

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP



Forord

Denne masteroppgaven ble skrevet våren 2012 ved Institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap ved Universitetet for miljø- og biovitenskap. Jeg har hatt fem fine år her på Ås, både faglig og sosialt sett. Valget om å studere husdyrvitenskap på UMB var ikke vanskelig, da jeg har vokst opp på et melkebruk og alltid vært interessert i dyr- og spesielt kyr.

Forsøket ble utført i mai og juni 2011 av ansatte på stoffskifteavdelingen og studentene i faget HFE 302, Ernæring og optimalisering av fôrrasjoner til drøvtyggere.

Jeg vil rette en stor takk til min veileder Egil Prestløyken som har vært til god hjelp både i skriveprosessen og under gjennomføringen av forsøket. Takk til ansatte på stoffskifteavdelingen for praktisk hjelp med forsøket. Og dere som tok HFE 302 sammen med meg skal også ha en stor takk for all jobben dere la ned i juni og med bearbeiding av data i høst. En takk rettes også til Felleskjøpet Agri for produksjon og sponsing av forsøkskraftfôret.

Jeg vil også takke mamma, Beate og Hege for korrekturlesing av oppgaven og nyttige innspill. Hege fortjener også en takk for å ha hjulpet meg med å bevare roen i stressende perioder. Takk til Ingeborg og Kine-Marita for både faglige og ikke fullt så faglige innspill på lesesalen, dette halvåret ville ikke gått så lett uten dere. Jeg vil også takke alle dere andre i klassen for alle de lange og koselige lunsjpausene vi har hatt sammen.

En siste takk går til hestene mine som har fått meg ut i all slags vær for litt frisk luft og en nødvendig avkobling fra lesesalen.

Institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap, UMB

Ås, mai 2012

Siril Kristoffersen

Sammendrag

Masteroppgaven består av en litteraturred og egne undersøkelser. Hovedmålet med oppgaven var å studere en eventuell effekt av ulik malingsgrad av havreskall i kraftfôr på tyggetid, vommiljø, fordøyelighet og produksjon hos melkekyr.

Havre er den tredje mest dyrka kornsorten, og det nest viktigste fôrkornet i Norge.

Sammenlignet med bygg, som er det viktigste fôrkornet, har havre et høyt innhold av skall. Dette gir havre et lavere innhold av stivelse og et høyere innhold av NDF enn bygg. Den høye andelen NDF, med lav fordøyelighet, gir havre en lavere energiverdi til drøvtyggere enn bygg. Struktur i fôret og et godt vommiljø er nødvendig for å sikre en god fordøyelse og utnytting av fôret. Umalte havreskall kan tenkes å ha en struktureffekt i vom. Et mål på struktureffekten av fôret er tyggetid. Tyggetiden består av tid brukt til eting og drøvtygging og er normalt oppgitt som tyggetid per døgn eller per kg tørrstoff. Den totale tyggetiden er påvirket av flere faktorer ved dyret og fôret, med fysisk struktur og innhold av NDF som de viktigste. Få fôrvurderingssystem har tyggetid med som en faktor i vurderingen av fôrkvalitet. Tyggetid er med i NorFor og derfor er NorFor brukt som vurderingsgrunnlag i denne oppgaven.

Forsøket i egne undersøkelser ble gjennomført med tre fistulerte kyr ved stoffskifteavdelingen ved IHA. Grovfôret var av samme kvalitet på alle tre rasjoner, og ble gitt ad libitum. Tre kraftfôrblandinger ble benyttet i forsøket, to basert på havre og en basert på bygg. Forskjellen mellom de to kraftfôrblendingsene basert på havre var malingsgraden av havreskallet, den ene hadde umalte og den andre finmalte havreskall. Det ble gjennomført målinger av tyggetid, vommiljø, passasjekinetikk i vom, fordøyelighet og produksjon. I tillegg til disse målingene ble det gjort beregninger av tyggetid for å undersøke hvor godt beregnet tyggetid fra NorFor korrelerte med observert tyggetid.

Det var ingen signifikante forskjeller ($p > 0,05$) i observert tyggetid mellom rasjonene. Beregnet tyggetid fra NorFor stemte godt overens med observert tyggetid for begge havrerasjonene.

Det største avviket mellom beregnet og observert tyggetid ble funnet for byggrasjonen. Forskjellen var ikke signifikant sikker ($p > 0,05$), men forskjellen kan skyldes et lavt innhold av protein og mineraler i byggkraftfôret. Det var ingen signifikante forskjeller ($p > 0,05$) i fôropptak mellom rasjonene eller totalfordøyelighet. Det var en tendens til høyere pH for rasjonen med umalte havreskall i forhold til de to andre rasjonene. Ellers var forskjellene

mellom rasjonene små. Det var ingen signifikant forskjell ($p > 0,05$) i melkeytelse eller fettprosent mellom rasjonen. Byggrasjonen ga en signifikant høyere ($p < 0,05$) proteinprosent i melk enn havrerasjonene. Alt i alt er konklusjonen at umalte havreskall ikke har en høyere strukturverdi i rasjonen enn umalte havreskall.

Abstract

This master thesis consists of two different parts, a literature study and an experimental part. The main aim of this thesis was to study the possible effects of different particle sizes of oat husk in concentrate on chewing time, rumen environment, digestion and production in dairy cattle.

Oats is the third most grown grain and the second most important feed grain in Norway after barley. Compared to barley, oats has a large part of husk. This leads to a lower content of starch and a higher content of NDF in oats than in barley. The high content of NDF, which has low digestibility, leads to a lower feed value of oats for ruminants than barley. To maintain a high digestion and good utilization of the feed, feed structure and a good rumen environment is essential. Whole oat husk could have a structural effect in the rumen. One way of measuring the structural effect of feed is by recording the chewing time. Chewing time is time spent eating and ruminating, and normally it is given as chewing time per 24-hour or per kg dry matter. Total chewing time is influenced by many factors regarding both the animal and the feed. Physical structure and content of NDF is the most important factors. Few feed evaluation systems has chewing time included as a factor in the evaluation of feed quality. Chewing time is implemented in the NorFor system and therefor I have used NorFor in this thesis.

The experiment in my own study took place in the metabolism unit at IHA. Roughage was given ad libitum and was of similar quality in all three rations. Three different concentrates were given in the experiment, two oat based and one barley based mix. The difference between the two oat based mixes was the extent of grinding of the oat husk. One mix consisted of whole oat husk and the other consisted of finely ground oat husk. Measurements of chewing time, passage kinetics in the rumen, digestibility, milk yield and composition were conducted. In addition to these measurements, calculations of chewing time were performed with NorFor, to investigate how well the calculated chewing time correlated with actual chewing time.

No significant differences ($p>0.05$) were found in observed chewing time between rations. Calculated chewing time with formulas from NorFor correlated well with observed chewing time for the two oat based rations. The largest difference between calculated and observed chewing time was for the barley based ration. This difference was not significant ($p>0.05$).

The numerical difference however, might be explained by the low content of protein and minerals in the barley based concentrate. There was no significant difference ($p>0.05$), in feed intake or total tract digestion between rations. There was a tendency towards higher pH for the ration containing whole oat husk compared to the other rations. Beside this there were no large differences between the observed parameters. There were no significant differences ($p>0.05$) in milk yield or fat percent in the milk between rations. The barley based ration gave a significantly higher ($p<0.05$) protein percent than the oat based rations. Altogether it can be concluded that whole oat husk do not have a higher structural value in the ration than finely ground oat husk.

Innhold

Sammendrag.....	II
Abstract	IV
1.0 Innledning.....	1
2.0 Litteraturløst.....	4
2.1 Kjemisk inndeling av fôr	4
2.2 Korn.....	5
2.3 Formagene hos drøvtyggere	6
2.3.1 Omsetning i vom	7
2.3.2 Partikkelkinetikk i vom	9
2.3.3 Vommiljøets påvirkning på fettinnholdet i melk	11
2.4 Tyggeaktivitet.....	11
2.4.1 Metoder for å registrere tyggetid.....	14
2.4.2 Systemer for evaluering av struktur i fôrresjoner.....	16
3.0 Egne undersøkelser	19
3.1 Material og metode	19
3.1.1 Forsøksdyr.....	19
3.1.2 Fôrresjonene	19
3.1.3 Prøvetaking og kjemiske analyser.....	21
3.1.4 Tyggeaktivitet.....	24
3.1.5 Beregninger og statistiske analyser	25
3.2 Resultater.....	29
3.2.1 Kjemisk sammensetning av kraftfôr og grovfôr	29
3.2.2 Opptak av fôr.....	30
3.2.3 Tyggeaktivitet.....	31
3.2.4 Fordøyelighet	32
3.2.5 Omsetning i vom	33

3.2.6 Nedbrytningsgrad, nedbrytningshastighet og passasjehastighet i vom.....	38
3.2.7 Melkeytelse	41
4.0 Diskusjon.....	42
5.0 Konklusjon	49
6.0 Referanser.....	50

1.0 Innledning

Høyt opptak av fôr, i tillegg til en god fôrutnyttelse er viktig for en god husdyrproduksjon. Hos drøvtyggere er mikrobiell fordøyelse i vom sentralt i denne sammenhengen. Fordøyelsen i vomma er et samspill mellom miljøet for mikrobenes og potensiell fordøyelighet av fôret. For vommiljøet er den fysiske strukturen til fôret og mulighetene for tyggeaktivitet, og da spesielt drøvtygging, viktig. Strukturelle karbohydrater i rasjonen stimulerer spyttproduksjonen (Cassida & Stokes 1986) og under tygging blir spytt blandet inn i fôret. Mengden spytt som utskilles er avhengig av hvor mye fiber det er i fôret og etehastigheten (Bailey 1961). Spytt inneholder ioner, i hovedsak natrium (Na^+), kalium (K^+), fosfat (HPO_4^{2-}) og bikarbonat (HCO_3^-) (Van Soest 1994). Disse ionene virker som buffere i vom. Bufferegenskapene til spytt, i tillegg til en generelt lavere syreproduksjon for en rasjon bestående av fiberrikt fôr (Mertens 1997), er med på å opprettholde et normalt vommiljø.

For mye struktur i rasjonen gir imidlertid et lavere fôropptak, fordi dette fôret har lengre oppholdstid og tar opp mye plass i vom. Karbohydrater som utgjør den strukturelle delen av planter kalles fiber. De strukturelle karbohydratene kan analyseres på flere måter, men de viktigste kjemiske komponentene i fiber er cellulose, hemicellulose og lignin. I moderne fôrvurdering til drøvtyggere, som for eksempel NorFor (Volden 2011b), er fiber i fôr definert som Neutral Detergent Fiber (NDF). Fordøyeligheten av fiber i vom påvirkes av innholdet av NDF i fôret og i hvor stor grad NDF er lignifisert. Lav fordøyelighet av NDF gir redusert opptak av fôr på grunn av høy fyllingsgrad og dermed redusert plass i vom. Dette fører til et lavere energiinntak og en redusert produksjon (Mertens 1997). Dårlig vommiljø kan gi lav fordøyelighet av NDF og denne kombinasjonen er uheldig fordi det gir et lavere opptak av fôr. Det er dermed behov for en viss mengde NDF i fôret for å sikre nok drøvtygging og dermed et godt vommiljø. Optimal fôring av drøvtyggere er derfor en balanse mellom rett fôring for å sikre godt vommiljø og samtidig et høyt nok opptak av fôr.

NorFor er et moderne fôrvurderingssystem som har både tyggetid av fôret og fylleverdi som faktorer i beregningen av fôrmidlenes fôrverdi. Tyggetid av fôret sier noe om strukturverdien. Tyggetid er basert på NDF og iNDF-innholdet i fôret samt partikkellengden. Fylleverdien forteller hvor stor plass de enkelte fôrmidlene tar i vomma. Kraftfôr i NorFor har en fast fylleverdi, mens grovfôrets fylleverdi er basert på fordøyelighet av organisk stoff og innholdet av NDF.

Lav pH i vom, som følge av for lite fiber i rasjonen, redusert tyggetid og dermed også en redusert spyttproduksjon, kan gi endret fermenteringsmønster i vom og vomacidose (sur vom). Dette gjelder særlig om det lave fiberinnholdet kombineres med høyt innhold av lettfordøyelige karbohydrater i form av stivelse eller sukker (Owens et al. 1998; Krause & Oetzel 2006). Ved vomacidose vil det skje en endring i mikrobessammensetningen i retning av færre cellulolytiske og flere amylolytiske bakterier i vomma (Latham et al. 1974). Denne bakteriefloraen favoriserer produksjonen av propionsyre (C3) fremfor eddiksyre (C2) og smørsyre (C4). Sur vom med redusert produksjon av eddik og smørsyre vil normalt gi redusert syntese av melkefett (Mertens 1997). Fysisk kuttelengde på fôret har også betydning for vomfunksjon og tyggeaktivitet. I to fôringssituasjoner der rasjonssammensetningen og det kjemiske innholdet er likt, vil tyggetiden reduseres og vommiljøet endres hvis den fysiske strukturen på fôret reduseres (Mertens 1997).

Etter bygg og hvete er havre det kornslaget det dyrkes mest av i Norge (*Total kornproduksjon* 2011). Og havre er etter bygg det nest vanligste kornslaget i norsk kraftfôr til husdyr og særlig drøvtyggere, om lag 25 % av norsk korn brukt i kraftfôr er havre (*Prognose for tilgang...* 2012). Havre har et lavere innhold av stivelse, og et høyere innhold av NDF enn bygg (*NorFor feed table* 2010). Det høye innholdet av NDF i havre skyldes en større andel skall i havre (20-25 %) sammenlignet med bygg som har en skallandel på 10 % (Callisen et al. 2005). Skallet i korn har lav fordøyelighet og det høye innholdet av skall gir dermed havre et lavere energiinnhold enn bygg. I tillegg til dette har stivelsen i havre en rask og fullstendig fordøyelse i vom (*NorFor feed table* 2010).

I moderne fôrvurdering der egenskaper som nedbrytningshastighet og løselighet i vom er viktige egenskaper, blir fôrverdien av havre nedjustert i forhold til bygg blant annet grunnet egenskapene stivelsen i havre har. Dette kan føre til en redusert bruk av havre i kraftfôr til drøvtyggere. Redusert bruk av havre kan igjen føre til en overproduksjon av havre i Norge. Havre har imidlertid gode agronomiske egenskaper og er et viktig kornslag i Norge med hensyn til vekstskifte og som vekst på sure jordarter, som for eksempel myrjord. En eventuell anbefaling om redusert bruk og dyrkning av havre må derfor være godt begrunnet. Hvis havreskall har en positiv effekt på vommiljø hos melkekyr, kan kanskje andelen havre i kraftfôr økes, og da med hele havreskall. Denne oppgaven er et ledd i dette arbeidet.

Hovedmålet med oppgaven er å se på om forskjellig malingsgrad av havreskall har innvirkning på de nevnte faktorene. I tillegg er et viktig mål med denne oppgaven å se på

hvordan tyggetid påvirker vommiljø og fordøyelighet av næringsstoffer i fôr til mjølkekyr. På grunnlag av dette har jeg satt opp følgende hypoteser.

Hypotese 1: Umalte havreskall har strukturverdi i vom og bidrar til økt tygging og tyggetid i forhold til finmalte havreskall.

Hypotese 2: Umalte havreskall har lav fordøyelighet i vom og tar opp plass, dette gir redusert opptak av grovfôr. Umalte havreskall gir høyere pH i vom enn finmalte havreskall og fettinnholdet i melk blir høyere med umalte havreskall.

Hypotese 3: Bygg gir en lavere melkeytelse og en redusert, men mer stabil pH i vom sammenlignet med havre

2.0 Litteraturredel

Drøvtyggeren er fra naturens side en gresseter og kan klare seg godt på bare grovfôr. For å dekke næringsbehovet til høyt produserende melkekyr er det imidlertid nødvendig å balansere rasjonen med hensyn til grovfôr og kraftfôr. Det mest vanlige grovfôret er surfôr av gress, og kraftfôret er normalt en blanding av korn og proteinråvarer tilsatt mineraler og vitaminer. Det kvantitativt viktigste næringsstoffet i både grovfôr og kraftfôr er karbohydrat, men type karbohydrat er forskjellig mellom ulike fôrmidler. Tabell 1 gir eksempel på innholdet av næringsstoffer i bygg, havre, soyamel og surfôr av gress.

Tabell 1 Innhold av hovednæringsstoff i normal kvalitet av surfôr, bygg, havre og soyamel. Alle verdier er i g/kg tørrstoff, med unntak av tørrstoff som er i g/kg fôr (*NorFor feed table 2010*)

	Tørrstoff	Aske	Råprotein	Råfett	Stivelse	NDF ¹	Restkarbohydrat ²
Surfôr av gress	280	74	159	39	-	560	152
Bygg	883	23	113	32	615	198	19
Havre	896	28	113	64	492	287	16
Soyamel	885	66	516	22	16	133	247

¹ Nøytralt løselig fiber

² Restkarbohydrater = Organisk stoff - protein - fett - stivelse - NDF

Grovfôr inneholder normalt mer fiber enn kraftfôr, mens innholdet av stivelse normalt er størst i kraftfôr. Disse forskjellene gir fôrmidlene ulike egenskaper som fôr til drøvtyggere. Dette vil bli diskutert nærmere, men god fôring av melkekyr går i prinsippet ut på å balansere rasjonen best mulig med hensyn på ulike næringsstoff og energiverdi fra grovfôr og kraftfôr. For å forstå fordøyelsen av disse næringsstoffene er det imidlertid nødvendig å gå litt nærmere inn på fordøyelsessystemet til drøvtyggeren og hvordan det fungerer, men først litt om fôret og innholdet i dem.

2.1 Kjemisk inndeling av fôr

Karbohydrater kan klassifiseres i to grupper, strukturelle karbohydrater og ikke-strukturelle karbohydrater. I den første gruppe finner vi cellulose, hemicellulose, fruktaner, pektiner og oligosakkarider. De ikke-strukturelle karbohydratene er stivelse, sukker, β -glukaner og noe pektiner (*NorFor feed table 2010*; Volden 2011b). Analytisk er det ikke enkelt å skille de fordøyelige karbohydratene fullstendig fra de ufordøyelige. Det er derfor flere forskjellige metoder for å klassifisere karbohydrater i fôr i bruk (Van Soest 1994). Klassifisering etter

Weende analysen har blitt brukt i mer enn hundre år til å fraksjonere fôr, og brukes fortsatt i tradisjonell fôrvurdering som AAT/PBV-systemet og fôrenheter melk. I Weende analysen blir karbohydrater bestemt som råtrevler ved koking i syre og lut, mens resten av karbohydratene blir bestemt som en differanse når aske, protein, fett og trevler er bestemt. Denne fraksjonen er benevnt nitrogenfrie ekstraktstoffer og utgjør alle karbohydrater utenom deler av cellulose og lignin (Van Soest 1994). Men særlig i grovfôr blir Weende analysen upresis med hensyn til å beskrive verdien av karbohydrat både i kraftfôr og grovfôr til drøvtyggere, siden NFE-fraksjonen inneholder både hemicellulose (tungt fordøyelig) og sukker/stivelse (lett fordøyelig). Fordøyeligheten av fiber i om lag 30 % av alle fôrmidler vil være lik eller høyere enn fordøyeligheten av NFE, og denne feilen er tydeligst i grovfôr (Van Soest 1994).

I moderne fôrvurdering, som NorFor, er karbohydratene klassifisert som nøytralt løselig fiber (NDF), stivelse og en restfraksjon. Prinsippet for inndelingen og analysen er blant annet beskrevet av Van Soest (1994). Kjemisk utgjør NDF cellulose, hemicellulose og lignin. I NorFor blir NDF delt inn i en ufordøyelig fraksjon (iNDF) og en potensielt fordøyelig fraksjon (pdNDF) (Volden 2011b). Disse blir bestemt ved å legge fôret inn i nylonposer som legges i vom for 288 timer. Andelen NDF som ikke er nedbrutt etter 288 timer er iNDF, mens den andelen som er nedbrutt er pdNDF (Åkerlind et al. 2011). Den andre store kategorien av karbohydrater i fôr, stivelse, deles inn i en løselig, en potensiell fordøyelig og en ufordøyelig fraksjon. På samme måte som for NDF bestemmes de ulike fraksjonene ved hjelp av nylonposer som inkuberes i vom. Metodikken for dette er beskrevet av Åkerlind et al. (2011). De karbohydratene som ikke er stivelse eller NDF havner i en restfraksjon som beregnes som en differanse (Volden 2011b). Da det normalt ikke analyseres for sukker, utgjør restfraksjonen sukker i tillegg til løselige fiber som β -glukaner og pektiner. NorFor har en egen klasse for fermenteringsprodukter, slik at disse inngår ikke i restfraksjonen.

2.2 Korn

Havre inneholder mye NDF i forhold til bygg, dette skyldes den store andelen skall i havre (20-25 %) mot 10 % i bygg (Callisen et al. 2005). Innholdet av trevler i avskallet havre og bygg er omtrent likt. Avskalling av havre reduserer trevleinnholdet med 75 % og avskalling av bygg fører til en reduksjon i trevleinnhold på 50 % (Kjos et al. 2005). Som det fremgår av Tabell 1 er andelen stivelse i havre mindre enn i bygg. Men den delen av stivelsen i havre

som er løselig er større enn i bygg. I tillegg har den potensiell nedbrytbare stivelsen i havre en nedbrytnings hastighet som er om lag dobbelt så rask som i bygg (*NorFor feed table* 2010).

På grunn av disse forskjellige egenskapene til havre og bygg i fôr til drøvtyggere gir rasjoner basert på disse to kornsortene forskjellige utslag i produksjon. Ekern et al. (2003) fant at et kraftfôr basert på havre ga signifikant høyere melkeytelse og gram melkeprotein enn et kraftfôr basert på bygg. Samtidig var det en lavere konsentrasjon av melkeprotein og -fett, dermed var det ikke forskjell i mengde energikorrigert melk mellom de to rasjonene.

2.3 Formagene hos drøvtyggere

I dagligtale har drøvtyggere fire mager. Dette er imidlertid en «sannhet» med modifikasjoner. De tre første magene, vomma, nettmagen og bladmagen er fysiologisk sett utposninger på spiserøret og blir normalt benevnt formagene. I disse magene blir det ikke produsert enzymer og andre fordøyelsesvæsker slik som i den ekte magen (løypen). Løypen er den fjerde magen og er identisk med magesekken hos enmagede dyr.

Vomma og nettmagen utgjør én helhetlig del, disse to samlet er heretter benevnt vomma. I vomma er det mikroorganismer i form av bakterier, protozoer og sopp som står for produksjonen av enzymer og nedbrytningen av næringsstoffene i fôret. Av mikroorganismene i vomma utgjør bakteriene 50-90 % av biomassen, mens protozoer og sopp utgjør henholdsvis 10-50 % og 5-10 % (Sjaastad et al. 2003).

Mikroorganismene i vomma bryter ned og omdanner karbohydrater, fett og protein til flyktige fettsyrer (VFA), ammoniakk (NH_3), metan (CH_4) og karbondioksid (CO_2) samtidig som det produseres mikrobiell biomasse (Russell & Hespell 1981). De forskjellige typene bakterier i vomma kan klassifiseres etter hvilke substrater de fermenterer. Amylolytiske bakterier fermenterer lettløselige karbohydrater, cellulolytiske bakterier fermenterer fiber, mens proteolytiske bakterier fermenterer protein (Sjaastad et al. 2003). De flyktige fettsyrene som blir produsert tas opp gjennom vomveggen, og brukes som energikilde og byggesteiner av dyret (Sjaastad et al. 2003). Metan og karbondioksid er biprodukter fra nedbrytningen i vom og drøvtyggeren kvitter seg med disse via munnen (Van Soest 1994). Ammoniakk brukes til å bygge opp mikrobeprotein, og et eventuelt overskudd av ammoniakk blir skilt ut som urea via urin eller melk (Van Soest 1994). Den mikrobielle biomassen består av om lag 50 % protein (Hvelplund et al. 2003). Mikrobene blir sammen med ufordøyd fôr og væske skylt ut av

vomma og over i løypen hvor de blir fordøyd som mikrobeprotein. På tilsvarende måte som at VFA er den kvantitativt viktigste energikilden til drøvtyggere, er aminosyrer fra mikrober den kvantitativt viktigste proteinkilden til drøvtyggere (Van Soest 1994).

2.3.1 Omsetning i vom

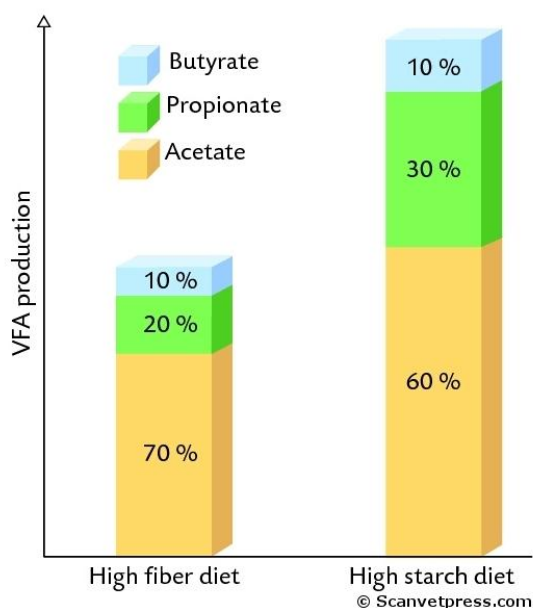
Den mikrobielle omsetningen av protein og karbohydrater i vom er sterkt påvirket av og relatert til hverandre og må dermed sees i sammenheng. Mikrobene er avhengig av godt vekstmiljø for å fungere optimalt, dersom pH i vom blir for lav vil det gi dårlig miljø for mikrobene i vomma. En normalt fungerende vom har en pH mellom 6 og 7 (Van Soest 1994). De flyktige fettsyrene som produseres i omsetningen av karbohydrater fører til redusert pH i vom. Men pH i vom blir holdt relativt stabil gjennom ulike mekanismer for regulering, den viktigste reguleringsmekanismen er absorpsjon av VFA gjennom vomveggen. Syrene blir passivt absorbert i udisosiert form, og når pH synker vil dermed absorpsjonen av VFA øke. En annen viktig reguleringsmekanisme er bufring fra spytt (Beauchemin 1991), med bikarbonat (HCO_3^-) som en av de viktigste bufferne (Van Soest 1994).

Omsetningen av karbohydrater i vom skjer ved at bakterier fermenterer disse for å skaffe seg energi til egen vekst. Karbohydrater blir brutt ned til enkle suktermolekyler, disse blir deretter metabolisert av bakteriene i det anaerobe miljøet i vomma. Sluttproduktet fra denne metabolismen er flyktige fettsyrer (VFA) (Van Soest 1994), med eddiksyre (2C), propionsyre (3C) og smørsyre (4C) som de kvantitativt viktigste.

Størstedelen av pH-fallet i vomma som kommer etter et måltid kommer fra fermenteringen hos de amylytiske bakteriene, dette er fordi substratene disse bakteriene lever av er lett tilgjengelige. Dette gjør også at de amylytiske bakteriene har en rask reproduksjonsrate og kort livssyklus. Amylytiske bakterier tåler en lavere pH enn de cellulolytiske bakteriene. Van Soest (1994) sier at ved et brått fôrskifte til en rasjon med mer lettøselige karbohydrater vil pH i vom raskt reduseres til under 5, og melkesyre vil bli det dominerende sluttproduktet fra fermenteringen. Krause & Oetzel (2006) angir denne grensen til å være pH på under 5,5. De cellulolytiske bakteriene bryter ned tungt fordøyelige karbohydrater, og har en lengre livssyklus og lavere reproduksjonsrate enn de amylytiske bakteriene. Hvis pH i vom kommer under 6, reduseres aktiviteten i de cellulolytiske bakteriene (Van Soest 1994). En pH i vom på under 6 vil gi redusert fordøyelighet av fiber (Kaufmann 1976), grunnet redusert aktivitet i de cellulolytiske bakteriene (Van Soest 1994). Dette gjør at den tiden pH i vom er

over 6 blir brukt som en indeks på fiberfordøyeligheten i vom av Owens & Goetsch (1986). Et redusert fiberinnhold i rasjonen kan ha konsekvenser i form av forandringer i fermenteringsmønster og vomacidose (Deboever et al. 1990). Produksjonen av flyktige fettsyrer er avhengig av rasjonssammensetning og fôrnivå. De bakteriene som fermenterer stivelse produserer en større andel propionsyre enn de bakteriene som fermenterer fiber (Russell & Hespell 1981). Dette kan forklare at i en stivelsesrik rasjon er andelen produsert propionsyre større enn med en fiberrik rasjon (Figur 1). En betraktelig reduksjon i pH er følgene av den økte syreproduksjonen for en rasjon med lavt innhold av fiber. Den reduserte pH-en gjør igjen at de amylytiske bakteriene overtar fermenteringen, og det produseres enda mer propionsyre. Siden lite fiber i fôret i tillegg fører til mindre tyggeaktivitet og dermed mindre spyttproduksjon vil denne syreeffekten bli enda sterkere. Mye stivelse og sukker i rasjonen kan føre til et høyt osmotisk trykk i vomma, og dette kan igjen føre til en reduksjon av drøvtygging (Welch 1982). En vom med pH under 5,5 kan defineres som en vom med subakutt acidose, en slik vom vil ha redusert fordøyelighet av fôr (Krause & Oetzel 2006).

Figur 1 viser også at en rasjon med høyt stivelsesinnhold totalt sett gir mer VFA produksjon enn en fiberrik rasjon. Energien i lett-løselige karbohydrater er lettere tilgjengelig for mikrobene enn den energien som finnes i fiber. Dette gjør at VFA produksjonen i en rasjon med høy stivelsesandel blir vesentlig høyere enn i en rasjon der karbohydratene er tungt fordøyelige.

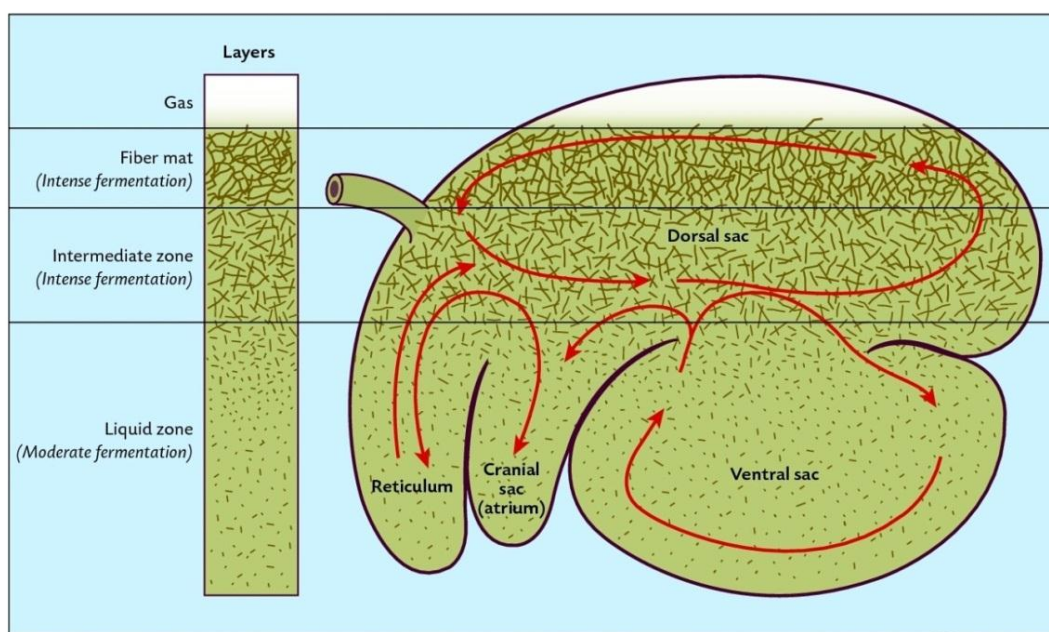


Figur 1 Produksjon av VFA ved forskjellige rasjonssammensetninger (Sjaastad et al. 2003)

Proteolytiske bakterier starter omsetning av protein i vom ved å bryte ned fôrproteiner, ved hjelp av enzymer, til peptider og aminosyrer. Aminosyrene brytes videre ned til ammoniakk (NH_3) og karbonskjelett. Aminosyrer, karbonskjelett og ammoniakk blir i neste omgang brukt til å bygge opp mikrobenes eget "kroppsprotein", eller mikrobeprotein. Mikrobenene kan med andre ord utnytte ikke-protein nitrogenkilder til vekst (Van Soest 1994). Noe av fôrproteinet blir ikke brutt ned i vom, det passerer videre i fordøyelseskanalen. Der det kan bli fordøyd i tynntarmen sammen med mikrobene. Aminosyrer som absorberes i tarmen hos drøvtyggere kommer altså fra to kilder, fra fôrprotein som ikke er brutt ned i vom og protein fra den mikrobielle syntesen (Van Soest 1994).

2.3.2 Partikkelkinetikk i vom

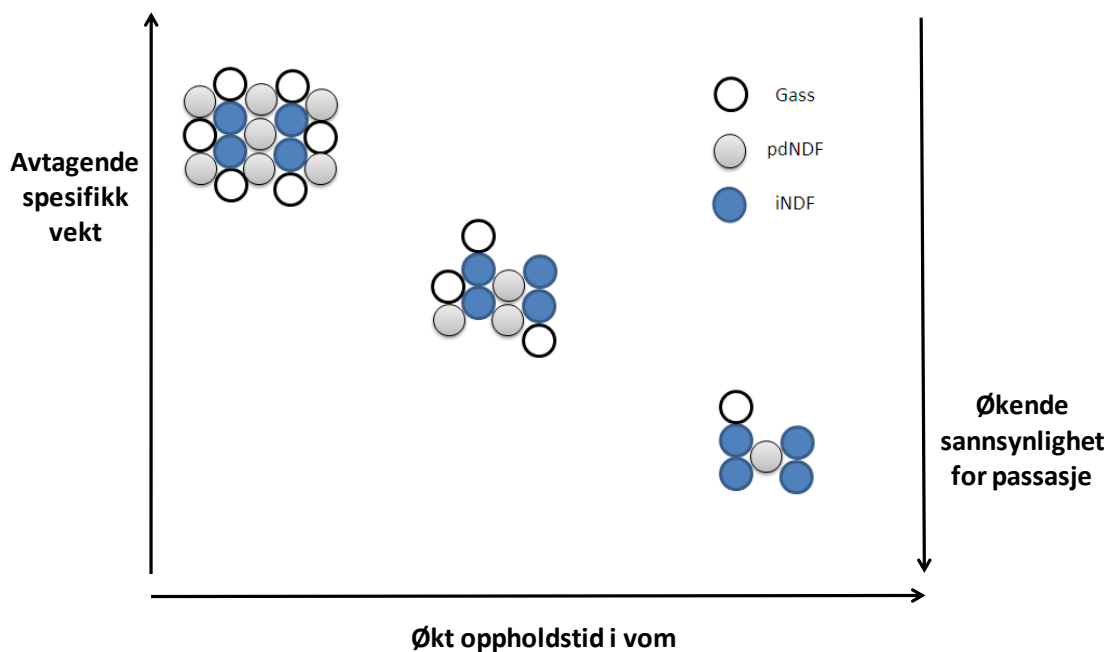
Innholdet i vomma kan grovt sett deles inn i tre lag, væske, partikler og gass (Figur 2). Det øverste laget i vomma er et lag som består av gass, mest karbondioksid (CO_2) og metan (CH_4). De to nederste lagene i vomma er henholdsvis et partikkellag og et væskelag. Overgangen mellom disse to lagene er glidende og dynamisk. Den øverste delen av partikkellaget kan betegnes som et flytelag. Dette består av en fibermatte av store partikler som er lite fordøyd, og her er det stor fermenteringsaktivitet. Etter hvert som partiklene fermenteres vil størrelsen og fermenteringsaktiviteten reduseres, og partiklene synker nedover i vomma grunnet økt spesifikk vekt (Figur 3). Det nederste laget i vom består av små partikler og mye væske (Sjaastad et al. 2003).



Figur 2 Modell av økosystemet i vomma (Sjaastad et al. 2003)

Innholdet i vomma blandes ved at musklene i vomveggen trekker seg sammen i regelmessige bevegelser (Sjaastad et al. 2003). Disse vomkontraksjonene starter i nettmagen om lag en gang i minuttet, eller litt oftere under et måltid. Kontraksjonene bidrar til å føre fôr opp igjen til munnhulen for drøvtygging og ferdig fermentert materiale frem mot nettmagen og utløpet til bladmagekanalen. Retningen på bevegelsene i vomma er illustrert i Figur 2.

I følge en oversiktsartikkel av Mathison et al. (1995) kan diameteren på bladmagekanalen være mellom 10 og 60 mm, med en middelværdi på om lag 40 mm. Av partiklene som passerer ut av vom går rundt 60 % av partiklene gjennom en sikt på 1 mm, mens alle partiklene går gjennom en sikt på 4 mm ((Faichney 1986) etter Faichney (1984)). Det er derfor ikke størrelsen på bladmagekanalen som er avgjørende for når partikler kan passere ut av vom. Faktorer som er med å avgjøre oppholdstiden til partikler i vom er størrelsen, formen, tettheten og fordøyeligheten. Partikler som er under aktiv fermentering av bakterier har ofte gassbobler forbundet til seg og har dermed en lavere spesifikk vekt enn partikler som ikke blir fermentert. Partiklene har på denne måten en selektiv tilbakeholdelse i vom som gjør at de ikke passerer ut av vom før etter en viss tid. Weisbjerg et al. (2003) betegner dette som en aldersavhengig kompartiment og partiklene må komme seg over til det aldersuavhengige kompartimentet før de kan passere ut fra vom. Partikler som har hatt lang oppholdstid i vomma har altså en større sannsynlighet for å passere ut av vom, fordi disse har en redusert størrelse og en økt spesifikk vekt som øker sannsynligheten for passasje (Weisbjerg et al. 2003) (Figur 3).



Figur 3 Spesifikk funksjonell vekt (modell fra Prestløkken et al. (2011) etter Allen (1996))

2.3.3 Vommiljøets påvirkning på fettinnholdet i melk

Fettprosenten i melk blir ofte redusert når melkekyrner får en rasjon med lite grovfôr, og denne nedsettelsen i fettprosent skyldes forandringer i forholdet mellom de flyktige fettsyrene i vom (Latham et al. 1974). Latham et al. (1974) fant at 69 % av variasjonen i fettprosent i melk kunne forklares av endrede forhold mellom eddiksyre, propionsyre og smørsyre i vom. Men i hvilken grad en høyere andel kraftfôr i rasjonen påvirker fettprosenten i melk, og hvor raskt denne endringen skjer varierer veldig mellom dyr (Latham et al. 1974). Kristensen & Nørgaard (1987) etter Nørgaard (1981) fant at en økning i andel bygghalm fra 4 til 10 prosent av tørrstoffet i rasjonen førte til en økning i fettprosent i melk fra 3,62 til 3,79 %. Når andelen bygghalm ble økt til 20 % av tørrstoffet i rasjonen ble fettprosenten i melk redusert til 3,37 %. En fôrrasjon med lavt innhold av grovfôr, men samtidig mye NDF fra kraftfôret ga en høyere fettprosent i melk enn en fôrrasjon med lite grovfôr samtidig som kraftfôret også hadde lavt NDF-innhold (Pereira et al. 1999). Dette resultatet stemmer med Woodford et al. (1986) som fant at en økning i partikkellengde av grovfôret fra 0,26 cm til 0,90 cm ikke hadde noen betydning for fettprosent i melk. Fettprosenten i melk øker derimot lineært når andelen grovfôr i fôrrasjonen øker (Woodford et al. 1986; Beauchemin & Buchanan-Smith 1989). Harstad (1990) fant en betydelig effekt på fettinnhold i melk ved bruk av kraftfôr med grov struktur når det er liten andel på grovfôr i rasjonen. Samme klare effekt ble ikke observert ved god tilgang på grovfôr.

2.4 Tyggeaktivitet

Tyggetid er den samlede tiden en drøvtygger bruker til eting og drøvtygging. Tyggetiden kan oppgis på flere måter, men mest vanlig er tyggetid i timer, minutt pr dag eller minutt per kg NDF eller tørrstoff. Under tyggingen deles fôret opp i mindre partikler ved at de tygges i stykker. Grovfôr deles opp fra en lengde på 1-10 cm (Nørgaard 2003b) ned til små partikler med en lengde på 0,5-2 mm ((Faichney 1986) etter Faichney (1984)). Dette letter fordøyelsen og seinere passasje ut av vom (Nørgaard 2003a). Små partikler har en større overflate enn store, noe som gjør at mikrobene i vomma får en større overflate å angripe partiklene fra. Tygging er den viktigste faktoren for reduksjon av partikkelstørrelsen av fôr til mindre partikler hos drøvtyggeren, og da spesielt gjennom drøvtygging (Chai et al. 1984). For at hele korn med hard overflate og tungt fordøyelige celleveggskarbohydrater skal kunne bli fordøyd av mikrobene i vomma er det også viktig at disse tygges slik at overflatestrukturen brytes

(Beauchemin 1991; Owens & Hanson 1992). Den mikrobielle fordøyelsen bidrar kun i begrenset grad til å bryte bindinger slik at partikler faller fra hverandre (Van Soest 1994). I tillegg er tygging direkte relatert til spyttproduksjonen, som igjen er viktig for å opprettholde et normalt vommiljø og en god vomfunksjon (Beauchemin 1991).

Bailey et al. (1990) fant at tygging under fôropptak har liten betydning for reduksjon av partikkellengden til kuttet og finmalt grovfôr. Lengden på etetiden har effekt på spyttproduksjon. Fôrmidler med liten partikkelstørrelse og lite fiber har en høy etehastighet (300-450 g fôr/min) (Bailey 1961; Jaster & Murphy 1983). Ferskt gress og silo har en etehastighet 200 og 350 gram fôr per minutt, mens grovt høy og halm kan ha en etehastighet på 32-100 gram fôr per minutt (Bailey 1961). Garmo et al. (2007) fant en etehastighet på grovfôr i forsøket på mellom 35 og 50 gram tørrstoff per minutt (tilsvarende 160 til 300 gram fôr per minutt). Tidlig høsta grovfôr har en raskere etehastighet enn senere høsta grovfôr. Men effekten av kuttelengde på grovfôret er større enn effekten av høstetidspunkt (Garmo et al. 2007). Etehastigheten varierer også med faktorer som dyret, miljøet og fôringsregime (Deboever et al. 1990; Beauchemin 1991).

Drøvtygging er en refluks som fører fôr fra vomma tilbake til munnhulen, denne er utløst av vomkontraksjoner. Vomkontraksjonene stimuleres av grove partikler i området rundt spiserørsåpningen (Sjaastad et al. 2003). Kontraksjonene i vomma skaper et undertrykk i spiserøret, som igjen fører fôrpartiklene opp til munnhulen, hver munnfull med fôrpartikler kalles en boli eller en ørt. Idet fôret når munnhulen svelges væske og små partikler ned igjen med en gang (Poncet 1991). Selve drøvtyggingen består av regelmessige tyggebevegelser i 30-60 sekunder. Tyggingen følges av en pause på 4-8 sekunder der den ferdigtygde ørten svelges og en ny gulpes opp (Nørgaard 2003a). Rook et al. (1994) fant at hver ørt tygges mellom 50 og 116 ganger. Drøvtygging foregår ofte langsommere enn tygging under fôropptak (Beauchemin 1991). Drøvtyggingen skjer i perioder på 30 til 60 minutters varighet (Nørgaard 2003a). Under drøvtyggingen produseres det spytt, noe av dette spyttet renner konstant ned i vomma. Dette spyttet står for buffervirkningen fra drøvtygging, og sammen med dette spyttet følger en del av de minste partiklene fra ørten. Dette gjør at vekta på den ferdigtygde ørten som svelges er lavere enn den som gulpes opp (Bailey 1961; Nørgaard 2003a).

Lengden på den daglige tyggetiden påvirkes av mange faktorer, både ved fôret, dyret og miljøet (Deboever et al. 1990; Beauchemin 1991). Det er en sammenheng mellom lengden på

etetiden og drøvtyggingstiden (Nørgaard 2003a). Freer & Campling (1965) fant at lang etetid er sjelden observert sammen med kort drøvtyggingstid. Men samtidig fant de også at hvis kyrne har restriktiv førtildeling og dermed kort etetid, kan de «ta igjen» den tapte tyggetiden ved å drøvtygge mer. Dette gjør at samlet tyggetid per kg tørrstoff ikke blir lavere ved måltidsføring enn ad libitum føring (Freer & Campling 1965). Ved ad libitum føring er det en sammenheng mellom tyggetid og energiverdi av fôret. En rasjon med mye fiber vil gi lang tyggetid og et redusert fôropptak, og sammen med den lavere energiverdien i en slik rasjon, vil totalt energiinntak og produksjon reduseres (Mertens 1997). En tyggeaktivitet på 18-20 timer daglig er observert på melkekyr som får et fiberrikt grovfôr med lav energikonsentrasjon (Nørgaard 2003a). Disse dyrene vil være i negativ energibalanse fordi de ikke klarer å ta opp nok fôr til å dekke energibehovet. Motsvarende vil en lav tyggetid på under 10 timer daglig ved fri tilgang på fôr, indikerer en høy energikonsentrasjon i fôret (Nørgaard 2003a), og en slik rasjon kan føre til vomacidose (Mertens 1997).

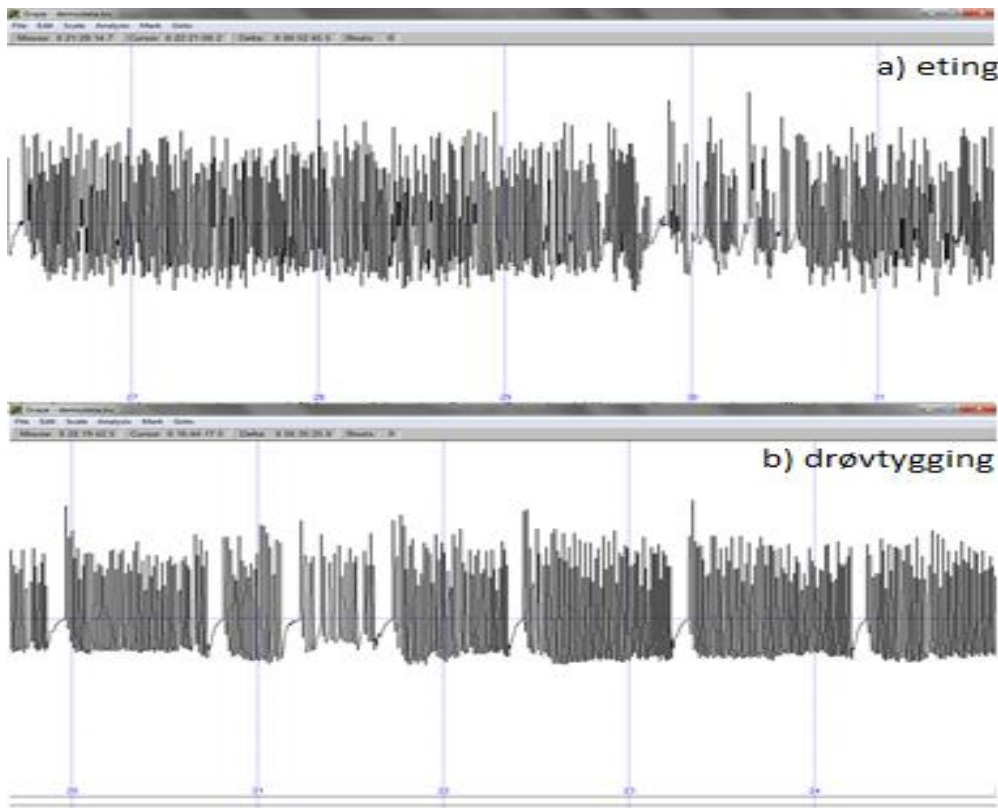
Sammenligning av store og små drøvtyggere av samme art viser at de små individene er mindre effektive drøvtyggere (lengre drøvtyggingstid per kg celleveggstoffer) enn de store individene (Welch 1982).

Faktorer ved fôret som påvirker tyggetiden er fysisk struktur og NDF innhold (Mertens 1997). I følge Van Soest (1994) øker tiden brukt til drøvtygging proporsjonalt med innhold av celleveggstoffer i fôret. Når totalt grovfôropptak øker, øker også drøvtyggingstiden (Welch & Smith 1969). Men samtidig viser det samme forsøket en reduksjon i drøvtyggingstid per kg celleveggstoffer ved økte grovfôrmengder. Andre forsøk (Welch & Smith 1970; Woodford et al. 1986; Beauchemin & Buchanan-Smith 1989) viser at økt inntak av NDF/celleveggstoffer øker total tyggetid, mens drøvtygging per kg NDF/celleveggstoffer holder seg konstant.

Innhold av protein kan også ha påvirkning på tyggetid. Freer et al. (1962) fant at infusjon av urea direkte i vomma reduserte tyggetiden per kg tørrstoff. Deboever et al. (1990) sammenfattet forsøk av Fujihara & Nakao (1984), Taniguchi et al. (1984) og Rémond et al. (1972) i en oversiktsartikkel. I denne artikkelen ble det funnet at ved økt nitrogeninnhold ble etetiden redusert, mens drøvtyggingstiden øktes proporsjonalt med denne. Grunnen til denne effekten av økt proteininnhold er at når effektiviteten i den mikrobielle aktiviteten øker, øker passasjehastigheten fra vom og dermed også totalt fôropptak (Freer et al. 1962).

2.4.1 Metoder for å registrere tyggetid

Drøvtygging har et veldig karakteristisk mønster. Hver ørt tygges mellom 30 og 60 sekunder før den svelges ned, og det blir en liten pause i tyggingen når en ny ørt gulpes opp (Nørgaard 2003a). Drøvtygging gir veldig jevne kjevebevegelser i forhold til eting, samtidig som eting også består av raskere kjevebevegelser enn drøvtygging (Beauchemin 1991). Dette mønsteret gjør at drøvtyggingsaktivitet er lett gjenkjennelig i en digital fil, slik det er illustrert i Figur 4.



Figur 4 Skjermdump av drøvtyggingsaktivitet og eteaktivitet, der hver svingning i grafen er en tyggebevegelse. Det er ett minutt mellom hver av de vertikale strekene (Rutter & Champion 1999)

Den enkleste, men samtidig mest arbeidskrevende metoden for å registrere tyggeaktivitet er manuell registrering. Denne metoden kan brukes som eneste metode slik det ble gjort i forsøk av Woodford & Murphy (1988) og Pereira et al. (1999), eller i tillegg til en automatisk registreringsmetode slik som i Jaster & Murphy (1983), Morgan & Campling (1978) og Schleisner et al. (1999). Visuell observasjon brukes ofte i kombinasjon med andre metoder for å få en større sikkerhet ved de automatiske registreringene. Ved manuell visuell registrering noteres det hvilken aktivitet dyrene har, f.eks. hvert femte minutt. Registreringen kan enten skje ved videofilming eller tilstedeværelse i fjøset i de periodene tyggeaktiviteten skal registreres. Manuell registrering er en arbeidskrevende metode, som vanskeliggjør det å bruke mange dyr i forsøk (McDonald et al. 2002).

Automatisk registrering av tyggebevegelse kan skje med en grime, der den delen av grimen som går under kjeven registrerer kjevebevegelsen ved tygging. Den delen som går under kjeven, kan være et gummibånd som beskrevet av Beauchemin et al. (1989) og brukt av Beauchemin et al. (1994) og Beauchemin & Buchanan-Smith (1989). Et lignende prinsipp ble også brukt for å registrere tyggeaktivitet av Kennedy (1985) og Chai et al. (1984), der en kabel under kjeven slo av og på en minibryter når denne ble strekt. Små ballonger eller rør som er fylt med enten luft (Balch 1971; Morgan & Campling 1978) eller med vann (Jaster & Murphy 1983; Schleisner et al. 1999) kan også brukes for å registrere tyggebevegelser. Digitale enheter registrerer trykkforandringene som oppstår i disse ballongene eller rørene når kjeven til kua beveger seg, og dette overføres til et datasystem.

En annen måte å registrere tyggeaktivitet på er å registrere vomkontraksjoner, disse er karakteristiske for de forskjellige aktivitetene som hvile, eting og drøvtygging. Under drøvtygging er det triple kontraksjoner i vomma, i motsetning til de doble kontraksjonene som normalt blander vominnholdet (Balch 1971; Sjaastad et al. 2003). Balch et al. (1951) registrerte kontraksjoner i vomma ved hjelp av tre ballonger fylt med luft, en i bladmagen, en i bladmagekanalen og den siste var plassert i nettmagen. Kontraksjonene under eting og hvile fulgte samme mønster, men antallet kontraksjoner per tidsenhet økte betraktelig under eting (Balch et al. 1951). Balch (1971) registrerte både kontraksjoner i vomma og kjevebevegelser. En luftfylt ballong i nettmagen registrerte kontraksjoner i vomma samtidig som en luftfylt ballong registrerte bevegelser i kjeven.

Det er også mulig å registrere eteaktivitet hos drøvtyggere ved å ta opptak av karakteristiske lyder ved fôropptak (Laca et al. 1992) eller drøvtyggingsaktivitet (Lindgren 2009). Laca et al. (1992) festet en mikrofon i panna på beitende kastrater. Mikrofonen registrerte lyden fra beitingen, dyrene ble samtidig filmet. Ut fra kun visuell gjennomgang av filmen var det vanskelig å skille tygging fra andre munnbevegelser, men når man brukte lyd i tillegg ble dette enklere. Lindgren (2009) registrerte drøvtyggingsaktivitet ved hjelp av RuminAct™ (Milkline 2007). Dyrene har et halsbånd med en mikrofon og en aktivitetsmåler på, denne mikrofonen registrerer lyder fra vomma under drøvtygging, og utfra disse lydene blir tid brukt til drøvtygging og tid mellom hver periode med tyggeaktivitet bestemt (Milkline 2007).

2.4.2 Systemer for evaluering av struktur i fôrrasjoner

Selv om viktigheten av fiber i rasjonen til drøvtyggere er velkjent, er det ikke så mange fôrvurderingssystemer som har med tyggetid og struktur som en faktor i fôrmiddelvurderingen.

Det franske instituttet for landbruksforskning -*Institut National de la Recherche Agronomique* har utviklet et fôrmiddelvurderingssystem (INRA 1990). I dette systemet er ikke evaluering av tyggetid med som en faktor, men derimot er det et system som beskriver fylleverdi i fôrmiddelvurderingen. Dette systemet er basert på forhold ved dyret, grovfôret og den påvirkningen kraftfôr har på grovfôrinntaket (Dulphy et al. 1990). Målet med dette systemet er at det skal kunne beregne fôropptak på samme måte som mange fôrvurderingssystemer beregner energi- og proteinverdi. Det er to verdier som er med på å beskrive fôropptaket. En verdi som kan beskrive fôropptakskapasiteten til dyret uavhengig av fôrrasjonen og en verdi som kan beskrive fylleverdien til fôret uavhengig av dyret. I INRA-systemet inneholder referansefôret én «Fill Unit» (FU) per kg tørrstoff. Dette referansefôret er et grovfôr av middels kvalitet høstet på et normalt høstetidspunkt (Dulphy et al. 1990). Det er tre forskjellige referansedyr i dette systemet, som har hver sin fylleverdi av referansefôret. Det finnes en fylleverdi for sau (Fill Unit for Sheep, SFU), en for kviger i vekst (Fill Unit for Cattle, CFU) og en for melkekyr (Fill Unit for Lactating dairy cows, LFU).

Fôropptakskapasiteten til de enkelte dyrene er avhengig av en rekke faktorer ved dyret, men uavhengig av fylleverdien til fôret. Fylleverdien for kraftfôr i INRA er ikke konstant, men varierer med fylleverdien til grovfôret og andre faktorer (Dulphy et al. 1990). For å finne tørrstoffopptaket av en fôrrasjon med fri tilgang på grovfôr deler man fôropptakskapasiteten til dyret på fylleverdien til fôret, men begge må være oppgitt i samme «fill unit». På samme måte kan man beregne fôropptakskapasiteten til dyret ved en gitt fôrrasjon. Dette systemet er egnet for grovfôrbaserte rasjoner der oppholdstid i vom er den begrensende faktoren for fôropptak (Dulphy et al. 1990).

National Research Council (NRC) har i sitt fôrvurderingssystem (NRC 2001) i likhet med INRA (INRA 1990) ingen systemer for vurdering av tyggetid. Det er heller ingen vurdering av fylleverdien til fôrrasjonen i NRC-systemet. Kun en anbefaling om at minimum 19 % av tørrstoffet i rasjonen bør være NDF fra grovfôr (NRC 2001). Vurdering av tørrstoffopptak hos dyrene baserer seg i NRC kun på forhold ved dyret, og tar ikke hensyn til verken NDF-innhold i fôret eller andelen kraftfôr i rasjonen (NRC 2001).

Mertens (1997) samlet data om egenskapene til fiber og fordøyelighet av fiber hos drøvtyggere. Dette ble gjort for å gi et grunnlag for fremtidige systemer fra NRC, slik at en faktor om fiberbehov kan bli med i optimaliseringen av fôrrasjoner. Et system for beregning av fiberbehov må være basert på fôrkaraktistikker som er enkle å analysere og dyrets behov for fiber. Dyrets behov må oppgis i samme måleenhet som karakteristikken av fôret. Systemet som Mertens (1997) foreslår er basert på NDF som mål på fiber i fôret, men ikke all NDF har like stor positiv påvirkning på strukturverdien av fôret. Innføringen av en fysisk effektiv NDF (peNDF) gjør at denne kan brukes direkte som mål på innvirkningen på tyggetid og vommiljø. Konsentrasjon av fiber, partikkelstørrelse og reduksjon i partikkelstørrelse er faktorene som brukes for å regne peNDF for fôr. Det er mulig å bruke fettprosent i melk (Latham et al. 1974) eller tyggetid (Balch 1971) for å finne ut om dyrets behov for fiber er dekket, men dette er vanskelige mål å ha med i et fôrmiddelvurderingssystem. Dermed er NDF et bedre mål i optimaliseringen av fôrrasjoner (Mertens 1997). Et minimumsinnhold av peNDF i rasjonen bør være 22 % for å opprettholde en pH i vom på 6,0 (Mertens 1997). For å få en fettprosent i melk på 3,4 er det anbefalt en minimumsprosent av peNDF i rasjonen på 20 % (Mertens 1997).

I NorFor er tyggetid og fylleverdi viktige faktorer i fôrmiddelvurderingen. NorFor har et system for beregning av tyggetid, dette systemet bruker kjemisk innhold i fôret sammen med partikkellengde for å beregne etetid og drøvtyggingstid. NorFor systemet for beregning av tyggetid er utviklet fra et dansk tyggetidssystem, beskrevet av Nørgaard (1986), og nyere forsøk på tyggetid (Nørgaard et al. 2008). Hvert fôrmiddel i NorFor har en tyggetidsindeks. Denne tyggetidsindeksen (CI) er beregnet som summen av etetidsindeksen og drøvtyggingtidsindeksen og oppgis i minutt per kg tørrstoff. (Nørgaard et al. 2011b). Etetidsindeksen og drøvtyggingtidsindeksen beskriver den observerte tyggetiden til en standard ku som står på en rasjon med et NDF-opptak fra grovfôr på 0,7 % av kroppsvekta. Partikkelstørrelse og NDF er faktorer ved fôret som er med i beregningen av etetid. For å beregne drøvtyggingstid er NDF-innholdet, iNDF-innholdet og partikkellengde faktorer som inngår. Formlene for utregningen av etetidsindeksen (EI) og drøvtyggingtidsindeksen (RI) er beskrevet av Nørgaard et al. (2011a). I NorFor er det anbefalt en tyggetid på minimum 30 minutter per kg tørrstoff for å sikre tilstrekkelig struktur i rasjonen (Volden 2006). Fylleverdien til fôret forteller hvor stor fysisk plass fôret tar i vomma. Fylleverdien til kraftfôr er en fast faktor, mens fylleverdien til grovfôret er avhengig av fordøyeligheten av organisk materiale, NDF-innholdet og fermenteringsprodukter i surfôr (Volden 2011a).

Fôropptakskapasitet til dyret er også en del av fôrvurderingen i NorFor. Totalt fôropptak ved en gitt rasjon er beregnet fra fôropptakskapasiteten til dyret og fôrmidlenes fylleverdi.

Opptakskapasiteten til dyret er avhengig av dyrets vekt, laktasjonsstadium, melkeytelse og rase (Volden et al. 2011).

Tyggetidsindekser for forskjellige typer grovfôr ble funnet av Sudweeks & Ely (1979).

Sudweeks et al. (1981) laget en indeks for grovfôrverdi av fôr, som er mulig å beregne fra partikkelstørrelse og kjemiske analyser av fôret. En indeks som er beregnet på grunnlag av kjemiske analyser og partikkelstørrelse er enklere å finne i praksis enn indekser som er beregnet med tyggetidsmålinger slik det ble gjort av Sudweeks & Ely (1979). Gjennomsnittlig partikkelstørrelse av fôr beregnes ved å ta et vekta gjennomsnitt av størrelsen på partiklene. Langt høy får en gjennomsnittlig partikkeldiameter på 4,75 mm. Roughage Value Index (RVI) beregnes med Formel 1.

$$RVI = 10,86 + PS*21,59 + DMI*1,91 + NDF*0,541$$

Formel 1 RVI = grovfôrindeks, PS= partikkelstørrelse, DMI= tørrstoffinntak, NDF = nøytralt løselig fiber

Denne indeksen kan brukes som en faktor i planleggingen av fôrrasjoner til melkekyr. For å få en fettprosent i melk på minimum 3,5 % må fôret ha en RVI på 31 minutter/kg tørrstoff (Sudweeks et al. 1981).

3.0 Egne undersøkelser

3.1 Material og metode

Forsøket ble utført ved stoffskifteavdelingen ved IHA, UMB. Det besto av et 3x3 latinsk kvadrat, 3 dyr i tre perioder. Hver periode varte i 14 dager og forsøket ble gjennomført mellom 14. mai og 24. juni 2011.

3.1.1 Forsøksdyr

Tre vomfistulerte kyr av rasen Norsk Rødt Fe (NRF) ble brukt i forsøket (Tabell 2). Kyrne var oppstallet på bås i isolert fjøs, og 5 til 7 måneder inn i laktasjonen ved starten av forsøket. De ble melket 2 ganger daglig, og melkemengde ble notert etter hver melking.

Tabell 2 Informasjon om forsøksdyrene ved forsøksstart

Ku	Kalvingsdato	Laktasjonsnummer	Ytelse, kg/dag	Vekt, kg
5293	19.11.2010	2	28	598
5298	26.10.2010	2	27	552
5315	10.12.2010	2	28	501

3.1.2 Fôrrasjonene

Det ble brukt tre kraftfôrblandinger i forsøket. Kraftfôret ble produsert av Felleskjøpet Agri på Vestnes i Møre og Romsdal. To av kraftfôrblandingene var basert på havre og den siste blandingen var byggbasert. De to kraftfôrblandingene som var havrebasert, besto av om lag 60 % havre og 10 % bygg. Forskjellen mellom disse to kraftfôrblandingene var malingsgraden av havreskallet. I den ene blandingen ble havren avskallet, selve kornet malt på vanlig måte, og deretter ble det umalte skallet tilsatt blandingen igjen. Havreskallene i denne blandingen var dermed intakte. I den andre havreblandingen ble hel havre malt på vanlig måte. Den siste kraftfôrblandingen var en kontroll i forsøket og inneholdt om lag 75 % bygg. Komposisjon og beregnet kjemisk innhold i de tre kraftfôrblandingene er vist i Tabell 3.

Tabell 3 Komposisjon og beregnet kjemisk innhold i kraftfôrblendingene. Komposisjonen av fôret og beregnet tørrstoffinnhold er oppgitt i gram per kg fôr. Mens verdiene for beregnet innhold er oppgitt i gram per kg tørrstoff

	Finmalte havreskall	Umalte havreskall	Bygg-kontroll
Komposisjon			
Urea rumisan	9,0	9,0	9,0
Soya ekstrahert	140,0	140,0	140,0
Bygg	100,0	100,0	740,0
Havre	596,2	596,2	0,0
Havreskall	40,0	40,0	0,0
Melasse	50,0	50,0	50,0
Akofeed gigant	20,0	20,0	20,0
Kalksteinsmel	13,3	13,3	14,8
Monokalsiumfosfat	10,2	10,2	5,5
Magnesiumoksyd	6,7	6,7	5,9
Fôrsalt	6,0	6,0	6,0
Natriumsulfat	1,6	1,6	1,6
Mikromin drøv	1,0	1,0	1,0
Premiks selen	0,4	0,4	0,4
Vitam-5 m/crina	0,6	0,6	0,6
Biotin	0,1	0,1	0,1
Beregnet innhold			
Tørrstoff, g/kg	871,1	871,1	863,1
Protein	187,4	187,4	188,8
Fett	58,8	58,8	39,0
Stivelse	369,5	369,5	468,8
NDF	225,3	225,3	144,0
Aske	73,8	73,8	70,9

Beregnet tørrstoffinntak per dag (kg TS/dag) var 20 kg, halvparten av dette var fra kraftfôr og resten var fra grovfôr. Fôret ble tildelt tre ganger daglig, klokken 06.00, 14.00 og 22.00. Ved hver fôring ble kyrne tildelt fire kg kraftfôr, totalt 12 kg daglig. Forskjellen mellom rasjonene var kraftfôret og tildelingen av kraftfôr var som vist i Tabell 4.

Tabell 4 Tildeling av kraftfôr

Ku	Periode 1	Periode 2	Periode 3
5293	Umalte havreskall	Finmalte havreskall	Bygg-kontroll
5298	Finmalte havreskall	Bygg-kontroll	Umalte havreskall
5315	Bygg-kontroll	Umalte havreskall	Finmalte havreskall

Kyrne hadde ad libitum tilgang på grovfôr, og tok opp om lag 10 kg tørrstoff grovfôr. Før morgenfôring hver dag, ble rester av fôr fra forrige dag fjernet fra fôrkrybbene og veid. Kyrne fikk tildelt det samme grovfôret i alle tre periodene. Høstedataen for grovfôret var 8. juli 2010 og det ble lagt i rundballer. Før hver forsøksperiode ble grovfôret veid opp i sekker à 10 kg og fryst ned i frysekontainer, dette for å sikre jevn kvalitet gjennom hele forsøksperioden.

Kraftfôret ble veid opp i bøtter til de neste tre fôringene ved morgenstell. Tildelt grovfôrmengde ble justert etter individuelt fôropptak slik at kyrne alltid hadde grovfôrrester ved neste fôring. Dersom restene var mindre enn to kg ble grovfôrmengde justert opp. Dersom det var igjen store mengder grovfôr ble grovfôrmengden justert ned.

3.1.3 Prøvetaking og kjemiske analyser

Før hver forsøksperiode ble det tatt ut en representativ prøve av grovfôret under oppveiing av fôret. Disse prøvene ble slått sammen til en samleprøve som videre ble analysert. Det ble tatt ut en representativ prøve av hver kraftfôrblanding som ble analysert.

De ni første dagene av hver periode ble brukt venne dyrene til forsøksrasjonene. I hver forsøksperiode ble det tatt nettmageprøver, prøver av vomsaft og melk, totaloppsamling av gjødsel og urin. I tillegg ble det foretatt vomtømming og måling av tyggeaktivitet. For å bestemme vomfordøyelighet og passasjehastighet ble det brukt markører.

Totaloppsamling av gjødsel og urin

Totaloppsamling av gjødsel og urin ble gjennomført for å finne fordøyeligheten av fôret. Oppsamlingen ble gjort i tre døgn (72 timer). Tre ganger i døgnet (klokken 08.00, 14.00 og 22.00) ble gjødsel og urin samlet opp og satt kjølig. Urin ble ført direkte til en dunk ved hjelp av en slange med trakt festet rundt kuas urinveisåpning. Dunken var på forhånd tilsatt en liter 10 % svovelsyre, Gjødsel ble samlet i spesialtilpassede stålbakker som var plassert under gjødselristen bak dyrene. Etter oppsamling klokken 08.00 hvert døgn ble gjødsel fra det siste

døgnet blandet godt og en representativ prøve tilsvarende 10% av siste døgns mengde ble plassert i egne beholdere med lokk og satt i fryseren. Tilsvarende ble gjort for 5% av urinen.

Etter endt forsøksperiode ble urin og gjødsel tint og bearbeidet for videre analyse. Den oppsamlede gjødselen fra de tre døgnene ble godt blandet ved hjelp av en eltemaskin, og en representativ prøve på 1000 gram ble tatt ut og fordelt jevnt i to stålbakker. Disse ble tørket i tørkeskap ved 103°C i 24 timer for å bestemme tørrstoffinnholdet. En prøve på 1000 gram ble satt til frysetørking for å senere bli analysert.

Markører

Det ble benyttet en intern (iNDF) og to eksterne markører til å måle fordøyeligheten av fôrrasjonen. De eksterne markørene Krom-EDTA (Cr-EDTA) og Ytterbium-acetat (Yb-acetat) følger henholdsvis væskefasen og partikkelfasen av fôret, mens iNDF er markør for de store partiklene i fôret. De eksterne markørene ble tilsatt forsøksdyrene ved kontinuerlig infusjon i vomma gjennom vomfistelen. For å kunne måle denne passasjen må det være en kontinuerlig flyt av markør inn og ut av vomma, og det må være et «steady state» nivå på markøren. Dette vil si at det går like mye markør inn i vom som det går ut av vomma til en hver tid. Infusjonen ble startet med støtdose som tilsvarte en døgndose markør. Dette for å raskere oppnå et stabilt nivå av markør i vom. Infusjonen ble avsluttet dag 13. Mengden infundert markør ble registrert hver dag etter morgenfôring og notert på skjema.

pH og flyktige syrer i vom

pH i vomvæske ble målt kontinuerlig i ett døgn. Et automatisk pH-meter registrerte pH i vom hvert 5. minutt gjennom døgnet. I tillegg ble det tatt ut prøver av vomvæske manuelt. De manuelle prøvene ble hentet ut hver hele time fra klokken 06.00 til klokken 14.00 på dag 11 i hver forsøksperiode. pH i prøvene ble målt umiddelbart etter uttak med et pH-meter. Deretter ble 10 ml av vomsafta pipettert over i sentrifugeglass tilsatt 0,5 ml maursyre, og satt kjølig. Disse prøvene ble senere analysert for NH₃ og flyktige fettsyrer.

Vomtømming

Vomtømming ble utført to ganger per ku i hver periode. Formålet med å gjøre to vomtømminger var å finne vompool av forskjellige næringsstoffer. Vompool brukes videre for å finne nedbrytningshastighet og passasjehastighet.

Under arbeidet med vomtømming hadde ikke forsøksdyrene tilgang til hverken fôr eller vann. Til vomtømmingen ble det brukt to plastikkdunker på omtrent 60 liter, den ene til partikler og

den andre til vomvæske. En metallramme med en silbøtte ble plassert oppå bøtta beregnet for væske. Innholdet i vomma ble manuelt tatt ut og lagt i silbøtta. Etter hvert som innholdet i vomma ble tatt ut ble vominnholdet presset slik at mest mulig væske rant ut av partiklene og ned i oppsamlingsdunken for væske. Faste partikler ble plassert i dunken for oppsamling av partikler. Etter at vomma var fullstendig tømt, ble dunkene med væske og partikler veid, og vekta notert ned. Vomvæska ble grundig omrørt for å forhindre lagdeling og en representativ prøve på ca. 2 liter ble tatt ut. Vompartiklene ble blandet og det ble tatt ut en representativ prøve på ca. 5 kg. Deretter ble vominnholdet, både væske og tørre partikler, manuelt plassert tilbake i vomma.

Etter hver vomtømming ble to prøver av vominnholdet rekombinert tilbake til det reelle forholdet mellom partikler og væske i vom. Rekombinering av vomprøver = $500 \times$ andel væske i vom + $500 \times$ andel partikler i vom. De rekombinerte prøvene var på nøyaktig 500 gram. En prøve fra hvert tømningstidspunkt ble satt til tørking på $103\text{ }^{\circ}\text{C}$ for å bestemme tørrstoffinnholdet i vom. To av prøvene fra hvert tidspunkt ble frysetørket og brukt til de videre analysene, mens den siste var en reserveprøve.

Nettmageprøver

Nettmageprøvene, sammen med markørinfusjonen og vomtømmingen ble gjort for å bestemme passasje, passasjehastighet og nedbryningshastighet i vom. Nettmageprøvene ble tatt ut med to timers mellomrom (klokken 15.00, 17.00, 19.00 og 21.00 dag 12, og klokken 06.00, 08.00, 10.00 og 12.00 dag 13), totalt ble det tatt ut åtte uttak. Hvert uttak ble tatt manuelt med en plastflaske med kork på, denne ble ført ned i nettmagen via vomfistelen. Når flaska var nede i nettmagen ble korken tatt av slik at flaska ble fylt med nettmageinnhold. Når flaska var full ble korken satt på igjen, og flaska tatt ut av vomma. Denne prosedyren ble gjentatt til det totalt var omtrent en liter nettmageinnhold ved hvert uttak. Prøvene ble frosset ned mellom hvert uttak av prøve. De åtte uttakene fra hver ku ble slått sammen til en prøve.

Hele nettmageprøven ble silt gjennom en sil på 2 mm for å fjerne eventuelle store partikler (vominnhold) fra prøven. 500 ml av uttaket ble lagt i A-prøven og resten ble tatt vare på som reserve. Når alle åtte uttakene var gjort ble A-prøven tint og separert i tre forskjellige partikkelstørrelser, store partikler, små partikler og væskefase. For å separere ut de store partiklene ble prøven filtrert gjennom et filter med $100\text{ }\mu\text{m}$ åpning. Deretter ble det resterende sentrifugert ved en hastighet på 1000 omdreininger per minutt i 10 minutter for å skille de

små partiklene fra væskefasen. Hver enkelt fase ble så plassert i forskjellige aluminiumsbakker og frysetørket for senere analyser.

In sacco

For å finne løselig andel, potensiell nedbrytbar andel og ikke nedbrytbar andel stivelse og NDF i vom brukes *in sacco*. I tillegg kan man beregne nedbrytningshastigheten og nedbrytningsprofilen i vom for NDF og stivelse. Denne metoden går ut på og inkubere små nylonposer med fôr i vom. Disse nylonposene er inkubert i vomma i et vist antall timer. Andelen stivelse eller NDF som har forsvunnet fra posene til forskjellige tidspunkt brukes til å beregne nedbrytningsprofilen. *In sacco* som metode er beskrevet av Åkerlind et al. (2011).

Kjemiske analyser

Melkeanalyser ble utført på TINEs laboratorium i Brummundal. Grovfôret ble analysert på Eurofins i Moss for gjæringsmønster. Dette ble brukt til å finne tørrstoffinnholdet i fôr korrigert for gjæringsmønster, som beskrevet av Åkerlind et al. (2011). De resterende analysene ble utført på LabTek på Institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap. Fôrprøvene og prøver fra nettmagene, vomtømming og gjødselprøver ble analysert for tørrstoff, aske, fett og Kjeldahl-N som beskrevet av European Commission Regulation ((EC) No 152/2009). Mertens (2002) har beskrevet analysen av Nøytralt løselig fiber NDF med korrigering for askeinnhold. Stivelse er analysert som beskrevet av McCleary et al. (1994). Innholdet av ammoniakk nitrogen i vom ble analysert ved hjelp av en Flow-Injeksjons-Analysator (FIA) etter standard metoder for laboratoriet ved IHA. Flyktige fettsyrer skilles fra hverandre ved gasskromatografi. Spesifikasjonene på hvordan dette gjøres er beskrevet av Restek (2012). Markørene Cr-EDTA og Yb-acetat ble analysert etter metodene som er beskrevet av Siddons et al. (1985).

3.1.4 Tyggeaktivitet

Tyggeaktiviteten hos forsøksdyrene ble registrert sammenhengende i to døgn. Målingen startet like før fôring klokken 14.00. Selve registreringen av tyggeaktiviteten ble gjort av en grime med gummiband under kjeven, IGER Behavior Recorder som beskrevet av Rutter et al. (1997). Når kua bevegte kjeven, enten grunnet tygging eller andre aktiviteter, ble bevegelsen registrert av gummibåndet. Bevegelsen i gummibåndet ble digitalisert og lagret på en minnebrikke. Hver minnebrikke hadde en lagringskapasitet på 25 timer datamateriale. Etter 24 timer ble minnebrikken byttet, slik at hver datafil inneholder registreringer fra et døgn.

Under bytting av minnebrikken ble det et lite opphold i registreringen på noen minutter. Byttingen av minnebrikkene ble gjort like før fôring klokken 14.00, så kyrne hadde ingen tyggeaktivitet på dette tidspunktet. Start og avslutning av registreringen ble utført slik det er beskrevet i bruksanvisningen til programmet «Graze» (Rutter 2004).

Registreringen av aktiviteten ble videre behandlet i dataprogrammet «Graze», versjon 0.8 (Rutter & Champion 1999). Filene med tyggetidsregistreringene ble lagt inn dataprogrammet og tyggebevegelesene ble automerket som eting eller drøvtygging, avhengig av mønsteret og regelmessigheten på tyggebevegelesene. Dette er beskrevet av Rutter et al. (1997).

Tyggebevegelser som ga større utslag fra utgangspunktet på gummibåndet enn 25 «adc units» og mer enn 4 «adc units» nedover ble merket som en tyggebevegelse. Hvis det var færre enn 10 tygg like etter hverandre ble dette ikke regnet som en tyggeperiode. Den automatiske merkingen ble deretter gjennomgått manuelt. Områder som var feilmerkede eller ikke markert ble merket med den rette aktiviteten. En drøvtyggingsperiode består av flere ørter. Og hvis det var mindre enn 20 sekunder mellom ørtene, ble hele perioden regnet som én sammenhengende drøvtyggingsperiode. Var det mindre enn 7 minutter mellom hver periode med eteaktivitet ble disse periodene regnet som én eteperiode.

Registrering av aktivitet på dyr er ikke alltid like enkelt å få til uten problemer. Ved flere anledninger ble kontakten mellom grima som registrerte tyggeaktiviteten og lagringsenheten brutt. Dette førte til at opptil 5 døgn med tyggetidsregistreringer per ku og periode ble gjennomført for å få to døgn med kontinuerlig registrering. Selv om dette ble gjort, er det totalt 6 timer og 20 minutt av totalt 18 døgn (432 timer) med registreringer som er blanke. Disse periodene er antatt og ikke ha noen form for tyggeaktivitet i den videre bearbeidingen av innsamlet datamateriell.

3.1.5 Beregninger og statistiske analyser

Observerte tyggetider ble sammenlignet med tyggetider beregnet ved hjelp av NorFor. I utregningen av tyggetid er det brukt faktisk opptak av NDF fra grovfôret og kraftfôret for å beregne en nøyaktig tyggetidsindeks. Tyggetidsindeksen (CI) er gitt ved summen av etetidsindeks (EI) og drøvtyggingtidsindeks (RI) (Formel 2).

$$CI = EI + RI$$

Formel 2 CI= tyggetidsindeks, EI=etetidsindeks, RI=drøvtyggingindeks

Fôr med en partikkellengde over 6 mm er definert som grovfôr, mens fôr med en partikkellengde mindre eller lik 6 mm er definert som kraftfôr (Nørgaard et al. 2011b). For kraftfôr er EI satt til 4 minutter per kg tørrstoff. Eteidsindeksen for grovfôr i minutt per kg tørrstoff ble beregnet ved Formel 3. Denne formelen inneholder en standardisert etetid, som er 50 min/kg NDF, NDF innholdet i fôret er oppgitt i g/kg tørrstoff, og en korreksjonsfaktor for partikkellengde (Size_E). Size_E er en eksponentiell faktor som er avhengig av partikkellengden i fôret. Size_E varierer fra 0,67 i fint kuttet grovfôr til 1 i ukuttet grovfôr (Nørgaard et al. 2011b).

$$EI = 50 * \frac{NDF}{1000} * Size_E$$

Formel 3

Drøvtyggingtidsindeksen i minutt per kg tørrstoff ble beregnet ved Formel 4. I denne formelen brukes en standardisert drøvtyggingstid som er 100 min/kg NDF, NDF innholdet i fôret oppgitt i gram/kg tørrstoff, en hardhetsfaktor og en korreksjonsfaktor for partikkellengden (Size_R). Hardhetsfaktoren varierer mellom 0,8 og 1,25 for typiske nordiske fôrmidler og er beregnet på grunnlag av iNDF innholdet per kg NDF i fôret (Nørgaard et al. 2011b). Size_R er en eksponentiell faktor som er avhengig av partikkellengden i fôret. Size_R varierer fra 0 i finmalt fôr til 1 i grovfôr med en partikkelstørrelse over 20 mm (Nørgaard et al. 2011b).

$$RI = 100 * \frac{NDF}{1000} * Size_R * Hardhetsfaktor$$

Formel 4

Enkelte fraksjonerings av den kjemiske inndelingen av fôr er ikke analyserte verdier, men beregninger. Organisk stoff beregnes ved å trekke askeinnholdet fra tørrstoffet i fôret. Restkarbohydrater beregnes ved Formel 5.

$$\text{Restkarbohydrater} = \text{Organisk stoff} - \text{protein} - \text{fett} - \text{stivelse} - \text{nøytralt løselig fiber}$$

Formel 5

For å beregne passasjehastighet og nedbrytningshastighet av næringsstoffer ved hjelp av vomtømming og nettmageprøver må man i tillegg til faktorer man får fra disse prøvene vite inntaket av næringsstoffene fra fôret.

$$\left(\frac{\text{Inntak (kg/dag)}}{\text{Vompool (kg)}} \right) / 24 = \text{inntakshastighet, \% / time (k}_i\text{)}$$

Formel 6

Passasjehastighet beregnes ved Formel 7. For å kunne beregne nedbrytningshastigheten må man vite inntakshastigheten (Formel 6). Differansen mellom inntakshastigheten og passasjehastigheten angir nedbrytningshastigheten (Formel 8).

$$\left(\frac{\text{Passasje (kg/dag)}}{\text{Vompool (kg)}} \right) / 24 = \text{passasjehastighet, \% /time (k}_p\text{)}$$

Formel 7

$$k_i - k_p = \text{nedbrytningshastighet, \% /time (k}_d\text{)}$$

Formel 8

Et mål på energiinnholdet og tørrstoffinnholdet i melk er gitt ved energikorrigert melk. Denne regnes på grunnlag av laktose, fett og protein i melk.

$$\text{Energi korrigert melk (EKM)} = \text{kg melk} * (0,01 + (\text{fett \%} * 0,122) + (\text{protein \%} * 0,077) + (\text{laktose \%} * 0,053)) \text{ (Sjaunja et al. 1991)}$$

Formel 9

Resultatene er analysert i statistikkprogrammet SAS (1999), med bruk av prosedyren proc mixed. Forskjellen mellom blandinger ble beregnet ved LSmeans og vurdert som statistisk sikre ved p-verdi <0,05. Dersom p-verdi $\geq 0,05$ og <0,10 ble det vurdert som en tendens. Modell 1 ble brukt til å beregne opptak og fordøyelighet av fôr og næringsstoffer, vominnhold og vompool, passasje- og nedbrytningshastighet. Modell 2 ble brukt til å beregne tyggetid og parametere i forbindelse med melk, siden det her var informasjon om flere dager i hver periode.

Modell 1:

$$Y_{ijk} = \mu + a_i + \beta_j + \gamma_k + e_{ijk}$$

Der:

$$Y_{ijk} = \text{Undersøkt variabel for ku nr } i, \text{ kraftfôrtype } j \text{ og periode } k$$

μ = Gjennomsnitt for undersøkt variabel

a_i = Tilfeldig effekt av ku nummer, $i = 5293, 5298, 5315$

β_j = Fast effekt av kraftfôrtype, $j = 1, 2, 3$

γ_k = Fast effekt av periode, $k = 1, 2, 3$

e_{ijk} = Tilfeldig feil

Modell 2:

$$Y_{ijkl} = \mu + a_i + \beta_j + \gamma_k + \delta_l + e_{ijkl}$$

Der:

Y_{ijkl} = Undersøkt variabel for ku nr i , kraftfôrtype j , periode k og dag l

μ = Gjennomsnitt for undersøkt variabel

a_i = Tilfeldig effekt av ku nummer, $i = 5293, 5298, 5315$

β_j = Fast effekt av kraftfôrtype, $j = 1, 2, 3$

γ_k = Fast effekt av periode, $k = 1, 2, 3$

δ_l = Fast effekt av dag, $l = 1, 2$

e_{ijkl} = Tilfeldig feil

3.2 Resultater

3.2.1 Kjemisk sammensetning av kraftfôr og grovfôr

Tabell 5 angir den kjemiske sammensetningen av kraftfôrblendingene brukt i forsøket. I tillegg er kjemisk sammensetning av grovfôret gitt.

Tabell 5 Analysert innhold i fôrmidlene. Oppgitt i gram per kg tørrstoff om ikke annet er oppgitt

	Finmalte havreskall	Umalte havreskall	Bygg- kontroll	Grovfôr
Tørrstoff, g/kg	866,8	873,6	857,5	442,4
OS ¹	923	925	963	904,6
Protein	187	204	151	159
Fett	62	46	49	35
Stivelse	439	447	513	22
NDF ²	212	193	175	554
RestKH ³	22	35	75	134
Aske	77	75	37	95

¹Organisk stoff= tørrstoff-aske

²Nøytralt løselig fiber

³Restkarbohydrater=Organisk stoff-protein-fett-stivelse-NDF

Innholdet av NDF var 212 og 193 g/kg tørrstoff i blandingen med henholdsvis finmalte og umalte havreskall, og 175 g/kg tørrstoff i byggblandingen. Proteininnholdet i byggblandingen var 151 gram/kg tørrstoff, mens det i havreblandingen med finmalte havreskall var 187 g/kg tørrstoff og i blandingen med umalte havreskall var proteininnholdet 204 g/kg tørrstoff. Stivelsesinnholdet i blandingene varierte fra 439 g/kg tørrstoff i blandingen med finmalte havreskall til 513 g/kg tørrstoff i byggblandingen.

3.2.2 Opptak av fôr

Fôropptaket til forsøksdyrene og opptak av næringsstoffer er vist i Tabell 6.

Tabell 6 Daglig opptak av kraftfôr og grovfôr, totalt tørrstoffopptak og inntak av næringsstoffer (kg tørrstoff)

	Finmalte havreskall	Umalte havreskall	Bygg- kontroll	SEM ¹	p-verdi
Kraftfôr	10,35	10,48	10,29	0,027	0,0698
Grovfôr	10,76	10,76	9,87	0,459	0,3168
Totalt tørrstoff	21,11	21,23	20,16	0,470	0,2504
Organisk stoff	19,29	19,43	18,83	0,739	0,4868
NDF ²	8,18	7,99	7,26	0,260	0,1156
Stivelse	4,79 ^a	4,92 ^b	5,50 ^c	0,019	0,0010

¹Standardfeilen til LSmeans

²Nøytralt løselig fiber

a, b og c angir signifikant forskjell mellom rasjoner ($p < 0,05$) eller tendens til forskjell ($p < 0,10$)

Samlet opptak av grovfôr og kraftfôr varierte fra 20,16 kg tørrstoff per dag med byggblandingen til 21,23 kg tørrstoff per dag med kraftfôrblendingen med umalte havreskall. Opptaket av NDF varierer fra 7,26 kg med byggblandingen til 8,18 kg daglig med havreblandingen med umalte havreskall. Stivelsesopptaket var 4,79 kg daglig med kraftfôrblendingen med finmalte havreskall, 4,92 kg daglig med blandingen med umalte havreskall og 5,50 kg daglig med byggblandingen. Det var signifikant forskjell ($p < 0,05$) i daglig opptak av stivelse mellom alle tre rasjonene.

3.2.3 Tyggeaktivitet

Tabell 7 viser tyggetid beregnet med formler fra NorFor og den observerte tyggetiden i forsøket. I Tabell 7 blir beregnet tyggetid sammenlignet med observert tyggetid for de forskjellige rasjonene.

Tabell 7 Observert og beregnet tyggetid med NorFor (oppdelt i etetid og drøvtyggingstid), minutt per kg TS

	Finmalte havreskall	Umalte havreskall	Bygg- kontroll	SEM ¹	p-verdi
Beregnet ved NorFor					
Etetid	14,54	14,48	14,10	0,225	0,2591
Drøvtyggingstid	26,61 ^a	29,30 ^b	25,50 ^a	0,557	0,0324
Total tyggetid	41,16 ^{ab}	43,78 ^a	39,59 ^b	0,782	0,0529
Observedt					
Etetid	17,98	19,34	20,25	1,147	0,5814
Drøvtyggingstid	23,44	24,88	26,30	0,814	0,4233
Total tyggetid	41,42	44,22	46,55	1,866	0,4365
Beregnet vs. observert etetid					
SEM ¹	1,012	1,225	1,091		
p-verdi	0,106	0,088	0,084		
Beregnet vs. observert drøvtyggingstid					
SEM ¹	0,974	0,885	1,558		
p-verdi	0,217	0,096	0,790		
Beregnet vs. observert total tyggetid					
SEM ¹	1,875	1,989	2,530		
p-verdi	0,610	0,607	0,351		

¹Standardfeilen til LSmeans

a og b angir signifikant forskjell mellom rasjoner ($p < 0,05$) eller tendens til forskjell ($p < 0,10$)

Det var signifikant lengre ($p < 0,05$) drøvtyggingstid beregnet fra NorFor for kraftfôrblendingen med hele havreskall i forhold til de to andre kraftfôrblendingene. Det var en tendens ($p < 0,10$) til en lengre total tyggetid for havreblandingen med umalte havreskall i forhold til den byggbaserte kraftfôrblendingen. Det ble observert en total tyggetid på 46,55 minutter per kg tørrstoff for den byggbaserte blandingen, og den beregna tyggetiden for denne blandingen var 39,59 minutter per kg tørrstoff. Denne forskjellen i total tyggetid var ikke signifikant. Men det var en tendens ($p < 0,10$) til høyere observert tyggetid enn den som ble

beregnet ved hjelp av NorFor for den byggbaserte kraftfôrblendingen. Det var en tendens ($p < 0,10$) til lengre etetid for rasjonen med umalte havreskall enn det som ble beregnet i NorFor. Til gjengjeld var det også en tendens ($p < 0,10$) til kortere observert drøvtyggingstid enn den som ble beregnet i NorFor.

3.2.4 Fordøyelighet

Tabell 8 viser fordøyeligheten i vom og totalt av tørrstoff, organisk stoff, NDF og stivelse.

Tabell 8 Gjennomsnittlig fordøyelighet av tørrstoff, organisk stoff, NDF² og stivelse i vom og totalt (% av opptak)

	Finmalte havreskall	Umalte havreskall	Bygg- kontroll	SEM ¹	p-verdi
Fordøyd i vom					
Tørrstoff	19,00 ^a	6,61 ^b	13,50 ^{ab}	1,367	0,0462
Organisk stoff	35,17	24,77	33,15	2,360	0,1549
NDF ²	52,72	54,35	56,30	1,299	0,3418
Stivelse	80,10	75,93	80,71	2,843	0,5453
Fordøyd i gjødsel					
Tørrstoff	70,53	70,40	71,64	0,336	0,1920
Organisk stoff	71,54	71,51	72,68	0,280	0,1469
NDF ²	58,77	57,15	58,61	0,900	0,4963
Stivelse	97,50	97,24	97,74	0,330	0,5044

¹Standardfeilen til LSmeans

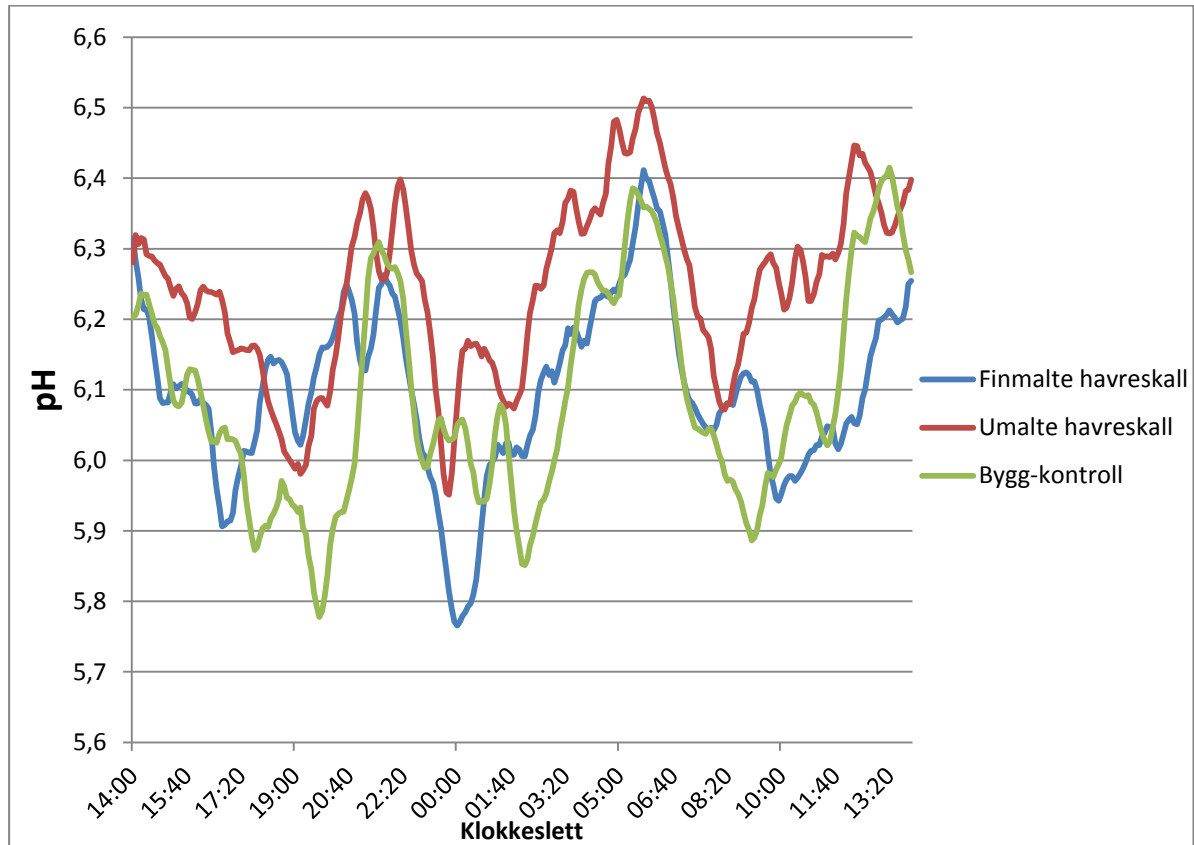
²Nøytralt løselig fiber

a og b angir signifikant forskjell mellom rasjoner ($p < 0,05$) eller tendens til forskjell ($p < 0,10$)

Det var en signifikant lavere ($p < 0,05$) fordøyelighet av tørrstoff i vom for rasjonen med kraftfôr av umalte havreskall sammenlignet med rasjonen med kraftfôr med finmalte havreskall. Fordøyeligheten av tørrstoff i vom fra rasjonen med byggbasert kraftfôr kom i en mellomstilling og var ikke signifikant forskjellig ($p > 0,05$) fra noen av rasjonene med havre. Det var ingen signifikant forskjell ($p > 0,05$) i fordøyeligheten av hverken organisk stoff, NDF eller stivelse.

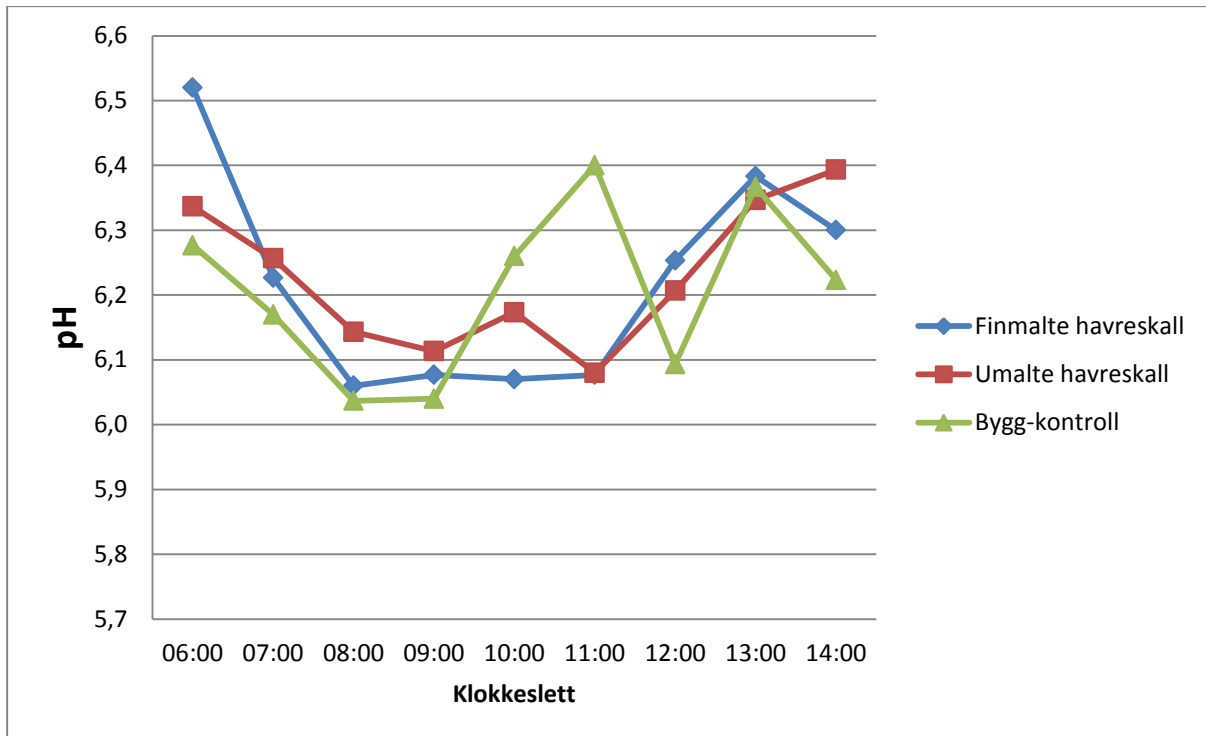
3.2.5 Omsetning i vom

Figur 5 viser resultatet av den automatiske pH målingen i vom, og Figur 6 viser resultatet av den manuelle pH målingen.



Figur 5 Glidende pH-snitt over ett døgn, basert på tre perioder og tre dyr. For å regne glidende snitt er to observasjoner før og to observasjoner etter den aktuelle observasjonen brukt til å regne ett gjennomsnitt

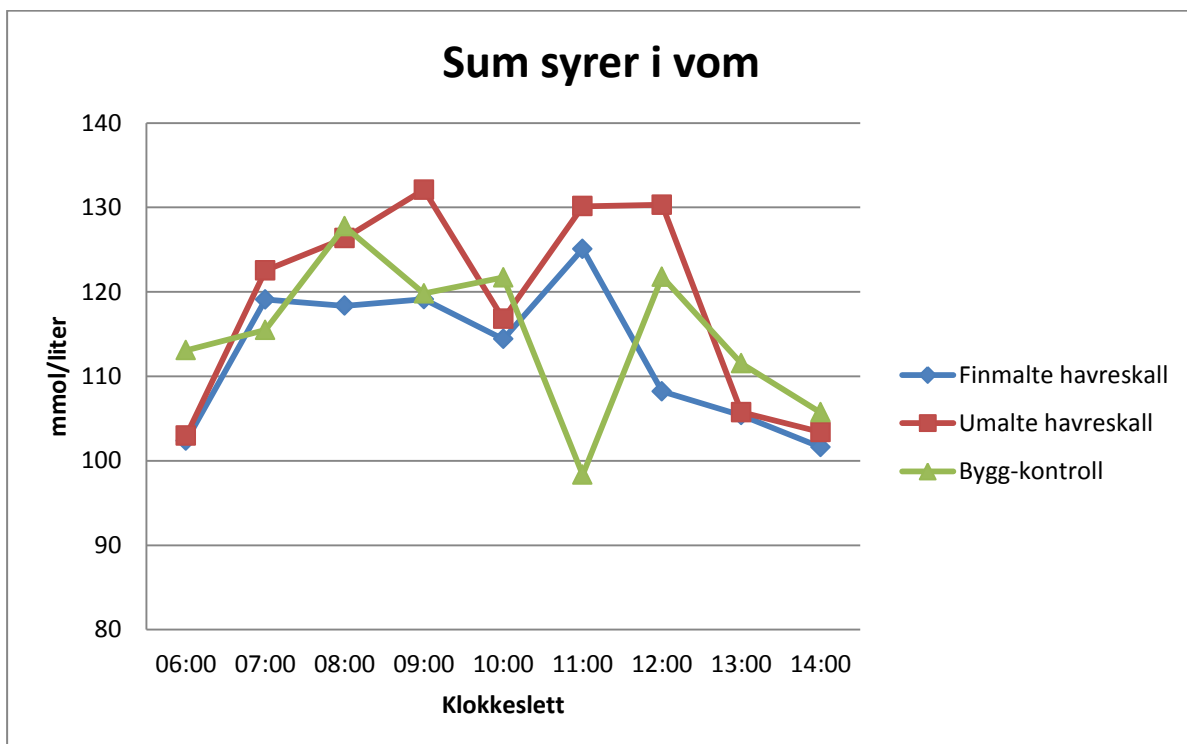
pH i vom for kraftfôrblendingen med umalte havreskall ser ut til å være høyere enn for de to andre kraftfôrblendingene. Kraftfôrblendingen med bygg ser ut til å ha gitt de største fallene i pH. Byggblendingen ga en minimums pH på 5,60. Blandingen med umalte havreskall hadde en minimums pH på 5,76. Den høyeste pH-en som ble registrert for byggblendingen var 6,58. For havreblendingen med finmalte havreskall var maksimal pH 6,57. Havreblendingen med umalte havreskall hadde en maksimums pH på 6,65. Gjennomsnittlig pH i vom for byggblendingen var 6,09. Gjennomsnittet for havreblendingen med finmalte havreskall var pH på 6,10 og havreblendingen med umalte havreskall hadde det høyeste gjennomsnittet med 6,25.



Figur 6 pH i vom fra prøver tatt hver time fra før fôring klokken 06.00 til ny fôring klokken 14.00

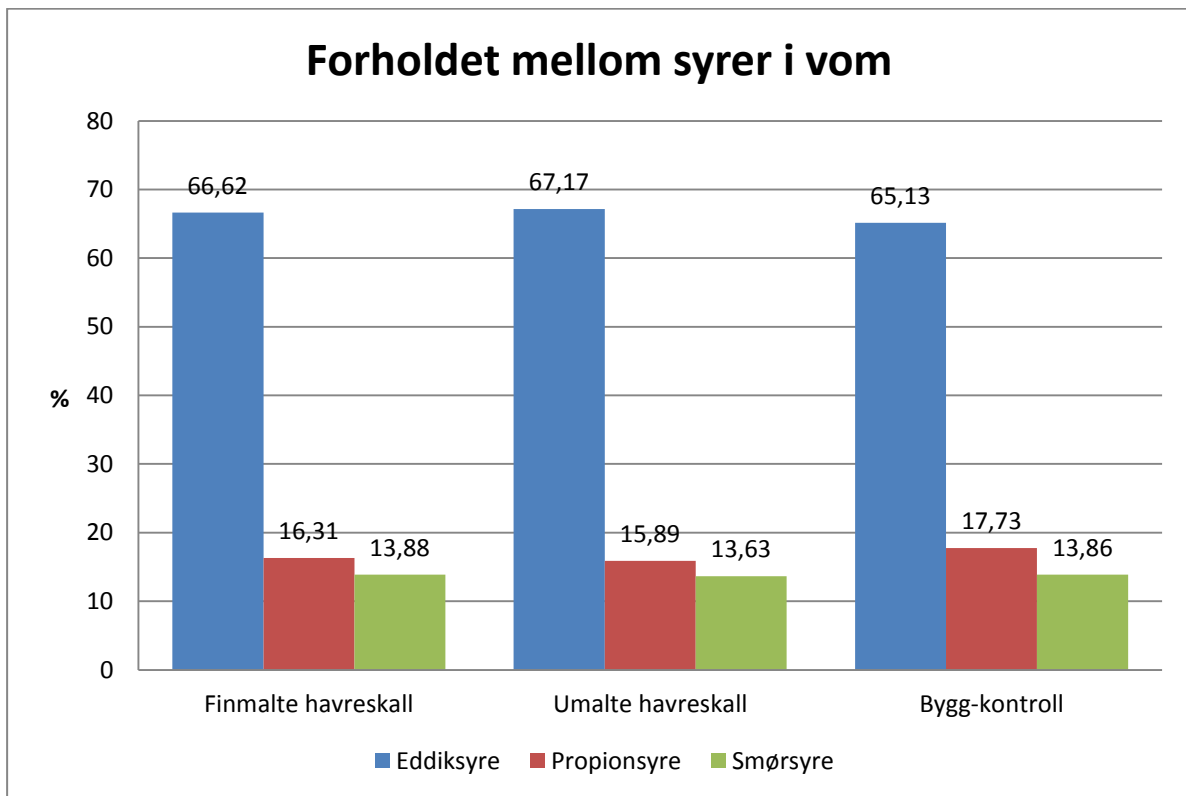
Figur 6 viser i likhet med Figur 5 at den svakeste pH reduksjonen var for blandingen med umalte havreskall. Men Figur 6 viser ikke samme klare tendensen som Figur 5 for reduksjon i pH med byggblandingen.

Figur 7 viser sum syrer i vom for samme tidsperiode som Figur 6 viser pH i vom.



Figur 7 Totalt innhold av syrer i vom fra prøver tatt hver time fra før fôring klokken 06.00 til ny fôring klokken 14.00

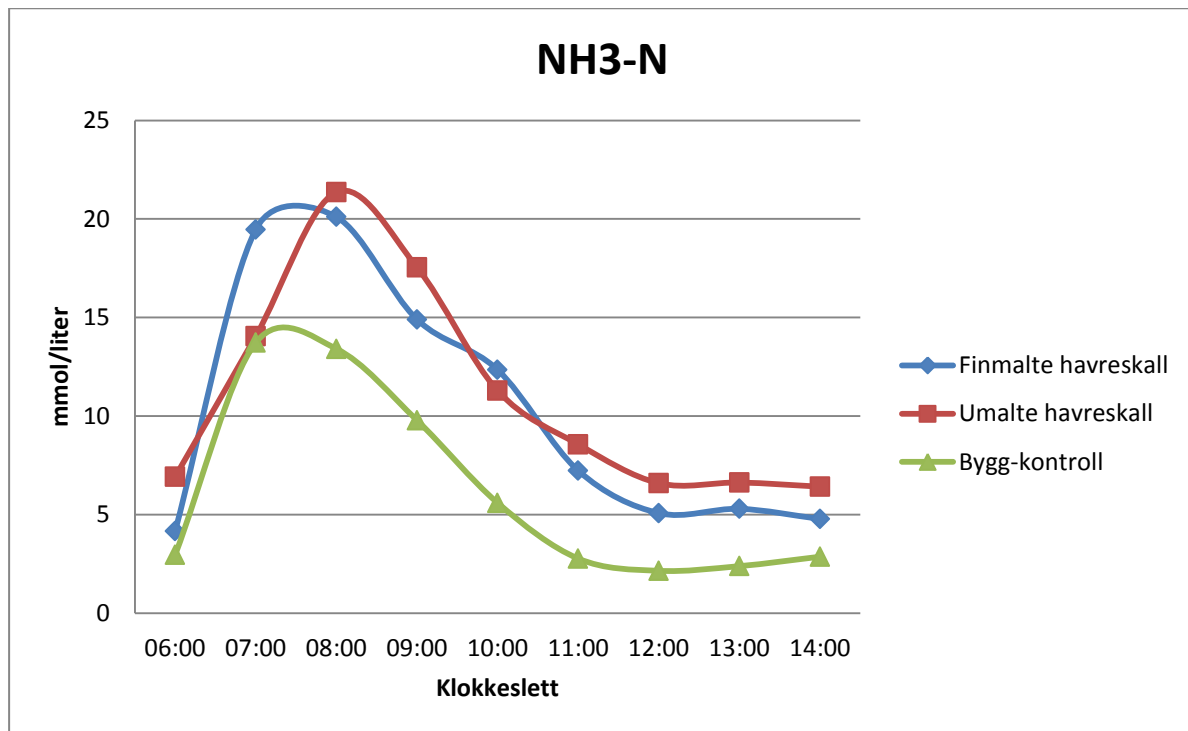
Figur 7 viser en speilvending av Figur 6. Når pH reduseres øker sum syrer, og omvendt. Den totale summen av syrer i vom var høyest for kraftfôrblandingen med umalte havreskall. Figur 8 viser forholdet mellom de tre viktigste syrene i vom, eddiksyre (C2), propionsyre (C3) og smørsyre (C4).



Figur 8 Forholdet mellom de tre kvantitativt viktigste syrene i vom

Figur 8 viser at forholdet mellom de tre viktigste flyktige fettsyrene i vom var uforandret mellom de forskjellige kraftfôrrasjonene.

Figur 9 viser konsentrasjonen av ammoniakk-nitrogen i vom fra fôring klokken 06.00 til ny fôring klokken 14.00.



Figur 9 Gjennomsnittlig ammoniakknitrogen (NH₃-N) innhold i vom oppgitt i millimol/liter for prøver tatt hver time fra før fôring klokken 06.00 til ny fôring klokken 14.00

Konsentrasjonen av NH₃-N var gjennomgående lavere for kraftfôrblendingen med bygg enn for de to andre kraftfôrblendingene. Alle tre rasjonen viser samme utvikling i konsentrasjonen av ammoniakk-nitrogen i vom.

Tabell 9 gir resultatet fra vomtømmingene klokken 12.00, 08.00 og et gjennomsnitt av dem.

Tabell 9 Målt vominnhold og vompool av organisk stoff, NDF og stivelse for vomtømmingene klokken 08.00 og klokken 12.00, samt gjennomsnittet av dem (kg)

	Finmalte havreskall	Umalte havreskall	Bygg- kontroll	SEM ¹	p-verdi
Vomtømming klokken 12.00					
Vominnhold	80,0 ^a	81,6 ^a	76,2 ^b	2,108	0,0357
Vompool av OS	9,53	9,99	8,84	0,282	0,1066
Vompool av NDF ²	6,17	6,39	5,55	0,348	0,2384
Vompool av stivelse	0,35	0,44	0,45	0,031	0,1412
Vomtømming klokken 08.00					
Vominnhold	98,8 ^a	99,4 ^a	85,5 ^b	4,392	0,0237
Vompool av OS	11,61 ^a	12,04 ^a	10,34 ^b	0,210	0,0275
Vompool av NDF ²	7,04 ^{ab}	7,43 ^a	6,40 ^b	0,307	0,0784
Vompool av stivelse	0,76	0,75	1,06	0,096	0,1327
Gjennomsnitt					
Vominnhold	89,4	90,5	80,8	4,754	0,2964
Vompool av OS	10,57	11,02	9,59	0,587	0,5429
Vompool av NDF ²	6,61	6,91	5,97	0,324	0,1069
Vompool av stivelse	0,56	0,60	0,75	0,092	0,3144

¹Standardfeilen til LSmeans

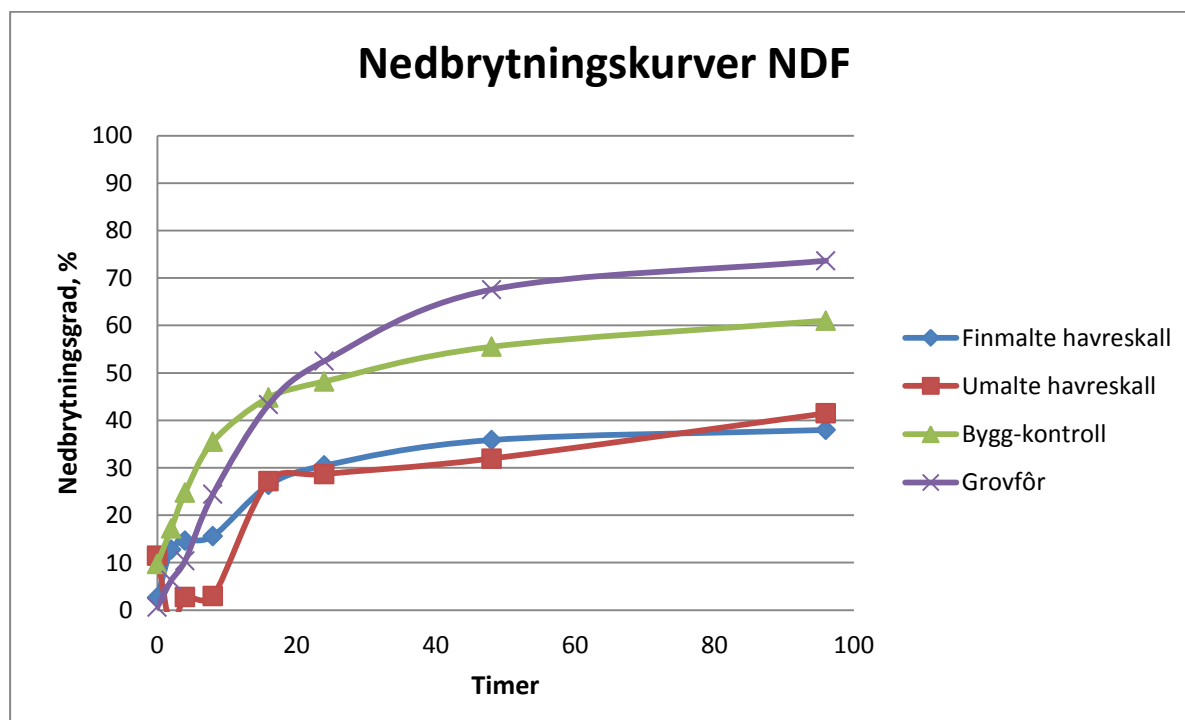
² Nøytralt løselig fiber

a og b angir signifikant forskjell mellom rasjoner ($p < 0,05$) eller tendens til forskjell ($p < 0,10$)

Det var signifikant lavere vominnhold ($p < 0,05$) for rasjonen med byggbasert kraftfôr enn for de to havrebaserte kraftfôrblendingene. Dette gjaldt både for vomtømmingen like etter fôring (klokken 08.00) og vomtømmingen like før fôring (klokken 12.00). Det var en tendens til forskjell ($p < 0,10$) i vompool av NDF mellom rasjonene med kraftfôrblendingen med bygg og kraftfôrblendingen med umalte havreskall ved vomtømmingen like etter fôring (klokken 08.00). Vompool av organisk stoff var signifikant lavere ($p < 0,05$) for rasjonen med byggblendingen enn for de havrebaserte rasjonene, 10,34 kg organisk stoff mot henholdsvis 11,61 kg og 12,04 kg for rasjonene med finmalte og umalte havreskall.

3.2.6 Nedbrytningsgrad, nedbrytningshastighet og passasjehastighet i vom

Nedbrytningskurver for NDF fra *In sacco* for de tre kraftfôrblendingene og grovfôret som ble brukt i forsøket er vist i Figur 10. Tabell 10 viser nedbrytningskarakteristikken for NDF fra *In sacco*



Figur 10 Nedbrytningskurver for nøytralt løselig fiber, fra *in sacco*

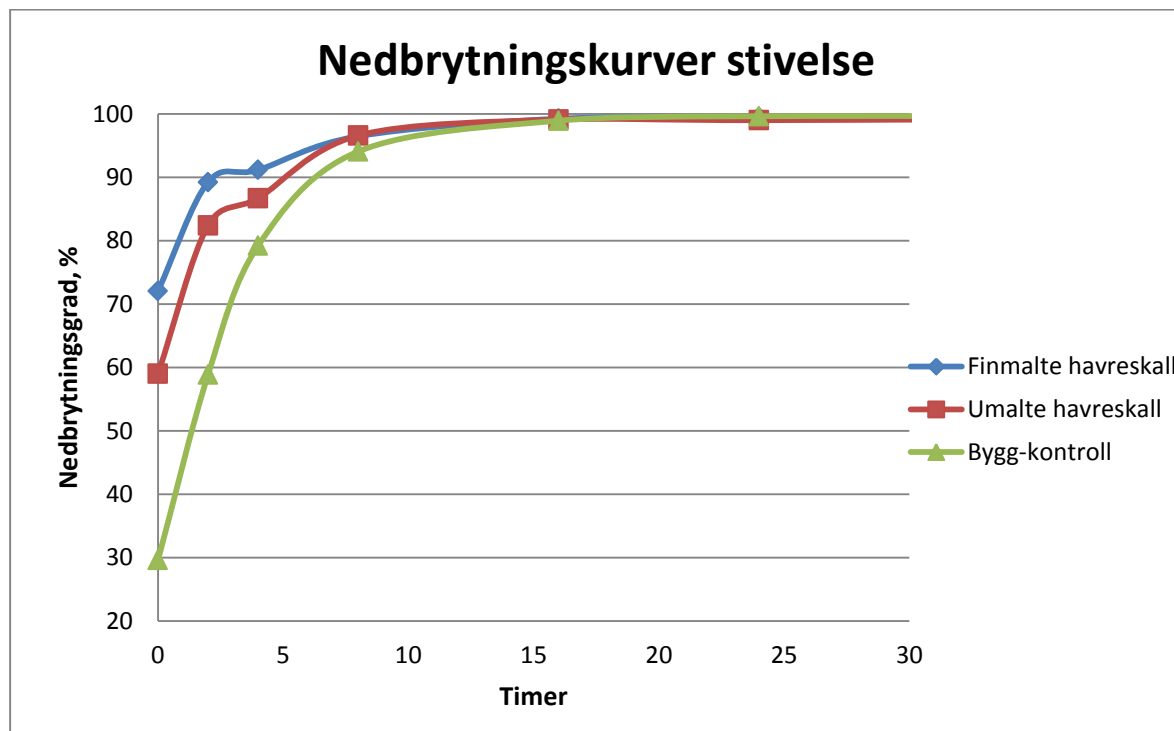
Tabell 10 Nedbrytningskarakteristikk for nøytralt løselig fiber, fra *in sacco*

	Finmalte havreskall	Umalte havreskall	Bygg-kontroll	Grovfôr
Løselig fraksjon	5,12	0,45	8,34	-1,18
Potensielt nedbrytbar fraksjon	32,25	41,53	50,58	75,38
Nedbrytnings-hastighet, %/time	7,10	3,92	10,03	5,28
Løselig + potensielt nedbrytbar fraksjon	37,37	41,98	58,92	74,19
Ikke nedbrytbar fraksjon	62,64	58,02	41,08	25,81
Nedbrutt ved 3%/time passasjehastighet	27,37	23,75	45,51	46,69

Potensielt nedbrytbar fraksjon av NDF i kraftfôrblendingen som er basert på bygg var høyere enn den tilsvarende fraksjonen i kraftfôrblendingene basert på havre. Nedbrytningshastigheten var også høyest for NDF i byggbasert kraftfôr, 10,03 % per time. NDF fra kraftfôret med umalte havreskall hadde en tregere nedbrytning de første timene enn for blandingen med finmalte havreskall, men etter 16 timer var andel nedbrutt lik i de to havreblendingene.

Nedbrytningshastigheten for blandingen med umalte havreskall var 3,92 % per time, mens den for blandingen med finmalte havreskall var 7,10 % per time.

Nedbrytningskurver for stivelse fra *In sacco* for de tre kraftfôrblendingene som ble brukt i forsøket er vist i Figur 11. Tabell 11 viser nedbrytningskarakteristikken for stivelse fra *In sacco*



Figur 11 Nedbrytningskurver for stivelse, fra *in sacco*

Tabell 11 Nedbrytningskarakteristikk stivelse, fra *in sacco*

	Finmalte havreskall	Umalte havreskall	Bygg-kontroll
Løselig fraksjon	72,77	59,74	28,29
Potensielt nedbrytbar fraksjon	26,40	39,43	71,51
Nedbrytnings-hastighet, %/time	38,57	35,02	29,48
Løselig + potensielt nedbrytbar fraksjon	99,17	99,17	99,81
Ikke nedbrytbar fraksjon	0,83	0,83	0,19
Nedbrutt ved 8%/time passasjehastighet	94,46	91,83	84,48

Tabell 11 viser at de havrebaserte kraftfôrblendingene hadde en høyere andel løselig stivelse enn kraftfôrblendingen basert på bygg. Dette kommer også frem av Figur 11.

Nedbrytningshastigheten var også raskere for havreblendingene i forhold til byggblendingen. Den ikke nedbrytbare fraksjonen av stivelse var omtrent lik i alle tre kraftfôrblendingene, og

som Figur 11 viser var det nesten ingen forskjell i andel nedbrutt stivelse etter åtte timer i vom.

Tabell 12 viser passasje av organisk stoff fra vom til tarm, i tillegg til passasjehastighet og nedbrytningshastighet beregnet fra vomtømmingsmetoden.

Tabell 12 Daglig passasje fra vom, passasjehastighet (kp %/time), og nedbrytningshastighet (kd %/time) for organisk stoff, stivelse og NDF²

	Finmalte havreskall	Umalte havreskall	Bygg-kontroll	SEM ¹	p-verdi
Passasje					
Organisk stoff (kg)	12,49	14,62	12,60	0,810	0,1856
Stivelse	0,95	1,18	1,06	0,153	0,6387
NDF ²	3,87	3,64	3,17	0,165	0,1638
Passasjehastighet					
Organisk stoff	4,94	5,54	5,47	0,278	0,2336
Stivelse	7,20	8,30	5,81	1,179	0,4728
NDF ²	2,45 ^a	2,20 ^b	2,23 ^{ab}	0,119	0,0642
Nedbrytningshastighet					
Organisk stoff	2,68	1,81	2,79	0,270	0,2041
Stivelse	29,24	26,62	24,62	1,435	0,277
NDF ²	2,72	2,62	2,89	0,207	0,6641

¹Standardfeilen til LSmeans

²Nøytralt løselig fiber

a og b angir signifikant forskjell mellom rasjoner (p<0,05) eller tendens til forskjell (p<0,10)

Passasje av organisk stoff fra vom til tarm var 14,62 kg per dag for blandingen med umalte havreskall og 12,60 kg for byggblandingen. For blandingen med finmalte havreskall var passasjen av organisk stoff 12,49 kg per dag. Passasjehastigheten av NDF fra vom varierte fra 2,20 % per time for blandingen med umalte havreskall til 2,45 % per time for blandingen med finmalte havreskall. Det er en tendens (p<0,10) at passasjehastigheten for NDF var større for blandingen med finmalte havreskall (2,45 %/time) enn for blandingen med umalte havreskall (2,20 %/time).

3.2.7 Melkeytelse

Tabell 13 viser gjennomsnittlig melkeytelse og energikorrigert melk i forsøket. Denne viser i tillegg fettprosent og proteinprosent i melka

Tabell 13 Gjennomsnittlig daglig melkeytelse, EKM², fettprosent og proteinprosent for de forskjellige rasjonene, gjennomsnitt av ytelse dag 8 til 13 fra hver prøveperiode

	Finmalte havreskall	Umalte havreskall	Bygg-kontroll	SEM ¹	p-verdi
Melkeytelse	27,37 ^a	26,27 ^b	27,24 ^{ab}	0,330	0,0791
EKM ²	28,29	27,08	27,81	0,573	0,1516
Fettprosent	4,29	4,22	4,08	0,086	0,1147
Proteinprosent	3,33 ^a	3,39 ^a	3,49 ^b	0,047	0,0023

¹Standardfeilen til LSmeans

²Energikorrigert melk (Formel 9)

a og b angir signifikant forskjell mellom rasjoner ($p < 0,05$) eller tendens til forskjell ($p < 0,10$)

Det var en tendens ($p < 0,10$) til høyere daglig melkemengde for rasjonen med finmalte havreskall (27,37 kg) enn for rasjonen med umalte havreskall (26,27 kg). Det var ingen signifikant forskjell ($p > 0,05$) i kg energikorrigert melk. Det var en signifikant ($p < 0,05$) høyere proteinprosent i melk for byggblandingen i forhold til havreblandingene.

4.0 Diskusjon

Hovedmålet med forsøket var å undersøke effekten av malingsgrad av havreskall i fôr til drøvtyggere. Forskjellen mellom de to kraftfôrblendingene med havre var malingsgraden av havreskallene, dermed den fysiske strukturen av kraftfôret. Etter min kjennskap er ikke effekten av malingsgrad av havreskall undersøkt tidligere. I tillegg ble en kraftfôrblending basert på bygg brukt som en kontroll mot havreblendingene. Denne blandingen hadde et beregnet lavere innhold av NDF og mer stivelse enn havreblendingene, men samme proteininnhold.

Det fremgår av Tabell 3 og Tabell 5 at det er noe avvik mellom beregnet og analysert kjemisk innhold mellom blandingene. Den største forskjellen er i proteininnhold mellom havreblendingene og byggblendingen. Dette sammen med det lave analyserte innholdet av aske i byggblendingen tilsier at det har skjedd en feil ved produksjonen av denne. Med hensyn til havreblendingene var forskjellen i innhold av NDF noe større enn ønsket. Det viktigste med disse to blandingene er imidlertid forskjellen i fysisk struktur. Denne forskjellen var visuelt svært tydelig og havreblendingene ble vurdert til å være godt egnet til formålet til tross for forskjellene i NDF innhold. Med hensyn til byggblendingen kan feilblanding ha gjort denne noe dårligere egnet til forsøkets formål enn ønsket. Dette vil bli tatt inn i diskusjonen seinere.

Ved gjennomføring av denne type forsøk er det svært viktig at faktoren som skal undersøkes utgjør en betydelig del av rasjonen. I dette forsøket var kraftfôret forsøksfaktoren. På tørrstoffbasis var andel tildelt kraftfôr og grovfôr om lag 50:50. Dette forholdet ble valgt for å gjenspeile et normalt fôrnivå for melkekyr, og å sikre et normalt vommiljø. I andre forsøk har det blitt brukt en høyere andel kraftfôr i rasjonen, noe som har gitt effekter på både vommiljø, produksjon og tyggetid (Woodford et al. 1986; Pereira et al. 1999). Harstad (1990) fant at strukturen på kraftfôret hadde stor betydning på vommiljøet og melkeproduksjonen ved lav grovfôrandel i rasjonen. Forskjellene mellom rasjoner med kraftfôr laget av valsa korn i forhold til rasjoner med kraftfôr laget av finmalt korn, avtok når kraftfôrnivået i rasjonen ble redusert. I mitt forsøk ble det ikke funnet noen indikasjoner på at kraftfôrnivået var så høyt at det ga problemer med vommiljøet. Det er mulig at eventuelle effekter av havreskall kunne vært lettere å påvise med en høyere andel av kraftfôr og/eller havreskall i rasjonen.

Innholdet av NDF i rasjonen har stor innvirkning på tyggetid og vommiljø (Nørgaard et al. 2011b). Som tidligere nevnt var det derfor ønskelig å ha en så høy andel NDF fra kraftfôr som mulig i rasjonen. Beregnet innhold av NDF i de tre kraftfôrblendingene ville gitt en NDF-andel fra kraftfôr på rundt 25 % med byggrasjonen og 40 % fra havrerasjonene. Det kjemiske innholdet av NDF (Tabell 5) i havreblendingene var litt lavere enn beregnet (Tabell 3), mens for byggblendingen var det et litt høyere innhold av NDF enn beregnet (Tabell 3). I tillegg var det noe variasjon i opptaket av grovfôr (Tabell 6) slik at reell NDF-andel fra kraftfôret i forsøket var 36 % for rasjonen med finmalt havreskall, 30 % for rasjonen med umalte havreskall og 39 % i rasjonen med bygg. Andelen NDF fra kraftfôret, særlig for rasjonen med malte havreskall, var derfor noe lavere enn ønsket og effekten av havreskall ville antagelig vært klarere om en større del av NDF i rasjonen hadde kommet fra kraftfôret. Pereira et al. (1999) fant at NDF fra ikke-grovfôrkilder var kun 27 % så effektiv som NDF fra grovfôr til å opprettholde fettprosenten i melk. Grant (1997) fant at når NDF fra grovfôr i rasjonen reduseres til 60 -65 % av total NDF, burde resten av grovfôret ha stor partikkelstørrelse. Den økte partikkelstørrelse av grovfôret vil da kunne veie opp for at NDF fra ikke grovfôr-kilder ikke har like stor strukturverdi som NDF fra grovfôr.

Usikkerheten ved å gjøre fordøyelsesforsøk på drøvtyggere er stor, og feilkildene er mange (Titgemeyer 1997). Huhtanen et al. (2010) sammenlignet data fra 32 studier og fant at prøver fra bladmagekanalen kan være en god erstatning av prøver fra tolvfingertarmen. I mitt forsøk ble det tatt prøver fra nettmagen for å bestemme fordøyeligheten i vom. Nettmageprøver gir en litt høyere fordøyelighet av NDF enn prøver tatt fra bladmagekanalen, grunnet en lavere andel NDF i de store partiklene i nettmagen (Krizsan et al. 2010). På den andre siden er nettmageprøvene mindre forstyrrende for dyret og krever ikke så omfattende utstyr som bladmagekanalprøvene. Nettmageprøver er derfor en god erstatning for prøver fra bladmagekanalen (Krizsan et al. 2010). I hvilken grad nylonposer i vom er egnet til å måle nedbrytningen av stivelse i vom er diskutert av blant annet Huhtanen & Sveinbjörnsson (2006). Offner & Sauvant (2004) fant at *in sacco* underestimerte nedbrytningshastigheten av stivelse fra fôr med langsom nedbrytbar stivelse, mens nedbrytningshastigheten av stivelse fra fôr med rask nedbrytbar stivelse ble overestimert.

Under registreringen av tyggeaktivitet var det enkelte perioder det ikke ble registrert noen tyggeaktivitet på grunn av feil med registreringsenheten, disse periodene er beskrevet i material og metode. I bearbeidingen av registrert tyggeaktivitet i forsøket ble det forutsatt at der det ikke var registrert tygging var det ingen tyggeaktivitet.

Det var ingen signifikante forskjeller ($p > 0,05$) i etetid mellom rasjonen med umalte havreskall og rasjonen med finmalte havreskall. Dette samsvarer med det Morgan & Campling (1978) fant ved å gi hele og malte korn til storfe. Morgan & Campling (1978) fant derimot en forskjell i total drøvtyggingstid når forsøksdyrene fikk hele korn i forhold til malte korn, men tyggetid per kg tørrstoff endret seg ikke signifikant. Forsøket mitt ga ingen signifikant forskjell ($p > 0,05$) i drøvtyggingstid per kg tørrstoff mellom de to havrebaserte blandingene. En høyere kraftfôrandel eller mer havreskall i kraftfôret slik at mer NDF i rasjonen kom fra kraftfôr, kunne gjort det mulig og lettere påvise eventuelle forskjeller. Med det aktuelle kraftfôrnivået og den lave andelen NDF fra kraftfôr hadde ikke malingsgraden av havreskallene innvirkning på tyggetid.

I tillegg til måling av tyggetid ble tyggetid beregnet etter formler fra NorFor. I disse formlene inngår innhold av NDF, iNDF og partikkelstørrelse i beregningen av etetid og drøvtyggingstid (Nørgaard et al. 2011b). I beregningen ble gjennomsnittlig partikkelstørrelse for kraftfôret med umalte havreskall oppgitt til 3 millimeter, og for kraftfôret med finmalte havreskall var gjennomsnittlig partikkellengde under 2 millimeter. Denne forskjellen i partikkelstørrelse gjorde at beregnet drøvtyggingstid ble signifikant lengre ($p < 0,05$) for rasjonen med umalte havreskall i forhold til rasjonen med bygg og rasjonen med finmalte havreskall. Beregnet total tyggetid med NorFor stemmer godt med de observerte tyggetidene, men beregnet etetid ligger litt lavere enn observert etetid, mens det er motsatt for drøvtyggingstiden med lavere observert drøvtyggingstid enn beregnet. Disse forskjellene i beregnet og observerte tyggetider kan muligens forklares ved at faktorer som ikke er med i beregningen til NorFor påvirker tyggetiden. En oversiktsartikkel av Deboever et al. (1990) beskriver flere faktorer som kan påvirke tyggetid, men som ikke er med i beregningen av tyggetid i NorFor. En faktor ved fôret som nevnes er totalt proteininnhold i rasjonen. Faktorer ved dyret og miljøet er også med på å påvirke tyggetiden. Eksempler på slike faktorer er kroppsstørrelse, laktasjon/drektighetsstadium og fôringsregime (Deboever et al. 1990). Den samme oversiktsartikkelen forteller også at det er individuelle variasjonen mellom dyr når det gjelder tyggetid. Formlene som brukes i NorFor er laget på bakgrunn av flere tyggetidsforsøk, men likevel vil disse formlene gi en feilmargen i forhold til observert tyggetid på grunn av de nevnte faktorene. Bak hvert gjennomsnittstall for tyggetid i dette forsøket ligger det seks observasjoner av faktisk tyggetid. Selv om ikke observert og beregnet etetid og drøvtyggingstid er eksakt like, kan man si at beregningene i NorFor stemmer godt overens med observert tyggetid.

Den beregningsmessig lavere tyggetiden for byggrasjonen ble ikke funnet igjen i målingen av tyggetid. Faktisk ga rasjonen med byggkraftfôr høyest tyggetid pr kg tørrstoff (Tabell 7). Forskjellene er ikke signifikante ($p > 0,05$), men likevel interessante. Byggrasjonen viste høyest tyggetid på tross av lavere opptak av NDF (Tabell 6) og lavere pool av NDF i vom (Tabell 9). Disse faktorene for byggrasjonen kan derfor ikke være med på å forklare den numerisk høyere tyggetiden. En mulig forklaring på den høye tyggetiden for byggrasjonen kan være det lave proteininnholdet i kraftfôrblendingen med bygg. Det lavere proteininnholdet i denne rasjonen ga en lavere konsentrasjon av ammoniakk i vom. Innholdet av ammoniakk var i relativt lang tid under 5 mmol pr liter (Figur 9) noe som kan føre til en nedsatt mikrobiell effektivitet (Buttery 1977). Dette nivået er ikke absolutt, og om nivået av ammoniakk har vært så lavt over tid at det har hatt noen betydning er uklart. Balch (1971) og Faichney (1986) fant at tilsetning av urea reduserte total tyggetid for en rasjon med halm betraktelig. En mulighet er derfor at noe mangelfull effektivitet av mikrobene har blitt kompensert med økt drøvtygging. En annen forklaring kan være det lave askeinnholdet i kraftfôret med bygg, askeinnholdet er så lavt at noen mineraler kan ha blitt begrensende for mikrobeaktiviteten. Kraftfôret ble dessverre ikke analysert for mineraler, men blant annet svovel inngår i mikrobeprotein og er dermed essensielt for mikrobevekst (Guéguen et al. 1990; Van Soest 1994).

Fôropptaket mellom rasjonene var ikke signifikant forskjellig ($p > 0,05$) (Tabell 6). Det var en tendens ($p < 0,10$) til at passasjehastigheten for NDF ut av vom for rasjonen med umalte havreskall var lavere enn for rasjonen med finmalte havreskall (Tabell 12). Likevel ser det ikke ut som at oppholdstiden i vom for rasjonen med umalte havreskall var så høy at opptaket av grovfôr ble redusert. Det var en signifikant forskjell ($p < 0,05$) i inntak av stivelse mellom alle tre rasjonene (Tabell 6). Det høyeste stivelsesinntaket var for rasjonen med bygg og lavest for rasjonen med finmalte havreskall. Dette skyldes forskjellen i stivelsesinnholdet mellom de tre kraftfôrblendingene Tabell 5 (Tabell 5).

Det var en signifikant forskjell ($p < 0,05$) i fordøyeligheten av tørrstoff i vom mellom rasjonen med umalte havreskall og malte havreskall i mitt forsøk (Tabell 8). Tørrstoff i vom er en ikke-enhetlig fraksjon, som består av til dels mye aske. Dette gjør at tørrstoff-fordøyeligheten i vom ikke er et godt mål på fordøyelighet i vom. Fordøyelighet av organisk stoff er et bedre mål, og det var ingen signifikante forskjeller ($p > 0,05$) mellom fordøyeligheten av organisk stoff mellom rasjonene (Tabell 8). Det ble heller ikke funnet noen signifikant forskjell ($p > 0,05$) i fordøyelighet av NDF mellom rasjonene med de to havrebaserte

kraftfôrblandingene. I flere forsøk med kraftfôrpelletts med grov struktur (valsa korn i kraftfôret) fant Harstad (1990) ingen entydig effekt av struktur i kraftfôret på fordøyeligheten. Den manglende forskjellen i fordøyelighet av NDF samsvarer også med det Morgan & Campling (1978) fant. Morgan & Campling (1978) påviste derimot en lavere fordøyelighet av organisk stoff i en rasjon med malt havre i forhold til i en rasjon med hel havre. Et lignende forhold mellom partikkelstørrelse og fordøyelighet av NDF fant Jaster & Murphy (1983), her ble det funnet at redusert partikkelstørrelse på alfalfahøy ga redusert fordøyelighet av NDF. Nylonposeforsøket bekrefter det som ble funnet ved vomtømmingsteknikken, andelen nedbrytbar NDF var lik for rasjonene med umalte og finmalte havreskall (Figur 10 og Tabell 10). Nedbrytningshastigheten av NDF for kraftfôret med finmalte havreskall var litt raskere (7 %/time) enn for kraftfôret med umalte havreskall (4 %/time). Men etter omtrent 16 timer var andel nedbrutt NDF lik for de to blandingene. Beauchemin et al. (1994) gjorde *in sacco* forsøk med hele, delte og korn som var tygd. I dette forsøket ble det funnet en større forskjell i nedbrytningen av NDF enn det ble funnet i mitt forsøk. Dette kan forklares av malingsgraden av kornet i forkant av inkuberingen i vom. I mitt forsøk var forskjellen i malingsgrad kun på skallet, ikke hele kornet. For korn, med havre som et unntak, er det nødvendig å bryte skallet for å sikre en tilstrekkelig fordøyelse av kornet hos kyr (Søegaard et al. 2003). Normalt har NDF fra bygg høyere fordøyelighet enn NDF fra havre (*NorFor feed table* 2010). Nylonposeforsøket bekrefter dette med både høyere total nedbrytning av NDF og raskere nedbrytning av NDF i vom fra bygg enn havre (Figur 10 og Tabell 10). Basert på vomtømmingsteknikken ble det funnet en numerisk lavere passasjehastighet av NDF fra vom til tarm for byggrasjonen i forhold til rasjonen med finmalte havreskall (Tabell 12), men denne forskjellen var ikke signifikant ($p > 0,05$). I tillegg var det en ikke-signifikant ($p > 0,05$), men numerisk høyere nedbrytningshastighet for byggrasjonen enn for de to havrerasjonene. Dette gir en indikasjon på at NDF i bygg har raskere nedbrytning og passasje enn NDF i havre. Målingene er imidlertid gjort på rasjonsbasis og hvor stor del av disse forskjellene som skyldes kraftfôret er derfor usikkert. Fordøyelighet av NDF fra byggrasjonen var ikke signifikant forskjellig ($p > 0,05$) fra havrerasjonene. Lavere opptak av NDF, og høyere fordøyelighet av NDF fra bygg burde gitt høyest fordøyelighet av NDF for byggrasjonen. Muligens var andelen NDF fra kraftfôret for liten til å gi utslag i fordøyeligheten i totalrasjonen. Fordøyeligheten av NDF fra grovfôret kan imidlertid ha vært lavere for byggrasjonen enn for havrerasjonene

Harstad et al. (1996) fant at havrebasert kraftfôr hadde en signifikant høyere apparent stivelsesfordøyelighet i vom enn kraftfôr basert på bygg (94 mot 82 %). Denne forskjellen ble ikke funnet i mitt forsøk. Målt med nylonposemetoden var nedbrytningshastigheten av stivelse i havre vesentlig raskere enn for bygg (Tabell 11). Dette er i overensstemmelse med tidligere undersøkelser og inngår i fôrtabellen til NorFor (*NorFor feed table* 2010). Målt med vomtømmingsmetoden var forskjellene i nedbrytningshastigheten av stivelse mellom havrerasjonene og byggrasjonen vesentlig mindre, men nedbrytningshastigheten var fortsatt høyere for havre. Siden all stivelsen i rasjonen kommer fra kraftfôret kan dette være en indikasjon på at in vivo nedbrytning av stivelse i vom er høyere for havre enn for bygg, men med mindre forskjeller enn nylonposemetoden angir. Det var imidlertid en numerisk høyere vompool, men ikke signifikant ($p > 0,05$), av stivelse for byggrasjonen sammenlignet med havrerasjonene, særlig ved vomtømmingen to timer etter fôring. Årsaken til dette kan være delvis det høyere opptaket av stivelse i byggrasjonen og delvis en mer langsom nedbrytning av stivelse i bygg enn i havre. Løselig andel stivelse var høyere for kraftfôret med finmalte havreskall enn for kraftfôret med umalte havreskall (Figur 11). Det kan ha vært kontaminering av stivelse i havreskallene slik at en del stivelse i kraftfôret med umalte havreskall ikke ble malt. Dette gjorde at andelen løselig stivelse var lavere for kraftfôret med umalte havreskall. Selv om andelen løselig stivelse var lavere for blandingen med umalte havreskall, var andelen ikke-nedbrytbar stivelse lik for begge de to havrebaserte kraftfôrblandingene.

Et godt vommiljø er viktig for å opprettholde en normal vomfunksjon. I mitt forsøk var alle verdier for vommiljø godt innenfor normalen. Gjennomsnittlig pH for havreblanding med finmalte havreskall var 6,10 og gjennomsnittet for havreblanding med umalte havreskall var 6,25. pH for rasjonen med umalte havreskall lå generelt litt høyere enn for rasjonen med finmalte havreskall. Fra Figur 5 og Figur 6 kan vi se at det var et slakere pH fall for rasjonen med umalte havreskall enn for rasjonen med finmalte havreskall. Dette stemmer med resultater fra forsøk med kraftfôr laget av valsa eller malt korn utført av Harstad (1990). Forskjellen i pH kan skyldes at det tar lengre tid for mikrobene å bryte ned det umalte enn det malte havreskallet. Dermed går nedbrytningen av NDF i vom saktere (Figur 10 og (Beauchemin et al. 1994)) og reduksjonen i pH blir slakere. Byggrasjonen ga lavest pH i vomvæska (Figur 5 og Figur 6). Lav pH i vom vil gi en redusert fordøyelighet av NDF i vom (Kaufmann 1976). Dette sammen med den tidligere omtalte lavere tilførselen av protein og mineraler kan kanskje være en del av forklaringen på den høye tyggetiden for byggrasjonen.

På tross av den høyeste pH-en, ser sum syrer (Figur 7) i vom ut til å være litt høyere for rasjonen med umalte havreskall enn for rasjonen med finmalte havreskall. Dette kan ikke forklares med forholdet mellom syrer i vom fordi forholdet mellom de tre kvantitativt viktigste syrene i vom var minimalt forskjellig mellom rasjonene (Figur 8). Med litt lavere andel propionsyre for rasjonen med umalte havreskall. Dette skyldes at sammensetningen av kraftfôrene var tilnærmet lik for de to rasjonene basert på havre, selv om malingsgraden var forskjellig. Tilgangen på substrater for de forskjellige bakteriene var dermed lik, selv om fermenteringen skjedde med varierende hastighet for de to rasjonene. Det ble produsert litt mindre propionsyre for rasjonen med umalte havreskall, dette kan skyldes at det produseres mer propionsyre når pH er lavere (Kristensen et al. 2003) og denne rasjonen hadde totalt sett den høyeste pH-en.

Det var en tendens ($p < 0,10$) til lavere melkeytelse og ingen signifikante forskjeller ($p > 0,05$) i innhold av fett i melk for rasjonen med umalte havreskall i forhold til rasjonen med finmalte havreskall i mitt forsøk (Tabell 13). I forsøk med grovpellets utført av Harstad (1990) ble det funnet en høyere fettprosent for kraftfôr med valsa havre i forhold til kraftfôr med malt havre. I det samme forsøket ble det også funnet en høyere melkeytelse for rasjoner med lav malingsgrad av kraftfôret. I dette forsøket var hver forsøksperiode 4 uker, og den lengre forsøksperioden gjorde at melkeytelsen forandret seg mer mellom rasjonene. I mitt forsøk ble det funnet en melkeytelse for rasjonen med bygg som lå mellom ytelsen for de to havrebaserte rasjonene, mens Ekern et al. (2003) og Moran (1983) fant en signifikant lavere melkeytelse for byggbasert kraftfôr enn for havrebasert kraftfôr. I mitt forsøk ble det funnet en signifikant høyere ($p < 0,05$) proteinprosent for rasjonen basert på bygg i forhold til rasjonene med kraftfôrblandingene med havre, dette stemmer delvis med det Ekern et al. (2003) fant. Ekern et al. (2003) fant en lavere produksjon av protein med byggbasert kraftfôr i forhold til havrebasert kraftfôr i forsøk som gikk over fem og seks uker. Men samtidig økte daglig melkeytelse mer enn proteinproduksjonen med havrerasjonen, slik at proteinprosenten i melk ble høyere for byggbasert kraftfôr enn for havrebasert kraftfôr i dette forsøket. Forsøk som er gjort på forskjellene mellom bygg og havre i melkeproduksjon er ikke entydige. Moran (1983) fant ikke forskjell mellom proteinproduksjon for rasjoner med byggbasert kraftfôr og rasjoner med havrebasert kraftfôr. Korte forsøksperioder kan ha vært årsaken til at ikke melkeytelsen forandret seg mellom rasjonene i mitt forsøk. I tillegg var det kun havreskallet som hadde en strukturforskjell, dermed ble ikke fermenteringsmønsteret i vom forandret i så stor grad at fettprosenten i melk ble påvirket av dette.

5.0 Konklusjon

Det aktuelle kraftfôrnivået i forsøket ga ikke signifikant ($p > 0,05$) forskjell i tyggetid mellom rasjonen med kraftfôret som hadde umalte havreskall og rasjonen med kraftfôret som hadde finmalte havreskall i kraftfôret. Beregningene av tyggetid gjort i NorFor stemmer godt overens med observert tyggetid i forsøket. Det var en tendens ($p < 0,10$) til høyere vompool av NDF og lavere passasjehastighet for rasjonen med umalte havreskall enn for de to andre rasjonene, men likevel var grovfôropptaket likt for alle tre rasjonene. Umalte havreskall ser ut til å ha en positiv virkning på vommiljø. Denne kraftfôrblendingen ga den høyeste gjennomsnittlige pHen og de slakeste fallene i pH. Rasjonen med byggblendingen ser ut til å ha gitt de største fallene i pH og den laveste gjennomsnittlige pHen. For alle tre rasjonene var vommiljøet likevel innenfor normalverdier.

Melkeytelsen og fettinnholdet i melk ser ut til å være forskjellig mellom de tre rasjonene. Rasjonen med byggkraftfôret ga et signifikant høyere ($p < 0,05$) innhold av protein i melk.

Alt i alt er konklusjonen at umalte havreskall ikke gir en høyere strukturverdi i rasjonen enn umalte havreskall.

6.0 Referanser

- Allen, M. (1996). Physical constraints on voluntary intake of forages by ruminants. *Journal of Animal Science*, 74: 3063-3075.
- Bailey, A, Erdman, R, Smith, L & Sharma, B. (1990). Particle size reduction during initial mastication of forages by dairy cattle. *Journal of Animal Science*, 68: 2084-2094.
- Bailey, C. (1961). Saliva secretion and its relation to feeding in cattle .3. Rate of secretion of mixed saliva in cow during eating, with an estimate of magnitude of total daily secretion of mixed saliva. *British Journal of Nutrition*, 15: 443-451.
- Balch, C, Kelly, A & Heim, G. (1951). Factors affecting the utilization of food by dairy cows. 4. The action of the reticulo-omasal orifice. *British Journal of Nutrition*, 5: 207-216.
- Balch, C. (1971). Proposal to use time spent chewing as an index of extent to which diets for ruminants possess physical property of fibrousness characteristic of roughages. *British Journal of Nutrition*, 26: 383-392.
- Beauchemin, K & Buchanan-Smith, J. (1989). Effects of dietary neutral detergent fiber concentration and supplementary long hay on chewing activities and milk production of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 72: 2288-2300.
- Beauchemin, K, Zelin, S, Genner, D & Buchanan-Smith, J. (1989). An automatic system for quantification of eating and ruminating activities of dairy cattle housed in stalls. *Journal of Dairy Science*, 72: 2746-2759.
- Beauchemin, K. (1991). Ingestion and mastication of feed by dairy-cattle. *Veterinary Clinics of North America-Food Animal Practice*, 7: 439-463.
- Beauchemin, K, McAllister, T, Dong, Y, Farr, B & Cheng, K. (1994). Effects of mastication on digestion of whole cereal-grains by cattle. *Journal of Animal Science*, 72: 236-246.
- Buttery, P. (1977). Aspects of the biochemistry of rumen fermentation and their implication in ruminant productivity. *Recent advances in animal nutrition*: 8-24.
- Callisen, F, Arnt-Jensen, C, Vold, M & Molteberg, E. (2005). Norges komparative fortrinn som havreproducent: Stiftelsen Østfoldforskning.s. 48.
- Cassida, K & Stokes, M. (1986). Eating and resting salivation in early lactation dairy-cows. *Journal of Dairy Science*, 69: 1282-1292.
- Chai, K, Milligan, L & Kennedy, P. (1984). Reduction in particle size during rumination in cattle. *Canadian journal of animal science*, 64: 339-340.
- Deboever, J, Andries, J, Debrabander, D, Cottyn, B & Buysse, F. (1990). Chewing activity of ruminants as a measure of physical structure - a review of factors affecting it. *Animal Feed Science and Technology*, 27: 281-291.
- Dulphy, J, Faverdin, P & Jarrige, R. (1990). Feed intake: the Fill Unit systems. I: Jarrige, R (red.) *Ruminant nutrition: recommended allowances and feed tables*, s. 400: John Libbey Eurotext. (EC) No 152/2009. Commission Regulation laying down the methods of sampling and analysis for the official control of feed. (2009). Official Journal of the European Union L54/1:1-130. Tilgjengelig fra: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:054:0001:0130:EN:PDF> (lest 28.04.2012).
- Ekern, A, Havrevoll, Ø, Haug, A, Berg, J, Lindstad, P & Skeie, S. (2003). Oat and barley based concentrate supplements for dairy cows. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A-Animal Science*, 53: 65-73.
- Faichney, G. (1984). Techniques in particle size analysis of feed and digesta in ruminants. I: Kennedy, P (red.) b. no. 1 *Canadian Society of Animal Science Occasional Publication* s. 179. Edmont, Canada.
- Faichney, G. (1986). *The kinetics of particulate matter in the rumen*. Symposium on Ruminant Physiology: Prentice-Hall.s. 173-195.

- Freer, M, Campling, R & Balch, C. (1962). Factors affecting the voluntary intake of food by cows 4. The behaviour and reticular motility of cows receiving diets of hay, oat straw and oat straw with urea. *British Journal of Nutrition*, 16: 279-295.
- Freer, M & Campling, R. (1965). Factors affecting the voluntary intake of food by cows. *British Journal of Nutrition*, 19: 195-207.
- Fujihara, T & Nakao, T. (1984). The effect of casein supplement on the eating and rumination behaviour in sheep receiving a hay diet. *Japanese Journal of Zootechnical Science*, 55.
- Garmo, T, Randby, Å & Nørgaard, P. (2007). *Effekt av haustetid og kuttelengde av grassurfôr på tyggeaktivitet og rasjonsfordøyelighet hos mjølkeku*. Husdyrforsøksmøtet: Institutt for husdyr- og akvakultur, UMB, Norges Veterinærhøgskole, Veterinærinstituttet.s. 29-32.
- Grant, R. (1997). Interactions among forages and nonforage fiber sources. *Journal of Dairy Science*, 80: 1438-1446.
- Guéguen, L, Lamand, M & Meschy, F. (1990). Mineral requirements. I: Jarrige, R (red.) *Ruminant nutrition; recommended allowances and feed table*: John Libbey Eurotext.
- Harstad, O. (1990). *Ulik struktur i kraftfôret til drøvtyggere*. Husdyrforsøksmøtet: Institutt for husdyrfag, NLH, Institutt for akvakulturforskning, Norges veterinærhøgskole, Veterinærinstituttet, Statens fagtjeneste for landbruket.s. 43-47.
- Harstad, O, Prestløkken, E & Nordheim, H. (1996). *Ruminal fermentation and digestion of carbohydrate fractions in lactating cows fed pelleted or expanded barley and oat based concentrates*. EAAP, Lillehammer.
- Huhtanen, P & Sveinbjörnsson, J. (2006). Evaluation of methods for estimating starch digestibility and digestion kinetics in ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 130: 95-113.
- Huhtanen, P, Ahvenjarvi, S, Broderick, G, Reynal, S & Shingfield, K. (2010). Quantifying ruminal digestion of organic matter and neutral detergent fiber using the omasal sampling technique in cattle--A meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, 93: 3203-3215.
- Hvelplund, T, Madsen, J, Misciattelli, L & Weisbjerg, M. (2003). Proteinomsætningen i mave-tarmkanalen og dens kvantificering. I: Nørgaard, P & Hvelplund, T (red.) *Kvægets ernæring og fysiologi, Bind 1-Næingsstofomsætning og fodervurdering*, s. 281-312. Telje: Danmarks JordbrugsForskning.
- INRA. (1990). *Ruminant nutrition: recommended allowances and feed tables*: John Libbey Eurotext. 400 s.
- Jaster, E & Murphy, M. (1983). Effects of varying particle-size of forage on digestion and chewing behavior of dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 66: 802-810.
- Kaufmann, W. (1976). Influence of the composition of the ration and the feeding frequency on pH-regulation in the rumen and on feed in-take in ruminants. *Livestock Production Science*, 3: 103-114.
- Kennedy, P. (1985). Effect of rumination on reduction of particle size of rumen digesta by cattle. *Australian Journal of Agricultural Research*, 36: 819-828.
- Kjos, N, Hetland, H & Svihus, B. (2005). *Nakent korn som fôr til enmagede dyr*. Husdyrforsøksmøtet: Institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap, UMB, Norges veterinærhøgskole, Veterinærinstituttet.s. 391-394.
- Krause, K & Oetzel, G. (2006). Understanding and preventing subacute ruminal acidosis in dairy herds: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 126: 215-236.
- Kristensen, N, Hvelplund, T, Weisbjerg, M & Nørgaard, P. (2003). Mikrobiel omsætning i formaverne. I: Hvelplund, T & Nørgaard, P (red.) *Kvægets ernæring og fysiologi, Bind 1-Næingsstofomsætning og fodervurdering*, s. 211-238. Tjele: Danmarks JordbrugsForskning.
- Kristensen, V & Nørgaard, P. (1987). Effect of roughage quality and physical structure of diet on feed intake and milk yield of dairy cows. I: Neimann-Sørensen, A (red.) b. *7 Research in cattle production Danish status and perspectives*, s. 92-101: Det kgl. Danske Landhusholdningsselskab.

- Krizsan, S, Ahvenjärvi, S, Volden, H & Broderick, G. (2010). Estimation of rumen outflow in dairy cows fed grass silage-based diets by use of reticular sampling as an alternative to sampling from the omasal canal. *Journal of Dairy Science*, 93: 1138-1147.
- Laca, E, Ungar, E, Seligman, N, Ramey, M & Demment, M. (1992). An integrated methodology for studying short-term grazing behaviour of cattle. *Grass and forage science*, 47: 81-90.
- Latham, M, Sutton, J & Sharpe, M. (1974). Fermentation and Microorganisms in the Rumen and the Content of Fat in the Milk of Cows Given Low Roughage Rations. *Journal of Dairy Science*, 57: 803-810.
- Lindgren, E. (2009). *Validation of rumination measurement equipment and the role of rumination in dairy cow time budgets*. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Animal Nutrition and Management.
- Mathison, G, Okine, E, Vaage, A, Kaske, M & Milligan, L. (1995). *Current understanding of the contribution of the propulsive activities in the forestomach to the flow of digesta*. Ruminant physiology: digestion, metabolism, growth and reproduction. Proceedings 8th International Symposium on Ruminant Physiology: Delmar Publishers.s. 23-41.
- McCleary, B, Gibson, T, Solah, V & Mugford, D. (1994). Total starch measurement in cereal products: Interlaboratory evaluation of a rapid enzymic test procedure. *Cereal chemistry*, 71: 501-504.
- McDonald, P, Edwards, R, Greenhalgh, J & Morgan, C. (2002). *Animal nutrition, 6th edition*. Harlow: Prentice-Hall. 693 s.
- Mertens, D. (1997). Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 80: 1463-1481.
- Mertens, D. (2002). Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. *Journal of AOAC International*, 85: 1217-1240.
- Milkline. (2007). *Ruminact™ Detecting welfare*. Tilgjengelig fra: http://www.healthycow24.com/eng/ruminact/download/pdf/INFO_E_Ruminact_22-10-07.pdf (lest 13.04.2012).
- Moran, J. (1983). *Barley, wheat or oats grain as cereal sources for dairy cows*. Feed information and animal production: proceedings of the Second Symposium of the International Network of Feed Information Centres, Farnham Royal: Commonwealth Agricultural Bureaux.s. 516.
- Morgan, C & Campling, R. (1978). Chewing behavior of hay-fed cows given supplements of whole barley and oat grains. *Journal of Agricultural Science*, 91: 415-418.
- NorFor feed table. (2010). NorFor. Tilgjengelig fra: <http://feedstuffs.norfor.info/> (lest 27.01.2012).
- NRC. (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle, 7th revised edition*: National Academies Press.
- Nørgaard, P. (1981). *Foderstrukturens indflydelse på lakterende køers tyggeaktivitet og vommotorik*. København: Den kgl. Veterinær-og Landbohøjskole.s. 161.
- Nørgaard, P. (1986). Physical structure of feeds for dairy cows.(a new system for evaluation of the physical structure in feedstuffs and rations for dairy cows). *Agric. Ser.:* 85-107.
- Nørgaard, P. (2003a). Optagelse af foder og drøvtygning. I: Nørgaard, P & Hvelplund, T (red.) Kvægets ernæring og fysiologi, *Bind 1-Næringsstofomsætning og fodervurdering*, s. 119-146. Telje: Danmarks JordbrugsForskning.
- Nørgaard, P. (2003b). Tyggetid som mål for foderets fysiske struktur. I: Hvelplund, T & Nørgaard, P (red.) Kvægets ernæring og fysiologi, *Bind 1-Næringsstofomsætning og fodervurdering*, s. 489-510. Tjele: Danmarks JordbrugsForskning.
- Nørgaard, P, Nadeau, E & Randby, Å. (2008). *A new Nordic structure evaluation system for diets fed to dairy cows*. Tilgjengelig fra: https://colloque2.inra.fr/modnut2009/content/download/912/10023/version/1/file/Norgaard_S2.pdf (lest 05.05.2012).
- Nørgaard, P, Nadeau, E & Randby, Å. (2011a). A new Nordic structure evaluation system for diets fed to dairy cows: a meta analysis. I: Sauvante, D, Van Milgen, J, Faverdin, P & Friggens, N (red.) *Modelling nutrient digestion and utilisation in farm animals*, s. 112-120. Wageningen, the Netherlands: Wageningen Academic Publishers.

- Nørgaard, P, Nadeau, E, Randby, Å & Volden, H. (2011b). Chewing index for predicting physical structure of the diet. I: Volden, H (red.) *NorFor- The Nordic feed evaluation system*, s. 127-132. Aas ; Wageningen: Wageningen Academic Publishers.
- Offner, A & Sauvant, D. (2004). Prediction of in vivo starch digestion in cattle from in situ data. *Animal Feed Science and Technology*, 111: 41-56.
- Owens, F & Goetsch, A. (1986). *Digesta passage and microbial protein synthesis*. Sixth International Symposium on Ruminant Physiology, Banff, Canada: Prentice-Hall.s. 196-223.
- Owens, F & Hanson, C. (1992). External and internal markers for appraising site and extent of digestion in ruminants. *Journal of Dairy Science*, 75: 2605-2617.
- Owens, F, Secrist, D, Hill, W & Gill, D. (1998). Acidosis in cattle: A review. *Journal of Animal Science*, 76: 275-286.
- Pereira, M, Garrett, E, Oetzel, G & Armentano, L. (1999). Partial replacement of forage with nonforage fiber sources in lactating cow diets. I. Performance and health. *Journal of Dairy Science*, 82: 2716-2730.
- Poncet, C. (1991). The outflow of particles from the reticulo-rumen. I: Jouany, J (red.) *Rumen microbial metabolism and nutrient digestion*. , s. 297-322. Paris: INRA Publishing.
- Prestløyken, E, Randby, Å, Eknæs, M & Garmo, T. (2011). *Nedbrytnings- og passasjehastighet for fiber i grassurfôr høstet ved tidlig og normalt utviklingstrinn*. Husdyrforsøksmøtet Institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap, UMB, Norges Veterinærhøgskole, Veterinærinstituttet.s. 1-4.
- Prognose for tilgang og forbruk av norsk korn for sesongen 2011/2012*. (2012). Felleskjøpet BA. Tilgjengelig fra: http://www.fk.no/Documents/Eksterne/NFK/Prognoser/Prognose_mars_2012.pdf (lest 02.04.2012).
- Rémond, B, Journet, M, Fléchet, J, Lefavre, R & Ollier, A. (1972). Alimentation des vaches laitières avec des rations a forte proportion d'aliments concentrés. II.-comportement alimentaire et digestion dans le rumen. *Annales de Zootechnie*, 21: 191-205.
- Restek. (2012). *Fatty Acids (Free) Stabilwax®-DA*. restek.com. Tilgjengelig fra: http://www.restek.com/chromatogram/view/GC_FF00653 (lest 10.05.2012).
- Rook, A, Huckle, C & Penning, P. (1994). Effects of sward height and concentrate supplementation on the ingestive behaviour of spring-calving dairy cows grazing grass-clover swards. *Applied Animal Behaviour Science*, 40: 101-112.
- Russell, J & Hespell, R. (1981). Microbial rumen fermentation. *Journal of Dairy Science*, 64: 1153-1169.
- Rutter, M & Champion, R. (1999). *Graze Version 0.8*. 0.8 utg.: Institute of Grasland and Environmental Research.
- Rutter, M. (2004). *Graze Users's Guide. Documentation version 1.01 for program version 0.801*: Institute of Grasland and Environmental Research. 33 s.
- Rutter, S, Champion, R & Penning, P. (1997). An automatic system to record foraging behaviour in free-ranging ruminants. *Applied Animal Behaviour Science*, 54: 185-195.
- SAS. (1999). *SAS/STAT User's guide: Version 8*: SAS institute.
- Schleisner, C, Nørgaard, P & Hansen, H. (1999). Discriminant analysis of patterns of jaw movement during rumination and eating in a cow. *Acta Agriculturae Scandinavica Section A-Animal Science*, 49: 251-259.
- Siddons, R, Paradine, J, Beever, D & Cornell, P. (1985). Ytterbium acetate as a particulate-phase digesta-flow marker. *British Journal of Nutrition*, 54: 509-519.
- Sjaastad, Ø, Hove, K & Sand, O. (2003). *Physiology of domestic animals*. Oslo: Scandinavian Veterinary Press. 735 s.
- Sjaunja, L, Baevre, L, Junkkarinen, L, Pedersen, J & Setälä, J. (1991). *A nordic proposal for an energy corrected milk (ECM) formula*. Twenty-seventh session of the International Committee of Recording and Productivity of Milk Animals, Paris.s. 156-157.
- Sudweeks, E & Ely, L. (1979). Evaluating the physical form of the diet in ruminant nutrition. *Proceedings of Distillers Feed Research Council*, 34: 60.

- Sudweeks, E, Ely, L, Mertens, D & Sisk, L. (1981). Assessing minimum amounts and form of roughages in ruminant diets - roughage value index system. *Journal of Animal Science*, 53: 1406-1411.
- Søegaard, K, Hansen, H & Weisbjerg, M. (2003). Fodermidlernes karakteristika I: Hvelplund, T & Nørgaard, P (red.) Kvægets ernæring og fysiologi, *Bind 1-Næringsstofomsætning og fodervurdering*, s. 39-68. Tjele: Danmarks JordbrugsForskning.
- Taniguchi, K, Yamatani, Y & Otani, I. (1984). Effects of dietary protein content on chewing behavior and digestibility in steers. *Japanese Journal of Zootechnical Science*, 55.
- Titgemeyer, E. (1997). Design and interpretation of nutrient digestion studies. *Journal of Animal Science*, 75: 2235-2247.
- Total kornproduksjon. (2011). I: M, R (red.): Statens landbruksforvaltning. Tilgjengelig fra: <https://www.slf.dep.no/no/statistikk/utvikling/produsert-mengde/korn/Total+kornproduksjon.14387.cms> (lest 24.01.2012).
- Van Soest, P. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant, Second edition*. Ithaca, New York: Cornell University Press. 476 s.
- Volden, H. (2006). *NorFor Plan– Nytt fôrvurderingssystem for storfe*. I: Volden, H (red.) medlem.tine.no. Tilgjengelig fra: <https://medlem.tine.no/trm/tp/binary?id=14442> (lest 13.04.2012).
- Volden, H. (2011a). Feed calculations in NorFor. I: Volden, H (red.) *NorFor-The Nordic feed evaluation system*, s. 55-58. Aas ; Wageningen: Wageningen Academic Publishers.
- Volden, H. (2011b). Feed fraction characteristics. I: Volden, H (red.) *NorFor-The Nordic feed evaluation system*, s. 33-40. Aas ; Wageningen: Wageningen Academic Publishers.
- Volden, H, Nielsen, N, Åkerlind, M, Larsen, M, Havrevoll, Ø & Rygh, A. (2011). Prediction of voluntary feed intake. I: Volden, H (red.) *NorFor-The Nordic feed evaluation system*, s. 113-126. Aas ; Wageningen: Wageningen Academic Publishers.
- Weisbjerg, M, Lund, P & Hvelplund, T. (2003). Kulhydratomsætningen i mave-tarmkanalen. I: Nørgaard, P & Hvelplund, T (red.) Kvægets ernæring og fysiologi, *Bind 1-Næringsstofomsætning og fodervurdering*, s. 239-280. Tjele: Danmarks JordbrugsForskning.
- Welch, J & Smith, A. (1969). Effect of varying amounts of forage intake on rumination. *Journal of Animal Science*, 28: 827-830.
- Welch, J & Smith, A. (1970). Forage quality and rumination time in cattle. *Journal of Dairy Science*, 53: 797-800.
- Welch, J. (1982). Rumination, particle size and passage from the rumen. *Journal of Animal Science*, 54: 885-894.
- Woodford, J, Jorgensen, N & Barrington, G. (1986). Impact of dietary fiber and physical form on performance of lactating dairy-cows. *Journal of Dairy Science*, 69: 1035-1047.
- Woodford, S & Murphy, M. (1988). Effect of forage physical form on chewing activity, dry-matter intake, and rumen function of dairy-cows in early lactation. *Journal of Dairy Science*, 71: 674-686.
- Åkerlind, M, Weisbjerg, M, Eriksson, T, Tøgersen, R, Udén, P, Ólafsson, B, Harstad, O & Volden, H. (2011). Feed analyses and digestion methods. I: Volden, H (red.) *NorFor-The Nordic feed evaluation system*, s. 41-54. Aas ; Wageningen: Wageningen Academic Publishers.