarbeidet en 3D-tegning av det endelige forslaget.

Oppgaven fokuserer for det meste på kuttessystemer som fortsatt er i produksjon eller i utbredt bruk.

Sluttproduktet skal være tilpasset totrinns høsting av gras med en tørrstoffprosent på 30-35 %. Det er dette som legges til grunn ved endelig valg av løsning.

## 2. Teknisk utstyr for kutting av gras

### 2.1 Komponenter brukt i ulike kuttemekanismer.

#### 2.1.1 Slagstål.

Slagstål, eller slegel, finnes hovedsakelig i to utgaver og benyttes i fôrhøstere. Den ene typen, meiselformet type, er som et bredt flattstål med en «løkke» i ene enden der det er hengslet inn på slagertrommelen, og en bøy i andre enden der graset slås av mot motstålet. Der en kniv vil skjære/kutte av graset vil slagstålet slå det av. Dette gir et mer ureint kutt. Disse slagstålene har breidsida på tvers av rotasjonsretningen, noe som gjør at de bringer med seg store mengder luft. Dette gjør at graset kastes langt, men det er større fare for at det blir med forurensing som jord og småstein i fôret.



*Figur 5 Slagstål av meiseltypen, av forfatteren, 2017.*

Den andre typen slagstål er vinkelbøyd sideveis og har breidsida parallelt med rotasjonsretningen. Dette gjør lufttransporten mye mindre. Man får ikke samme suge/blåseeffekt. Dette gjør at graset ikke kastes så lang, men det vil også være mindre risiko for forurensing. (Glemmestad, 1981).



### 2.1.2 Knivsylander.

Knivsylander er en sylinder som sitter på en roterende aksling. På sylindern sitter det kniver som kutter av graset. Akslingen roterer vertikalt, parallelt med innmaterretningen, og knivsylanderer dekker hele innmatingens bredde. (Barstad og Raunholm, 2003)



*Figur 6 Knivsylander i finsnitter, av forfatteren, 2017.*

### 2.1.3 Knivhjul.

Knivhjul er en skive som roterer vertikalt, på tvers av innmatingen. På skiva sitter det kuttekniver som kutter graset og kastevinger som kaster graset videre. (Barstad og Raunholm, 2003).

### 2.1.4 Motstål.

Motstål er et anlegg som graset kuttet mot. Det er nødvendig med motstål slik at slagstål eller kniv har noe å arbeide mot. Graset blir altså kuttet/slått av når det kommer i klem mellom motstål og slagstål/kniv. Motstålet må derfor justeres så tett inntil slagstål/kniv som mulig for å oppnå god kutting.

### 2.1.5 Pickup.

Pickup er en mekanisme som plukker opp gras som er slått og ligger i streng på bakken. Den har tinner som sitter på en roterende aksling. Når akslingen roterer går tindene rundt og plukker graset opp fra bakken og fører det inn i maskinen. Tindene er



*Figur 7 Pickup på lessevogn, av forfatteren, 2017.*

montert i et eksenter som gjør at de trekker seg inn der neste steg i innmatingen overtar, og de

kommer ut igjen i underkant, ned mot bakken, for å plukke opp mer gras. En pickup er som regel utstyr med et hjul på hver side for at den skal følge terrenget og kunne justere arbeidshøyden.

### **2.1.6 Kuttekniv og knivbru.**

Kuttekniver sitter på en eller flere rekker, plassert i det som ofte omtales som knivbru. Knivene er faste, men fjærbelastet for å kunne vike for stein og andre fremmedlegemer. Her blir graset matet over knivbrua/mellom knivene for kutting. Brukes ofte i kombinasjon med rotorinnmater i presser eller lessevogner.



*Figur 8 Kuttekniv av typen som benyttes i lessevogner og presser, av forfatteren, 2017.*

## 2.2 Forskjellige maskiner med ulik kuttemekanisme

### 2.2.1 Finsnitter.

Om denne typen høstmaskiner brukes navnet finsnitter eller eksaktsnitter. Det er mulig disse maskinene kan skilles fra hverandre, men ulikhetene er svært små og navnene blir til daglig brukt om hverandre. For å forenkle dette har jeg valgt å kun bruke navnet finsnitter i denne oppgaven.

Finsnitter er en høstmaskin for tottrinshøsting. Finsnitteren kan traktormonteres, enten sidemontert i egen ramme eller slepemontert, eller den kan være selvgående. Ved bruke av sidemontert finsnitter er det vanligst å ha transportvogna hengende i finsnitterramma rett bak traktoren. Kjører man med slepemontert finsnitter kan man ha vogn hengende bak finsnitteren, men her er det også vanlig at man kjører ved siden av med egen traktor og vogn. Dette øker effektiviteten siden finsnitteren slipper og koble av og på vogna. Samtidig krever denne løsningen mer mannskap. Ved bruk av selvgående finsnitter finnes det også vogner som kan henges bak finsnitteren, men her er det desidert vanligst å kjøre ved siden av med traktor og vogn. De selvgående finsnitterne har en voldsom kapasitet og det stilles tilsvarende kapasitetskrav til transport- og innleggingslinja for å klare å ta unna, og dermed kunne utnytte finsnitteren fullt ut.



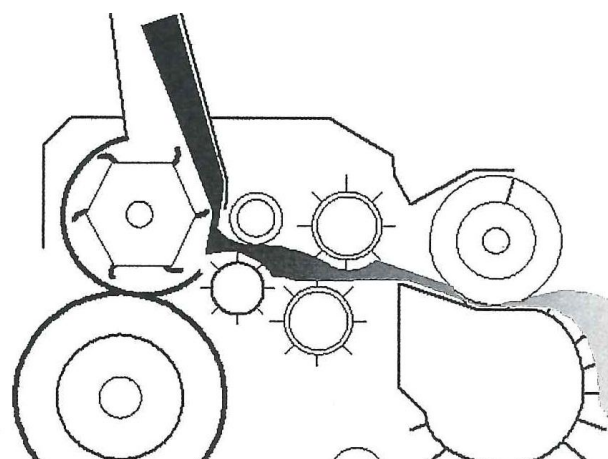
*Figur 9 JF 1355 finsnitter, av Bedre Gardsdrift 2009. Brukt med tillatelse.*

Uavhengig av finsnittertype er prinsippet for kutting likt. En pickup plukker opp graset fra bakken og en innmaterskrue skrur graset inn mot midten til innmatervalsene. Det kan være et eller flere sett med innmatervalser. Som regel er det flere. Disse klemmer graset sammen og mater det inn mot selve kutteorganet. Som kutteorgan benyttes enten en knivsyylinder eller et knivhjul. Graset blir holdt igjen av innmatervalsene, mens det blir skjært av mot motstålet. Graset kastes så ut gjennom samletuten og opp i vogna.

For å oppnå god kutting er det viktig at motstålet er justert så tett inntil knivsynderen eller knivhjulet som mulig. For å justere kuttelengden kan man endre antall kniver. Antall kniver er alltid et partall og det er derfor viktig at man alltid tar ut eller setter inn to og to kniver. Ellers vil man få ubalanse i knivsynder eller knivhjul, og dette kan føre til skader på maskineriet. Det er også mulig å justere hastigheten på innmatervalsene, noe som også påvirker kuttelengden. (Barstad og Raunholm, 2003). Finsnittere har gjerne en teoretisk kuttelengde på en til to cm.

Finsnittere er avanserte maskiner. Det er mange komponenter og det fører til større sårbarhet og mer arbeid med vedlikehold. Det er mer som kan gå i stykker og føre til dyre reparasjoner. De er også dyre, både i innkjøp og i drift siden de har et høyt effektbehov. Effektbehovet til innmatervalsene utgjør en betydelige del av maskinens total effektbehov. (Persson, 1987). En selvgående finsnitter har gjerne motoreffekt på 250-800kW. Til gjengjeld vil man da ha en voldsom kapasitet. Det vil også være en enorm forskjell på en selvgående finsnitter i forhold til en mindre traktormontert finsnitter hva gjelder både pris, effektbehov og kapasitet.

Dette systemet er uansett det som gir den korteste og jevneste kuttelengden. Dersom man skal ensilere sterkt fortørket gras (over 35 %) i silo, er bruk av finsnitter det absolutt beste alternativet for å oppnå god fôrkvalitet. Ved bruk av finsnitter har man også, avhengig av fortørking, oppnådd 30-50 % større lassvekt målt i kg TS mot for bruk av slaghøster eller multikutter og identisk transportvogner. (Mo, 2005).



*Figur 10 Prinsippskisse av innmating og kutteorgan på finsnitter. Tegning: John Morken. Hentet fra Barstad og Raunholm, 2003.*

---

### 2.2.2 Lessevogn.

Når det gjelder selvlessende vogner brukes noen navn litt om hverandre. I denne oppgaven bruker jeg snittevogn som betegnelse på de vognene med påmontert finsnitter og lessevogn om vogner med kun pickup der graset mates videre med en rotor eller lignende. Jeg vil ikke gå videre inn på forklaring av snittevogn siden kuttemekanismen her blir den samme som i en separat finsnitter.

Lessevogn er en selvlessende vogn som trekkes etter traktoren. Det er en enmannshøstelinje brukt i totrinnshøsting. Lessevognen kan ha svært stor kapasitet, særlig ved kortere transportavstander, og en mann kan dermed utrette mye arbeid. Graset plukkes opp av en pickup og mates inn foran i vogna. Et bunnbelte skyver graset bakover i vogna etterhvert som den fylles. Bunnbeltet skyver også graset ut av vogna ved tømning. Fra pickupen mates graset videre ved hjelp av en rotor, eksentrisk styrte gafler eller kjededrevne medbringere. Innmatersystemet mater graset over knivbrua som består av en eller flere knivrekker. Innmatermekanismen, eksempelvis en rotor, har kammer som går på hver side av kniven og graset blir skjært av. Der en finsnitter har roterende kniver og et fastmontert motstål, står her knivene fast og man kan tenke seg at kammene på rotoren fungerer som roterende motstål. Mange gamle vogner hadde dårlig kutting og var mer beregnet for høy enn for høsting av rått gras. Dette førte til mye problemer rundt ensileringsprosessen. Nye vogner er derimot bedre på kutting. Vogner brukt til ensilering bør ha minimum 30 kuttekniver. (Mo, 2005). Knivene er fjærbelastet og montert med en avstand på f. eks. 20mm eller 40mm som dermed blir den teoretiske kuttelengden. Det graset som blir kuttet på denne lengden er imidlertid bare de stråene som mates inn på tvers, 90° på kniven. Antall kniver trenger likevel ikke være avgjørende for hvor godt vogna kutter. Det som bestemmer teoretisk kuttelengde er forholdet mellom antall kniver og bredden på knivbrua, derav knivavstanden. En bred knivbru vil kreve flere kniver for å oppnå like god teoretisk kuttelengde enn om knivbrua er smalere. De fleste lessevogner har ingen innsnevring før knivbrua, og den er bortimot like bred som pickupen. (Grønbæk, 2013). Variasjonen i kuttelengden er også stor, og mye av graset vil dermed bli betydelig lenger enn teoretisk kuttelengde. Bruk av lessevogn kan også gi utfordringer med dårlig knusing av graset. Graset føres over knivbrua med en hastighet på 4-5 m i sekundet. Dette gir en snillere behandling av graset enn en slaghøster eller finsnitter der periferihastigheten på kutteorganet er 40-50 m/s, noe som i tillegg til kutting gir en mer oppsplitting av graset. I ensileringsforsøk i plansilo med bruk av lessevogn med 25 kuttekniver

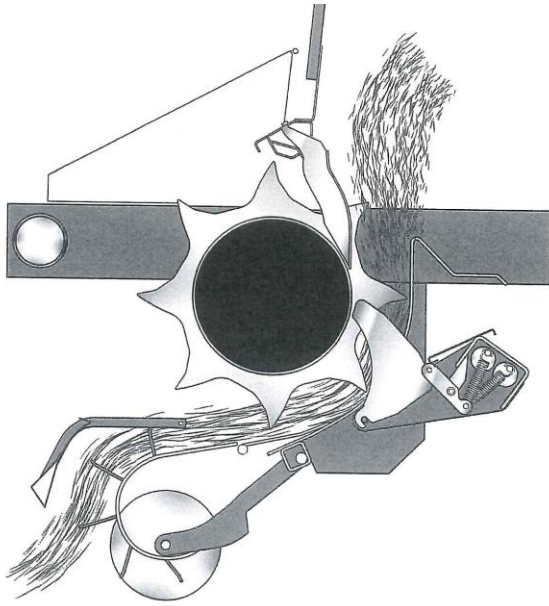


og finsnitter ble det funnet halvvektslengder på henholdsvis 10,1 cm og 4,1 cm. (Mo, 2005). Mange av dagens vogner har som nevnt flere kuttekniver og rotorinnmating. Dermed vil man fint kunne oppnå bedre kutting.



*Figur 11 Pöttinger Faro 3500, av Bedre Gardsdrift, 2009. Brukt med tillatelse.*

Prinsippet for kuttingen er altså likt for alle lessevogner. De skiller seg fra hverandre i måten graset mates forbi knivene. De eksentrisk styrte gaflene vil gi en mindre jevn innmating og et støtvis kraftbehov. Dette kan også gi en større belastning på traktorens drivverk. Dette blir et mindre problem ved bruk av kjedeelevator og enda mindre ved rotorinnmating. Innmaterrotoren har vridde kammer slik at grasstrømmen, og dermed belastninga, blir jevnest mulig. Dette gir best kutting og er den enkleste og mest robuste konstruksjonen.



*Figur 12 Kuttessystem i lessevogn med rotorinnmating og kuttekniver. Samme system som brukes i presser. Tegning: Krone. Hentet fra Barstad og Raunholm, 2003.*

Effektbehovet bestemmes i stor grad av fortørking på graset og antall kniver. Eksempelvis kan man ved lessing av høy og bruk av få eller ingen kniver klare seg med en traktor på om lag 35kw, mens effektbehovet ved lessing av rått gras og kuttelengde på 40mm kan bli på 75kw. Tørker man derimot graset til 40 % tørrstoff blir effektbehovet redusert til cirka 40kw. (Barstad og Raunholm, 2003).

Skarpe kniver er en forutsetning for å oppnå et godt kutteresultat med lavest mulig effektbehov. Dette krever at knivene slipes med jevne mellomrom. Dette kan være mye jobb da alle knivene må tas ut av maskinen, slipes, og så settes på plass igjen. Noen vogner leveres derimot med innebygget, automatisk slipesystem. Det sitter da en eller flere slipesteiner inni vogna som sliper knivene mens de står i knivbrua. (Grønbæk, 2013). Dermed effektiviseres jobben med å slipe knivene betraktelig.

### **2.2.3 Slaghøster.**

Slaghøsteren er i utgangspunktet konstruert for entrinnshøsting av engvekster og grønnfôrvekster. Den er som regel sidemontert og festes i en egen fôr høsterramme som igjen kobles til traktorens trepunktsfeste. Slaghøsteren har direkte grasgjennomgang og graset kastes bak i en transportvogn. (Glemmestad, 1981). Slaghøsteren har horisontalt montert rotor med hengslet slagstål. Når rotoren roterer vil slagstålene stå rett ut fra trommelen. For slaghøsterne laget for direkte høsting er det vanligst med meiselformede slagstål. Rotoren

roterer mot kjøreretningen og graset blir slått av, kuttet og knust mot et motstål før det kastes videre og ut av samletuten. Kuttelengden kan justeres ved å justere avstanden mellom slagstålene og motstålet. Jo mindre avstand, jo bedre kutting. Kjørehastighet og omdreiningsturtall vil også påvirke kuttelengden. Høyere kjørehastighet og lavere turtall gir mer gras og snillere behandling av graset. Dette medfører mindre knusing og kutting. Kombinasjonen lavt turtall og høy framdriftshastighet kan også føre til at maskinen tetter seg. Høyere turtall og lavere framdriftshastighet vil gi motsatt effekt. Uansett har de fleste traktorer og krafttuttsdrevne redskaper et bestemt turtall de bør arbeide på. Det er dermed ingen god løsning å justere kuttelengden med turtallet. Det er vanlig at traktorens kraftuttak skal gå med en hastighet på 540 o/min. Ved høsting av gras kan slagertrummelens hastighet ligge på 1400-1600 o/min (40-45/50 m/s). (Mo, 2005; Hvam og Skøien, 1991).



*Figur 13 Serigstad fôr høster. Denne kan kjøres både som rein slag høster og som multikutter. Av Bedre Gardsdrift. Brukt med tillatelse.*

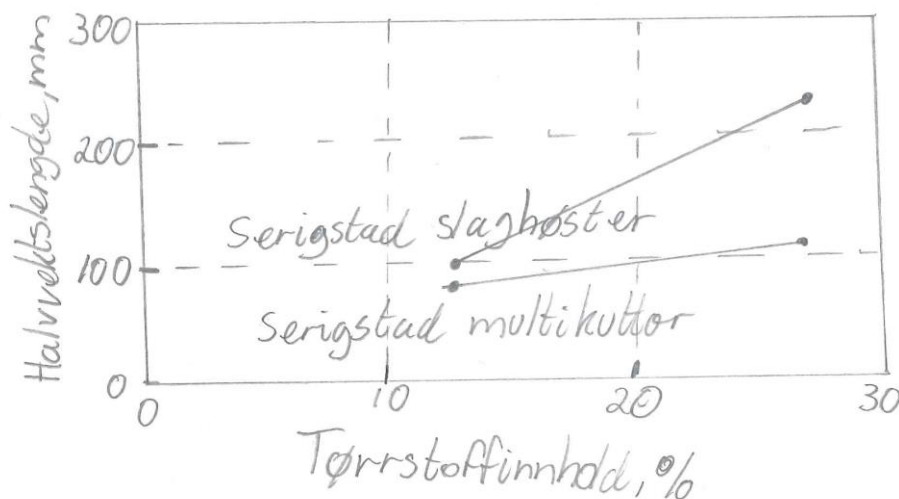
Dette fungerer bra i stående gras, men på grunn av sugeeffekten egner denne maskinen seg dårligere for totrinns høsting. Særlig ved sterk fortørking av graset vil det suges inn store tupper av gangen. Dette vil forårsake ujevn belastning, ujevnt effektbehov og dårlig kutting. For å bruke slag høster i totrinns høsting kan man bruke en multikutter. Dette er et ekstrautstyr som leveres på slag høstere fra Serigstad. Multikutterbrua er montert under frontplata på slag høstere og går over hele arbeidsbredden. Den klemmer ned og holder igjen grasstrengen og fører til en jevnere strøm. Multikutterbrua fungerer som et ekstra motstål og gir dermed bedre kutting og knusing av graset. Brua kan vippe opp og dermed enkelt tas ut av bruk dersom man ønsker å kjøre entrinns høsting. Multikutteren vil takle fortørket gras bedre enn en rein slag høster. Den fungerer dog absolutt best på tidlig høstet gras, som ikke er fortørket



til over 30 % TS. Ved seint høstet fôr med sterk fortørking kan man ved bruk av multikutter få problemer med dårlig pakking i siloen.

Enkle slaghøstere er forholdsvis beskjedne når det gjelder effektbehov. Effektbehovet påvirkes av kjørehastighet, mengde plantemasse og fuktighet i graset. Bruk av multikutter vil også øke effektbehovet. Arbeidsbredden på disse maskinene er på 1,1-1,5m og effektbehovet kan ligge på 20-30kW pr. meter arbeidsbredde. (Hvam og Skøien, 1991). Slaghøstere er enkle driftssikre maskiner med enkelt vedlikehold.

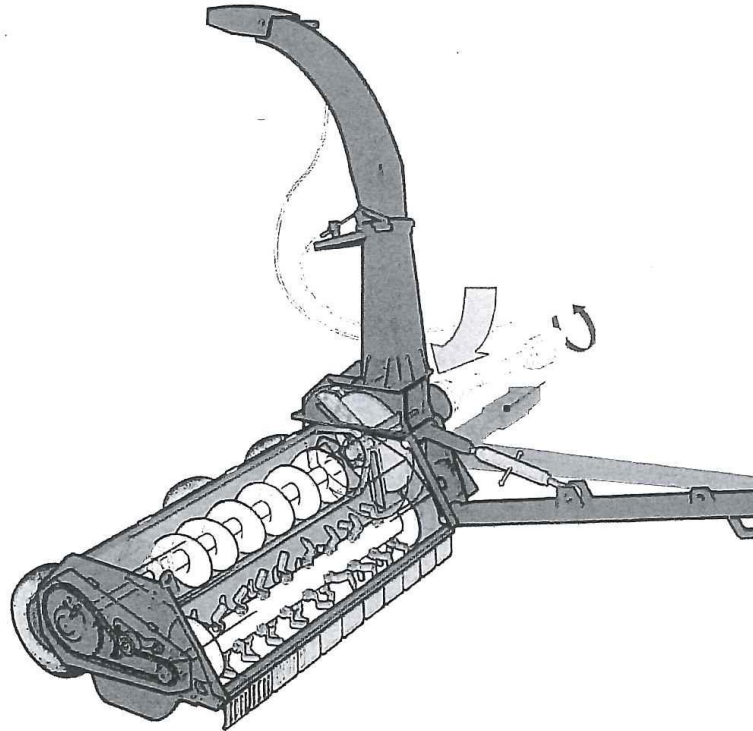
Gras høstet med slaghøster vil ha en svært varierende kuttelengde. Ved bruk av kvasse slagstål, riktig innstilling og normal kjøring vil slaghøsteren kunne gi en halvvektslengde på ca. 7 cm. Denne kuttingen, sammen med knusing av graset, er tilstrekkelig for å gi en god fermentering. Med tanke på fôropptak kunne det med fordel vært kortere. Det er viktig å huske på at disse tallene gjelder for direktehøstet gras. Dersom man praktiserer tottrinshøsting og ønsker å fortørke graset, vil man oppnå langt dårligere kutting. Uavhengig av om man bruker gjennomsnittlig eller halvvektslengde vil variasjonen i kuttelengden være stor. Det som også kjennetegner gras høstet med slaghøster er at graset har fått mye «juling». Det blir behandlet mye tøffere enn f.eks. i en lessevogn og vil være mer knust. Dette gjør også at graset tigger seg mer, noe som kan være utfordrende med tanke på videre mekanisk håndtering.



Figur 14 Ved tørrstoffinnhold på litt over 25 % vil slaghøsteren gi en halvvektslengde opp mot 25 cm. Multikutteren vil ligge i overkant av 10 cm. Av forfatteren, basert på Mo 2005.

## 2.2.4 Dobbeltkutter.

Dobbeltkutteren er en mellomting mellom slaghøster og eksaktsnitter og kutter graset i to trinn. Den er i likhet med slaghøsteren sidemontert i en egen ramme og krever en transportvogn for oppsamling av graset. Første trinn i dobbeltkutteren er en slaghøster, men her benyttes den andre typen slagstål som har bredsida parallelt med rotasjonsretningen. I stedet for direkte grasgjennomgang som i slaghøsteren, er det her en skrue som transporterer graset videre. Graset skrues på tvers av kjøreretningen og inn til neste trinn i kuttingen. Det er et knivhjul som kutter graset en gang til og blåser det ut gjennom tuten.



*Figur 15 Dobbeltkutter. Tegning: Eikmaskin. Hentet fra Barstad og Raunholm, 2003.*

Graset her blir bedre kuttet enn det blir av slaghøsteren, men dårligere og mer ujevnt kuttet enn med finsnitteren. Samtidig er dobbeltkutteren en enklere og rimeligere løsning enn finsnitteren. (Barstad og Raunholm, 2003). Den takler fortørka gras litt bedre, noe som gjør at en kan fortørke til 30-35 % TS og likevel oppnå et godt resultat. Effektbehovet for en dobbeltkutter ligger noe høyere enn en vanlig slaghøster. Det anbefales en traktor med 90hk eller mer. (Mo, 2005).

## 2.2.5 Presser.

Til gras-, høy- og halmberging brukes både firkantpresser og rundballepresser. Firkantbunter presses i alle størrelser, fra bunter som kan håndteres med håndmakt til store bunter med lengde på opp mot tre meter som må håndteres maskinelt. Rundballepresser kan deles inn i to hovedgrupper. Presser med fast kammer og dermed en fast ballediameter, og presser med variabelt kammer der ballediameteren kan justeres. Det som er felles på de fleste presser er

systemet for kutting. På eldre og mindre presser var det gjerne ikke noe kutting i det hele tatt og graset ble matet rett inn i pressekammeret. Etter hvert har det blitt mer fokus på god kutting også i presser, og særlig i rundballepresser som i stor grad brukes til å presse gras for ensilering.

Kuttesystemet i presser er i grunn likt det som er i lessevogner. Det benyttes eksentrisk styrte gafler eller rotorinnmater for innmating av graset. (Grønabæk, 2013). På nye rundballepresser brukes det stort sett kun rotorinnmater. På samme måte som i lessevogna mates graset over ei knivbru med faste, fjærbelastede kniver. Presser har gjerne ei smal knivbru og en bred pickup. Derfor har mange presser en liten skrue på hver side av pickupen som mater graset inn mot midten.



*Figur 16 Vicón RV  
4216  
rundballepresse, av  
Bedre Gardsdrift.  
Brukt med tillatelse.*

Det som er viktig å huske på med presser er at det går mye effekt til å komprimere graset inni pressa. Dette kommer i tillegg til å dra maskinen framover, samt å kutte graset. Det gjør at presser, særlig de største firkantpressene, er effektkrevende maskiner. Dermed er antallet kuttekniver ofte mindre i forhold til på nye lessevogner.

Presser vil totalt sett være mer kompliserte og vedlikeholdskrevende maskiner enn lessevogner. Ser man på kuttesystemet isolert sett vil ei presse og ei lessevogn være like, men kuttingen i presser blir noe dårligere da de ofte har færre kniver.

### **2.2.6 Rundballekutter.**

Rundballekutter brukes i forbindelse med utfôring i fjøset og er ikke noen høstemaskin. Den er primært tiltenkt bruk ved fôring med rundballer, men kan også benyttes ved utfôring av silo. Den kutter graset før det transporteres ut på fôrbrettet.

Når ballen er lagt inn i kassa på kutteren mates den framover av bunnbeltet. Kutteren har en stor trommel med kuttekniver. Når bunten mates mot trommelen vil den kutte opp ballen og dra med seg graset. Over den store trommelen sitter en mindre trommel som er med på å dosere graset slik at kutteren skal mate jevnere. Den er også med og sørge for at ballen roterer.

Som sagt er maskinen konstruert for å lette fôrhandteringa ved å rive fra hverandre og kutte opp rundballer. Det finnes utstyr for deling av rundballer som er enklere, men disse har ingen ordentlig kuttefunksjon. Kuttemekanismen i en rundballekutter må anses som ganske enkel sammenlignet med kuttemekanismen i f. eks. en finsnitter. Når det gjelder kuttegrad er det store forskjeller på kutterne fra forskjellige produsenter.

### **2.2.7 Halmkutter på tresker.**

Skurtreskere er utstyrt med halmkutter dersom man ikke ønsker å ta vare på halmen. Man kobler da inn kutteren som sitter bakerst på treskeren, etter halmristerne. Denne kutter halmen og sprer den ut på jorden igjen. Kutteren har en rotor med 4, 6 eller 8 rekker med hengslede kniver. Rotoren roterer med ca. 3000 o/min. Dette gir en periferihastighet på 80-90 m/s. Knivene er 3-4 mm tykke og har en innbyrdes avstand på 2,5-3cm og dette vil bli den teoretiske kuttelengden. (Grønbæk, 2013) Mye av halmen vil derimot komme gjennom kutteren på langs og den praktiske lengden vil bli betydelig lengre. Når rotoren roterer kuttet halmen mot et motstål.

Halmsnitterens effektbehov kan anslås til 1,5kW på tomgangsdrift pluss 1,5kW pr. tonn halm pr. time. Avhengig av halmmengde, tørrstoff og knivenes skarphet kan effektbehov ligge på rundt 16kW. (Grønbæk, 2013). Det er også viktig å huske på at denne konstruksjonen primært er lagd for kutting av plantemasse med høy TS %, da halm i de aller fleste tilfeller vil ha betydelig høyere TS % enn gras som de tidligere nevnte maskinene er laget for å kutte.

---

## 3. Materiale og metode

### 3.1 Fremgangsmåte

For å løse problemstillingen har jeg tatt for meg et utvalg maskiner som har en mekanisme for kutting av gras. De fleste maskinene jeg har valgt å presentere er høstemaskiner som kutter gras i forbindelse med innhøsting. Et par av maskinene, halmkutteren og rundballekutteren, blir derimot ikke brukt til innhøsting av gras, men er likevel konstruert for å kutte gras eller annet plantemateriale. Dette er for å hente inspirasjon fra flest mulige kuttssystemer. Vurdering av de forskjellige maskinenes styrker og svakheter opp mot de gitte produktkravene la grunnlag for å utarbeide nye forslag. Det beste forslaget ble valgt ut, og det ble laget en 3D-tegning av det endelige forslaget.

### 3.2 Concept Screening.

Som metode for utvelgelse har jeg benyttet Concept screening. Der blir hvert alternativ gitt poeng for hvert produktkrav. Alternativet med høyest poengsum vil bli tatt med videre. I denne oppgaven er utvelgelsen gjort i to omganger. Først ble dagens høstemaskiner/kuttssystemer vurdert ut ifra produktkravene. Dette var for å kartlegge hvilke produktkrav dagens systemer er gode på. Siden jeg i første omgang ikke skulle velge ut ett bestemt system å jobbe videre med ble ikke poengene her summert. Ut ifra hvilke produktkrav de ulike systemene scoret høyt på, tok jeg med de beste komponentene fra hvert system. De enkelte systemer sine positive egenskaper ble lagt til grunn for nye forslag til kuttssystemer. Disse forslagene gikk så gjennom en ny utvelgelse. Her ble poengene summert og endelig løsning ble valgt.

Det ble brukt poengskala fra 1-6 der 1 var dårligst og 6 var best. Det var mulig å få 36 poeng. Poengene ble gitt med forutsetning om at høstemetode skulle være totrinns høsting og et TS-innhold på 30-35 %.

### 3.3 Dataassistert konstruksjon

I denne oppgaven er det benyttet dataassistert konstruksjon (DAK) for å lage tegninger. DAK er konstruksjon og teknisk tegning av maskinkomponenter, bygninger eller annet ved hjelp av

databaserte tegneprogram. Man kan tegne i 2D og 3D og programmene kan også brukes til styrkeberegning.

I denne oppgaven har jeg benyttet AutoCad og Autodesk Inventor. Begge programmene er laget av programvareprodusenten Autodesk. Skissene som er brukt i forbindelse med screeningen er tegnet i AutoCad i 2D. Til å tegne det endelige forslaget brukte jeg Autodesk Inventor for å lage en 3D-tegning.

### 3.4 Utregninger

For å finne ut av diameter på knivsylander, hvor mange kniver det var aktuelt å bruke, knivavstand samt hastighet på innmating var det nødvendig med noen utregninger. Under utregningene snudde jeg litt på formlene å prøvde meg frem med litt forskjellige tall for å se hvor mye de påvirket hverandre. Ønsket var forholdsvis høy periferihastighet og lavt turtall på knivsylander. Jeg bestemte meg til slutt for en ønsket periferihastighet på 45m/s og en diameter på ca. 70 cm. Når tegningen var ferdig og endelig diameter var klar, regnet jeg ut nødvendig turtall. Da dette var på plass kunne jeg regne ut hvor fort graset måtte mates inn for å oppnå ønsket kuttelengde.

Følgende formler ble benyttet:

$$n = \frac{60 \times v}{d \times \pi}$$

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

### 3.5 Microsoft Word

Oppgaven er skrevet i Microsoft Word 2013.

## 4. Resultat

### 4.1 De forskjellig maskiners egenskaper.

Systemene for kutting av gras som er blitt presentert gis her poeng for hvert av produktkravene. Poengene blir ikke summert da det ikke er et enkelt system som skal velges ut, men de beste komponentene i hvert system.

*Tabell 1 Concept Screening, hvert alternativ får poeng for hvert av produktkravene.*

	Multikutter	Dobbeltkutter	Rotorinnmating	Finsnitter	Rundballekutter	Halmkutter
Kuttelengde	2	3	5	6	4	3
Jevnhet kuttelengde	2	3	4	6	3	2
Enkel konstruksjon	6	5	4	2	5	5
Enkelt vedlikehold	6	4	4	2	5	5
Driftssikkerhet	6	4	4	3	4	5

Både på kuttelengde og jevnhet i kuttelengde er finsnitter den som gir best resultat. Den kommer dårligere ut på de andre produktkravene. Dette kommer av at finsnitteren har materuller som klemmer fast og holder igjen graset ved kutting. Knivsynderen er også avgjørende siden den kutter på tvers av innmaterretningen. Bakdelene med materullene er at det gjør konstruksjonen mer avansert. Både multikutter, rundballekutter og halmkutter scorer bra på konstruksjon og vedlikehold. Fellesnevneren her er at de hovedsakelig kun har en eller to roterende aksler. Rotorinnmating er det alternativet som scorer jevnest.

Stikkord for videre arbeid er:

- Få roterende deler
- Minst mulig behandling av graset
- Så direkte grasgjennomgang som mulig

- Holde igjen/klemme fast graset
- Kutting på tvers av innmaterretningen

## 4.2 Konstruksjon

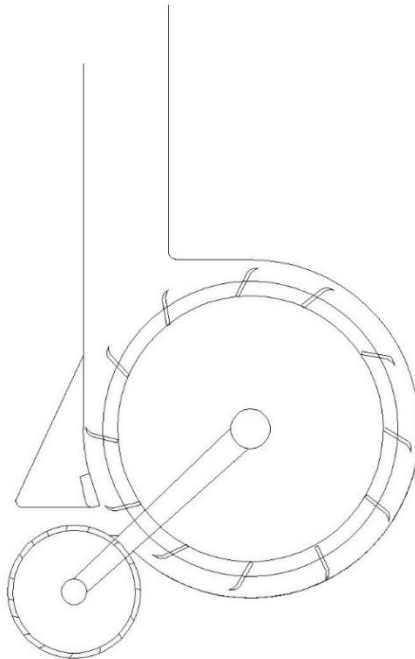
Kuttemekanismen må være enkel for å gjøre den robust og driftssikker samt gjøre vedlikeholdet enkelt. I tillegg til å gi god og jevn kutting.

Felles for alle alternativene er at graset blir kastet ut gjennom en tut etter kutting og passer slik sett best for montering på vogner.



### 4.2.1 Alternativ 1.

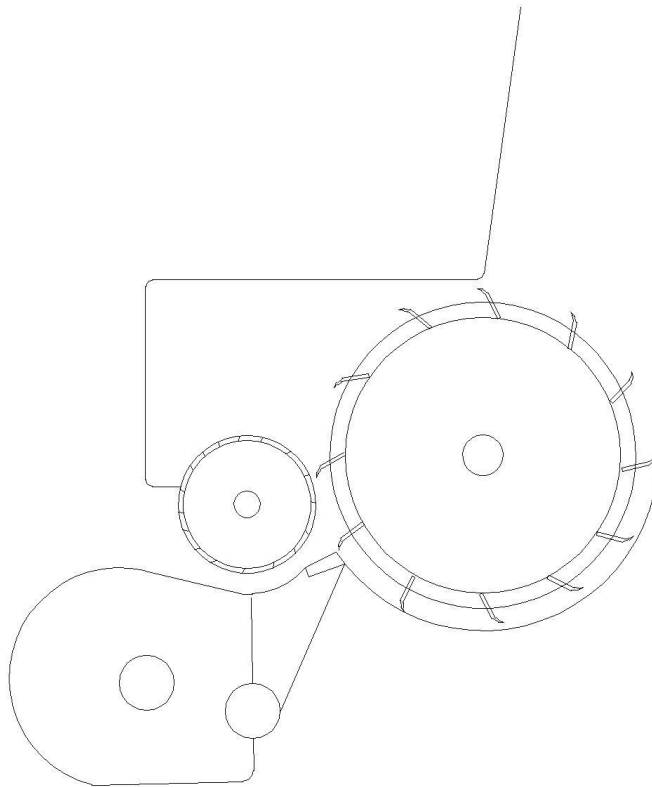
Dette alternativet bygger på finsnitterprinsippet. Pickupen er byttet ut med en valse som skal plukke opp graset og mater det inn mot knivsynderen. Det blir altså en felles komponent for oppsamling av graset og innmating til kutteorganet. I innmatingsprosessen vil graset bli klemt mellom innmatervalsen og motstålet. Den roterende knivsynderen kutter graset og kaster det ut gjennom tuten.



*Figur 17 Alternativ 1. Bygger på samme prinsipp som finsnitteren, men har kun en innmatervalse. Siden det ikke er noen pickup må innmatervalsen også plukke opp graset fra bakken. Av forfatteren, 2017.*

## 4.2.2 Alternativ 2

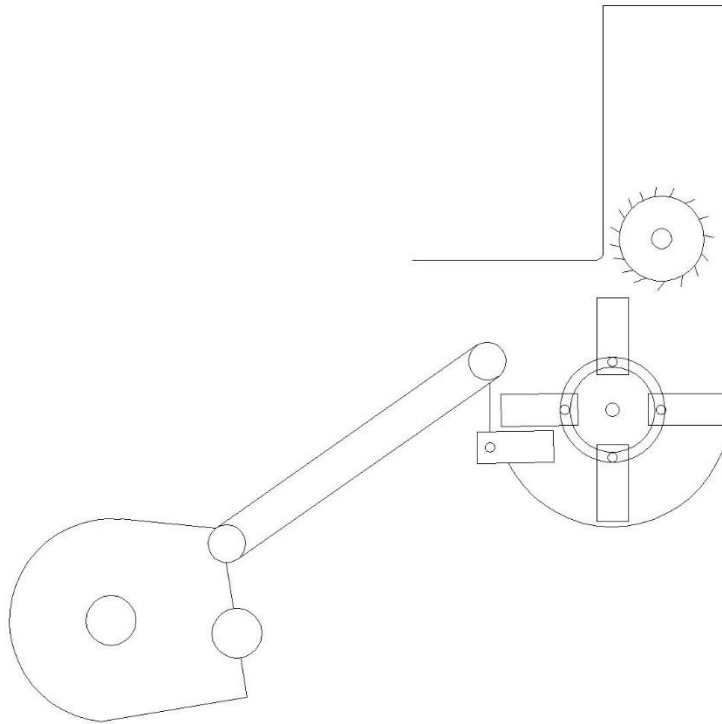
Alternativ 2 bygger også på finsnitterprinsippet. Her det en vanlig pickup som plukker opp graset før en enkel innmatervalse mater graset videre. Samtidig som graset mates inn vil det klemmes fast, og knivsynderen kan kutte graset og kaste det ut gjennom tuten.



*Figur 18 Alternativ 2. Bygger også på finsnitterprinsippet og har kun en innmatervalse. Her er det en vanlig pickup som plukker opp graset. Av forfatteren, 2017.*

### 4.2.3 Alternativ 3

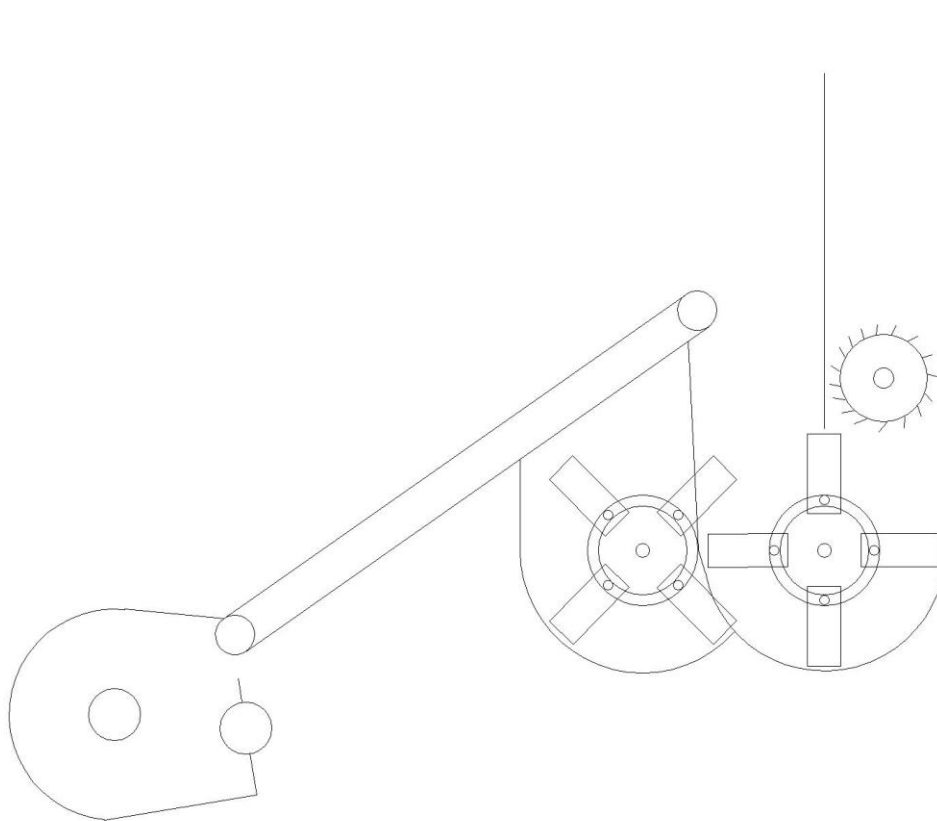
Dette alternativet bygger på halmkutterprinsippet. En vanlig pickup plukker opp graset før et lite transportbånd frakter det videre og slipper det ned i halmkutteren. En roterende aksel med kniver kutter graset mot en fast knivrekke. Her er det ingenting som holder igjen graset ved kutting. Siden knivene har bredside parallelt vil det gi en liten luftstrøm. Det er derfor tvilsomt om kutteorganet klarer og kaste graset ut av maskinen og det er derfor satt inn en ekstra kastevifte. Siden halmkutteren egentlig er beregnet på halm og at halmen slippes ned ovenfra er konstruksjonen blitt noe mer avansert med tanke på innmating av graset. I tillegg må den forsterkes for å takle et mer fuktig materiale.



*Figur 19 Alternativ 3. Samme kutteprinsipp som på en halmkutter i en tresker, men med kastevifte for å transportere graset videre. Pickup og transportbånd frakter graset til kutteorganet. Av forfatteren, 2017.*

#### 4.2.4 Alternativ 4

Dette alternativet bygger også på halmkutterprinsippet, men er også inspirert av rundballekutteren. Her er det også en vanlig pickup som plukker opp graset og et transportbånd som frakter det oppover før det slippes ned mot kutteorganet. Her er det to aksler med knivrekker som roterer samme vei, mot klokka sett fra tegnet perspektiv. I likhet med rundballekutteren roterer akslingene altså med samme retning, men med ulik hastighet. Den fremre akselen roterer sakte og forsinker gjennomgangen slik at graset kuttes bedre. Den bakre akselen roterer med stor hastighet og vil dra med graset videre til utkastervifta.



*Figur 20 Alternativ 4. Pickup og transportbånd plukker opp graset og frakter det til kutteorganet. Kutteprinsippet er som på halmkutteren, men som i en rundballekutter vil den ene akselen forsinke grasgjennomgangen for å bedre kuttingen. Av forfatteren, 2017.*

### 4.3 Utvelgelse av kutteprinsipp

Her blir de fire alternativene gitt poeng for hvert av produktkravene. Etter utvelgelsen skal et av alternativene tas med videre og poengene blir derfor summert. Alternativet med høyest poengsum blir valgt.

*Tabell 2 Concept Screening. Hvert alternativ får poeng for hvert produktkrav.*

	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt.4
Kuttelengde	4	6	3	4
Jevnhet kuttelengde	4	5	2	2
Enkel konstruksjon	6	5	4	3
Enkelt vedlikehold	5	4	5	4
Driftssikkerhet	5	4	4	4
Funksjonalitet	2	5	4	4
<b>Totalt</b>	<b>26</b>	<b>29</b>	<b>22</b>	<b>21</b>

Alternativ 1 og 2 scorer bra på kutting siden kuttingen skjer på tvers av innmaterretningen og innmatervalsen vil være med å holde igjen graset under kutting. På alternativ 3 og 4 forgår kuttingen parallelt med innmaterretningen i tillegg til at graset ikke blir holdt igjen på samme måte. At knivene har breidsida parallelt med rotasjonsretningen fører også til liten lufttransport og kutteorganet vil ikke klare å kaste graset videre. Derfor er det satt inn en kastevifte. Dette gjør konstruksjonene mer avansert og de kommer dermed dårligere ut en alternativ 1 og 2. Når det gjelder alternativ 1 er det usikkert om innmatervalsen vil klare å plukke opp graset. Den får derfor dårlig score på funksjonalitet. Alternativ 2 fikk høyest poengsum, og blir derfor tatt med videre i utviklingsprosessen.

## 4.4 Utviklingsprosess

### 4.4.1 Beskrivelse

Den endelige løsningen har en vanlig pickup som plukker opp graset fra bakken. Videre har den én innmatervalse som mater graset til motstålet og kutteorganet. Den skal sørge for jevn mating og holder igjen graset for å sikre jevn kuttelengde. Innmatervalsen skal være fjærbelastet for å takle varierende mengde gras og har en diameter på 25 cm. Som kutteorgan brukes en knivsylander. Den kutter på tvers av innmaterretningen, har 14 kniver, knivavstand på 16 cm og en diameter på 71 cm. Dette skal sikre en jevn gange og høy periferihastighet ved et lavere turtall. Det er ingen innsmaling og innmatervalsen og knivsylandereren har dermed samme bredde som pickupen. Graset mates inn i samme bredde som det er lagt i strengen på jordet, kuttet av knivsylandereren og kastes videre ut av maskinen. Kuttetystemet har en teoretisk kuttelengde på to cm.

### 4.4.2 Beregninger

For å få god kutting av graset og tilstrekkelig kastelengde for å transportere det videre fra kutteheten, er man avhengig av god nok periferihastighet. Dette krever et visst turtall ut ifra valgt diameter på knivsylandereren. Videre vil det ut ifra periferihastighet og knivavstand kreves en viss innmatingshastighet for å oppnå ønsket kuttelengde.

Utrekning av turtall på knivsylander:

Diameter knivsylander: 71 cm

Ønsket periferihastighet: 45 m/s

$n$  = turtall     $d$  = diameter     $v$  = periferihastighet

$$n = \frac{60 \times v}{d \times \pi}$$

$$n = \frac{60 \times 45 \text{ m/s}}{0,71\text{m} \times \pi}$$

$$\underline{\underline{\equiv 1211 \text{ o/min}}}$$

Knivsylandereren må ha en hastighet på 1211 omdreininger i minuttet.

---

For å oppnå ønsket kuttelengde må innmatingen skje i passe hastighet i forhold til knivsylanderens hastighet.

Utrekning av innmatingshastighet:

Antall kniver: 14 stk.

Knivavstand: 16 cm

s = strekning = knivavstand

t = tid

v = periferihastighet

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

$$t = \frac{0,16 \text{ m}}{45 \text{ m/s}}$$

$$\underline{= 0,0036 \text{ sek}}$$

Det passerer en kniv forbi motstålet hvert 0,0036. sekund. Graset må da mates en strekning lik ønsket kuttelengde i dette tidsrommet.

Strekning = ønsket kuttelengde = 0,02 m

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

$$v = \frac{0,02 \text{ m}}{0,0036 \text{ sek}}$$

$$\underline{= 5,6 \text{ m/s}}$$

Graset må mates med en hastighet på 5,6 m/s.

For å oppnå rett hastighet må innmatervalsen ha rett turtall.

Turtall på innmatervalse:

Diameter innmatervalse: 25 cm

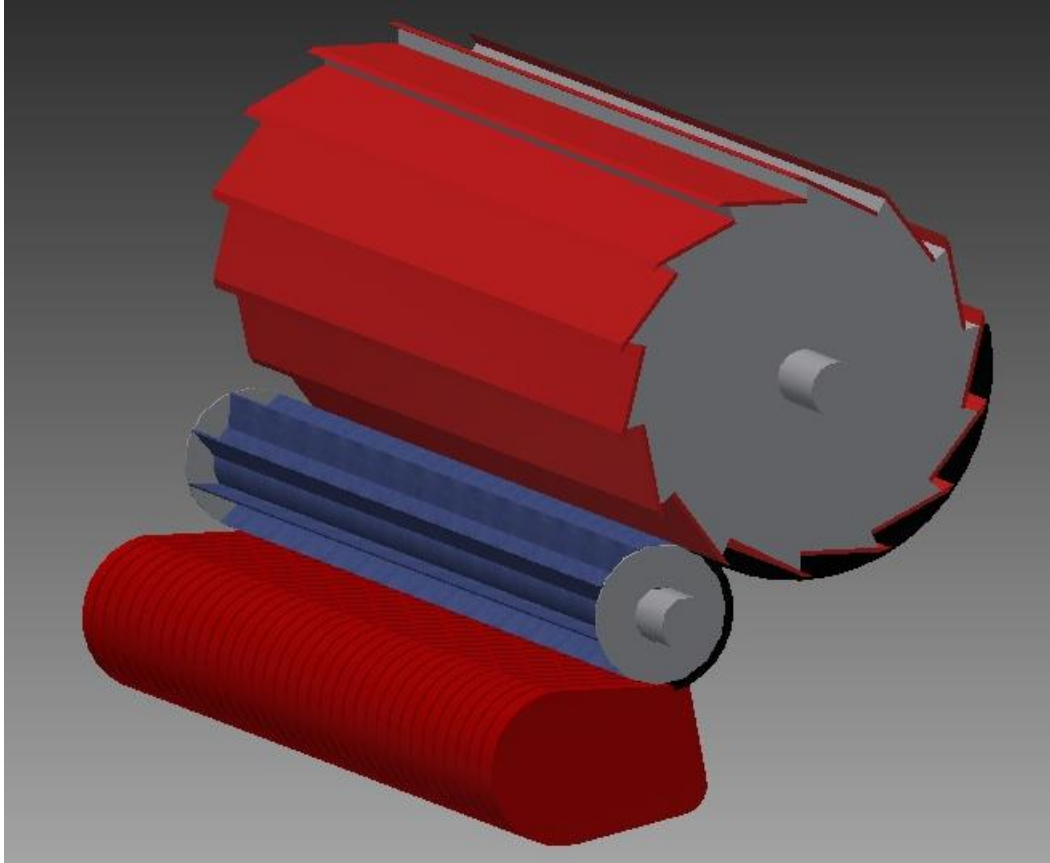
$$n = \frac{60 \times 5,6 \text{ m/s}}{0,25\text{m} \times \pi}$$
$$\underline{= 428 \text{ o/min}}$$

Med de forutsetninger som er satt av knivsynderen og diameter på innmatervalsen, må innmatervalsen ha et turtall på 428 o/min for å oppnå en teoretisk kuttelengde på to cm.



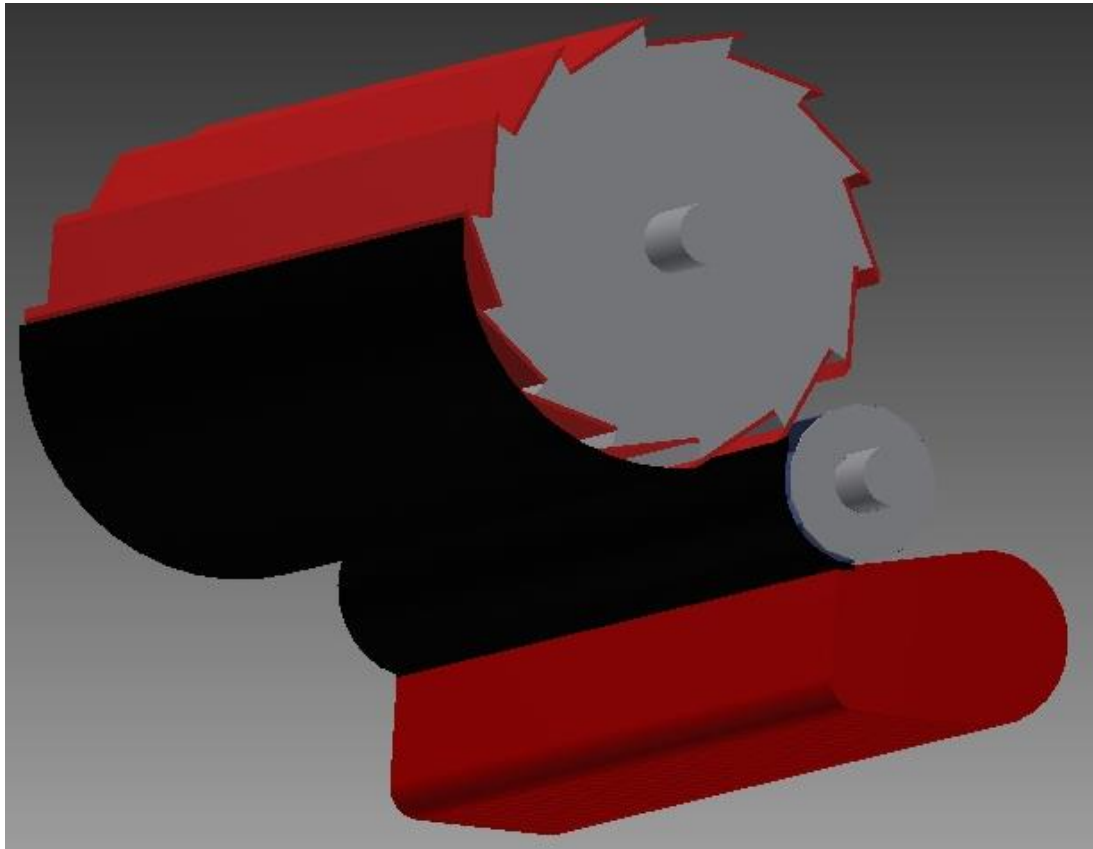
## 4.5 3D modell av endelig forslag

Her vises noen 3D tegninger av resultatet. På tegningen vises pickupen, innmatervalsen og knivsynderen.



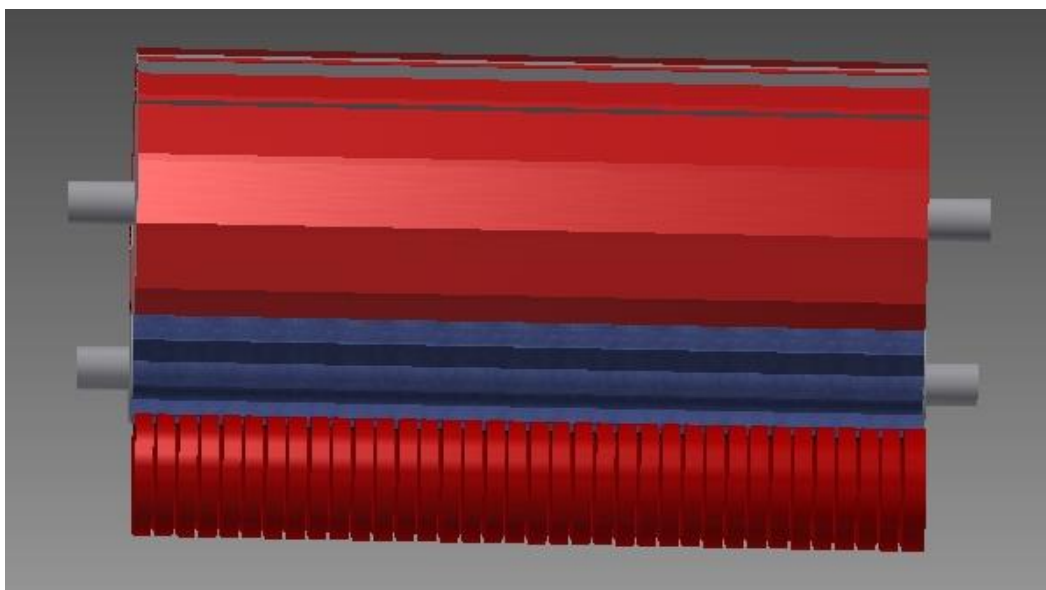
*Figur 21 Endelig forslag til kuttessystem, av forfatteren, 2017.*

Kuttetystemet er en kraftig og kompakt konstruksjon.

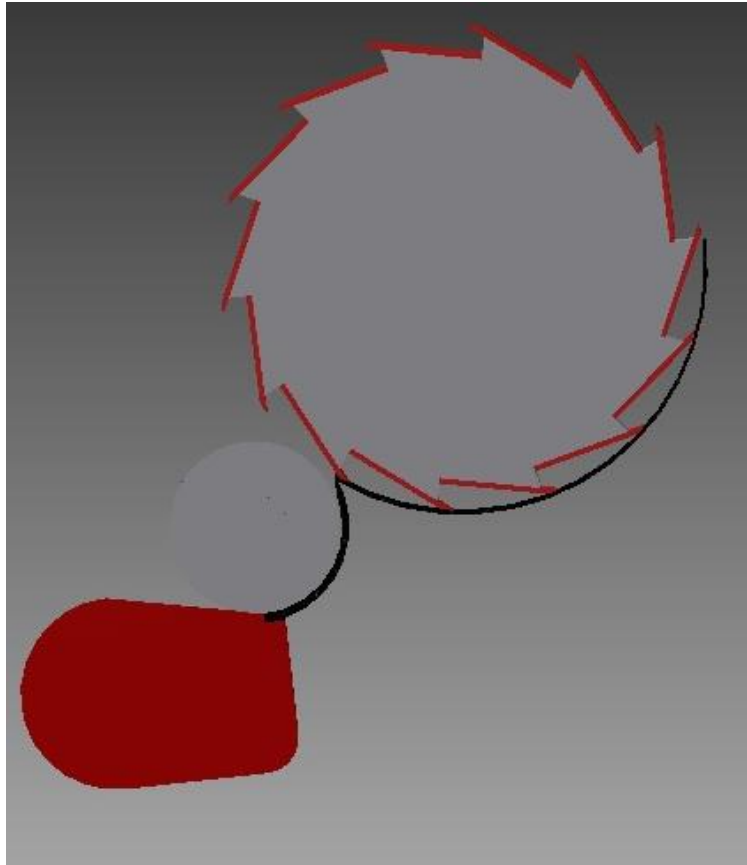


*Figur 22 Endelig forslag til kuttetystem, av forfatteren, 2017.*

Innmatervalse og knivsylander er i samme bredde som pickupen. Det er grove akslinger for kraftig opplagring.

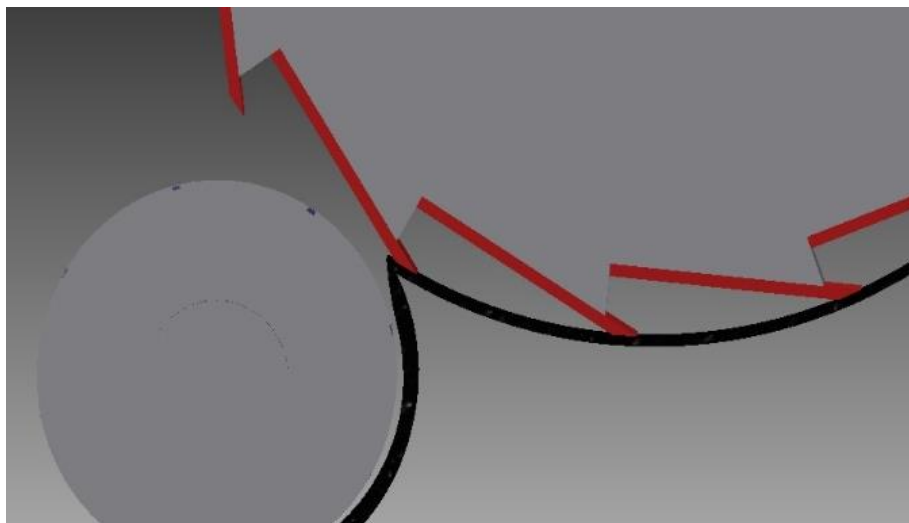


*Figur 23 Endelig forslag til kuttetystem, 2017.*



*Figur 24 Endelig forslag til kuttessystem,  
av forfatteren, 2017.*

Det er liten avstand mellom innmatervalsen og underlaget. Underlaget er også formet etter innmatervalsen. Dette er for å holde fast graset så tett inntil kuttepunktet som mulig.



*Figur 25 Endelig forslag til kuttessystem, av  
forfatteren, 2017.*

## 5. Diskusjon

Den endelige løsningen bygger på samme kutteprinsipp som hos en finsnitter. Det benyttes en vanlig pickup til å plukke opp graset. Det er vanskelig å integrere en mekanisme for plukking av gras inn i selve kuttetystemet. Dermed ble denne delen litt utenfor den aktuelle problemstillingen, og det var dermed ingen grunn til å utvikle denne delen da en pickup fungerer som ønsket slik den er. Som nevnt er kutteprinsippet mye det samme som i en finsnitter, men det finnes ingen skrue som samler graset inn mot midten. Dermed foregår kuttingen over en bredere streng. Dette blir mer som ved bruk av lessevogn. Dette vil føre til at knivene kutter et tynnere sjikt enn de ville gjort dersom graset hadde blitt samlet i midten. Til gjengjeld blir sjiktet bredere og det er usikkert hvilken effekt dette har. Uansett slipper man skruen som smaler graset.

Kuttetystemet har bare én innmatervalse, noe som er med å forenkle konstruksjonen. Dette fører imidlertid til at graset må føres langs en glatt overflate i stedet for å mates mellom to valser. Dette vil føre til noe større friksjon. Siden antallet materuller er redusert er dette noe som vil påvirke effektbehovet i positiv retning, samtidig vil økt friksjon få motsatt effekt. I ei lessevogn vil også graset skli langs en glatt flate når det passerer knivbrua, men graset vil da for det meste skyves. Her er det nødvendig at graset klemmes fast mellom valsen og underlaget, slik at det holdes igjen under selve kuttingen. Det er derfor svært liten avstand mellom innmatervalsen og underlaget og det er kanskje denne delen jeg er mest spent på hvordan ville fungert i praksis. Det å klemme fast graset mot en fast flate, samtidig som det føres framover, vil gjøre det tynge å drive valsen. Den skal derfor være fjørbelastet slik at avstanden til underlaget vil reguleres etter varierende grasmengde.

For å oppnå ønsket om kort og jevn kuttelengde er det nødvendig at graset holdes fast så nærme kuttepunktet som mulig. Altså må punktet der innmatervalsen møter underlaget som graset klemmes mot ligge nærmest mulig motstålet der knivene passerer. Dette er lettere å oppnå dersom innmatervalsen har en liten diameter. Siden det her bare er en innmatervalse er det nødvendig med en større diameter slik at den klarer å samle hele grasstrengen på undersiden av valsen. Dersom diameteren blir for liten vil graset gå over valsen og den vil ikke klare å mate graset videre. På grunn av større diameter må derfor underlaget formes etter valsen slik at den holder fast i graset så nærme kuttepunktet som mulig.

---

Det er valgt en stor diameter på knivsynderen. Med økt diameter øker også periferihastigheten. Dette gjør at man kan redusere turtallet og likevel oppnå høy periferihastighet. Høy periferihastighet er viktig for å få et bra kutt og for å kaste graset videre, for eksempel gjennom en samletut og bak i ei transportvogn. Diameteren på knivsynderen er 71 cm, noe som er større enn på flere selvgående finsnittere, og den vil oppnå en periferihastighet på 45 m/s ved 1211 o/min. En stor diameter på knivsynderen vil gjøre det litt tyngre å dra i gang maskina, men til gjengjeld vil det gi jevnere gange, lavere turtall og høyere moment. Det blir samme prinsipp som et svinghjul på en motor. Maskinen vil dermed være mindre utsatt for tetting ved store og varierende grasmengder. Dette er viktig for maskinens funksjonalitet.

Hastighet og knivavstand gir forutsetninger for den innmaterhastigheten som trengs for oppnå ønsket teoretisk kuttelengde på to cm. Med periferihastighet på 45m/s og en knivavstand på 16 cm er det nødvendig med en innmatingshastighet på 5,6m/s. Med 25 cm i diameter må innmatervalsen ha et turtall på 428 o/min. Dersom man ønsker å endre kuttelengden må innmatingshastigheten endres, eller man kan ta ut noen av knivene. Siden graset mates langs en glatt overflate i stedet for mellom to valser, og dette vil føre til en viss friksjon, kan det tenkes at innmatervalsen i noen tilfeller vil slure på graset. Valsen vil da ikke klare å transportere graset i like stor hastighet som sin egen hastighet. Dette vil i imidlertid føre til en enda mindre kuttelengde og vil således ikke være noe problem. Det vil trolig ikke påvirke jevnheten i kuttelengde da graset uansett holdes fast av innmatervalsen og kutteretningene går på tvers av innmaterretningen. Kutting på tvers av innmatingen må anses som svært positivt for å oppnå tilfredsstillende kutting.

Ved innlegging i siloen vil man oppleve at graset er lett å jevne. Det vil være lett å fordele graset i tynne lag og det vil bli godt pakket i siloen. Man vil trolig kunne legge inn godt fortørket gras med TS på rundt 35 % og likevel få et akseptabelt luftvolum i massen. Den gode kuttinga av graset vil være med å sikre næringstilgangen for melkesyrebakteriene og derav en rask melkesyreproduksjon og pH-senking. Dette vil bidra til en god ensileringsprosess og god kvalitet på fôret. Det vil også redusere risikoen for varmgang ved uttak siden oksygenet har vanskeligere for å trenge inn i massen dersom det er oppnådd en tilstrekkelig pakkegrad. En god ensileringsprosess vil også gi en stabil silomasse som vil tåle eksponering for oksygen i en viss periode.

At det hovedsakelig er to roterende deler som tar seg av mating og kutting av graset gjør konstruksjonen enkel og bør dermed føre til enkelt vedlikehold. Konstruksjonen er forholdsvis robust med få bevegelige deler. Den mest sårbare delen med tanke på driftssikkerhet vil være knivsynderen. Den vil være mer sårbar for fremmedlegemer som stein enn for eksempel kuttetystemet i ei lessevogn der knivene er fjærbelastet.

## 6. Konklusjon

### 6.1 Konklusjon

Målet med oppgaven var å lage et forslag til hvordan man kunne videreutvikle et kuttessystem som kan benyttes i høstemaskiner for gras. Kuttessystemet skulle gi så god og jevn kutting som mulig, samtidig som konstruksjonen skulle være enkel og driftssikker med enkelt vedlikehold. Resultatet jeg har kommet fram til viser et forslag til hvordan man kan lage et slikt kuttessystem, samt noen enkle utregninger for å finne aktuelle dimensjoner og for å oppnå ønsket kuttelengde. Det er ingen fullstendig prosjektering av konstruksjonen, men det var heller ikke målet med oppgaven.

Jeg tror løsningen jeg har kommet fram til ivaretar de produktkrav jeg har satt. Det er én enkel innmatervalse som mater graset med jevn hastighet og samtidig klemmer det fast under selve kuttingen. Som nevnt er det denne delen av konstruksjonen jeg er mest spent på hvordan ville fungert i praksis. Samtidig blir det akkurat samme prinsipp som når slageren i en tresker tar med halmen over knivbrua. Dermed mener jeg også denne løsningen vil fungere her. Knivsynderen vil ved utregnet matehastighet gi en jevn kutting og en teoretisk kuttelengde på to cm. En stor diameter på knivsynderen gjør konstruksjonen mer robust med tanke på driftsstans.

Graset vil være kuttet i tilstrekkelig grad for å gi enkel håndtering av graset både ved innlegging og uttak. Det vil pakkes godt i siloen, gi en god, stabil ensileringsprosess og derav et godt grovfôr.

Jeg mener forslaget jeg har kommet fram til vil ivareta de produktkrav jeg har satt og er et godt utgangspunkt for en videre utviklingsprosess.

## 6.2 Forslag til videre arbeid

Før man kan sette i gang evt. produksjon må det gjøres en del flere beregninger. Konstruksjonen må styrkeberegnes for å kunne velge rett stål av rett dimensjon. Man må også tegne og dimensjonere selve drivlinjen, lagere og selve ramma for kuttssystemet.

Det bør også foretas en beregning av effektbehov for å se om man kan gjøre flere tilpasninger som kan være positivt på dette området.

Når hele konstruksjonen begynner å falle på plass vil man kunne utarbeide en kostnadskalkyle. Man vil da se om dette er et produkt som kan hevde seg på markedet med tanke på pris.

Når de beregninger som er mulig å gjøre på forhånd er utført kan det produseres en prototype for å teste ut kuttssystemet i praksis. Siden dette er et forslag som ikke har noen praktisk utprøving ennå vil det alltid være behov for en del justeringer og man bør derfor teste systemet over en periode for å finne områder med forbedringspotensial.



---

## 7. Litteraturliste

Barstad, G. K. & Raunhom, M. (Red.). (2003) *Landbruksmaskinar*. Oslo: GAN Forlag AS

Glemmestad, E. (1981). *Maskiner i landbruket* (2. utg.). Oslo: Landbruksforlaget

Grønbæk, T. (Red.). (2013). *Maskiner til markarbejde*. (5. utg.). Aarhus: Landbrugsforlaget.

Grønbæk, T. (Red.). (2014). *Kveggets fodring*. (2. utg.). Aarhus: Landbrugsforlaget.

Hvam, S. Aa. & Skøien, S. (1991). *Maskiner og reiskapar*. Oslo: Landbruksforlaget

Mo, M. (2005). *Surfôrboka*. Oslo: Tun Forlag AS

Persson, S. (1987). *Mechanics of cutting plant materiel*. Michigan: American Society of Agriculture Engineers.

### Internett:

Norsk Landbruksrådgivning. (2016). Grovfôr 2020- samarbeid for mer, bedre og billigere grovfôr, 2016. Hentet fra <https://www.nlr.no/nyhetsarkiv/2016/grovf%C3%B4r-2020/>

Kronstad, R. (2014). *Norge på jumboplass: Selvforsyning på under 40 %, 2016*. Hentet fra <https://www.bondelaget.no/nyhetsarkiv/norge-pa-jumboplass-selvforsyning-under-40-article77279-3805.html>

Simonsen, H. (2016). Samler alle til grovfôrløft. *Gjødselaktuel*. (1), 3-6. <http://www.yara.no/gjodsel/Tools-and-Services/gjodselaktuel/gjodselaktuel-2016-1/samler-alle-til-grovforloft.aspx>

Stabbetorp, J. (Red.). (2015) Hva kan vi og hva bør vi dyrke i Norge? Hentet fra <https://www.bondelaget.no/getfile.php/13719088/Bilder%20fylker/Akershus/Hva%20kan%20vi%20og%20hva%20b%C3%B8r%20vi%20dyrke%20Jan%20Stabbetorp.pdf>

### Bilder.

Bedre Gardsdrift (2009). *JF 1355 finsnitter*. (Fotografi). Hentet fra <http://gardsdrift.no/bilder-forum-ku-grasdemo>

Bedre Gardsdrift. (2009). *Pöttinger Faro 3500 lessevogn*. (Fotografi). Hentet fra <http://gardsdrift.no/bilder-forum-ku-grasdemo>

Bedre Gardsdrift. (s.a.). *Serigstad Fôrhøster*. (Fotografi). Hentet fra <http://gardsdrift.no/felleskj%C3%B8pet-med-serigstad-igjen>

Bedre Gardsdrift. (2010). *Vicon RV 4216*. (Fotografi). Hentet fra <http://gardsdrift.no/kverneland-gras-feltdag-2010>