



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

**Masteroppgave 2018 30 stp**

Fakultet for Biovitenskap

Hovedveileder: Åshild T. Randby

## **Effekt av pakkemaskin i plansilo på kvaliteten av grassurfôr**

Effect of compaction equipment in bunker silos on grass silage quality

**Haakon Nordtveit Halvorsen**

Husdyrvitenskap

Institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap



## Forord

Denne oppgaven ble skrevet våren 2018 ved Institutt for Husdyr- og Akvakulturvitenskap ved Norges Miljø- og biovitenskapelige (NMBU) på Ås. Oppgaven avslutter en toårig master i Husdyrvitenskap. Jeg kan nå kalle meg Sivilagronom! Som odelsgutt på mjølkebruk har det vært en lærerik og kjekk tid her på Agrarmetropolen. Da jeg fikk mulighet til å være med på et forsøk tilknyttet ensilering i plansilo, var det ikke vanskelig å takke ja.

Først og fremst stor takk til hovedveileder Åshild T. Randby (IHA) som gav meg muligheten til å være med på sitt forsøk og tatt seg tid til veiledning under skriving av oppgaven, takk for hjelp til statistikk, lån av litteratur, beregninger, gode diskusjoner og innspill underveis i skrivinga. Stor takk rettes også til biveileder Odd Magne Harstad (IHA) for masse nyttige kommentarer, innspill og diskusjoner.

Videre også takk til professor Trond Børresen ved Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning for veiledning og lån av litteratur innenfor jordpakking. Takk til Bjørg Heringstad (IHA) for hjelp med statistikk. Takk til TINE for økonomisk støtte til analyse av hygienepøver til denne oppgaven. Jeg vil også takke alle ansatte på Senter for Husdyrforsøk som gjorde plansiloforsøket mulig å gjennomføre.

Takk til familie og venner for støtte, motivasjon og korrekturlesning under skriving av oppgaven. Til slutt takk til alle klassekamerater på IHA, for nyttige diskusjoner rundt våre oppgaver, og for godt selskap på skolen under skriving av oppgavene våre.

Institutt for Husdyr- og Akvakulturvitenskap, NMBU

Ås, 15. mai 2018

---

Haakon Nordtveit Halvorsen



## Sammendrag

Denne oppgaven består av en teoridel og «egne undersøkelser». Teoridelen inneholder en gjennomgang av de viktigste faktorene som påvirker ensileringen, og spesielt forhold relatert til plansilo. Det er en økende interesse for å bruke plansiloer i Nord-Amerika, Europa og også i Norge, særlig på større bruk med mjølkeproduksjon. En viktig årsak til dette, er at bruk av plansilo senker kostnadene for konservering og lagring av grovfôr på store bruk. Allikevel blir ca. 80 % av surfôret i Norge lagret i rundballer. Målet med ensilering av alle fôrvekster er å bevare fôrets sammensetning og minimere tapet av tørrstoff. Det er også nødvendig å oppnå god gjæringskvalitet som gir grunnlag for et høyt fôropptak, og god hygienisk kvalitet som reduserer risikoen for sykdom hos dyra og kvalitetsfeil på mjølka. Fôrvekstens ensileringsegenskaper kan forbedres med fortørking og kutting. Fortørking reduserer risikoen for uønsket gjæring under ensilering. Minimalt tørrstofftap gjennom hele ensileringsprosessen vil være ved fortørking til mellom 25 og 30 % tørrstoff. God kutting av grasen vil øke komprimeringen av fôret, frigjøre næringsrik plantesaft og stimulere til mjølkesyregjæring.

Plansiloen er også kalt horisontalsilo eller «bunker silo» og består av et gulv av enten betong eller asfalt. Sideveggene er mer eller mindre vertikale. Uavhengig av ensileringsmetode er det ønskelig med rask innlegging og tetting av grasmassen for å unngå respirasjon fra grasen og derav varmgang. Samtidig er det under ensilering i plansilo viktig å komprimere grasmassen godt for å oppnå høy volumvekt ( $\text{kgTS}/\text{m}^3$ ) før tildekking. Disse to kravene kan ofte komme i konflikt med hverandre under ensilering i praksis.

Høy volumvekt i surfôret er viktig fordi det reduserer porøsiteten i massen. Porøsiteten er forholdet mellom volumet av porer med luft (oksygen) i forhold til det totale volumet av surfôrmassen. Selv om veggene og plastdekket over siloen stort sett stenger luften ute, vil en plansilo sjelden eller aldri bli helt lufttett. Høy volumvekt i plansilo er viktig fordi det begrenser skadeomfanget ved luftlekkasjer, for eksempel ved mangelfull plastdekking eller skader i plasten. Mindre luft tilgjengelig i grasmassen, begrenser den aerobe mikrobielle aktiviteten.

Hovedformålet med «egne undersøkelser» var å sammenligne effekten av to pakkemaskiner med ulik vekt på ensileringen av grassurfôr i plansilo. Hovedparameterne som ble undersøkt var volumvekt, tørrstofftap, gjæringskvalitet og aerob stabilitet og hygienisk kvalitet i prøver fra spesielle punkter i siloene. Tre slåtter av timoteidominert grasblanding ble høstet ved skyting i

2016 på Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet i Ås. Seks identiske plansiloer i fullskala ble brukt i forsøket, der to siloer ble fylt per slått. Den ene ble pakket med traktor (8300 kg) og den andre med hjullaster (14600 kg). Parallelt ble enda også ensilert i rundballer som kontrolledd.

Hvert graslass som ble tippet i siloene under høsting, og surfôr hentet fra siloene under utfôring, ble veid. Prøver av gras og surfôr til analyse av tørrstoff, næringsinnhold og gjæringsprodukter ble tatt ut manuelt under innlegging og uttak. Videre ble det tatt ut punktprøver av ferdig surfôr ulike steder i skjæreflaten av siloene, og i ytterkant og inni rundballene, for analyse av gjær- og muggsopp, og sporer av *Clostridium tyrobutyricum* og andre klostridiearter. Pakkemaskinenes egenskaper ble også sammenlignet ved bruk av en nettbasert simulator beregnet for jordpakking (Terranimo 2018).

Terranimo simulatoren viste numerisk større marktrykk ved bruk av hjullaster enn ved bruk av traktor. Det var derfor ikke uventet at komprimering med hjullaster hadde en tendens ( $P < 0,1$ ) til høyere volumvekt (243 vs. 224 kgTS/m<sup>3</sup>), mindre andel kassert surfôr (5,4 vs. 6,9 %) og numerisk lavere andel punktprøver med påviste ( $> 1,70 \log_{10}$  cfu/g) sporer av *Clostridium tyrobutyricum*. For siloene pakket med hjullaster var det også en tendens til høyere konsentrasjon av eddiksyre (11,8 vs. 10,3 g/kgTS) og lengre aerob stabilitet (279 vs. 211 timer). Rundballene hadde signifikant ( $P < 0,05$ ) høyere pH verdi, høyere konsentrasjon av WSC, lavere konsentrasjon av mjølkesyre, og lavere andel kassert surfôr sammenlignet med plansiloene.

Konklusjonen er at ved identisk pakketid har pakkemaskinens vekt positiv effekt på komprimeringen i plansilo og derved på volumvekten. Når plastdekkingen ikke er perfekt kan graden av komprimering påvirke hygienisk kvalitet i surfôret på utsatte punkter, og hvor mye surfôr som må kasseres. Effekten skyldes at den tyngste maskinen utøver en sterkere og dypere komprimering av underlaget i siloen. Gjæringskvaliteten i surfôrmassen var ikke signifikant forskjellig mellom maskinene. Dette kan tyde på at volumvekten var tilfredsstillende for begge metoder. Disse undersøkelsene bekrefter at det er mulig å produsere surfôr av god kvalitet i plansilo. Ved bruk av en lettere pakkemaskin er det enda viktigere med god tetting mot luft. Sammenlignet med rundballer er tettingen av surfôrmassen i plansilo vanskeligere og mer arbeidskrevende.

## **Abstract**

This thesis consists of a literature study and an experimental part. The literature study gives a general review of the most important factors affecting ensiling, with emphasis on special factors related to forage conservation in bunker silos. In Norway, as well as in North America and Europe, the interest in bunker silos is increasing, especially in larger dairy farms. This is because costs related to forage conservation and storage often are lower in bunkers. Still, in Norway, 80 % of the silage is stored in round bales. The main objective of ensiling all types of crops is to keep its quality as close as possible to that of the crop at harvest and minimize losses of dry matter. It is also necessary to achieve a good fermentation quality as it gives a base for high feed intake, and a good hygienic quality which reduces the risk of animal disease and milk quality problems. The ensiling characteristics of the crop can be enhanced with wilting and reduced chop length. Wilting reduces the risk of undesirable fermentation. Throughout the ensiling process, the minimum dry matter loss will occur at 25-30 % dry matter. Proper chopping will release plant sap and stimulate to fermentation of lactic acid.

The bunker silo, sometimes referred to as horizontal silo, consists of a floor surface of either concrete or asphalt and silo walls which are near vertical. Regardless of ensiling method, it is desirable to quickly fill and seal the grass mass to avoid heating and respiration from the grass. Additionally, under ensiling it is essential to compact the forage mass properly to obtain a high density ( $\text{kgDM}/\text{m}^3$ ) before sealing. These two requirements will often conflict with each other during ensiling in practice.

High silage density is an important factor as it reduces the silage mass porosity. The porosity is the pore volume relative to the total silage mass volume. Although the silo walls and plastic film over the silo surface mostly covers the silage mass, a bunker silo will seldom or never be completely protected against oxygen leakage. High density in silages is essential because it limits the extent of silage spoilage when air leakage occur, for example if the sealing is inadequate or damage to the plastic occurs. Less oxygen inside the ensiled mass, limits aerobic microbial activity.

The main objective of this study was to compare the effect of two compaction machines with different weights on ensiling of grass in bunker silos. Density, dry matter loss, fermentation quality and aerobic stability, and hygienic quality was investigated in core samples from selected

spots. Three cuts of timothy dominated grass leys were harvested at early heading stage at the Norwegian University of Life Sciences in Ås, Norway. Six full-scale bunker silos were used in the trial, two silos were filled per cut. One of the silos was packed by a tractor (8400 kg) and the other one with a wheel loader (14600 kg). In parallel, the same grass material was also ensiled in round bales as a control.

Each load of grass filled during harvest, and all silage removed from the silos during feedout, were weighed. Samples of grass and silage for analyzes of dry matter, nutrient content and fermentation products were manually collected from both grass and silage. In addition, spot core samples from different sections of the silo faces, and cores from the outer and inner layer of the round bales were taken for, yeast and mould analyzes, and for spore analyzes of *Clostridium tyrobutyricum* and other clostridia. Machine characteristics were also compared in an online simulator intended for soil compaction (Terranimo 2018).

The Terranimo simulator showed numerically higher ground pressure for the wheel loader compared to the tractor. Consequently, silage compacted with wheel loader tended ( $P < 0.1$ ) to have higher density (243 vs. 224 kgDM/m<sup>3</sup>), lower amount of wasted silage DM (5.4 vs. 6.9 %) and numerically lower frequency of spot samples which detected ( $> 1.70 \log_{10}$  cfu/g) spores of *Clostridium tyrobutyricum* than the bunker silos compacted with tractor. The bunker silos compacted with wheel loader had higher concentration of acetic acid (11.8 vs. 10.3 g/kgDM) and longer aerobic stability (279 vs. 211 hours). The round bales had significantly ( $P < 0.05$ ) higher pH values, higher concentration of WSC, lower concentrations of lactic acid, and lower amount of silage waste compared to the bunker silos.

In conclusion, with identical compaction time in bunker silos, the weight of the packing equipment influences density. When the plastic seal is not perfect, this can affect the hygienic quality in exposed areas in the silage and the amount of silage waste. The effect is due to the increased strength and depth of compaction stresses applied to the ground obtained by heavier packing equipment. The fermentation quality in the silage mass was not significantly different between machines. This may implicate that density was adequate for both machines used for compacting. This study confirms the possibility of achieving good silage quality in bunker silos. When lighter compacting equipment is used it is even more important with a good seal. Compared to round bales, sealing of the silage mass is more difficult and requires more labor.



# Innhold

Forord.....	I
Sammendrag .....	III
Abstract .....	V
1 Innledning.....	1
2 Ensilering av fôrvekster og kvalitetsvurdering.....	3
2.1 Vekster til ensilering .....	3
2.2 Fortørking.....	4
2.3 Innhøsting - utstyr og prinsipper .....	6
2.3.1 Høstemaskiner for gras til ensilering silo .....	6
2.3.2 Ensilering i rundballer.....	7
2.4 Ensileringsmidler .....	8
2.4.1 Fermenteringsstimulatorer .....	8
2.4.2 Fermenteringshemmere.....	9
2.4.3 Bedret aerob stabilitet .....	10
2.5 Silotyper .....	10
2.5.1 Tårnsilo .....	11
2.5.2 Plansilo.....	11
2.6 Viktige mikroorganismer i ensileringsprosessen .....	13
2.6.1 Mjølkesyrebakterier .....	13
2.6.2 Klostridier .....	13
2.6.3 Enterobakterier.....	14
2.6.4 Gjær- og muggsopp.....	15
2.7 Ensileringsprosessen .....	16
2.8 Spesielle forhold tilknyttet ensilering i plansilo.....	18
2.8.1 Volumvekt.....	19
2.8.2 Komprimering med maskiner .....	21

2.9	Surfôrkvalitet.....	23
2.9.1	Næringsverdi.....	23
2.9.2	Gjæringskvalitet.....	23
2.9.3	Hygienisk kvalitet.....	24
3	Egne undersøkelser.....	27
3.1	Forsøksdesign.....	27
3.2	Plansiloer og pakkemaskiner.....	27
3.3	Ensilering av rundballer som kontrollledd.....	29
3.4	Botanisk sammensetning og fenologisk utviklingstrinn.....	31
3.5	Slått, fortørking og innhøsting.....	32
3.6	Innlegging, pakking og tetting av plansiloer.....	33
3.7	Lagringsperioden og uttak av surfôr fra plansiloer og rundballer.....	35
3.8	Prøvetaking og analyser.....	37
3.8.1	Grasprøver.....	37
3.8.2	Surfôrprøver.....	38
3.8.3	Punktprøver fra silo og rundballer.....	39
3.9	Beregninger.....	40
3.9.1	Sammenligning av maskiner.....	41
3.10	Statistisk behandling.....	42
4	Resultat.....	45
4.1	Næringsinnhold i gras.....	45
4.2	Uttakshastighet.....	46
4.3	Marktrykk og trykkbelastning.....	47
4.4	Volumvekt, kassert surfôr og beregnet tørrstoff-tap.....	49
4.5	Næringsinnhold i surfôr.....	51
4.6	Gjæringskvalitet.....	55

4.7	Punktprøver fra silo og rundballer .....	58
4.8	Temperatur i rundballer.....	60
5	Diskusjon.....	63
5.1	Volumvekt og komprimering.....	63
5.2	Tørrstofftap.....	67
5.3	Næringsinnhold og gjæringskvalitet i surfôr.....	69
5.4	Hygienisk kvalitet .....	73
5.5	Forskjeller mellom metoder for rundballeensilering.....	76
6	Konklusjon.....	77
	Referanser .....	79



## 1 Innledning

I Norge blir over 95 prosent av graset ensilert til surfôr (SSB 2017). Konservering av gras til surfôr legger grunnlaget for den relativt lange innefôrings sesongen vi har i Norge (Mo 2005). I Norge er det kostbart å produsere grovfôr. I deler av landet er produksjonskostnaden for grovfôr like høy som kraftfôrprisen (Thuen 2015). Derfor er det viktig å produsere grovfôr på en kostnadseffektiv måte. Et lavt tap av tørrstoff fra graset høstes på jordet og frem til surfôret på fôrbrettet blir spist, bidrar til å redusere kostnadene i produksjonen.

Stadig større driftsenheter og krav til rask innlegging gjør at plansilo og rundballer er blitt de mest aktuelle systemer for lagring av fôr (Gravelsæter 2013). De siste årene har rundballemetoden blitt mer og mer populær i Norge. For ti år siden (2008) ble 64 % av surfôret lagret i rundballer (SSB 2009), mens i dag er andelen 80 % (SSB 2017). Ifølge Bakken (2016) har også anvendelsen av plansilo i Norge økt, særlig på større bruk med mjølkekyr. Konservering av fôrvekster i plansilo blir stadig mer populært i Europa og USA (Wilkinson & Rinne 2018). Gjestang et al. (2004) fant i en analyse av investerings- og driftskostnader for ulike surfôrlager, at for 20 kyr og oppover er kostnaden per fôrenhet lavere for plansilo sammenlignet med tårnsilo og rundballer. Plansiloer uten tak gir en svært rimelig konservering og lagring av grovfôret (Hovland 2016).

Bruk av plansilo gir også mulighet for hurtig håndtering av store mengder fôr (Savoie & Jofriet 2003). Selv om plansiloer har sine fordeler, er tørrstofftapene som oftest større og mer varierende sammenliknet med tårnsilo (Ruppel et al. 1995; Savoie & Jofriet 2003) og rundballer (Spörndly & Nylund 2017). Dette skyldes at ensileringsresultatet i plansilo er mer avhengig av praksisen rundt innlegging og uttak. Eksempelvis vil ønsket om rask innlegging komme i konflikt med behovet for komprimering av grasmassen i en plansilo. I rundballer er ofte tørrstoffinnholdet høyere enn i plansiloer (Spörndly & Nylund 2017; Coblenz & Akins 2018), og sammen med bedre tetting og at de brukes raskt opp etter åpning gir dette grunnlag for et lavere tørrstofftap (Spörndly & Nylund 2017).

Volumvekten ( $\text{kgTS}/\text{m}^3$ ) er en viktig faktor for surfôr kvaliteten og tørrstofftapet i plansilo (Muck & Holmes 2000; Holmes 2006; Hutnik & Kobiela 2012). Ved god komprimering av surfôrmassen vil oksygenet i massen presses ut og gi mindre oksygen tilgjengelig for aerob mikrobiell aktivitet (Holmes 2006; Hutnik & Kobiela 2012). Selv om veggene og plastdekket

over siloen stenger oksygenet ute, vil en plansilo aldri bli helt tett for oksygen. Porøsiteten er volumet av porer med luft (og derved oksygen) i forhold til det totale volumet av surfôrmassen (Holmes 2006). Høyere volumvekt vil gi lavere porøsitet og dermed mindre oksygen tilgjengelig til planteoksidasjon i siloen. I flere undersøkelser (Savoie & Jofriet 2003; Holmes 2006; Hutnik & Kobiela 2012) er det funnet at tyngre maskiner til pakking av fôrmassene, lang tid til pakking i siloen og tørrere grasmasse vil øke volumvekten ( $\text{kgTS}/\text{m}^3$ ) og surfôr kvaliteten i plansilo.

Denne masteroppgaven er delt i to deler, en teoridel og egne undersøkelser. Teoridelen omfatter ensilering og spesielt forhold tilknyttet ensilering i plansilo. Egne undersøkelser omhandler ensileringsforsøk i plansilo utført på Senter for husdyrforsøk (SHF), Ås, Norge i 2016.

Hovedformålet med oppgaven var å undersøke betydningen av ulik vekt på pakkemaskinen i plansiloer. Effekten av pakking med traktor og hjullaster ble vurdert etter parameterne volumvekt ( $\text{kgTS}/\text{m}^3$ ), tørrstofftap, gjæringskvalitet og hygienisk kvalitet. En del av oppgaven har også omfattet en sammenlikning mellom surfôr fra plansilo og rundballer.

Følgende hypoteser ble satt opp:

1. Tyngre pakkemaskin vil resultere i høyere volumvekt ( $\text{kgTS}/\text{m}^3$ ) og som følge av dette mindre TS tap, bedre gjæringskvalitet og hygienisk kvalitet.
2. Ensilering i rundballer vil gi mindre TS tap, bedre gjæringskvalitet og hygienisk kvalitet enn ensilering i plansilo.

Denne oppgaven er tilknyttet prosjektet «Kostnadseffektiv Grovfôrproduksjon». I dette forsøket var formålet å undersøke pakking med hjullaster og traktor i plansilo, og effektene på ensileringsresultatet.

## 2 Ensilering av fôrvekster og kvalitetsvurdering

Målet med ensilering og lagring av alle grovfôrvekster til surfôr er å bevare fôrets sammensetning og minimere tapet av tørrstoff (Muck 2011). Videre er det nødvendig å oppnå god gjæringskvaliteten som gir grunnlag for et høyt fôropptak (Mo 2005), og god hygienisk kvalitet som igjen reduserer risikoen for sjukdom hos dyra og kvalitetsfeil på mjølka (Woolford 1990; Johansen et al. 2013).

### 2.1 Vekster til ensilering

De vanligste engvekstene brukt til surfôr i Norge er timotei (*Phleum pratense L.*), engsvingel (*Festuca pratensis Huds.*) og rødkløver (*Trifolium pratense L.*) (Steinshamn et al. 2016). Til etablering av eng kombineres disse og andre arter i ulike såfrøblandinger tilpasset regionale forhold. Ettårige åkervekster som helgrøde og Westerwoldsk raigras (*Lolium multiflorum Lam. var. Westervoldicum*) blir også dyrket og ensilert til surfôr. Videre blir det også dyrket flerårig raigras (*Lolium perenne L.*), særlig på Sør-Vestlandet. Til sammenlikning er det, i tillegg til gras og helgrøde, svært vanlig å dyrke mais og luserne (alfalfa) til surfôrproduksjon i Europa og Nord-Amerika (McDonald et al. 1991; Albrecht & Beauchemin 2003).

Fôrvekster har ulik egnethet for ensilering til surfôr (McDonald et al. 1991). Vekstene bør ha et tilstrekkelig innhold av vannløselige karbohydrater (WSC) som substrat for fermentering til mjølkesyre (McDonald et al. 1991; O'Kiely & Muck 1998). Tørrstoffinnholdet bør være over 20 % og bufferkapasiteten bør være forholdsmessig lav. Bufferkapasiteten er plantens evne til å motstå endring i pH, og bufferegenskapene avhenger av anionene tilstede i planten. Forbedring av ensileringssegenskapene til fôrvekster kan gjøres med fortørking og kutting (Honig 1991). Tilsetning av ensileringsmidler kan kompensere for dårlig ensilerbarhet. Grasmassen bør også ha en fysisk struktur som muliggjør god pakking i siloen eller rundballen (McDonald et al. 1991).

Blant de tempererte grasarter er det raigrasartene som har det høyeste innholdet av WSC (McDonald et al. 1991). Innholdet av WSC varierer mellom sorter av samme art. Forholdet mellom blad og stengel har stor påvirkning på innholdet av WSC i tempererte grasarter. Andreslått har mer blad i forhold til stengel enn i førsteslått (Mo 2005). Mengden WSC tenderer å øke i takt med tiltagende utviklingstrinn og større andel stengel (McDonald et al. 1991; O'Kiely & Muck 1998). Økningen skyldes i hovedsak økt innhold av fruktaner. I løpet av dagen øker innholdet av sukker som følge av fotosyntese (Søgaard et al. 2003). Sukkeret

forbrukes i planten til vekst og respirasjon, og ettersom det ikke dannes nytt sukker når det er mørkt vil sukkerinnholdet reduseres utover kvelden og natten. Samme effekt gjelder på overskyede dager. Som følge av økt nitrogen gjødsling vil innholdet av WSC i gras reduseres. Dette skyldes raskere planteutvikling som følge av økt N-gjødsling (McDonald et al. 1991).

Ensileringssegenskapene til ulike fôrvekster er forskjellige. Belgvekster har eksempelvis høy bufferkapasitet, lavt innhold av WSC og lav tørrstoffprosent (Albrecht & Beauchemin 2003). Ensilering av belgvekster krever dermed bedre gjennomføring av ensileringen for å oppnå et tilfredsstillende resultat. Mais har høyt tørrstoffinnhold, lav bufferkapasitet og tilstrekkelig innhold av WSC som substrat til mjølkesyrefermentering (McDonald et al. 1991; Wilkinson 2005). Mais regnes derfor som den optimale fôrveksten til ensilering, men planten er grov og krever derfor fin kutting.

## **2.2 Fortørking**

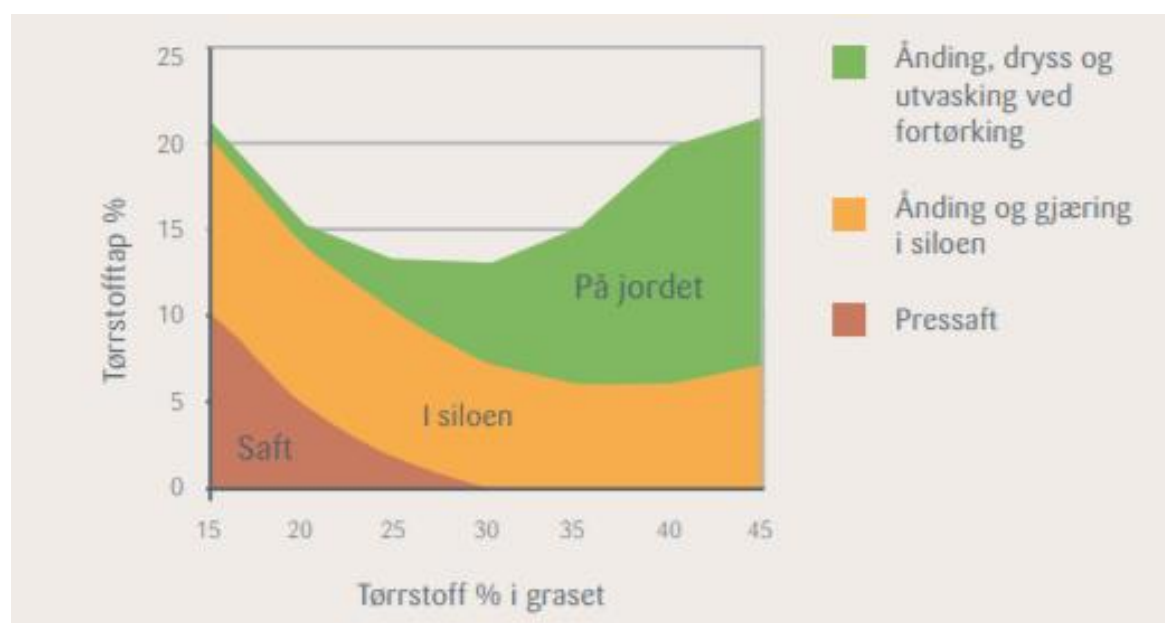
På norske gårdsbruk er det vanlig med fortørking og to-trinnshøsting (Mo 2005). Fordelene med fortørking er mange (McDonald et al. 1991). Fortørking reduserer risikoen for uønsket gjæring under ensilering (Van Soest 1994). Videre vil fortørking redusere mengden av pressaft under ensilering og dermed tapet av verdifulle næringsstoff (McDonald et al. 1991; Van Soest 1994; O'Kiely & Muck 1998; Sjøgaard et al. 2003). Fortørking kan oppkonsentrere sukkerinnholdet (Sjøgaard et al. 2003) og gi et høyere osmotisk trykk (Van Soest 1994; Sjøgaard et al. 2003). Dermed begrenses gjæringsintensiteten. Som resultat vil produksjonen av organiske syrer reduseres og surfôret vil stabiliseres med en høyere pH-verdi. Ulempene med fortørking kan være økt risiko for varmgang og for vekst av muggsopp i surfôret som følge av at massen er mer porøs og dermed lettere gjennomtrengelig for oksygen (Pitt & Muck 1993; Van Soest 1994).

Ved å fortørke graset vil vekta av grasmassen som skal transporteres reduseres betydelig (Mo 2005). Som følge av høyere tørrstoffprosent vil kapasiteten til både innhøstingsutstyret og surfôrlageret økes. Arbeidet og mekaniseringen forbundet med utfôring og håndtering av fôret gjennom innefôringsperioden vil bli lettere. Videre vil det være mindre problemer med frossent fôr.

For å bevare fôrkvaliteten og minimere tapet er det viktig at fortørkingen skjer raskt (Sjøgaard et al. 2003). Solforhold, vind, luft- og jordfuktighet er sentrale faktorer i fortørkingsprosessen. Formen og størrelsen på grasstengen har betydning for tapet av fuktighet (McDonald et al.



1991). De nederste lagene tørker atskillig senere opp enn det øverste laget på grunn av mindre sollys og eventuell vind, og på grunn av at vandampen ikke klarer å trenge gjennom grasmassen. Når graset er slått og ligger på bakken vil plantens transport av næringsstoffer opphøre (Søgaard et al. 2003). Vannet fordampes ved respirasjon. Når tørrstoffandelen kommer over ca. 30 % foregår det en fordampning ved diffusjon fra blad og stengel. Respirasjonen i plantevev innebærer forbruk av sukker og hydrolyse av proteiner (Van Soest 1994). Proteaser hydrolyserer planteproteiner til peptider, frie aminosyrer og amider (Muck et al. 2003). I løpet av fortørkinga kan proteolysen være veldig aktiv og øke innholdet av løselig ikke-protein-nitrogen (NPN) (Van Soest 1994) til 20-50 % av totalnitrogen (Muck et al. 2003). Lang tid til fortørking gir høyest innhold av NPN. Tapet gjennom respirasjon er uunngåelig, men kan minimeres ved lav lufttemperatur, høy tørrstoffandel, kort fortørkingstid og knusing av grasmassen (Van Soest 1994; Muck et al. 2003). Blant faktorene som påvirker kvaliteten til konservert surfôr er respirasjon før innhøsting ansett som en av de viktigste. Optimalt tørrstoff for minimalt tap under hele ensileringsprosessen er gitt i figur 1. Minimalt tørrstofftap vil være ved fortørking til mellom 25 og 30 % tørrstoff.



Figur 1. Sammenheng mellom innhold av tørrstoff og tapet av tørrstoff på jordet, i siloen og gjennom pressaft Tørrstofftap (Wilkinson (1988) e. Tine rådgiving og medlem et al. 2013).

## 2.3 Innhøsting - utstyr og prinsipper

Ensileringssteknikkene for surfôr deles normalt inn i to prinsipper: Direkte høsting og to-trinnshøsting (Mo 2005). Direkte høsting er mindre og mindre brukt på grunn av lav kapasitet på høstestyret (slaghøster). I et stadig våtere klima kan imidlertid bruk av slaghøster være den eneste løsningen på veldig bløte arealer (Agjeld 2018). De vanligste høstelinjene som brukes til to-trinnshøsting er rundballepresse, eksakthøster og lessevogn (Mo 2005). Ved bruk av eksakthøster og lessevogn er det nødvendig å lagre grasmassen i siloer. De vanligste silotypene i Norge er tårnsilo og plansilo.

Til å slå graset er det skiveslåmaskiner med eller uten stengelbehandler som dominerer (Mo 2005). Stengelbehandling gir raskere fortørking gjennom knusing og lufting av grasmassen (Van Soest 1994; Muck et al. 2003; Shinnors 2003). Normalt legger skiveslåmaskinen graset i en streng som ofte kan justeres i bredden (Mo 2005). Graden av stengelbehandling kan justeres etter ønske. Videre kan det være aktuelt å flatspre graset enten direkte etter slåmaskinen eller med egne sprederiver. Sammenraking av bredspredt gras utføres med ulike typer samleriver. Det kan også være aktuelt med raking av flere grasstrenger til én med disse maskinene. Ved å spre og rake fôrveksten kan noe av fôrmaterialet gå tapt, og risikoen for innblanding av jord og stein øker (Shinnors 2003). Graset må være lagt i streng i forkant av innhøsting med selve høstemaskinen. Både rundballepresse, lessevogn og eksakthøster er utstyrt med en pickup som plukker opp graset fra bakken (Mo 2005).

### 2.3.1 Høstemaskiner for gras til ensilering silo

Til to-trinnshøsting i silo kan det brukes eksakthøster eller lessevogn. Eksakthøsteren tvangsmater graset inn i snitteaggregatet (Mo 2005). Under kuttinga føres graset mot et motstål der det holdes fast av valser og kuttet av snitteaggregatet (Kristensen & Schmidt 2013). På denne måten sikres en ensartet kuttelengde som kan komme ned mot 10 mm. Kuttelengden kan justeres ved å justere antallet kniver i snitteaggregatet. Videre er det behov for flere traktorer, tilhengere og sjåførere til å transportere graset fra jordet til siloen (Mo 2005). Effektbehovet er klart større enn for andre høstemaskiner. Det finnes selvgående eksakthøstere med effekt opptil 1000 hestekrefter (Kristensen & Schmidt 2013), disse har enorm kapasitet og er i bruk i de største landbruksområdene også her i landet.

I en lessevogn består kuttinga av en knivbru med 10 til 40 kniver, der graset skyves av innmatingsfingrene gjennom knivbruen (Mo 2005). Teoretisk kuttelengde varierer fra 25 til 250 mm (Shinners 2003). Videre vil også kuttelengden i samme maskin variere, da enkelte grasstrå vil ikke bli ført vinkelrett inn mot knivene (Kristensen & Schmidt 2013). Etter at grasmassen har passert knivbruen, havner graset over i lasterommet (Mo 2005). Vogner med få kniver er beregnet til høsting av høy og fungerer heller dårlig til surfôr. Lessevogner med over 30 kniver er bedre egnet til ensilering. Lessevogn er en enmannslinje og gir stor kapasitet dersom transportavstanden ikke er for lang (Mo 2005; Kristensen & Schmidt 2013).

Nyere lessevogner med stjernerotor har betydelig bedre kutting som følge av kortere knivavstand og raskere mating mot knivene (Mo 2006). Allikevel er hastigheten på kutteorganet mye lavere enn i en eksakthøster (Mo 2005). Dermed vil ikke plantematerialet bli knust og bearbeidet i samme grad. Lessevognen krever mindre mannskap og har lavt effektbehov sammenliknet med eksakthøster. I en sammenligning av høsting med eksakthøster og lessevogn med rotorinnmater i plansilo fant Arvidsson og Lingvall (2005) ingen forskjell i volumvekt eller surfôr kvalitet.

### 2.3.2 Ensilering i rundballer

Graset kan presses og lagres i rundballer (Mo 2005). De første rundballepressene var beregnet på pressing av høy og halm og fungerte dårlig til produksjon av surfôr. I dag er maskinene og kunnskapen om bruk av utstyret bedre, og surfôr kvaliteten er minst like god som ved bruk av andre ensileringsmetoder. Kutteorganet fungerer på samme måte som lessevogn med stjerneinnmater. Rundballepressene kan deles inn etter selve pressekammerets konstruksjon, fast kammer eller variabelt kammer. Fastkammer-presser har flere fastmonterte stålruller som danner et fast kammer. Variabelkammer-presser har et gummibelte som utvider seg etter hvert som grasmengden inne i kammeret øket. Det er ikke funnet forskjeller i fôr kvalitet mellom disse prinsippene, men det antydes 6-20 % prosent høyere volumvekt ved pressing med variabelt kammer (Mo 2005). Kutting av graset har imidlertid ikke vist å ha særlig effekt på hverken volumvekt eller gjæringskvalitet. Kutting har andre fordeler som enklere håndtering under utføring. Rundballepresser kan også leveres med integrert pakkemaskin som pakker rundballen umiddelbart etter pressing, såkalt kombipresse (Kristensen & Schmidt 2013).

Fordelen med rundballer er stor kapasitet under selve innhøstingen (Mo 2005). Samtidig er ulempene mer transport og en mer arbeidskrevende utføring om vinteren. Dette kan også være en

fordel, da transporten kan utsettes til roligere tider i året. En annen svakhet er at plastinnpakningen er sårbar for mekanisk skade og angrep av gnagere og fugler. Rundballer pakket i plast bør kontrolleres med jevne mellomrom under lagringsperioden for eventuelle hull, og enten brukes opp eller lappes etter beste evne (Kristensen & Schmidt 2013). I tillegg gir rundballer mulighet å sortere ulike typer fôr etter dyras behov. Kjøp og salg av fôr er betydelig enklere med rundballemetoden. Totalt tap i ensilering av rundballer er i amerikanske forsøk funnet å være 16 % (Savoie & Jofriet 2003). I svenske forsøk er det rapportert om 1 % tørrstofftap i rundballer (Spörndly & Nylund 2017).

## **2.4 Ensileringsmidler**

En rekke litteratursammenfatninger om ensileringsmidler er publisert (McDonald et al. 1991; Kung et al. 2003; Mo 2005). Ulik praksis og forhold for ensilering er beskrevet for både Nord-Amerika (Kung et al. 2003), Europa (McDonald et al. 1991), og Norge (Mo 2005). En mer praktisk tilnærming for norske forhold er også utgitt av Tine rådgiving og medlem et al. (2013). Ensileringsmidlene kan deles inn etter hvilken virkning de har på fermenteringen (Kung et al. 2003; Sjøgaard et al. 2003; Muck et al. 2018). De kan deles i fire kategorier; fermenteringsstimulatorer, fermenteringshemmere, hemming av aerob nedbrytning og absorbenter. Noen midler vil falle innenfor flere kategorier (Kung et al. 2003; Mo 2005). I denne oppgaven er det fokusert mest på de kategoriene ensileringsmidler som er mest aktuelle til bruk i Norge etter anbefalinger og normer fra Tine rådgiving og medlem et al. (2013). Derfor er ikke absorbenter beskrevet i denne oppgaven.

### **2.4.1 Fermenteringsstimulatorer**

Fermenteringsstimulatorene som er mest undersøkt er inokulanter av mjølkesyrebakterier, enzymer som bryter ned cellevegger og melasse (Mo 2005). Av disse er det under norske forhold i hovedsak inokulanter som er benyttet. En inokulant består vanligvis av en eller flere kulturer med homofermentative mjølkesyrebakterier. Videre kan det også være tilsatt enkelte mikroorganismer som er med på å bedre den aerobe stabiliteten. Moderne inokulanter inneholder flere stammer av mikroorganismer for å dominere gjæringa under ulike pH. Vekst av mjølkesyrebakterier over et stort temperaturområde er også sentralt i sammensetningen av en god inokulant. Inokulanter er i motsetning til syrebaserte midler ufarlige å håndtere og korroderer ikke maskiner og utstyr (McDonald et al. 1991).

Inokulering med homofermentative mjølkesyrebakterier vil normalt gi hurtigere gjæring, mer mjølkesyre, mindre eddiksyre og mindre proteolyse (Mo 2005). Videre vil inokulering gi mindre smørsyre og etanol, og et lavere tap av næringsinnhold og tørrstoff. Hurtig gjæring til mjølkesyre skyldes det allerede høye innholdet av mjølkesyrebakterier i selve inokulanten, og at disse mjølkesyrebakteriene er svært hardføre. Økt konsentrasjon av mjølkesyre og mindre eddiksyre skyldes at gjæringa domineres av homofermentative mjølkesyrebakterier. Forklaringen på redusert proteolyse skyldes hemming av klostridiene og proteasene i plantene gjennom rask senkning i pH. Mindre forekomst av smørsyre og etanol skyldes hemming av henholdsvis klostridier og enterobakterier. Høyt tørrstoffinnhold (over 45 %) kan redusere effekten av en inokulant.

#### 2.4.2 Fermenteringshemmere

Hemming av fermenteringen kan skje enten fullstendig eller delvis. Det kan også innebære hemming av den aerobe nedbrytningen (Mo 2005). I dag baserer de ulike midlene seg på enten maursyre eller en blanding av natriumnitritt og hexametylentetramin (Tine rådgiving og medlem et al. 2013). Tidligere har det vært brukt uorganiske syrer som tilsetningsmiddel (Mo 2005). Ulempen med disse var at de var sterkt korroderende og etsende.

Maursyre kan inngå som eneste aktive komponent, eller i kombinasjon med andre komponenter i syrebaserte produkter (Mo 2005). I moderne produkter er det i tillegg tilsatt natriumformiat for å svekke ensileringsmiddelets korroderende og etsende egenskaper. Anbefalt dosering av syreprodukter er 3-5 liter per tonn gras (Tine rådgiving og medlem et al. 2013). Eksempel på kombinasjon med andre komponenter er i «Syrepluss» midlene vi har i Norge for gras over 30 % tørrstoff. I disse produktene er det i tillegg tilsatt noe propionsyre og eventuelt benzosyre, fordi disse syrene virker bedre mot gjær- og muggsopp enn maursyre. Maursyras effekt på gjæringa skyldes en surgjørende og antimikrobiell effekt (Mo 2005; Muck et al. 2018). Som følge av maursyretilsetning vil pH reduseres og dermed hemme aktiviteten til enterobakterier, aerobe bakterier og andre ugunstige bakterier i graset. Dette gir gode forhold for vekst av mjølkesyrebakterier (Mo 2005). Den antimikrobielle effekten skyldes både en effekt av hydrogenion konsentrasjonen og en selektiv bakteriedrepende effekt av den udissosierte syren (McDonald et al. 1991). Ved økende tilsetning av maursyre vil aktiviteten til mange mikroorganismer avta (Mo 2005). Samtidig er det funnet at maursyre ikke hemmer vekst av gjær

og muggsopp særlig godt. Under normale forhold vil tilsetning av maursyre redusere pH, mengde mjølkesyre, eddiksyre, smørsyre og ammoniakk, og andelen WSC vil øke. Maursyretilsetning vil også øke cellesprengningen i plantematerialet og dermed øke avrenningen av pressaft.

Ensileringsmidler som inneholder en blanding av natriumnitritt og hexametylentetramin har dannet grunnlaget for «Kofa» produktene (Kung et al. 2003; Mo 2005). Natriumnitritt har antimikrobiell effekt på gjæringa til enterobakteriene og begrenser vekst av klostridier tidlig i ensileringsprosessen. Tilsetning av midler med natriumnitritt og hexametylentetramin er vist å ha gunstig effekt på innholdet av smørsyre i surfôr. Disse midlene er særlig aktuelle mot sporer (Tine rådgiving og medlem et al. 2013). Det mest brukte Kofa-produktet nå er Kofasil Ultra, som i tillegg inneholder natriumbenzoat og natriumpropionat. Natriumnitritt avgir nitrøse gasser under ensileringsprosessen (Kung et al. 2003), derfor er de kun anbefalt til bruk i rundballer (Randby 2005b). I et miljø med lav pH vil hexametylentetramin danne formaldehyd (Kung et al. 2003; Mo 2005). Formaldehyd denaturer proteinet og svekker dermed den mikrobielle aktiviteten og proteolysen. Ulempen med formaldehyd er at det er kreftfremkallende.

#### 2.4.3 Bedret aerob stabilitet

Ensileringsmidler som bedrer den aerobe stabiliteten består som oftest av eddiksyre, propionsyre og noe benzosyre (Tine rådgiving og medlem et al. 2013; Muck et al. 2018). I tillegg har midler med natriumnitritt og hexametylentetramin en antimikrobiell virkning. Propionsyre begrenser vekst av mugg- og gjærsopp og gir dermed bedre aerob stabilitet (Kung et al. 2003; Muck et al. 2018). Ved lave pH-verdier vil propionsyre være opp mot 50 % udisosiert, og det er denne udisosierte delen av syren som har sopphekkende effekt (Pahlow et al. 2003). Som andre organiske syrer er propionsyre vanskelig å håndtere da den har en ubehagelig lukt, er flyktig og korroderende. I likhet med maursyre brukes den derfor ofte i form av sitt natrium-salt.

Inokulanter som inneholder *Lactobacillus buchneri* er kjent for å bedre surfôrets aerobe stabilitet ved at den bruker av mjølkesyra i surfôret til å produsere eddiksyre og 1,2-propandiol (Muck et al. 2018).

## 2.5 Silotyper

Lagring av grasmassen i siloer har som mål å legge til rette for en fermentering til surfôr som minimerer tapet av næringsstoff i graset (Mo 2005). Tradisjonelt er tårnsiloen den mest brukte

silotypen i Norge. Ved nyinvesteringer i siloanlegg blir plansilo stadig mer aktuell.

Plansilometoden øker i omfang her i landet på bekostning av rundballemetoden og eldre tårnsilosystemer.

### 2.5.1 Tårnsilo

Tårnsiloer har høye byggekostnader, særlig ved store lagringsvolum (Savoie & Jofriet 2003; Mo 2005). Tårnsiloer har som regel en rund grunnflate og surfôret er lagret i høyden. De er bygget i tre, betong, stål eller i glassfiberarmert plast (Kval-Engstad 2010). Til oppsamling av pressaft er det plassert sluk med rist i bunn av siloen. På mange gårdsbruk er fortsatt tårnsiloen en viktig del av surfôrlageret. Tårnsiloer er en effektiv og god lagringsmåte for gras i form av surfôr da den eksponerte overflaten under uttak er liten (McDonald et al. 1991). Utfordringen med tårnsilo er at diameteren må tilpasses uttaket og innleggingskapasiteten (Mo 2005). Ved for stor diameter vil grasmassen under innlegging ligge for lenge med tilgang til oksygen med varmgang som resultat. Ved for lite uttak under tømning av siloen oppstår samme situasjon med for lang eksponering for oksygen. Uttak av surfôr fra tårnsiloer foregår enten med siloklo og elektrotalje eller med fylltømmer. I motsetning til uttak med siloklo gir uttak med fylltømmer et jevnt uttak over hele siloens overflate. Bruk av dette utstyret vil bidra til å begrense tilgangen på oksygen.

### 2.5.2 Plansilo

Plansiloen har stor innleggingskapasitet, lavere kostnader og enklere mekanisering rundt uttak og utfôring enn tårnsilo og rundballer (Mo 2005). Ønsket om mindre transport vinterstid og mindre håndtering av plast sammenlignet med rundballer taler til fordel for plansiloen. Samtidig er investeringskostnaden lavere enn for tårnsilo, særlig ved større volum. Plansiloen er også kalt horisontalsilo eller «bunker silo» og består av et gulv av enten betong (Mo 2005) eller asfalt (Gramstad & Gravelseter 2013). Plansiloen har to eller tre vegger som er mer eller mindre vertikale og mindre enn fire meter høye (Mo 2005). Pressaften samles i renner eller sluk i silogulvet og samles i nedgravd tank eller pumpes til ekstern tank/lager. Eksempler på to ulike plansilotyper er vist i figur 2 og 3. Størrelsen på plansiloen må tilpasses surfôrbehovet og fôrforbruket (uttaket) per dag. I utgangspunktet bør endeflaten være minst mulig, men for å kunne pakke effektivt bør den være minst dobbelt så bred som pakkemaskinen. Tildekking gjøres ofte med to lag plast. For å holde plasten på plass og sikre tetting mot kantene legges gjerne bildekk eller sandpølser på toppen av plasten (Gjestang et al. 2004; Gravelseter 2013). I siloer

med vegger høyere enn grasmassen legges platen ofte fra bunnen av siloen og opp langs sidene, før den brettes over grasmassen ved endelig tildekking. Dersom grasmassen er høyere enn veggene, kan platen legges over kanten på veggene ved tildekking.



*Figur 2. Plansiloer med vertikale vegger uten gjennomkjøring på SHF, NMBU. Gulv og platting i fremkant av betong. Foto: Håkon Sparre, NMBU.*



*Figur 3. Plansiloer med skråvegger og gjennomkjøring på Jæren. Gulv og platting i fremkant av asfalt. Foto: Åsgeir Aasland, Rå Plansilo AS.*



## 2.6 Viktige mikroorganismer i ensileringsprosessen

Mikroorganismene på plantene ved høsting er i hovedsak strengt aerobe (McDonald et al. 1991). Når det som følge av ensilering oppstår anaerobe forhold vil disse mikroorganismene bli fortrent til fordel for anaerobe mikroorganismer. Disse mikroorganismene er i hovedsak mjølkesyre-, klostridie- og enterobakterier (McDonald et al. 1991; McDonald et al. 2011). Gjær- og muggsopp kan også ha betydning dersom silomassen ikke er helt tett for oksygen, noe den i praksis aldri er.

### 2.6.1 Mjølkesyrebakterier

Mjølkesyrebakteriene finnes på graset ved høsting, og er den gruppen bakterier som er ønsket vekst av i surfôret (McDonald et al. 1991). Mjølkesyrebakteriene er definert som Gram-positive og vanligvis ikke-flyktige organismer som fermenterer sukkeret i grasmassen til i hovedsak mjølkesyre. Mjølkesyrebakteriene er fakultativt anaerobe. En viktig egenskap er at de er svært syretolerante. Mjølkesyrebakterier vokser best i pH området 4,0-6,8, selv om enkelte arter vil kunne vokse ved en pH på 3,5.

Slektene av mjølkesyrebakterier som vanligvis er knyttet til surfôr er *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Leuconostoc*, *Enterococcus*, *Lactococcus* og *Streptococcus* (McDonald et al. 1991). De deles videre inn i hvordan heksosene fermenteres, homofermentative og heterofermentative. Homofermentative har kun mjølkesyre som endeprodukt fra fermenteringen, mens heterofermentative har mange ulike sluttprodukter som mjølkesyre, etanol, eddiksyre og CO<sub>2</sub>. Mjølkesyregjæring med homofermentative mjølkesyrebakterier gir minst tap av næringsstoff og energi. Videre vil noen mjølkesyrebakterier kunne fermentere pentoser til mjølkesyre (McDonald et al. 1991; McDonald et al. 2011). Produksjonen av mjølkesyre avhenger av mengden og typer mjølkesyrebakterier i fôret og tilgangen på substrat (McDonald et al. 1991). Mjølkesyrebakteriene er lite bevegelige (ikke-flyktige) i grasmassen og god blanding av plantematerialet er viktig for å få en jevn fordeling av mjølkesyrebakteriene. Tilgangen på substrat øker med fysisk behandling av graset. God kutting av graset (<25 mm) vil frigjøre næringsrik plantesaft (plasmolyse) og stimulere til mjølkesyregjæring.

### 2.6.2 Klostridier

Klostridiene er tilstede i jorda, gjødsla og surfôret (McDonald et al. 1991). De er Gram-positive og sporulerende, og formerer seg under anaerobe forhold i surfôret. Studier av Vissers et al.

(2007) og litteratursammenfatninger av Wilkinson og Davies (2013) indikerer at klostridier også er relatert til aerob forringelse av surfôr. Trolig er jordinnblanding i surfôret den største årsaken til smitte av klostridier i surfôret. Klostridiene kan deles inn i to grupper etter hvilket substrat de bruker. Saccharolytisk klostridia fermenterer i hovedsak sukker og organiske syrer og har liten proteolytisk aktivitet. Proteolytisk klostridia fermenterer først og fremst aminosyrer. Videre finnes det klostridier som både er saccharolytiske og proteolytiske, for eksempel *Clostridium perfringens*. Enkelte klostridier formerer seg allerede de første dagene etter fylling av siloen, men omfattende vekst av klostridier er vanligvis størst senere i ensileringsprosessen.

Ideelle vekstbetingelser for klostridier er høy lagringstemperatur, lavt tørrstoffinnhold, lavt innhold av WSC, høy bufferkapasitet og forsinket innpakking/tetting av grasmassen (McDonald et al. 1991). Klostridier formerer seg best ved pH 7,0 til 7,4 og under 30 % tørrstoff. Fullstendig hemming av bakterien kan oppnås med tilstrekkelig mjølkesyregjæring med påfølgende reduksjon av pH til 4,2 og gjennom fortørking til over 30 % tørrstoff. Under slike ugunstige forhold vil klostridiene fortsatt ha mulighet til å overleve ved å gjøre seg inaktive som endosporer (Mo 2005). I denne formen er de svært motstandsdyktige mot utvendige belastninger som for eksempel kjemikalier, varme og surt miljø. Når disse sporene opptas av kua som en del av surfôret, vil de gå gjennom fordøyelseskanalen og ende opp i feces (Pahlow et al. 2003). Når fôret passerer gjennom fordøyelseskanalen absorberes andre næringsstoff og på denne måten vil det bli en oppkonsentrasjon av sporer i gjødsla (Mo 2005). For mjølkekyr vil det gjennom kontaminering av juret med gjødsla kunne oppstå sporer i mjølka (Pahlow et al. 2003; Mo 2005). Under lagring av harde og semi-harde oster kan særlig *Clostridium tyrobutyricum* gi stor produksjon av CO<sub>2</sub> og H<sub>2</sub> som igjen vil forårsake smaksfeil, oppsprekking og feil hullsetting i osten, ofte kalt «late blowing». Klostridia utnytter sukker og mjølkesyre som energikilde og produserer smørsyre, CO<sub>2</sub> og hydrogen (McDonald et al. 1991). Mesteparten av smørsyra i surfôret er produsert av klostridiene, men enkelte av de saccharolytiske klostridiene produserer ikke smørsyre, men fermenterer glukose til blant annet etanol og eddiksyre.

### 2.6.3 Enterobakterier

Enterobakteriene utgjør en liten del av mikrofloraen i ferskt gras, men antallet øker betraktelig de første dagene etter ensilering (McDonald et al. 1991). De er Gram-negative og ikke sporulerende og er uønsket i gjæringsprosessen da de konkurrerer med mjølkesyrebakteriene om samme

substrat. Videre inneholder de ulike patogener som kan angripe mennesker, planter og dyr. Enterobakteriene er i stand til å formere seg under både aerobe og anaerobe forhold (fakultativt anaerobe). Enterobakteriene fermenterer sukker til eddiksyre, etanol, CO<sub>2</sub> og hydrogen. Videre kan de deaminere og dekarboksylerer enkelte aminosyrer, samt redusere nitrat. Enterobakterier kan også produsere ammoniakk (Pahlow et al. 2003). Fortørking tenderer til å redusere antallet enterobakterier (McDonald et al. 1991).

#### 2.6.4 Gjær- og muggsopp

Sopp er eukaryotiske, heterotropiske mikroorganismer som finnes enten som gjær eller mugg (McDonald et al. 1991). Gjærsoppen opptrer som enkle celler, mens muggsoppen består av multicellulære filamentkolonier. Sopp finnes i store mengder i jord, vann og vegetasjon. Gjennom utskilling av ekstracellulære enzymer som bryter ned komplekse molekyler til enkle monomerer skaffer de seg næringsstoff til egen vekst. Muggsoppene er strengt aerobe, i motsetning til gjærsopp som kan vokse både aerobt og anaerobt. Under anaerobe forhold må de skaffe seg energi ved hjelp av fermentering. Ifølge McDonald et al. (1991) og Wilkinson og Davies (2013) er mugg- og gjærsopp de viktigste bidragsyterne til aerob ødeleggelse av surfôr.

Gjærsopp bidrar stort til forringelse av surfôr ved tilgang på oksygen (McDonald et al. 1991). De vanligste artene i ferskt gras er *Cryptococcus*, *Rhodotorula*, *Sporobolomyces* og *Torulopsis*. De er ikke-fermentative arter og finnes i antall fra 1 log<sub>10</sub> til 7 log<sub>10</sub> kolonidannende enheter per gram (cfu/g). Fortørking tenderer til å øke konsentrasjonen av gjærsopper både på grunn av bedre vekstvilkår og jordinnblanding. Når det har oppstått anaerobe forhold i siloen, vil de aerobe artene etterfølges av fermentative gjærsopper. Jonsson og Pahlow (1984) fant at artssammensetningen avhenger av hvor anaerobe forholdene er. Ved innslipp av oksygen under gjæringsprosessen ble det funnet overvekt av mjølkesyrefermenterende gjærsopp. Innslipp av oksygen ga også høyere antall gjærsopp. Dersom det ble oppnådd og opprettholdt anaerobe forhold, ble andelen mjølkesyrefermenterende gjærsopp kraftig redusert.

Gjærsopp hemmes ikke av pH nivåene som er vanlig under ensilering (McDonald et al. 1991). De fleste gjærsopper kan vokse mellom pH 3 og 8. Under aerobe forhold er gjærsopp i stand til å motstå organiske syrer bedre enn de fleste andre mikroorganismer. Gjærsoppene skaffer seg energi fra mange ulike substrater under aerobe forhold, men under anaerobe forhold må de skaffe seg energi ved fermentering av sukker. Temperaturområdet for vekst av gjærsopp er mellom 0 °C

og 37 °C, og svært få arter vil vokse når temperaturen blir over 45 °C. Wilkinson og Davies (2013) antydte om lag 30 °C som optimal temperatur for vekst av gjærsopp. Gjærsopp er mindre følsomme for tørre forhold enn bakterier og vekst fremmes av høy tørrstoffprosent i surfôr (McDonald et al. 1991). De er uønsket i surfôret da de konkurrerer med mjølkesyrebakteriene om substrat uten at de bidrar til å senke pH - verdien.

Muggsopp vokser ikke i surfôr uten oksygentilgang, men kan observeres på sidene og toppen av surfôr som er eksponert for oksygen (McDonald et al. 1991). De er uønsket i surfôret da de både bryter ned sukker og mjølkesyre og hydrolyserer og metaboliserer celleveggstoffer. I tillegg kan muggsopp produsere ulike mykotoksiner, som er helseskadelig for mennesker og dyr. Det finnes over 200 000 arter muggsopp. De slektene som oftest forbindes med ødeleggelse av surfôr og sykdom hos husdyr er *Aspergillus*, *Fusarium* og *Penicillium*.

Ulike muggsopparter har ulike temperaturkrav til optimal vekst, men de fleste kan vokse mellom 10 og 40 °C (McDonald et al. 1991). De fleste arter vil opprettholdes ved pH 3 til 8, men med optimal vekst ved om lag pH 5. Ulike studier tyder på at gjærsoppen oppstår først når surfôret utsettes for oksygen. Det er funnet at gjærsoppen vokser veldig sakte under anaerobe forhold (Pahlow et al. 2003). Dersom aerobe forhold oppstår vokser den raskt. Muggsoppen er forbundet med pH-økning i surfôret og oppstår senere enn gjærsoppen under aerob forringelse av surfôret (McDonald et al. 1991).

## **2.7 Ensileringsprosessen**

Konservering av avlingen ved hjelp av fermentering til surfôr krever et anaerobt miljø (McDonald et al. 1991). Under kontakt med oksygen vil de løselige komponentene i grasmassen være substrat for bakterier og gjær- og muggsopp. Næringsverdien vil da reduseres og det kan utvikles helseskadelige muggsopper og bakterier. I praksis vil graden av tetting mot luft og komprimeringen avgjøre hvor raskt anaerobe forhold blir oppnådd i grasmassen. Hensikten med god tetting er å hindre innstrømming og sirkulasjon av oksygen i lagringsperioden.

Videre er det viktig å begrense aktiviteten til ugunstige mikroorganismer (McDonald et al. 1991). Den vanligste metoden for å begrense denne ugunstige aktiviteten er å legge forholdene til rette for mjølkesyrefermentering. Klostridia og enterobakterier er eksempler på de vanligste ugunstige mikroorganismene i surfôret. Mugg- og gjærsopp kan også oppstå dersom silomassen

ikke er lufttett. Hemmingen av de uønskede bakteriene skjer ved hjelp av økt konsentrasjon av hydrogenioner og udissoiserte syrer som følge av produksjonen av mjølkesyre, dvs. ved pH-reduksjon. Videre er hemmingeffekten avhengig av tørrstoffinnholdet og temperaturen i grasmassen. Desto våtere graset er, desto lavere må pH være for å hindre fremvekst av klostridier.

Barnett (1954) delte ensileringsprosessen i fire faser, og de ulike fasene er videre gjengitt og beskrevet av blant annet Pahlow et al. (2003) og Mo (2005). De fire fasene består av: Den aerobe fasen, gjæringsfasen, den stabile fasen og uttaksfasen.

Den aerobe fasen varer så lenge det er atmosfærisk oksygen i grasmassen, vanligvis i få timer (Pahlow et al. 2003). Oksygen tilstede i grasmassen opprettholder respirasjonen fra plantene og mikroorganismene. Det dannes varme, og proteaser bryter ned proteiner til aminosyrer, og karboksyhydraser øker konsentrasjonen av løselige karbohydrater. Denne fasen kan reduseres ved god kutting og pakking, samt ved god tetting av grasmassen mot luft.

Gjæringsfasen starter når grasmassen er fri for oksygen (Pahlow et al. 2003). Varigheten varierer med sammensetningen av plantematerialet og forholdene under ensilering. Typisk varighet er fra en uke til over en måned. I denne fasen konkurrerer de uønskede mikroorganismene med mjølkesyrebakteriene om næringsstoffene som frigis fra plantecellene. Et vellykket gjæra surfôr kjennetegnes av at mjølkesyrebakteriene formerer seg og dominerer grasmassen, samtidig som enterobakteriene forsvinner. Hvor raskt mjølkesyregjæringa går avhenger av reduksjonen i pH. Gjæringa vises også gjennom produksjon av gass og krymping av grasmassen.

Den stabile fasen starter når mjølkesyrefermenteringa avtar som følge av at den blir hemmet av lav pH (Mo 2005). Dersom silomassen holdes lufttett er det lite som skjer i denne fasen (Pahlow et al. 2003). I surfôret er det kun syrebestandige enzymer som er aktive, de forårsaker en sakte hydrolysering av strukturelle karbohydrater. På denne måten sikres det en tilførsel av vannløselige karbohydrater som kompenserer for den unngåelige reduksjonen i WSC etter en lang lagringsperiode (Mo 2005). Så lenge det er tilgang på WSC, vil den stabile fasen i teorien kunne vare evig (Pahlow et al. 2003). I praksis varer den til neste innhøstingssesong. Samtidig er det fullt mulig å lagre fôr av god fermenteringskvalitet over mange år, så lenge lagringen er fullstendig lufttett (Mo 2005). Proteaser vil kunne omdanne protein og andre komplekse nitrogenforbindelser til ammoniakk ( $\text{NH}_3$ ) (Pahlow et al. 2003). Videre vil det være forskjellige

arter syretolerante gjærsopper, bacilli og klostridier i form av sporer tilstede i surfôret i en inaktiv tilstand. Tørrstofftap og endring i næringsverdi i denne perioden skyldes respirasjon, gjæring, nedbrytning av protein og produksjon av pressaft (Muck et al. 2003; Rooke & Hatfield 2003; Savoie & Jofriet 2003).

Uttaksfasen starter ved åpning av siloen og surfôret blir da utsatt for oksygen (Pahlow et al. 2003). Når siloen åpnes, kan oksygenet trekke inntil en til to meter inn i en normalt godt konservert surfôrmasse (Honig 1991; Weinberg & Ashbell 1994). Hvor langt oksygenet trenger inn i massen avhenger av porøsiteten. Tilførsel av oksygen er nok til å starte veksten til uønskede aerobe mikroorganismer, som gjærsopp, sporer og mugg (Pahlow et al. 2003). De uønskede mikroorganismene bidrar til varmgang, økning av pH, reduksjon av mjølkesyreinnhold og redusert næringsverdi. Tapet i uttaksfasen avhenger av den aerobe stabiliteten til surfôret (Honig 1991).

## **2.8 Spesielle forhold tilknyttet ensilering i plansilo**

Plansiloen er svært utbredt til konservering av fôrvekster i Nord-Amerika og Europa (Savoie & Jofriet 2003). Det er mest vanlig å ensilere gras eller helgrøde av mais, bygg eller sorgum i plansilo. Uavhengig av ensileringsmetode er det ønskelig med rask innlegging og tetting av grasmassen for å begrense respirasjon i graset og derved unngå varmgang. Samtidig er det under ensilering i plansilo viktig å komprimere grasmassen godt før tildekking. Ofte kan det være vanskelig å oppfylle begge disse kravene under ensilering i praksis. Ved stor innhøstingskapasitet (selvgående finsnitter) kan det være aktuelt med en eller flere ekstra traktorer til pakking (Bernardes et al. 2018). Plansiloer har også større overflate og har ofte dårligere tetting mot oksygen. Generelt er rask og god tildekking med plast etter pakking av siloen, og en mest mulig slett uttaksflate, viktig for et godt resultat med hensyn til tørrstofftapet og surfôr kvaliteten i plansilo (Savoie & Jofriet 2003).

Det er lite litteratur om plansilo som ensileringsmetode under norske forhold. Gjestang et al. (2004) utførte en feltundersøkelse om bruk av plansilo i perioden 1999-2003. Gjæringskvaliteten vurdert etter smørsyre var god, mens vurdert etter innhold av ammoniakk-nitrogen var gjæringskvaliteten mer varierende. Samlet sett ble 85-100 % av prøvene vurdert til å være innenfor kravene til god eller brukbar gjæringskvalitet. Forfatterne konkluderte med at det lar seg gjøre å oppnå god surfôr kvalitet også i plansilo.

Tørrstofftapet for plansiloer varierer. Ruppel et al. (1995) fant ved ensilering av gras og luserne en variasjon i tørrstofftapet i plansiloer fra tilnærmet 0 til 43 %, der gjennomsnittlig tap var 8 %. Ifølge Rotz et al. (2003) vil tørrstofftapet ligge mellom 11 og 25 %. Koehler et al. (2013) konkluderte med at tørrstofftapet for surfôr av mais og surfôr av gras viste seg å være sammenlignbart. Forfatterne antydte et maksimalt tørrstofftap i plansiloer på 8 % ved gode ensileringsrutiner og hurtig uttak. Robinson et al. (2016) fant et totalt tørrstofftap på under 3 % i maissurfôr lagret i syv ulike plansilostrukturer i California, USA. Videre vil det i plansiloer være mulighet for store tørrstofftap som følge av varmgang og aerob ødeleggelse av surfôret (Spiekers et al. 2009). anbefalt uttakshastighet er fra 1–2,1 meter per uke (Pitt & Muck 1993; Vissers et al. 2007; Bernardes et al. 2018), for henholdsvis sommer og vinter.

### 2.8.1 Volumvekt

For å minimere tørrstofftap og sikre god surfôr kvalitet er det essensielt å oppnå en høy volumvekt i plansiloen (Ruppel et al. 1995; Savoie & Jofriet 2003; Hutnik & Kobiela 2012; Johansen et al. 2013). Tildekkingen av en plansilo gir aldri helt lufttette forhold (Bernier-Roy et al. 2001; Holmes 2006; Johansen et al. 2013) og en stor andel av plansiloens overflate er utsatt for oksygen under åpning og uttak (Honig 1991). En surfôrmasse med høy volumvekt vil ha lavere porøsitet som gjør at oksygenet ikke trenger like langt inn i surfôrmassen (Pitt & Muck 1993; Muck & Pitt 1994; Hutnik & Kobiela 2012). Surfôret vil dermed ikke ødelegges av oksygen som opprettholder mikrobiell aktivitet. Ved lav porøsitet vil mer oksygen være presset ut av grasmassen før tildekking av siloen. Porøsiteten er forholdet mellom volumet av porer med luft og oksygen i forhold til det totale volumet av surfôrmassen (Holmes 2006). Porøsiteten bestemmes i hovedsak av volumvekten, tørrstoffinnhold og forets struktur (Honig 1991). Surfôrets volumvekt er en viktig faktor når det gjelder anaerob gjæring i surfôr og surfôrets aerobe stabilitet (Woolford 1990; Wilkinson & Davies 2013). I tillegg vil høy volumvekt gi plass til mer surfôr i samme silovolum (Savoie & Jofriet 2003; Holmes 2006; Hutnik & Kobiela 2012).

Volumvekten er funnet å variere betydelig innad i siloen. Volumvekten vil være størst i bunnen av siloen og lavest på toppen og langs sidene (D'Amours & Savoie 2004; Savoie & D'Amours 2008; Craig et al. 2009). Undersøkelser fra plansiloer med maisensilasje har vist en variasjon i volumvekt fra 133 til 269 kgTS/m<sup>3</sup> innad i samme plansilo (Craig et al. 2009). Det er særlig

langs veggene i siloen at volumvekten er lav, derfor anbefales det flere passeringer langs veggene under komprimering (Bernardes et al. 2018). Stadig tyngre maskiner siden 1970-tallet har ført til en generell økning i observerte volumvekter i plansilo (Savoie & Jofriet 2003). Savoie og D'Amours (2008) undersøkte volumvekten i surfôr av gras og belgvekster på syv melkebruk i Canada. Forfatterne fant variasjonen i volumvekt i plansiloer til å være fra 61 til 470 kgTS/m<sup>3</sup>, med et gjennomsnitt på 241 kgTS/m<sup>3</sup>. I grassurfôr fant Koehler et al. (2013) volumvekter fra 155 til 278 kgTS/m<sup>3</sup>, med middelerdi på 194 kgTS/m<sup>3</sup>. Under norske forhold med gras høstet med eksakthøster i plansilo fant Randby (2005a) en gjennomsnittlig volumvekt på 174 kgTS/m<sup>3</sup>. Gjestang et al. (2004) fant volumvekter i plansilo for gras høstet med eksakthøster og lessevogn under norske forhold fra 143 til 188 kgTS/m<sup>3</sup>. For å minimere tørrstofftap som følge av varmgang anbefaler Spiekers et al. (2009) en volumvekt på 170 - 180 kgTS/m<sup>3</sup> for grassurfôr med 25 % tørrstoffinnhold.

Volumvekten avhenger av en rekke faktorer tilknyttet plantematerialet, hvordan selve pakkingen gjennomføres og pakkemaskinens evne til komprimering (Muck & Holmes 2000; Holmes 2006). Forhold ved plantematerialet er kuttelengde, tørrstoffinnhold og utviklingstrinnet til planten (McGechan 1990). Ifølge Holmes (2006) og (Hutnik & Kobiela 2012) vil redusert partikkelstørrelse øke volumvekten. Under norske forhold ved ensilering i plansilo fant Randby (2005a) at gras høstet med finsnitter gav høyere tetthet enn lessevogn. Skjervheim (1989) fant at ved økende tørrstoffinnhold ble forskjellen i volumvekt mellom høsting med lessevogn og finsnitter redusert. Økende tørrstoffinnhold er funnet å gi høyere volumvekt (Skjervheim 1989; Savoie & Jofriet 2003; Holmes 2006).

For best mulig pakking av grasmassen oppgir Kristensen og Schmidt (2013) optimalt tørrstoffinnhold til å være mellom 30 og 35 %. Tørrstoffinnhold over 35 % vil vanskeliggjøre pakkingen i siloen. Gras med høyt fiberinnhold er mer utfordrende å komprimere (McGechan 1990). Skjervheim (1989) fant at gras høsta ved tidlig utviklingstrinn pakket seg mer sammen enn seint høsta gras. I samme forsøk ble det også funnet at sammenpresset gras utvidet seg mest når presset ble avlastet, når graset var høstet på et seint utviklingstrinn. Lang tid til komprimering per kg TS lagt i siloen og flere passeringer vil øke volumvekten (Holmes 2006). Tykkelsen på lagene med plantemasse som legges i plansiloen før overkjøring er anbefalt å være tynnast mulig for å oppnå best mulig komprimering (Savoie & Jofriet 2003; Kristensen &

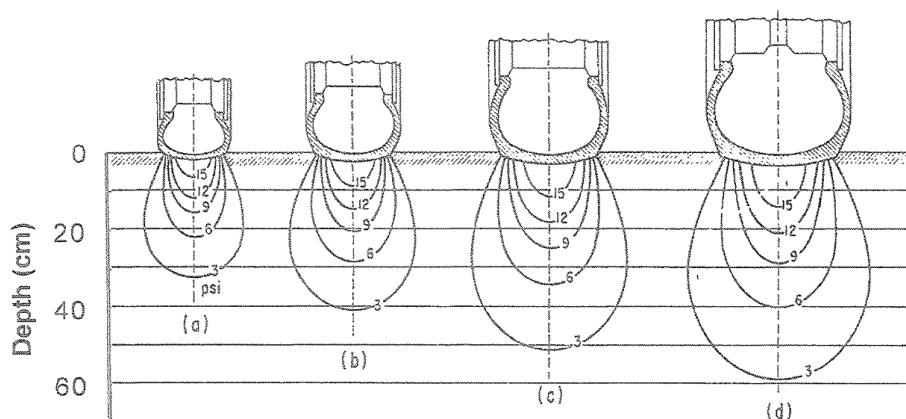


Schmidt 2013). Amerikanske anbefalinger (Savoie & Jofriet 2003) antyder maksimal tykkelse på 20 cm, mens danske anbefalinger (Kristensen & Schmidt 2013) antyder høyst 10 cm. Nyere anbefalinger er tynne lag <15 cm (Bernardes et al. 2018) for best mulig komprimering.

### 2.8.2 Komprimering med maskiner

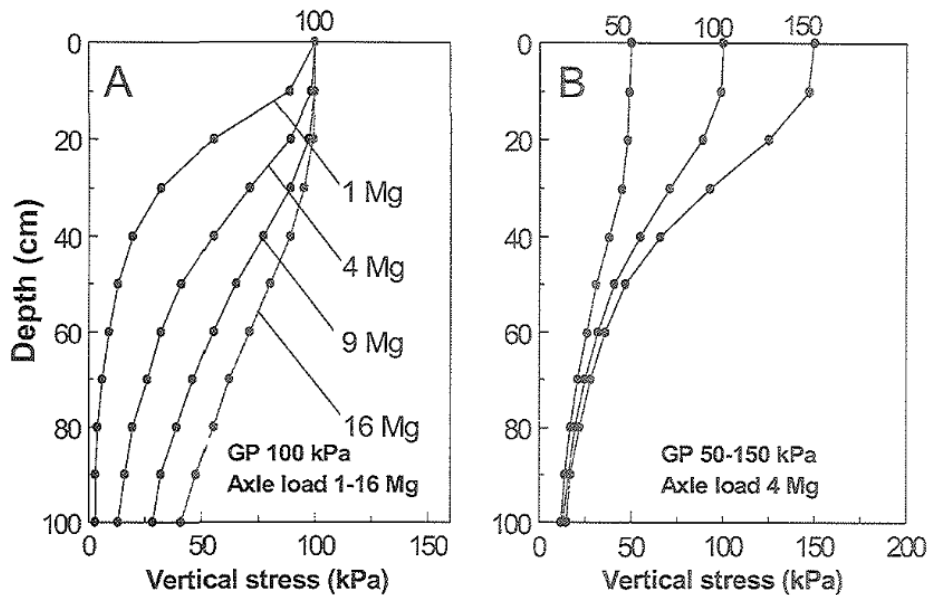
Komprimeringen av gras i siloer har fått relativt lite oppmerksomhet sammenlignet med komprimering i andre fagfelt (Muck & Holmes 2000). Ifølge Hutnik og Kobiela (2012) er komprimeringen av jord og surfôr sammenlignbar. Jordbruksmaskinenes komprimering av matjorda er en av de største utfordringene i det moderne jordbruket (Hamza & Anderson 2005). Komprimeringen av jorda betegnes som jordpakking. Litteratursammenfatninger av Hamza og Anderson (2005) og Håkansson (2005) omtaler jordpakking både i plogsjiktet og i undergrunnsjorda. Det er anerkjent i litteraturen at pakking i plogsjiktet (0-20 cm) er relatert til marktrykket og at pakking i undergrunnsjorda er relatert til maskinens akselvekt (Hamza & Anderson 2005; Håkansson 2005). Videre har også antall overkjøringer effekt på jordpakkingen. Likevel er jordas vanninnhold den viktigste faktoren å ta hensyn til når det gjelder jordpakking (Børresen 2002).

Marktrykk er begrepet som er oftest brukt for den vertikale påkjenningen på underlaget i kontakt med et hjul (Håkansson 2005). Marktrykket angis i enheten kilopascal (kPa). Marktrykket til et gitt dekk er komplisert og avhenger av en rekke faktorer som type, dimensjoner, belastning, lufttrykk og jordstyrke. Figur 4 viser trykkfordelingen i jorda med ulik hjullast og dekkstørrelse. Marktrykket under hvert av dekkene er tilnærmet likt.



Figur 4. Trykkfordelingen i jorda ved ulik hjullast (Sohne 1958) etter Håkansson (2005). Fra venstre; 300, 500, 700 og 1000 kg. Dekkdimensjonen er justert for å oppnå samme marktrykk (90 kPa).

Relativt myke landbruksdekk med anbefalt lufttrykk påfører et marktrykk som er noe høyere enn lufttrykket i dekket. Dekktyper med mer stivhet øker marktrykket. Videre vil maksimalt marktrykk innenfor kontaktflaten være betydelig høyere enn gjennomsnittsverdien. Figur 5 viser vertikal trykkbelastning som en funksjon av jorddybden under ulike hjul med ulik last og marktrykk. Figur 5 viser som nevnt over at trykkbelastningen i den øverste delen av jorda øker med økende marktrykk. Trykkbelastningen i nedre sjikt av jorda øker som følge av økt aksellast. Gjentatte passeringer er vist å gi kumulativ effekt på jordpakkingen i plogsjiktet. Pakkingen fra en ekstra overkjøring ikke er like stor som den forrige, men det er en større samlet effekt ved flere overkjøringer (Håkansson 2005). Samme effekt synes å gjelde for pakking i dypere sjikt. Denne effekten ble også rapportert ved pakking av gras- og maissurfôr av Bernier-Roy et al. (2001).



Figur 5. Vertikal trykkbelastning i forskjellige jorddybder under sentrum av sirkulære, jevnt belastede kontaktflater beregnet etter modell av Olsen (1994) gjengitt av Håkansson (2005). Figur A sammenlikner fire dekk med samme marktrykk (100 kPa) med aksellast fra 1 til 16 Mg. Figur B sammenlikner tre dekk med marktrykk fra 50 til 150 kPa. Aksellasten er 4 Mg for alle dekk.

Børresen (2002) rangerte ulike faktorer etter betydning for hvor store pakkeskadene blir etter kjøring. Den viktigste faktoren er jordfuktighet, etterfulgt av ulike faktorer som er relatert til maskinen. Nest viktigst er antall kjøring, fulgt av traktorens totalvekt, deretter dekkdimensjon og lufttrykket i dekkene. Hjulslirning og kjørehastighet har liten betydning.

## 2.9 Surfôrkvalitet

Surfôrkvalitet kan vurderes etter følgende kriterier: Næringsverdi, gjæringskvalitet og hygienisk kvalitet (Mo 2006; Tine rådgiving og medlem et al. 2013). I denne oppgaven er det fokusert mest på gjæringskvalitet og hygienisk kvalitet.

### 2.9.1 Næringsverdi

Næringsverdien er bestemt av særlig energi- og proteinverdi i surfôret (Mo 2006). Energi og proteinverdien bestemmes i hovedsak av utviklingsstadiet ved høsting (O'Kiely & Muck 1998). Reduksjon i næringsverdi som følge av økende fenologisk utviklingstrinn, skyldes nedgangen i blad/stengel forholdet i planten (O'Kiely & Muck 1998; Sheaffer et al. 1998; Mo 2005; McDonald et al. 2011). Stengelen er mindre fordøyelig enn bladfraksjonen da den er mer lignifisert. I tillegg spiller endringene som er forårsaket av innhøsting og konservering av surfôret inn. Dersom surfôret har gjennomgått en vellykket konservering, er effekten av konservering antatt å være liten.

Næringsinnholdet i surfôr kan variere veldig, fra næringsinnhold tilsvarende kraftfôr til ubehandlet halm (NorFor 2018). I følge NorFor (2018) har for eksempel grassurfôr av timotei og engsvingel en til to uker før skyting en energiverdi på 6,76 MJ/kg TS NEL<sub>20</sub> og et råproteininnhold på 168 g/kg TS. Tilsvarende for et grassurfôr av timotei og engsvingel ved blomstring en energiverdi på 5,07 MJ/kg TS NEL<sub>20</sub> og et råproteininnhold på 97 g/kg TS. Gjennomsnittlig fordøyelighet av organisk stoff (OMD) og beregna energiverdi i norsk grassurfôr ble funnet å være omtrent helt lik i første- og andreslått (71% OMD og 6,0 MJ/kg TS NEL<sub>20</sub>), mens innholdet av NDF var litt høyere i førsteslått (536 g/kg TS) enn i andreslått (508 g/kg TS) (Steinshamn et al. 2016). For tredjeslått var energiverdien 6,33 MJ/kg TS NEL<sub>20</sub> og fordøyeligheten av organisk stoff (OMD) var 74,6 % og innholdet av NDF var 458 g/kg TS.

### 2.9.2 Gjæringskvalitet

Gjæringskvaliteten av surfôret uttrykkes ved innhold av ulike organiske syrer, ammoniakk og pH-verdien (Søegaard et al. 2003). Den aerobe stabiliteten vil også gi et bilde på bevaringen av næringsstoffene og hvor godt den hygieniske kvaliteten opprettholdes (Wilkinson & Davies 2013). For surfôr under 25 % TS anbefaler Eurofins (2018): <4,2 i pH, og per kg TS: 40-80 g mjølkesyre, 12-30 g eddiksyre, <4 g smørsyre. Innholdet av ammoniakk-nitrogen bør være mindre enn 81 g/kg nitrogen, men kan være 30–40 g/kg nitrogen høyere dersom det er brukt

ensileringsmiddel som inneholder ammoniakk. Dersom det ikke er brukt et maursyrebasert ensileringsmiddel bør innholdet av maursyre være mindre enn 2 g/kg TS og høyere enn 8 g/kg TS dersom det er brukt et maursyre-basert ensileringsmiddel. Det samme gjelder for propionsyre. Anbefalt innhold av propionsyre er enten mindre enn 2 g/kg TS eller 6–12 g/kg TS. Dersom surfôret er tørrere, bør det være lavere innhold av organiske syrer enn beskrevet over.

Den største forskjellen mellom ferskt gras og ferdig ensilert surfôr er at en del av sukkeret i graset er omdannet til gjæringsprodukter og en del av proteinet er brutt ned (O'Kiely & Muck 1998; Sjøgaard et al. 2003). Renprotein er den største delen av råprotein i en fersk fôrvekst, men i ferdig ensilert gras kan den reduseres til 30 % av det opprinnelige (O'Kiely & Muck 1998) ved at ekte protein brytes ned til særlig ammoniakk og frie aminosyrer.

Aerob stabilitet er definert som tiden surfôret forholder seg kaldt, ikke går varmt og ødelegges etter det er utsatt for luft (Kung 2010). Etter at surfôrgjæringa er ferdig og siloen utsettes for oksygen under lagring eller under uttak, vil gjærsopper forårsake varmgang. Surfôr bør testes for aerob stabilitet i ti dager (240 timer), da dette er tiden man kan regne med at surfôret er utsatt for oksygen i siloens overflate, under uttak, håndtering og oppbevaring i fôringsutstyr (Wilkinson & Davies 2013). I dette målet er det medregnet tiden fôret ligger på fôrbrettet og blir flyttet på av dyra. Dersom uttakshastigheten er raskere kan det tillates kortere aerob stabilitet.

### 2.9.3 Hygienisk kvalitet

Den hygieniske kvaliteten uttrykkes ved innholdet av gjær- og muggsopp, samt innholdet av klostridier (Pahlow et al. 2003; Mo 2006). Særlig sporedannende klostridier som *Clostridium tyrobutyricum* er sentral på grunn av dens negative effekt på mjølkekvaliteten. Ifølge Vissers et al. (2006) er surfôr den viktigste kilden til klostridiesporer i tankmjølka. Forfatterne anbefalte å sette inn tiltak som bedre rengjøring av jur før mjølking dersom konsentrasjonen av klostridiesporer i surfôret kom over 3 log<sub>10</sub> cfu/g. Surfôr med konsentrasjoner høyere enn 5 log<sub>10</sub> cfu/g ble ikke anbefalt å gi til mjølkekyr.

Gjær- og muggsopp er uønsket i surfôret av mange årsaker (Kap 2.6). De er forbundet med aerob ødeleggelse av surfôret og fermentering av næringsstoffer til uønskede forbindelser (Wilkinson & Davies 2013). Endeproduktet fra gjærsoppens fermentering er i hovedsak etanol (Pahlow et al. 2003). De fleste av muggsoppene som finnes i surfôr har evne til å produsere en eller flere mykotoksiner. Mykotoksinene kan føre til en rekke problemer for dyret som redusert fôropptak,

abort, hormonell ubalanse og redusert immunforsvar. Den dominerende muggsoppen i surfôr er *Penicillium roqueforti*. Den produserer ulike typer giftstoffer og kan opptre i stort antall i surfôr fordi den tåler svært høye konsentrasjoner av CO<sub>2</sub> og den kan vokse under svært lave konsentrasjoner av oksygen. Konsentrasjon av gjærsopp høyere enn 5 log<sub>10</sub> cfu/g våtvekt er vist å ha sammenheng med dårligere aerob stabilitet (Ohyama et al. 1980; McDonald et al. 1991).



### **3 Egne undersøkelser**

Ensileringsforsøk i plansiloer ble gjennomført for å studere effekten av to pakkemaskiner med ulik vekt på volumvekt, tørrstofftap, gjæringskvalitet og hygienisk kvalitet av surfôret. Ensilering av tilsvarende grasmateriale i rundballer ble gjennomført som kontrollledd. Grashøstinga ble utført i 2016 på Senter For Husdyrforsøk (SHF), Ås Gård, NMBU (59°39'N, 10°46'Ø).

#### **3.1 Forsøksdesign**

Forsøket hadde tre gjentak (3 slåtter). Første-, andre, og tredjeslått startet henholdsvis 05.06.16, 19.07.16 og 11.09.16. For hver enkelt slått foregikk innlegginga parallelt i to identiske plansiloer, ved at annet hvert lass ble lagt i hver silo. En silo ble pakket med vanlig traktor med frontlaster og den andre med hjullaster. Innleggingen i plansiloene varte i to dager. Ønsket dosering av ensileringsmiddel var 4 liter per tonn gras.

For hver slått ble det på de tre største teigene presset fire rundballer som kontrollledd. Hovedhensikten med disse rundballene var å ha et sammenligningsgrunnlag til plansiloene. To av ballene ble presset på maksimalt kammertrykk, og de to andre rundballene ble presset med lavt kammertrykk (10 %). Hensikten var å etterligne hard og svak komprimering som i plansiloene. To av ballene, en med hard og en med svak komprimering, ble ikke pakket i plast etter pressing, men pakket inn på samme tidspunkt som tetting av plansiloene. Hensikten var at disse rundballene skulle være like lenge eksponert for oksygen som grasmassen lagt i plansiloene. Ensilering i rundballer er videre beskrevet i kapittel 3.3.

I grashøstinga inngikk syv til ni ulike teiger per slått, og teigstørrelsen varierte fra 25 til 60 dekar. Grunnet lavt fôrforbruk på SHF i innefôrings sesongen 2016/2017, ble tredjeslått liggende over en sommer. Surfôret ble tatt ut mellom 1. oktober 2017 og 27. februar 2018. De fleste resultatene i denne oppgaven gjelder derfor kun første- og andreslått. Fra tredjeslått inngår kun hygienepøver, beregninger av volumvekt og temperaturmålinger fra rundballene.

#### **3.2 Plansiloer og pakkemaskiner**

I alt seks plansiloer ble brukt i forsøket, to stk. per slått. Plansiloene (27m × 6m × 3,5m) var uten gjennomkjøring og med tre vertikale betongvegger (se figur 2, kapittel 2). Samlet brutto volum gir 567 m<sup>3</sup>, men effektivt volum i praksis vil være noe mindre grunnet at sideveggene ikke hadde

full høyde i fremkant av siloene. Det var heller ikke forsvarlig å fylle siloene helt opp i høyden, da det øker både risikoen for velt med pakkemaskinen og skadeomfanget ved en eventuell velt.

Maskinene som ble brukt til pakking var en traktor (figur 6) og en hjullaster (figur 7). Traktoren (*John Deere 6530 Premium*, John Deere GmbH & Co, Mannheim, Tyskland) med frontlaster (*Trima +5.1 P*, Ålö AB, Umeå, Sverige) og steinsvans (*Norje 106 Stengrep*, 190 cm, Norje Smidesfabrik AB, Sölvesborg, Sverige) veide 8,3 tonn inklusive lodd bak og sjåfør.

Dekkuutrustningen var 600/65 R38 bak og 480/65 R28 foran (*Michelin Multibib*, Michelin, Clermont-Ferrand, Frankrike) med 1,5 bar lufttrykk i hvert dekk.



Figur 6. Traktor brukt til pakking. Foto: Åshild T. Randby, IHA.

Hjullasteren (*Volvo L90H*, Volvo Construction Equipment, Arvika, Sverige) var utstyrt med siloklo (*Norje N985 silogrip*, 260 cm, Norje Smidesfabrik AB, Sölvesborg, Sverige) og veide 14,6 tonn inkludert sjåfør. Dekkuutrustninga bestod av fire like 16-lags industridekk av dimensjonen: 20,5-25 (*Trelleborg C-800 L2*, Trelleborg AB, Trelleborg, Sverige), med lufttrykk på 3,5 bar i hvert dekk.





Figur 7. Hjullaster brukt til pakking. Foto: Åshild T. Randby.

### 3.3 Ensilering av rundballer som kontrolledd

Rundballene ble presset med kombipresse (*Orkel hiQ Smartbaler*, Orkel AS, Fannrem, Norge) med fastkammer og 20 faste kniver, utstyrt med doseringspumpe (*PDH-10*, Agronic, Haapavesi, Finland) for ensileringsmiddel. Rundballepressa hadde en teoretisk kuttelengde på 52 mm (Orkel Direkte AS 2018). Forbruk av ensileringsmiddel (*GrasAAT Plus*, Addcon Nordic AS, Porsgrunn, Norge) per rundball ble registrert ved måling på 200 liters fat og må anses som veldig grov.

I førsteslått ble rundballene presset med bredplast, mens i andre- og tredjeslått ble rundballene presset med ordinært nett. Dette var av praktiske grunner, for pressa var i forkant satt opp for pressing med nett. Alle ballene ble veid kort tid etter pressing, se tabell 1.

Rundballene ble pakket i åtte lag hvit 750 mm bred plast (*Trioplus 2000*, Trioplast, Smålandsstenar, Sverige). De upakka ballene fra hvert av de tre gjentakene (seks baller per slått) ble veid på nytt etter endelig innpakking. I hver av de upakkede rundballene ble temperaturøkningen målt fra pressing til pakking.

Tabell 1. Oversikt over rundballer høstet, med teig hvor høstet, vektor, behandling og tilsatt ensileringsmiddel.

Slått	Balle nr.	Komprimering	Teig	Vekt <sup>1</sup>	Vekt <sup>1,2</sup>	Ensilerings-
				Pressing	Pakking	-middel
				Kg		Liter/tonn, ca.
1	1	Hard	Norderås Ø	800,0	-	4,4
	2	Hard	Norderås Ø	816,0	808,5	4,3
	3	Svak	Norderås Ø	628,0	622,0	5,6
	4	Svak	Norderås Ø	646,0	-	5,4
	5	Svak	Amager	662,5	660,0	5,7
	6	Hard	Amager	877,0	871,5	4,3
	7	Hard	Amager	910,5	-	4,1
	8	Svak	Amager	654,0	-	5,7
	9	Svak	Frydenhaug	542,0	-	5,5
	10	Hard	Frydenhaug	793,5	-	3,8
	11	Hard	Frydenhaug	787,0	786,5	3,8
	12	Svak	Frydenhaug	596,0	595,5	5,0
2	13	Hard	Vollhaugen N	903,5	-	5,0
	14	Hard	Vollhaugen N	880,0	860,5	5,1
	15	Svak	Vollhaugen N	657,0	-	6,8
	16	Svak	Vollhaugen N	685,5	667,0	6,6
	17	Svak	Vollhaugen S	735,0	719,0	8,8
	18	Svak	Vollhaugen S	728,0	-	8,9
	19	Hard	Vollhaugen S	942,0	-	6,9
	20	Hard	Vollhaugen S	962,0	940,0	6,8
	21	Hard	Sørås NLH V	955,5	-	6,1
	22	Hard	Sørås NLH V	916,5	904,0	6,3
	23	Svak	Sørås NLH V	672,0	659,0	8,6
	24	Svak	Sørås NLH V	721,5	-	8,0
3	25	Hard	Vollhaugen	826,0	-	5,4
	26	Hard	Vollhaugen	788,5	776,5	5,7
	27	Svak	Vollhaugen	613,0	602,0	7,3
	28	Svak	Vollhaugen	617,0	-	7,3
	29	Svak	Sørås NLH N	689,0	685,5	4,0
	30	Svak	Sørås NLH N	717,5	-	3,8
	31	Hard	Sørås NLH N	890,5	-	3,1
	32	Hard	Sørås NLH N	906,5	903,0	3,0
	33	Svak	Norderås Ø	618,5	-	4,0
	34	Hard	Norderås Ø	819,5	818,5	3,1
	35	Hard	Norderås Ø	856,0	-	2,9
	36	Svak	Norderås Ø	581,5	580,5	4,3

1. Bruttovekt. 2. Ingen observasjon betyr rask tetting (pakket på jordet).

### 3.4 Botanisk sammensetning og fenologisk utviklingstrinn

Den botaniske sammensetningen og fenologisk utviklingstrinn for de ulike engstykkene ble vurdert få dager før høsting. Grunnet lite tid til befaring av engstykkene må denne vurderinga anses som veldig grov. Tabell 2 angir botanisk sammensetning for de ulike teigene høsta i forsøket, samt veid middelverdi for hver slått. Teigene Amager og Frydenhaug var økologisk drevet.

Tabell 2. Anslått botanisk sammensetning av hver teig i forsøket, samt veid gjennomsnitt etter tørrstoffmengde for hver slått.

Botanisk sammensetning i %						
Slått	Teig	Timotei	Engsvingel	Kløver <sup>1</sup>	Andre grasarter <sup>2</sup>	Ugras og annet <sup>3</sup>
1	Landås	82	10	1	5	2
	Norderås øst	76	15	2	6	1
	Atelieet	95				5
	Norderås innerst	95	5			
	Amager	63	20	15		2
	Frydenhaug	63	25	10		2
	Einarstua	89	10		1	
	<b>1. Slått middel</b>		<b>79</b>	<b>13</b>	<b>4</b>	<b>2</b>
2	Vollhaugen N	62	35	3		<1
	Vollhaugen S	64	35	1		<1
	Sørås NLH V	79	20	1		<1
	Sørås NLH Ø	89	10	1	<1	<1
	Landås	90		<1	5	5
	Norderås Øst	80	10			10
	Atelieet	90	10			
	Norderås innerst	90	10			
<b>2.Slått middel</b>		<b>77</b>	<b>19</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>
3	Landås	75	2	15	2	6
	Vollhaugen	50	40	7		3
	Sørås NLH	77	20	2		1
	Norderås øst	79	14	<1		7
	Atelieet	86	14	<1		<1
	Norderås Innerst	86	14	<1		<1
	Frydenhaug	17	10	60		13
	Amager	21	5	60		14
<b>3.Slått middel</b>		<b>61</b>	<b>22</b>	<b>13</b>	<b>0</b>	<b>5</b>

1. Rød- og hvitkløver. 2. Engrapp, raigras og hundegras. 3. Løvetann, høymole og andre ugras.

Fenologisk utviklingstrinn kan beskrives etter en numerisk skala (Bakken et al. 2005).

Fremgangsmåten for fastsettelsen av skalaen ble ikke fulgt, men trinnene på skalaen ble brukt for å gi et omtrentlig bilde av den fenologiske utviklingen. For førsteslått var numerisk indeks for timotei anslått til å være 3,1 (begynnende skyting). Under andreslått var det større variasjon i fenologisk utvikling for timotei, anslagsvis mellom 3,1 og 3,5 (aksstilk fullt utkommet). For tredjeslått var det fenologiske utviklingstrinnet for timotei anslått mellom 3,0 (kjenner akset) og 3,1.

### 3.5 Slått, fortørking og innhøsting

Under alle slåttene var det gode forhold, godt opptørkede grasareal og stabilt vær, se tabell 3.

Graset ble slått i streng med skiveslåmaskiner i butterfly-kombinasjon (*Kverneland Taarup 3632 FT* og *Kverneland Taarup 5087 M*, Kerteminde, Danmark) kvelden før innhøsting eller morgenen på innhøstingsdagen. Samlet arbeidsbredde for maskinen var 8,7 meter. Under førsteslått havarerte denne maskinen etter at 60 dekar var slått og resten ble slått med en lånt skiveslåmaskin-kombinasjon (*Orkel Silvercut 340F FC*, Orkel AS, Fannrem, Norge) (*Kuhn FC 313 Lift Control*, Kuhn S.A., Saverne, Frankrike) med samlet arbeidsbredde 6,5 meter.

Tabell 3. Værforhold under hver slått fra BIOKLIM i ÅS (Fakultet for realfag og teknologi 2018), blanke felt indikerer manglende målinger.

Slått	Dato	Lufttemp. <sup>1</sup>	Luft-temp. Min. <sup>1</sup>	Luft-temp. Maks. <sup>1</sup>	Jord-temp. 2 cm	Relativ-fuktighet	Vindhastighet	Vindhastighet Maks.	VR	Global stråling (MJ/m <sup>2</sup> )
1	05.06.	15,7	7,2	21,1	17,9	47,3	2,1	4,1	NØ	30,48
	06.06.	15,2	10,6	19,4	16,9	69,5	3,9	7,4	S	22,20
	07.06.	16,1	12,2	20,2	16,1	84,8	3,4	6,7	S	22,20
<b>1. Slått middel</b>		<b>15,7</b>	<b>10,0</b>	<b>20,2</b>	<b>17,0</b>	<b>67,2</b>	<b>3,1</b>	<b>6,1</b>		<b>25,0</b>
2	19.07.	15,3	8,5	19,3	17,2	80,8	2,2	4,3	S	14,58
	20.07.	18,7	13,8	24,2	18,9	78,4	1,6	4,0	SV	24,30
	21.07.	20,1	11,9	25,6	18,9	70,9	1,8	5,3	SØ	23,87
<b>2. Slått middel</b>		<b>18,1</b>	<b>11,4</b>	<b>23,0</b>	<b>18,4</b>	<b>76,7</b>	<b>1,8</b>	<b>4,5</b>		<b>20,9</b>
3	11.09.	15,8	8,0	19,9	16,3	78,3	3,7	7,6	SV	12,87
	12.09.	12,3	4,9	17,6	14,7	84,5	-	5,8	S	13,66
	13.09.	15,9	11,2	21,3	15,7	88,8	-	-	N	11,33
<b>3. Slått middel</b>		<b>14,7</b>	<b>8,0</b>	<b>19,6</b>	<b>15,6</b>	<b>83,9</b>	<b>3,7</b>	<b>6,7</b>		<b>12,6</b>

1. Målt i standard meteorologisk hytte to meter over bakken (Døgnmiddel).

Tidspunkt for sammenraking av tre strenger til én med samlerive (*Kverneland Taarup 9590 C Hydro, Terralink Quattro Ground System*, Kerteminde, Danmark) ble tilpasset etter arbeidsflyt og

for å gi mest mulig lik tørrstoffprosent gjennom hele innhøstinga. Ønsket tørrstoffinnhold var 25-30 %. Fortørkingstid fra hver slått er gitt i tabell 4.

Tabell 4. Fortørkingstid for hver slått, vektet etter grasmengde.

Slått	Tørketid (timer)		
	Før sammenraking	I streng	Totalt
1	8,0	5,2	13,3
2	11,0	2,6	13,6
3	29,6	11,5	41,1

Graset ble høstet med en slepemontert finsnitter (*Lely Storm 130 P*, Lely, Maassluis, Nederland) med pickubredde 1,80 m. Kuttetystemet bestod av et svinghjul med 10 kniver og 5 skovlhjul, med en teoretisk kuttelengde mellom 6 og 44 mm (LELY 2017). I finsnitteren ble det tilsatt 3,1, 3,2 og 4,1 liter ensileringsmiddel (*GrasAAT Plus*, Addcon Nordic AS, Porsgrunn, Norge) per tonn gras for henholdsvis første-, andre- og tredjeslått. Totalt to eller tre traktorer med tilhørende grasvogn transporterte graset fra jordet til plansiloene. To av grasvognene hadde et volum på 25 m<sup>3</sup> (*Metsjö MetaMid*, Metsjö AB, Linköping, Sverige) og gjenværende (*Palmse 1620*, Palmse Metall OÜ, Palmse, Estland) hadde 30 m<sup>3</sup> volum.

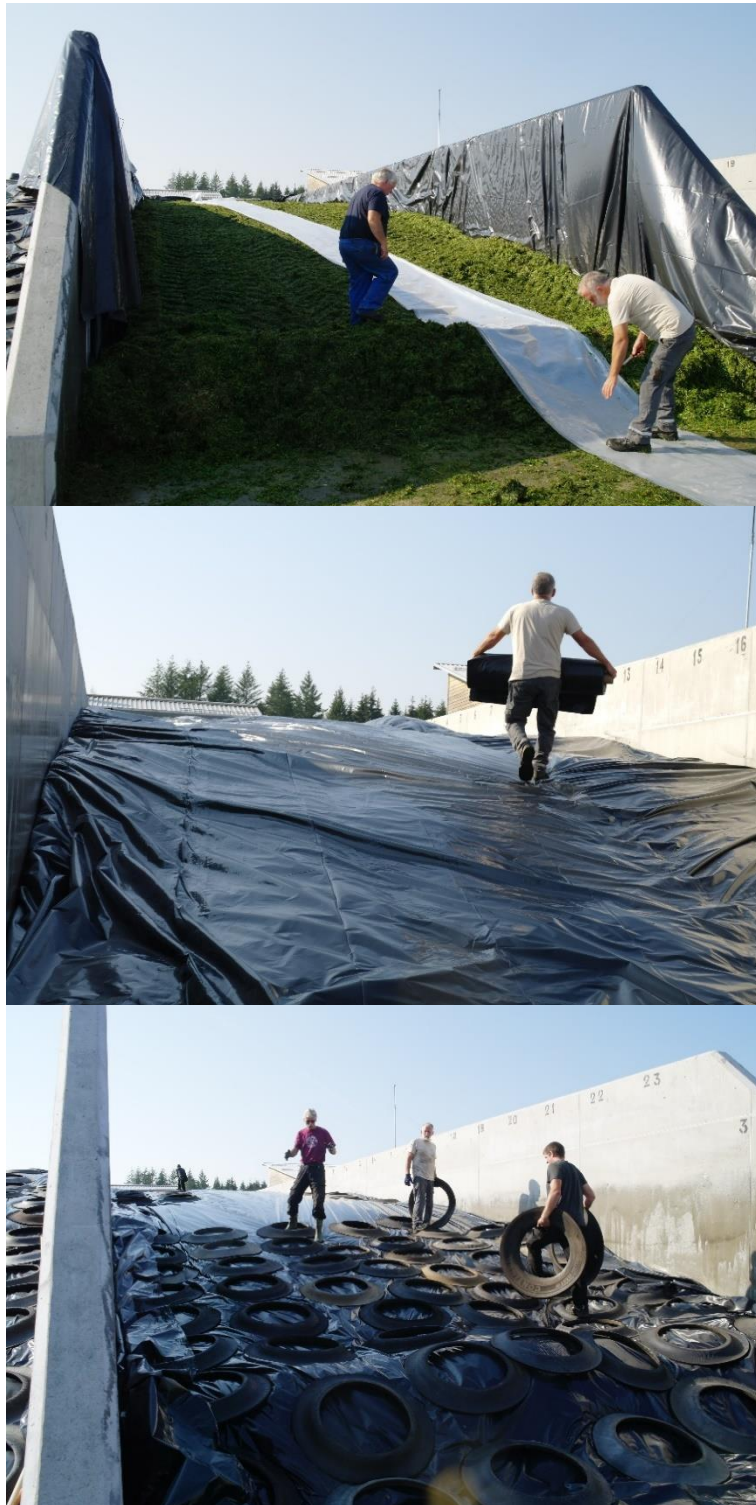
### 3.6 Innlegging, pakking og tetting av plansiloer

Hver ekvipasje ble veid på en stor kjøretøyvekt før tipping av hvert lass. Taravektene på hvert kjøretøy ble veid før start om morgenen, etter lunsj og etter avslutning om kvelden og ved evt. sjåførbytte. Taravektene for hvert lass ble senere korrigert for dieselforbruk innen hver arbeidsøkt. Antall lass, middel lassvekt, kg gras innlagt, veid tørrstoffinnhold og total tørrstoffmengde lagt inn i hver silo er gitt i tabell 5.

Tabell 5. Antall lass, middel lassvekt, total grasvekt, veid TS og totalt innlagt grastørrstoff for hver silo.

Slått	Silo <sup>1</sup>	Antall lass	Middel lassvekt	Kg gras totalt	Veid TS	Innlagt TS
			kg (våtvekt)			
1	T	39	5272	205600	29	59262
	H	41	5332	218630	28	61113
2	T	51	5759	293690	26	76227
	H	51	5725	291990	27	79511
3	T	47	4704	221100	34	74697
	H	49	4638	227240	33	74395

1. T=Pakket med traktor, H=Pakket med hjullaster.



Figur 8. Bildeserie av fremgangsmåte ved tildekking. Tynn, gjennomsiktig plast først, for deretter å brette plasten langs veggene over. Ett ekstra lag med tykk plast før deksider ble lagt. Foto: Åshild T. Randby, IHA.

For å begrense oksygentilgangen til grasmassen, ble det trukket en transparent plast (40  $\mu\text{m}$  tykk) (*Polydress PE -Vacuum Film*, RKW Agri GmbH & Co. KG, Michelstadt, Tyskland) over graset på slutten av første innhøstingsdag. Tidspunkt for tipping av hvert lass og i hvilken silo, ble registrert. Under tipping av hvert lass måtte pakkemaskinen ut av siloen for å gi plass til rygging og tipping med tilhenger. Annethvert lass ble tippet i hver silo. Gjennomsnittlig pakketid for hvert lass under alle tre slåtter ble estimert til 20 minutter. Videre ble det også forsøkt å legge direkte høsta gras som øverste lag for å bedre tettingen. Dette ble kun vellykket under tredjeslått. Andre dagen ved hver slått ble det lagt tykk (150  $\mu\text{m}$  tykk) (*Polydress Texaleen Alpha Plus*, RKW Agri GmbH & Co. KG, Michelstadt, Tyskland) plast langs sidene og innerst i siloene. Denne ble brettet inn mot midten ved endelig innpakking (figur 8).

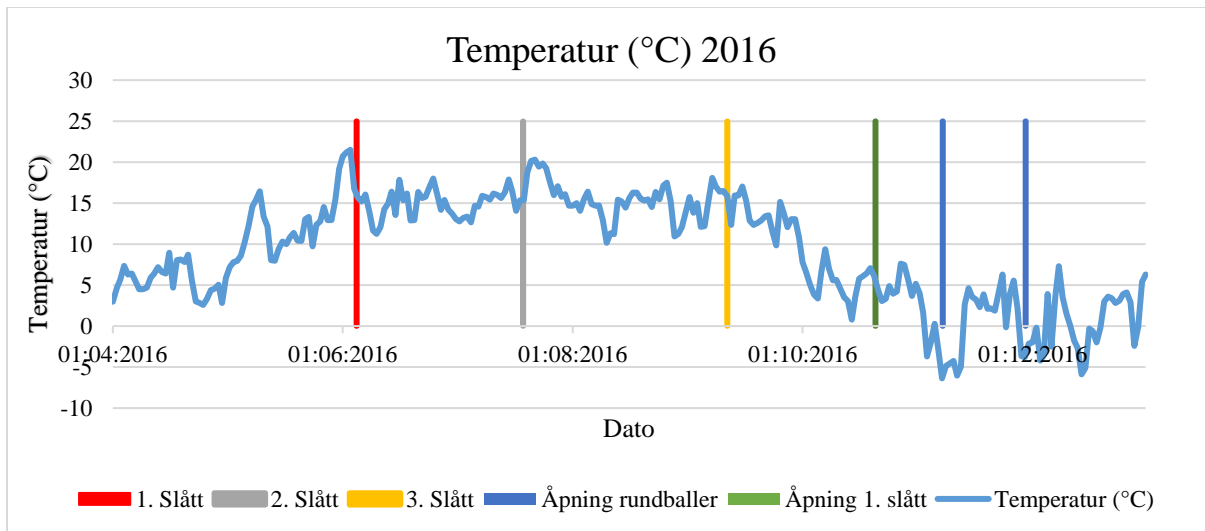
Etter at siste lass ble tippet i hver silo, ble det pakket 30 minutter i hver silo, i tillegg til den tida som normalt ble brukt til pakking for hvert lass. Deretter ble det lagt samme tynne plast (40  $\mu\text{m}$  tykk) over grasmassen før den tykke plasten (150  $\mu\text{m}$  tykk) fra sidene ble brettet inn mot midten av siloen med overlapp. Videre ble det lagt tykk plast på toppen av de to foregående plastlagene. Dekksider ble lagt på plasten som press.

### **3.7 Lagringsperioden og uttak av surfôr fra plansiloer og rundballer**

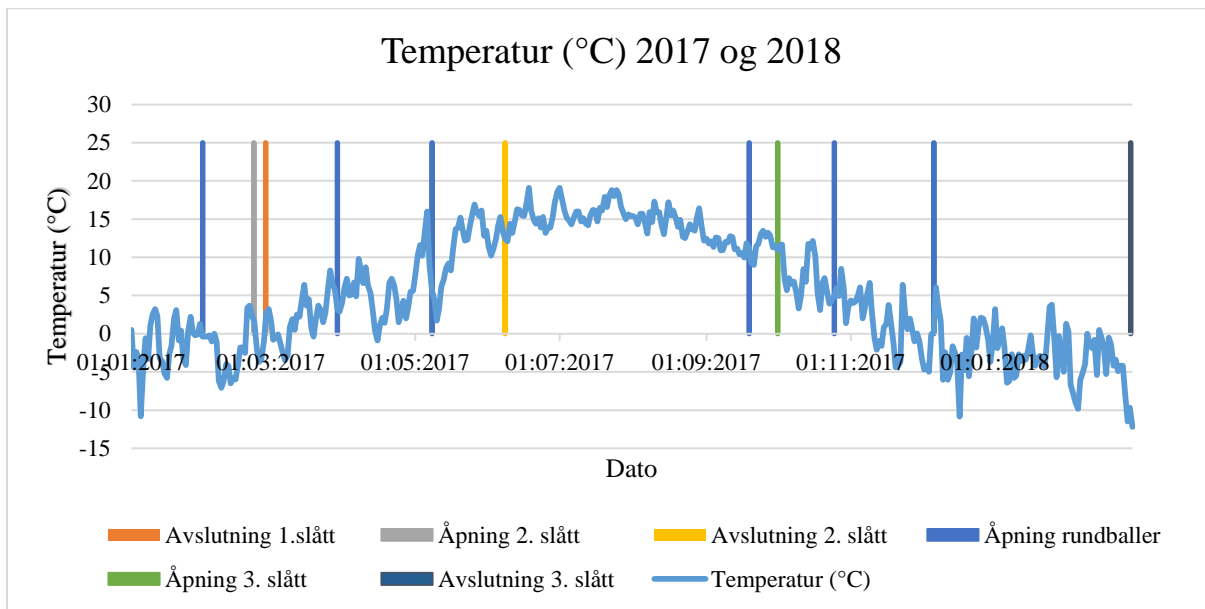
Før uttaket av surfôr startet for hver silo, ble høyden fra toppen av siloveggen og ned til surfôrmassen målt for hver meter langs sideveggene. Disse målene ble senere brukt til å beregne volumet av silomassen i hver enkelt silo før åpning.

Til uttaket ble det brukt hjullaster påmontert hydraulisk siloblokkskjærer (*Triolet TU 180 XL*, Triolet BV, Oldenzaal, Nederland). Hvert enkelt uttak fra plansiloene ble veid og elektronisk registrert på kjøretøyvekt. Hjullaster med siloblokkskjærer ble tarert før skjæring og uttak av siloblokken, deretter ble siloblokken tatt ut og veid sammen med maskinen på vekta ved bruk av fjernkontroll for den aktuelle siloen. Eventuelt muggent eller skjemt surfôr ble i første omgang lagt til side i siloene, og veid ut og kassert minimum en gang per uke. Ved kassering av hele siloblokker ble det av sjåføren anslått hvor mye av surfôret som så ut til å være av god nok kvalitet til at det kunne brukes, uavhengig av om det faktisk ble brukt eller kassert.

Figur 9 og 10 viser temperaturen under lagring og datoer for høsting i siloer, åpning av siloer og rundballer, samt avslutning av uttak fra siloer. Ettersom graset ble lagt inn i plansiloen horisontalt og uttaket av surfôr foregikk vertikalt, ble det umulig å finne tilbake til eksakt samme sted. Målet var allikevel at rundballene skulle lagres like lenge som plansilosurfôret. De rundballene som ble presset sist ble dermed åpnet sist og omvendt. Rundballen ble veid, pakket ut og plasten veid. Eventuelt muggent surfôr ble fjernet og veid.



Figur 9. Middeltemperatur for hvert døgn i Ås i 2016 (Fakultet for realfag og teknologi 2018). Markerte datoer for start av slått, samt åpning av siloer og rundballer.



Figur 10. Middeltemperatur for hvert døgn i Ås i 2017 og 2018 (Fakultet for realfag og teknologi 2018). Markerte datoer for åpning og avslutning av siloer og rundballer.



### 3.8 Prøvetaking og analyser

#### 3.8.1 Grasprøver

For hvert enkelt graslass innlagt ble det tatt ut en grasprøve. Prøven ble tatt manuelt (grab-sample) etter at hvert lass var tippet i siloen. Denne prøven ble videre delt i to prøver på 500 og 200 g. Hver prøve ble merket med dato, silonummer og lassnummer. Prøven på 500 g ble lagt på kjølerom så raskt som mulig, og brukt til bestemmelse av tørrstoff samme eller påfølgende dag. Prøven ble tørket ved 100 °C over 24 timer og veid varm ut. Den andre grasprøven på 200 g ble lagret på fryserom. Senere ble samme prøver (200 g) slått sammen til totalt seks prøver per silopar (tabell 6) for analyse av kjemisk sammensetning. Samme prøver ble hentet fra fryserom og frysetørket. Det ble analysert for vannløselige karbohydrater (WSC) etter metode beskrevet av Randby et al. (2015). Tørrstoff (TS), aske, Kjeldahl-N ( $CP=6,25 \times \text{Kjeldahl-N}$ ), NDF (amylasebehandlet nøytraluløselig fiber fri for aske (aNDFom)), ADF (syreuløselig fiber fri for aske (ADFom)), ADL og bufferuløselig nitrogen ble analysert etter metode beskrevet av Randby et al. (2010). Grasprøvene ble videre analysert for *in vitro* fordøyelighet av organisk stoff i vomvæske (VOS) etter metode beskrevet av Åkerlind et al. (2011). Det ble boret ut en grasprøve fra de to upakka rundballene for TS-analyse.

Tabell 6 viser veid tørrstoffinnhold fra hver teig, prosentandel grasavling fra hver teig samt total mengde innhøsta gras og veid middel tørrstoffinnhold per slått. Enkelte teiger med lite areal og liten avling ble slått sammen til en samleprøve.

Tabell 6. Oversikt over samleprøver, med opprinnelse, veid tørrstoff etter grasmengde og andel av totalavling. Innhøstingsrekkefølge er øverst til nederst.

Slått	Teig	Samleprøve	TS verdi Veid middel (%)	% av Totalavling (TS-basis)
1	Låndås	1	32	17,4
	Norderås Ø	2	31	16,6
	Atelieet	3	36	10,7
	Innerst	3	33	10,7
	Amager	4	21	12,0
	Frydenhaug	5	25	17,9
	Einarstua	6	28	14,6
<b>1. Slått middel</b>			<b>28</b>	<b>100 % Totalt 120376 kg TS</b>
2	Vollhaugen N	7	26	17,4
	Vollhaugen S	8	27	15,0
	Sørås NLH V	9	31	15,9
	Sørås NLH Ø	10	29	10,5
	Landås	11	25	11,1
	Norderås Ø	12	24	15,1
	Atelieet	13		
	Norderås Innerst	13	26	15,0
	Norderås V	13		
<b>2. Slått middel</b>			<b>27</b>	<b>100 % Totalt 155738 kg TS</b>
3	Landås	14	32	9,8
	Vollhaugen	15	39	31,8
	Sørås NLH 1 <sup>1</sup>	-	36	3,6
	Sørås NLH 2	16	34	19,3
	Norderås Ø	17	48	12,5
	Atelieet	18		
	Norderås Innerst	18	37	8,7
	Frydenhaug 1	19		
	Amager	19	20	14,3
	Frydenhaug 2	19		
<b>3. Slått middel</b>			<b>33</b>	<b>100 % Totalt 149092 kg TS</b>

1. Kun analysert for TS. Utelatt fra samleprøver til kjemisk analyse pga. liten mengde.

### 3.8.2 Surfôrprøver

Prøver fra plansiloene ble tatt ut tre ganger i uken i forbindelse med uttak med blokkskjærer. Disse prøvene ble senere slått sammen til seks samleprøver per silo. Ved åpning og veiing av rundballene ble det også tatt ut ca. 1,5 -1,8 kg prøve fra hver balle med elektrisk drill og prøvebor med ca. 4 - 5 cm diameter. Utørkede prøver ble analysert for gjæringskvalitet etter

metode beskrevet av Randby et al. (2010). I analysen inngikk pH måling, innhold av mjølkesyre, maursyre, eddiksyre, propionsyre, smørsyre, etanol og ammoniakk-nitrogen. Surfôrprøvene ble videre oppdelt, og varmetørket for TS-bestemmelse og frysetørket for andre analyser.

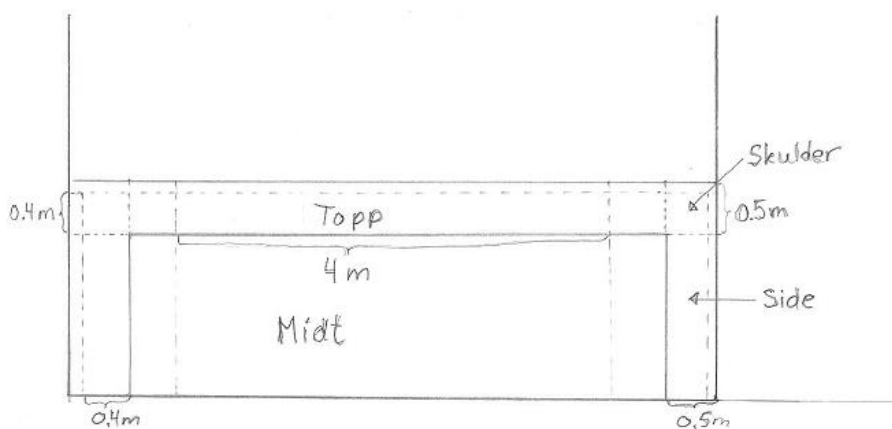
Frysetørkede prøver ble malt på 1,0 mm sold og analysert for vannløselige karbohydrater (WSC) etter metode beskrevet av Randby et al. (2015). Tørrstoff (TS), aske, Kjeldahl-N ( $CP=6,25 \times$  Kjeldahl-N), NDF (amylasebehandlet nøytraluløselig fiber fri for aske (aNDFom)), ADF (syreuløselig fiber fri for aske (ADFom)), ADL og bufferløselig nitrogen ble analysert etter metode beskrevet av Naadland et al. (2017) og for *in vitro* fordøyelighet av organisk stoff i vomvæske (VOS) etter metode beskrevet av Åkerlind et al. (2011).

Prøvene ble også testet for aerob stabilitet i klimarom innstilt på 20 °C. I hver surfôrprøve på 700 gram ble det klippet hull i hjørnene av prøveposen. Prøven ble plassert i isoporbeholdere med hull i lokket og to hull i bunnen for innslipp av oksygen. Det ble lagt inn temperaturføler i midten av prøven, og temperaturen ble logget hver fjerde time over en periode på 760 timer av en Delta T DL2 datalogger. En av boksene ble brukt til å registrere romtemperatur. Når temperaturen i surfôrprøvene nådde to grader celsius over romtemperatur ble prøvene antatt å være i starten på en varmgangsporsess. Tiden fra prøvene nådde romtemperatur til varmgang ble registrert ble brukt som mål for surfôrets aerobe stabilitet. Testingen av aerob stabilitet ble utført i totalt to omganger, en omgang per slått (første- og andreslått) grunnet liten kapasitet i klimarommet. Første omgang ble kjørt med romtemperatur (målt i en tom isoporbeholder på gulvet) 17,5 °C. Dette fordi rommets temperaturføler som var innstilt på 20 °C var montert ca. 1,5 m over gulvet, og temperaturen målt her var høyere enn nede på gulvet der isoporboksene var plassert. Denne feilen ble rettet til andre omgang, som ble kjørt ved 20 °C.

### 3.8.3 Punktprøver fra silo og rundballer

Ved veiing og åpning av rundballer (tre ganger i løpet av den tida hvert plansilopar ble tømt) ble det også tatt ut surfôrprøver til analyse av smørsyresporer (*Clostridium tyrobutyricum*), andre klostridier samt gjær og mugg. Det ble tatt surfôrprøver fra utvalgte punkter i plansiloer og rundballer med elektrisk drill og prøvebor med ca. 4-5 cm diameter. For å hindre smitte mellom prøver, ble det brukt engangshansker og prøveboret ble desinfisert med Antibac (75 % etanolbasert overflatedesinfeksjon) etter hvert prøveuttak.

Prøvene fra plansiloene ble tatt på fire ulike steder i den åpne skjæreflaten i siloene. Det ble tatt prøver i sidene, skuldrene, i toppen og midt i siloen (figur 11). For prøvene tatt fra sider, skulder og topp ble det unngått de ytterste 10 cm mot silovegg og toppoverflate, og maksimalt 50 cm fra sidevegg eller topp av surfôrmassen. Prøver fra midt og topp ble tatt minimum en meter fra sideveggene.



Figur 11. Skisse av ulike områder i siloens skjæreflate.

Fra hver av de fire rundballene ble prøvene tatt hovedsakelig fra de runde sidene.

Prøvematerialet ble delt i to. De ytterste 10-15 cm med surfôr ble en egen prøve, mens den andre prøven bestod av surfôr fra de neste 15-45 cm. Hver prøve bestod av om lag 200 gram prøvemateriale. Ved hvert prøveuttak ble det totalt 16 prøver. Det ble tatt ut noen få gram prøvemateriale til måling av pH umiddelbart. Hver enkelt prøve ble deretter fryst og senere sendt til analyse. Prøvene fra det midterste prøveuttaket ble analysert for *Clostridium tyrobutyricum* og andre klostridiearter etter metode beskrevet av Jonsson (1990). De samme prøvene ble også analysert for mugg- og gjærsopp i henhold til Jonsson og Pahlow (1984).

### 3.9 Beregninger

Korrigerings av tørrstoffinnhold i surfôr for tap av flyktige forbindelser etter tørking ble beregnet etter metode av Åkerlind et al. (2011). Silage dry matter intake (SDMI) index ble beregnet etter modell av Huhtanen et al. (2007).

Volumvekten ble beregnet ut fra formelen:  $\text{Innlagt gras (kgTS) / surfôrvolum ved åpning (m}^3\text{)}$ .

Volumet av hver enkelt silo ble beregnet ved å beregne arealet av hver sidevegg, ved hjelp av

målinger fra topp av silovegg og ned til grasmaterialet som beskrevet i kapittel 3.6. Volumet ble beregnet etter formel:  $((\text{Areal høyre sidevegg} + \text{Areal venstre sidevegg})/2) \times \text{Silobredden (6m)}$ .

*In vivo* % fordøyelighet av organisk stoff (OMD) ble beregnet for gras og surfôr etter Lindgren (1983) med ligningen:  $\text{OMD} = -2,0 + 0,90 \times \text{VOS}$ . Videre ble det for både gras og surfôr beregnet omsettelig energi (OE) etter metode av Lindgren (1983) ved bruk av ligningen:  $\text{OE (MJ/kg OM)} = -1,91 + 0,160 \times \text{VOS}$ . Netto energi laktasjon (NEL) per kg TS ble beregnet med ligning av Van Es (1978):  $\text{NEL} = 0,6 \times (1 + 0,004 \times ((Q \times 100) - 57)) \times \text{OE} \times 0,9752$ , der OE er uttrykt per kg TS,  $Q = \text{OE}/\text{bruttoenergi (BE)}$ , og  $\text{BE} = 18,4 \text{ MJ/kgTS}$ . Fôrenheter mjølk (FEm) ble beregnet med likningen  $\text{FEm} = \text{NEL (MJ/kgTS)}/6,9 \text{ MJ}$ .

Proteinverdier i gras og surfôr uttrykt som aminosyrer absorbert i tarmen (AAT) og proteinbalanse i vom (PBV) ble beregnet etter Madsen et al. (1995) ved bruk av analysert råprotein (CP) og beregnet OM. Fordøyelige karbohydrater i gras og surfôr ble beregnet etter ligninger av Spörndly (2003), der karbohydrater i g/kgTS =  $922,0 \times (1,46 \times \text{CP})$ , og fordøyelighet av karbohydrater =  $(31,4 + (3,89 \times \text{OE}))/100$ . Konstanter for effektiv nedbrytningsgrad av protein (EPD) for henholdsvis gras og surfôr ble satt til 0,80 og 0,85 (Natural Resources Institute Finland 2018).

### 3.9.1 Sammenligning av maskiner

For å sammenlikne de to ulike maskinene med hensyn til marktrykk og trykkbelastning nedover i grasmassen ble det brukt modellen Terranimo (2018). Denne modellen er utviklet for å simulere marktrykk og trykkbelastning i jordprofilen ved kjøring med ulike maskiner på jord under forskjellige forhold. For at modellen skal være relevant for pakking av gras, er det nødvendig å bruke en jordtype som har relativt like pakkingsegenskaper som finsnitta gras med 25 til 30 prosent tørrstoff.

Myrjord har ifølge Børresen (2018) tilsvarende egenskaper når det gjelder pakking som finsnitta gras. I modellen Terranimo (2018) inngår ikke myrjord som jordtype ennå. Derfor ble det valgt jordtypen lett leirjord. Denne jordtypen har liknende egenskaper som myrjord når det gjelder pakking (Børresen 2018). Den er noe plastisk, det vil si at under overkjøring komprimeres underlaget sammen for deretter å utvide seg litt etter avlastning. Det ble forutsatt nylig pløyd jord, for å ta hensyn til noe nedsynkning i graset. Dekktyper og dimensjoner, hjullast og luftrykk ble lagt inn i modellen, se tabell 7 og 8. For traktoren var de påmonterte dekkene å finne i

databasen, mens for hjullasteren ble det valgt en tilsvarende dekktype med samme bredde og diameter. Disse dekkene er landbruksdekk (*Trelleborg TM 700 High Speed*, Trelleborg AB, Trelleborg, Sverige), men med høyt (3,5 bar) lufttrykk vil de ha tilsvarende egenskaper som industridekkene som var påmontert hjullasteren (Børresen 2018).

Tabell 7. Lastkarakteristikk for alle hjul på traktor.

Aksling	Produsent	Dekktype	Dekkdimensjon	Hjullast (kg)	Trykk (bar)
<b>Framaksling</b>	Michelin	Trekkraft	480/65R28	2100	1,5
<b>Bakaksling</b>	Michelin	Trekkraft	600/65R38	2100	1,5

Tabell 8. Lastkarakteristikk for alle hjul på hjullaster.

Aksling	Produsent	Dekktype	Dekkdimensjon	Hjullast (kg)	Trykk (bar)
<b>Framaksling</b>	Trelleborg	Trekkraft	520/70R30	3600	3,5
<b>Bakaksling</b>	Trelleborg	Trekkraft	520/70R30	3700	3,5

### 3.10 Statistisk behandling

Gjæringskvalitet, næringsinnhold, tørrstofftap og volumvekt for surfôr i plansiloer og rundballer ble analysert ved bruk av prosedyren proc GLM i SAS (SAS, versjon 9.4, SAS Institute inc., Cary, North Carolina, USA). Middeltallene er presentert som LSMEANS. Signifikansnivå  $P < 0,05$  ble benyttet. P verdier fra  $< 0,1$  til  $> 0,05$  ble regnet som tendens. Det ble i alt brukt tre modeller:

1. Det ble analysert for forskjeller mellom rundballer og plansiloer. Følgende modell ble anvendt:  $Y_{ijk} = \mu + S_i + K_j + L_k + K_j \times L_j + e_{ijk}$ .

Hvor;

$\mu$  = generelt gjennomsnitt

$S$  = Effekt av slått,  $i = 1 - 2$

$K$  = Effekt av komprimering,  $j = 1 - 2$ , der 1 = traktor/svak og 2 = hjullaster/hard

$L$  = Effekt av ledd,  $k = 1 - 2$ , der 1 = Plansiloer og 2 = Rundballer

$K \times L$  = Samspillet mellom komprimering og ledd

$e_{ijk}$  = Feilleddet til slått<sub>i</sub> og komprimering<sub>j</sub> og ledd<sub>k</sub>

2. Videre ble det også testet for forskjeller mellom metoden traktor og hjullaster for seg. Samme modell ble også brukt for temperaturmålingene i rundballene med utsatt tetting. Følgende modell ble anvendt:  $Y_{ijk} = \mu + S_i + K_j + S_i \times K_j + e_{ij}$ .

Hvor;

$\mu$  = generelt gjennomsnitt

$S$  = Effekt av slått,  $i = 1 - 2$

$K$  = Effekt av komprimering,  $j = 1 - 2$ , der 1 = traktor/svak og 2 = hjullaster/hard

$S \times K$  = Samspillet mellom slått og komprimering

$e_{ij}$  = Feilleddet til slått<sub>i</sub> og komprimering<sub>j</sub>

3. Analyse av forskjeller mellom metodene for rundballene ble det i tillegg kjørt følgende modell:  $Y_{ijk} = \mu + S_i + K_j + U_k + K_j \times U_k + e_{ijk}$ .

Hvor;

$\mu$  = generelt gjennomsnitt

$S$  = Effekt av teig hvor høstet,  $i = 1 - 6$  (tre steder for hver slått)

$K$  = Effekt av komprimering,  $j = 1 - 2$ , der 1 = svak og 2 = hard

$U$  = Effekt av tetting,  $k = 0 - 1$ , der 0 = rask tetting og 1 = utsatt tetting

$K \times U$  = Samspillet mellom komprimering og tetting

$e_{ijk}$  = Feilleddet til sted<sub>i</sub>, komprimering<sub>j</sub> og tetting<sub>k</sub>.

For punktprøvene og pH verdier fra samme sted ble det utført frekvensanalyse og beregnet middelverdier, standardavvik (S), minimum og maksimumsverdier for hvert ledd ved bruk av prosedyren proc means i SAS (SAS, versjon 9.4, SAS Institute inc., Cary, North Carolina, USA). For beregning av middelverdier ble verdier under deteksjonsnivå ( $< 1,70 \log_{10}$  cfu/g) for sporer av *Clostridium tyrobutyricum*, sporer av andre klostridiumarter, gjær og mugg satt til halvparten ( $0,85 \log_{10}$  cfu/g) for analyse i SAS. Standarderror of mean (SEM) ble beregnet ut fra formelen:

$SEM = S/(\sqrt{n})$ . For de mikrobielle prøvene ble det også nyttet frekvensanalyse (Proc Freq i SAS), der det kun ble skilt mellom ikke påvist ( $< 1,70 \log_{10} \text{ cfu/g}$ ) og påvist mengde.



## 4 Resultat

De statistiske modellene inneholdt enkelte effekter og samspill som ikke er fremstilt i resultatene. Hovedgrunnen til at enkelte effekter og samspill er utelatt er at de i liten grad var signifikante eller at de ikke er relevant for forsøksspørsmålet.

### 4.1 Næringsinnhold i gras

Næringsinnhold i graset for hver enkelt samleprøve og middelverdier for hver slått er gitt i tabell 9. Det ble ikke utført statistikkberegninger for næringsinnhold og beregnet næringsverdi i graset.

Tabell 9. Næringsinnhold i samleprøver av gras, samt veide middelverdier for hver slått.

Samle-prøve	Veid TS %	OM <sup>1</sup>	CP <sup>2</sup>	WSC <sup>3</sup>	NDF <sup>4</sup>	ADF <sup>5</sup>	ADL <sup>6</sup>	NFC <sup>7</sup>	Ekte protein	BU-protein <sup>8</sup>	NDIP <sup>9</sup>	ADIP <sup>10</sup>
g/kg TS												
1	32	909	124	20,7	655	366	36	97,5	84,2	82,8	34,3	5,3
2	31	907	123	25,7	647	357	36	104	83,0	80,1	31,7	4,9
3	36	901	111	30,3	649	366	39	109	78,7	76,6	33,1	5,0
4	33	894	134	21,6	552	332	33	177	86,7	82,1	23,2	4,6
5	21	895	115	26,1	606	358	37	145	83,5	78,8	25,7	4,5
6	25	895	128	26,3	625	359	37	110	89,5	82,0	36,3	5,0
<b>1.Slått</b>	<b>30</b>	<b>901</b>	<b>121</b>	<b>25,5</b>	<b>627</b>	<b>358</b>	<b>36</b>	<b>121</b>	<b>83,8</b>	<b>80,1</b>	<b>31,0</b>	<b>4,9</b>
7	28	892	148	18,7	559	313	29	152	105,1	97,1	39,2	4,8
8	26	896	164	22,9	544	304	28	153	120,2	111,6	48,6	4,4
9	27	892	141	26,2	573	333	31	142	106,8	99,6	44,0	4,4
10	31	900	156	28,1	568	323	32	139	116,7	111,1	46,5	5,8
11	29	898	144	28,1	543	299	24	175	115,5	107,5	43,8	5,6
12	25	883	153	20,2	561	319	27	134	118,4	113,3	47,6	6,3
13	26	893	135	29,0	595	329	28	127	106,1	99,6	42,2	6,4
<b>2.Slått</b>	<b>27</b>	<b>893</b>	<b>149</b>	<b>24,3</b>	<b>564</b>	<b>318</b>	<b>28</b>	<b>145</b>	<b>112,2</b>	<b>105,1</b>	<b>44,4</b>	<b>5,3</b>
14	32	890	145	29,7	605	326	29	107	106,3	97,2	51,4	10,1
15	39	883	142	40,7	623	342	37	86,6	102,3	92,7	49,6	8,0
16	34	888	140	27,5	616	336	33	98,5	99,5	93,3	49,0	7,6
17	48	883	132	37,9	607	328	30	110	91,0	85,8	48,4	7,2
18	37	881	130	38,1	592	337	31	127	91,7	84,3	43,7	7,2
19	20	866	162	15,3	500	310	26	173	116,6	106,2	34,1	7,6
<b>3.Slått</b>	<b>35</b>	<b>850</b>	<b>137</b>	<b>31,4</b>	<b>575</b>	<b>320</b>	<b>31</b>	<b>107</b>	<b>98,1</b>	<b>90,2</b>	<b>45,0</b>	<b>7,6</b>

1. Organic matter, organisk stoff. 2. Crude protein, råprotein. 3. Water soluble carbohydrates, vannløselige karbohydrater. 4. Neutral detergent fiber, nøytraluløselig fiber løst i amylase og fri for aske. 5. Acid detergent fiber, syreløselig fiber fri for aske. 6. Acid detergent ligning, syreløselig lignin. 7. Non fiber carbohydrates, ikke-fiber karbohydrater. 8. Bufferuløselig protein. 9. Neutral detergent insoluble protein, protein bundet til NDF. 10. Acid detergent insoluble protein, protein bundet til ADF.

For videre oversikt for de ulike samleprøvene, se tabell 6 i kapittel 3.8.1. Tørrstoffinnholdet var høyest for tredjeslått, og lavest for andreslått. Innholdet av fiber (NDF) var høyest i førsteslått. Beregnede næringsverdier for samleprøver av gras med middelverdier for hver slått er vist i tabell 10. Andreslått har høyest fordøyelighet (OMD), energi- (NEI, FEm) og proteinverdi (AAT, PBV).

Tabell 10. Beregnet næringsverdi i samleprøver av gras, samt veide middelverdier for hver slått.

Samle-prøve	OMD <sup>1</sup>	AAT <sup>2</sup>	PBV <sup>3</sup>	NEI <sup>4</sup> (MJ)	FEm <sup>5</sup>
	%	g/kg TS		Pr. kg TS	
1	67,4	74,3	-3,5	5,66	0,82
2	67,2	74,0	-4,2	5,63	0,82
3	65,5	71,5	-11,5	5,34	0,77
4	70,6	76,0	3,6	5,87	0,85
5	68,4	74,6	-13,3	5,69	0,82
6	66,7	72,2	3,6	5,43	0,79
<b>1.Slått</b>	<b>67,4</b>	<b>73,6</b>	<b>-5,20</b>	<b>5,58</b>	<b>0,81</b>
7	73,0	77,9	14,0	6,13	0,89
8	75,6	80,3	25,2	6,48	0,94
9	73,5	78,9	5,5	6,25	0,91
10	75,0	79,9	18,5	6,42	0,93
11	75,5	80,8	5,0	6,49	0,94
12	73,4	78,1	18,8	6,18	0,90
13	72,8	77,9	1,6	6,12	0,89
<b>2.Slått</b>	<b>74,0</b>	<b>79,0</b>	<b>12,7</b>	<b>6,28</b>	<b>0,91</b>
14	70,5	75,8	14,3	5,88	0,85
15	69,3	74,9	12,9	5,76	0,83
16	70,9	76,3	9,0	5,93	0,86
17	71,3	76,2	1,4	5,90	0,86
18	72,9	77,5	-3,3	6,06	0,88
19	74,7	77,7	27,6	6,14	0,89
<b>3.Slått</b>	<b>68,5</b>	<b>73,3</b>	<b>11,1</b>	<b>5,69</b>	<b>0,82</b>

1. Organic matter digestibility, fordøyelighet av organisk stoff. 2. Aminosyrer absorbert i tarm. 3. Protein balanse i vom. 4. Nettoenergi laktasjon. 5. Fôrenhet mjølk.

## 4.2 Uttakshastighet

Uttakshastighet i cm per dag, samt middel-temperatur i løpet av uttaksperioden for hvert silopar (slått) er gitt i tabell 11. Uttaket (cm per dag) var raskest ytterst i siloene og saktest innerst i siloene som følge av minst høyde på surfôrsmssen ytterst i siloene. Minimum og maksimum

uttakshastighet er beregnet med utgangspunkt i tidspunkt for uttak av punktprøver i siloene. Tiden mellom hvert punktprøveuttak er 20 til 40 dager.

Tabell 11. Middeltemperatur under uttak av hver slått, lengde på uttaksperiode og uttak per dag.

Slått	Middel - temperatur under uttak (°C)	Silo <sup>(1)</sup>	Dager	Uttak per dag (cm)	Min uttak per dag (cm)	Maks uttak per dag (cm)
1	-0,1	T	130	20,8	15,9	33,3
		H	130	19,2	13,6	38,9
2	6,1	T	106	25,5	17,2	50,0
		H	106	25,5	17,2	40,0
3	0,1	T	149	18,1	8,8	56,3
		H	149	17,4	8,8	56,3

1. T=Pakket med traktor, H=Pakket med hjullaster.

### 4.3 Marktrykk og trykkbelastning

Kontaktflate og marktrykk etter simulering i Terranimo (2018) for henholdsvis traktor og hjullaster er gitt i tabell 12 og 13. Det var gjennomgående større marktrykk for hjullasteren.

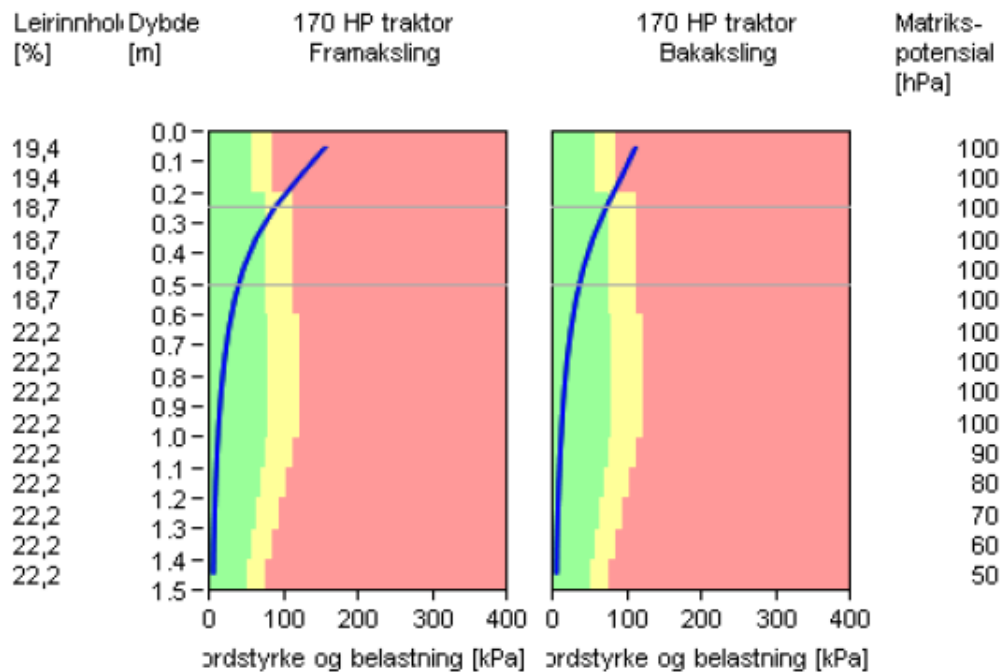
Tabell 12. Simulering av traktor. Verdier for trykkfordeling i kontaktflate mellom dekk og jord/gras.

Aksling	Bæreflate (m <sup>2</sup> )	Gjennomsnittlig marktrykk (kPa)	Maksimalt marktrykk (kPa)
Framaksling	0,266	77	178
Bakaksling	0,375	55	125

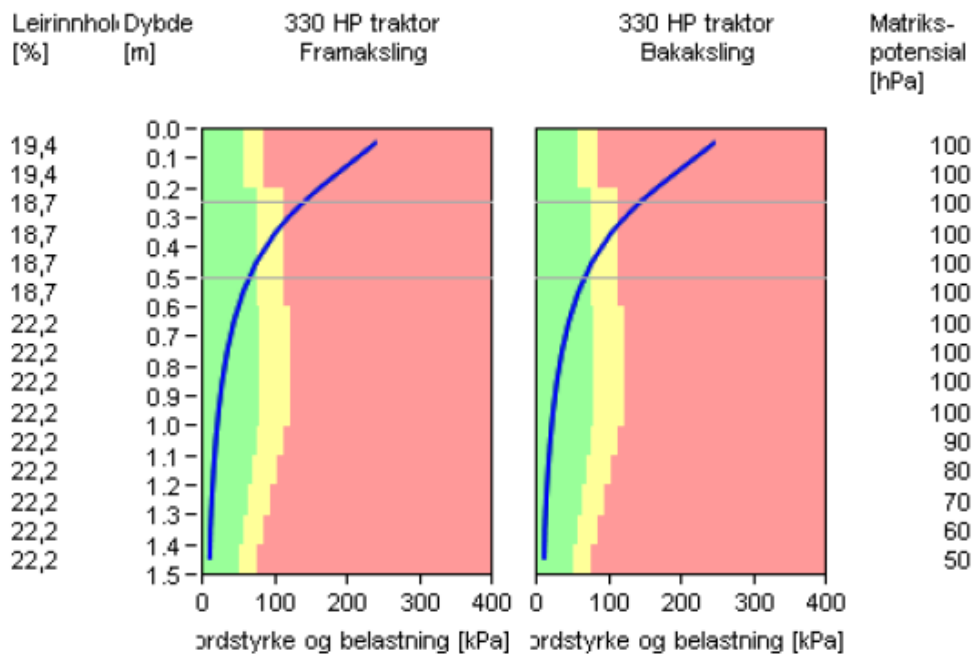
Tabell 13. Simulering av hjullaster. Verdier for trykkfordeling i kontaktflate mellom dekk og jord/gras.

Aksling	Bæreflate (m <sup>2</sup> )	Gjennomsnittlig marktrykk (kPa)	Maksimalt marktrykk (kPa)
Framaksling	0,310	114	272
Bakaksling	0,311	117	279

De to maskinenes simulerte trykkbelastning sammenliknet med jordstyrken er gitt i figur 12 og 13. Røde felt indikerer stor risiko for jordpakking, gule felt indikerer middels risiko, grønne felt antyder ingen risiko for pakking. Kjøring med traktor vil komprimere ca. 20 cm øverst i graslaget, mens hjullasteren vil ha evne til å komprimere ca. 40 cm fra grastopp og ned.



Figur 12. Simulering av traktor. Sammenligning av jordstyrke og belastning.



Figur 13. Simulering av hjullaster. Sammenligning av jordstyrke og belastning.

#### 4.4 Volumvekt, kassert surfôr og beregnet tørrstoff-tap

Volumvekten ( $\text{kgTS}/\text{m}^3$ ), kassert surfôr og totalt tap av tørrstoff i % av innlagt gras og beregnet volumvekt er gitt i tabell 14. Volumvekten, målt som total tørrstoffmengde i innlagt gras per  $\text{m}^3$  silovolum, var i alle tre slåttene høyere for plansiloene komprimert med hjullaster enn med traktor (figur 14). Det var sterk tendens ( $P=0,06$ ) til høyere volumvekt i siloene pakket med hjullaster. Videre var det signifikant høyere volumvekt i plansiloene enn i rundballene.

Volumvekten i rundballene var signifikant høyere ved hard (100 % kammertrykk) enn ved svak (10 % kammertrykk) komprimering i rundballepressa. Det var signifikant høyere andel kassert surfôr i plansiloene enn i rundballene. Videre var det signifikant høyere andel kassert surfôr i rundballene med svak komprimering sammenlignet med hard komprimering. Det var også en sterk tendens ( $P=0,054$ ) til høyere andel kassert surfôr i rundballene med utsatt tetting sammenlignet med rundballene med rask tetting.

I førsteslått ble det i begge siloene veid ut flere kg surfôr enn grasmengden som var innlagt. Dette skyldes at det ikke var tak over siloene og at det dermed regnet og snødde inn i siloene. I andreslått ble det veid ut færre kg surfôr enn innlagt gras i begge siloer. I lagringsperioden for siloene med førsteslått ble det registrert totalt 596 mm nedbør, og for siloene med andreslått 611 mm nedbør. Maksimal nedbørsmengde inn i hver silo á  $150 \text{ m}^2$  ble dermed 85 og 92 tonn, henholdsvis for siloene med første- og andreslått. For alle fire siloene ble det registrert lavere TS-verdi i uttatt surfôr enn innlagt gras. Forskjellen i TS-verdi lå mellom 1,1 og 2,1 %-enheter. Dette tyder på at surfôret har absorbert en del av nedbøren. Hvordan dette har fordelt seg gjennom siloene, og om den reduserte TS-verdien gir et korrekt bilde av absorbert nedbør, er usikkert.

I siloene med surfôr av førsteslått ble mengde muggent og skjemt surfôr som ble kassert veid ut til 8,3 og 6,3 % av innlagt grasmengde for siloer komprimert med henholdsvis traktor og hjullaster. På TS-basis utgjorde dette 7,7 og 6,1 % av innlagt TS-mengde i gras. For andreslått var tilsvarende verdier 6,5 og 5,2 % av våt vekt, og 6,1 og 4,8 % kassert surfôr-TS av innlagt gras-TS, for siloer komprimert med henholdsvis traktor og hjullaster.

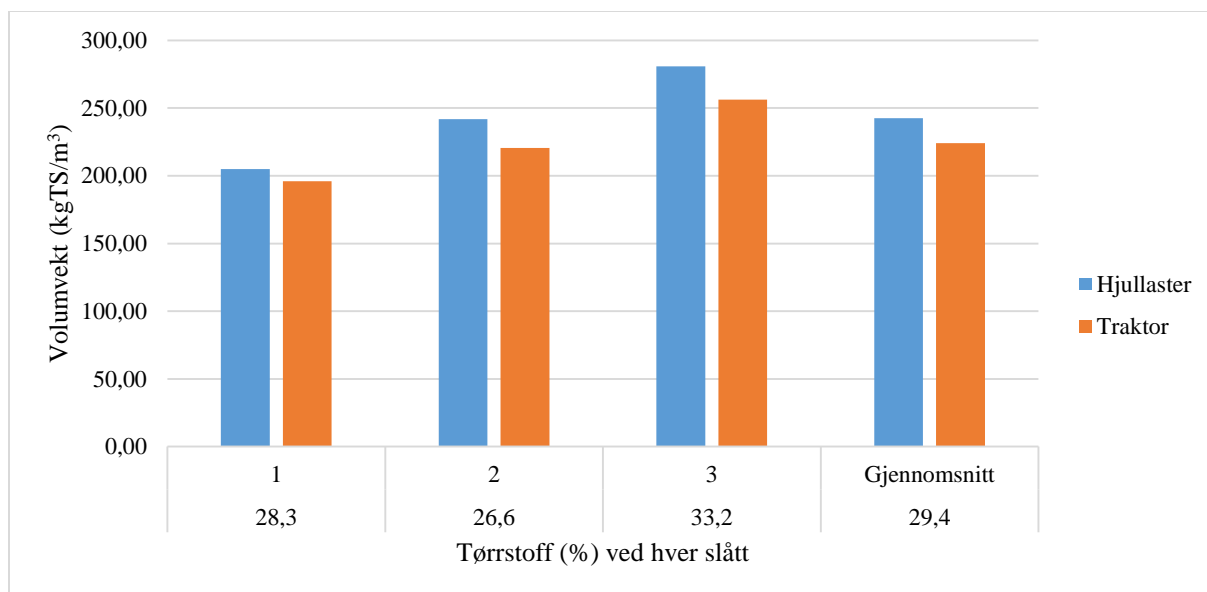
På grunn av de lavere TS-verdiene i surfôr enn i gras, ble de totale tapene i siloene med førsteslått, som var negative på våt vekt basis, beregnet til 10,8 % i traktorsiloen og 8,4 % i hjullasteren. Disse tapene utgjør summen av kassert surfôr, pressaftavrenning, respirasjon i gras

under innlegging, tap i anaerob surfôrgjæring og aerobe tap i åpen skjæreflate under uttak. De tre sistnevnte tapspostene kalles ofte de «usynlige tapene», fordi tørrstoffet forsvinner som gass, hovedsakelig CO<sub>2</sub>, og kan ikke måles i praktisk skala, kun beregnes i sum, som differanse. Tilsvarende tapsberegning i andreslått ga urimelig stor verdi for siloen komprimert med hjullaster. Dette kan delvis skyldes relativt stor forskjell i observert TS-verdi mellom gras og surfôr (2,1 %-enheter), men også at det i en kort periode var trøbbel med vektregistrering av uttatt surfôr. Totalt TS-tap i siloene fra andreslått er derfor ikke beregnet. Volumvekten var signifikant forskjellig mellom slåttene, lavest for førsteslått og høyest for tredjeslått. Volumvekten var høyest når TS % var høyest. Volumvekten var ikke lavest når tørrstoffprosenten var lavest. Forskjellen i volumvekt var størst når mengde innkjørt TS i siloene var størst. Forskjellen var minst når mengde innkjørt TS i siloene var minst.

Tabell 14. Effekt av ensileringsmetode på beregnet kassert surfôr og totalt tap i % av grastørrstoff, samt beregnet volumvekt av innlagt grastørrstoff i forhold til volum ved åpning av siloer.

		N <sup>4</sup>		Volumvekt	Kassert surfôr TS	Totalt TS tap
Metode <sup>1</sup>	Kompr. <sup>2,3</sup>	Tetting		kgTS/m <sup>3</sup>	% av innlagt gras TS	
PL	Traktor	-	3(2)(1)	224	6,9	10,8
PL	Hjullaster	-	3(2)(1)	243	5,4	8,4
RB	Svak	Rask	9(6)	123	0,2	8,9
RB	Svak	Utsatt	9(6)	122	1,2	10,2
RB	Hard	Rask	9(6)	163	0,02	6,7
RB	Hard	Utsatt	9(6)	161	0,1	9,7
PL	SEM			12,2	0,20	-
RB	SEM			7,1	0,12	2,85
<b>P-verdier:</b>						
<b>Slått</b>				0,0002	0,17	-
<b>PL vs. RB</b>				<0,0001	<0,0001	-
PL	<b>Slått</b>			0,01	0,07	-
PL	<b>Kompr.<sup>2</sup></b>			0,06	0,07	-
RB	<b>Kompr.<sup>3</sup></b>			<0,0001	0,03	0,43
RB	<b>Tetting</b>			0,43	0,054	0,23
RB	<b>Kompr.<sup>3</sup> × Tetting</b>			0,79	0,09	0,61

1. PL:Plansilo. RB:rundballer. 2. Komprimering plansilo, traktor vs. hjullaster. 3. Komprimering rundballer, svak vs. hard pressing. 4. Antall observasjoner for volumvekt, tall i parentes er antall observasjoner for henholdsvis kassert surfôr og totalt TS-tap.



Figur 14. Volumvekter for siloer pakket med traktor eller hjullaster for hver slått, samt tørrstoffinnhold for hver slått.

#### 4.5 Næringsinnhold i surfôr

Kjemisk sammensetning av surfôr med middelerverdier og standard error of mean (SEM) for hvert forsøksledd samt statistiske beregninger er gitt i tabell 15. For førsteslåttene var det signifikant høyere innhold av organisk stoff, NDF og ADF. Det var signifikant lavere innhold av råprotein, NFC, ekte protein, bufferuløselig protein og NDIP i førsteslåttene. Det var signifikant høyere innhold av NDF og NDIP i plansiloene sammenlignet med rundballene. Innholdet av råprotein var lavere for plansiloene sammenlignet med rundballene. Rask tetting av rundballene gav signifikant lavere innhold av NDF, ADF, ekte protein, bufferuløselig protein og NDIP. Rask tetting av rundballene gav signifikant høyere innhold av NFC.





Tabell 15. Effekt av ensileringsmetode på kjemisk sammensetning av surfôr, med middelerdi og SEM for hvert forsøksledd, samt p-verdier.

			N <sup>4</sup>	TS	OM <sup>5</sup>	CP <sup>6</sup>	NDF <sup>7</sup>	ADF <sup>8</sup>	ADL <sup>9</sup>	NFC <sup>10</sup>	Ekte protein	BU-protein <sup>11</sup>	NDIP <sup>12</sup>	ADIP <sup>13</sup>
Metode <sup>1</sup>	Kompr. <sup>3,4</sup>	Tetting	g/kg											
			g/kg TS											
PL	Traktor	-	12	255	912	139	569	344	39	148	63,5	59,1	24,1	6,18
PL	Hjullaster	-	12	259	911	142	566	348	38	147	64,5	60,7	25,4	6,22
RB	Svak	Rask	6	252	915	149	538	338	37	175	56,0	51,3	14,8	5,48
RB	Svak	Utsatt	6	254	910	152	567	341	37	138	72,8	70,0	26,2	6,47
RB	Hard	Rask	6	259	909	155	531	334	36	170	58,0	53,4	14,7	5,78
RB	Hard	Utsatt	6	254	912	152	559	346	39	149	71,4	68,6	25,8	5,82
1. Slått			24	250	915	143	571	357	39	147	56,9	53,8	16,5	5,99
2. Slått			24	261	907	153	538	327	37	162	71,8	67,2	27,1	5,99
PL	SEM			7,25	1,77	4,59	7,36	4,86	1,49	4,40	2,37	2,88	1,24	0,19
RB	SEM			10,26	2,51	6,50	10,40	6,87	2,11	6,23	3,36	3,23	1,75	0,27
Slått	SEM			5,41	1,33	3,43	5,49	3,62	1,11	3,29	1,77	1,71	0,93	0,15
<b>P-verdier:</b>														
Slått				0,15	0,0003	0,006	0,0001	<0,0001	0,10	0,002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,52
PL vs. RB				0,99	0,91	0,02	0,03	0,16	0,49	0,07	0,83	0,76	0,02	0,17
PL	Kompr. <sup>2</sup>			0,57	0,73	0,22	0,55	0,26	0,68	0,87	0,73	0,59	0,48	0,90
RB	Kompr. <sup>3</sup>			0,51	0,43	0,20	0,18	0,87	0,84	0,44	0,93	0,88	0,88	0,52
RB	Tetting			0,80	0,62	0,92	<0,0001	0,03	0,24	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,08
RB	Kompr. <sup>3</sup> × Tetting			0,43	0,16	0,22	0,84	0,18	0,34	0,06	0,54	0,51	0,93	0,096

1. PL:Plansilo. RB:rundballer. 2. Komprimering plansilo, traktor vs. hjullaster. 3. Komprimering rundballer, svak vs. hard. 4. Antall samleprøver. 5. Organic matter, organisk stoff. 6. Crude protein, råprotein. 7. Neutral detergent fiber, nøytraluløselig fiber løst i amylase og fri for aske. 8. Acid detergent fiber, syreløselig fiber fri for aske. 9. Acid detergent ligning, syreløselig lignin. 10. Non fiber carbohydrates, ikke-fiber karbohydrater. 11. Bufferuløselig protein. 12. Neutral detergent insoluble protein, protein bundet til NDF. 13. Acid detergent insoluble protein, protein bundet til ADF.

Beregnete næringsverdier for surfôret med middelverdier og standard error of mean (SEM) for hvert forsøksledd samt statistiske beregninger er gitt i tabell 16. For førsteslåttan var det signifikant lavere fordøyelighet, AAT, PBV, energiverdi og D-verdi enn i andreslåttan. Mellom rundballene og plansiloene var det signifikant lavere SDMI og PBV, og høyere AAT for plansiloene sammenlignet med rundballene. For siloene komprimert med traktor var det signifikant høyere beregnet AAT og tendens til høyere fordøyelighet, energiverdi, og D-verdi. Det var også tendens til lavere PBV for siloene komprimert med traktor sammenlignet med hjullaster. Det var signifikant høyere fordøyelighet, AAT og energiverdi for rundballene med svak komprimering sammenlignet med hard komprimering.

Tabell 16. Effekt av ensileringsmetode på beregnede næringsverdier for surfôr og SEM for hvert forsøksledd, samt p-verdier.

Metode <sup>1</sup>	Kompr. <sup>2,3</sup>	Tetting	OMD <sup>4</sup>	AAT <sup>5</sup>	PBV <sup>6</sup>	NEI (MJ) <sup>7</sup>	FEm <sup>8</sup>	D-verdi <sup>9</sup>	SDMI <sup>10</sup>
			%	g/kg TS		Pr. kg TS			
PL	Traktor	-	70,8	65,2	27,2	5,91	0,86	65,2	92,3
PL	Hjullaster	-	70,2	64,8	30,1	5,83	0,84	64,6	91,7
RB	Svak	Rask	70,2	64,6	37,6	5,84	0,85	64,7	96,6
RB	Svak	Utsatt	71,2	64,7	40,5	5,89	0,85	65,0	97,2
RB	Hard	Rask	69,8	64,1	44,3	5,74	0,83	63,9	97,7
RB	Hard	Utsatt	70,0	64,3	41,3	5,79	0,84	64,2	95,7
1. Slått			68,6	63,9	33,1	5,64	0,82	63,1	94,1
2. Slått			72,1	65,2	40,5	6,03	0,87	66,1	96,3
PL	SEM		0,45	0,23	4,75	0,04	0,007	0,38	0,93
RB	SEM		0,64	0,32	6,72	0,06	0,01	0,54	1,31
Slått	SEM		0,34	0,17	3,55	0,04	0,005	0,29	0,69
<b>P-verdier:</b>									
Slått			<0,0001	<0,0001	0,03	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,09
PL vs. RB			0,63	0,02	0,01	0,27	0,30	0,23	<0,0001
PL	Kompr. <sup>2</sup>		0,07	0,04	0,14	0,06	0,07	0,07	0,64
RB	Kompr. <sup>3</sup>		0,03	0,02	0,12	0,05	0,11	0,06	0,81
RB	Tetting		0,11	0,34	0,98	0,32	0,32	0,35	0,49
RB	Kompr. <sup>3</sup> × Tetting		0,29	0,74	0,22	0,89	0,91	0,98	0,20

1. PL:Plansilo. RB:rundballer. 2. Komprimering plansilo, traktor vs. hjullaster. 3. Komprimering rundballer, svak vs. hard pressing. 4. Organic matter digestibility, fordøyelighet av organisk stoff. 5. Aminosyrer absorbert i tynntarm. 6. Protein balanse i vom. 7. Nettoenergi laktasjon.

8. Fôrenhet mjôlk.9. Fordøyelig organisk stoff av tørrstoff. 10. Silage dry matter intake-index.

#### 4.6 Gjæringskvalitet

Gjæringskvalitet for surfôret med middelveier og standard error of mean (SEM) for hvert forsøksledd er gitt i tabell 17. Det var signifikant lavere pH, konsentrasjon av WSC, maursyre, propionsyre, etanol og ammoniakk-nitrogen, og høyere konsentrasjon av mjølkesyre, i plansiloene sammenlignet med rundballene. Det var tendens til høyere innhold av eddiksyre og lengre aerob stabilitet for pakking av plansilo med hjullaster i forhold til traktor. Innhold av propionsyre var signifikant høyere for rundballer med hard enn svak komprimering. Det var signifikant høyere innhold av propionsyre i rundballene med hard komprimering sammenlignet med rundballene med svak komprimering. Videre var det også tendens til lavere innhold av etanol og  $\text{NH}_3\text{-N}$  i rundballer med hard komprimering. Det var tendens til lavere pH og lenger aerob stabilitet ved rask enn utsatt innpakking av rundballer. Rundballene med både hard komprimering og rask tetting hadde tendens til lavere innhold av mjølkesyre enn andre rundballedd.



Tabell 17. Effekt av ensileringsmetode på gjæringskvalitet i surfôret med middelveidier og SEM for hvert ledd, samt statistiske beregninger.

			N <sup>4</sup>	TS	pH	WSC <sup>5</sup>	Mjølke- syre	Maur- syre	Eddik- syre	Propion- -syre	Smør- syre	Etanol	NH <sub>3</sub> -N <sup>6</sup>	Aerob - stab.
Metode <sup>1</sup>	Kompr. <sup>2,3</sup>	Tetting		g/kg					g/kgTS				g/kgN	Timer
PL	Traktor	-	12	255	3,96	20,0	73,3	6,8	10,3	1,0	0,2	2,7	68	211
PL	Hjullaster	-	12	259	3,94	15,7	70,6	6,4	11,8	0,8	0,4	2,9	67	279
RB	Svak	Rask	6	252	4,25	52,0	37,7	14,2	7,55	1,4	0,0	7,9	97	295
RB	Svak	Utsatt	6	254	4,45	45,6	30,5	13,8	11,2	1,3	0,2	7,3	92	288
RB	Hard	Rask	6	259	4,20	54,0	23,3	18,8	7,44	1,9	0,0	6,6	80	371
RB	Hard	Utsatt	6	254	4,28	46,7	35,3	15,2	8,34	1,5	0,2	6,1	71	273
PL	SEM			7,25	0,05	3,51	4,01	0,86	1,08	0,10	0,10	0,52	6,18	36,8
RB	SEM			10,26	0,06	4,96	5,67	1,21	1,52	0,14	0,13	0,74	8,74	52,0
<b>P-verdier:</b>														
<b>Slått</b>				0,77	0,007	0,004	0,13	0,27	0,68	0,003	0,60	<0,0001	0,01	0,0001
<b>PL vs. RB</b>				0,82	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,05	<0,0001	0,14	<0,0001	0,005	0,29
PL	<b>Kompr.<sup>2</sup></b>			0,57	0,53	0,37	0,63	0,23	0,08	0,14	0,25	0,75	0,89	0,08
RB	<b>Kompr.<sup>3</sup></b>			0,51	0,14	0,74	0,35	0,12	0,45	0,03	0,95	0,07	0,07	0,33
RB	<b>Tetting</b>			0,80	0,07	0,14	0,63	0,28	0,25	0,12	0,14	0,37	0,50	0,099
RB	<b>Kompr.<sup>3</sup> × Tetting</b>			0,44	0,38	0,92	0,07	0,39	0,48	0,30	0,95	0,99	0,86	0,15

1. PL: Plansilo. RB: rundballer. 2. Komprimering plansilo, traktor vs. hjullaster. 3. Komprimering rundballer, svak vs. hard pressing. 4. Antall samleprøver. 5. Water soluble carbohydrates, vannløselige karbohydrater. 6. Ammoniakk-nitrogen.

#### 4.7 Punktprøver fra silo og rundballer

Tabell 18 og 19 viser resultater over mikrobiell vekst og pH i boreprøver fra siloer og rundballer i middel for de fire prøvepunktene i plansiloene (midt, side, topp og skulder), i middel for de to prøvepunktene i rundballer (kant og midt) og i middel for alle tre slåtter. Grunnet begrenset finansiering til analyser, ble det kun analysert prøver fra ett prøveuttak per slått for siloene og rundballer åpnet på samme tid. I tillegg ble det også observert synlig mugg og skjemt surfôr i særlig skuldrene, men også på toppen av alle plansiloene. Deteksjonsnivå for gjær- og muggsopp, *Clostridium tyrobutyricum* og andre klostridier var  $<1,70 \log_{10}$  cfu/g. Middelerverdier ble beregnet ved å sette prøver der vekst ikke kunne påvises til halvparten av deteksjonsgrensen ( $0,85 \log_{10}$  cfu/g). Det ble ikke beregnet statistikk for hygieneprøver grunnet manglende normalfordeling.

Tabell 18. Effekt av ensileringsmetode på konsentrasjon av gjær- og muggsopp, samt pH – verdier. Med middelerverdier, standard error of mean (SEM) og område.

Metode <sup>1</sup>	Gjærsopp						Muggsopp			pH		
	Kompr. <sup>2</sup>	Tetting	N <sup>3</sup>	Middel	SEM	Område	Middel	SEM	Område	Middel	SEM	Område
PL	Traktor	-	12 (36)	1,74	0,54	<1,70-6,85	2,41	0,70	<1,70-7,09	4,68	0,18	3,78-8,99
PL	Hjullaster	-	12 (36)	1,04	0,19	<1,70-3,12	1,69	0,48	<1,70-5,73	4,53	0,20	3,83-7,61
RB	Svak	Rask	6 (18)	0,85	0,00	<1,70-<1,70	1,04	0,19	<1,70-2,00	4,43	0,07	3,97-5,04
RB	Svak	Utsatt	6 (18)	1,67	0,82	<1,70-5,78	1,52	0,67	<1,70-4,87	4,50	0,05	4,24-4,99
RB	Hard	Rask	6 (17)	1,20	0,35	<1,70-2,96	0,85	0,00	<1,70-<1,70	4,40	0,07	4,10-5,08
RB	Hard	Utsatt	6 (18)	0,85	0,00	<1,70-<1,70	0,85	0,00	<1,70-<1,70	4,46	0,06	4,15-4,91

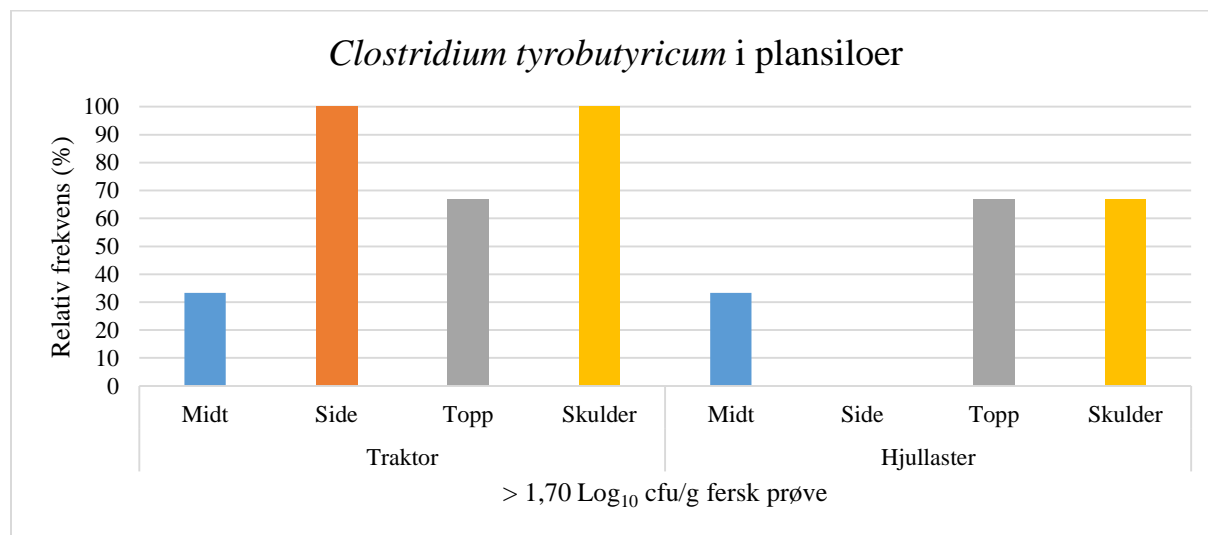
1 PL:Plansilo. RB:rundballer. 2. Komprimering. 3. Antall observasjoner, tall i parentes er antall observasjoner for pH.

Tabell 19. Effekt av ensileringsmetode på konsentrasjon av *Clostridium tyrobutyricum* og andre klostridier, med middelerverdier, standard error of mean (SEM) og område.

Metode <sup>1</sup>	<i>Clostridium tyrobutyricum</i>						Andre klostridier		
	Kompr. <sup>2</sup>	Tetting	N <sup>3</sup>	Middel	SEM	Område	Middel	SEM	Område
PL	Traktor	-	12	3,13	0,56	<1,70-6,06	1,85	0,39	<1,70-4,40
PL	Hjullaster	-	12	2,19	0,56	<1,70-5,79	1,68	0,38	<1,70-4,30
RB	Svak	Rask	6	0,85	0,00	<1,70-<1,70	0,85	0,00	<1,70-<1,70
RB	Svak	Utsatt	6	1,93	0,40	<1,70-3,16	0,85	0,00	<1,70-<1,70
RB	Hard	Rask	6	1,04	0,19	<1,70-2,00	0,85	0,00	<1,70-<1,70
RB	Hard	Utsatt	6	0,99	0,14	<1,70- 1,70	0,85	0,00	<1,70-<1,70

1. PL:Plansilo, RB:Rundballer. 2. Komprimering. 3 Antall observasjoner.

Figur 15 viser fordeling av prøveresultatene etter frekvensanalyse for *Clostridium tyrobutyricum* ulike steder i siloene pakket med traktor og hjullaster. Fisher's exact test gav ingen signifikante forskjeller mellom prøvesteder for hverken plansiloer eller rundballer. Det var i alt tre prøver fra hvert sted fra hver metode med komprimering i plansiloene. Figur 15 viser fordelingen av påviste prøver (>1,70 Log<sub>10</sub> cfu/g fersk prøve). Frekvensfordelingen av andre klostridiearter, gjær og mugg er beskrevet i teksten.

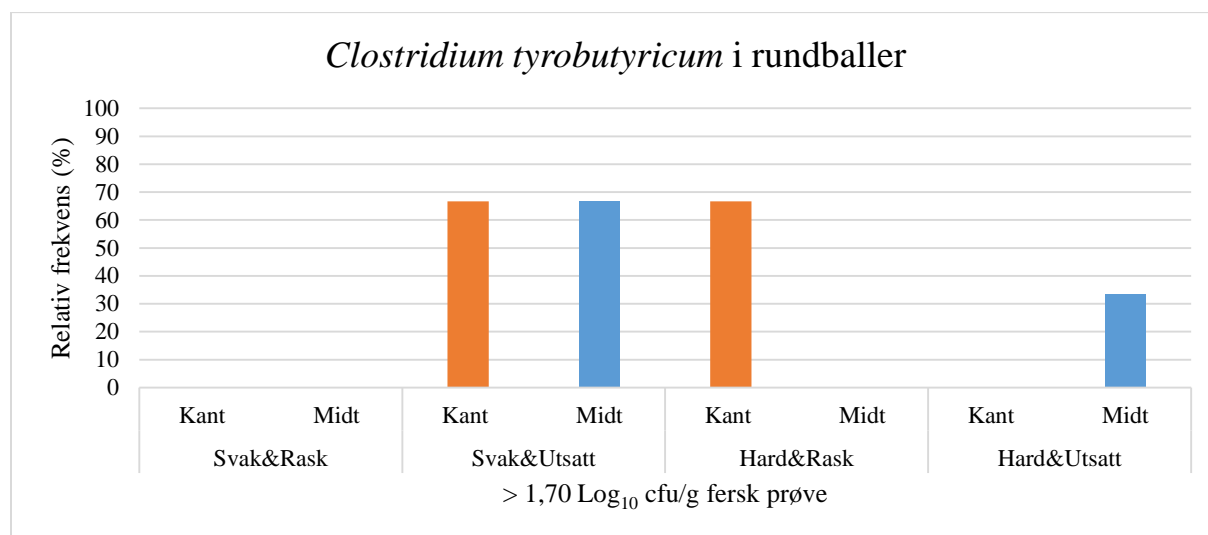


Figur 15. Fordeling av påviste prøver av *Clostridium tyrobutyricum* analysert i surfôr ulike steder i silo pakket med traktor og hjullaster.

I midten av siloene pakket med traktor ble det ikke påvist forekomst av hverken gjær- eller muggsopp eller andre klostridier. I sidene ble det påvist gjærsopp og andre klostridier i henholdsvis 33 og 67 % prøvene. Det ble ikke påvist forekomst av mugg. I toppen av siloene ble det ikke påvist gjærsopp, men muggsopp og andre klostridier ble påvist i 33 % av prøvene. I skuldrene av siloene ble det påvist gjærsopp og andre klostridier i 67 % av prøvene og muggsopp i alle prøvene.

I midten av siloene pakket med hjullaster ble det påvist forekomst av muggsopp og andre klostridier i 33 % av prøvene. Det ble ikke påvist gjærsopp. I sidene ble det ikke påvist forekomst av hverken gjær- og muggsopp eller andre klostridier. I toppen av siloene ble det påvist forekomst av andre klostridier i 33 % av prøvene. Det ble ikke påvist forekomst av gjær- eller muggsopp. I skuldrene av siloene ble det påvist gjærsopp i 33 % av prøvene. Muggsopp og andre klostridier ble påvist i 67 % av prøvene fra skulder.

Figur 16 viser fordeling av prøveresultatene etter frekvensanalyse for *Clostridium tyrobutyricum* i alle fire metodene for rundballer. Det var i alt tre prøver for hver rundballe metode, og dermed ikke mulig å finne signifikante forskjeller. Figur 16 viser fordelingen av påviste prøver (>1,70 Log<sub>10</sub> cfu/g fersk prøve). Forekomst av andre hygieniske parametere er beskrevet i teksten.



Figur 16. Fordeling av konsentrasjonen av clostridium tyrobutyricum analysert i surfôr ulike steder i rundballer.

For rundballene med svak komprimering og rask tetting ble det påvist forekomst av muggsopp i 33 % av prøvene i midten av rundballene. I prøveområdet kant ble det ikke påvist muggsopp. Det ble ikke påvist forekomst av gjærsopp eller andre klostridier på noen prøvesteder. For rundballene med svak komprimering og utsatt tetting ble det ikke påvist forekomst av gjær- og muggsopp eller andre klostridier i kantene. I midten ble det funnet forekomst av gjær- og muggsopp i 33 % av prøvene.

For rundballene i metoden hard komprimering og rask tetting ble det kun observert forekomst av gjærsopp i 33 % av prøvene, ellers var det ingen utslag. For rundballene i metoden hard komprimering og utsatt tetting ble det ikke observert gjær- og muggsopp eller andre klostridier i noen prøver.

#### 4.8 Temperatur i rundballer

Temperaturmålinger i rundballer er gitt i tabell 20. Det var ingen signifikante forskjeller mellom hard og svak komprimering. Det var en svak tendens ( $P=0,1$ ) til seinere temperaturstigning for rundballene med hard komprimering.



Tabell 20. Effekt av hard eller svak komprimering på temperaturmålinger for rundballer med utsatt tetting for alle tre slåtter.

<b>Komprimering</b>	<b>N<sup>1</sup></b>	<b>Starttemperatur</b>	<b>Maks temperatur</b>	<b>Temperaturstigning</b>
		°C	°C	°C/time
<b>Svak</b>	9	23,2	41,5	0,95
<b>Hard</b>	9	24,9	37,6	0,72
<b>1. Slått</b>	6	22,4	31,2	0,57
<b>2. Slått</b>	6	25,3	47,0	0,76
<b>3. Slått</b>	6	24,6	40,5	1,18
<b>SEM RB</b>		0,11	3,02	0,094
<b>SEM slått</b>		1,10	3,69	0,115
<b>P-verdier:</b>				
<b>Slått</b>		0,18	0,03	0,008
<b>Komprimering</b>		0,21	0,38	0,10
<b>Slått × Komprimering</b>		0,87	0,99	0,83

1. Antall observasjoner.



## 5 Diskusjon

Egne undersøkelser gikk i hovedsak som planlagt. Værforholdene var stabile og det var mulighet til å fortørke graset til om lag 25 % TS som planlagt. Store deler av tallmaterialet fra tredjeslått er ikke med i denne oppgaven som følge av forsinket uttak. Analyseresultater fra tredjeslått ville økt tallgrunnlaget og gitt bedre statistikk.

Hypotesene som skulle testes i denne oppgaven var:

1. Tyngre pakkemaskin vil resultere i høyere volumvekt ( $\text{kgTS/m}^3$ ) og som følge av dette mindre TS tap, bedre gjæringskvalitet og hygienisk kvalitet.
2. Ensilering i rundballer vil gi mindre TS tap bedre gjæringskvalitet og hygienisk kvalitet.

### 5.1 Volumvekt og komprimering

Registrerte volumvekter i egne undersøkelser viser en sterk tendens ( $P=0,06$ ) til høyere volumvekt for siloene komprimert med hjullaster. Resultatet samsvarer med litteraturen der pakkemaskinens egenvekt er en av de viktigste faktorene som bestemmer volumvekten i en plansilo (Muck & Holmes 2000; Holmes 2006; Savoie & D'Amours 2008; Hutnik & Kobiela 2012).

Flere undersøkelser angående volumvekt baserer seg på laboratorieforsøk der ulikt marktrykk er testet (Bernier-Roy et al. 2001; Muck et al. 2004; Savoie et al. 2004). Signifikant høyere volumvekt i gras- og maissurfôr ved økende marktrykk er rapportert av Bernier-Roy et al. (2001). Forsøket var med et fastmontert hjul med ulik last kjørende over fôrmassen som ble komprimert i en liten plansilo. Forfatterne undersøkte også effekten av vertikal statisk komprimering i små sylindriske siloer. I dette forsøksleddet ble det funnet at volumvekt av maissurfôr ble påvirket av komprimeringstrykket. For grassurfôr ble det ikke funnet sammenheng mellom komprimeringstrykket og volumvekt. Statiske komprimeringsforsøk er utført med gras og luserne er av Muck et al. (2004), og med mais av Savoie et al. (2004). For alle fôrvekster ble det funnet positiv korrelasjon mellom komprimeringstrykk og volumvekt. Egne undersøkelser bekreftes derved av tidligere litteraturen på sammenhengen mellom marktrykk og volumvekt. Ved hjelp av litteraturen kan høyere volumvekt i surfôret pakket med hjullaster funnet i egne undersøkelser forklares ved at høyere marktrykk gir større volumvekt i surfôret.

Marktrykket er påvirket av pakkemaskinens akselvekt, lufttrykk og dekkenes bæreflate (Hamza & Anderson 2005; Håkansson 2005). Forskjellen i volumvekt mellom pakkemaskinene kan også delvis skyldes mønsteret i dekkene som antydnet av Muck og Holmes (2000). Forfatterne fant signifikant korrelasjon mellom slitte traktordekk og økt volumvekt. I egne undersøkelser hadde dekkene på hjullasteren mindre mønsterdybde enn traktordekkene.

Studier av volumvekt i fullskala plansiloer er utført med spørreundersøkelser og uttak av kjerneprøve for å bestemme volumvekt av plansiloer på flere ulike gårder (Muck & Holmes 2000; Savoie & D'Amours 2008). Forannevnte litteratur har ikke undersøkt sammenhengen mellom marktrykk og volumvekt, men undersøkt flere faktorer tilknyttet praksisen rundt innlegging og uttak og vekt av pakkemaskiner. Egne undersøkelser har beregnet volumvekt på tilsvarende måte som Ruppel et al. (1995), med fullstendig veiging av fôrmassen og flere analyser av tørrstoff, samt måling av siloenes volum.

Observerte volumvekter i plansilo i egne undersøkelser er i tråd med andre observasjoner i fullskala (Darby & Jofriet 1993; Muck & Holmes 2000; Savoie & D'Amours 2008; Koehler et al. 2013). Registrerte volumvekter i egne undersøkelser var i midtre til nedre sjikt sammenlignet med observasjonene fra Nord-amerikanske studier. Dette kan ha sammenheng med at tørrstoffinnholdet i egne undersøkelser også er relativt lavt sammenlignet med disse. Som følge av relativt lavt tørrstoffinnhold i egne undersøkelser vil da også volumvekten være relativt lav. I et forsøk fra Tyskland (Koehler et al. 2013) var tørrstoffinnholdet i surfôr av gras tilsvarende tørrstoffinnholdet i egne undersøkelser. Koehler et al. (2013) rapporterte en gjennomsnittlig volumvekt som var noe lavere enn egne undersøkelser.

En annen årsak til lavere volumvekt i egne undersøkelser enn i litteraturen kan være at pakkemaskinenes vekt var lavere enn i litteraturen. I mange av forsøkene er ikke pakkemaskinens vekt oppgitt. Darby og Jofriet (1993) rapporterte om bruk av pakkemaskiner med 20 tonn totalvekt i undersøkelser i USA allerede i 1990. Videre kan kuttinga av fôret ha vært dårligere enn i nyere litteratur. Konstruksjonen av siloene i egne undersøkelser kan ha begrenset pakkingen i forhold til andre forsøk. Siloene var relativt smale og uten gjennomkjøring, som umuliggjorde pakking under tipping av lass. I tillegg kan det ha vært vanskelig å pakke innerst i siloen og mot veggene. Eksempelvis målte Tan et al. (2017) lavere komprimeringsstrykk innerst i siloen mot endeveggen. Norske forsøk i plansilo (Gjestang et al.

2004; Randby 2005a) fant lavere volumvekter sammenlignet med egne undersøkelser. Disse forsøkene er utført for en tid tilbake, og i mange tilfeller var pakkemaskinen som ble anvendt til komprimering betydelig lettere enn begge maskinene brukt i egne undersøkelser. I feltundersøkelsen av Gjestang et al. (2004) ble det også rapportert om bruk av lessevogn på enkelte bruk. Volumvektene i egne undersøkelser var likevel innenfor anbefalingene til Spiekers et al. (2009). Variasjon i volumvekt ulike steder innad i plansiloene som registrert i litteraturen (Savoie & D'Amours 2008; Craig et al. 2009) ble ikke undersøkt eller forsøkt beregnet i egne undersøkelser, og er derfor vanskelig å si noe om. Likevel kan det nevnes at under prøvetaking og bedømmelse av siloene ble det observert tettere masse i midten av siloene og løsere masse på toppen og i skuldrene. Under uttak av surfôr med hydraulisk blokkuttaker ble det også rapportert at det trengtes mer skjærekraft under uttak av surfôrblokker fra siloene komprimert med hjullaster.

Tørrstoffinnholdet i egne undersøkelser ligger i nedre sjikt av observert tørrstoffinnhold i utenlandske studier av ensilering i plansilo. I en undersøkelse av tolv mjølkebruk i New York, USA, fant Ruppel et al. (1995) et tørrstoffinnhold mellom 26 og 55 % med middelvei 39 % i plansiloer med surfôr av gras og luserne. I en undersøkelse av volumvekt i 168 plansiloer med surfôr av luserne og mais i Wisconsin, USA fant Muck og Holmes (2000) en variasjon fra 24 til 67 % TS med gjennomsnitt 42 % TS i siloer med luserne. For surfôr av mais var gjennomsnittsverdien 34 % TS og spredningen 25-46 % TS. Koehler et al. (2013) utførte forsøk for å bestemme tørrstofftapet under ensilering av gras, mais og luserne i plansilo i Freising, Tyskland. Middelveier for tørrstoffinnhold for surfôr av gras og luserne var 32 % og verdiene varierte mellom 22 og 50 %. For surfôr av mais var middelveien for tørrstoffinnhold målt til 36 % og varierte fra 29 til 45 %. Tørrstoffinnholdet i norske undersøkelser av Gjestang et al. (2004) var på 25-30 %.

Praktiske anbefalinger (Muck 2011; Kristensen & Schmidt 2013) for best mulig komprimering i plansilo indikerer optimalt tørrstoffinnhold til å være fra 30 til 40 %. Gras med over 35 % tørrstoff vil være vanskeligere å pakke i en plansilo (Kristensen & Schmidt 2013) og gi relativt høye tap i form av respirasjon under fortørking og mekaniske tap under høsting (Mo 2005). Som tidligere nevnt (kapittel 2.2) er det også ulemper med for mye fortørking. Gras med tørrstoffinnhold under 25–30 % vil kunne gi produksjon av pressaft. Produksjon av pressaft øker

tørrstofftapet og gir økt behov for oppsamling og håndtering. Sammen med norske forsøk tyder anbefalinger, og hensynet til minimering av tørrstofftap ellers i ensileringsprosessen, til at tørrstoffinnholdet i surfôret i egne undersøkelser kan være hensiktsmessig under norske forhold. Volumvekten var som forventet høyest når tørrstoffinnholdet var høyest (figur 14), men den var ikke lavest når tørrstoffinnholdet var lavest (i andreslått). Høyere fiberinnhold (tabell 9), senere fenologisk utviklingstrinn og mer stengel i førsteslått enn andreslått kan ha gjort dette graset vanskeligere å komprimere (McGechan 1990). Videre kan årsaken til høyere volumvekt i graset fra andreslått (som var våtest) skyldes at graset har blitt pakket mer av egen grasmasse (selvpakking) som følge av høyere vanninnhold og dermed høyere vekt (Muck et al. 2003).

Simuleringer i Terranimo (2018) antyder over dobbelt så høyt maksimalt marktrykk på bakakslingen på hjullasteren sammenlignet med bakakslingen på traktoren. Høyere akselvekt og mindre kontaktflate vil ifølge litteraturen utføre større belastning på underlaget og dermed øke komprimeringen av underlaget (Hamza & Anderson 2005; Håkansson 2005). Resultatet av simulering av jordpakkingen i egne undersøkelser bekreftes dermed av tidligere funn i litteraturen. Dersom graset legges i 20 cm tykke lag under pakking, vil traktoren kun pakke det siste laget som er lagt. Hjullasteren vil derimot kunne komprimere også forrige lag av gras i siloen. I tillegg til å gi bedre komprimering, kan det også tenkes at hjullasteren ved hjelp av høyere marktrykk og større egenvekt også har noe større kapasitet til å pakke og jevne større grasmasser per tidsenhet. Programmer og verktøy som beskriver jordpakking kan være et aktuelt hjelpemiddel til valg av utstyr som skal brukes til komprimering i plansilo. Det er mulig å eksperimentere med ulik vekt per hjul, ulike dekktrykk, samt mange ulike typer og størrelser av dekk. Det bør være mulig å kompensere for lettere pakkemaskin med smalere dekk og høyere luftrykk, samt lenger tid til pakking (flere passeringer) og legging av grasmassen i tynnere sjikt.

Tan et al. (2017) undersøkte sammenhengen mellom marktrykk og gjæringskvalitet under ensilering av mais i en fullskala plansilo pakket med bulldoser (med belter) i Tekirdag, Tyrkia. Egenvekten var 13700 kg og total bæreflate var 2,03 m<sup>2</sup>. Gjennomsnittlig marktrykk for tre målesteder fra 0,5 til 1,5 m over silogulv ble målt til 38 kPa. Total vegghøyde i siloen var 2,25 m. Sammenlignet med egne undersøkelser hadde traktor og hjullaster ved 0,5 m dybde et marktrykk på henholdsvis ca. 30-40 og 50-60 kPa. Simuleringen i egne resultater var antagelig ikke like nøyaktige som faktiske målinger i felt av Tan et al. (2017). Forsøket av Tan et al.

(2017) gir en svakere komprimering enn estimert for hjullasteren i egne undersøkelser, og omtrent samme komprimering som traktor i egne undersøkelser. Svakere komprimering i forsøket til Tan et al. (2017) enn hjullasteren i egne undersøkelser kan skyldes at maskinen i dette forsøket hadde lavere egenvekt enn hjullasteren og betydelig større bæreflate enn begge maskinene brukt i egne undersøkelser.

Volumvekten var som forventet signifikant lavere i rundballene sammenlignet med plansiloene. Det er bred enighet i litteraturen at volumvekten av rundballer oftest er lavere enn surfôr pakket i plan- eller stakksilo (Bernardes et al. 2018).

## **5.2 Tørrstofftap**

Det var ingen signifikante forskjeller i observert totalt tørrstofftap mellom alle metodene (plansilo pakket med hjullaster og traktor, og rundballer presset løst eller hard, og pakket raskt eller forsinket) i egne undersøkelser. Videre var det numerisk høyere tørrstofftap i siloene pakket med traktor sammenlignet med siloene pakket med hjullaster. På grunn av feil med vektregistreringene ble andreslått utelatt. Med tallmateriale kun fra førsteslått er datamaterialet for lite for å oppnå sikre forskjeller mellom komprimering med traktor og hjullaster. Derfor er det vanskelig å bruke dette forsøket til å teste del-hypotesen om lavest tørrstofftap ved komprimering med hjullaster.

Det totale tørrstofftapet for ensilering i plansilo ligger innenfor samme område som er observert tidligere i litteraturen (Ruppel et al. 1995; Rotz et al. 2003; Koehler et al. 2013). Tapene var relativt lave i forhold til tidligere forsøk (Ruppel et al. 1995; Rotz et al. 2003), men samtidig noe høyere enn de laveste tapene observert i litteraturen (Koehler et al. 2013; Robinson et al. 2016). I en studie av 26 plansiloer på ulike gårder fant Koehler et al. (2013) at i over 50 % av siloene var tørrstofftapet under 8 %. Forfatterne forklarte de lave tapene med god ensileringspraksis og relativt høy uttakshastighet på gårdene i studien. I samme studie ble det funnet signifikant negativ korrelasjon mellom uttakshastighet og tørrstofftap. Høyere uttakshastighet gav lavere tørrstofftap. I denne studien var uttakshastigheten større enn i egne undersøkelser.

Gjennomsnittlig uttakshastighet i egne undersøkelser er i tråd med anbefalingene for uttak av surfôr vinterstid, og litt under anbefalingene for sommerstid (Pitt & Muck 1993; Vissers et al. 2007; Bernardes et al. 2018).

De signifikante forskjellene og tendensene når det gjelder andelen kassert surfôr var som forventet. Det var tendens til lavere andel kassert surfôr i siloene komprimert med hjullaster enn med traktor. Det er svært få andre forsøk som har rapportert andel kassert surfôr, men Spörndly og Nylund (2017) fant i gjennomsnitt for 12 plansiloer 3,4 % kassert grassurfôr TS. Andelen kassert surfôr i egne undersøkelser ligger høyere sammenliknet med Spörndly og Nylund (2017).

Det var signifikant større andel kassert surfôr i plansiloene sammenliknet med rundballene. Egne undersøkelser er i tråd med Spörndly og Nylund (2017), som rapporterte om lavere andel kassert surfôr i rundballer sammenliknet med plansiloer. Disse resultatene må ses i sammenheng med punktprøvene som var analysert for hygienisk kvalitet. Større andel kassert surfôr som følge av synlig mugg og skjemt surfôr skyldes at surfôrmassen i plansiloene har hatt større tilgang på luft sammenliknet med rundballene (McDonald et al. 1991; Pahlow et al. 2003). Andelen kassert surfôr var signifikant lavere i rundballene med sterk komprimering. Videre var det en sterk tendens ( $P=0,054$ ) til lavere andel kassert surfôr for rundballene med rask tetting. Som følge av lavere andel kassert surfôr ved hard komprimering og rask tetting, var det en tendens til lavest andel kassert surfôr i de optimale rundballene (hard komprimering og rask tetting). Lavest totalt TS-tap kan antydes å være for rundballemetoden med hard komprimering og rask tetting (de optimale rundballene).

Uten signifikante forskjeller er det vanskelig å konkludere. For å oppnå eventuelle signifikante forskjeller vil det være nødvendig med flere målinger og færre feilkilder. Antallet observasjoner var relativt få, med eksempelvis bare en observasjon per metode for plansiloene. Samtidig inkluderer de fleste andre forsøk observasjoner fra ulike gårder (Ruppel et al. 1995; Koehler et al. 2013; Robinson et al. 2016) med avlinger med ulik botanisk sammensetning, utviklingstrinn, kuttelengde og tørrstoffinnhold. Dermed kan det antas at enkeltmålingene av tørrstofftap fra egne undersøkelser også er relevante for bestemmelse av totalt tørrstofftap i plansiloer. Bestemmelse av totalt tørrstofftap i forsøkene av Ruppel et al. (1995) og Koehler et al. (2013) er beregnet på samme måte som i egne undersøkelser, ved fullstendig inn og utveiing av henholdsvis gras- og surfôrmassen i hver silo kombinert med tørrstoffanalyser. I forsøket av Robinson et al. (2016) ble det anvendt nedgravde nylonposer i fôrmassen under innlegging, kombinert med tørrstoffanalyser og veiing av surfôret under uttak for bestemmelse av tørrstofftap. Feilkilder i egne undersøkelser kan være lite representative uttak av prøver til tørrstoffanalyse, unøyaktig



veiling av gras eller surfôr, og regnvann som har trengt inn i surfôret i plansiloene. Regnvannet kan ha ført til underestimert av tørrstoffinnholdet i surfôret.

### **5.3 Næringsinnhold og gjæringskvalitet i surfôr**

Surfôret høstet og ensilert under alle tre slåtter var av tilsvarende botanisk sammensetning, næringsinnhold og næringsverdi som surfôr høstet i Norge rapportert av Steinshamn et al. (2016). Resultatene i egne undersøkelser er dermed relevante for surfôrproduksjon på norske gårdsbruk. Med hensyn til forsøksspørsmålet er det gunstig at tørrstoffinnholdet i surfôret ikke var signifikant forskjellig for de to første slåttene, da tørrstoffinnholdet påvirker porøsiteten og komprimeringen av grasmassen og dermed volumvekten og oksygeninnslippet (Ruppel et al. 1995; Muck & Holmes 2000; Bernier-Roy et al. 2001; Holmes 2006; Holmes & Muck 2008; Tan et al. 2017).

Næringsinnholdet og gjæringskvaliteten i gras og surfôr viser som forventet en forskjell mellom slåttene. I løpet av ensileringsprosessen har det som forventet vært en nedbrytning av noe sukker og protein. Forskjellen i næringsinnhold var signifikant mellom 1. og 2. slått i surfôret for alle parametere med unntak av tørrstoffinnhold, ADL og ADIP. Litt bedre fordøyelighet, energi- og proteinverdi (AAT) i siloene komprimert med traktor kan skyldes økt tap av pressaft i siloene pakket med hjullaster. Tilsvarende resultat gjelder også for rundballene med hard og svak komprimering. Ifølge Muck et al. (2003) kan overflødig komprimering av fuktig gras føre til økt tap av næringsstoff gjennom pressaft. Forskjellene i fordøyelighet, energi- og proteinverdi (AAT) var likevel relativt små. Gjennom hele uttaksperioden, i alle fire siloer, var det en liten, men kontinuerlig strøm av pressaft, til tross for at graset innlagt i siloene var over 26 % TS, hvor vi normalt sett forventer svært liten avrenning fra plansiloer.

Gjæringskvaliteten (tabell 17) for alle ledd var stort sett innenfor kravene for god gjæringskvalitet til et surfôr med TS-innhold under 25 % (Eurofins 2018). Allikevel var det enkelte ledd som ikke var innenfor kravene. I rundballene var pH-verdien noe høy og innholdet av mjølkesyre noe lavt i forhold til kravene. Rundballene med svak komprimering hadde for høyt innholdet av ammoniakk-nitrogen og for lavt innhold av eddiksyre. Innholdet av propionsyre var for lavt i forhold til kravene for surfôr tilsatt ensileringsmiddel med propionsyre for alle metoder. Dette skyldtes antagelig analysefeil (for lave verdier for propionsyre), siden forholdet mellom

maursyre og propionsyre var vesentlig høyere enn forholdet mellom syrene i det tilsatte ensileringsmidlet.

Det var en tendens til høyere innhold av eddiksyre og lengre aerob stabilitet i siloen pakket med hjullaster sammenlignet med rundballene. Udissosierte, kortkjedede fettsyrer som eddiksyre kan hemme soppvekst i surfôr under oksygentilgang (McDonald et al. 1991; Pahlow et al. 2003), og dermed bedre den aerobe stabiliteten. Positiv korrelasjon mellom eddiksyre og aerob stabilitet er rapportert av Ohyama et al. (1980) og Wilkinson og Davies (2013). Eddiksyre og propionsyre er mindre dissosierte og vil hemme gjær- og muggsopp bedre enn mjølkesyre (Wilkinson & Davies 2013). Større konsentrasjon av eddiksyre sammenlignet med propionsyre kan også komme av metabolisme fra heterofermentative mjølkesyrebakterier (McDonald et al. 1991). Tendens til høyere innhold av eddiksyre og numerisk lavere innhold av mjølkesyre kan ifølge Pahlow et al. (2003) være som følge av tilgang på oksygen i siloen pakket med hjullaster. Til sammenligning fant Brüning et al. (2017) numerisk høyere innhold av eddiksyre ved hard komprimering i forsøk med surfôr av mais ensilert i 120 liters beholdere med ulik komprimering.

Gjæringskvaliteten var ikke signifikant forskjellig mellom metodene for komprimering i plansilo. I litteraturen er det få forsøk som omhandler komprimering og gjæringskvalitet som kan sammenlignes med egne undersøkelser. Tan et al. (2017) indikerte at økende komprimering av maissurfôr i plansilo gav bedre parametere for gjæringskvalitet. Resultatene i denne undersøkelsen samsvarer med forsøket av McEniry et al. (2007) med laboratoriesiloer, der det med unntak av pH ikke ble funnet signifikante forskjeller i analyserte gjæringsprodukter når det gjaldt komprimering. I laboratoriesiloene var tettingen mot oksygen perfekt. Det er vanskelig å tro at plansiloene i egne undersøkelser har hatt samme grad av tetthet mot oksygen som gasstette laboratoriesiloer. Samtidig kan det være at store deler av surfôret i plansiloene har vært godt tettet mot oksygen. I de utsatte områdene (topp og skulder) av plansiloene kan det ha vært annerledes.

Bedre aerob stabilitet ved komprimering med hjullaster kan også skyldes mer fremvekst av enterobakterier i dette surfôret. Enterobakterier kan forbedre den aerobe stabiliteten til grassurfôr (Wilkinson & Davies 2013). Samtidig kan disse organismene også produsere eddiksyre (Pahlow et al. 2003). Bedre aerob stabilitet kan også skyldes den sterke tendensen til høyere volumvekt i siloene komprimert med hjullaster gjennom at grasmassen blir mindre porøs og dermed mindre

permeabel for oksygen (Savoie & Jofriet 2003; Wilkinson & Davies 2013). Samtidig var prøvene som ble testet for aerob stabilitet løsrevet før testing, så volumvekt spiller antagelig ikke direkte inn i dette tilfellet. Et samspill mellom effektene nevnt over kan forklare tendensene til forskjell i eddiksyreinnhold og testet aerob stabilitet mellom metodene for komprimering i plansilo.

Uansett hva som er årsaken til mer eddiksyre i siloene komprimert med hjullaster kan høyere innhold av eddiksyre ved denne metoden ha vært en årsak til bedre aerob stabilitet.

De små forskjellene i gjæringskvalitet mellom plansiloene kan skyldes at forskjellen i volumvekt mellom metodene ikke er stor nok til å ha betydning for gjæringskvaliteten. Det kan være en antydning til at volumvekten i begge siloer var høy nok, slik at det ikke slapp særlig oksygen inn. Plasttildekkingen kan ha vært god og ikke gjort volumvekten like avgjørende for utestenging av oksygen i surfôrmassen. Videre kan det også ha vært slik at de store surfôrmengdene har vært godt beskyttet mot luft, og det er denne mengden i hovedsak prøvene for kjemisk innhold og gjæringskvalitet representerer. For de utsatte punktene hvor det ble tatt punktvis prøver til analyse av hygienisk kvalitet kan situasjonen ha vært annerledes. Her kan det i siloene komprimert med traktor ha vært noe mer lufttilgang som følge av dårligere komprimering enn hjullaster.

Signifikant lavere pH og innhold av WSC, og høyere innhold av mjølkesyre i plansiloene sammenlignet med rundballene kan delvis forklares med effekten av bedre kutting og komprimering i plansiloene enn i rundballene. Som følge av redusert gjæringsintensitet var SMDI høyere for rundballene. Bedre kutting og komprimering vil frigjøre næringsrik plantesaft, øke fermenteringshastigheten, fremme mjølkesyregjæring og gi en redusert pH (Seale et al. 1982). Det er få forsøk som sammenligner surfôr fra rundballer og finsnittet surfôr i plansilo (Coblentz & Akins 2018), og enda færre som sammenligner surfôr med samme tørrstoffinnhold. Egne undersøkelser er i tråd med forsøk av Nicholson et al. (1991), som fant i surfôr av luserne med en tørrstoffprosent på 61 %, lavere pH og innhold WSC, samt tre ganger høyere innhold av mjølkesyre i finsnittet surfôr sammenlignet med rundballer. I forsøk med sammenligning av to typer rundballepresser med ulik kutting (fôrhøster- og pickup med knivbru), fant Randby og Kjus (1989) kraftigere gjæring i fôrhøsterpressa, som hadde bedre knusing og kutting av grasmaterialet. I dette forsøket var tørrstoffinnholdet 19,7 % for begge metodene.

McEniry et al. (2006) undersøkte forskjellen i gjæringskvaliteten mellom finsnittet surfôr i plansiloer og rundballer på gårder med mjølkeproduksjon i Irland, og fant lavere pH, høyere innhold av mjølkesyre og lavere innhold av WSC i surfôret ensilert i plansilo. I det forsøket var surfôret fra rundballene atskillig tørrere enn surfôret fra plansiloene (360 og 220 g/kg). Forfatterne forklarer den mer restriktive fermenteringen i rundballene med høyere tørrstoffinnhold i rundballene. I egne undersøkelser ble det funnet signifikant høyere innhold av etanol og ammoniakk-nitrogen i rundballene sammenlignet med plansiloene. Høyere innhold av etanol kan skyldes større aktivitet fra heterofermentative mjølkesyrebakterier i rundballene enn i plansiloene (Pahlow et al. 2003). Høyere konsentrasjon av ammoniakk-nitrogen kan også skyldes et høyere innhold av enterobakterier i rundballene i forhold til plansiloene (Pahlow et al. 2003; McEniry et al. 2006). Egne undersøkelser strider med resultatene til McEniry et al. (2006), der det ble funnet signifikant høyere etanolinnhold i plansiloene og ingen forskjell i konsentrasjonen av ammoniakk-nitrogen. Det var særlig mellom svakt pressede rundballer og plansiloer at forskjellen i etanolinnhold og ammoniakk-nitrogen var tydelig i egen undersøkelse. Hardt pressede rundballer kom i en mellomstilling.

Lavere pH verdi i kuttet surfôr ble også observert av McEniry et al. (2007) der det blant annet ble undersøkt effekten av kutting og komprimering av lab-siloer. I samme forsøk ble det også observert lavere konsentrasjoner av ammoniakk-nitrogen og etanol i kutta surfôr. Dette er i tråd med signifikant lavere innhold av etanol og ammoniakk-nitrogen i plansiloene sammenlignet med rundballene i egne undersøkelser. Det er anerkjent at den relativt lange kuttelengden i surfôr av rundballer begrenser omfanget og graden av gjæringa (Muck et al. 2003; Coblenz & Akins 2018). Det kan også tenkes at bedre kutting og komprimering vil blande grasmassen og gi en bedre fordeling av mjølkesyrebakteriene og dermed stimulere mjølkesyregjæringa som beskrevet av McDonald et al. (1991). Egne undersøkelser synes å være i tråd med denne litteraturen.

Dessverre ble doseringen av ensileringsmiddel høyere for rundballene sammenlignet med plansiloene. Doseringsutstyret for ensileringsmiddel på rundballepressa var innstilt slik at dosering per rundballe ble tilpasset automatisk over tid. Ved pressing av kun 4 rundballer, og vekselvis kjøring med høyt og lavt kammertykk ble denne tilpasningen spesielt vanskelig. Samtidig var det ikke lett å kontrollere forbrukt mengde ensileringsmiddel på enkeltballer når ensileringsmiddelet var på 200 liters fat. I forhold til målsettingen om 4l/tonn i både siloer og

baller, ble oppnådd dosering i ballene for høy. Samtidig ble doseringen litt lav i plansiloene, fordi høstekapasiteten var stor i forhold til hvor mye mengde dysen på syreutstyret kunne gi. Forskjeller i gjæringskvalitet mellom plansiloer og baller skyldes nok i stor grad forskjellen i tilsatt mengde ensileringsmiddel. Det signifikant lavere innholdet av maursyre og propionsyre i plansiloene enn i rundballene kan skyldes den lavere doseringen av ensileringsmiddel i plansiloene i forhold til rundballene. Forskjellen i tilsetningen av ensileringsmiddel gjør det samtidig vanskelig å sammenligne plansiloene og rundballene, og som følge av dette er ikke forsøket er ikke egnet til å teste hypotese nummer 2. Lavere innhold av propionsyre i plansiloene strider med resultatet fra forsøk av McEniry et al. (2006) der det ble funnet høyere konsentrasjon av propionsyre i surfôr fra rundballer sammenlignet med finsnittet surfôr. Som følge av større dosering av maursyre og propionsyre i form av ensileringsmiddel i rundballene har gjæringsintensiteten blitt redusert i forhold til plansiloene. Det kan ha oppstått en hydrolyse av polysakkarider i løpet av lagringsperioden (McDonald et al. 1991). Dette kan forklare høyere innhold av WSC i surfôret fra rundballene enn i graset som ble høstet. Effekten av propionibakterier i surfôr er lite undersøkt og det kan være andre bakterier i surfôret som produserer propionsyre (Pahlow et al. 2003). I egne undersøkelser var tørrstoffinnholdet likt i plansiloene og rundballene, dette var med hensikt, for å kunne sammenligne plansiloene med rundballene. Samtidig er det viktig å ta i betraktning at det er vanlig i praksis, at rundballer ensileres med et høyere tørrstoffinnhold enn plansiloer (Coblentz & Akins 2018). Som følge av høyere tørrstoffinnhold vil gjæringsintensiteten reduseres i rundballene. Dette er for eksempel vist i forsøket til McEniry et al. (2006). Det kan dermed tenkes at sammenligningen av rundballer og plansilo i egne undersøkelser ikke nødvendigvis er relevant for praktisk ensilering. Fordelene som rundballene har som følge av høyere tørrstoffinnhold kommer ikke fram i dette forsøket. For eksempel vil rundballer med høyere tørrstoffinnhold ha ingen produksjon av pressaft, mindre plastforbruk og transportkostnader sammenlignet med rundballer med lavt tørrstoffinnhold.

#### **5.4 Hygienisk kvalitet**

Figur 15 viser flere tilfeller der det for plansiloene pakket med traktor var større frekvens av prøver med påviste smørсыresporer, og tabell 18 viste høyere middel og maksverdier. Dette kan ses i sammenheng med høyere andel kassert surfôr i siloene pakket med traktor. Gjennomsnittlig antall bakteriesporer er litt høyt i forhold til kravene til Vissers et al. (2006), og etter disse

anbefalingene bør det settes in tiltak ved fôring til mjølkekyr. Tilsvarende resultater ble rapportert i en undersøkelse av åtte plansiloer med maissurfôr i Nederland av Vissers et al. (2007), der det ble funnet signifikant høyere konsentrasjon av gjær- og muggsopp og smørсыresporer i overflaten sammenlignet med kjernen av surfôrmassen. I samme studie av Vissers et al. (2007) ble det også undersøkt konsentrasjonen av smørсыresporer i grassurfôr fra 21 plansiloer i Nederland. Her ble det ikke funnet signifikante forskjeller i konsentrasjon av smørсыresporer ulike steder i siloene. I grassurfôret ble det funnet signifikant høyere konsentrasjon av gjær- og muggsopp i overflaten sammenlignet med resten av surfôrmassen.

Vissers et al. (2007) rapporterte også om synlig mugg og skjemt surfôr i siloenes overflate. Dette ble også observert til dels på toppen og særlig i skuldrene i siloene i egne undersøkelser. Vissers et al. (2007) fant også signifikant høyere konsentrasjon av smørсыresporer i steder med synlig mugg. Høyere konsentrasjoner av gjær- og muggsopp og smørсыresporer i overflaten av siloene forklares av forfatterne med lavere volumvekt og dermed lettere infiltrasjon av oksygen. Dette kan da også antas at gjelder for egne undersøkelser. Som følge av tendens til lavere volumvekt i siloene pakket med traktor hadde surfôret en antydning til større maksimalverdier i konsentrasjonen av mugg- og gjærsopp. Tilsvarende resultater ble rapportert av Tan et al. (2017), som fant signifikant høyere innhold av gjærsopp i områder av siloen der trykket var målt til å være lavest. Forfatterne fant også signifikant korrelasjon mellom konsentrasjonene av gjærsopp og muggsopp i maissurfôret. Det ble observert fuglehakk i plastdekket på alle siloer, men det var kun i siloen med andreslått pakket med traktor at det var hull helt igjennom til surfôret. Selv om hullet ble tettet raskt etter det ble observert, kan det ha påvirket ensileringen i denne siloen. Hullet gjennom hele plastdekket kan ha bidratt til dårligere hygienisk kvalitet i siloene pakket med traktor. Dette kan være en del av forklaringen til at siloene pakket med traktor hadde antydning til høyere forekomst av mugg enn de andre metodene.

Prøvene for hygienisk kvalitet ble tatt i skjæreflaten under uttak av siloen. Det kan tenkes at disse prøvene av overflaten, som var eksponert for oksygen, vil ha en dårligere kvalitet enn lenger inne i siloen. Likevel er det de ytterste prøvene som var mest interessante, da de var fra det faktiske fôret som gis dyra. Prøvene tatt ut til analyse for hygienisk kvalitet var punktvis prøver, og representerer en svært liten andel av den totale surfôrmengden. Skuldrene og toppen av siloene utgjør også en liten del av den totale surfôrmassen. Likevel kan små partier med surfôr

med svært høye konsentrasjoner være hovedkilden til smørsyresporer i den endelige rasjonen som føres til dyret. Dette var rapportert av Vissers et al. (2007), der den gjennomsnittlige konsentrasjonen i den ferdig blandete fôrrasjonen (med fullfôrmikser) var signifikant høyere enn gjennomsnittskonsentrasjonen i kjernen og overflatelaget i siloene. Lignende resultater ble også rapportert av Cogan et al. (2017), der det ble funnet større antall av enterobakterier, gjær- og muggsopp i den ferdig blandete rasjonen (med fullfôrmikser) sammenlignet med surfôret i siloene.

Den hygieniske kvaliteten var som forventet noe dårligere i plansiloene enn i rundballene, noe som også kan ses i sammenheng med signifikant større andel kassert surfôr i plansiloene. Grunnet manglende statistikk for punktprøvene fra plansiloer og rundballer var det kun mulig å antyde forskjeller. Gjennomsnittlig konsentrasjon av gjærsopp kan ikke sies å være forskjellig mellom metodene. Konsentrasjonen av sporer av *Clostridium tyrobutyricum* var numerisk høyere for plansiloene enn for rundballene, og spredningen var større. I flere av metodene for rundballer ble det ikke påvist hverken smørsyresporer eller andre klostridier. Dette strider med funnene av McEniry et al. (2006) som fant høyere innhold av klostridiesporer og gjærsopp i surfôr fra rundballer sammenlignet med plansiloer. I det forsøket var imidlertid rundballene tørrere enn plansiloene. Forfatterne forklarte denne forskjellen med dårligere tetting og høyere pH i rundballene enn i plansiloene. Mindre forekomst av gjær- og muggsopp, og svært lite forekomst av smørsyresporer og andre klostridier i rundballene sammenlignet med plansilo i egne undersøkelser kan skyldes bedre utestenging av oksygen i rundballene. Dette synliggjøres av rundballene med svak komprimering og utsatt tetting. Denne metoden har større variasjon i konsentrasjon og flere prøver med påvist innhold av gjær- og muggsopp og smørsyresporer enn de andre rundballemetodene. Det kan også skyldes at tørrstoffinnholdet i rundballene fra egne undersøkelser er lavere enn i forsøket av McEniry et al. (2006). Våtere surfôr vil være mindre permeabelt for luft. Samtidig strider egne undersøkelser mot sammenligningen av rundballesurfôr og finsnittet surfôr i laboratoriesiloer av McEniry et al. (2007). Forfatterne fant ingen signifikante forskjeller i innhold av klostridier og gjærsopp mellom kuttelengder, komprimering, og samspillet mellom de forannevnte hver for seg eller samspillet med de forannevnte og luftinnslipp.

## 5.5 Forskjeller mellom metoder for rundballeensilering

Høyere pH ved utsatt tetting av rundballene i egne undersøkelser er i tråd med litteratursammenfatninger av McDonald et al. (1991) og Coblenz og Akins (2018). Ifølge McDonald et al. (1991) vil innslipp av oksygen i den aerobe fasen gi forsinket cellenedbrytning og plasmolyse. Dermed vil reduksjonen av pH forsinkes. I følge litteraturen vil utsatt tetting føre til redusert innhold av mjølkesyre. Innhold av ammoniakk-nitrogen ble funnet å være høyere ved tre dagers utsatt tetting av rundballer sammenliknet med to dagers utsatt tetting av Coblenz et al. (2016). Ingen slike effekter er funnet i egne undersøkelser. Tendensen til lengre aerob stabilitet ved rask tetting av rundballene kan ses i sammenheng med lavere gjennomsnittsverdier av gjær- og muggsopp enn for rundballene med utsatt tetting. Høyere verdier for gjær- og muggsopp gjelder særlig for rundballene med svak komprimering og utsatt tetting. Gjærsoppen som allerede er i surfôret vil vokse raskt og utvikle varme når surfôret utsettes for oksygen i en aerob test.

Samspeilet mellom komprimering og tetting hadde tendens til lavest innhold av mjølkesyre og eddiksyre og høyest innhold av WSC for rundballene med hard komprimering og rask tetting. Disse ballene var de optimale ballene og de som er mest vanlig å produsere i praksis. Samme samspeil ble undersøkt av McEniry et al. (2007). Der ble det funnet høyere antall av mjølkesyrebakterier i surfôr med svak pakking og utsatt tetting. Ellers var resultatene som i egne undersøkelser: få signifikante samspeil mellom komprimering og tetting for oksygen.

Svak komprimering i rundballene har gitt signifikant lavere konsentrasjon av propionsyre, og numerisk lavere konsentrasjon av maursyre. Syreforbruket ble estimert ved å måle forbruket på 200 liters fat. Denne mengden ble under beregning av dosering per tonn gras fordelt på antall rundballer presset (4 stk). Etter all sannsynlighet var tilsetningen per balle større ved hard komprimering på grunn av lengre kjøring i strengen, og tilsetningen per tonn gras omtrent lik. Svak komprimering ga tendenser til høyere konsentrasjon av etanol og ammoniakk-nitrogen.

Temperaturmålingene i rundballene hadde ingen signifikante forskjeller, men en svak tendens ( $P=0,1$ ) til raskere temperaturstigning i rundballene med svak komprimering. Dette kan forklares med lette tilstrømming av oksygen i et mer porøst grasmateriale. Denne observasjonen illustrerer effekten av ulik volumvekt. Tilvarende funn er også gjort av McEniry et al. (2007), der det ved svakere komprimering ble funnet raskere temperaturstigning frem til maksimaltemperatur.



## 6 Konklusjon

Fra dette forsøket kan det bekreftes at hjullasteren, som er en tyngre maskin sammenlignet med traktor gav en høyere volumvekt i siloene, når det ble brukt like lang tid til komprimering.

Effekten skyldes at hjullasteren har høyere marktrykk som følge av høyere egenvekt og mindre bæreflate sammenlignet med traktoren. Andelen surfôr som måtte kasseres var større i plansiloene pakket med traktor. Komprimering med hjullaster gav mindre forekomst av smørсыresporer (*Clostridium tyrobutyricum*) enn komprimering med traktor.

Gjæringskvaliteten var jevnt over god, med små forskjeller mellom komprimering med traktor og hjullaster. Dette kan skyldes at forskjellene i volumvekt og dermed porøsiteten mellom pakkemaskinene ikke var store, og volumvekten for komprimering med begge maskinene var i henhold til anbefalinger i litteraturen. Sammenlignet med rundballer gav plansiloene lavere pH, mindre sukker og mer kassert surfôr.

Det er mulig å produsere surfôr av god kvalitet i plansilo, men sammenlignet med rundballer er tettingen av surfôrmassen vanskeligere og mer arbeidskrevende. Når plastdekkingen ikke er perfekt kan dette påvirke hygienisk kvalitet i surfôret på utsatte punkter, og hvor mye surfôr som må kasseres. Ved bruk av en lettere pakkemaskin er det enda viktigere med god tetting mot luft.



## Referanser

- Agjeld, J. M. (2018). *Planlegg kjøringa*. Håland, S. (red.), 3: Bondevennen. 6-7 s.
- Albrecht, K. A. & Beauchemin, K. A. (2003). Alfalfa and Other Perennial Legume Silage. I: Buxton, D. R., Muck, R. E. & Harrison, J. H. (red.) *Agronomy Monograph*, b. 42 *Silage Science and Technology*, s. 633-664. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America.
- Arvidsson, H. & Lingvall, P. (2005). Harvesting silage with two types of silage trailer (feed rotor with knives and precision chop). *Proceedings of the XIVth International Silage Conference, a satellite workshop of the XXth International Grassland Congress*: 192.
- Bakken, A. K., Bonesmo, H., Ekker, A. S. & Langerud, A. (2005). Fenologisk utvikling hos grovfôrvekstar vurdert etter ein numerisk skala. *Grønn kunnskap*, 9 (3): 80-90.
- Bakken, A. K. (2016). Improved cost-efficiency in Norwegian forage production (ForEff), Søknad til forskningsrådet. 10.
- Barnett, A. J. G. (1954). *Silage fermentation*: Butterworths Scientific Publications, London.
- Bernardes, T. F., Daniel, J. L. P., Adesogan, A. T., McAllister, T. A., Drouin, P., Nussio, L. G., Huhtanen, P., Tremblay, G. F., Bélanger, G. & Cai, Y. (2018). Silage review: Unique challenges of silages made in hot and cold regions. *Journal of Dairy Science*, 101 (5): 4001-4019.
- Bernier-Roy, M., Tremblay, Y., Pomerleau, P. & Savoie, P. (2001). *Compaction and density of forage in bunker silos*. ASAE Annual International Meeting, St. Joseph, Michigan, USA, s. 1-14: ASAE.
- Brüning, D., Gerlach, K., Weiß, K. & Südekum, K. H. (2017). Effect of compaction, delayed sealing and aerobic exposure on forage choice and short-term intake of maize silage by goats. *Grass and Forage Science*, 0 (0): 1-14.
- Børresen, T. (2002). ENERGIOVERFØRING MASKIN - JORD, JORDPAKKING. I: Børresen, T. (red.) *JORDARBEIDING*, s. 68-86. Ås: Institutt for Jord- og Vannfag.
- Børresen, T. (2018). *Samtale med professor Trond Børresen*. Ås: Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning (27.02.18).
- Coblentz, W. K., Coffey, K. P. & Chow, E. A. (2016). Storage characteristics, nutritive value, and fermentation characteristics of alfalfa packaged in large-round bales and wrapped in stretch film after extended time delays. *Journal of dairy science*, 99 (5): 3497-3511.

- Coblentz, W. K. & Akins, M. S. (2018). Silage review: Recent advances and future technologies for baled silages. *Journal of Dairy Science*, 101 (5): 4075-4092.
- Cogan, T., Hawkey, R., Higgin, E., Lee, M. R. F., Mee, E., Parfitt, D., Raj, J., Roderick, S., Walker, N., Ward, P., et al. (2017). Silage and total mixed ration hygienic quality on commercial farms: implications for animal production. *Grass and Forage Science*, 72 (4): 601-613.
- Craig, P. H., Griswold, K. E. & Dinh, S. K. (2009). *Six years of corn silage density evaluations in south central Pennsylvania*. Proceedings of the 15th International Silage Conference, Madison, Wisconsin, USA, s. 223-224.
- D'Amours, L. & Savoie, P. (2004). *Density profile of corn silage in bunker silos*. ASAE/CSAE Annual International Meeting, St. Joseph, Michigan, USA, s. 13: ASAE.
- Darby, D. E. & Jofriet, J. C. (1993). Density of silage in horizontal silos. *Canadian Agricultural Engineering*, 35 (4): 275-280.
- Eurofins. (2018). *Veiledning til analysebeviset grovfôr*. Tilgjengelig fra: <http://www.eurofins.no/media/356785/veiledning-grovf%C3%B4r.pdf> (lest 04.04.18).
- Fakultet for realfag og teknologi. (2018). Meteorologiske data for Ås. I: *Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet (NMBU)*. Tilgjengelig fra: <https://www.nmbu.no/fakultet/realtek/laboratorier/bioklim/meteorologiske-data> (lest 12.03.18).
- Gjestang, K.-E., Johnsen, O. H. & Sæther, T. (2004). Plansilo som ensileringsmetode - Sluttrapport for prosjektet Billig og miljøvennlig fôrkonservering, Rapport nr. 1. Skjetten: Det kgl. selskap for Norges vel. 60 s.
- Gramstad, R. & Gravelseter, H. (2013). Siloslått - lagringsmåtar og handtering av pressaft: Norsk Landbruksrådgiving Rogaland,. 10 s.
- Gravelseter, H. (2013). Plansilo og rundballelager. *Bondevennen* (24/25): 14-15.
- Hamza, M. A. & Anderson, W. K. (2005). Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research*, 82 (2): 121-145.
- Holmes, B. J. (2006). *New technologies for bunker silo management in North America*. 12th International Symposium Forage Conservation, Brno, Tsjekkia, s. 3-5.
- Holmes, B. J. & Muck, R. E. (2008). Packing bunker and pile silos to minimize porosity. *Focus on Forage*, 10 (1): 1-2.

- Honig, H. (1991). *Reducing losses during storage and unloading of silage*. Forage Conservation towards 2000, Braunschweig, Tyskland, s. 116-128.
- Hovland, I. (2016). *Handbok for driftsplanlegging 2016/2017*. Oslo: Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO). 250 s.
- Huhtanen, P., Rinne, M. & Nousiainen, J. (2007). Evaluation of the factors affecting silage intake of dairy cows: a revision of the relative silage dry-matter intake index. *Animal*, 1 (5): 758-770.
- Hutnik, E. & Kobiela, S. (2012). Density of Silage Stored in Horizontal Silos. *Acta Agrophysica*, 19 (3): 539-549.
- Håkansson, I. (2005). *Machinery-induced compaction of arable soils*. Uppsala, Sverige: Swedish University of Agricultural Sciences Department of Soil Sciences.
- Johansen, A., Stokstad, M., Randby, Å. T., Lindback, T. & Njaastad, K. M. (2013). Sporedannende bakterier. Utfordringer for mjølke kvalitet, førkvalitet og dyrehelse. *Bioforsk Rapport*, 22 (8).
- Jonsson, A. & Pahlow, G. (1984). Systematic classification and biochemical characterization of yeasts growing in grass silage inoculated with Lactobacillus cultures. *Animal Research and Development*, 20 (3): 7-22.
- Jonsson, A. (1990). Enumeration and confirmation of Clostridium tyrobutyricum in silages using neutral red, d-cycloserine, and lactate dehydrogenase activity. *Journal of Dairy Science*, 73 (3): 719-725.
- Koehler, B., Diepolder, M., Ostertag, J., Thurner, S. & Spiekens, H. (2013). Dry matter losses of grass, lucerne and maize silages in bunker silos. *Agricultural and Food Science*, 22 (1): 145-150.
- Kristensen, H. K. & Schmidt, G. (2013). *Maskiner til markarbejde*. 5. utg. Markens maskiner. Aarhus, Danmark: Videncenteret for Landbrug Landbrugsforlaget. 304 s.
- Kung, L. J., Stokes, M. R. & Lin, C. J. (2003). Silage Additives. I: Buxton, D. R., Muck, R. E. & Harrison, J. H. (red.) *Agronomy Monograph*, b. 42 *Silage Science and Technology*, s. 305-360. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America.
- Kung, L. J. (2010). *Aerobic stability of silages*. Proceedings, 2010 California Alfalfa and Forage Symposium and Crop/cereal Conference, Visalia, California, USA, s. 14: UC Cooperative Extension, Plant Sciences Department, University of California.

- Kval-Engstad, O. (2010). *Tårnsiloer*: Fagforum Grovfôr. Tilgjengelig fra: <https://grovfornett.nlr.no/fagartikler/6714/> (lest 15.01.18).
- LELY. (2017). *LELY STORM Finsnitter med svinghjul*. Tilgjengelig fra: [https://www.lely.com/media/filer\\_public/67/cc/67ccb1c9-f40e-44d9-8016-7e462995aaa6/lely\\_storm\\_lhq08014nba.pdf](https://www.lely.com/media/filer_public/67/cc/67ccb1c9-f40e-44d9-8016-7e462995aaa6/lely_storm_lhq08014nba.pdf) (lest 16.01.18).
- Lindgren, E. (1983). Nykalibrering av VOS-metoden for bestämning av energivärde hos vallfoder. Uppsala, Sverige: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för husdjurens utfodring och vård. 4 s.
- Madsen, J. M., Hvelplund, T., Weisbjerg, M. R., Bertilson, J., Olsson, I., Spörndly, R., Harstad, O. M., Volden, H., Tuori, M. & Varvikko, T. (1995). The AAT/PBV protein evaluation system for ruminants. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences*, 19: 1-37.
- McDonald, P., Henderson, N. & Heron, S. (1991). *The Biochemistry of silage*. 2nd ed. utg. Marlow: Chalcombe Publications. 340 s.
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., Morgan, C. A., Sinclair, L. A. & Wilkingson, R. G. (2011). *Animal Nutrition*. 7. utg. Harlow, England: Pearson Education Limited. 691 s.
- McEniry, J., O'Kiely, P., Clipson, N. J. W., Forristal, P. D. & Doyle, E. M. (2006). The microbiological and chemical composition of baled and precision-chop silages on a sample of farms in County Meath. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*: 73-83.
- McEniry, J., O'Kiely, P., Clipson, N. J. W., Forristal, P. D. & Doyle, E. M. (2007). The relative impacts of wilting, chopping, compaction and air infiltration on the conservation characteristics of ensiled grass. *Grass and Forage Science*, 62 (4): 470-484.
- McGechan, M. B. (1990). A review of losses arising during conservation of grass forage: Part 2, storage losses. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 45: 1-30.
- Mo, M. (2005). *Surfôrboka*. 1. utg. Oslo: Landbruksforlaget. 221 s.
- Mo, M. (2006). Trender i ensileringsteknikken – blir framtidens surfôr bedre eller dårligere? . *Bioforsk FOKUS* 1(12): 1-9.
- Muck, R. E. & Pitt, R. E. (1994). Aerobic Deterioration in Corn Silage Relative to the Silo Face. *Transactions of the ASAE*, 37 (3): 735-743.

- Muck, R. E. & Holmes, B. J. (2000). Factors Affecting Bunker Silo Densities. *Applied Engineering in Agriculture*, 16 (6): 613-619.
- Muck, R. E., Moser, L. E. & Pitt, R. E. (2003). Postharvest Factors Affecting Ensiling. I: Buxton, D. R., Muck, R. E. & Harrison, J. H. (red.) *Agronomy Monograph*, b. 42 *Silage Science and Technology*, s. 251-304. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America.
- Muck, R. E., Savoie, P. & Holmes, B. J. (2004). Laboratory assessment of bunker silo density - Part I: Alfalfa and grass. *Applied Engineering in Agriculture*, 20 (2): 157-164.
- Muck, R. E. (2011). *The art and science of making silage*. Proceedings, 2011 Western Alfalfa & Forage Conference Las Vegas, Nevada, USA: UC Cooperative Extension, Plant Sciences Department, University of California,. 11-13 s.
- Muck, R. E., Nadeau, E. M. G., McAllister, T. A., Contreras-Govea, F. E., Santos, M. C. & Kung, L. (2018). Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. *Journal of Dairy Science*, 101 (5): 3980-4000.
- Naadland, S. S., Steinshamn, H. & Randby, Å. T. (2017). Effect of replacing organic grass-clover silage from primary growth with regrowth on feed intake and milk yield of dairy cows. *Organic Agriculture*, 7 (1): 41-51.
- Natural Resources Institute Finland. (2018). Ruminants - Feedtables. Tilgjengelig fra: [https://portal.mtt.fi/portal/pls/portal/REHU\\_MTT.REHU\\_MTT\\_KAIKKITIEDOT\\_PAC\\_K.REPORT?p\\_kieli=3&p\\_feedcode=06004](https://portal.mtt.fi/portal/pls/portal/REHU_MTT.REHU_MTT_KAIKKITIEDOT_PAC_K.REPORT?p_kieli=3&p_feedcode=06004).
- Nicholson, J. W. G., McQueen, R. E., Charmley, E. & Bush, R. S. (1991). Forage conservation in round bales or silage bags: effect on ensiling characteristics and animal performance. *Canadian Journal of Animal Science*, 71 (4): 1167-1180.
- NorFor. (2018). Feedtable. Tilgjengelig fra: <http://feedstuffs.norfor.info/> (lest 24.02.16).
- O'Kiely, P. & Muck, R. E. (1998). Grass silage. I: Cherney, D. J. R. & Cherney, J. H. (red.) *Grass for dairy cattle*, s. 223-251. New York, USA: CABI Publishing.
- Ohyama, Y., Hara, S. & Masaki, S. (1980). *Analysis of the factors affecting aerobic deterioration of grass silages*. Forage conservation in the 80's (Occasional Symposium No. 11). Reading, Storbritannia: British Grassland Society. 257-261 s.
- Olsen, H. J. (1994). Calculation of subsoil stresses. *Soil and Tillage Research*, 29 (2): 111-123.

Orkel Direkte AS. (2018). *Rundballepresser*. Tilgjengelig fra:  
<http://orkel.no/assets/Produktinformasjon/Brosjyre-Rundballepresser-1270-og-HiQ.pdf>.

- Pahlow, G., Muck, R. E., Driehuis, F., Elferink, S. J. W. H. O. & Spoelstra, S. F. (2003). Microbiology of Ensiling. I: Buxton, D. R., Muck, R. E. & Harrison, J. H. (red.) Agronomy Monograph, b. 42 *Silage Science and Technology*, s. 31-93. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America.
- Pitt, R. E. & Muck, R. E. (1993). A Diffusion Model of Aerobic Deterioration at the Exposed Face of Bunker Silos. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 55 (1): 11-26.
- Randby, Å. T. & Kjus, O. (1989). Ensilering av gras i rundballer. Ås,: A/S Norsk Fôrkonservering NOFO. 40 s.
- Randby, Å. T. (2005a). Effekt av surfôrets kuttelengde, og av kraftfôr med naken eller vanlig havre, til mjølkekyr. *Husdyrforsøksmøtet*: 205-208.
- Randby, Å. T. (2005b). Ensileringsmiddel - behov, type og dosering ved ulike tørrstoffnivåer i gras. *Bondevennen*, 15: 12-14.
- Randby, Å. T., Nørgaard, P. & Weisbjerg, M. R. (2010). Effect of increasing plant maturity in timothy-dominated grass silage on the performance of growing/finishing Norwegian Red bulls. *Grass and Forage Science*, 65 (3): 273-286.
- Randby, Å. T., Gismervik, K., Andersen, A. & Skaar, I. (2015). Effect of invasive slug populations (*Arion vulgaris*) on grass silage: I. Fermentation quality, in-silo losses and aerobic stability. *Animal Feed Science and Technology*, 199: 10-19.
- Robinson, P. H., Swanepoel, N., Heguy, J. M., Price, T. & Meyer, D. M. (2016). 'Shrink' losses in commercially sized corn silage piles: Quantifying total losses and where they occur. *Science of The Total Environment*, 542: 530-539.
- Rooke, J. A. & Hatfield, R. D. (2003). Biochemistry of Ensiling. I: Buxton, D. R., Muck, R. E. & Harrison, J. H. (red.) Agronomy Monograph, b. 42 *Silage Science and Technology*, s. 95-139. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America.
- Rotz, C. A., Ford, S. A. & Buckmaster, D. R. (2003). Silages in Farming Systems. I: Buxton, D. R., Muck, R. E. & Harrison, J. H. (red.) Agronomy Monograph, b. 42 *Silage Science and Technology*, s. 505-546. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America.



- Ruppel, K. A., Pitt, R. E., Chase, L. E. & Galton, D. M. (1995). Bunker Silo Management and Its Relationship to Forage Preservation on Dairy Farms. *Journal of Dairy Science*, 78 (1): 141-153.
- Savoie, P. & Jofriet, J. C. (2003). Silage Storage. I: Buxton, D. R., Muck, R. E. & Harrison, J. H. (red.) Agronomy Monograph, b. 42 *Silage Science and Technology*, s. 405-467. Madison, WI: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America.
- Savoie, P., Muck, R. E. & Holmes, B. J. (2004). Laboratory Assessment of Bunker Silo Density Part II: Whole-Plant Corn. *Applied Engineering in Agriculture*, 20 (2): 165.
- Savoie, P. & D'Amours, L. (2008). Density profile of herbage silage in bunker silos. *Canadian Biosystems Engineering*, 50 (3): 357-365.
- Seale, D. R., Quinn, C. M., Whittaker, P. A. & Wilson, R. K. (1982). Microbiological and chemical changes during the ensilage of long, chopped and minced grass. *Irish Journal of Agricultural Research*: 147-158.
- Sheaffer, C. C., Seguin, P. & Cuomo, G. J. (1998). Sward Characteristics and Management Effects on Cool-season Grass Forage Quality. I: Cherney, D. J. R. & Cherney, J. H. (red.) *Grass for dairy cattle*, s. 73-100. New York, USA: CABI Publishing.
- Shinners, K. J. (2003). Engineering Principles of Silage Harvesting Equipment. I: Buxton, D. R., Muck, R. E. & Harrison, J. H. (red.) Agronomy Monograph, b. 42 *Silage Science and Technology*, s. 361-403. Madison, WI: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America.
- Skjervheim, K. (1989). *Samanpakkingssegenskaper hjå grasmateriale hauste for ensilering Compacting properties of grass material harvested for ensiling*. Ås: Norges landbrukshøgskole, Landbruksteknisk institutt/ Institutt for maskinlære, Compacting properties of grass material harvested for ensiling. 97 s.
- Sohne, W. (1958). Fundamentals of pressure distribution and soil compaction under tractor tires. *Agricultural Engineering*, 39: 276-281.
- Spiekers, H., Ostertag, J., Meyer, K., Bauer, J. & Richter, W. (2009). *Managing and controlling silos to avoid losses by reheating of grass silage*. Proceedings of the 15th International Silage Conference, Madison, Wisconsin, USA. 27-29 s.
- Spörndly, R. (2003). Fodertabeller for idisslare 2003, 257. Uppsala, Sverige: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för husdjurens utfodring och vård. 56 s.

- Spörndly, R. & Nylund, R. (2017). Minskade förluster vid ensilering av grovfoder, 1653-5375. Uppsala, Sverige: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för husdjurens utfodring och vård.
- SSB. (2009). *Gode avlingar i 2008*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/statistikker/jordbruksavling/arkiv/2009-05-07> (lest 06.03.18).
- SSB. (2017). *Gode potetavlingar i fjor*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/artikler-og-publikasjoner/gode-potetavlingar-i-fjor> (lest 16.02.18).
- Steinshamn, H., Nesheim, L. & Bakken, A. K. (2016). Grassland production in Norway. I: Höglind, M., Bakken, A. K., Hovstad, K. A., Kallioniemi, E., Riley, H., Steinshamn, H. & Østrem, L. (red.) *Grassland Science in Europe*, b. 21 *The multiple roles of grassland in the European bioeconomy*, s. 15-25. Ås, Norge: Organising Committee of the 26<sup>th</sup> General Meeting of the European Grassland Federation.
- Søegaard, K., Hansen, H. H. & Weisbjerg, M. R. (2003). Fodermidlernes karakteristika. I: Hvelplund, T. & Nørgaard, P. (red.) *DJF rapport Husdyrbrug nr. 53 - Kvægets ernæring og fysiologi. Bind 1 - Næringstoffomsætning og fodervurdering*, s. 39-68. Tjele, Danmark: Danmarks Jordbrugsforskning.
- Tan, F., Dalmis, I. S. & Koc, F. (2017). Effects of compaction pressure on silage fermentation in bunker silo. *Agronomy Research*, 15 (1): 298-306.
- Terranimo. (2018). *Terranimo® Norge*. Aarhus,: Aarhus Universitet. Tilgjengelig fra: <https://terranimodk.dk/Pages/MainTerranimo.aspx?Country=NO&Language=nb-NO> (lest 01.03.18).
- Thuen, A. E. (2015). *Hva koster graset? Regionsvise forskjeller i grovfôrkostnader og sammenlikning med kraftfôrpris*: Felleskjøpet Agri. Tilgjengelig fra: <http://docplayer.me/1107979-Hva-koster-graset-regionsvise-forskjeller-i-grovforkostnader-og-sammenlikning-med-kraftforpris-17-4-2015-astrid-eeen-thuen.html> (lest 10.02.18).
- Tine rådgiving og medlem, Topp Team Fôring & Norsk Landbruksrådgiving. (2013). *Ensilering: Tine*. 15 s.
- Van Es, A. J. H. (1978). Feed evaluation for ruminants. I. The systems in use from May 1977-onwards in The Netherlands. *Livestock Production Science*, 5 (4): 331-345.
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional Ecology of the Ruminant*. 2. utg. New York, USA: Cornell University Press. 476 s.

- Vissers, M. M. M., Driehuis, F., Te Giffel, M. C., De Jong, P. & Lankveld, J. M. G. (2006). Improving farm management by modeling the contamination of farm tank milk with butyric acid bacteria. *Journal of dairy science*, 89 (3): 850-858.
- Vissers, M. M. M., Driehuis, F., Te Giffel, M. C., De Jong, P. & Lankveld, J. M. G. (2007). Concentrations of butyric acid bacteria spores in silage and relationships with aerobic deterioration. *Journal of Dairy Science*, 90 (2): 928-936.
- Weinberg, Z. G. & Ashbell, G. (1994). Changes in gas composition in corn silages in bunker silos during storage and feedout. *Canadian Agricultural Engineering*, 36 (3): 155.
- Wilkinson, J. M. (1988). *Journal of the Royal Agricultural Society of England*, 149: 158-167.
- Wilkinson, J. M. (2005). *Silage*. Lincoln, Storbritannia: Chalcombe Publications. 254 s.
- Wilkinson, J. M. & Davies, D. R. (2013). The aerobic stability of silage: key findings and recent developments. *Grass and Forage Science*, 68 (1): 1-19.
- Wilkinson, J. M. & Rinne, M. (2018). Highlights of progress in silage conservation and future perspectives. *Grass and Forage Science*, 73 (1): 40-52.
- Woolford, M. K. (1990). The detrimental effects of air on silage. *Journal of applied bacteriology*, 68 (2): 101-116.
- Åkerlind, M., Weisbjerg, M., Eriksson, T., Tøgersen, R., Udén, P., Ólafsson, B., Harstad, O. M. & Volden, H. (2011). Feed analyses and digestion methods. I: Volden, H. (red.) *NorFor-The Nordic feed evaluation system*, s. 41-54: Springer.







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

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway