



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

**Masteroppgave 2018 60 studiepoeng**

Fakultet for biovitenskap

Hovedveileder: Stine Gregersen Vhile

## **Bruk av alkalisk korn i kraftfôr til drøvtyggere - effekt på vommiljø og fordøyelighet**

The use of alkaline grain in feed for ruminants -  
effect on rumen environment and digestibility

Ole Anders Fjeldberg

Åsmund Kristensen

Husdyrvitenskap

Institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap

## Forord

Denne masteroppgåva vart skriven våren 2018 ved Institutt for Husdyr- og Akvakulturvitenskap (IHA) ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU) på Ås. Oppgåva er ei vemodig avslutning på fem års høgare utdanning. Vi er begge frå gard, og vår felles interesse for husdyr førte til at vi vart immatrikulert ved UMB hausten 2013. Fyrste etappe var ein treårig bachelorgrad i husdyrvitenskap, og sidan ein toårig mastergrad innanfor husdyrernæring.

Gjennom studietida har vi hatt stor interesse for ernæring og optimalisering av fôr til drøvtyggarar. Det var derfor ikkje noko vanskelig val å takke ja til å skrive om alkalisk korn til mjølkekyr når vi fekk den moglegheita. Vil rette ein stor takk til hovudveileiar Stine Gregersen While for god vegleiing gjennom heile skriveperioden, den same takka rettast også til biveileiarar Egil Prestløyken og Inger Johanne Karlengen.

Vil og takke Norgesfôr, Strand Unikorn og Landbruksdirektoratet: Forskingsmidlene for jordbruk og matindustri for midlar til gjennomføringa av dette prosjektet. Stor takk til alle på stoffskiftefjøsset og Labtec ved NMBU for god gjennomføring og stålkontroll på resultat og analysar. Takk til optimerar hos Strand Unikorn, Halvor Nordli for rask og detaljert respons på spørsmål. Rettar også ein stor takk til dei seks forsøkskyrne for god tålmodighet og lite klaging under forsøket, dei kan anbefalast til neste arbeidsgivar.

Til slutt takker vi Bodegaen på Studentsamfunnet i Ås og eit flott utval av ymse personar ved IHA og elles på NMBU som har bidratt til å berike studiekvardagen vår alle desse åra.

Takk for oss!

*Institutt for husdyr- akvakulturvitenskap*

*Ås, 15. mai, 2018*

---

Ole Anders Fjeldberg

---

Åsmund Kristensen



## Sammendrag

Denne oppgaven består av en teoridel og gjennomføringen av to forsøk på alkaliske kornråvarer til bruk i kraftfôr til mjølkekyr. Teoridelen inneholder en generell gjennomgang av de viktigste næringsstoffene i fôrrasjonen samt fordøyelsessystemet og fordøyelsen hos drøvtyggere. Deretter blir det gjort kort rede for mjølkesyntesen og nitrogenutnytingen i drøvtyggere, i tillegg til en gjennomgang av formiddelevurderingen brukt i Norge og ulike metoder for måling av fordøyelse. Teoridelen avsluttes med en gjennomgang av korn og kraftfôrpolitikk i Norge, samt informasjon om alkalisk korn.

Hovedmålet med denne oppgaven var å evaluere effekten av å bruke en konsentrert alkalisk kornråvare i kraftfôr til mjølkekyr på vomfysiologiske parametere (pH, gjæringsmønster og nedbrytningsgrad), samt på totalfordøyeligheten av rasjonen og parametere i mjølk.

I forsøk 1, ble tre ulike kraftfôr optimert med likt innhold av energi og råprotein, brukt i rasjonen til mjølkekyr undersøkt; kraftfôr A inneholdt en konsentrert alkalisk kornråvare, kraftfôr B var et kommersielt kraftfôr med høy andel importerte karbohydrat- og proteinråvarer (positiv kontroll), og kraftfôr C inneholdt korn tilsatt urea (negativ kontroll). Disse ble undersøkt for effekt på vommiljø, fordøyelighet og produksjonsresultater. Forsøket ble gjennomført som ett 3x3 latinsk kvadrat med de tre fôrsøksfôrene gitt til seks vomfistulerte kyr av rasen Norsk Rødt Fe (NRF) på standardisert grovfôr gitt *ad lib*. Forsøket gikk over en periode på 63 dager inndelt i tre perioder på 21 dager. Måling av fordøyeligheten til de forskjellige rasjonene ble gjennomført ved registrering av totalt fôropptak og total oppsamling av gjødsel og urin. Det ble også utført inkubering i vom ved bruk av *in sacco*- metoden av den alkalisk kornråvaren (Alkakorn 150) og grovfôr med ulik kvalitet. Effektene på vommiljø ble undersøkt ved måling av pH med bolus i nettmage og ved elektrode og manuelle målinger i vom, samt uttak av vomsaftprøver for analyse av flyktige fettsyrer (VFA) og ammoniakk (NH<sub>3</sub>). Produksjonsresultater ble undersøkt ved registrering av fôropptak og mjølkeytelse, samt ved analyse av mjølke kvalitet og fettsyresammensetning.

I forsøk 2, ble en alkalisk kornråvare av bygg (Alkakorn 150) sammenlignet med bygg tilsatt urea (Home n' Dry®) ved inkubering i vom for å undersøke om det var forskjeller i nedbrytningskarakteristikker. Forsøket ble gjennomført ved standard *in sacco* på tre kyr av rasen NRF, over en periode på 288 timer.

Resultatene fra forsøk 1 viste ikke signifikante, men numeriske forskjeller der kyr fôret med kraftfôr med alkalisk kornråvare hadde høyest tørrstoffopptak og fordøyelighet av samtlige næringsstoff med unntak av rest karbohydrat. Kraftfôret med den alkaliske kornråvaren ga høyere pH i vom enn korn tilsatt urea, på tross av at innholdet av lettløselige karbohydrat var likt for de to kraftfôrene. Det ble funnet klare forskjeller mellom pH målt i vom og nettmage ( $P=0,02$ ). Det ble også funnet numerisk større produksjon av VFA i vom, spesielt eddiksyre, for kraftfôret med alkalisk kornråvare. Resultatene fra mjølkeanalysene viste få signifikante forskjeller, men høyere produksjon av energikorrigert mjølk (EKM) og fett ( $P\leq 0,05$ ) for kyr fôret med kraftfôr med høyere andel importerte protein- og karbohydratråvarer. Målinger gjort ved standard *in sacco* i forsøk 2 viste signifikant høyere fordøyelighet av celleveggstoff (NDF) i den konsentrerte alkaliske kornråvaren (Alkakorn 150) sammenlignet med bygg tilsatt urea ( $P=0,01$ ).

Konklusjonen fra de to forsøkene er at tilsetning av en alkalisk kornråvare for å erstatte importerte protein- og karbohydratråvarer i kraftfôr til melkekyr kan brukes uten negative effekter på fôropptak, vommiljø og totalfordøyeligheten av rasjonen. I forhold til bruk av korn tilsatt urea viste bruken av alkalisk korn i kraftfôret interessante numeriske forskjeller på pH i vom og fordøyelighet av NDF. Kraftfôr tilsatt alkalisk korn ga også en numerisk høyere syreproduksjon i vom uten negativ påvirkning på pH eller totalfordøyeligheten av næringsstoff. Kraftfôr med alkalisk kornråvare kan derfor bidra til å øke andelen norske råvarer i rasjonen til mjølkekyr. Effekter på produksjon, helse og utslipp av klimagasser bør inkluderes i videre studier med flere dyr og lengre forsøksperioder.

## Abstract

This is a two part thesis consisting of a literature study, and a presentation and evaluation of two experiments on alkaline grain used in concentrates fed to dairy cows. The literature study contains a general presentation of the most important nutrients in the ration of a ruminant as well as a review of the digestive physiology in ruminants. Additionally the literature study includes a brief review of the synthesis of milk, and the nitrogen balance in the ruminant. Lastly, the current politics regarding grain, concentrate production and usage in Norway is reviewed, before closing with the theory and effects of alkaline grain used in concentrate production.

The main objective of this study was to investigate the effects of using alkaline grain as a raw material in concentrates fed to dairy cows, on rumen physiological parameters; pH, fermentation pattern and degradability of nutrients. In addition, total tract digestibility and milk quality and production were investigated.

In the first experiment, three different concentrates were investigated. The concentrates were formulated to be isocaloric and isonitrogenous. Concentrate A contained alkaline grain, concentrate B was a commercial concentrate with high level of imported protein- and carbohydrate raw materials, and concentrate C was added grain and urea. These were investigated to evaluate their effect on digestibility, rumen environment and production results. The experimental design was a 3x3 latin square, with the three concentrates given to six rumen-cannulated cows (Norwegian red, NRF) on a standardized roughage given *ad lib*. The total duration of the experiment was 63 days, divided into three periods, each lasting 21 days. Total tract digestibility of the different nutrients in the ration was examined by measuring the total feed intake, and collecting the total amount of faeces and urine. In addition, rumen degradability of the nutrients were measured by using the *in sacco* method, where concentrated alkaline grain (Alkakorn 150) and silage with varying quality were incubated in the rumen during each period. The effects of the different concentrates on the rumen environment, were examined by continuous pH measuring using a pH-electrode in the rumen, and a pH-bolus in the reticulum. pH in the rumen was also measured manually when collecting samples of the rumen fluid, to analyze the level of volatile fatty acids (VFA) and ammonia (NH<sub>3</sub>) in the rumen. Production of the cow, was investigated by measuring total feed intake and milk production, as well as analyzing quality and composition of fatty acids in milk samples.

In the second experiment, concentrated alkaline grain (Alkakorn 150) was compared to barley added urea (Home n'Dry®) by incubation in the rumen to determine differences in degradability. The experiment was carried out with the standard *in sacco* experiment method, with three Norwegian red cows (NRF) over a period of 288 hours.

The results did not show significant, but numerical differences where alkaline grain had a positive effect on the total feed intake and digestibility of all nutrients, except for residual carbohydrates. Conclusive differences ( $P=0,02$ ) between rumen and reticulum pH were found regardless of feed. Despite the same level of highly digestible carbohydrates, feeding the alkaline concentrate resulted in a higher mean pH in the rumen, than feeding concentrate added urea. In addition to this, alkaline concentrate showed a numerical difference in production of VFA in the rumen, where gross VFA-production, and particularly acetic acid were positively higher. Production results showed little variation between the different concentrates in regard to milk production and composition, save for significant higher ( $P\leq 0,05$ ) energy corrected milk production and fat levels in the milk when feeding concentrate with imported raw materials. In the second study, Alkakorn 150 showed a positive effect on the digestion on fiber (NDF), compared to grain added urea, measured with the *in sacco*-method.

In conclusion, utilizing alkaline grain in concentrates produced for dairy cows, to replace imported raw material in the concentrates, can be done without negative effects on feed intake, rumen environment or digestibility of the ration. Furthermore, compared with grain added urea, alkaline grain showed a numerically larger production of VFA in the rumen, without affecting the rumen environment negatively by decreasing the rumen pH. Alkaline grain can be used to increase the amount of Norwegian grain in the ration of dairy cows. More research with longer periods and a larger sample group is necessary to validate the results found in this study, and to further investigate the effects of using alkaline grain in concentrates on production yield, health and greenhouse gas emissions.

# Innholdsfortegnelse

Forord.....	I
Sammendrag .....	III
Abstract.....	V
1 Innledning.....	1
2 Teori.....	3
2.1 Næringsstoff.....	3
2.1.1 Karbohydrater .....	3
2.1.2 Protein.....	4
2.1.3 Fett .....	4
2.2 Fordøyelsesfysiologi .....	6
2.2.1 Karbohydrat .....	9
2.2.2 Protein.....	11
2.2.3 Fett .....	13
2.3 Mjølkesyntese.....	15
2.4 Nitrogenutnyttelse .....	16
2.5 Formiddelevurdering.....	17
2.5.1 Protein og-energi vurdering etter AAT/PBV- systemet.....	17
2.5.2 NorFor.....	19
2.6 Metoder for måling av fordøyelighet .....	21
2.7 Rasjonssammensetning .....	24
2.8 Korn og kraftfôrpolitikk.....	25
2.9 Bruk og prosessering av norsk korn til kraftfôr .....	26
2.10 Alkalisk korn.....	27
3 Materiale og metode .....	29



3.1	Forsøk 1: Fordøyelighetsforsøk med kyr i laktasjon.....	29
3.1.1	Forsøksopplegg.....	29
3.1.2	Forsøksdyr.....	29
3.1.3	Gjennomføring av forsøksperiodene.....	30
3.1.4	Fôrmidler.....	32
3.1.1	Fôrtildeling og registrering .....	33
3.1.1	Fôrprøver.....	34
3.1.2	Kontinuerlig pH-måling.....	34
3.1.3	Oppsamling av gjødsel og urin .....	34
3.1.4	Vomsaftprøver med pH- flere målinger.....	35
3.1.5	Vomsaftprøver med pH- enkel måling .....	35
3.1.6	Mjølkeprøver.....	35
3.1.7	<i>In-sacco</i> målinger.....	35
3.1.8	Andre registreringer .....	37
3.1.9	Analyser .....	37
3.1.10	Behandling av forsøksdata.....	38
3.2	Forsøk 2: <i>In-sacco</i> forsøk på standardkyr .....	46
3.2.1	Forsøksopplegg.....	46
3.2.2	Forsøksdyr.....	46
3.2.3	Forsøksfôr .....	46
3.2.4	<i>In sacco</i> .....	46
3.2.5	Behandling av forsøksdata.....	47
4	Resultater .....	49
4.1	Forsøk 1: Fordøyelighetsforsøk på kyr i laktasjon.....	49
4.1.1	Kjemisk innhold i fôr og gjødsel .....	49

4.1.2	Tørrstoffopptak .....	49
4.1.3	Total oppsamling .....	51
4.1.4	Fordøyelighet .....	52
4.1.5	pH målinger .....	53
4.1.6	Gjæringsmønster .....	56
4.1.7	Bestemmelse av nedbrytingsgrad med <i>in sacco</i> metoden.....	60
4.1.8	Mjølkeanalyser.....	66
4.1.9	Nitrogenbalanse .....	68
4.1.10	AAT, PBV og Fem .....	69
4.2	Forsøk 2: <i>In sacco</i> forsøk på standardkyr .....	70
4.2.1	Bestemmelse av nedbrytingsgrad med <i>in sacco</i> metoden.....	70
5	Diskusjon.....	73
5.1	Tørrstoffopptak og fordøyelighet .....	74
5.2	Vommiljø .....	75
5.3	<i>In sacco</i> nedbrytning .....	80
5.4	Mjølkeanalyser og nitrogenbalanse.....	83
5.5	Korn og kraftfôr .....	86
6	Konklusjon.....	87
	Referanser .....	89



# 1 Innledning

Kun 2,9 % av arealet i Norge er fulldyrket jord, og store deler av dette arealer benyttes til grovfôrproduksjon (Mathiesen 2014; Alvseike et al. 2017; Bye et al. 2017). Mjølkeproduksjonen er bærebjelken i norsk storfeproduksjon, og stadig økende mjølkeytelse krever mer energirike kraftfôrrasjoner med godt proteininnhold (Steinshamn et al. 2016). Derfor brukes det en økende andel importerte råvarer i kraftfôret til melkekyr (Felleskjøpet 2017), da muligheten for dyrking av korn og proteinvekster i Norge er begrenset. Produksjon av proteinvekster i Norge for å erstatte importerte råvarer i kraftfôr går på bekostning av korn- og grovfôrproduksjon. I tillegg er det klimatiske og agronomiske utfordringer som begrenser dyrking av proteinvekster i Norge.

I 2016 ble 95 % av protein-, 44 % av fett-, og 22 % av karbohydratråvarene i kraftfôr til norske husdyr importert, noe som tilsvarer 42 % av totale kraftfôrråvarer (Landbruksdirektoratet 2017a). Andel importerte kraftfôrråvarer varierer noe fra år til år, særlig ut fra mengde og kvalitet på norske kornavlinger. Importen av kraftfôrråvarer strider med Stortingets Meld. St. 9 (2011-2012) om økt selvforsyningsgrad og bærekraftig produksjon av kjøtt, egg og mjølk basert på norske ressurser (Landbruks- og Matdepartementet 2011). Stortingets Meld St. 11 (2016-2017) ønsker at verdikjeden i norsk jordbruk skal tilpasses større konkurranse i fremtiden og «være en effektiv næring som leverer det forbrukeren etterspør og som tar innover seg et stadig mer krevende internasjonalt marked» (Landbruks- og Matdepartementet 2016). De politiske valgene setter retningslinjer og føringer for utviklingen av norsk matproduksjon (Smedshaug 2012a).

Siden år 2000 er halvparten av norske mjølkebruk lagt ned, samtidig som bruksstørrelsen har økt fra 14 kyr pr. bruk til 23 kyr pr. bruk (Agri Analyse 2017). Fra 2008 til 2017 har antall mjølkekyr sunket med 15,1 % fra 255 807 til 217 235 og årsytelsen økt med 12 % fra 6924 til 7797 liter energikorrigert mjølk (EKM) i samme periode (Kukontrollen 2008; Kukontrollen 2017; SSB 2017). Ifølge Steinshamn et al. (2016) er rasjonen til mjølkekyr 56,6 % grovfôrbasert som på energibasis indikerer en kraftfôrandel på hele 43,4 % (Bøvre & Hjukse 2017). Analyser utført av Norske Felleskjøp viser også at økt mjølkeytelse gir mindre rom for norsk korn i kraftfôrblandinger til mjølkekyr, mens lavere ytelse gir økt rom for bruk av norsk korn (Felleskjøpet 2017). Årlig spiser drøvtyggere mer kraftfôr enn svin og fjørfe til sammen, og er en stor forbruker av norsk fôrkorn (Landbruksdirektoratet 2017b). Ulike behandlingsmetoder har

vist å påvirke stivelse- og proteinverdien av korn (Prestløkken 1999a; Harstad 2000). På tross av ulike behandlingsmetoder er det langt frem til en norskandel på 100 % til høytytende mjølkeku. Intensjonen burde derfor være å utnytte de ressursene som allerede er til rådighet for å øke norskandelen.

En mulighet for å øke andelen norsk korn i kraftfôr til drøvtyggere er å bruke alkalisk korn. Dette er en råvare som brukes i kraftfôr og gjør at norskandelen kan økes fra mellom 40 -50 %, opptil 75 % (Nordli 2018). Alkalisk korn kan lages ved å blande korn med produktet Home n' Dry® som inneholder urea ( $\text{CON}_2\text{H}_4$ ) og ulike aktivatorer. Blandingen tilføres vann og lagres under plast i tre uker. Resultatet er et alkalisk kornprodukt med høyere pH og økt nitrogeninnhold. Når dette produktet brukes i kraftfôr til drøvtyggere er målet at de alkaliske egenskapene skal kunne stabilisere pH i vom. Samtidig vil det økte nitrogeninnholdet øke proteinverdien i rasjonen på grunn av drøvtyggenes unike evne til å omdanne nitrogen til mikrobeprotein (Highstreet et al. 2010). Dette vil antagelig kunne bidra til å redusere behovet for importerte protein- og karbohydratråvarer i kraftfôret.

Hensikten med denne oppgaven var å evaluere effekten av å bruke en konsentrert alkalisk kornråvare i kraftfôr til mjølkekyr på vomfysiologiske parametere (pH, gjæringsmønster og nedbrytningsgrad), samt på totalfordøyeligheten av rasjonen og parametere i mjølk. Oppgaven består av en teoridel og egne forsøk. I teoridelen blir relevante temaer om fordøyelse og utnytting av korn til drøvtyggere diskutert, mens egne undersøkelser omfatter to forsøk med bruk av alkalisk korn i kraftfôr til mjølkekyr. I forsøk 1 ble det brukt lakterende, vomfistulerte mjølkekyr, mens i forsøk 2 ble det brukt ikke-lakterende, vomfistulerte kyr (standardkyr).

Følgende hypoteser blir testet:

- Mjølkekyr gitt et kommersielt kraftfôr med høy andel importerte råvarer får høyere grovfôropptak og høyere fordøyelighet av rasjonen enn mjølkekyr gitt et kraftfôr tilsatt alkalisk korn.
- Mjølkekyr gitt et kraftfôr tilsatt alkalisk korn vil ha et bedre vommiljø med mer stabil pH enn mjølkekyr gitt et kraftfôr tilsatt korn og urea.
- En alkalisk kornråvare vil ha høyere nedbrytning av fiber og lavere nedbrytningshastighet av stivelse enn råvare av bygg tilsatt urea.

## 2 Teori

### 2.1 Næringsstoff

Drøvtyggere er i stand til å produsere kjøtt og mjølk ved å utnytte næringsstoff i fôr som er ufordøyelig for de fleste andre dyr (Peyraud & Peeters 2016). Energirike næringsstoffer i fôret til drøvtyggerne kan bli delt inn i hovedgruppene karbohydrater, protein og fett. Disse vil bli nærmere beskrevet i dette kapittelet.

#### 2.1.1 Karbohydrater

Karbohydrater finnes i både grovfôr og kraftfôr, og utgjør ca. 75 % av organisk stoff i rasjoner til mjølkekyr. Karbohydrater deles inn i monosakkarider, oligosakkarider og polysakkarider.

Monosakkaridene er enkle suktermolekyler og fremstår i isomere former der blant annet glukose og fruktose er strukturelle isomerer. Disse er samtidig de viktigste monosakkaridene i fôret til drøvtyggere (Mc Donald et al. 2011). Oligosakkarider består av ulike suktermolekyler der stachyose, raffinose (galaoktose, fruktose og glukose) og verbaskose er de viktigste i rasjonen til mjølkekyr (Weisbjerg et al. 2003). Polysakkarider, eller glykaner, er en fellesbetegnelse på sakkarider bundet sammen med glykosidbindinger. Glykaner deles inn i to hovedklasser; homoglykaner og heteroglykaner. Homoglykaner er en polymer bygd opp av en enkelt type monosakkarid, mens heteroglykaner er bygd opp av flere ulike typer monosakkarid.

Homoglykanene benevnes etter grunnenheten, som for eksempel glukaner (glukose), galaktaner (galaktose) og fruktaner (fruktose). Eksempler på homoglukaner i planter er stivelse og cellulose, der glukose er grunnenheten. Stivelse finnes blant annet i korn i form av granuler. Granulene er bygd opp av ulike lag av glukane amylose (20 %) og amylopektin (70 - 80 %). I amylose er glukosemolekylene i hovedsak koblet sammen med  $\alpha$ -(1:4) bindinger, mens det i amylopektin i tillegg er en god del  $\alpha$ -(1:6) bindinger som gir amylopectin en mer greinet struktur (Mc Donald et al. 2011). Cellulose danner strukturen i plantenes cellevegger og består av glukose bundet i  $\beta$ -(1:4) bindinger. Andre eksempler på polysakkarider er fruktaner (røtter og frø), galaktaner og mannaner (plantecellevegger) og glucosaminer (sopp og alger).

Eksempel på et heteroglykan er hemicellulose som i likhet med cellulose finnes i celleveggen hos planter (Mc Donald et al. 2011). Hemicellulose består av  $\beta$ -(1:4) bindinger, som knytter sammen xylose og arabinoseenheter, og som ikke kan brytes ned av enzymer i tarm (Weisbjerg

et al. 2003) Cellulose og hemicellulose inngår i plantecellevegger sammen med pektiner. Pektiner er ikke polysakkarid, men har veldig lik struktur og omtales ofte som et komplekst polysakkarid siden det inngår i celleveggen i planter.

Lignin er i likhet med polysakkaridene og pektiner en viktig bestanddel av celleveggene i plantematerialet. Til tross for kjemiske og biologiske likhetstrekk, klassifiseres ikke lignin som karbohydrat.

### **2.1.2 Protein**



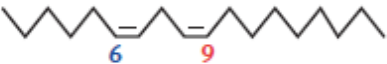
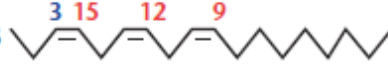
Proteiner er komplekse organiske forbindelser, som inneholder karbon, hydrogen, oksygen, nitrogen og som regel svovel. Proteiner er bygd opp av kjeder med aminosyrer, som består av en nitrogenholdig aminogruppe (-NH<sub>2</sub>) og en karboksylgruppe (-COOH). Det er identifisert over 200 aminosyrer, men det er kun 20 av disse som blir funnet i protein (Mc Donald et al. 2011). Protein er viktige komponenter i alle kroppens levende celler i forbindelse med vekst og fornying av kroppsvev. Ved analyse av protein er det vanlig å analysere innholdet av nitrogen, og deretter multiplisere med faktoren 6,25, fordi aminosyrene i gjennomsnitt består av 16 % nitrogen. Dette gir innholdet av råprotein. Råprotein inneholder imidlertid ikke kun protein bygd opp av aminosyre (reinprotein), men også andre nitrogenforbindelser (Hvelplund et al. 2003b).

De nitrogenforbindelser som ikke er aminosyrer, og dermed ikke kan klassifiseres som reinprotein, blir kalt ikke protein nitrogen (NPN). Dette er blant annet amider (finnes i urea), puriner og pyrimider (finnes begge som bestanddel i nukleinsyre) og nitrat (kraftig gjødsling av gras).

### **2.1.3 Fett**

Rasjonen til drøvtyggere inneholder lite fett og oljer (rundt 5 %) sammenlignet med enmagede dyr (Øverland & Skrede 2015). Fett kan likevel være en viktig kilde til energi for drøvtyggeren og kan benyttes i mengder opptil til ca. 8 %, avhengig tildeling og type fett (Mc Donald et al. 2011). Fett i rasjonen til drøvtyggere er i form av triglyserider, glykolipider og fosfolipider. Disse består av den treverdige alkoholen glyserol og tre enheter tilkoblet med esterbindinger. I triglyseridet er enhetene tre fettsyrer, i glykolipidet er en fettsyre byttet ut med sukker (ofte galaktose og da benevnt galaktolipid), mens den ene fettsyren i fosfolipidet er byttet ut med en fosforgruppe (Wattiaux 1998).

Fettsyrer er kjeder av hydrokarboner, der antall karboner i kjeden går fra 2 til over 20. Mellom karbonmolekylene i kjeden er det enkeltbindinger (mettede fettsyrer) eller dobbeltbindinger (umettede fettsyrer). Fettsyrer med en dobbeltbinding kalles monoumettede fettsyrer (MUFA) og fettsyrer med mer enn en dobbeltbinding kalles poly-umettede fettsyrer (PUFA). En oversikt over mettet, MUFA og PUFA for fettsyrer med 18 karbonatomer i kjeden er vist i figur 1. Umettede fettsyrer har lavere smeltepunkt enn mettede fettsyrer, og dobbeltbindingene kan være ulikt plassert. Mest vanlig er at hydrogenatomene ligger på samme side mellom dobbeltbindingene, dette benevnes som «cis form». Er hydrogenatomene plassert på motsatt side av hverandre i dobbeltbindingene er den i «trans form» (Mc Donald et al. 2011). En umettet fettsyre med 18 karbonatomer og tre dobbeltbindinger vil benevnes som C18:3 linolensyre. n-3 (kan også bruke  $\omega - 3$ ), forteller at første dobbeltbinding ligger mellom karbonatom 3 og 4 fra metylenden (omega 3). Det samme vil være for n-6 (omega 6) og n-9 (omega 9) (Figur 1).

$\omega$ -characteristics	Methyl end	Carboxyl end	Saturation	$\Delta$ -characteristics
Stearic 18:0		COOH	Saturate	18:0
Oleic 18:1, $\omega$ -9		COOH	Monoene	18:1 $\Delta$ 9
Linoleic 18:2, $\omega$ -6		COOH	Polyene	18:2 $\Delta$ 9,12
$\alpha$ -Linolenic 18:3, $\omega$ -3		COOH	Polyene	18:3 $\Delta$ 9,12,15

Figur 1. Ulike strukturer av fettsyrer 18 karbonatom som viser metylende og carboxylende og grad av mettetthet. Omega ( $\omega$ ) angir avstand fra metylenden til første dobbeltbinding (Rustan & Drevon 2005).

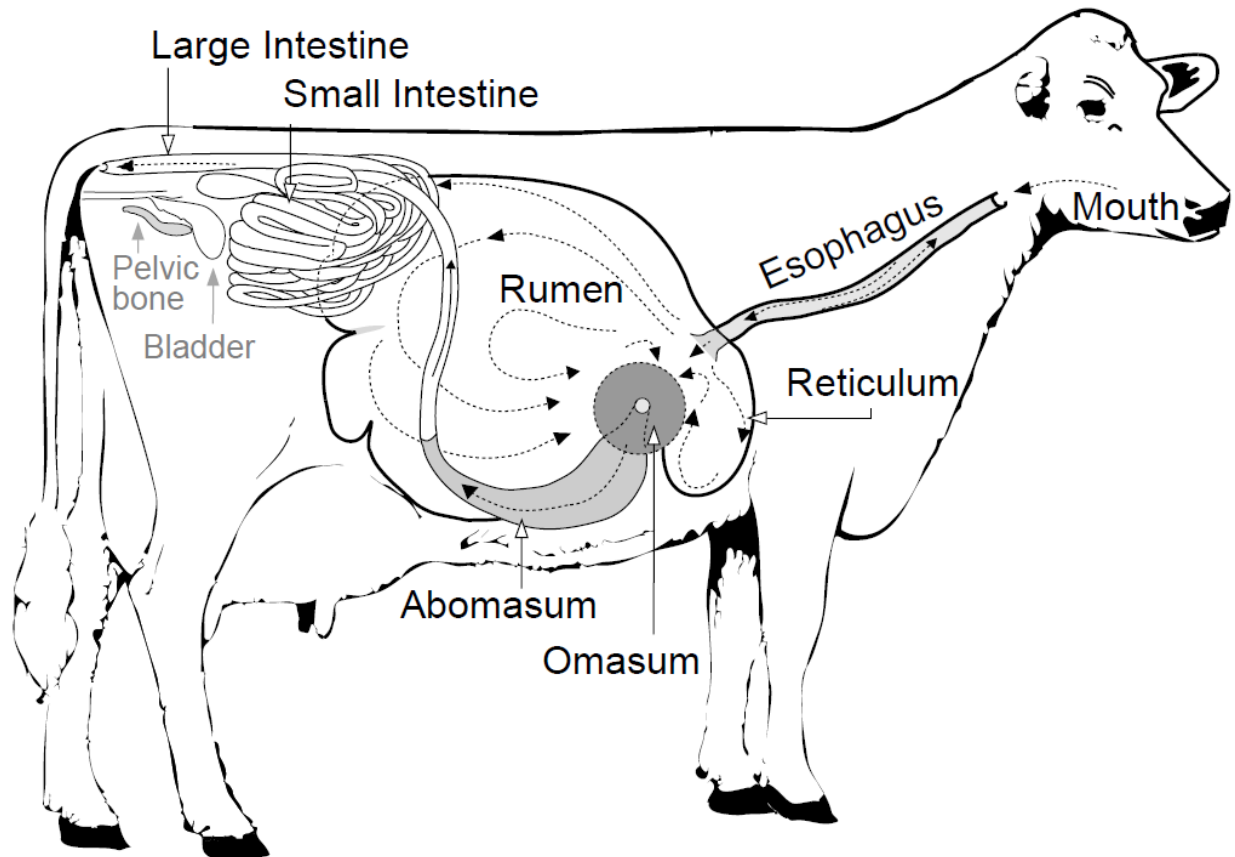
Vanlige mettede fettsyrer er C16:0 palmitinsyre, C18:0 stearinsyre og umettede er C18:1  $\omega$ -9 oljesyre, C18:2  $\omega$ -2 linolsyre og C18:3  $\omega$ -3 linolensyre (Liu et al. 2016).



## 2.2 Fordøyelsesfysiologi

Fordøyelseskanalen til drøvtyggeren er bygd opp av spiserøret (Esophagus), med utposninger som utgjør de tre formagene vomma (rumen), nettmagen (reticulum) og bladmagen (omasum) (Figur 2). I formagene blir næringsstoffene brutt ned anaerobt ved hjelp av mikrober i en fermenteringsprosess. Vomma er første formagen, og rommer opptil 150-200 liter hos ei typisk mjølkeku (Membrive 2016). Nettmagen ligger i nedre fremre del av vomma, og kontrollerer passasje av væske ut av vomma/nettmagen til bladmagen. Nettmagen og vomma står for store deler av fermenteringa og absorpsjon av blant annet flyktige fettsyrer (VFA), vann og urea, og er skilt av nettmagefolden, som hindrer fri flyt mellom de to formagene (Van Soest 1994). Vomma og nettmagen utgjør 10-20 % av den totale vekten til kua, og står for 85 % av formagene.

I bladmagen vil væske og fôrpartikler på 1-3 mm strømme inn i doser på 50-100 ml fra nettmagen når bladmagekanalen åpnes. Fermentering av fôret vil fortsette i bladmagen, der veggene er bygd opp i blader med stor overflate som absorberer VFA og væske (30-60 % av væskevolum fra vom), samt mineraler som natrium og kalium, før innholdet passerer videre til løpen. Innholdet som passerer videre til løpen vil derfor inneholde mindre væske og buffer enn innholdet fra nettmagen (Van Soest 1994; Sjaastad et al. 2010). Etter formagene kommer magesekken (abomasium), som hos drøvtyggeren kalles løpen. Her ligger pH mellom 2 – 3, samtidig som det foregår produksjon av slim, pepsinogen og saltsyre. Forholdene her tar livet av mesteparten av mikrobene. I løpen begynner den enzymatiske nedbrytingen av protein, før innholdet går videre til tynntarmen. Tynntarmen er viktigst for den enzymatiske nedbrytingen av næringsstoff, hvor det blir brutt ned og absorbert som glukose, aminosyrer og fettsyrer. Ufordøyd fôr passerer deretter videre til tykktarmen, der fermentering (tilsvarende vomma) foregår, før ufordøyede rester av fôret passerer ut som gjødsel i endetarmen. Bukspyttkjertelen (pancreas) produserer og skiller ut bukspytt i starten av tynntarmen. Bukspyttet inneholder fordøyelsesenzymmer som bidrar til fordøyelse av næringsstoff i tynntarm, i tillegg til bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) som nøytraliserer pH i tarminnholdet slik at tarmepitelet ikke skades av det sure miljøet.



Figur 2. Fordøyelsessystemet til drøvtyggeren (Wattiaux & Howard 2000).

Med sitt komplekse fordøyelsessystem har drøvtyggeren en unik fordøyelsefysiologi som gjør den i stand til å fordøye mengder med tungt fordøyelig karbohydrat (med  $\beta$ -(1:4) bindinger), som for andre pattedyr i stor grad er ufordøyelig. Dette gir drøvtyggeren en stor fordel ved at fôrrasjonen i stor grad kan bestå av gras og grasprodukter. Grunnen til at drøvtyggeren kan fordøye tungt fordøyelig materiale er formagene, der en rik flora av bakterier, protozoer og sopp produserer enzym som bryter ned  $\beta$ -(1:4) bindinger i løpet av fermenteringsprosessen. De viktigste endeproduktene fra denne prosessen er flyktige fettsyrer (VFA). Flyktige fettsyrer dekker rundt 70-80 % av det daglige energibehovet til drøvtyggeren (Van Houtert 1993). I tillegg produseres det ammoniakk ( $\text{NH}_3$ ), karbondioksid ( $\text{CO}_2$ ), metan ( $\text{CH}_4$ ) og mikrobeprotein (Hobson & Stewart 2012). Produktene fra vomfermenteringen er vist i figur 3.

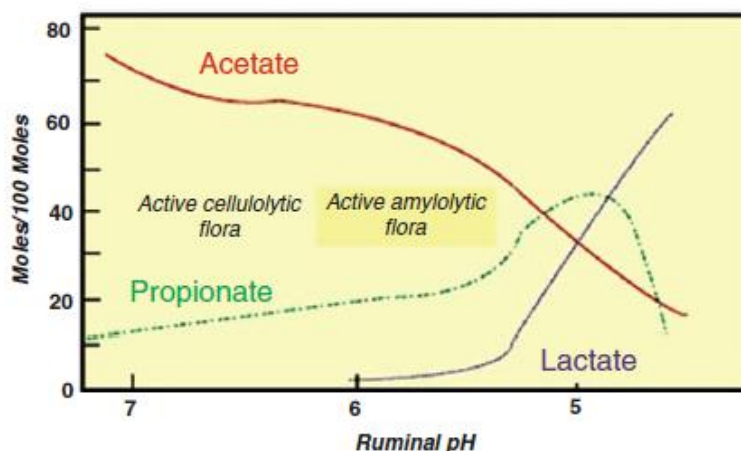
Feed component	Polymer	Monomer(s)	Products of fermentation
Carbohydrates			
Starch	Amylose	Maltose, Glucose	VFA, esp. propionate
	Amylopectin		
Neutral detergent fiber			
Cellulose	B1,4-glucosan	Cellobiose, Glucose	VFA
Hemicellulose	Pentosan	Pentose sugars	VFA, esp. acetate
Crude fat	Triglycerides	Fatty acids	Saturated fatty acids
	Phospholipids	Glycerol	Propionate, P
	Galactosides	Galactose	VFA
Sugars			VFA
Crude protein			VFA
True protein	Protein	Amino acids	Ammonia & VFA
Non-protein N	–	Urea	Ammonia and CO <sub>2</sub>
DNA, RNA	Nucleic acids	Purines, pyrimidines	Ammonia and CO <sub>2</sub>
Crude ash	–	Minerals	Reduced minerals

Figur 3 Substrat og produkt i vomfermentering (Membrive 2016).

Fordøyelsen i vom kjennetegnes ved en kontinuerlig mekanisk behandling av fôret ved vomkontraksjoner, oppgulping og drøvtygging av boluser med fôr fra vomma. Dette sørger for god oppdeling av fôret, og større overflate slik at videre enzymatisk nedbryting utført av mikrobenes blir mer effektiv (Mc Donald et al. 2011). Mikrobenes vil i stor grad bli påvirket av vommiljøet, da spesielt pH. Drøvtyggeren selv vil regulere pH gjennom tilførsel av buffer fra spytt og kontinuerlig absorpsjon av VFA. Rasjoner som frigir store mengder VFA over kort tid, kan føre til redusert pH i vom.

Dette påvirker mikrobenes forskjellig, da de ulike mikrobenes har ulik toleransegrense for lav pH. Mikrober som bryter ned celleveggstoffer (cellulolytiske) blir hemmet ved pH under 6,0-6,2 (Figur 4) (Kristensen et al. 2003a).

Lav pH over lengre tid vil kunne påvirke fôropptaket negativt ved



Figur 4. Utvikling i syreproduksjon ved endret pH (Millen et al. 2016).

reduisert mikrobeeffektivitet og fordøyelse, og har blitt relatert til diare og fettdepresjon i mjølka (Dijkstra et al. 2005). Rasjoner som gir en pH over 6,0 i vom over tid er derfor svært viktig for å kunne utnytte fôret.

Store mengder energirikt fôr, som kraftfôr, kan være negativt for vommiljøet (Kleen et al. 2003). Lav pH i vom over lengre perioder, kan føre til subklinisk vomacidose (SARA). Det er ulike definisjoner av SARA, men Gozho et al. (2005) mener pH mellom 5,2 og 5,6 i minst 3 timer om dagen, er en god indikasjon. Beauchemin et al. (2003) brukte  $pH < 5,8$  som en grense på SARA. Redusert TS opptak, ytelse og innhold i melk er en indikasjon på SARA (Stone 1999; Kleen et al. 2003).

### 2.2.1 Karbohydrat

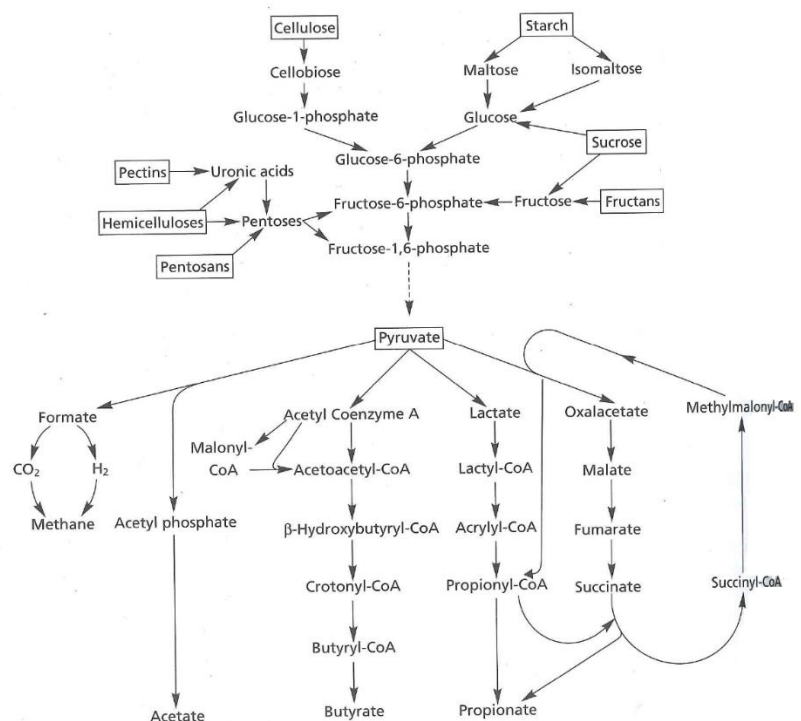
Karbohydratene utgjør som nevnt en stor del av rasjonen til mjølkekyr, og er den viktigste energikilden til mikrobene i formagene. Slikt sett er karbohydrat også det viktigste med tanke på energiutvinning, og utgjør 85 % av energien fra fôret, som går til mikrobesyntese, samt vedlikehold, produksjon og karnonatom til VFA (Sjaastad et al. 2010). Innen karbohydrater inngår strukturelle og ikke-strukturelle karbohydrat. Strukturelle karbohydrater er celleveggstoff (NDF), som cellulose, hemicellulose

og lignin (ikke karbohydrat, men påvirker karbohydratfordøyelsen).

Ikke-strukturelle karbohydrat er celleinnhold som sukker, stivelse, B-glukaner og noe pektin

(Weisbjerg et al. 2003). Det er derfor hensiktsmessig å beskrive fordøyelsen av disse hver for seg.

Mikrobene produserer enzym som bryter nedkarbohydrat til monosakkarid som glukose og xylose, som frigjøres i vomvæska. Disse tas opp av mikrobene, som gjennom glykolysen omdannes til



Figur 5 Produksjon av VFA fra karbohydrat i vom (Mc Donald et al. 2011)

pyrovat, som igjen er utgangspunktet for dannelse av fermenteringsprodukt som VFA (Figur 5) (Mc Donald et al. 2011).

### **2.2.1.1 Sukker**

Mikrobene i vom produserer enzym, som bryter ned glukose, monosakkarid og polysakkarider og frigjør de til vomvæska (Herdt & Sayegh 2013). Nedbrytningen av sukker skjer meget hurtig, og starter med en gang fôret når vomma. Sukkeret blir hydrolysert og fermentert til VFA med en hastighet på 300 %/timen (Sniffen et al. 1992). Det er derfor knapt noe sukker som forlater vomma og går over til tarmen.

### **2.2.1.2 Stivelse**

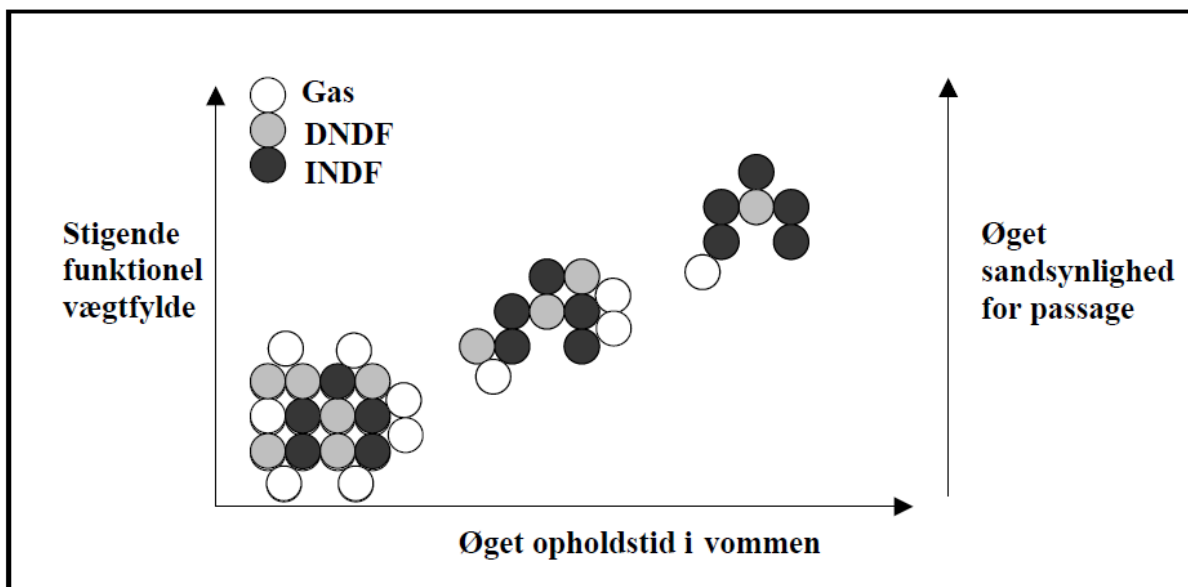
Stivelse vil først og fremst bli brutt ned i vomma, der mikrobiell aktivitet ved bakterier og protozoer (kan absorbere hele stivelsekorn) vil bryte ned stivelsen til VFA. Ved hjelp av enzymet amylase blir stivelse hydrolysert til matose og isomatose, og deretter til glukose eller glukose-1-fosfat, og videre til VFA (Mc Donald et al. 2011). Dette vil skje hurtig og resultere i et pH-fall på grunn av den raske produksjonen av VFA. Det er derfor viktig å unngå tildeling av store mengder stivelse på en gang, da dette vil kunne påvirke vommiljøet negativt (ved økt amylolytisk aktivitet med påfølgende økning i propionsyre, på bekostning av cellulolytisk aktivitet (Sjaastad et al. 2010). Stivelse som når tarmen vil bli brutt ned til disakkarider ved enzymet amylase fra bukspyttkjertelen, og deretter til monosakkarider ved enzymer som maltase, sucrase og laktase som blir produsert i epitelcellene. Absorpsjon av monosakkarid i tynntarm foregår ved sekundær aktiv transport. Intermediært vil monosakkarid bli fraktet med blodet til leverkapillærene, der leveren kan lagre monosakkaridene som glykogen, som videre kan omdannes til lipider eller frigjøres til sirkulasjonssystemet i form av glukose. Dette gjør at stivelse er det viktigste substratet til glukose hos drøvtyggere (Mc Donald et al. 2011).

### **2.2.1.3 Celleveggstoff**

Celleveggstoff (NDF) er den viktigste energikilden og den kvantitativt viktigste bestanddelen av grovfôret til drøvtyggere. Fordøyelsen av NDF skjer utelukkende i vomma, samt ved en viss grad av fermentering i tykktarm (10-20 % av total NDF-fordøyelse) (Sjaastad et al. 2010; Gressley et al. 2011). Ved fordøyelse av NDF i vomma, vil mikrobeaktiviteten i vomma bryte  $\beta$ -(1:4) bindingene, og omdanne NDF til VFA (Figur 5). Ved at cellulose blir brutt ned til cellobiose, videre til glukose og glukose-1-fosfat, og til slutt VFA. Hemicellulose og pektin, vil

bli brutt ned til xylose, og videre til VFA (Mc Donald et al. 2011). For NDF er eddiksyre og smørsyre det kvantitativt viktigste sluttproduktet, og vil brukes videre som energikilde. En god fordøyelse av NDF er viktig for å oppnå et stabilt vommiljø med struktur i rasjonen som gir høy grad av fermentering, med større fôropptak og mjølkeytelse (Oba & Allen 1999; Weisbjerg et al. 2003; Maskal'ová & Vajda 2015).

I motsetning til andre næringsstoff som følger 1.ordens kinetikk der alle fôrpartikler har lik sannsynlighet for å forlate vomma, uavhengig av alder eller størrelse på partiklene, vil NDF ha en selektiv tilbakeholdelse i vom. Alder og størrelse på partiklene vil avgjøre om partiklene vil forlate vomma (Figur 6). Dette gjør at NDF har en lenger oppholdstid i vom og utsettes lenger for den mikrobielle nedbrytingen i vom, noe som resulterer i at fordøyelsen av NDF blir høyere (France et al. 1990; Huhtanen et al. 2008). Det er mulig andre næringsstoff også har en viss selektiv tilbakeholdelse, men det er hittil kun modellert for NDF.

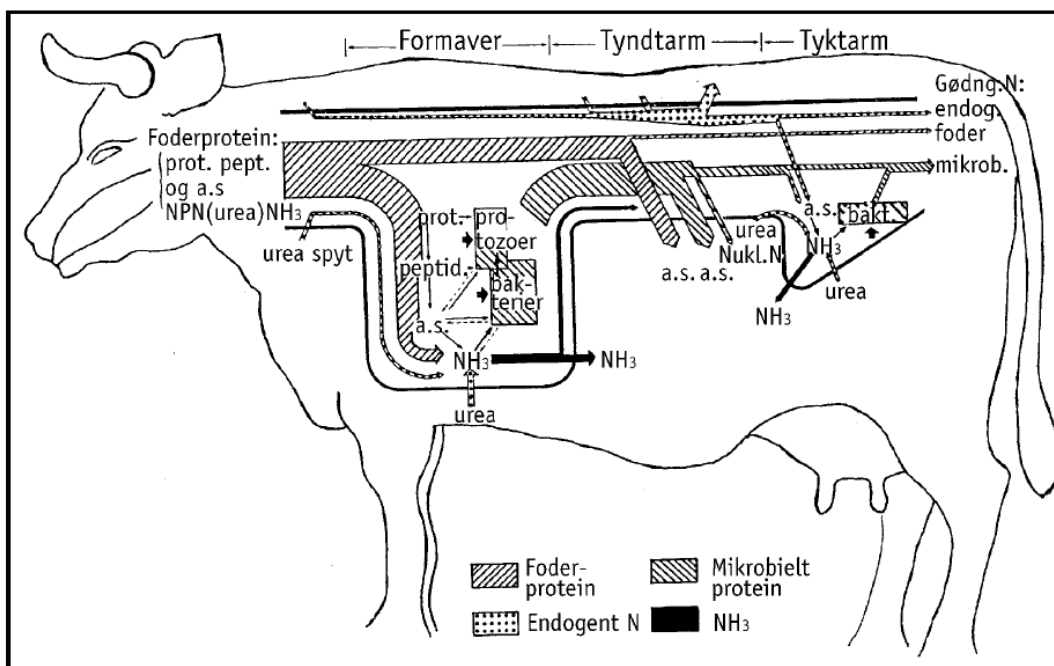


Figur 6. Fordøyelse av NDF i vom (Weisbjerg et al. 2003).

### 2.2.2 Protein

Mikrobene i vomma skiller ut proteolytiske enzym som bryter ned fôrprotein til peptider, aminosyrer og ammoniakk, hvor nedbryting fra større peptider til mindre peptider og aminosyrer skjer intracellulært. Mikrobene benytter ammoniakk og peptider til egen vekst, der ammoniakk er den kvantitativt viktigste N-kilden. Forbindelser som inneholder nitrogen, men som ikke kan

klassifiseres som protein, kalles ikke nitrogen protein (NPN), for eksempel aminer og amider som betain og urea. Disse kan dersom det er tilstrekkelig med energi tilgjengelig, utnyttes av mikroben. Mikroben utnytter NPN som substrat ved proteinsyntese (mikrobeprotein) og bidrar til drøvtyggerens proteinforsyning da absorbert protein fra produserte mikrober i vomma kan utgjøre minst 50 %, og ofte helt opp til 66-75 % (Dewhurst et al. 2000; Hvelplund et al. 2003a). Overskudd av NPN i vom, vil absorberes over vomveggen og bli resirkulert som urea, eller skilt ut i urin. Protein vil som vist i figur 7, i størst grad bli absorbert i tynntarmen i form av by-pass fôrprotein og mikrobeprotein, uttrykt som aminosyrer absorbert i tarm (AAT). Dette skjer ved at mikroben og ufordøyd fôrprotein passerer ut av vomma, og blir absorbert i tynntarm som aminosyrer, di- og tripeptid. Dette gir drøvtyggeren tilgang til essensielle aminosyrer, både gjennom fôrprotein og mikrobeprotein (Kung & Rode 1996; Mc Donald et al. 2011). Forholdet mellom mikrobeprotein og fôrprotein avhenger av tilgjengelig energi til mikrobeproduksjon og fôrmiddel, der differansen mellom nedbrutt fôrprotein og mikrobeprotein blir uttrykt som proteinbalanse i vom (PBV).



Figur 7. Fordøyelse av protein i drøvtyggeren (Hvelplund et al. 2003a)

Endogene enzymer tilført i løpen vil begynne nedbrytingen av protein, men hovedfordøyelsen av protein vil imidlertid foregå i tynntarm. Her vil proteolytiske enzym (for eksempel Trypsin og Carboxypeptidase) fra bukspyttkjertelen bryte proteinet videre ned til tripeptid, dipeptid og frie

aminosyrer. Transporten av aminosyrer di- og tripeptid inn i epitelcellene forgår ved sekundær aktiv transport koblet til opptaket av  $\text{Na}^+$ , på samme måte som tidligere beskrevet for glukose og galaktose.

Epitelcellene har en høyere konsentrasjon av aminosyrer og små peptid enn blodet. Passasje av aminosyrer fra epitelcellene til blodet skjer derfor passivt ved hjelp av bæreprøteiner. Portvenen fører blodet til leveren, der aminosyrer blir tatt opp og brukt til syntese av plasmaprotein og lipoprotein. Videre blir mesteparten fraktet ut i kroppen og tatt opp av celler i ulike vev, hvor de kan brukes til proteinsyntese.

Protein som forlater tynntarm, vil i stor grad forbli ufordøyd og passere ut av dyret. Mikrobene i tykktarm vil bryte ned noe av det ufordøyde proteinet til ammoniakk (som i vomma) som kan bli absorbert. Protein som ikke fermenteres av mikrobene, og mikrobeprotein selv vil som vist i figur 7 passere ut med gjødsla (Asplund 1994; Hvelplund et al. 2003a).

### **2.2.3 Fett**

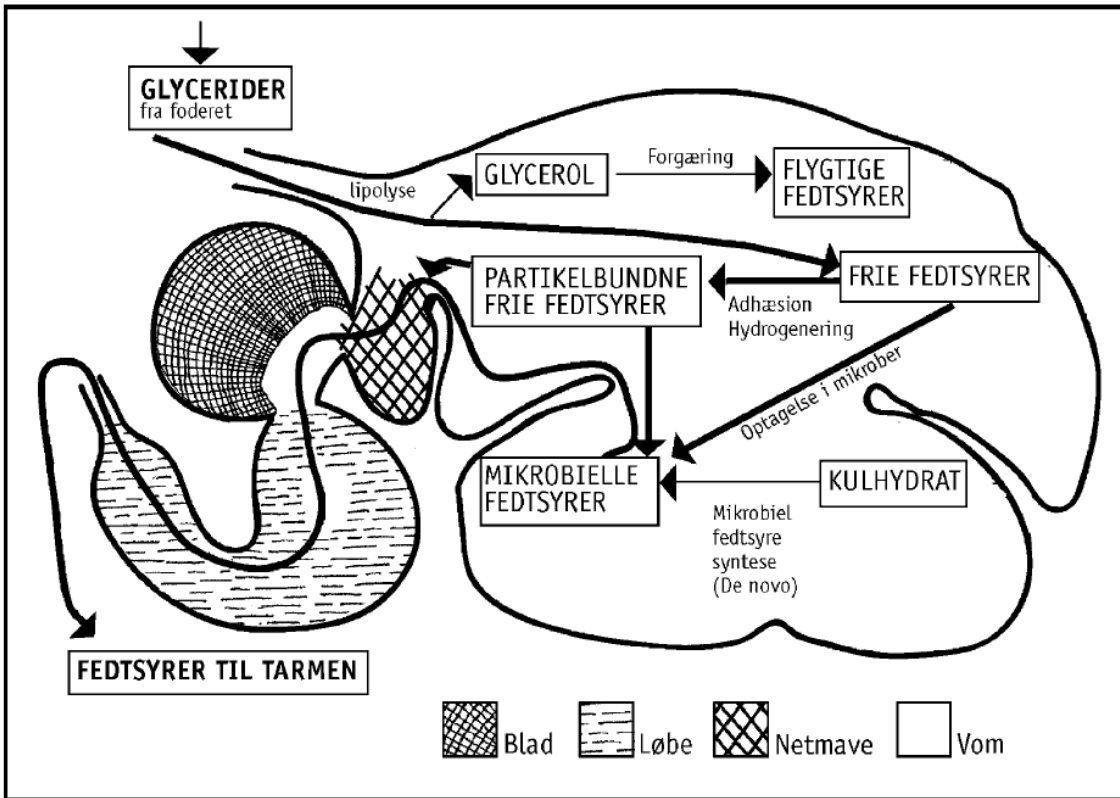
Selve fettene fordøyes ikke i vomma, men gjennomgår ulike prosesser som gjør det mer tilgjengelig for absorpsjon og intermediær omsetning. Selve rasjonen til drøvtyggere inneholder lite fett, da rasjoner som inneholder over 100 g/kg vil hemme mikrobeaktiviteten (Mc Donald et al. 2011).

Når fôrfettet først kommer til vomma, vil alt fett hydrolyseres ved enzymatisk lipase fra mikrobene, altså spaltes fra triglyserid til frie fettsyrer og glyserol og noe galaktose (Figur 8). Glyserolene og galaktosen omdannes til VFA ved fermentering, og de frie fettsyrene bindes til fôrpertikler og forlater vomma for absorpsjon i tynntarm (80-90 % av alle lipid) (Arrigoni et al. 2016).

Store deler av fôrfettet er umettede fettsyrer (spesielt C18:2 og C18:3). I vomma blir disse fettsyrene i stor grad hydrogenert. Dette vil si at dobbeltbindingene i de umettede frie fettsyrene blir brutt, og hydrogenatomer settes inn på hvert karbonatom, og de blir dermed mettede fettsyrer. Store mengder umettet fett i vom, vil som nevnt hemme mikrobeaktiviteten ved å ha en toksisk virkning på mikrobene som reduserer mikrobeeffektiviteten og dermed fordøyelsen (Børsting et al. 2003)



Av fettsyrene fra fôret blir noe tatt opp som del av mikrobene. Her er det både fôrfett som kommer direkte fra fôret og de-novo syntetiserte fettsyrer fra andre komponenter i fôret. Syntesen av fett gjør at fettfordøyelsen i vom ofte negativ (Arrigoni et al. 2016; Shingfield & Garnsworthy 2012).



Figur 8. Fordøyelse av fett i vomma (Børsting et al. 2003).

Etter fett har forlatt vom vil korte frie fettsyrer (opp til C12:0, og noe C14:0) kunne absorberes direkte gjennom tarmveggen til blod. I det sure miljøet i løpen, vil mikrobene bli oppløst og fett blir dermed mer tilgjengelig. I tynntarm blir galle og bukspytt tilført for å fordøye fett, hvor lipase fra bukspyttkjertelen hydrolyserer triglyserid, fosfolipid og glykolipid, mens gallesalter emulgerer fettsyrene og omdanner de til små vannløselige partikler. Videre vil disse danne miceller, som blir fraktet ved epitelceller til jejunum hvor de blir reestifisert til triglyserid og lagret i kylomikroner, som kan passere passivt over tarmveggen og bli fraktet med lymfesystemet til blodet (Arrigoni et al. 2016).

### 2.3 Mjølkesyntese

De viktigste substratene som inngår i mjølkesyntesen er glukose, eddiksyre, B-hydroksysmørsyre, triglyserid og aminosyrer. Disse blir tilført med blodet som går gjennom juret, med 400-500 liter blod per liter mjølk. Substratene tilføres hovedsakelig fra fordøyelseskanalen, men også fra intermediær omsetning eller mobilisert kroppsvev.

Protein i mjølk syntetiseres i juret fra aminosyrer tilført med blodet, hvor rundt 95 % er renprotein, og de resterende 5 % er NPN (Mc Donald et al. 2011). Renproteinet kan deles inn i to grupper- kasein og myse. Disse utgjør henholdsvis 80 og 20 % av renproteinet. NPN forbindelser, overføres direkte fra blodet, hvor urea er den kvantitativt viktigste.

Ureakonsentrasjonen i blodet gjenspeiles derfor med ureakonsentrasjonen i mjølk (Sjaastad et al. 2010). Fett i mjølka består i stor grad av triglyserid (95 %), som er satt sammen i endoplasmisk retikulum i juret. Triglyseridene danner større fettdråper som sekreseres inn i mjølkealveolene, hvor de pakkes inn av en cellemembran (Sjaastad et al. 2010). Fettet i mjølka stammer fra fôrfett og mobilisert kroppsfett, samt fra fettsyntese i juret ved bruk av omsatte karbohydrater fra vom (*de novo* fettsyntese). Fôrfett og mobilisert kroppsfett i mjølka er hovedsakelig lengre fettsyrer (C16:0, C18:0 og C18:1) (Hermansen et al. 2003) fra chylomikroner og «very low density lipoprotein» (VLDL), tatt opp fra blodet etter degradering fra triglyserid til frie fettsyrer og glyserol ved enzymatisk aktivitet i kapillærene (Sjaastad et al. 2010).

Ved *de novo* fettsyntese i epitelcellene i juret, som står for rundt 40 % av fettsyrene i mjølk, vil de kortkjedete fettsyrer i sin helhet bli syntetisert, opp til C16:0 (Hermansen et.al, 2003). Rundt halvparten av C:16 fettsyrene i mjølkefettet stammer fra fettsyrer i fôret, avhengig av innholdet i fôret (Børsting et al. 2003). Her vil  $\beta$ -hydroksysmørsyre eller Acetyl-CoA brukes som primere, som elongeres ved tilkobling av eddiksyre-enheter. Denne prosessen

Feittsyre (g/100g feittsyrer)	Gj.snitt
4:0, smørsyre	2,95
6:0, kapronsyre	2,12
8:0, kaprylsyre	1,30
10:0, kaprinsyre	3,10
12:0, laurinsyre	3,70
14:0, myristinsyre	12,05
16:0, palmitinsyre	28,79
18:0, stearinsyre	10,98
18:1 trans11, vaksensyre	1,42
18:1 cis9, oljesyre	19,45
18:2 cis9trans11, konjugert linolsyre (CLA)	0,53
18:2 cis9, cis12, linolsyre	1,34
18:3 cis(9,12,15), alfalinolensyre	0,41
Totale C18:1 cis	20,98
Totale C18:1 trans	2,84
Metta feittsyrer	68,99
Einumetta feittsyrer	26,88
Fleirumetta feittsyrer	3,17

Figur 9. Fettsyresammensetning i mjølka (Schei et al. 2011).

avsluttes imidlertid tidlig, slik at det dannes C4, C6 osv. (Figur 9). Mjølkefettet inneholder dermed korte fettsyrer, noe som er unikt for drøvtyggere (Månsson 2008).

Figur 9 illustrerer at det også er en betydelig andel umettede fettsyrer i mjølk. Dette avhenger av graden av hydrogenering i vom og graden av dehydrogenering ved enzymatisk aktivitet i juret, spesielt det desaturerende enzymet delta-9-desaturase (Chilliard et al. 2000).

Av næringsinnholdet i mjølka, er det fett som i størst grad kan påvirkes gjennom fôringen (Sutton 1989). Forholdet mellom kraftfôr og grovfôr er spesielt avgjørende, der økte mengder kraftfôr vil påvirke amololytisk mikrobeaktivitet positivt, og cellulolytiske mikrobeaktivitet negativt. Redusert cellulolytisk mikrobeaktivitet vil igjen vil redusere produksjonen av eddiksyre og smørsyre som benyttes som substrat i fettsyntesen (Børsting et al. 2003). Et godt vommiljø med pH rundt 6 og følgelig god cellulolytisk aktivitet, vil føre til god fordøyelse av NDF, noe som påvirker fettinnholdet i mjølka positivt.

#### **2.4 Nitrogenutnyttelse**

Hos drøvtyggeren blir 60-90 % av konsumert nitrogen omdannet til ammoniakk i vom, hvor mesteparten av dette benyttes til syntese av mikrobeprotein. Ammoniakken som ikke benyttes i mikrobesyntesen absorberes over vomveggen, og fraktes med blodet til lever, hvor det blir omdannet til urea. I motsetning til hos enmagede dyr, som skiller urea ut i urin, kan drøvtyggere resirkulere ammoniakk ved at det går over vomveggen og føres til lever med blodet hvor det blir omdannet til urea. Urea som dannes i lever kan resirkuleres gjennom spytt, eller direkte over vomveggen fra blodet, og dermed resirkuleres til vomma (Membrive 2016). Mjølkekyr som ikke er i vekst, benytter i hovedsak nitrogen fra fôret til protein i mjølk og til erstatning av endogent tap. Konsentrasjonen av urea i mjølk er dermed en god indikator på proteinmengden i rasjonen (Schepers & Meijer 1998). Mengden karbohydrat og protein i rasjonen vil påvirke resirkuleringen av nitrogen, hvor forholdet mellom de to næringsstoffene vil avgjøre om resirkulert urea kommer til nytte i mikrobesyntesen eller går tapt som urea i mjølk eller urin (Membrive 2016). Mengden nitrogen i urinen forklarer derfor mye om overskudd av protein i fôrrasjonen (Castillo et al. 2000).

Det er funnet at innholdet av urea i mjølk varierer etter laktasjonsstadium og stiger utover i laktasjonen (Madsen et al. 2003). I fordøyelseforsøk er det derfor ønskelig å bruke kyr i likt laktasjonsstadium for å redusere denne feilkilden.

## 2.5 Formiddelvurdering

Fôringskostnader utgjør den største andelen av totalkostnaden i de fleste husdyrproduksjoner. Korrekt fôring med høyest mulig fôreffektivitet er derfor ønskelig for å oppnå god økonomi i produksjonen. Gode fôranalyser og kontroll over næringsbehovet til produksjonsdyrene er viktig for å oppnå dette. Flere systemer for vurdering av fôrverdi har blitt utviklet, og i Norge blir AAT/PBV systemet, og det mer moderne NorFor systemet brukt.

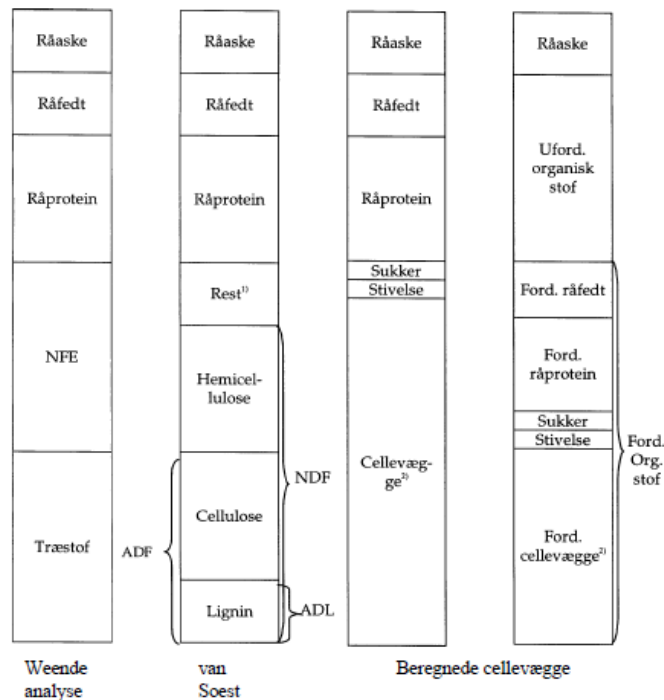
### 2.5.1 Protein og-energi vurdering etter AAT/PBV- systemet

Felles forskningsprosjekter mellom de nordiske landene i 1980-årene resulterte i lanseringen av proteinvurdering etter AAT/PBV-systemet (Bævre 2005). I tradisjonell fôrmedelvurdering som AAT/PBV-systemet, har de enkelte fôrmidlene en fast energi- og proteinverdi, som kan adderes for å finne verdien i totalrasjonen (Bævre 2005).

Næringsstoffraksjonering i AAT/PBV systemet er lagt opp etter Weende analyse, illustrert i figur 10, der karbohydratfraksjonen er delt inn i rårevler og nitrogenfrie ekstraktstoff (NFE).

Energiverdien til fôrmidlene blir uttrykt som nettoenergi verdi, funnet ved hjelp av fordøyelighetsforsøk på sau og energifaktorer (OE) for de forskjellige næringsstoffene. Nettoenergi verdien blir uttrykt som NEL angitt i MJ, der en Fem tilsvarer 6900 kj NEL, som videre tilsvarer nettoenergiinnholdet i en kg bygg.

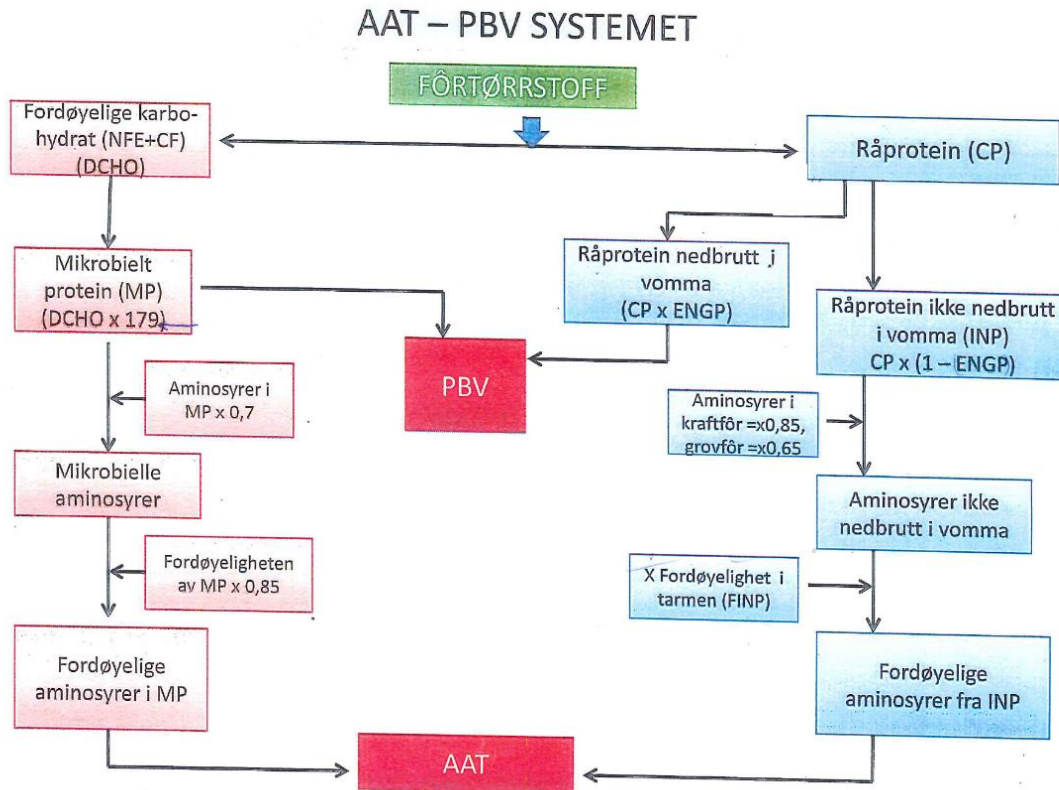
Proteinvurdering uttrykkes i AAT og PBV som bestemmes ut fra en rekke faktorer (Figur 11).



<sup>1)</sup> Inneholder sukker, stivelse, pektiner, forgæringsprodukter i ensilage samt en del af oligosakkarider og fruktaner

<sup>2)</sup> Inneholder foruden lignin, cellulose og hemicellulose også pektiner, forgæringsprodukter i ensilage samt en del af oligosakkarider og fruktaner.

Figur 10. Forskjellige fraksjonerer av næringsstoff (Weisbjerg & Hvelplund 2003)

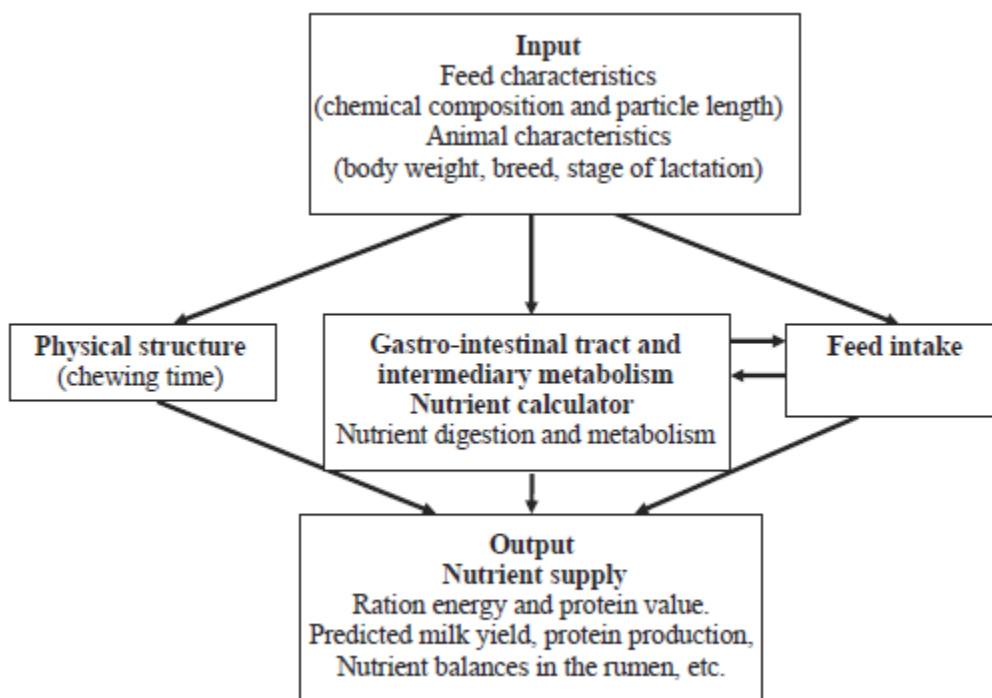


Figur 11. Skisse over AAT/PBV systemet (Madsen 1985).

PBV blir bestemt ved differansen mellom nedbrutt fôrprotein og mikrobeprotein. Nedbrutt fôrprotein beregnes ut fra innholdet av råprotein (CP) og effektiv nedbrytingsgrad av protein (ENGP). ENGP beregnes ved hjelp av forsøk med nylonposer inkubert i vom på sau (*in sacco* forsøk) og en fast passasjehastighet satt til 8 %/time. Mikrobiell proteinproduksjon (MP) bestemmes ut fra innholdet av fordøyelige rårevler og NFE, med fordøyelighet bestemt ved *in sacco* forsøk på sau. Det beregnes deretter en fast mikrobeproteinproduksjon på 179 g per kilo fordøyd karbohydrat (DCHO). AAT blir beregnet ut fra MP og ikke- nedbrutt protein i vom (INP). Aminosyreinnholdet i MP er satt til 70 % med en fordøyelighet på 85 %. Konstante verdier for aminosyreinnholdet i INP, er satt til 65 % for grovfôr og 85 % for kraftfôr, der fordøyeligheten blir bestemt ved *in sacco* forsøk på sau.

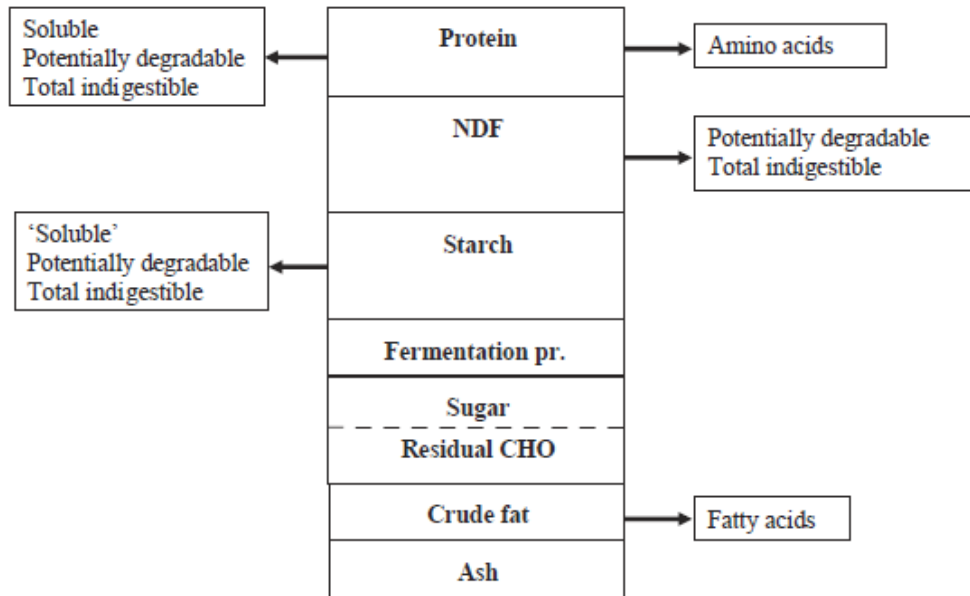
### 2.5.2 NorFor

NorFor er et fôrvurderingssystem utviklet gjennom et samarbeid mellom meierisamvirkene i de skandinaviske landene og Island. Målet var å utvikle en identisk, felles fôrmiddelvurdering, for bedre samarbeid og utveksling av forskningsresultater mellom bønder, rådgivere og fôrindustri (Volden & Gustafsson 2011). Der tradisjonell fôrmiddelvurdering ikke tar hensyn til samspill ved fordøyelsen og ved omsetningen av næringsstoff, har NorFor ingen fast energi- og proteinverdi for hvert enkelt fôrmiddel, men varierende verdier avhengig av egenskaper ved dyret og rasjonen. NorFor tar altså hensyn til samspill mellom fôrmidlene med tanke på fordøyelse, omsetning og passasjehastighet. Figur 12 viser oversikten over NorFor modellen, der det er større grad av inndata og faktorer som påvirker utdata sammenliknet med tidligere system.



Figur 12. Oversikt over NorFor-modellen (Volden 2011c).

Næringsstoffraksjonering som benyttes i NorFor er noe forskjellig fra tidligere systemer, hvor forskjellen i karbohydratfraksjonen er størst. I tidligere fôrmiddelvurdering har karbohydratene kun blitt delt inn i rårevler og NFE, mens i NorFor deles det inn i NDF, sukker, stivelse og rest karbohydrat (Figur 13). Dette gir en mer nøyaktig vurdering av karbohydratenes næringsverdi. Det bør også nevnes at i moderne fôrmiddelvurdering som NorFor, er næringsstoffene videre delt inn i ulike fraksjoner, som løselig, potensielt nedbrytbart eller totalt ufordøyelig.



Figur 13. Fraksjonering av næringsstoff I NorFor (Volden 2011b).

Ved måling av energi- og proteinverdien i fôrrasjonen, blir de samlede verdiene for hele rasjonen funnet. På denne måten blir en rekke samspill mellom fôrmidlene, når det gjelder fôrnivå, rasjonssammensetning og passasjehastighet tatt hensyn til. I NorFor er det definert to standardrasjoner på 8 og 20 kg TS, hvor 50 % av tørrstoffinntaket er kraftfôr, og har fast næringsinnhold og passasjehastigheter. Dette gjør det mulig å beregne energi- og proteinverdien for sammenligning med tidligere system.

Energivurderingen uttrykkes ved NEI som tidligere system, men nettoenergi blir funnet for det aktuelle fôrnivå/fôrsammensetning ved hjelp av totalfordøyelighetsforsøk på mjølkekyr. Dermed blir samspill mellom for eksempel fôrnivå og vomfordøyelighet, samt andel sukker/stivelse og NDF fordøyelse tatt hensyn til. Videre bli energiverdien beregnet ved de samme likningene som i tidligere system.

Proteinverdien til rasjonen blir uttrykt ved PBV og AAT, men beregningen er forskjellig fra tidligere system. Effektiv nedbrytingsgrad for protein blir funnet separat for grovfôr, kraftfôr og væske ved *in sacco* forsøk og passasjehastighet for den aktuelle fôrrasjonen. Mikrobiell proteinproduksjon blir funnet ved vomfordøyelighet av organisk stoff, og vil variere med fôropptak og rasjonens sammensetning. Videre er innholdet av aminosyrer i mikrobielt protein satt til 73 % med en fordøyelighet på 85 %. Aminosyreinnholdet i ikke nedbrutt fôrprotein er

forskjellig i grovfôr og kraftfôr, og fordøyeligheten blir funnet ved *in sacco* forsøk. Ved beregning av PBV er det tatt hensyn til resirkulering av nitrogen, med en faktor på 0,046 av råproteininntaket.

## 2.6 Metoder for måling av fordøyelighet

Fôret er som nevnt tidligere den største utgiften i produksjon av kjøtt og mjølk fra drøvtyggere. For å utnytte fôret til det fulle, er det ønskelig å oppnå best mulig fôreffektivitet. En sentral del av dette arbeidet er å bestemme fordøyeligheten av de ulike næringsstoffene og til totalrasjonen. Fordøyeligheten kan bestemmes ved ulike steder i fordøyelseskanalen, som vomfordøyelighet, tynntarmfordøyelighet, eller totalfordøyelighet. Videre kan fordøyeligheten av de ulike fôrmidlene bestemmes på forskjellige måter, der de ulike metodene kan karakteriseres som *in vivo* eller *in vitro* (i dyret eller utenfor dyret). Ved *in vitro* metoder nyttes det prøver av fôr som utsettes for enzym, vomvæske eller andre faktorer, under kontrollerte forhold. Som vist i figur 14 og 15, er det utviklet en rekke *in vitro* metoder, for å måle fordøyelsen av ulike fôr. Dette er ofte billigere forsøk enn *in vivo*- forsøk, men gir mer usikre resultater (Weisbjerg & Hvelplund 2003).

Methods	References
1. Using rumen fluid	
<i>Substrate disappearance</i>	
• Incubation in rumen fluid after 24–48 h	Walker (1959); Smith <i>et al.</i> (1971)
• Incubation in rumen fluid 48 h + incubation in HCl pepsin 48 h	Tilley and Terry (1963)
• Incubation in rumen fluid 48 h + extraction in neutral detergent	Goering and Van Soest (1970)
• <i>In vitro</i> filter bag technique	Ammar <i>et al.</i> (1999)
<i>Fermentation end-products formation</i>	
• Gas production after 24 h incubation in rumen fluid	Menke <i>et al.</i> (1979)
<i>Using faecal instead of ruminal inoculum</i>	El Shaer <i>et al.</i> (1987); Omed <i>et al.</i> (2000)
2. Using cell-free enzymes	
• Cellulase	Jones and Theodorou (2000)
• Acid pepsin + cellulase	Jones and Hayward (1975)
• Amylase + cellulase	Dowman and Collins (1982)
• Neutral detergent extraction + cellulase	Roughan and Holland (1977)
• Acid + cellulase	De Boever <i>et al.</i> (1988)
3. Solubility	
• Neutral detergent extraction	Van Soest <i>et al.</i> (1991)

Figur 14. Måling av totalfordøyelighet ved *in vitro* metoder (López 2005).



Methods	References
1. Organic matter fermentation	
• Kinetics of substrate disappearance after incubation in rumen fluid	Smith <i>et al.</i> (1971)
• Kinetics of gas production after incubation in rumen fluid: the gas production techniques	Reviewed by Schofield (2000) and Williams (2000)
• Kinetics of substrate disappearance or end-products formation after incubation in cell-free enzymes (amylases, cellulases, etc.)	Nocek (1988); López <i>et al.</i> (1998)
2. Protein degradability	
• Kinetics of ammonia production after incubation in rumen fluid: the inhibitor <i>in vitro</i> method	Broderick (1987)
• Kinetics of ammonia and gas production after incubation in rumen fluid	Raab <i>et al.</i> (1983)
• Use of microbial markers <i>in vitro</i>	Hristov and Broderick (1994); Ranilla <i>et al.</i> (2001)
• Kinetics of nitrogen loss after incubation in cell-free enzymes (proteases)	Krishnamoorthy <i>et al.</i> (1983); Aufrère <i>et al.</i> (1991)
• Nitrogen solubility	Nocek (1988); White and Ashes (1999)

Figur15. Måling av vomfordøyelighet ved *in vitro* metoder (López 2005).

Det er også utviklet en rekke *in vitro* metoder for å måle fordøyelsen i tynntarm, først og fremst for protein. Enzymer blir brukt for å simulere forholdene i tynntarm. Mest vanlig er metoden der fôrprøven, etter inkubasjon i vom, blir utsatt for pepsin for å simulere løpen, og deretter pankreatin for å simulere tynntarmen (Stern et al. 1997).

*In vivo* metoder kan brukes på flere ulike måter for å måle fordøyeligheten av ulike fôrmidler og rasjoner. Dette gjøres ved bruk av markører eller *in sacco* og *in situ* nylonposer, samt ved total oppsamling av gjødsel og urin (totaloppsamling). Totalfordøyelighet av de ulike næringsstoffene blir da funnet ved formelen nedenfor (DiLorenzo 2016).

$$\text{Fordøyelighet}(\%) = \frac{\text{Næringsstoff i fôret}(g) - \text{Næringsstoff i gjødsla}(g)}{\text{Næringsstoff i fôret}(g)}$$

Markører er et viktig hjelpemiddel for å måle fordøyelsen av ulike fôrkomponenter i ulike deler av fordøyelseskanalen, uttynningshastighet i vom, volummålinger i fordøyelseskanalen og passasjehastighet fra de ulike delene i fordøyelseskanalen. Markører gjør dette arbeidet mindre arbeidskrevende, og man unngår store forstyrrelser i atferden til forsøksdyrene (Owens & Hanson 1992). For at en markør skal fungere optimalt, er det en rekke krav som stilles. Markøren

skal være ufordøyelig, ikke påvirkes av eller påvirke passasjehastighet eller mikrobene, blandes jevnt og følge en enkelt fase, ha en nøyaktig analyse og ikke være for kostbar (Kotb & Luckey 1972). En markør som oppfyller alle disse kravene er ennå ikke funnet (DiLorenzo 2016).

Ved konstant infusjon av markører som følger væskefasen og partikkelfasen til fôrmidlene gjennom fordøyelseskanalen, kan fordøyelsen av de ulike næringsstoffene regnes ut. Dette ved hjelp av markørkonsentrasjonen i gitt fôr, og markørkonsentrasjonen i fordøyd materiale fra ulike steder i fordøyelseskanalen eller gjødsla (Owens & Hanson 1992; DiLorenzo 2016).

$$\text{Fordøyelighet (\%)} = 100 - 100 \times \left( \frac{\text{Markørkonsentrasjon i fôr}}{\text{Markørkonsentrasjon i fordøyd materiale}} \times \frac{\text{Konsentrasjon av næringsstoff i gjødsla}}{\text{Konsentrasjon av næringsstoff i fôr}} \right)$$

Konstant infusjon av markører kan også brukes til å regne ut passasjen av materiale på ulike punkt i fordøyelseskanalen. På denne måten kan passasjehastigheten beregnes, gitt at vomvolumet er regnet ut ved hjelp av vomtømming eller støtdose av markør. Støtdose av markør kan også brukes til å måle passasjehastigheten for væske, ved å foreta måling av markørkonsentrasjonen ved gitte tidspunkt etter støtdosen.

$$\text{Flow} = \frac{\text{Markørdose}}{\text{Markørkonsentrasjon}}$$

$$\text{Passasjehastighet (kp)} = \frac{\text{Flow}}{\text{Vom pool}} / 24$$

En annen viktig *in vivo* metode for måling av fordøyeligheten av næringsstoff i ulike fôrmidler er *in sacco* metoden. Her bli ulike fôrmidler inkubert i nylonposer i vom hos kyr med vomfistel. Vomfistulerte dyr har permanent åpning inn til vomma, da vomvegg er sydd fast i huden. I åpningen er det satt inn en plastiskfistel med lokk. Nylonposer kan dermed inkuberes og tas ut ved ulike tidspunkt. Fôrmidlene i nylonposene blir utsatt for vomvæska og mikrobeaktiviteten der. Posene blir deretter tatt ut av vom ved ulike tider, veid og analysert, slik at nedbrytingskurven for de ulike næringsstoffene kan modelleres (Ørskov & McDonald 1979). Det er altså kun vomfordøyeligheten av fôret som blir målt ved denne metoden. *In sacco*-metoden har en rekke svakheter, blant annet ved mikrobiell kontaminering av posen, forsinket kontaminering, partikkeltap og ingen drøvtygging (López 2005). Per dags dato er dette likevel

den beste og enkleste metoden for å måle nedbrytingen av ulike fôrmidler i vom (Åkerlind et al. 2011).

Nylonposer kan også brukes for å måle fordøyelighet i tarm, ved bruk av *in situ* metoden. Her er det nødvendig å bruke dyr med tarmkanyler i duodenum, der posene med fôr føres inn, etter 16 timer forinkubering i vom og pepsin-saltsyre. Posene samles deretter opp i gjødsla, eller i kanyler i ileum. Posene veies og analyseres etter samme prinsipp som ved *in sacco*, slik at tarmfordøyeligheten kan måles (Weisbjerg & Hvelplund 2003).

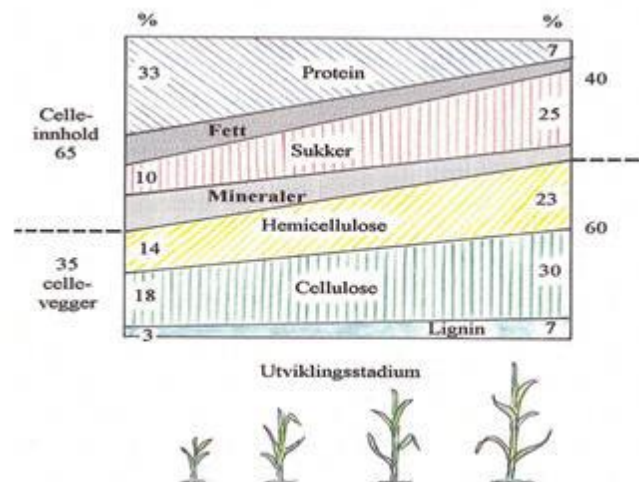
## 2.7 Rasjonssammensetning

Gress er hoveddelen i rasjonssammensetningen til mjølkekyr, men andelen kraftfôr i rasjonen øker drastisk. Utvikling mot høyere mjølkeytelse setter større krav til energirike rasjoner, derfor øker kraftfôrandelen økt.

Morfologisk utviklingstrinn av graset påvirker næringsinnholdet i grovfôret (Figur 16). Det er ønskelig å bevare mest mulig av grasmengden, næringsinnholdet og smakeligheten fra opprinnelig grasmaterialet til det ferdige produkt (Mo 2005). Innhøstingsmetoder, vær og utviklingsstadiet har stor betydning for tørrstoffinnholdet i plantematerialet.

Tørrstoffinnholdet i grovfôret har stor betydning for fôropptak, der 35 % tørrstoff gir høyest grovfôropptak (Huhtanen et al. 2007).

Hvilket utviklingsstadie graset er på ved høsting har stor betydning på næringsinnholdet. Tilgjengeligheten av de strukturdannede karbohydratene (NDF) som finnes i celleveggene, reduseres ved utsatt høstetidspunkt på grunn av økt ligninginnhold (tykkere cellevegger). På grunn av reduksjon i tilgjengelige karbohydrater ved utsatt høstetidspunkt, vil innholdet av protein også reduseres på grunn av morfologisk utviklingsstadium. Lettløselige karbohydrater (glukose, fruktose, sukrose og fruktan) er nærmest 100 % løselig uansett høstetidspunkt (Mo 2005).



Figur 16. Kjemisk sammensetning av gras ved ulike utviklingsstadier (Osborn 1980).

For å oppnå optimal energiforsyning er kraftfôr som tilpasses næringsinnhold og kvaliteten til grovfôret nødvendig. Sammensetningen av råvarer brukt i kraftfôr var i 2016, 70 % karbohydrater, 24 % protein, 4 % vitaminer og 2 % fett (NIBIO 2017).

Bygg og havre er vanlige kornarter å dyrke i Norge. Disse er derfor hovedkilden til karbohydratene i kraftfôret til mjølkeku. Andre importerte råvarer som mais, durra, roesnitter og melasse er også karbohydratkilder (Felleskjøpet 2017), og disse brukes i økende grad i kraftfôrblandinger på grunn av at egenskapene ved råvarene er gunstige. Proteinråvarer er i hovedsak maisgluten, mens fettråvarer er fra soyaolje, raps og palmeprodukter (Nordli 2018). Vitaminer og mineraler er også naturlig å tilsette i kraftfôret (Eriksen 2000).

## **2.8 Korn og kraftfôrpolitikk**

Norge har markedsordninger for korn, mjølk og kjøtt. Hensikten med markedsordningene er å utnytte arealer og arbeidskraft til norsk matproduksjon. Økonomiske virkemidler som gjør dette mulig, er blant annet *målpris* og *prisedskrivning* på korn. Dette er virkemidler som forhandles via tilskuddsordningene i jordbruksavtalen for å oppnå markedsregulering i kornområdene. Prisedskrivning brukes til å nedskrive andelen norsk korn som anvendes til kraftfôr og matmel, og sørger for at det er lønnsomt å selge egenprodusert korn og kjøpe igjen kraftfôr. Målpris er gjennomsnittlig pris på korn gjennom hele året, og forhandles via jordbruksavtalen. For å sikre jevn levering av korn gjennom hele sesongen reguleres en *basispris*. Den ligg under målprisen (gjennomsnittspris) på høsten og øker over nyttår, slik at bøndene får bedre betalt for å tørke ned og lagre kornet. *Fraktilskudd* er også et viktig statlig virkemiddel. Denne tilskuddsordningen sørger for samme pris på kraftfôret uavhengig av geografisk plassering. Prinsippet er å subsidiere korn som fraktes fra kornområder til andre områder, men ikke omvendt (Raastad & Ø. 2015).

Tollbasert importvern beskytter i dag norsk korn mot utenlandsk konkurranse. Dette kom som følge av EØS- og GATT-avtalen (1995). Tollsatsene gjør nemlig innkjøp av korn som karbohydratråvarer til kraftfôr, matkorn, oljefrø og andre råvarer mindre lønnsomt enn det som produseres innenfor Norges landegrenser. Innkjøpene skjer i felles kvoter for hver råvare. Omfanget på disse kvotene baseres på prognosene Norske felleskjøpet utfører årlig, og fastsettes av Landbruksdirektoratet (Smedshaug 2012b).

Andelen norsk korn som tilfredsstillter kravene til matkorn har stor påvirkning på behovet for importert korn til husdyrproduksjon. Kravene til matkorn er strengere og det kan gis

matkorntilskudd for å anvende norsk korn til matprodukter. Selvforsyningsgraden av korn som anvendes til kraftfôr til husdyr hvert år varierer derfor ikke bare på grunnlag av avling, men også kvalitet (Felleskjøpet 2017).

Største delen av jordbruksarealet i Norge benyttes i dag til dyrking og produksjon av fôr til husdyr. Hele 67,8 % av jordbruksarealet benyttes til dyrking av grovfôr og 29,9 % benyttes til korndyrking (Agri Analyse 2017). Analyser utført av Norske Felleskjøpet viser at en reduksjon av gjennomsnittlig års- avdrått hos norske mjølkekyr fra 8000 til 7000 liter, vil kunne øke bruken av Norsk korn i kraftfôret med 4 % (Felleskjøpet 2017).

## **2.9 Bruk og prosessering av norsk korn til kraftfôr**

Kornarter som bygg blir ofte brukt i kraftfôrblandinger til mjølkeku, og stivelsen i denne kornarten har en rask nedbrytningshastighet i vom (Volden 2011b). Store mengder stivelse fra norsk korn i kraftfôrblandinger kan føre til rask nedbrytning av stivelse og dermed medføre surt vommiljø og appetittsvikt (Harstad 2000). Havre inneholder 42 % stivelse, hvete 77 % og bygg 60 % og 80 – 90 % av stivelsen i bygg og havre potensielt nedbrytbart i vom (Nocek & Tamminga 1991).

Metoder for produksjon av kraftfôr kan forgå ved valsing eller maling av stivelseskornene (mekanisk behandling) som det første trinnet i produksjonen av kraftfôr. Det etterfølges så godt som alltid av en form for varmebehandling og pelletering (Prestløyken 2015). Det er tidligere bevist at ekspanderbehandling av korn til kraftfôrblandinger med relativt høy temperatur og trykk, kan påvirke fordøyeligheten av stivelse både i vom og tynntarm (Harstad 2000). Det finnes ulikebehandlingsmetoder for å øke enzymatisk fordøyelse av stivelse i tarmkanalen og fermentering av stivelse i vom, men ifølge Ljøkjel et al. (2003) har pelletering av kraftfôret liten effekt på nedbrytning av stivelse for havre, bygg og hvete. Siden pelleteringen forgår med lav fuktighet og temperatur bare opp imot 82° C, er det vanskelig å oppnå forklistring av stivelse.

Mais og durra er ofte brukt i norske kraftfôrblandinger og består i likhet med hvete og bygg av endosperm bestående av proteinkapper som beskytter stivelseskornene. Stivelsesgranulene er også beskyttet av ulike lipider (1–14 g/kg) (Buléon et al. 1998). Det er derfor vanskeligere å påvirke fordøyelsen av stivelse i mais og durra på grunn av hardere proteinkapper, i motsetning til bygg og havre. Proteinbindingene må derfor brytes for at stivelseskornene skal bli tilgjengelig. Havre har ikke proteinkapper og har derfor høy fordøyelighet (Harstad 2000). Behandling av

korn ved maling eller valsing er også kjent for å påvirke totalfordøyeligheten av stivelse, med økt fordøyelighet i forhold til ubehandlet korn (Mathison 1996).

Lavt innhold av råprotein (ca 10 %) i norsk korn er en utfordring i kraftfôrproduksjonen (Edwardsen & Ormastad 2015). Tidligere forsøk utført av Prestløkken (1999b) viser at høyere temperatur og trykk i kombinasjon med fuktighet under produksjon, øker AAT – verdien i bygg og havre med 20 – 35 % økt bypass - protein. Konsekvensene av høyere AAT er derfor mer bypass protein og redusert PBV.

Det finnes i dag ulike metoder og behandlinger for å oppnå ønsket fordøyelighet av særlig stivelse og protein i korn. Norge er allikevel avhengig av å importere råvarer for å tilfredsstille avdråttene til høytytende mjølkekyr, spesielt i form av proteinråvarer (Felleskjøpet 2017). Som tabellen nedenfor viser, har økende importerte råvarer i rasjonen til mjølkekyr økt med årene.

Tabell 1. Utvikling i råvaresammensetning og salg av kraftfôr til melkeku hos Strand Unikorn fra år 2000 til 2015 (Nordli 2018).

År	Norske råvarer i kraftfôr (%)	Salg (%)	Norskandel (%)	Salg (tonn)
2000	>60	76	77	12 563
	<60	24	55	
2015	>60	37	79	36 327
	<60	63	49	

## 2.10 Alkalisk korn

For å kunne øke bruken av norsk produsert korn i kraftfôr til mjølkeku er alkalisk korn et alternativ. Alkaliske kornråvarer har blitt brukt i Storbritannia i 30 år og benyttes i flere land (Graham & Dugdale 2004). Alkalisk korn produseres ved å tilsette produktet Home n' Dry og vann sammen med fôrmiddelet som skal behandles. Home n' Dry består av soyabønner som inneholder enzymet urease og ulike reaksjonsfremmere som er tilsatt for å stabilisere produktet.

Blandingen blir lagret under plast i minimum tre uker. Under lagringsprosessen vil urea brytes ned til ammoniakk og ammoniumsalter ved enzymatisk aktivitet. Resultatet er et alkalisk kornprodukt med høyere innhold av nitrogen som utnyttes av drøvtyggeren da den har evnen til å bruke NPN som substrat i proteinsyntesen (Highstreet et al. 2010).

Det alkaliske kornet kan også bidra til mer stabil pH i vom når store mengder stivelse er i rasjonen. Produktet (hovedsakelig ammonium bikarbonat) vil dermed fungere både som en buffer og som en nitrogenkilde (Graham & Dugdale 2004). Det er lite forskning på alkalisk korn, men ved tilsetning av urea i ensilert grovfôr, ble det vist økt pH-verdi og innhold av råprotein (McDonald 1981; Kung et al. 2003), og det samme ble observert på korn behandlet med ammoniakk (Søegaard et al. 2003).

Ammoniakk og ammoniumsalter vil under lagringsprosessen potensielt kunne starte en nedbrytningsprosess av lignin i celleveggmaterialer, og dermed øke fordøyeligheten av NDF i kornet (Søegaard et al. 2003; Graham & Dugdale 2004). Lignin reduserer fordøyeligheten av plantematerialet i fordøyelsessystemet fordi det beskytter de mer tungtfordøyelige karbohydratene som cellulose og hemicellulose (Van Soest 1994).

Alkalisk korn kan produseres på fuktig korn. Det ferdig alkaliske produktet har en pH på ca. 8–9. Dette gjør produktet lagringsstabil og hindrer oppformering av muggsopp og mykotoksiner under lagring til tross for høyt vanninnhold (Graham & Dugdale 2004). Ubehandlet korn må tørkes ned til 85 % tørrstoff før det er lagringsstabil (Edwardsen & Ormastad 2015). Det er derfor et betydelig et betydelig potensialet for innsparing av tørkekostnader ved å produsere alkalisk korn.

Alkakorn 150 er et produkt der korn har blitt blandet med en relativt høy konsentrasjon Home n<sup>o</sup> Dry<sup>®</sup>. Forskjellen mellom Alkakorn 150 og andre alkaliske produkter er derfor at Alkakorn 150 er mer konsentrert. På grunn av konsentrasjonen kan derfor ikke produktet benyttes som et eget kraftfôr, men kun som en råvare som tilsettes i kraftfôrblandinger. Alkakorn 150 blandes derfor sammen med andre råvarer, der sluttproduktet blir et alkalisk pelletert kraftfôr. Et slikt kraftfôr som er på markedet i dag, er Alka Supervom Mjølke<sup>®</sup>. Kraftfôret har fått positive tilbakemeldinger fra produsenter med tanke på fastere avføring, økt avdrått og fettprosent (Nordli 2018). Som tidligere nevnt setter høyere ytelse hos mjølkekyr høyere krav til egenskapene ved kraftfôret. Dette er vanskelig å møte med høy andel norskprodusert korn i kraftfôret på grunn av lettfordøyelig stivelse og lavt innhold av protein. Alkalisk korn kan være en del av løsningen for å oppnå stortingsets fastsatte mål om matproduksjon på norske ressurser, og dermed redusere behovet for importerte råvarer i kraftfôret til drøvtyggere.

## 3 Materiale og metode

### 3.1 Forsøk 1: Fordøyelighetsforsøk med kyr i laktasjon

#### 3.1.1 Forsøksopplegg

Forsøket ble gjennomført i stoffskiftefjøsset på Senter for husdyrforsøk (SHF) ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU), (59°39'N, 10°46'Ø). Forsøksperioden var fra 3. mars til 5. mai 2017. Analyser av fôrmidler, *in sacco*-prøver, vomsaftprøver, gjødsel og urinprøver ble gjennomført av Labtec ved Fakultet for biovitenskap- Institutt for husdyrvitenskap (IHA) og Eurofins. Analyser av mjølk ble utført av Tine SA og VITAS- Analytical services.

#### 3.1.2 Forsøksdyr

Seks vomfistulerte kyr (Norsk rødt fe, NRF) i tidlig laktasjon deltok i forsøket. Alle kyrne hadde egen fôrkrybbe og drikkekar. Kyrne var oppstallet i båser med gummimatter og sagflis. Alder, kalvingsdato og laktasjonsnummer er vist i tabell 2.

Tabell 2. Oversikt over ku nummer, fødselsdato, kalvingsdato og laktasjonsnummer for kyrene i forsøket.

<b>Ku nummer</b>	<b>Fødselsdato</b>	<b>Kalvingsdato</b>	<b>Laktasjonsnummer</b>
<b>5729</b>	28.09.10	29.11.16	5
<b>5928</b>	04.02.12	26.12.16	4
<b>5733</b>	08.10.10	13.01.17	5
<b>5979</b>	17.09.12	11.01.17	3
<b>5921</b>	24.01.12	01.02.17	4
<b>5851</b>	23.09.11	22.01.17	4



### 3.1.3 Gjennomføring av forsøksperiodene

Forsøket var bygd opp som et 3 x 3 latinsk kvadrat (tabell 3). Forsøkskyrene ble blokkert etter ytelse i to blokker med kraftfôrblanding, dyr og periode som hovedeffekter. Forsøket pågikk i totalt 63 dager, oppdelt i tre perioder à 21 dager.

Tabell 3. 3x3 latinsk kvadrat for tildeling av de ulike kraftfôrene til kyrene i forsøket.

	5729	5928	5733	5979	5921	5851
<b>Blokk</b>	<b>1</b>			<b>2</b>		
<b>Periode 1</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>03.03-23.03</b>						
<b>Periode 2</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>
<b>24.03-13.04</b>						
<b>Periode 3</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>
<b>14.04-04.05</b>						

Hver periode startet med fem dager med tilvenning til forsøksfôret (innkjøring), deretter ni dager fast fôrnivå, fulgt av en syv- dagers periode med opptrapping av kraftfôr (Tabell 4).

Forsøksdyrene ble fjernet fra forsøket ved mistanke om SARA. Det ble kontrollert gjennom registrering av tørrstoffopptak, pH i vom og melkemengder, som er gode indikasjoner for SARA (Stone 1999; Kleen et al. 2003).

Terskelen (når kyrene ble tatt ut av forsøket) var vom pH < 5,6 i mer enn 3 timer/ døgn.

Endepunktet er valgt med utgangspunkt i en av definisjonene på subakutt vomacidose (Gozho et al. 2005). Andre endepunktet er alle tilfeller av moderat og akutte sjukdommer hos storfe. Milde sjukdommer (f.eks. mild mastitt) ville i hvert tilfelle blitt vurdert av veterinær.

Tabell 4. Tidsplan over prøveuttaket per periode.

Dag	pH elektrode	pH bolus	In sacco	NH <sub>3</sub> og VFA med pH- flere målinger	NH <sub>3</sub> og VFA med pH- enkel måling	Gjødsel- og urin- oppsamling	Ytelse	Mjølkeprøver	Vekt
	6 dyr	6 dyr	3 dyr	3 dyr	3 dyr	6 dyr	6 dyr	6 dyr	6 dyr
1-innkjøring		X					X		X
2-innkjøring		X					X		
3-innkjøring		X					X		
4-innkjøring		X					X		
5-innkjøring		X					X		
6- fast nivå		X					X		
7- fast nivå		X	X				X		
8- fast nivå		X	X				X		
9- fast nivå		X	X				X		
10- fast nivå		X	X				X		
11- fast nivå		X	X				X		
12- fast nivå	X	X				X	X	X	
13- fast nivå	X	X				X	X	X	
14- fast nivå	X	X		X		X	X	X	
15- opptrapping	X	X			X		X		
16- opptrapping	X	X			X		X		
17- opptrapping	X	X			X		X		
18- opptrapping	X	X			X		X		
19- opptrapping	X	X			X		X		
20- opptrapping	X	X			X		X		
21- opptrapping	X	X			X		X		
<b>FORSØKSSLUTT</b>									X

### **3.1.4 Fôrmidler**

#### **3.1.4.1 Surfôr**

Surfôr bestående av timotei, engsvingel og noe rødkløver med 15 % råprotein ble bestilt fra SHF. På grunn av mangel på dette fôret, ble det med blandingsforholdet 2:1 blandet inn surfôr med 14 % råprotein. Kjemisk analyse av surfôret brukt i forsøket er vist i tabell 9.

#### **3.1.4.2 Kraftfôr**

I forsøket ble det benyttet tre ulike typer forsøksfôr som ble levert av Strand Unikorn (Norgesfôr).

A: Kraftfôr med alkalisk korn. Inneholder en konsentrert alkalisk kornråvare med løselig nitrogen (N) i form av ammoniakk/ammoniumsalter. Ingen importerte karbohydratråvarer og redusert innhold av importerte proteinråvarer.

B: Positiv kontroll. Kommersielt kraftfôr til høyt ytende mjølkekyr med høy andel importerte råvarer.

C: Negativ kontroll. Tilsvarende kraftfôr A, men bygg tilsatt urea istedenfor en alkalisk kornråvare.

Alle forsøksfôrene ble optimert til å inneholde samme mengde energi (NEL<sub>20</sub> MJ/kgTS) (Volden & Nielsen 2011) og råprotein (CP). Innholdet i de ulike kraftfôrene er presentert i tabell 5.

Tabell 5. Råvareinnhold i de ulike kraftfôrene.

<b>Kraftfôr A</b>	<b>%</b>	<b>Kraftfôr B</b>	<b>%</b>	<b>Kraftfôr C</b>	<b>%</b>
Alkakorn 150 bygg	20,00	Fôrbygg	42,10	Fôrbygg	68,91
Fôrbygg	51,83	Fôrhavre	4,96	Soyamel	8,69
Soyamel	7,56	Roesnitter	6,00	Maisgluten	3,32
Maisgluten	3,32	Mais	8,00	Rapsexpeller	4,00
Rapsexpeller	4,00	Soyamel	11,66	Oljefrø	2,00
Oljefrø	2,00	Maisgluten	4,00	Selen	0,05
Selen	0,05	Rapsexpeller	12,19	Lipitec bovi lm	1,76
Lipitec bovi lm	1,76	Lipitec bovi lm	1,83	Fôrkalk	1,29
Fôrkalk	1,12	Fôrkalk	1,12	Salt	0,82
Salt	0,81	Salt	0,94	Monokalsiumfosfat	0,60
Monokalsiumfosfat	0,59	Monokalsiumfosfat	0,42	Magnesiumoksid	0,58
Magnesiumoksid	0,57	Magnesiumoksid	0,53	Premiks drøv	0,20
Premix drøv	0,20	Premiks drøv	0,20	Natriumsulfat	0,19
Natriumsulfat	0,19	Selen	0,05	Fôrurea	1,29
Melasse	6,00	Melasse	6,00	Melasse	6,00
				Soyaolje	0,30
Norskandel	75,00	Norskandel	48,00	Norskandel	75,00
<b>Total</b>	<b>100,00</b>	<b>Total</b>	<b>100,00</b>	<b>Total</b>	<b>100,00</b>

### 3.1.1 Fôrtildeling og registrering

Surfôret ble tildelt etter fri tilgang (*ad libitum*) tre ganger i døgnet; kl. 06:30, 14:00 og 21:30.

Kraftfôrmengden ble tilpasset gjennomsnittsyttelsen ved fôrsøksstart, og satt til 11 kg (fast fôrnivå). Under opptrappingsperioden ble kraftfôrmengden økt med én kg pr. dag til maksimalt 18 kg, eller til begynnende vomacidose. Surfôr og kraftfôr ble tildelt separat og i like store porsjoner til hvert fôringstidspunkt. Mengder tildelt surfôr og kraftfôr ble registrert ved hver fôring, og eventuelle rester ble registrert og fjernet før morgenfôringen.

### **3.1.1 Fôrprøver**

Grovfôret ble blandet i fullfôrblender med to skruer (*Siloking Duo 16*, Siloking Mayer Maschinenbau GmbH, Tittmonig, Tyskland). Det ble tatt en prøve fra hver blanding, merket med surfôr og dato. Grovfôrprøver fra hver hverdag i ukedagene ble også tatt ut under oppveing av fôret. Disse ble samlet til en prøve fra hver periode, merket, tørket ned og malt opp med 1,0 mm sold og analysert for NDF, aske, fett og nitrogen. Ved analyse for stivelse, ble prøvene malt med 0,5 mm sold.

Det ble tatt samleprøver av hvert kraftfôr fra de tre periodene. Markert «samleprøve kraftfôr A, B eller C, og periode 1, 2, eller 3». Kraftfôret ble analysert for NDF, aske, aNDFom, protein, stivelse og fett. Malt ved 1,0 mm sold for analyse av alle næringsstoff bortsett fra stivelse, som ble malt på 0,5 mm sold.

### **3.1.2 Kontinuerlig pH-måling**

Utviklingen til pH i vom ble målt kontinuerlig med probe (*pH 340i*, WTW GmbH, Wellhelm, Tyskland) fra dag 12 til periodeslutt i hver periode. I tillegg ble pH målt ved hjelp av pH-bolus (*Well Cow pH/temperature bolus*, Well Com Ltd, Midlothian, Storbritannia) fra dag 1-21 i hver periode. Bolusen var plassert i nettmagen, og målingene ble registrert ved hjelp av bluetooth.

### **3.1.3 Oppsamling av gjødsel og urin**

Totaloppsamling av gjødsel og urin ble gjennomført ved dag 12-14 (totalt 72 timer) i hver periode for alle kyr. Gjødsel og urin ble samlet opp i separate bøtter og satt på kjøøl morgen og kveld. Eventuelle avvik ble notert.

### **Gjødsel**

Etter hver oppsamlingsperiode ble gjødsel fra den enkelte kyr blandet sammen, og tre aluminiumsbakker á 500 g, merket med dyr og periodenummer, ble tatt ut. Av disse ble to frysetørket, og den siste fungerte som reserveprøve. Fra de frysetørkede bakkene ble halvparten tatt ut, knekt opp i biter og blandet, og deretter fordelt med ca. 75 % av materialet på 1 mm sold, og 25 % på 0,5 mm sold. Prøvene ble merket A eller B ut fra malingsgrad (henholdsvis 1,0 mm og 0,5 mm). Prøvene ble deretter analysert for:

- A) Tørrstoff, aske, Kjeldahl-N, fett og NDF (1,0 mm sold).
- B) Stivelse malt (0,5 mm sold).

## Urin

Bøttene med urin ble tilsatt en liter svovelsyre ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) før oppsamling, for å holde lav pH og dermed unngå fordamping av ammoniakk under oppsamling. Hver morgen etter 24 timer oppsamling, ble 10 % av urinen fra hver kyr tatt ut til en samleprøve for perioden. Av denne ble det tatt ut to sentrifugerør. Det ene røret gikk til analyse av Kjeldahl-N, og det andre ble tatt vare på som reserve.

### 3.1.4 Vomsaftprøver med pH- flere målinger

På dag 14 i hver periode ble det tatt ut vomsaftprøver for tre dyr i samme blokk (nr. 5729, 5733, 5928), som ble analysert for ammoniakk ( $\text{NH}_3$ ) og VFA ved Labtec. Første uttak ble utført umiddelbart før morgenfôring (kl. 06.30), deretter hver time frem til neste fôring (kl. 14.00). Ved uttak av prøvene ble vomprøvesonde (10 ml) benyttet. Vomprøvesonden stikkes ned i vom gjennom vomfistelen, den første prøven ble kastet, deretter ble det ut to prøver på 10 ml som ble overført til sentrifugeglass. Glassene var tilsatt 0,5 ml konsentrert maursyre ( $\text{CH}_2\text{O}_2$ ) og ble lagret kjølig. Måling av pH ble utført manuelt med pH meter (*pH 340i*, WTW GmbH, Wellhelm, Tyskland) samtidig som vomprøvene ble tatt.

### 3.1.5 Vomsaftprøver med pH- enkel måling

Vomsaftprøver og manuell pH måling ble gjennomført etter samme prosedyre og på samme dyr som i delkapittel 3.1.4, en time etter morgenfôring (kl. 07.30), hver dag under opptrapping (dag 15-21) i hver periode. Prøvene ble lagret kjølig til videre analyse av  $\text{NH}_3$  og VFA.

### 3.1.6 Mjølkeprøver

Uttak av mjølkeprøver ble utført på samtlige forsøksdyr under mjølking morgen og kveld dag 12– 14, hver periode. Prøvene ble kjølt ned umiddelbart etter uttak og sendt til analyse. Tine analyserte prøvene for fett, protein, laktose, celletall, frie fettsyrer og urea (standard mjølkeprøve). I tillegg ble tre samleprøver av mjølkeprøvene, inndelt etter gitt rasjon, sendt til VITAS- analytical service, for analyse av fettsyresammensetning.

### 3.1.7 *In-sacco* målinger

Bestemmelse av nedbrytningsgrad av tre råvarer målt ved bruk av *in sacco* metoden (Åkerlind et al. 2011) på tre av forsøksdyrene i hver periode (nr. 5729, 5928 og 5733) dag 7-11 Antall poser brukt ved hver råvare er vist i Tabell 6. Råvarene som ble undersøkt var:

Råvare 1: Alkakorn 150

Råvare 2: Grovfôr brukt i forsøket, middels fordøyelighet

Råvare 3 Grovfôr med lavere fordøyelighet

Tabell 6. Antall poser og inkubasjonstid for de ulike råvarene inkubert i vom ved *in sacco* målinger.

Timer	Dag	Antall poser Råvare 1	Antall poser råvare 2 og 3
0		3	3
4	11	3	
16	10	4	4
48	9	6	4
96	7		5

Nedbrytning av protein, NDF, aske og stivelse i vom ble analysert for de ulike råvarene.

Prosedyren for *in sacco* metoden er beskrevet i tabell 7. Etter inkubasjon i vom ble posene vasket, tørket på 45°C og satt luftstabil i 25 timer, før de ble malt på 1,5 mm sold, og videre sendt til analyse ved Labtec.

Tabell 7. Prosedyre for bestemmelse av nedbrytningsgrad i vom ved bruk av nylonposer.

Faktor	Retningslinjer
Poreåpning i nylonposene	37 µm
Prøvestørrelse, tørt fôr	10-15 mg materiale/cm <sup>2</sup> Posestørrelse 6x12 cm → 2 g
Prøveforberedelse	Malingsgrad 1,5 mm sold Surfôr frysetørkes
Forsøksdyr	3 kyr (5729, 5928, 5733)
Rasjonssammensetning	Forsøksrasjoner
Inkubasjonstid Råvare 1	0, 4, 16, 48 timer
Inkubasjonstid Råvare 2 og 3	0, 16, 48, 96 timer
Gjentak	Avhengig av inkubasjonstid, 3-6 per dyr
Vasking av poser	Vaskemaskin med kaldt vann
Beregning av effektiv nedbrytningsgrad	Etter Ørskov og McDonald (1979)

### **3.1.8 Andre registreringer**

Vannopptaket ble registrert individuelt for samtlige kyr gjennom hele perioden.

### **3.1.9 Analyser**

#### ***Tørrstoff***

Tørrstoffet prøvene ble bestemt ved å tørke prøven i varmeskap på 103°C i 4-24 timer (Berg 2011b). Differansen i vekt før og etter tørking bestemte tørrstoffet. Surfôret ble tørket ved 45°C i 48 timer, da flyktige komponenter kan fordampe ved høyere temperaturer.

#### ***Aske***

Ved fullstendig forbrenning av prøven ved 550°C i 4-20 timer, ble mengden aske bestemt (Berg 2011a). I teorien blir alt organisk materiale brent opp ved fullstendig forbrenning, samt noen metaller fordampet. Det kan skje at noe organisk material ikke blir fullstendig brent opp.

#### ***Nitrogen***

Kjeldahl-metoden ble benyttet for å bestemme kvantitativ mengde nitrogen i en prøve (Berg 2011c). Ved hjelp av høy temperatur blir aminosyrene i proteinet dekomponert, og analysert ved hjelp av analyseinstrument for Kjeldahl-N (2400/2460 *Kjeltek™ Auto Sampler System*, FOSS, Hilleroed, Danmark), (*Tecator™ Digestor*, FOSS, Hilleroed, Danmark)

#### ***Ammonium-N***

Ved de to siste stegene i Kjeldahl-analysen ble konsentrasjonen av  $\text{NH}_4^+$  fra vomsaft bestemt (Berg 2013c).

#### ***aNDF***

Ved oppvarming i en nøytral såpeløsning blir innholdet av NDF i en prøve bestemt (Berg 2013a). NDF fraksjonen består av cellulose, hemicellulose og lignin, og er det som ikke løses opp under oppvarmingen.

#### ***aNDFom***

Samme såpeløsning som blir brukt for å finne aNDF, ble også brukt for å analysere aNDFom, men ble også korrigert for aske (aNDFom). Prøven ble derfor varmet opp til 550°C og restene etter forbrenning er målet på den uorganiske delen (Berg 2013b).



## ***Fett***

Ved ekstraksjon med løsemidlene petroleumseter og aceton i en ekstraksjonscelle under valgt temperatur og trykk ble andelen fett i prøvene bestemt (Tingstad 2010). For å blåse av løsemiddelet blir det benyttet nitrogengass, før prøven blir tørket i vakuumovn og veid.

## ***Stivelse***

Ved nedbryting til glukose ble stivelsesinnholdet i prøvene bestemt (Svihus 2010). Dette ble gjort ved koking med  $\alpha$ -amylase, slik at de tredimensjonale strukturene ble brutt ned til kortere vannløselige kjeder. For å fullføre nedbrytingen til glukosemolekyler ble det tilsatt amyloglukosidase-enzym. Ved hjelp av spektrofotometer (*MaxMat PL II Multianalyser*, Wheecon, Frankrike), ble konsentrasjonen av glukose bestemt.

## ***Flyktige fettsyrer (VFA)***

Gasskromatografi ble benyttet for å analysere en prøve for VFA. Prøven ble sentrifugert og separert (Linstad 2007).

## **Mjølkeanalyser**

Mjølkeprøvene ble analysert for innholdet av fett, protein, laktose, urea og celletall. Ved bruk av analyseinstrument for mjølke kvalitet (*Bentley DairySpec FT*, Bentley Instruments Inc, Chaska, USA), som nytter fourier-transform infrared spectroscopy (FTIS) analyse av mjølka.

### **3.1.10 Behandling av forsøksdata**

#### **3.1.10.1 Statistikk**

Statistikkprogrammet SAS 9.4 ble brukt for å gjøre de statistiske beregningene (Insitute 2012). Prosedyren General Linear Models (Proc GLM) ble benyttet. Gjennomsnittet for gruppene er oppgitt som Least Square Mean (LSM) med standardavvik. Forskjellene ble vurdert etter signifikant  $P$  – verdi  $\leq 0,05$ .

Faste effekter i modell 1 var ku nummer, periode og kraftfôr. Modellen ble brukt til beregning av grovfôropptak, fordøyelighet, urin og gjødsel, mjølk, pH og VFA. Variablene som ble undersøkt vises i tabellene. Datasettet for antall minutter under gitt pH ble sortert etter variabelen som tok hensyn til tid. Energikorrigert mjølk er beregnet som  $\text{kg mjølk} \times 0,01 + 0,122 \times \text{fett \%} + 0,077 \times$

protein % + 0,057 × laktose %. Produksjonen av fett, protein og laktose er beregnet ut fra dagsrasjonen av mjølk og angitt i gram/dag.

Modell 2 ble benyttet til beregning av *in sacco*. Faste effekter var ku nummer, rasjon og kraftfôr med samspillseffekt mellom rasjon og kraftfôr. Datasettet ble sortert etter variabel som tok hensyn til tid.

### **Modell 1:**

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + C_k + \epsilon_{ijk}$$

$Y_{ij}$  = variabelen som blir undersøkt

$\mu$  = populasjonsgjennomsnittet

$A_i$  = effekt av kyr,  $i=1,2 \dots 6$ .

$B_j$  = effekt av periode,  $j=1,2,3$

$C_k$  = effekt av kraftfôr,  $k=1,2,3$

$\epsilon_{ijk}$  = Tilfeldig feil

### **Modell 2:**

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + C_k + T_l + (B_j)_{jk} + \epsilon_{ijkl}$$

$Y_{ij}$  = variabelen som blir undersøkt

$\mu$  = populasjonsgjennomsnittet

$A_i$  = effekt av ku,  $i=1,2,3$

$B_j$  = effekt av periode,  $j=1,2,3$

$C_k$  = effekt av kraftfôr,  $k=1,2,3$

$T_l$  = rasjon,  $l=1,2,3$

$\epsilon_{ijkl}$  = Tilfeldig feil

### 3.1.10.2 Beregninger

#### *Kjemisk innhold*

Beregninger av kjemisk innhold av næringsstoff ble gjort etter følgende formler:

$$\text{Tørrstoff (g/kg)} = \frac{\text{Vekt etter tørking (g)}}{\text{vekt før tørking (g)}} * 1000 \quad (1)$$

$$\text{Organisk stoff (g/kgTS)} = \text{Tørrstoff (g/kg)} - \text{Aske (g/kgTS)} \quad (2)$$

$$\text{Råprotein (g/kgTS)} = \text{KjeldahlN (g/kgTS)} \times 6,25 \quad (3)$$

Restfraksjonen av karbohydrat korrigert for ureainnhold (Rest CHO), ble regnet ut etter følgende formler (Volden 2011b):

$$\begin{aligned} \text{Urea N (g/kgN)} \\ &= \frac{\text{Urea i fôr (g/kgTS)} \times \text{Nitrogenandel i urea (g/kgN)}}{\text{Nitrogen i fôr (g/kgTS)}} \\ &\times 1000 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\text{Korrigert råprotein (g/kgTS)} = \left(1 - \frac{\text{UreaN (g/kgN)}}{1000}\right) \times \text{CP (g/kgTS)} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{Rest CHO (g/kg)} \\ &= 1000 - \text{Aske (g/kgTS)} - \text{Korrigert råprotein (g/kgTS)} \\ &- \text{Råprotein (g/kgTS)} \times \frac{\text{Urea N (g/kgTN)}}{2915} - \text{Råfett (g/kgTS)} \\ &- \text{NDF (g/kgTS)} - \text{Stivelse (g/kgTS)} \end{aligned} \quad (6)$$

## **Mjølkk**

Produksjon av fett, protein og laktose i mjølkk ble funnet ved formelen:

$$\mathbf{N\ddot{a}ringstoff (g/dag) = Mj\ddot{o}lk(kg) \times N\ddot{a}ringstoff(\%) \times 10} \quad (7)$$

$$\mathbf{R\ddot{a}protein (g/kgTS) = KjeldahlN (g/kgTS) \times 6,38} \quad (8)$$

Verdistoff i mjølkk ble funnet ved:

$$\mathbf{Verdistoff\ i\ mj\ddot{o}lk\ (\%) = Fett(\%) + Protein(\%) + Laktose(\%)} \quad (9)$$

Energikorrigert mjølkk ble funnet ved formelen:

$$\begin{aligned} \mathbf{Energikorrigert\ mj\ddot{o}lk\ (EKM\ kg)} \\ = \mathbf{Mj\ddot{o}lk\ (kg) \times (0,01 + 0,122 \times fett(\%) + 0,077 \times protein(\%) + 0,053 \times laktose(\%))} \end{aligned} \quad (10)$$

## **Ford\ddot{o}yelighet**

Apparent ford\ddot{o}yelighet for de ulike n\ddot{a}ringsstoffene ble funnet etter formelen:

$$\mathbf{Apparent\ ford\ddot{o}yelighet(\%) = \frac{N\ddot{a}ringsstoff\ i\ f\ddot{o}ret}{N\ddot{a}ringsstoff\ i\ gj\ddot{o}dsel} \times 100} \quad (11)$$

Ved utrekning av omsettelig energi og brutto energi for utregning av NEL i de ulike rasjonene ble f\ddot{o}lgende formler brukt, etter NorFor (Volden, 2011):

$$\mathbf{Brutto\ Energi\ (kJ/kgTS) = Energikonstant\ (kJ) \times N\ddot{a}ringsstoff\ (kgTS)} \quad (12)$$

Der:

- *Fett* = 36,6
- *Protein* = 24,1
- *Karbohydrat* = 18,5

$$\begin{aligned}
 & \textbf{Omsettelig Energi (kJ/kgTS)} \\
 & = \textbf{Energikonstant (kJ)} \times \textbf{Næringsstoff (kgTS)} \\
 & \times \frac{\textbf{Fordøyd næringsstoff (\%)}}{100}
 \end{aligned} \tag{13}$$

Der:

- *Fett* = 37,7
- *Protein* = 15,9
- *Karbohydrat* = 14,2

$$\begin{aligned}
 \textbf{NEI} = 0,6 \times & \left( 1 + 0,004 \times \left( \left( \frac{\textbf{Omsettelig Energi}}{\textbf{Brutto Energi}} \times 100 \right) - 57 \right) \right) \\
 & \times \textbf{Omsettelig Energi}
 \end{aligned} \tag{14}$$

FEm for de ulike rasjonene ble deretter funnet ved formelen:

$$\textbf{FEm (kJ/kgTS)} = \frac{\textbf{NEI (kJ/kgTS)}}{7075 \textbf{ kJ}} \tag{15}$$

*In sacco*

Nedbrytingskurve for næringsstoffene ble funnet ved å finne fordøyd næringsstoff ved de ulike inkubasjonstidene, etter formelen:

$$\begin{aligned}
 & \textbf{Fordøyd næringstoff (\%)} \\
 & = \frac{\textbf{Fordøyd næringstoff (g)}}{(\textbf{Næringsstoff i råvare (g/kg)} \times \textbf{vekt (g)})/1000} \times 100
 \end{aligned} \tag{16}$$

Videre ble kurvetilpassing gjort etter formelen (Ørskov & McDonald 1979):

$$\mathbf{Ford\ddot{o}yd\ n\ddot{a}ringsstoff\ (\%)} = \mathbf{a + b \times (1 - e^{c \times t})} \quad \mathbf{(17)}$$

$a$  = løselig andel (%)

$b$  = potensiell nedbrytbar andel (%)

$c$  = Nedbrytningshastighet (%/time)

$t$  = inkubasjonstid

Ved hjelp av Excel Solver etter 1. ordens kinetikk ble nedbrytingsgraden videre funnet som effektiv nedbrytingsgrad ved formelen (Ørskov & McDonald 1979):

$$\mathbf{Effektiv\ nedbrytingsgrad(\%)} = \mathbf{a + b(c/(c + k))} \quad \mathbf{(18)}$$

$a$  = løselig andel (%)

$b$  = potensiell nedbrytbar andel(%)

$c$  = Nedbrytningshastighet (%/time)

$k$  = passasjehastighet (%/time)

Passasjehastigheten for protein og stivelse anslås å være 8 %/time og 3 %/time for NDF.

### **Nitrogenbalanse**

Nitrogeneffektiviteten i mjølk

$$\mathbf{Nitrogeneffektivitet} = \frac{\mathbf{Nitrogen\ i\ mj\ddot{o}lk}}{\mathbf{Nitrogen\ i\ f\hat{o}r}} \times \mathbf{100} \quad \mathbf{(19)}$$

### *Aminosyrer absorbert i tarm (AAT)*

Aminosyrer absorbert i tarm ble funnet etter det gamle AAT/PBV systemet der rårevler ble funnet ved innholdet av NDF, stivelse og Rest CHO (Madsen et al. 1995), og beregnet etter formelen:

$$AAT_{inp} = Råprotein (g/kgTS) \times \left( \frac{100 - \frac{Råprotein i rasjon (gTS)}{Nedbrutt råprotein (gTS)} \times 100}{100} \right) \quad (20)$$

*× Aminosyrer i fôr × Fordøyelighet av aminosyrer i tarm*

$$AAT_m = Fordøyelig CHO (g/kgTS) \times effektivitet i mirobesyntese \\ \times aminosyrer i mikrobeprotein \\ \times fordøyelighet av mikrobeprotein \quad (21)$$

$$AAT (g/kgTS) \\ = AAT_{mikrobeprotein} (g/kgTS) \\ + AAT_{ikke nedbrutt protein} (g/kgTS) \quad (22)$$

Der:

- Effektivitet av mirobesyntese = 0,179
- Aminosyrer i mikrobeprotein = 0,7
- Fordøyelighet av mikrobeprotein = 0,85
- Andel aminosyrer av protein i grovfôr = 0,65
- Andel aminosyrer av protein i kraftfôr = 0,85
- Fordøyelighet av aminosyrer i grovfôr, i tarm = 0,70
- Fordøyelighet av aminosyrer i kraftfôr, i tarm = 0,88

### ***Proteinbalanse i vom (PBV)***

Proteinbalansen i vom ble beregnet etter det gamle AAT/PBV systemet etter formelen.

***PBV (g/kgTS)***

$$= \left( \text{Råprotein (g/kgTS)} \times \frac{\frac{\text{Råprotein i rasjon (gTS)}}{\text{Nedbrutt råprotein (gTS)}} \times 100}{100} \right) \quad (23)$$

× (***Fordøyelig CHO (g/kgTS)***)

× (***Effektivitet av mikrobesyntese***)



## **3.2 Forsøk 2: *In-sacco* forsøk på standardkyr**

### **3.2.1 Forsøksopplegg**

Forsøket i regi av Norgesfôr ble gjennomført i stoffskiftefjøsset, SHF ved NMBU.

Forsøksperioden var i Juni 2017. Analyser av *in sacco*-prøver ble gjennomført av Labtec ved institutt for husdyrvitenskap

### **3.2.2 Forsøksdyr**

Tre vomfistulerte kyr (NRF) utenfor laktasjon (standardkyr) deltok i forsøket, alle kyrne hadde egen fôrkrybbe og drikkekar. Kyrne var oppstallet i båser med gummimatter og sagflis.

### **3.2.3 Forsøksfôr**

Gjennom forsøket ble kyrne fôret etter en standarddiett for vedlikeholds nivå. Krav til standarddiett ved *in sacco* forsøk er som følger (Åkerlind et al. 2011):

- Den skal bestå av høy, halm og kraftfôr.
- Forholdet mellom høy og halm, og kraftfôr skal være 67:33.
- Råproteininnholdet i totalrasjonen skal være høyere enn 120 g/kg TS.
- Kraftfôret skal inneholde minst 3 ulike proteinkilder.

Dagsrasjonen ble delt i 2 like store måltider og tildelt morgen og kveld. Tilvenningsperioden før forsøksstart var på 14 dager.

### **3.2.4 *In sacco***

Bestemmelse av nedbrytningsgrad ved *in Sacco* metoden ble gjennomført på de tre kyrne.

Råvarene som ble undersøkt var:

Råvare 1: Konsentrert alkalisk kornråvare: Alkakorn 150. (Bygg behandlet med Home n'Dry, lagret 3 uker under plast).

Råvare 2: Bygg Home n' Dry. Bygg blandet med Home n' Dry, men uten lagring.

Nedbrytningsgraden av protein, NDF og stivelse ble funnet, etter samme prosedyre som ved forsøket på kyr i laktasjon, beskrevet i 3.1.8. I tillegg til standard *in sacco* forsøk opp til 96 timer,

ble det også tatt ut poser etter 2, 4, 8 og 24 timer, samt etter 288 timer for å måle innholdet av INDF (tabell 8).

Tabell 8. Inkubasjonstid og antall poser ved *in sacco* forsøk på standardkyr.

<b>Inkubasjonstid</b>	<b>Antall poser</b>
<b>0</b>	4
<b>2</b>	2
<b>4</b>	3
<b>8</b>	3
<b>16</b>	6
<b>24</b>	6
<b>48</b>	6
<b>96</b>	8
<b>288</b>	8

### **3.2.5 Behandling av forsøksdata**

#### **3.2.5.1 Statistikk**

Statistikkprogrammet SAS 9.4 ble brukt for å gjøre de statistiske beregningene (Insitute 2012). Prosedyren General Linear Models (Proc GLM). Gjennomsnittet for gruppene er oppgitt som Least Square Mean (LSM) med standardavvik. Forskjellene ble vurdert etter signifikant  $P$  – verdi  $\leq 0,05$ .

Faste effekter i modellen var ku nummer og kraftfôr. Modellen ble brukt til beregning av *in sacco* standardkyr. Variablene som ble undersøkt var NDF, protein og stivelse som ble sortert etter variabelen som tok hensyn til tid.

**Modell:**

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + C_k + \epsilon_{ijk}$$

$Y_{ij}$  = variabelen som blir undersøkt

$\mu$  = populasjonsgjennomsnittet

$A_i$  = effekt av ku,  $i=1,2,3$ .

$B_j$  = effekt av kraftfôr,  $j=1,2$ .

$\epsilon_{ijk}$  = Tilfeldig feil

**3.2.5.2 Beregninger**

Nedbrytingskurve for næringsstoffene ble funnet ved å finne fordøyd næringsstoff ved de ulike inkubasjonstidene, etter formel 16 i kapittel 3.1.10. Videre ble kurvetilpassing gjort etter formel 17 i kapittel 3.1.10.

Ved hjelp av Excel Solver etter 1. ordens kinetikk ble nedbrytingsgraden videre funnet som effektiv nedbrytingsgrad ved formel 18 i kapittel 3.1.10, der passasjehastigheten for protein og stivelse anslås å være 8 %/time, og 3 %/time for NDF.

## 4 Resultater

### 4.1 Forsøk 1: Fordøyelighetsforsøk på kyr i laktasjon

#### 4.1.1 Kjemisk innhold i fôr og gjødsel

Kjemisk analyse av surfôret og de tre forsøksfôrene er vist i tabell 9, der innholdet av NDF og Rest CHO er noe høyere i kraftfôr B enn i kraftfôr A og C, der stivelseinnholdet igjen er noe høyere. Sammenligning med grovfôrveiledningen til Eurofins (2010), har surfôret brukt i dette forsøket et godt innhold av protein, og noe høyt innhold av NDF, anbefalt henholdsvis 140-160 og 480-520 g/kgTS.

Tabell 9. Kjemisk innhold av næringsstoff i surfôr og de ulike kraftfôrene.

	Tørrstoff	Org-Stoff	NDF	Råprotein	Fett	Stivelse	Rest CHO	Aske	
	g/kg								
				g/kgTS					
<b>Surfôr</b>	356,7	913,0	540,7	153,1	46,9	25,3	146,9	87,0	
<b>Kraftfôr A<sup>1</sup></b>	873,2	933,4	135,6	209,4	43,7	475,9	95,9	66,8	
<b>Kraftfôr B<sup>1</sup></b>	877,7	930,3	158,3	197,5	42,7	394,4	137,7	69,4	
<b>Kraftfôr C<sup>1</sup></b>	877,0	937,2	136,9	212,5	41,9	459,7	116,7	62,8	

1. Fôr. Kraftfôr A: Kraftfôr med alkalisk korn. Konsentrert alkalisk kornråvare med løselig nitrogen (N) i form av ammoniakk/ammoniumsalter. Kraftfôr B: Positiv kontroll. Kommersielt kraftfôr til høyt ytende mjølkekyr med høy andel importerte råvarer. Kraftfôr C: Negativ kontroll. Tilsvarende kraftfôr A, men bygg tilsatt urea istedenfor en alkalisk kornråvare.

#### 4.1.2 Tørrstoffopptak

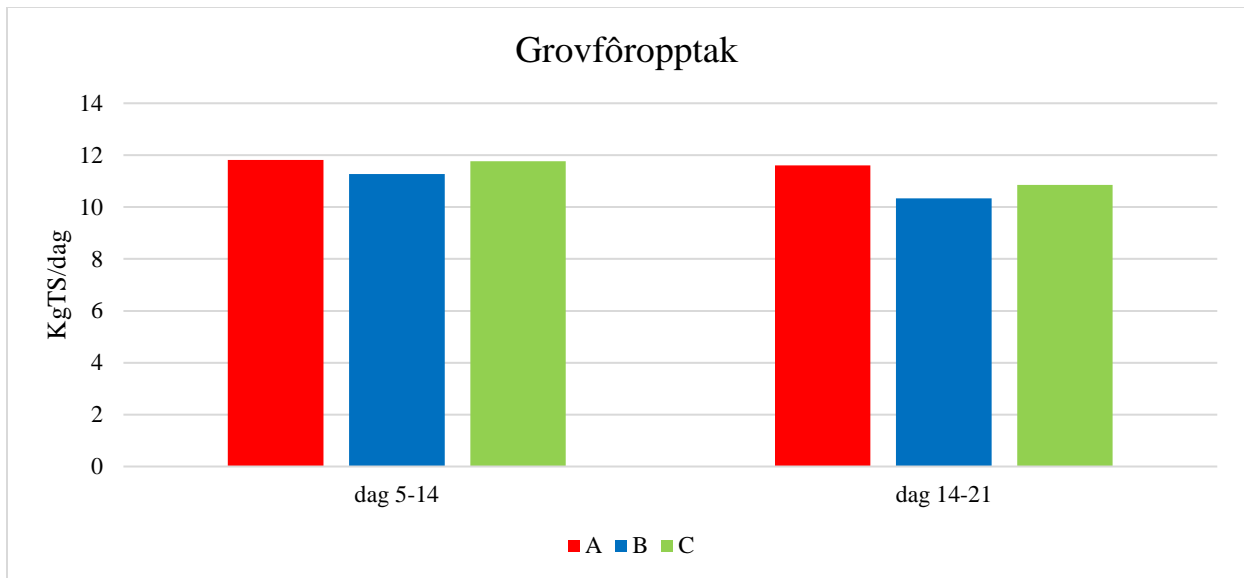
Tørrstoffopptaket i gjennomsnitt (kgTS/dag) for de ulike delene av forsøksperioden, og samlet opptak av næringsstoff (kgTS/dag) er presentert i tabell 10, og videre illustrert i figur 17 og 18. Funnene viser numerisk høyere opptak for kyr fôret med kraftfôr A, og følgelig jevnt over høyere inntak av de ulike næringsstoffene. Det ble ikke funnet statistisk sikre verdier, men tendens ( $P=0,1$ ) for høyere grovfôr-opptaket i opptrappingsperioden for kraftfôr A.

Tabell 10. Effekt av kraftfôrtype på grovfôr-, kraftfôr- og totalt fôropptak, samt RMSE og P-verdi for de ulike rasjonene ved ulike tider

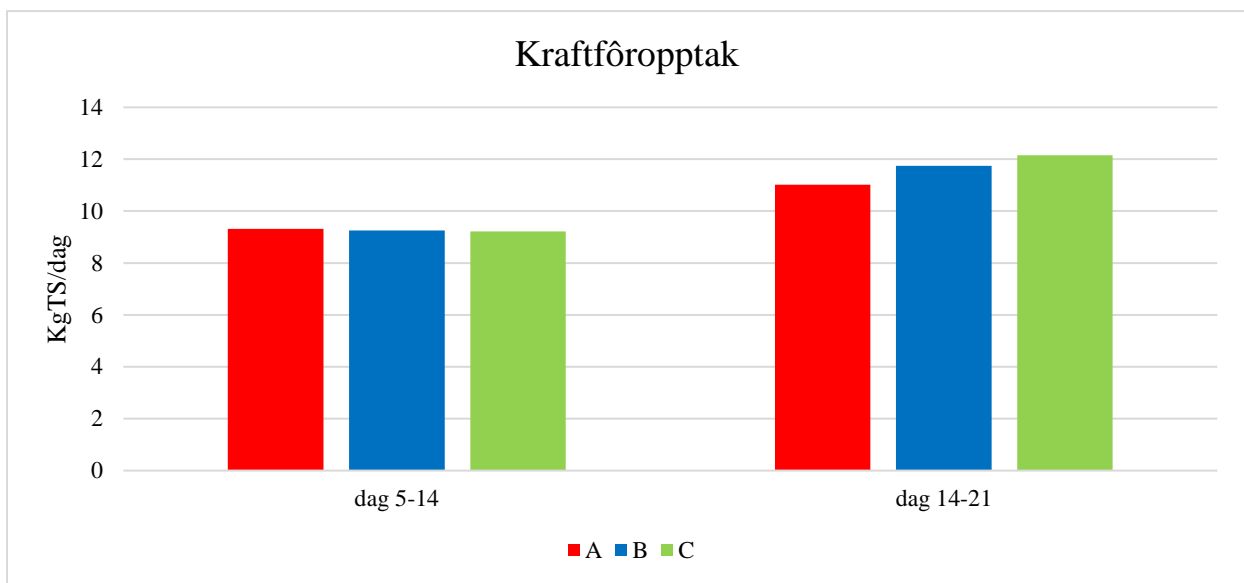
	Kraftfôr A <sup>1</sup>	Kraftfôr B <sup>1</sup>	Kraftfôr C <sup>1</sup>	RMSE <sup>2</sup>	P-verdi
	kgTS/dag				
<b>Grovfôropptak dag 5-14</b>	11,8	11,2	11,7	0,8	0,50
<b>Grovfôropptak dag 14-21</b>	11,6	10,3	10,8	0,9	0,10
<b>Kraftfôropptak dag 5-14</b>	9,3	9,2	9,2	0,7	0,83
<b>Kraftfôropptak dag 14-21</b>	11,0	11,8	12,2	0,9	0,24
<b>Totalt fôropptak dag 5-14</b>	21,1	20,5	20,9	1,2	0,73
<b>Org-stoff</b>	19,5	19,1	19,4	1,2	0,34
<b>NDF</b>	7,6	7,6	7,6	0,5	0,98
<b>Råprotein</b>	3,8	3,5	3,8	0,1	0,24
<b>Fett</b>	1,0	0,9	0,9	0,1	0,71
<b>Stivelse</b>	4,4	4,1	4,3	0,2	0,12
<b>Rest CHO</b>	2,8	2,9	2,7	0,4	0,57

1 Fôr. Kraftfôr A: Kraftfôr med alkalisk korn. Konsentrert alkalisk kornråvare med løselig nitrogen (N) i form av ammoniakk/ammoniumsalter. Kraftfôr B: Positiv kontroll. Kommersielt kraftfôr til høytstående mjølkekyr med høy andel importerte råvarer. Kraftfôr C: Negativ kontroll. Tilsvarende kraftfôr A, men bygg tilsatt urea istedenfor en alkalisk kornråvare

2. RMSE: Square root of Mean Square for error: Standardavvik.



Figur 17. Effekt av kraftfôrtype på grovfôropptak ved ulike dager i perioden.



Figur 18. Effekt av kraftfôrtype på kraftfôropptak ved ulike tider i perioden.

### 4.1.3 Total oppsamling

Total oppsamling av urin og gjødsel er vist i tabell 11. Det ble funnet numerisk forskjeller som viste større gjødsel- og urinproduksjon ved fôring av kraftfôr C, med signifikante verdier på urinproduksjon.

Tabell 11. Effekt av kraftfôrtype på gjennomsnittlig gjødsel og urinproduksjon, samt RMSE og P-verdi.

	<b>Kraftfôr A<sup>1</sup></b>	<b>Kraftfôr B<sup>1</sup></b>	<b>Kraftfôr C<sup>1</sup></b>	<b>RMSE<sup>2</sup></b>	<b>P-verdi</b>
<b>Gjødsel (kgTS/dag)</b>	5,2	5,2	5,4	5,1	0,60
<b>Urin (l/dag)</b>	30,4	30,3	31,3	2,8	0,04

1. Fôr. Kraftfôr A: Kraftfôr med alkalisk korn. Konsentrert alkalisk kornråvare med løselig nitrogen (N) i form av ammoniakk/ammoniumsalter. Kraftfôr B: Positiv kontroll. Kommersielt kraftfôr til høyttytende mjølkekyr med høy andel importerte råvarer. Kraftfôr C: Negativ kontroll. Tilsvarende kraftfôr A, men bygg tilsatt urea istedenfor en alkalisk kornråvare

1. RMSE: Square root of Mean Square for error: Standardavvik.

#### 4.1.4 Fordøyelighet

Totalfordøyeligheten av de ulike næringsstoffene ved de ulike rasjonene er presentert i tabell 12. Funnene viser numeriske forskjeller der kraftfôr A jevnt over gir høyere fordøyelighet enn de andre kraftfôrene. Unntaket er Rest CHO, der kraftfôr B har høyest fordøyelighet. Det ble derimot ikke funnet noen signifikante forskjeller.

Tabell 12. Effekt av kraftfôrtype på totalfordøyelighet av de ulike næringsstoffene, samt RMSE og P-verdi.

	<b>Kraftfôr A<sup>1</sup></b>	<b>Kraftfôr B<sup>1</sup></b>	<b>Kraftfôr C<sup>1</sup></b>	<b>RMSE<sup>2</sup></b>	<b>P-verdi</b>
	% av totalt inntak				
<b>Tørrstoff</b>	75,5	74,8	74,2	1,1	0,22
<b>Organisk stoff</b>	76,5	75,8	75,2	1,1	0,19
<b>NDF</b>	68,7	67,9	66,9	2,6	0,53
<b>Råprotein</b>	73,7	72,2	72,5	1,5	0,23
<b>Fett</b>	69,1	67,8	68,2	4,2	0,80
<b>Stivelse</b>	96,4	95,6	95,6	0,7	0,18
<b>Rest CHO</b>	72,1	76,4	72,9	2,0	0,01

1. Fôr. Kraftfôr A: Kraftfôr med alkalisk korn. Konsentrert alkalisk kornråvare med løselig nitrogen (N) i form av ammoniakk/ammoniumsalter. Kraftfôr B: Positiv kontroll. Kommersielt kraftfôr til høyttytende mjølkekyr med høy andel importerte råvarer. Kraftfôr C: Negativ kontroll. Tilsvarende kraftfôr A, men bygg tilsatt urea istedenfor en alkalisk kornråvare

2. RMSE: Square root of Mean Square for error: Standardavvik.

#### 4.1.5 pH målinger

##### *Kontinuerlige målinger*

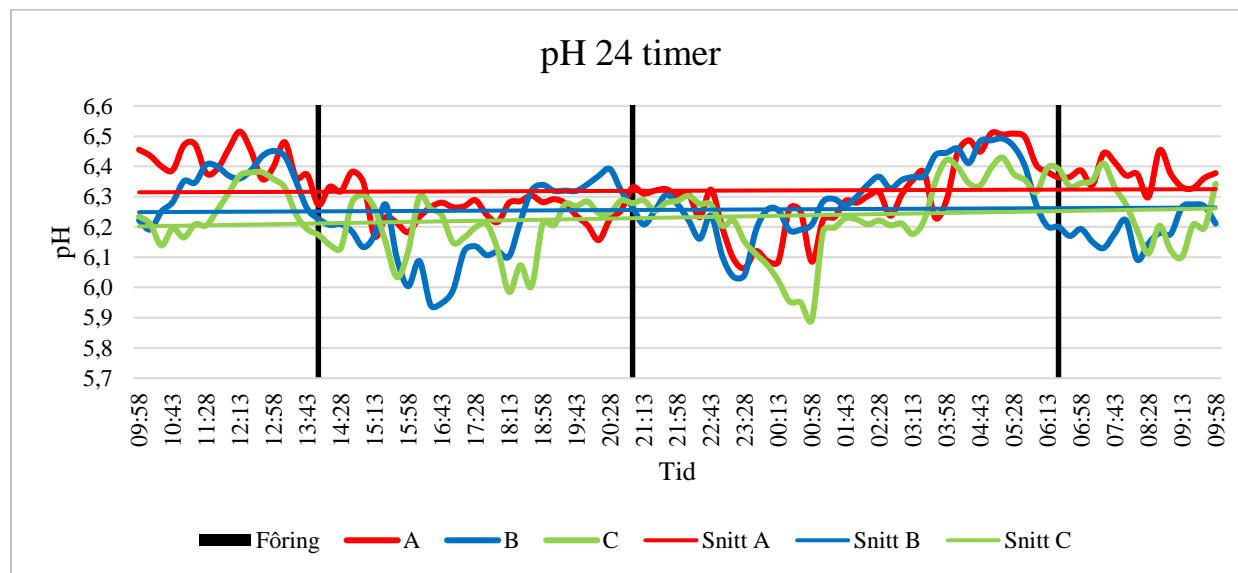
Kontinuerlige målinger av pH over 24 timer fra dag 12-13 er presentert i tabell 13, samt figur 19 (bolus) og 20 (elektrode). Utviklingen i pH er nokså lik for de ulike kraftfôrene. Ved måling med bolus, ligger kraftfôr A numerisk høyere enn kraftfôr B og C. Målingene gjort med elektrode gav numerisk høyest verdi for kraftfôr B. Det ble funnet signifikant forskjell mellom metodene brukt for å måle pH ( $P=0,02$ ).

Tabell 13. Effekt av kraftfôrtype på gjennomsnittlig pH-verdier for kontinuerlig måling med elektrode og bolus, samt RMSE og P-verdi.

	Kraftfôr A <sup>1</sup>	Kraftfôr B <sup>1</sup>	Kraftfôr C <sup>1</sup>	RMSE <sup>2</sup>	P-verdi
<b>Bolus</b>	6,33	6,24	6,22	0,11	0,26
<b>Elektrode</b>	6,09	6,13	6,02	0,14	0,39

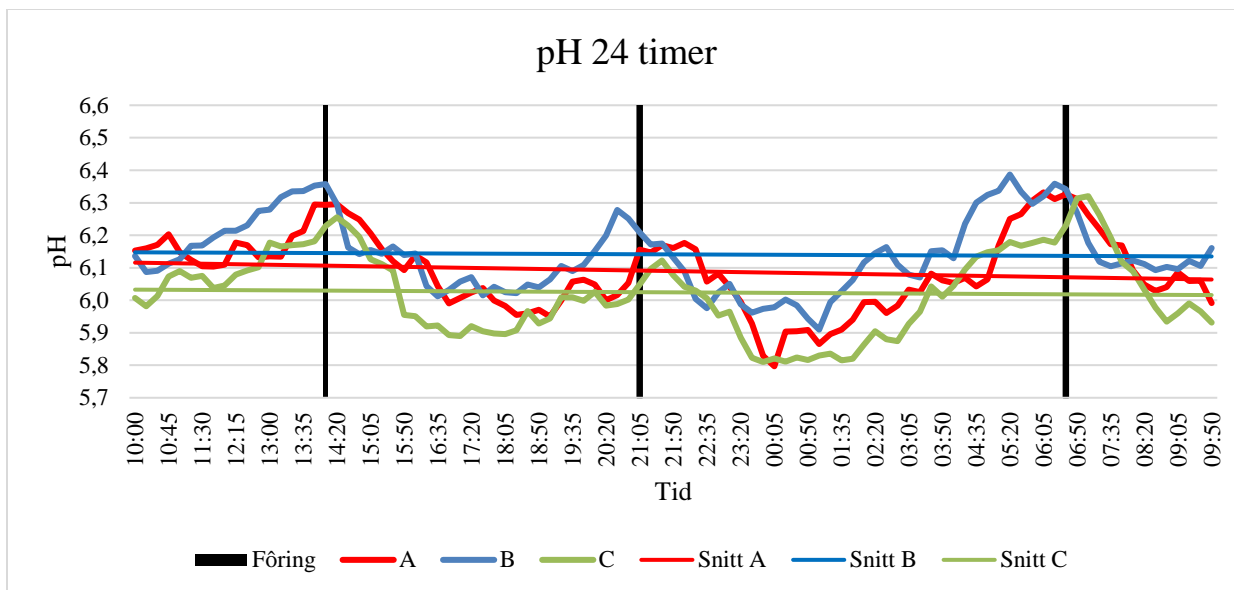
1. Fôr. Kraftfôr A: Kraftfôr med alkalisk korn. Konsentrert alkalisk kornråvare med løselig nitrogen (N) i form av ammoniakk/ammoniumsalter. Kraftfôr B: Positiv kontroll. Kommersiell kraftfôr til høyt ytende mjølkekyr med høy andel importerte råvarer. Kraftfôr C: Negativ kontroll. Tilsvarende kraftfôr A, men bygg tilsatt urea istedenfor en alkalisk kornråvare

2. RMSE: Square root of Mean Square for error: Standardavvik



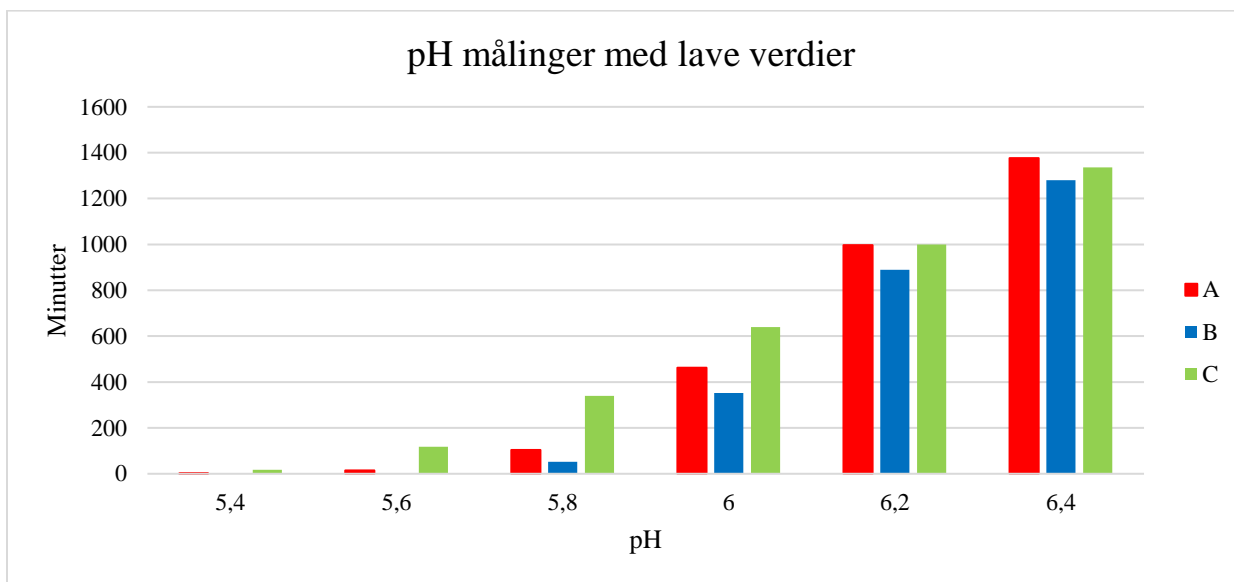
Figur 19. Effekt av kraftfôrtype på utvikling i pH over 24 timer, målt med pH- bolus





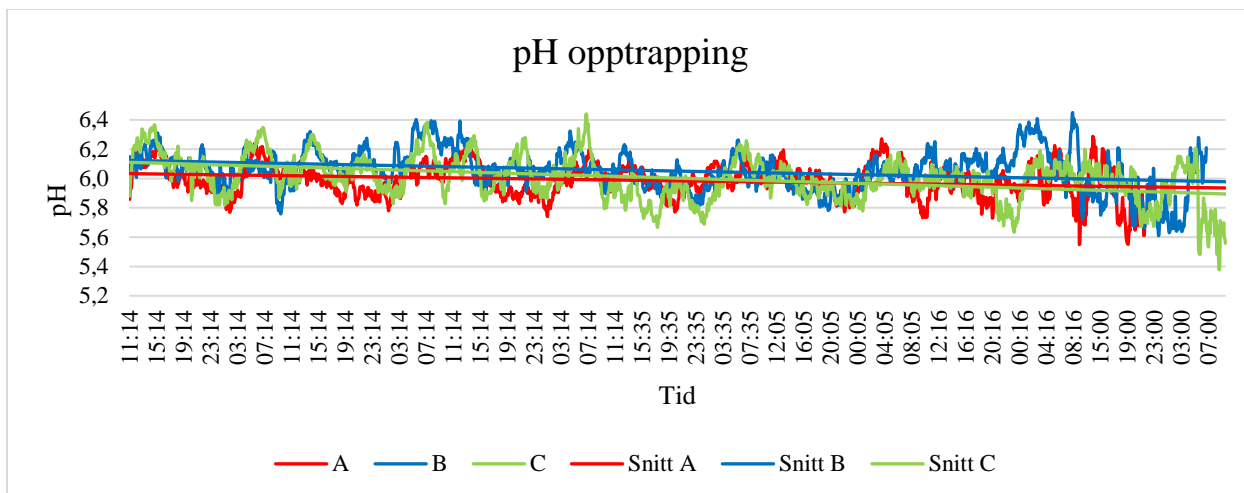
Figur 20. Effekt av kraftfôrtype på utviklingen av pH i vom over 24 timer, målt med pH- elektrode.

Rasjon C viste numerisk lengst tid ved lav pH, dette er illustrert i figur 21.



Figur 21. Effekt av kraftfôrtype på tid under gitte pH verdier.

pH-verdier for opptrappingsperioden er presentert i figur 22. Forskjellene i pH er små mellom kraftfôrene, og pH for alle tre fôrene reduseres utover perioden. Kraftfôr B og C starter høyest, men forskjellene minker mot slutten av perioden, og reduksjonen i pH er minst for kraftfôr A.



Figur 22. Effekt av kraftfôrtype på utvikling av pH i opptrappingsperioden, målt ved pH-elektrode.

### Manuelle pH målinger

Manuelle pH målinger gjort i forbindelse med uttak av vomprøver på dag 14, er presentert i tabell 14. Det var ingen signifikante funn, og små forskjeller.

Tabell 14. Effekt av kraftfôrtype på utvikling i pH, samt RMSE og P-verdi, på dag 14.

	Kraftfôr A <sup>1</sup>	Kraftfôr B <sup>1</sup>	Kraftfôr C <sup>1</sup>	RMSE <sup>2</sup>	P-verdi
<b>06:30</b>	6,39	6,44	6,39	0,16	0,92
<b>07:30</b>	6,11	6,02	6,11	0,09	0,52
<b>08:30</b>	6,04	6,12	6,16	0,17	0,70
<b>09:30</b>	6,06	6,02	6,02	0,15	0,94
<b>10:30</b>	6,06	5,92	6,17	0,16	0,28
<b>11:30</b>	6,09	6,29	6,12	0,13	0,26
<b>12:30</b>	6,03	6,02	6,22	0,29	0,65
<b>13:30</b>	6,23	6,12	6,15	0,12	0,58
<b>Snitt</b>	6,13	6,13	6,17	0,09	0,55

1. Fôr. Kraftfôr A: Kraftfôr med alkalisk korn. Konsentrert alkalisk kornråvare med løselig nitrogen (N) i form av ammoniakk/ammoniumsalter. Kraftfôr B: Positiv kontroll. Kommersielt kraftfôr til høytstående mjølkekyr med høy andel importerte råvarer. Kraftfôr C: Negativ kontroll. Tilsvarende kraftfôr A, men bygg tilsatt urea istedenfor en alkalisk kornråvare

2. RMSE: Square root of Mean Square for error: Standardavvik

#### 4.1.6 Gjæringsmønster

Snittkonsentrasjon (mmol/l) av flyktige fettsyrer og ammoniakk i registrert på dag 14 i hver periode er presentert i tabell 15. Videre er utviklingen i molarprosent av syrer og ammoniakk i vom fra 06:30 til 13:30 illustrert ved figur 23, 24, 25 og 27. Tabell 15 viser relativt likt snitt for de ulike syrene, med forskjeller der kraftfôr C gir signifikant mindre propionsyre, og tendens til mer smørsyre. I tillegg ble det funnet høyere konsentrasjon av eddiksyre og sum syrer ved kraftfôr A.

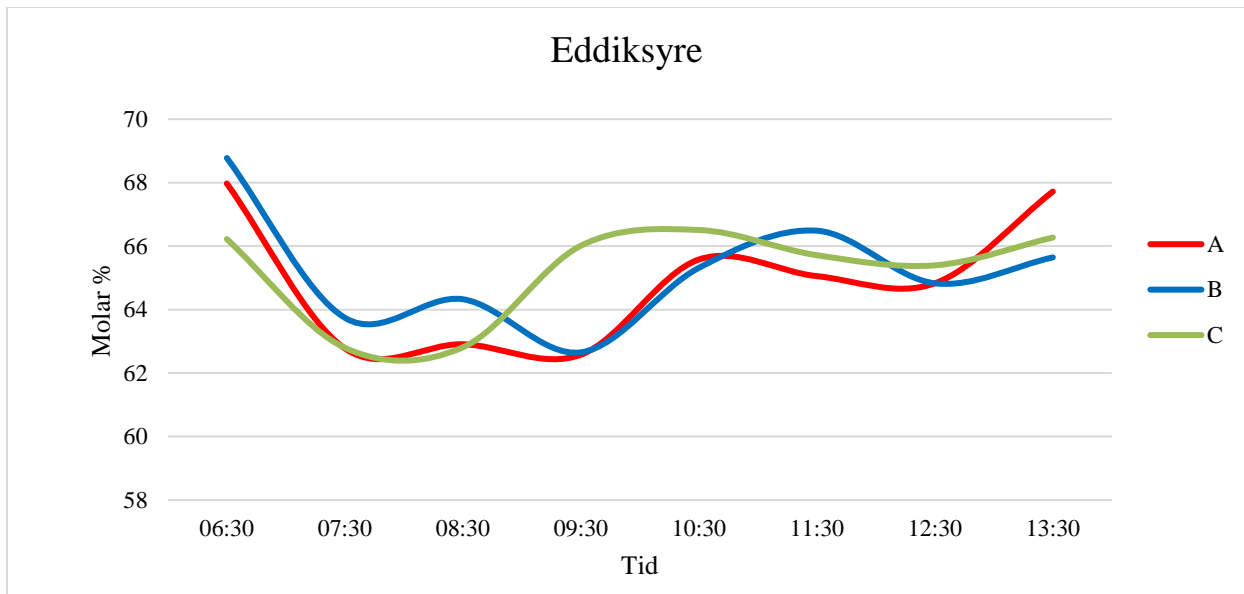
Tabell 15. Effekt av kraftfôrtype på produksjon av flyktige fettsyrer og ammoniakk, samt RMSE og P-verdi

		<b>Kraftfôr A<sup>1</sup></b>	<b>Kraftfôr B<sup>1</sup></b>	<b>Kraftfôr C<sup>1</sup></b>	<b>RMSE<sup>2</sup></b>	<b>P-verdi</b>
<b>Eddiksyre</b>		67,9	66,3	64,1	7,44	0,23
<b>Propionsyre</b>		20,9	20,6	18,4	3,36	0,03
<b>Smørsyre</b>		12,0	11,6	12,9	1,69	0,09
<b>Iso-smørsyre</b>	Mmol/l	0,7	0,7	0,7	0,26	0,57
<b>Valeriansyre</b>		1,5	1,5	1,5	0,33	0,33
<b>Iso-valeriansyre</b>		1,1	1,1	1,1	0,22	0,88
<b>Sum Syrer</b>		104,1	101,7	98,6	10,08	0,17
<b>Ammoniakk</b>		10,8	9,9	10,7	1,33	0,73

1 Fôr. Kraftfôr A: Kraftfôr med alkalisk korn. Konsentrert alkalisk kornråvare med løselig nitrogen (N) i form av ammoniakk/ammoniumsalter. Kraftfôr B: Positiv kontroll. Kommersielt kraftfôr til høytstående mjølkekyr med høy andel importerte råvarer. Kraftfôr C: Negativ kontroll. Tilsvarende kraftfôr A, men bygg tilsatt urea istedenfor en alkalisk kornråvare

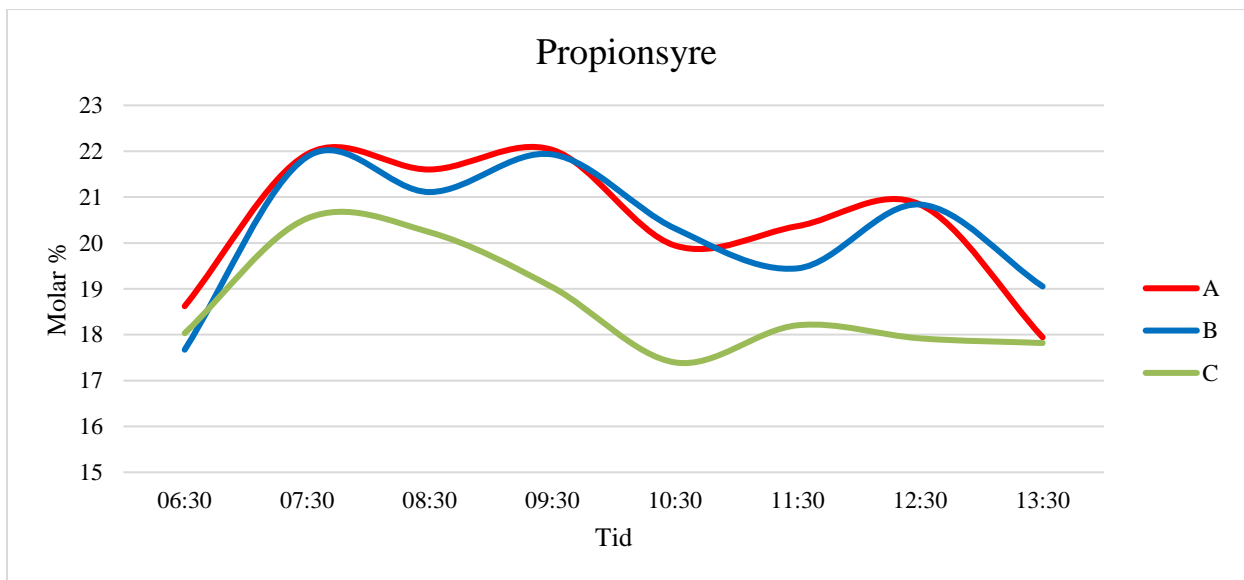
2. RMSE: Square root of Mean Square for error: Standardavvik

Figur 23 viser utviklingen av eddiksyre i vom for de ulike fôrasjonene på dag 14. De ulike rasjonene følger hovedsakelig den samme utviklingen, med ingen nevneverdige eller statistisk sikre verdier.



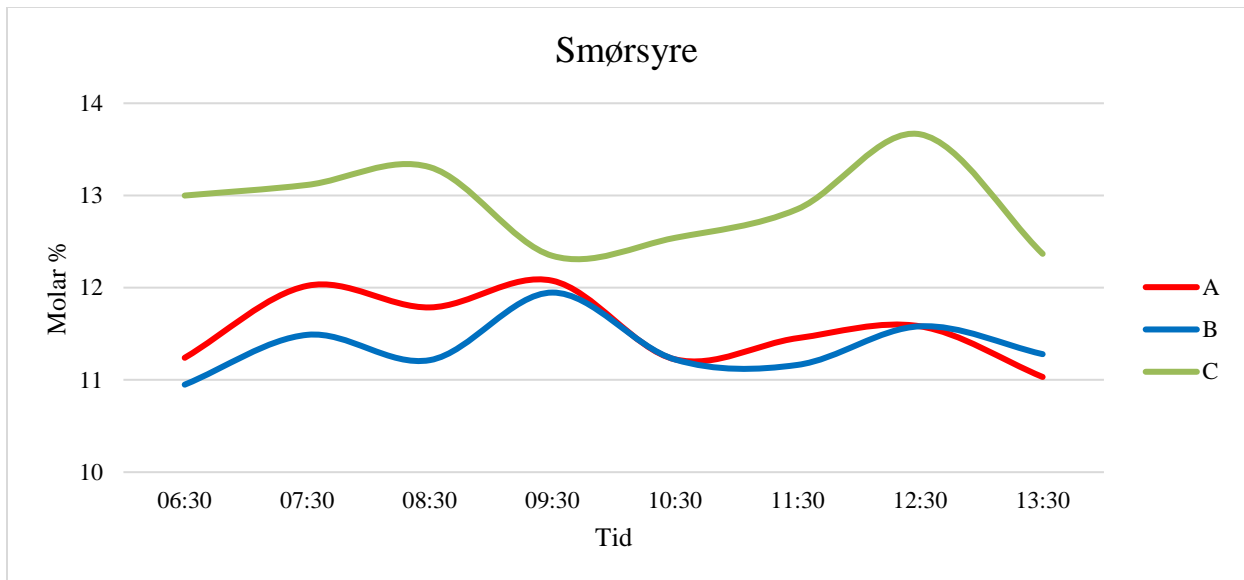
Figur 23. Effekt av kraftfôrtype på utviklingen i eddiksyrekonsentrasjon i vom på dag 14.

Utvikling i propionsyrekonsentrasjonen i vom er illustrert i figur 24, der kraftfôr A og B følger den samme utviklingen, mens kraftfôr C ligger jevnt over lavere.



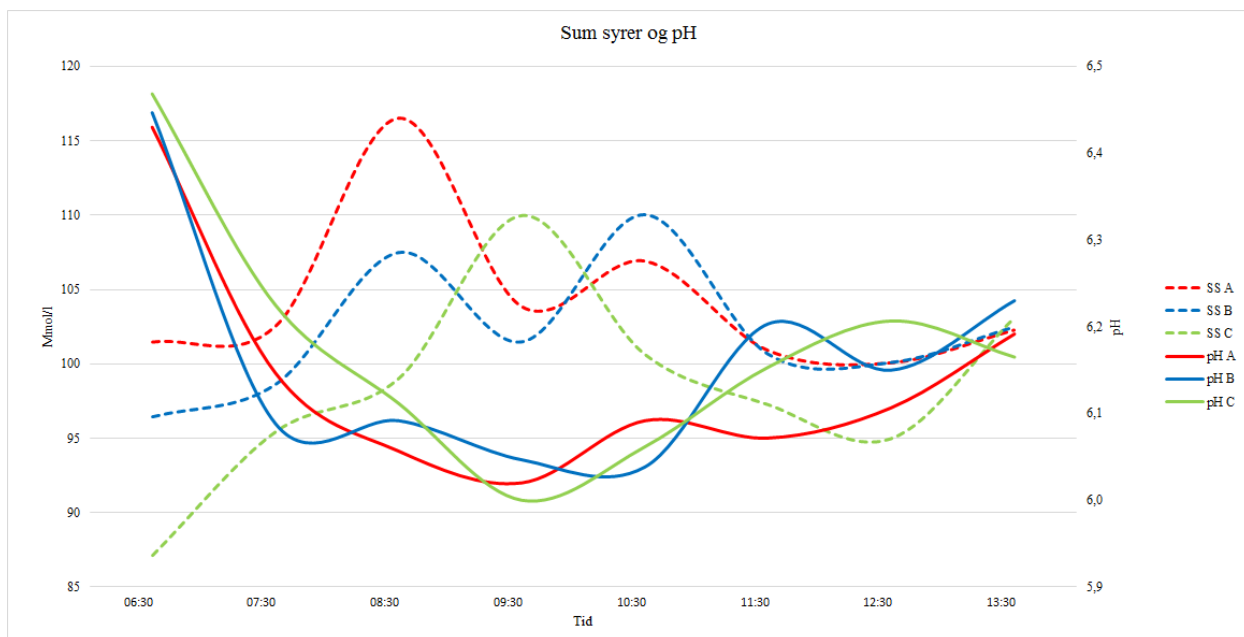
Figur 24. Effekt av kraftfôrtype på utviklingen i propionsyrekonsentrasjon i vom på dag 14.

Som vist i tabell 15, viser figur 25 at utviklingen i smørsyrekonsentrasjonen i vom er numerisk høyere ved fôring med kraftfôr C, enn for kraftfôr A og B.



Figur 25. Effekt av kraftfôrtype på utviklingen i smørsyrekonsentrasjonen i vom på dag 14.

Figur 26 viser sammenligning av pH og sumsyrer i vom for de ulike formidlene. Figuren viser en trend til at pH og sumsyrer opererer som speilbilder av hverandre.



Figur 26. Effekt av kraftfôrtype på utvikling i pH og sumsyrer ved uttak av vomprøver på dag 14.

1. SS A: Utvikling i sum syrer ved rasjon med kraftfôr av alkalisk korn. Konsentrert alkalisk kornråvare med løselig nitrogen (N) i form av ammoniakk/ammoniumsalter.
2. SS B: Utvikling i sum syrer ved rasjon av positiv kontroll. Kommersielt kraftfôr til høyt ytende mjølkekyr med høy andel importerte råvarer.

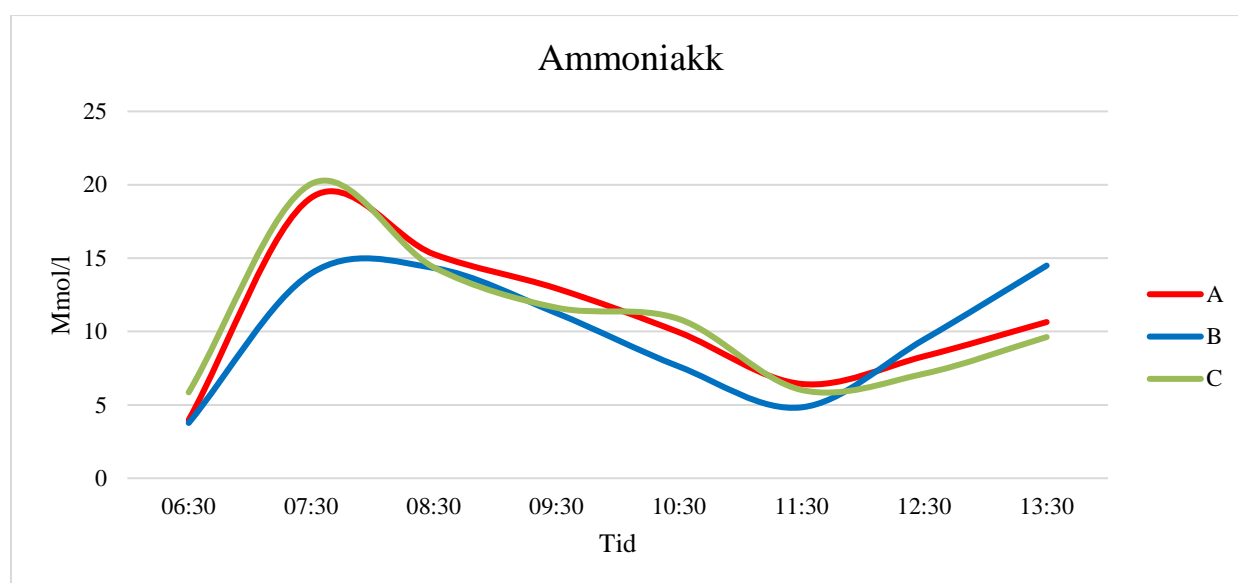
3. SS C: Utvikling i sum syrer ved rasjon av negativ kontroll. Tilsvarende kraftfôr A, men bygg tilsatt urea istedenfor en alkalisk kornråvare.

4. pH A: Utvikling i pH ved rasjon med kraftfôr av alkalisk korn. Konsentrert alkalisk kornråvare med løselig nitrogen (N) i form av ammoniakk/ammoniumsalter.

5. pH B: Utvikling i pH ved rasjon med kraftfôr av positiv kontroll. Kommersielt kraftfôr til høytstående mjølkekyr med høy andel importerte råvarer.

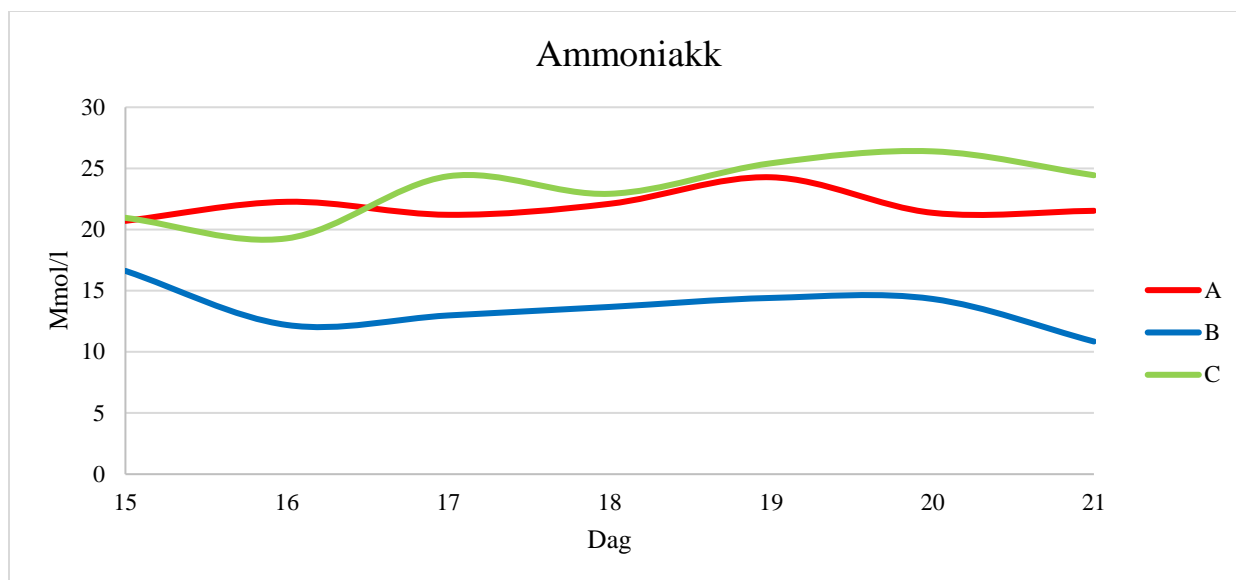
6. pH C: utvikling i pH ved rasjon med kraftfôr av negativ kontroll. Tilsvarende kraftfôr A, men bygg tilsatt urea istedenfor en alkalisk kornråvare.

Figur 27 viser ammoniakkkonsentrasjon i vom, der konsentrasjonen er noe lavere ved fôring av kraftfôr B, enn ved kraftfôr A og C. Dette vises igjen i snittverdien i tabell 15. Forskjellene er derimot ikke statistisk sikre og de tre kraftfôrene følger den samme utviklingen, med unntak av en raskere stigning for kraftfôr B, fra siste fôring kl. 11.30.



Figur 27. Effekten av kraftfôrtype på utviklingen i ammoniakkkonsentrasjonen i vom på dag 14.

Konsentrasjonen av ammoniakk i vom i opptrappingsperioden er illustrert i figur 28. Figuren viser den samme utviklingen som figur 27, der ammoniakkkonsentrasjonen er høyere ved fôring med kraftfôr A og C.



Figur 28. Effekten av kraftfôrtype på utviklingen i ammoniakkkonsentrasjonen i vom i opptrappingsperioden.

#### 4.1.7 Bestemmelse av nedbrytningsgrad med *in sacco* metoden

##### 4.1.7.1 NDF

Nedbrytningshastigheten for NDF i de ulike kraftfôrene er presentert i tabell 16. Kraftfôr A har generelt lavest nedbrytningshastighet, utenom Alkakorn 150.

Tabell 16. Effekt av kraftfôrtype på nedbrytningshastigheten av NDF for Alkakorn 150 og grovfôr med ulik fordøyelighet.

	Kraftfôr A <sup>1</sup>	Kraftfôr B <sup>1</sup>	Kraftfôr C <sup>1</sup>
	%/time		
<b>Alkakorn 150</b>	10,2	9,0	9,8
<b>Grovfôr lav fordøyelighet</b>	3,1	4,2	4,1
<b>Grovfôr høy fordøyelighet</b>	3,5	3,8	4,9

1. Fôr. Kraftfôr A: Kraftfôr med alkalisk korn. Konsentrert alkalisk kornråvare med løselig nitrogen (N) i form av ammoniakk/ammoniumsalter. Kraftfôr B: Positiv kontroll. Kommerielt kraftfôr til høyttytende mjølkekyr med høy andel importerte råvarer. Kraftfôr C: Negativ kontroll. Tilsvarende kraftfôr A, men bygg tilsatt urea istedenfor en alkalisk kornråvare

Tabell 17 viser effektiv nedbrytingsgrad og løselig del av NDF-fraksjonen i *in sacco* prøvene, ved rasjoner bestående av de ulike kraftfôrene. Effektiv nedbrytingsgrad ble funnet til å være høyest for ved fôring av kraftfôr B og C.

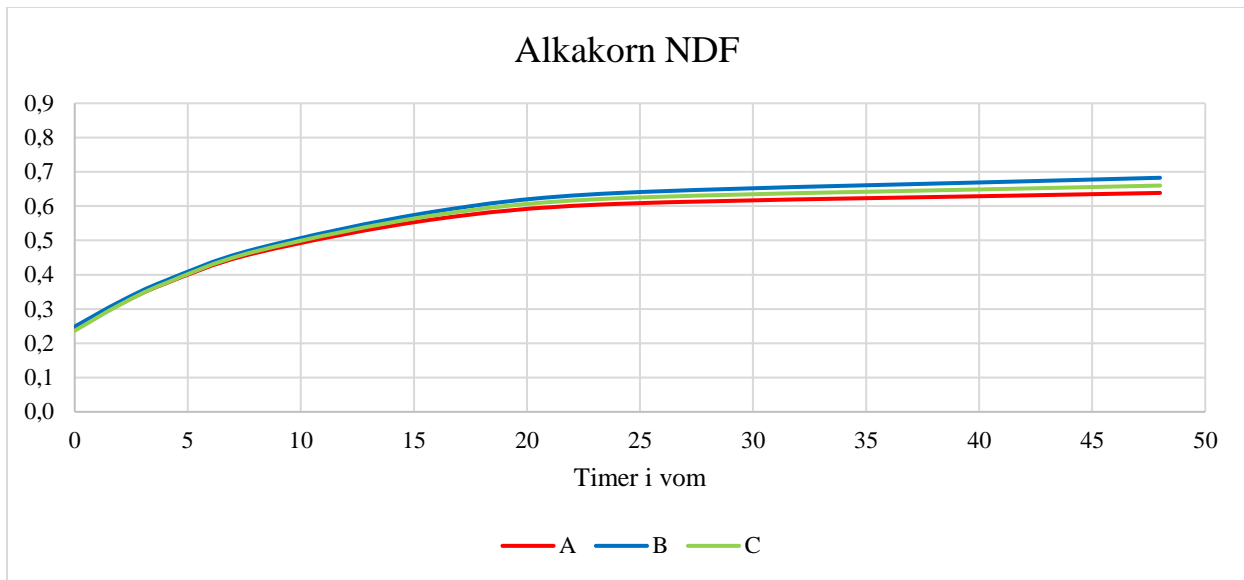
Tabell 17. Effekt av kraftfôrtype på effektiv nedbrytingsgrad, samt løselig del av NDF i Alkakorn 150 og grovfôr med ulike fordøyelighet.

	Kraftfôr A <sup>1</sup>	Kraftfôr B <sup>1</sup>	Kraftfôr C <sup>1</sup>	Løselig del
	%			
<b>Alkakorn 150</b>	56,3	57,9	55,0	23,7
<b>Grovfôr lav fordøyelighet</b>	35,7	40,8	40,6	2,9
<b>Grovfôr høy fordøyelighet</b>	44,6	48,0	50,7	5,2

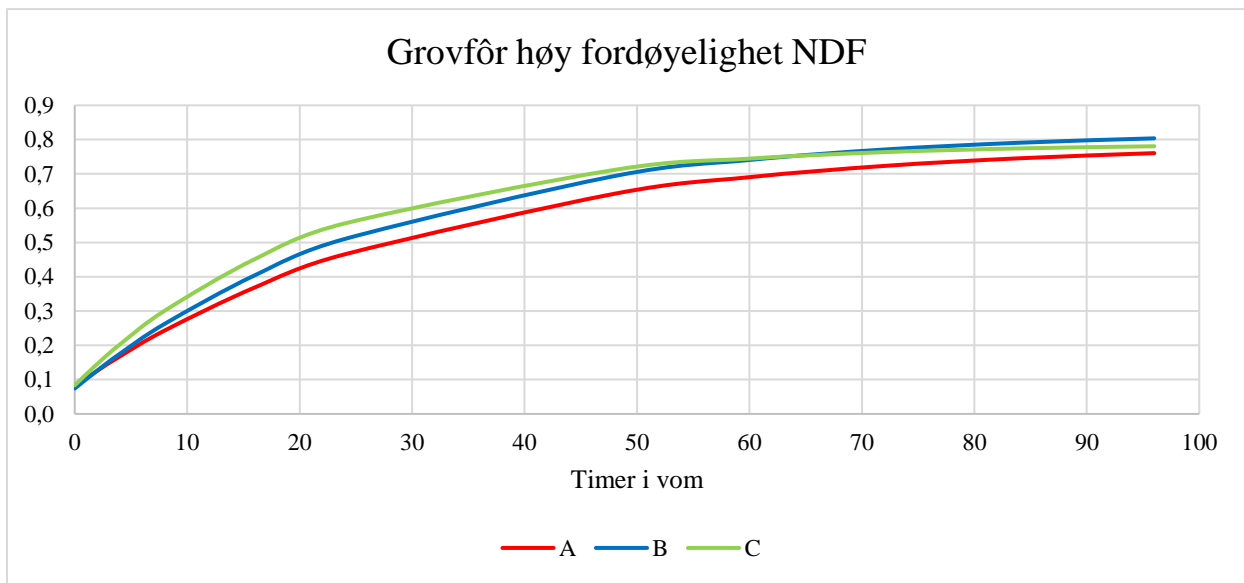
1. Fôr. Kraftfôr A: Kraftfôr med alkalisk korn. Konsentrert alkalisk kornråvare med løselig nitrogen (N) i form av ammoniakk/ammoniumsalter. Kraftfôr B: Positiv kontroll. Kommersielt kraftfôr til høyttytende mjølkekyr med høy andel importerte råvarer. Kraftfôr C: Negativ kontroll. Tilsvarende kraftfôr A, men bygg tilsatt urea istedenfor en alkalisk kornråvare

Nedbrytingskurver for nedbrytingen av NDF i *in sacco* prøvene, er vist i figur 29, 30 og 31. Ved grovfôr med høy fordøyelighet ble det funnet tendenser ( $P=0,10$ ) til høyere andel nedbrutt NDF etter 96 timer ved fôring med kraftfôr B. Grovfôr med lav fordøyelighet hadde numerisk høyest andel nedbrutt NDF ved fôring med kraftfôr B og C.

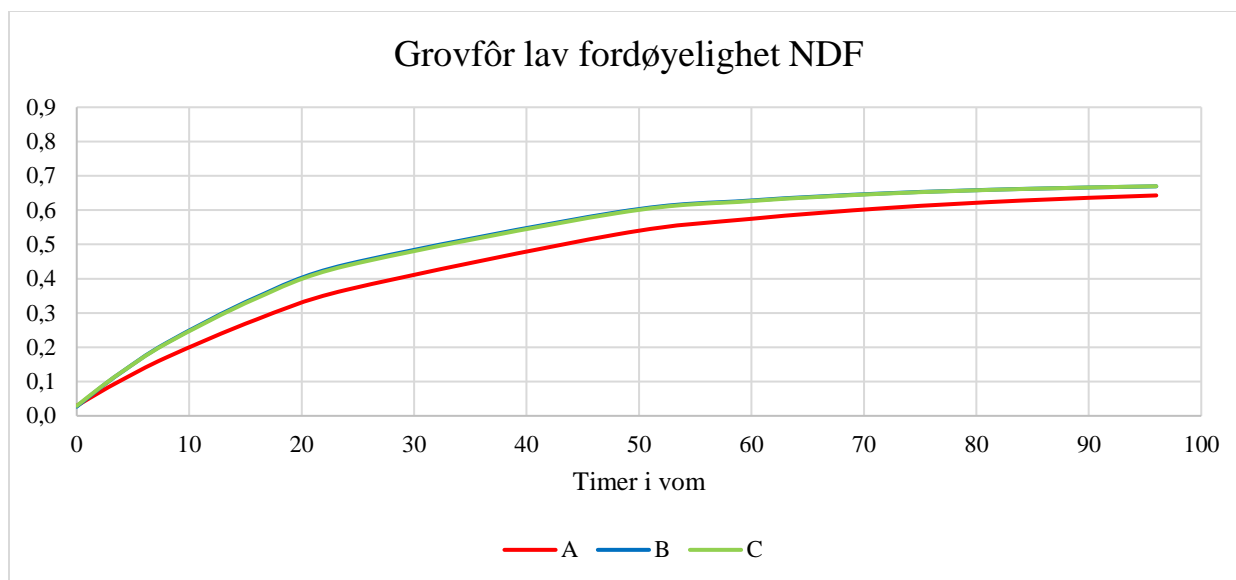




Figur 29. Effekt av kraftfôrtype på nedbrytingskurve for NDF i Alkakorn 150.



Figur 30. Effekt av kraftfôrtype på nedbrytingskurve for NDF i grovfôr med høy fordøyelighet.



Figur 31. Effekt av kraftfôrtype på nedbrytingskurve for NDF i grovfôr med lav fordøyelighet.

#### 4.1.7.2 Protein

Nedbrytnings hastigheten for protein i de ulike kraftfôrene er presentert i tabell 18. Resultatene varierer mellom de ulike *in sacco* prøvene, der ingen av kraftfôrene er bedre enn de andre.

Tabell 18. Effekt av kraftfôrtype på nedbrytnings hastigheten av protein for Alkakorn 150 og grovfôr med ulik fordøyelighet.

	Kraftfôr A <sup>1</sup>	Kraftfôr B <sup>1</sup>	Kraftfôr C <sup>1</sup>
	%/time		
<b>Alkakorn 150</b>	14,1	17,0	16,0
<b>Grovfôr lav fordøyelighet</b>	53,4	64,0	49,4
<b>Grovfôr høy fordøyelighet</b>	44,1	41,6	2,6

1. Fôr. Kraftfôr A: Kraftfôr med alkalisk korn. Konsentrert alkalisk kornråvare med løselig nitrogen (N) i form av ammoniakk/ammoniumsalter. Kraftfôr B: Positiv kontroll. Kommersiell kraftfôr til høyttytende mjølkekyr med høy andel importerte råvarer. Kraftfôr C: Negativ kontroll. Tilsvarende kraftfôr A, men bygg tilsatt urea istedenfor en alkalisk kornråvare

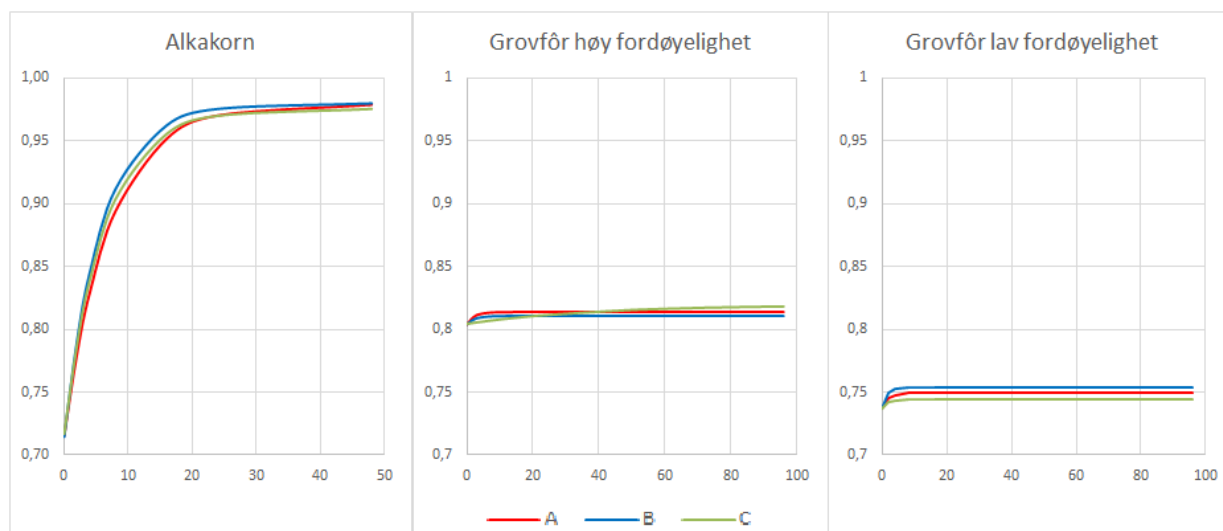
Tabell 19 viser effektiv nedbrytingsgrad av proteinfraksjonen i *in sacco* prøvene, ved rasjoner bestående av de ulike kraftfôrene. Forskjellene mellom de ulike kraftfôrene er små.

Tabell 19. Effekt av kraftfôrtype på effektiv nedbrytingsgrad, samt løselig del av protein i Alkakorn 150 og grovfôr med ulike fordøyelighet.

	Kraftfôr A <sup>1</sup>	Kraftfôr B <sup>1</sup>	Kraftfôr C <sup>1</sup>	Løselig del
	%			
<b>Alkakorn 150</b>	88,4	89,5	88,9	71,4
<b>Grovfôr lav fordøyelighet</b>	74,8	75,2	74,3	73,7
<b>Grovfôr høy fordøyelighet</b>	81,2	81,0	80,8	80,4

1. Fôr. Kraftfôr A: Kraftfôr med alkalisk korn. Konsentrert alkalisk kornråvare med løselig nitrogen (N) i form av ammoniakk/ammoniumsalter. Kraftfôr B: Positiv kontroll. Kommersielt kraftfôr til høyt ytende mjølkekyr med høy andel importerte råvarer. Kraftfôr C: Negativ kontroll. Tilsvarende kraftfôr A, men bygg tilsatt urea istedenfor en alkalisk kornråvare.

Nedbrytingskurver for nedbrytingen av protein i *in sacco* prøvene, er vist i figur 33.



Figur 32. Effekt av kraftfôrtype på nedbrytingskurver for protein i Alkakorn 150 og grovfôr med ulik fordøyelighet.

### 4.1.7.3 Stivelse

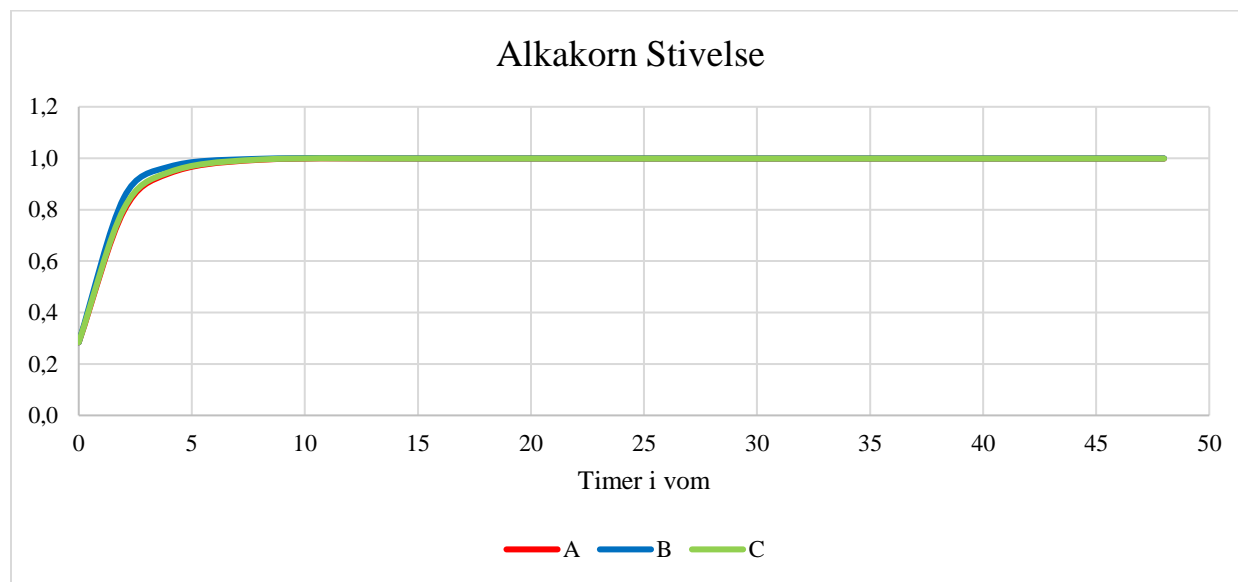
Tabell 20 viser effektiv nedbrytningshastighet og nedbrytningsgrad av stivelsefraksjonen i *in sacco* prøvene, ved rasjoner bestående av de ulike kraftfôrene. Forskjellene mellom de ulike kraftfôrene er små.

Tabell 20. Effekt av kraftfôrtype på nedbrytningshastigheten av stivelse for Alkakorn 150, ved fôring av de ulike rasjonene.

	Kraftfôr A <sup>1</sup>	Kraftfôr B <sup>1</sup>	Kraftfôr C <sup>1</sup>	Løselig del
Nedbrytningshastighet (%/time)	63,1	77,4	65,1	-
Effektiv nedbrytningsgrad (%)	91,8	93,2	92,1	28,4

1. Fôr. Kraftfôr A: Kraftfôr med alkalisk korn. Konsentrert alkalisk kornråvare med løselig nitrogen (N) i form av ammoniakk/ammoniumsalter. Kraftfôr B: Positiv kontroll. Kommersiell kraftfôr til høyt ytende mjølkekyr med høy andel importerte råvarer. Kraftfôr C: Negativ kontroll. Tilsvarende kraftfôr A, men bygg tilsatt urea istedenfor en alkalisk kornråvare.

Nedbrytningskurver for nedbrytingen av stivelse i *in sacco* prøvene, er vist i figur 33.



Figur 33. Effekt av kraftfôrtype på nedbrytningskurver for stivelse i Alkakorn 150.

#### 4.1.8 Mjølkeanalyser

Mjølkeanalyser gjennomført på dag 12-14 i samtlige perioder, er presentert i tabell 21. Tabellen viser signifikant høyere EKM og fettproduksjon ved fôring med kraftfôr B ( $P \leq 0,05$ ), og tendenser ( $P \leq 0,1$ ) til forskjeller mellom de ulike kraftfôrene for laktose, celletall og verdistoff i mjølk.

Tabell 21. Effekt av kraftfôrtype på sammensetningen i mjølk, mjølkemengde og EKM, samt RMSE og P-verdi.

	Kraftfôr A <sup>1</sup>	Kraftfôr B <sup>1</sup>	Kraftfôr C <sup>1</sup>	RMSE <sup>2</sup>	P-verdi
<b>Mjølk (l)</b>	31,7	32,9	32,2	1,9	0,53
<b>EKM (l)</b>	30,0	32,3	31,2	1,4	0,05
<b>Fett (%)</b>	3,7	3,9	3,8	0,3	0,49
<b>Protein (%)</b>	3,2	3,2	3,3	0,1	0,34
<b>Laktose (%)</b>	4,6	4,6	4,6	0,1	0,10
<b>Celletall (1000/ml)</b>	238	283	202	53	0,07
<b>Urea</b>	4,6	4,3	4,8	0,5	0,23
<b>FFA</b>	0,17	0,14	0,12	0,04	0,26
<b>Fettproduksjon (g/dag)</b>	1164	1278	1221	49	0,01
<b>Proteinproduksjon (g/dag)</b>	1013	1080	1059	81	0,39
<b>Laktoseproduksjon (g/dag)</b>	1451	1532	1486	93	0,36
<b>Verdistoff i mjølk (%)<sup>3</sup></b>	11,5	11,8	11,7	0,24	0,10

1. Fôr. Kraftfôr A: Kraftfôr med alkalisk korn. Konsentrert alkalisk kornråvare med løselig nitrogen (N) i form av ammoniakk/ammoniumsalter. Kraftfôr B: Positiv kontroll. Kommersielt kraftfôr til høyttytende mjølkekyr med høy andel importerte råvarer. Kraftfôr C: Negativ kontroll. Tilsvarende kraftfôr A, men bygg tilsatt urea istedenfor en alkalisk kornråvare

2. RMSE: Square root of Mean Square for error: Standardavvik.

3. Verdistoff i mjølk, sum av laktose, protein og fett.

Fettsyresammensetning fra samleprøver ved fôring av de ulike fôrrasjonene, er presentert i tabell 22. Tabellen viser ingen tydelige forskjeller mellom de ulike rasjonene. Statistisk analyse er ikke brukt her fordi datasettet bare inneholder en verdi for hver variabel, og kun kraftfôr som effekt.

Tabell 22. Effekt av kraftfôrtype på fettsyresammensetning i mjølk.

	<b>Kraftfôr A<sup>1</sup></b>	<b>Kraftfôr B<sup>1</sup></b>	<b>Kraftfôr C<sup>1</sup></b>
	% av fett		
<b>C4:0</b>	4,4	4,5	4,5
<b>C6:0</b>	2,8	2,8	2,9
<b>C8:0</b>	1,7	1,7	1,7
<b>C10:0</b>	3,8	3,7	3,9
<b>C12:0</b>	4,2	4,2	4,2
<b>C14:0</b>	12,4	12,3	12,7
<b>C14:1c9</b>	1,3	1,2	1,2
<b>C15:0</b>	1,0	1,0	1,0
<b>C16:0</b>	29,4	29,1	29,2
<b>C16:1c9</b>	1,1	1,2	1,0
<b>C17:0</b>	0,56	0,60	0,59
<b>C18:0</b>	10,4	10,2	10,6
<b>C18:1c9</b>	18,1	18,6	17,8
<b>C18:2c9t11 (CLA)</b>	0,31	0,38	0,31
<b>Metta fettsyrer</b>	70,9	70,1	71,5
<b>MUFA</b>	21,23	21,84	20,83
<b>PUFA</b>	3,11	3,21	3,06
<b>Korte fettsyrer</b>	46,4	45,9	46,8
<b>Lange fettsyrer</b>	48,87	49,29	48,53

1. Fôr. Kraftfôr A: Kraftfôr med alkalisk korn. Konsentrert alkalisk kornråvare med løselig nitrogen (N) i form av ammoniakk/ammoniumsalter. Kraftfôr B: Positiv kontroll. Kommersielt kraftfôr til høyttytende mjølkekyr med høy andel importerte råvarer. Kraftfôr C: Negativ kontroll. Tilsvarende kraftfôr A, men bygg tilsatt urea istedenfor en alkalisk kornråvare

#### 4.1.9 Nitrogenbalanse

Nitrogenbalansen presentert i tabell 23 viser høyere gjenfinningsgrad av nitrogen i kraftfôr B. Det ble funnet statistisk signifikante verdier for gjenfunnet urin og mjølk (*P-verdi*: 0,03 og 0,02). Kraftfôr B har lik mengde nitrogen gjenfunnet i mjølk og urin, mot kraftfôr A og C som har høyere nitrogenandel gjenfunnet i urin. Der kraftfôr A igjen har noe større andel nitrogen i urin.

Tabell 23. Effekt av kraftfôrtype på nitrogen i fôr, gjødsel, urin, mjølk og total mengde gjenfunnet nitrogen, samt RMSE og *P*-verdi.

		Kraftfôr A <sup>1</sup>	Kraftfôr B <sup>1</sup>	Kraftfôr C <sup>1</sup>	RMSE <sup>2</sup>	<i>P</i> -verdi
<b>Nitrogen (g/dag)</b>	Fôr	602,6	568,8	602,6	36,6	0,24
	Gjødsel	159,5	158,0	166,0	14,9	0,62
	Urin	198,4	170,1	194,1	12,5	0,01
	Mjølk	163,0	173,3	170,5	12,7	0,39
<b>Gjenfunnet nitrogen (g/dag)</b>		520,9	501,3	530,6	32,4	0,33
<b>Utskilt nitrogen (% av gjenfunnet)</b>	Gjødsel	30,6	31,6	31,3	1,4	0,48
	Urin	38,0	33,8	36,2	2,1	0,03
	Mjølk	31,4	34,6	32,5	1,5	0,02
<b>Utskilt nitrogen (% av fôr)</b>	Gjødsel	26,4	27,8	27,5	1,6	0,30
	Urin	32,8	29,8	31,9	1,7	0,03
	Mjølk	27,1	30,5	28,5	1,4	0,01
<b>Gjenfunnet nitrogen (%)</b>		85,6	87,4	87,2	2,0	0,28

1. Fôr. Kraftfôr A: Kraftfôr med alkalisk korn. Konsentrert alkalisk kornråvare med løselig nitrogen (N) i form av ammoniakk/ammoniumsalter. Kraftfôr B: Positiv kontroll. Kommersielt kraftfôr til høytstående mjølkekyr med høy andel importerte råvarer. Kraftfôr C: Negativ kontroll. Tilsvarende kraftfôr A, men bygg tilsatt urea istedenfor en alkalisk kornråvare.

2. RMSE: Square root of Mean Square for error: Standardavvik.

#### 4.1.10 AAT, PBV og FEm

AAT og PBV-verdi beregnet ut fra det gamle AAT/PBV systemet, samt FEm verdien for de ulike rasjonene er presentert i tabell 24. Tabellen viser numeriske forskjeller mellom rasjonene, der rasjon A og C har numerisk høyere verdier. Forskjellen mellom FEm var liten og ikke signifikant.

Tabell 24. Effekt av kraftfôrtype på AAT, PBV og FEm verdi, samt RMSE og P-verdi.

	<b>Kraftfôr A<sup>1</sup></b>	<b>Kraftfôr B<sup>1</sup></b>	<b>Kraftfôr C<sup>1</sup></b>	<b>RMSE<sup>2</sup></b>	<b>P-verdi</b>
<b>AAT (g/kgTS)</b>	92,01	90,97	91,41	2,07	0,69
<b>PBV (g/kgTS)</b>	24,23	20,85	26,30	3,32	0,06
<b>FEm</b>	0,94	0,92	0,92	0,02	0,18

1. Fôr. Kraftfôr A: Kraftfôr med alkalisk korn. Konsentrert alkalisk kornråvare med løselig nitrogen (N) i form av ammoniakk/ammoniumsalter. Kraftfôr B: Positiv kontroll. Kommersielt kraftfôr til høyttytende mjølkekyr med høy andel importerte råvarer. Kraftfôr C: Negativ kontroll. Tilsvarende kraftfôr A, men bygg tilsatt urea istedenfor en alkalisk kornråvare

2. RMSE: Square root of Mean Square for error: Standardavvik.



## 4.2 Forsøk 2: *In sacco* forsøk på standardkyr

### 4.2.1 Bestemmelse av nedbrytingsgrad med *in sacco* metoden

#### 4.2.1.1 NDF

Tabell 25 viser nedbrytningshastighet, samt prosentandelen av de ulike NDF-fraksjonene i Alkakorn 150 og bygg Home n' Dry®. Det ble funnet at Alkakorn 150 har en høyere andel fordøyelig NDF etter 96 timer ( $P=0,01$ ).

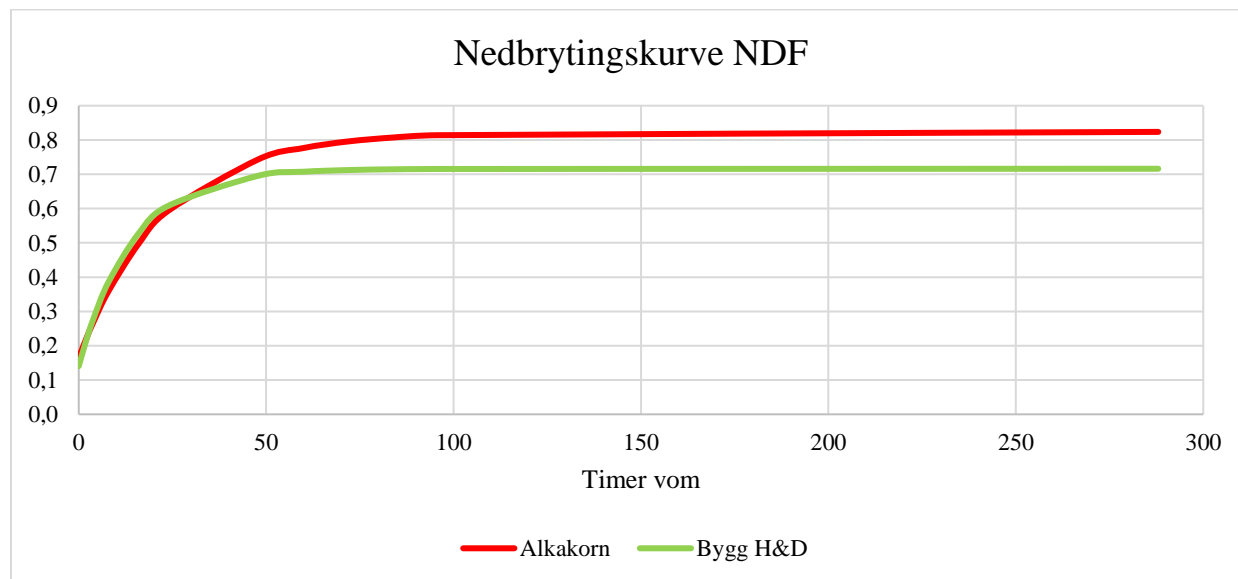
Tabell 25. Nedbrytningshastighet, effektiv nedbrytningsgrad, løselig del og uløselig del målt ved Excel solver og *In sacco* verdier (iNDF) av NDF, for Alkakorn 150 og ubehandlet bygg Home n' Dry®

		Alkakorn 150 <sup>1</sup>	Bygg Home n'Dry® <sup>2</sup>
<b>Nedbrytningshastighet</b>	%/time	4,8	8,9
<b>Effektiv nedbrytningsgrad</b>		55,5	53,4
<b>Potensielt nedbrytbart</b>		80,0	67,1
<b>Løselig del</b>	%	16,0	12,5
<b>iNDF målt ved <i>in sacco</i></b>		16,2	22,8
<b>iNDF målt ved Excel solver</b>		20,0	32,9

1. Alkakorn 150: konsentrert alkalisk kornråvare, Alkakorn 150: Bygg behandlet med Home n'Dry®, lagret 3 uker under plast.

2. Bygg Home n'Dry: Bygg behandlet med Home n'Dry, uten lagring under plast.

Nedbrytningskurve for NDF i Alkakorn 150 og bygg Home n' Dry®, er vist i figur 34. Etter 96 timer hadde Alkakorn 150 statistisk høyere andel fordøyd i vom ( $P=0,01$ ).



Figur 34. Nedbrytningskurve for NDF i Alkakorn 150 og bygg Home n' Dry®.

#### 4.2.1.2 Protein

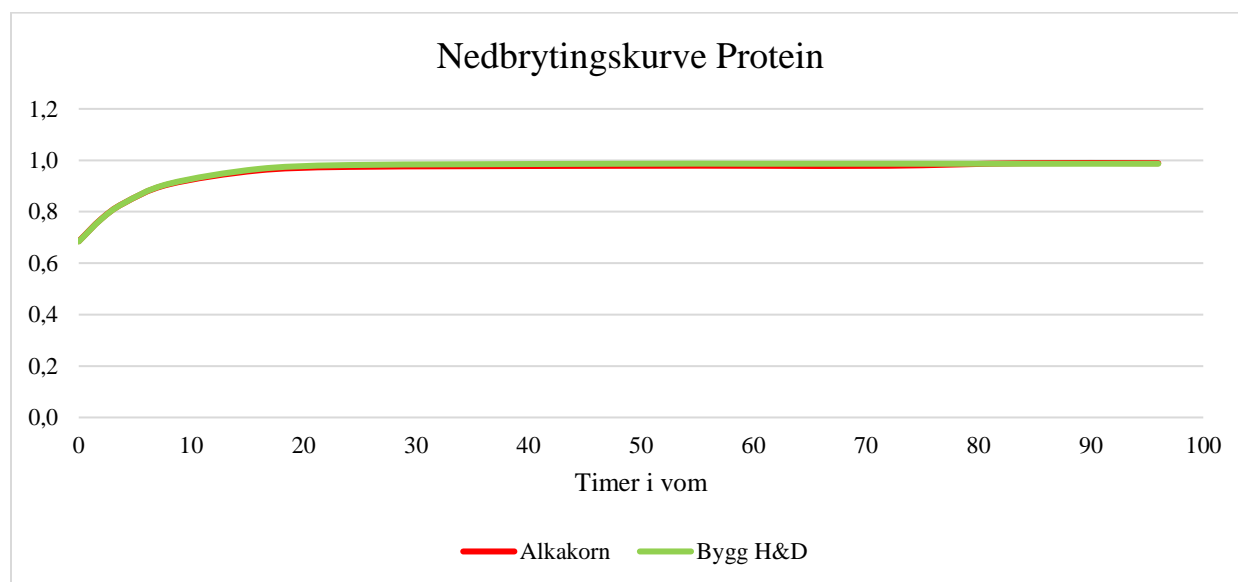
Tabell 26 viser nedbrytningshastighet, samt prosentandelen av de ulike proteinfraksjonene i Alkakorn 150 og bygg Home n' Dry®. Det er små forskjeller mellom de to fôrene.

Tabell 26. Nedbrytningshastighet, effektiv nedbrytningsgrad og løselig del av protein, for Alkakorn 150 og ubehandlet bygg Home n' Dry®

	Nedbrytningshastighet	Effektiv nedbrytningsgrad	Løselig del
	%/time	%	
<b>Alkakorn 150<sup>1</sup></b>	17,5	88,7	68,5
<b>Bygg Home n' Dry®<sup>2</sup></b>	16,9	89,0	68,4

<sup>1</sup> Alkakorn 150: konsentrert alkalisk kornråvare, Alkakorn 150: Bygg behandlet med Home n'Dry®, lagret 3 uker under plast  
<sup>2</sup> Bygg Home n'Dry: Bygg behandlet med Home n'Dry, uten lagring under plast

Nedbrytningskurve for protein i Alkakorn 150 og bygg Home n' Dry®, er vist i figur 35.



Figur 35. Nedbrytningskurve for proteininnholdet i ® og bygg Home n' Dry®

### 4.2.1.3 Stivelse

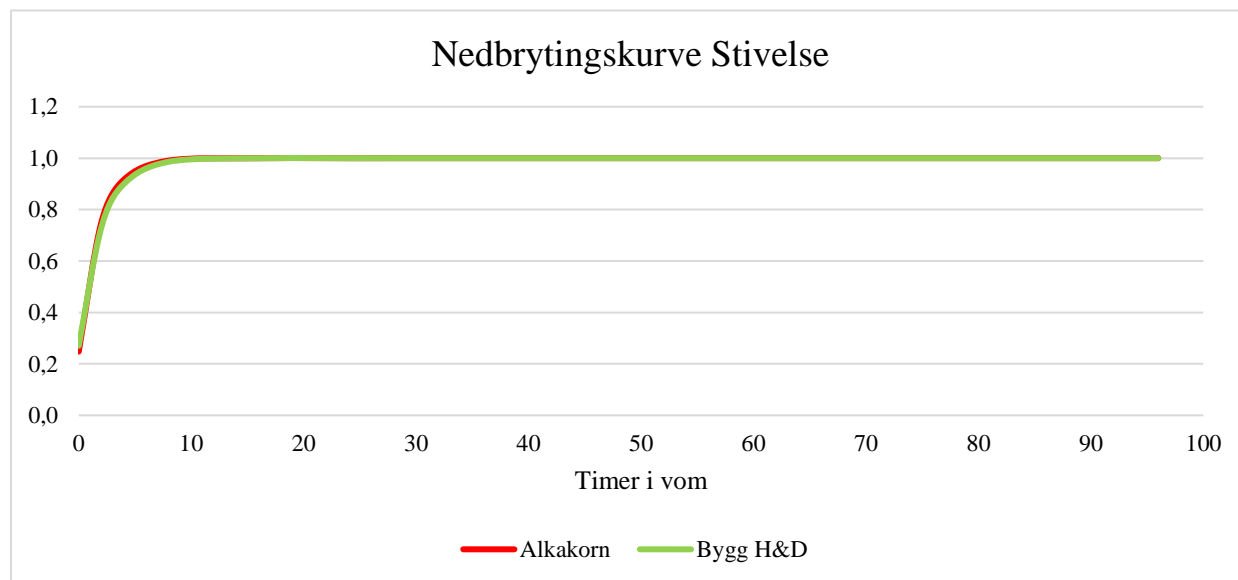
Tabell 27 viser nedbrytningshastighet, samt prosentandelen av de ulike stivelsefraksjonene i Alkakorn 150 og bygg Home n' Dry®. Det er små forskjeller mellom de to fôrene, men noe større løselig del i bygg Home n' Dry®.

Tabell 27. Nedbrytningshastighet, effektiv nedbrytningsgrad og løselig del av stivelse, for Alkakorn 150 og ubehandlet bygg Home n' Dry®

	Nedbrytningshastighet	Effektiv nedbrytningsgrad	Løselig del
	%/time	%	
<b>Alkakorn 150</b>	54,8	90,4	24,8
<b>Bygg Home n' Dry®</b>	49,5	89,8	27,0

1 Alkakorn 150: konsentrert alkalisk kornråvare, Alkakorn 150: Bygg behandlet med Home n'Dry®, lagret 3 uker under plast  
2. Bygg Home n'Dry: Bygg behandlet med Home n'Dry, uten lagring under plast

Nedbrytningskurve for stivelse i Alkakorn 150 og bygg Home n' Dry®, er vist i figur 36.



Figur 36. Nedbrytningskurve for stivelseinnholdet i Alkakorn 150 og bygg Home n' Dry®

## 5 Diskusjon

I forsøket var det noen utfordringer knyttet til analyse av næringsinnholdet fôr og gjødsel. Det var spesielt problemer med analysenøyaktigheten ved laboratoriet for stivelse i periode 1. For næringsinnholdet i kraftfôret i periode 1 ble det derfor benyttet snittverdier av næringsinnholdet i kraftfôret i periode 2 og 3.

Registreringer av tørrstoffopptak viste at økende kraftfôrmengder i rasjonen ikke overraskende var en utfordring for enkelte kyr, som resulterte i redusert fôropptak mot slutten av opptrappingsperioden. Dette gjaldt spesielt ku nummer 5729 i periode 3, som ble tatt ut av forsøket fra dag 15, ved fôring av kraftfôr C. Periode 1 og 2 ble fullført med lave kraftfôrmengder. Følgelig er det eventuelle lave kraftfôropptaket ku nummer 5729 ville hatt i periode 3 ikke tatt med, og kraftfôropptaket i opptrappingsperioden for kraftfôr C kan derfor være noe overvurdert.

Kontinuerlig måling av pH utført med pH-bolus er noe usikker på grunn av noen manglende registreringer. pH observasjoner (<5 eller >8) ble fjernet fra datasettet for å unngå feil. Feilmålinger eller manglende registreringer gjaldt spesielt ku nummer 5729 og 5979 i periode 1, og ku nummer 5851 i periode 3, alle under fôring av kraftfôr A. I tillegg ble det ikke registrert målinger fra ku nummer 5921 i tredje periode på kraftfôr C. Utenom dette var det lite feilregistreringer som måtte tas hensyn til. Måling med elektrode blir i dette forsøket sett på som en mer pålitelig metode for måling av kontinuerlig pH i vom.

Registreringen av mjølkeanalyser er basert på få observasjoner og korte perioder i tillegg til ulikt laktasjonsnummer og laktasjonsstadium. Forsøksdyrene ble også påvirket av forsøket gjennom de hyppige fôrskiftene og bruk av måleinstrument som pH-elektrode. Det er viktig å understreke at dette forsøket ikke var et produksjonsforsøk, men et forsøk på kyr i laktasjon med fokus på vomfysiologiske parametere. Det ble vurdert om ku nummer 5928, som viste reduserende ytelse gjennom forsøket (fra 30 l/dag til 21 l/dag) ikke tålte forsøket og ville gi redusert ytelse uavhengig av rasjon. Datamaterialet ble derfor undersøkt uten ku nummer 5928, noe som resulterte i mindre forskjeller mellom kraftfôrene med tanke på mjølkeytelse, men ingen andre endringer i resultatene. Det originale datasettet ble derfor beholdt.

Resultatene funnet på nitrogenbalanse er noe usikre. Gjenfunnet nitrogen ble funnet til å være 85-87 % av nitrogen i fôr. Da gjenfunnet nitrogen normalt skal ligge rundt 92 % og oppover ifølge Spanghero og Kowalski (1997), der resterende 8 % går til produksjon i kua utenom mjølk, er gjenfinningsgraden av nitrogen i forsøket mindre enn verdiene observert i andre forsøk. Årsaken til den lave graden av gjenfunnet nitrogen, kan ifølge Castillo et al. (2000) være underestimert av nitrogen i gjødsel ved ufullstendig oppsamling, eller tap av ammoniakk under oppsamling/tørking av prøvene. I forsøket ble gjødsla samlet inn minst en gang i døgnet, og urinen ble tilsatt svovelsyre. Fordampert ammoniakk er derfor lite trolig årsaken til den lave graden av gjenfunnet nitrogen. Den mest sannsynlige feilkilden ved forsøket er tap av gjødsel under oppsamling, slik at mengden gjødsel blir underestimert. Feil ved analyser av nitrogeninnhold kan også være en mulig feilkilde.

## **5.1 Tørrstoffopptak og fordøyelighet**

Fra hypotesene ble det antatt at fôring med kommersielt kraftfôr med høy andel importerte råvarer, ville gi høyere grovfôropptak og bedre fordøyelighet enn fôring med kraftfôr tilsatt alkalisk korn. Resultatene på fôropptak og fordøyelighet antyder at denne hypotesen ikke stemmer, da det ble funnet numerisk høyere fôropptak og fordøyelighet av samtlige næringsstoff utenom Rest CHO ved fôring med kraftfôr tilsatt alkalisk korn.

Det finnes lite vitenskapelig litteratur der bruken av alkalisk korn i rasjoner til drøvtyggere er omtalt. Funnene gjort på lignende forsøk på grovfôr, da spesielt halm, med blant annet urea (Wanapat et al. 1985; Wanapat et al. 2009; Mapato et al. 2010; Gunun et al. 2013) støtter opp om funnene i dette forsøket, med numerisk høyere tørrstoffopptak ved bruk av alkalisk kornråvarer. I halm bryter den alkaliske effekten ned bindinger mellom cellulose og lignin, noe som gir økt fordøyelighet av fiber og dermed økt fôropptak. Selv om det er relativt lite fiber i kraftfôrene, viste *in sacco* forsøket et redusert innhold av iNDF i alkalisk bygg etter 96 timer i vom. Dette indikerer økt fordøyelighet av fiber, som kan ha innvirket positivt på fôropptaket ved fôring med kraftfôr A sammenlignet med fôring med kraftfôr B og C.

Økt fordøyelighet og økt fôropptak kan imidlertid skyldes flere forhold. I rasjoner der tilgangen på nedbrytbart protein er begrensende for mikrobeaktiviteten kan tilsetning av protein i form av urea eller annet lett nedbrytbart protein være positivt. Wanapat et al. (2009) fant positiv effekt på fordøyeligheten av næringsstoff ved bruk av urea i fôret. I deres forsøk kan effekten i tillegg til

den nevnte effekten av alkalisk kornråvarer på fordøyeligheten av fiber være at ureatilsetningen økte innholdet av protein i rasjonen og dermed økt cellulolytisk aktivitet med følgende økning i eddiksyre. Det er imidlertid lite trolig at mangel på nedbrytbart protein har begrenset den mikrobielle effektiviteten i rasjon B da proteininnholdet var hele 17,3 % på rasjonsbasis. I tillegg var ammoniakknivået i vomvæska betydelig over nedre kritiske grense på 1,4 mmol/l vomsaft (Oosting & Waanders 1993), og nedre grense ved nitrogen konsentrasjon i mjølk på 83 mg/dl (Huhtanen et al. 2015). Det som er interessant, og som støtter opp om bruken av alkalisk korn, er at fordøyelsen og opptaket av fôr ikke ser ut til å bli negativt påvirket av at kraftfôret inneholder mer norskproduserte råvarer. Resultatene viser god utnyttelse av NPN i rasjonene med alkalisk korn og korn tilsatt urea sammenlignet med rasjonen med mer importerte proteinråvarer. Det er vesentlig at NPN kan utnyttes som PBV i vom og videre AAT.

Redusert grovfôropptak ved økende kraftfôrmengder for kraftfôr B og C under opptrappingsperioden kan skyldes substitusjonseffekten, da substitusjonseffekten gir reduksjon i grovfôropptaket etter hvert som kraftfôrmengden øker (Kristensen et al. 2003b). Det er verdt å merke at grovfôropptaket ikke synker i like stor grad ved fôring av kraftfôr A, selv om kraftfôrmengden øker. Dette skyldes nok primært at det er lavere kraftfôropptak slik at det totale fôropptaket er relativt likt mellom de ulike rasjonene. Mjølkeytelsen i opptrappingsperioden endret seg lite fra perioden med fast fôring. Altså har ikke mjølkeytelsen blitt negativt påvirket av at en større andel av rasjonen er grovfôr, og det er mulig å opprettholde ytelsen uten å erstatte grovfôret med kraftfôr.

## **5.2 Vommiljø**

Fordøyelighet og utnytting av fôr er avhengig av flere forhold. En viktig faktor er pH i vom, da redusert pH som nevnt tidligere vil påvirke mikrobeeffektiviteten i vom gjennom redusert cellulolytisk aktivitet. Kraftfôr B har lavere innhold av lettfordøyelige karbohydrat og høyere innhold av importert karbohydratråvarer som mais og roesnitter. Ut fra dette var det forventet at kraftfôr B ville føre til høyere pH i vom og dermed bedre vommiljø, sammenlignet med kraftfôr A med alkalisk korn, og kraftfôr C med korn tilsatt urea. Dette støttes opp om av blant annet Khorasani et al. (2001) som observerte at pH i vom holdt ett høyere nivå over lengre tid etter fôring ved bruk av mais i rasjonen. De fant gjennomsnittlig høyere pH i en rasjon basert på mais (30 %) og bygg (30 %), enn om rasjonen bestod kun av bygg. Forventningene til høyere pH ved

fôring av kraftfôr B ble bekreftet ved måling av pH med elektrode (Figur 20). Ved måling med pH-bolus ble det derimot funnet en høyest gjennomsnittlig pH for kraftfôr A og lavest for kraftfôr C (Figur 19). De manuelle pH-målingene viste ingen forskjeller mellom de ulike kraftfôrene. Ettersom de manuelle målingene er basert på uttak av vomsaft en gang i timen mellom første og andre fôring, gir de kun en verdi i timen og er slikt sett mer usikre enn de kontinuerlige målingene.

Ut fra resultatene er det vanskelig å konkludere om pH i vom har påvirket fôropptak og fordøyelighet. De marginale forskjellene observert mellom kraftfôrslag tyder på at pH i vom ikke har hatt en vesentlig betydning som kan forklare forskjellene i fordøyelighet.

En av hypotesene var at mjølkekyr gitt kraftfôr som inneholder alkalisk korn vil gi ett bedre vommiljø, enn ved fôring med korn tilsatt urea. Resultatene på måling av pH viser at kraftfôr A ga høyere pH enn kraftfôr C, både ved måling med pH-bolus og elektrode, på tross av likt innhold av lettfordøyelig karbohydrat. Det finnes lite vitenskapelig forskning på alkaliske kornråvarer i kraftfôrblandinger, som kan understøtte funnene av høyere pH ved fôring med alkalisk kraftfôr. Derimot kan det tenkes at alkalisk korn vil øke pH-verdien, som beskrevet i teorien. Ifølge produsenten av Home n'Dry® (Graham & Dugdale 2004), vil den effekten av den alkaliske kornråvaren etterlate ammoniakk og ammonium- bikarbonat i produktet som vil fungere som buffer i vom, og dermed øke pH. Dette støtter opp om hypotesen, og samsvarer med praktiske erfaringer og resultat fra pilotforsøk (Prestløkken 2016) som indikerer at alkalisk kraftfôr kan ha en positiv effekt på pH i vomvæska og gi et bedre vommiljø.

En viktig observasjon i forsøket var at pH målt med bolus i nettmagen var 0,2 enheter høyere enn pH målt med elektrode i vom ( $P=0,002$ ). Bryant (1964), Duffield et al. (2004) og Neubauer et al. (2018) observert det samme ved uttak av vomsaft fra nettmage og midtre del av vom. Dette kan antagelig forklares av mindre mikrobeaktivitet og produksjon av VFA i nettmagen enn i vom. Fallene i pH etter fôring er mer markante ved måling av pH i midten av vom, enn i nettmagen. Mest sannsynlig er dette på grunn av større forskjeller i konsentrasjonen av fordøyelige karbohydrat og følgelig VFA produksjon, mellom fôringstidspunktene. Funnene her understreker at bruk av kun bolus ikke er tilstrekkelig for å evaluere forandringene i vommiljøet, og at flere eller andre metoder bør vurderes for å få best mulig overblikk over utviklingen i pH.

Mest mulig korrekt beskrivelse over utviklingen av pH i vom er viktig da lav pH over lengre tid er uheldig, og kan ha negativ påvirkning på vommiljøet (sur vom). Det vil også redusere fôropptaket i tillegg til økt frekvens av ulike laktasjonssykdommer som ketose og forfangenhet (Kleen et al. 2003; Stone 2004). Som beskrevet i teorien, er  $\text{pH} < 5.6$  over lengre perioder et sikkert tegn på påbegynt subklinisk vomasidose (Gozho et al. 2005; Rustomo et al. 2006). Plaizier et al. (2008) konkluderte med at subklinisk vomasidose forekommer ofte i fôrrasjoner med høy fordøyelighet, og at tilstanden er vanlig hos høyttytende mjølkekyr. Det ble observert flest målinger under pH 5,8 og 5,6 for kraftfôr C med korn tilsatt urea, men observasjonene var ikke signifikant forskjellig fra kraftfôr A og B. Ifølge Shi og Weimer (2002) skal pH være lavere enn 6,0 i lengre tid før det går på bekostning av vekst og miljø for cellulolytiske bakterier i vom. Enkelte observasjoner der pH er under 5,6, er derfor ikke kritisk for mikrobeaktiviteten. Resultatene fra kontinuerlig og manuelle målinger av pH (figur 19-22 og tabell 13 og 14) viser at pH ligger godt over grensene for utviklingen av vomacidose og redusert cellulolytisk aktivitet. Det kan derfor ikke påvises noen negativ påvirkning på pH i vom i perioden med fast fôrnivå i dette forsøket.

Det var små forskjeller mellom de ulike kraftfôrene i opptrappingsperioden. Det ble observert at pH var mer stabil og sank mindre mot slutten av opptrappingen ved fôring med kraftfôr A. For å opprettholde god pH i vom ved høye kraftfôrmengder, er det viktig med tilstrekkelig mengde fiber til fermentering i vom (Dijkstra et al. 2012). At kraftfôr A hadde numerisk høyere grovfôropptak og følgelig høyere opptak av fiber, vil slik sett kunne bidra til mer stabil pH. I tillegg var det numerisk lavere opptak av kraftfôr i opptrappingsperioden ved fôring av kraftfôr A, som igjen bidrar til høyere pH ved mindre tilgang på lettløselige karbohydrat.

Det er verdt å merke at det ble funnet numerisk høyere syreproduksjon for kraftfôr A, særlig for eddiksyreproduksjonen. Dette er interessant da denne økte produksjonen ikke ser ut til å ha noen negative følger for vommiljøet gjennom redusert pH. Funnene av varierende syrekonsentrasjon i vom mellom fôrrasjonene kan skyldes ulik råvaresammensetning i rasjonene. Kraftfôr A inneholder som kjent 20 % konsentrert alkalisk bygg, og vanlig bygg som hovedkilde til stivelse og lett fermenterte karbohydrat. Kraftfôr B har bygg som hoveddel i tillegg til noe havre, roesnitter og mais. Stivelse i mais har saktere nedbryting i vom enn bygg (Volden 2011b). Dette kan gi mer stivelse som passerer til tarm som dermed bidrar til å redusere syreproduksjonen i



vom. Økningen i pH når syrekonsentrasjonen avtar, skyldes absorpsjon av VFA gjennom vomvegg, samt økning i drøvtygging og spyttproduksjon (Church 1988). Årsaken til økende syrekonsentrasjon kort tid etter fôring er rask fermentering av lettløselige karbohydrater som starter produksjon av VFA og mjølkesyre etter fôring (Council 2001).

Produksjon av eddiksyre i vom kommer i forbindelse fermentering av fiber (France & Dijkstra 2005). Derfor er det mulig at funnene med høyere produksjon av eddiksyre ved fôring av kraftfôr A, var forårsaket av det numerisk høyere fôropptaket og fordøyelsen av NDF. Et tidligere forsøk utført av Khorasani et al. (2001) sier at kraftfôrrasjoner med bygg som hoveddel (60 %) har noe høyere eddiksyrekonsentrasjon enn kraftfôr tilsatt mais, som kan forklare noe av den høyere konsentrasjonen av eddiksyre ved fôring med kraftfôr A. Dette var derimot ikke tilfellet med fôring av kraftfôr C, som også bestod av bygg. Khorasani et al. (2001) fant også at rasjonen med bygg (30 %) og mais (30 %) som hoveddel, hadde høyere produksjon av propionsyre og smørsyre i vom sammenlignet med bygg som hoveddel. Som vist i resultatene er det ikke tilfellet her, da kraftfôr B ikke hadde høyere produksjon av verken propionsyre eller smørsyre. Dette kan antyde at det alkaliske bygget har hatt en effekt som det vanlige bygget brukt i forsøket til Khorasani ikke har hatt.

Siden propionsyrekonsentrasjonen påvirkes av andelen stivelsesrike fôrmidler i rasjonen (Kristensen et al. 2003a), kunne det forventes at produksjonen av propionsyre var lik mellom kraftfôr A og C. Begge inneholder bygg, der stivelsen fermenteres relativt raskt i vom etter fôring (Zhu et al. 2014) og følgelig øke propionsyrekonsentrasjonen (Offner & Sauvant 2004). På tross av dette ble det funnet høyere produksjon av propionsyre i vom ved fôring av kraftfôr A ( $P=0,03$ ). Sammenhengen mellom lavere konsentrasjon av propionsyre og høyere smørsyreproduksjon for kraftfôr C er ikke lett å forklare, men det tyder på et ulikt gjæringsmønster og fordøyelse av karbohydrat, mellom alkalisk korn og bygg tilsatt urea.

Uavhengig av årsaken, er høyere produksjon av propionsyre ved fôring med kraftfôr A gunstig så lenge det ikke går ut over pH og cellulolytisk aktivitet. Grunnen til dette er fordi propionsyre er et viktig substrat til glukoneogenesen og hovedkilden til glukose hos drøvtyggeren (France & Dijkstra 2005). Mer propionsyre vil dermed føre til mer glukose til melkeproduksjon, sammenlignet med høyere produksjon av eddiksyre (Dijkstra et al. 2012).

Smørsyrekonsentrasjonen i vom er signifikant høyere ved tidspunktene 06:30 og 07:30 ( $P= 0,03$  og  $0,01$ ). Oba (2011) konkluderte i sin undersøkelse at sukker i rasjonen er en god løsning for å øke energiinnholdet i dietten og smørsyrekonsentrasjonen uten at det reduserer pH i vom. Økt sukker i rasjonen stimulerer til høyere smørsyreproduksjon i vom. I et forsøk av Dijkstra (1994) var produksjon av smørsyre i vom mest påvirket av lettløselige karbohydrater som sukker og stivelse i rasjonen, men normalt er det relativt konstant og vanskelig å påvirke. Kraftfôr A og C er optimert med likt innhold av sukker og stivelse, og det var derfor forventet at utviklingen i konsentrasjonen til smørsyre i vom var lik.

Et tidligere forsøk med urea som tilskudd i fôrrasjonen hos sau, ble utført av Khattab et al. (2013). Det ble funnet at tilsetning av urea i rasjonen øker fordøyeligheten av TS, organisk stoff, råprotein og konsentrasjonen av nitrogen og  $\text{NH}_3 - \text{N}$  samt VFA konsentrasjonen i vom. Samtidig ble det konkludert med at det kan være en fordel å benytte urea i rasjoner sammen med lettfordøyelige karbohydrater. Fordøyelsen av fiber i vom påvirkes nettopp av ammoniakk tilgjengelig til mikrobesyntesen. Slik sett vil konsentrasjonen av lettfordøyelige karbohydrater påvirke konsentrasjonen av  $\text{NH}_3\text{-N}$  i vom, gjennom å generere energi til mikrober for utnyttelse av fôrprotein (Frank et al. 2002). At det ble funnet høyere konsentrasjoner av ammoniakk i vom ved fôring av kraftfôr A og C, skyldes antagelig at det er høyere innhold av råprotein gjennom den alkaliske kornråvaren og urea. Dette påvirker videre utregningene av PBV og AAT, som begge er godt innenfor anbefalte verdier (Eurofins 2010), og antyder at det er overskudd av protein i rasjonen. Det er i utgangspunktet lite interessant om alkalisk kraftfôr kan heve proteinkvaliteten i norsk korn, om nitrogenet ikke kan omdannes til mikrobielt protein og dermed AAT.

Utviklingen av ammoniakk i vom er svært lik for kraftfôr A og C, og ut fra dette er det rimelig å anta at det er lite forskjell for utviklingen av ammoniakk i vom om NPN blir tilført vom som urea eller ammoniakk. I utgangspunktet betyr dette at den alkaliske kornråvaren i kraftfôret har liten betydning for mengde ammoniakk absorbert over vomvegg og mengde mikrobeprotein syntetisert i vom, sammenlignet med kraftfôr tilsatt urea. Resultatene viser derimot at det er høyere fordøyelse av protein ved fôring med kraftfôr A. Dette kan skyldes en høyere fordøyelighet av protein i tynntarm, samt forskjeller i mikrobesyntese i tykktarm. På tross av at kraftfôr A og C har samme utvikling i  $\text{NH}_3$  –konsentrasjon i vom, har de forskjellig

syreproduksjon. Ved fôring av kraftfôr A har det altså blitt produsert en større mengde syrer ved samme mengde NH<sub>3</sub> brukt til mikrobesyntese, både eddiksyre og propionsyre. Det er mulig at en større mengde aminosyrer og peptid har blitt brukt til proteinsyntese ved fôring av kraftfôr A, og dermed har mikrobepopulasjonen vært større og produsert mer syrer, eventuelt kan mikrobene ha produsert syrer mer effektivt ved fôring av kraftfôr A. Eventuelt kan forholdet mellom ammoniakk brukt til mikrobesyntese og ammoniakk absorbert over vomvegg være ulike mellom kraftfôr A og C. Om en større mengde ammoniakk absorberes ved fôring med kraftfôr C, mens en større mengde ammoniakk blir brukt til mikrobesyntese ved fôring med kraftfôr A, kan konsentrasjonen av ammoniakk i vom være lik, men mikrobesyntesen og VFA produksjonen ulik. Om dette var tilfellet ville det blitt funnet mer nitrogen i mjølk og urin ved fôring med kraftfôr C, noe som ikke er tilfellet.

### **5.3 *In sacco* nedbrytning**

Funnene med numerisk høyere sum syrer i vom og høyere totalfordøyelse av NDF, indikerer at mikrobene i rasjonen med kraftfôr A har hatt nok tilgjengelig nitrogen til omdannelse til mikrobeprotein (Hvelplund et al. 2003a) og energi fra fermentering av karbohydrater (Weisbjerg et al. 2003). Det er derfor interessant at nedbrytingsgraden av NDF var lavest ved fôring med kraftfôr A, når det ble benyttet *in sacco* målinger av grovfôr. Det er mulig at det er ulik grad av fordøyelse i tykktarm som har bidratt til å øke totalfordøyeligheten av NDF for kraftfôr A. Dette vil ikke komme frem ved *in sacco* målingene. Dette forklarer derimot heller ikke forskjellene mellom funnet ved innholdet av syrer i vom, som igjen indikerer høyere nedbrytning av karbohydrat i vom.

Et viktig punkt her er at beregningen av effektiv nedbrytningsgrad ved *in sacco*, regner med en 1. ordens kinetikk for grovfôr. Som tidligere nevnt vil NDF ha en selektiv tilbakeholdelse i vom (Weisbjerg et al. 2003). Effektiv nedbrytningsgrad av grovfôr kan derfor bli underestimert på grunn av feil passasjehastighet. Beauchemin (2018) fant at passasjehastigheten og tilførsel av spytt i vom er avhengig av drøvtygging. Som diskutert i teorien, er en av svakhetene ved *in sacco* metoden at den ikke tar hensyn til drøvtygging, og dermed antagelig vil underestimere nedbrytningsgraden.

Store mengder fett (> 10 %) i kraftfôrrasjonene kan som nevnt virke toksisk på mikrobene (Weisbjerg et al. 2003). Jenkins (1993) fant i sitt studium at fett i rasjonen til mjølkeku kan være

negativt for cellulolytisk aktivitet. Analysene for innholdet av fett i kraftfôrene, viser at innholdet ikke er særlig høyt for noen av kraftfôrene, og det er dermed tvilsomt at andelen fett har hatt en negativ påvirkning på cellulolytisk aktivitet i dette forsøket. Kraftfôr A og C er tilsatt 4 % oljefrø som stort sett består av umettede fettsyrer (Nordli 2018). Kraftfôr B inneholder 12, % rapsepxeller som inneholder noe palmitinsyre, men mest umettede fettsyrer (oljesyre, linolsyre og  $\alpha$  – linolensyre). Særlig umettede og mellomlange fettsyrer hemmer fordøyeligheten av NDF i rasjonen (Weisbjerg et al. 2003). Kraftfôr B inneholder noe høyere andel umettede fettsyrer, som kan redusere fordøyeligheten marginalt i forhold til rasjonene med mindre innhold av umettede fettsyrer.

Grovfôret med lav fordøyelighet har et NDF- innhold på 514 g/kg TS. Grovfôret med høy fordøyelighet har et NDF- innhold på 498 g/kg TS. Videre er stivelsesinnholdet noe høyere for grovfôr med lav fordøyelighet. På tross av at næringsinnholdet er ganske likt er det en tydelig forskjell i nedbrytningsprofil. Nedbrytningshastigheten for grovfôrene er dog noe lavere enn grovfôret i NorFor (5,0 %) som inneholder 502 g/kg TS (Volden 2011b). Det er verdt å merke at NorFor også bruker lavere passasjehastighet (2,8705 %/ time) (Volden 2011a). Med lavere passasjehastighet og nesten samme kvalitet på grovfôret, skulle antagelig nedbrytningshastigheten for grovfôr med høy fordøyelighet vært lavere om det hadde vært beregnet i NorFor. Det er interessant at både nedbrytningsgraden, nedbrytningshastigheten og andel nedbrutt for grovfôr med høy fordøyelighet er høyest i kraftfôr C. Dette er vanskelig å forklare fra funn i litteraturen.

Nedbrytningshastigheten for proteinet i Alkakorn 150 funnet i dette forsøket er noe høyere sammenlignet med verdiene for bygg brukt i NorFor, 14-17 %/time mot 11,3 %/time (Volden 2011b). Årsaken til dette er antagelig at Volden (2011a) bruker passasjehastighet på 3,337 %/time for både protein og stivelse. Møller et al. (2000) angir gjennomsnittlig nedbrytningsgrad basert på partikkelpassasjehastighet av protein på 5 % /time, mens det som kjent ble brukt 8 % i dette forsøket. Passasjehastigheten vil antagelig variere individuelt mellom råvarene, men urebehandlet bygg inneholder større mengder nitrogen som omsettes raskt i vom. Aminosyrer har individuell nedbrytningshastighet i vom samtidig som at Weisbjerg et al. (1996) mener at aminosyrer som forlater *in sacco* posen etter inkubasjon, ikke nødvendigvis brytes ned i vom. Nedbrytningshastigheten funnet for proteinet i grovfôret anses som lite aktuell for videre

diskusjon, da den løselige delen av proteinet står for mesteparten av proteinfraksjonen. Eventuelle forskjeller i nedbrytningshastighet sier derfor lite om fordøyeligheten siden proteinfraksjonen som ikke løses opp kun er omlag 1 %.

Forsøket på standardkyr viser en forskjell i effektiv nedbryttingsgrad av NDF, og andelen iNDF i de to råvarene (Tabell 25). Det ble altså funnet at lagringen av Alkakorn 150 har en positiv effekt på nedbryttingsgraden av NDF. Dette er en effekt som oppnås ved at korn behandles med Home n' Dry og lagres under plast i noen uker, og som ikke sees når Home n' Dry tilsettes bygg og brukes direkte i rasjonen. En mulighet kan være at lagringsprosessen der NH<sub>3</sub> og ammoniumsalter starter en nedbrytningsprosess av lignin og cellevegger i plantematerialet, som dermed gjør cellulose og hemicellulose mer tilgjengelig for mikrobene i vomma. En slik nedbrytning av plantematerialet vil føre til høyere fordøyelighet av NDF i vom (Huhtanen & Vanhatalo 1997). Resultatene i dette forsøket er derfor i samsvar med hypotesen om at Alkalisk korn vil gi økt totalnedbrytning av fiber sammenlignet med bygg tilsatt urea.

Det ble funnet en forskjell mellom nedbrutt NDF i Alkakorn 150 fra forsøket med lakterende kyr, og forsøket med standardkyr. Ved 48 timer er nedbrutt NDF for standardkyr funnet å være 71 %, mot mellom 65-68 % for lakterende kyr. Selv om resultatene ikke kan sammenlignes direkte, da rasjonene er forskjellige, viser de en interessant forskjell i nedbryttingsgrad av samme råvare mellom dyr i produksjon og ikke. Det kan derfor være forskjeller i nedbrytingen av næringsstoff mellom lakterende og ikke lakterende kyr, som standard *in sacco* metode ikke tar hensyn til. Det er verdt å merke nedbrytningshastigheten for NDF i bygg tilsatt Home n' Dry® (8,9 %/time) i standardkyrforsøket sammenlignet med nedbrytningshastigheten 3,2 %/time for bygg i NorFor. Passasjehastigheten er som nevnt noe lavere i NorFor og innholdet av NDF i kraftfôr er i utgangspunktet lavt, men forskjellen burde ikke utgjøre så mye. Volden (2011b) angir andel iNDF i bygg til 16 %. Dette er noe lavere andel iNDF enn det som er funnet i standardkyrforsøket for bygg tilsatt Home n' Dry®, men relativt likt som Alkakorn 150.

Nedbryttingsgraden og nedbrytningshastigheten av stivelse er lite aktuell for grovfôret da innholdet er såpass lavt, og forskjellene er små. Derimot er det funnet forskjeller i nedbrytningshastigheten for råvaren Alkakorn 150, som har raskest nedbryting ved rasjoner bestående av kraftfôr B. Dette kan skyldes at denne rasjonen som kjent inneholder maisstivelse som blir senere nedbrutt, slik at stivelsen i *in sacco* prøven som er lettere nedbrytbar har en

fordel mot stivelsen i rasjonen med kraftfôr B. Ifølge Weisbjerg et al. (2003) er nedbrytningshastigheten for bygg 49 %, som er den samme som bygg tilsatt Home n' Dry i standardkyrforsøket. NorFor (Volden 2011b) operer med standardisert nedbrytningshastighet for bygg på 39,2 % som er noe lavere. Stivelse i Alkakorn 150 råvaren ser ut til å ha noe høyere nedbrytningshastighet, men NorFor benytter også lavere faktor for passasjehastighet som kan være forklaringen.

NorFor benytter en lavere nedbrytningshastighet for stivelse (14,5 %/time) i hvete behandlet med natriumhydroksid (NaOH) enn ved bygg middels kvalitet (40,7 %/time) (NorFor 2007). Det er verdt å merke seg at hvete har opprinnelig høyere nedbrytningshastighet enn bygg med middels kvalitet. En av teoriene rundt alkalisk korn var at effekten av luting også var gjeldende for alkalisk korn. Dermed var det forventet lavere nedbrytningshastighet for stivelse ved bruk av alkalisk korn enn bygg tilsatt urea. Dette var derimot ikke observert, da nedbrytningshastigheten for Alkakorn 150 og bygg tilsatt urea var helt like. Et forsøk med ulike behandlingsmetoder på hvete utført av De Campeneere et al. (2006) fant at NaOH behandling reduserer nedbrytningshastigheten av både protein og stivelse i kornet.

Hadde alkalisk korn hatt lavere nedbrytningshastighet enn bygg i NorFor kunne det muligens vært en erstatting for blant annet mais. Mais er som kjent en ettertraktet råvare i kraftfôrblandinger til høytytende mjølkeku og det finnes foreløpig ingen norske kornarter som har samme egenskaper som mais på nedbrytningshastighet av stivelse i vom.

#### **5.4 Mjølkeanalyser og nitrogenbalanse**

Tilbakemeldinger fra produsenter som benytter alkalisk kraftfôr i mjølkeproduksjonen, er at både mjølkeytelse og fettprosent øker, noe som resulterer i økt EKM. I dette forsøket ble det derimot observert signifikant høyere EKM for kraftfôr B ( $P=0,05$ ) som skyldes signifikant høyere fettproduksjon (g/dag) ( $P=0,01$ ). Da høyere produksjon av VFA, spesielt eddiksyre er relatert til høyere fettproduksjon (Dijkstra et al. 2012), er det interessant at produksjonen av VFA ikke er høyere ved fôring av kraftfôr B. Fra resultatene på VFA i vom, kunne det forventes en høyere produksjon av fett i mjølk ved fôring med kraftfôr A, da det er her produksjonen av VFA er høyest. Et forsøk utført av (Auldist et al. 2013) fant at fôrrasjoner med bygg produserer mindre mjølkefett enn rasjoner som inneholder mais, som kan forklare noe av forskjellen. Videre kan det

tenkes at perioden med fast fôring er for kort, og effekten av det alkalisk kornet med økt produksjon av eddiksyre, ikke rekker å påvirke syntesen av mjølkefett i særlig grad.

Ferraretto et al. (2013) utførte en studie på ulike behandlingsmetoder av korn og mais på fôropptak, fordøyelighet og mjølkeproduksjon. Konklusjonen var blant annet at økt fordøyelighet av stivelse reduserer fettinnholdet i mjølka. Kraftfôr A har som kjent numeriske høyere totalfordøyelighet av stivelse. Ifølge Ferraretto et al. (2013) kan denne høyere fordøyeligheten av stivelse ha påvirket fettproduksjonen i mjølka for kraftfôr A negativt. I samme forsøk konkluderte forfatteren også at proteininnholdet og mjølkeytelsen øker med større andel fordøyelig stivelse i rasjonen. Siden mjølkeytelse og proteinproduksjon i mjølk er numerisk høyere for kraftfôr B, er det ingenting som tilsier at fordøyeligheten av stivelse er årsaken. Som nevnt tidligere inneholder kraftfôr B mer sakte nedbrytbar stivelse i form av mais, om dette ikke blir fordøyd i vomma vil det bli fordøyd i tynntarm. Stivelse som fordøyes i tynntarm vil absorberes direkte som glukose og er den en god energikilde for mjølkekyr (Mills et al. 1999).

Et tidligere forsøk på innkapslet urea utført av Highstreet et al. (2010), konkluderte med at en jevnere tildeling av urea i vom ved bruk av innkapslet urea, stimulerer til høyere fettprosent og protein i mjølka. Noe av denne responsen var forventet ved fôring av alkalisk korn, men ble ikke funnet innenfor perioden med mjølkeanalyser.

Forskjellene som ble funnet mellom gjenfunnet nitrogen i gjødsel, stemmer med resultatene på totalfordøyelighet av Kjeldahl-N og på AAT. Kraftfôr A hadde høyest totalfordøyelighet og AAT verdi, og også lavest nitrogen gjenfunnet i gjødsla. Funnene var derimot ikke signifikante, men numerisk forskjellige.

Selv om forskjellene på gjenfunnet nitrogen ikke var stor mellom de ulike rasjonene, fordeler funnene seg ulikt mellom gjødsel, urin og mjølk. Det ble funnet signifikante forskjeller i gjenfinningsgraden for urin og mjølk. Hvor andelen nitrogen gjenfunnet i urin var høyere ved fôring med kraftfôr A og C, enn ved fôring med kraftfôr B. Dette kan skyldes høyere konsentrasjon av ammoniakk i vomma og derav større mengder ammoniakk utskilt gjennom urin. Derimot var tendensen det motsatte for gjenfunnet nitrogen i mjølk, høyere ved fôring med kraftfôr B enn ved fôring med kraftfôr A og C. Dette stemmer overens med funnene over proteinproduksjon i mjølk, der kraftfôr B har numerisk høyest produksjon g/dag, som videre forklarer noe av forskjellene funnet i EKM.

En studie utført av Spanghero og Kowalski (1997) tar for seg 35 ulike forsøk på nitrogenbalanse hos lakterende mjølkekyr. Studien fant at utskilt nitrogen i gjennomsnitt var 32,0 % for gjødsel, 33,2 % for urin og 25,8 % for mjølk. Som vist i tabell 23, varierer funnene fra studien til Spanghero og Kowalski (1997), spesielt med tanke på nitrogen utskilt i gjødsel. Derimot viser forsøk av Castillo et al. (2000) at utskilt nitrogen i gjødsel blir antatt å være relativt konstant, med rundt 7,5 g/kgTS. Dette stemmer overens med resultatene fra egne undersøkelser (tabell 23), der nitrogen utskilt i gjødsel var på 7,5-7,9 g/kgTS for de tre kraftfôrene. En studie av Huhtanen et.al (2015) viste lignende resultater på gjenfunnet nitrogen med 32,4 % i gjødsel, 36,3 % i urin og 29,8 % i mjølk, og en gjenfinningsgrad på 98,5 %. Videre i studien til Spanghero og Kowalski (1997) ble gjenfunnet nitrogen i gjødsel, urin og mjølk, funnet til å være 92 % av nitrogen i inntatt fôr, der resterende 8 % går til produksjon i kua utenom mjølk. Gjenfunnet nitrogen på 85-87 % er altså noe lavt. Årsaken til lav grad av gjenfunnet nitrogen, kan ifølge Castillo et al. (2000) være underestimert av nitrogen i gjødsel ved ufullstendig oppsamling eller tap av ammoniakk under oppsamling eller tørking av prøvene. Det er derfor anbefalt å bruke våte prøver for å minimere tapet av ammoniakk fra gjødsel. Tap av ammoniakk ved fordamping fra urin under oppsamling ble også vurdert til å være en viktig årsak til feilvurdering av nitrogeninnholdet, med anbefalinger om å tilsette sterke syrer for å forhindre tap av ammoniakk. I dette forsøket ble gjødsel samlet inn minst en gang i døgnet, og urinen ble tilsatt svovelsyre. Fordampning av ammoniakk er derfor lite trolig årsaken til den lave graden av gjenfunnet nitrogen. Tap av gjødsel under oppsamling, eller unøyaktighet ved analyser av nitrogeninnhold, er mer sannsynlige feilkilder.

Det er interessant at gjenfunnet nitrogen er fordelt ulikt mellom kraftfôrene, med mer nitrogen i urin hos kraftfôr A og C, mot et tilnærmet likt innhold nitrogen i mjølk og urin hos kraftfôr B. Dette indikerer at den økte fordøyelsen av protein og/eller den økte utnyttelsen av NPN, ikke har blitt nyttet i mjølka som protein, men skilt ut som overskudd. Dette kan skyldes utilstrekkelig energitilførsel fra lettfordøyelige karbohydrater for utnytting av NPN til proteinproduksjon, eller at optimal ammoniakk-konsentrasjon allerede er møtt, slik at toppene med ammoniakk-konsentrasjon, som vist i figur 27, blir absorbert og tapt i urin da alt ikke kan resirkuleres i form av urea (Tamminga 1992; Mc Donald et al. 2011). Det ble funnet noe mer nitrogen i urin ved fôring av kraftfôr A enn ved kraftfôr C. Dette kan indikere at den økte andelen NPN kan fordøyes i større grad, men skilles i dette tilfellet ut som overskudd i urin. Muligens kan dette



bedres med lengre perioder med fast fôring, som kan stabilisere og sørge for større utnytting av nitrogenet. En annen mulig måte å nytte dette overskuddet av nitrogen i vom, er dersom innholdet av råprotein i rasjonen kan reduseres uten at det går ut over utnyttingsgraden av den økte mengden NPN. Dersom dette er mulig kan andelen importerte proteinråvarer i kraftfôret reduseres uten at det går ut over fordøyeligheten av rasjonen.

Ifølge Aguilar et al. (2012) vil ureainnholdet i mjølk ha lave verdier (<12 mg/dl) for høyttytende mjølkekyr, kun dersom råprotein innholdet var under 16 % CP/kgTS. Rasjonene i dette forsøket inneholdt 17,8 %, 17,3 % og 17,9 % CP/kgTS, og videre funnet 27,3 mg, 26,0 mg og 29,1 mg urea per dl, for henholdsvis rasjon A, B og C. Kraftfôr B har rundt 0,5% lavere innhold av råprotein, på tross av at kraftfôrene skulle være likt optimert for innhold av råprotein. Dette kan forklare noe av overskuddet av protein ved fôring av kraftfôr A og C.

## **5.5 Korn og kraftfôr**

I tidsrommet 2012-2016 ble det gjennomsnittlig solgt 998 795 tonn kraftfôr til drøvtyggere i Norge årlig, der ca. 50 % av dette er norsk korn (Landbruksdirektoratet 2017b; Berntsen et al. 2018). Utregninger på grunnlag av disse tallene viser at en økning til en norskandel på 75 %, kan redusere import av råvarer i kraftfôr til drøvtyggere med om lag 249 699 tonn årlig. Det skal sies at drøvtyggere utgjør 51 % av kraftfôrforbruket til alle husdyr i Norge, og gjennomsnittlig tilgang på norsk korn til all kraftfôrproduksjonen var på 1 124 000 tonn i samme periode (Berntsen et al. 2018). Det er derfor per dags dato ikke tilstrekkelig kornproduksjon i Norge til å dekke behovet til alle husdyr, dersom alle kraftfôrrasjoner kan øke andelen norsk korn i kraftfôret til 75 %. Det er også viktig å understreke at rasjoner til mjølkekyr består av 56,6 % grovfôr på energibasis (Steinshamn et al. 2016; Bøvre & Hjukse 2017). Kraftfôr A har en norskandel på 75 % (Nordli 2018) og vil sammen med grovfôret utgjøre en rasjon med norskandel på 89 % på energibasis. Kraftfôr B inneholder 48 % norsk korn og vil utgjøre en rasjon med norskandel på 77 %. Prognosene til Felleskjøpet tilsier at en økende avdrått øker behovet for import. Dersom kraftfôr med alkalisk korn opprettholder ytelse, helse og god bærekraft ved fôring med ulike grovfôrkvaliteter er dette et godt alternativ for å møte kravene til økende avdrått og samtidig redusere importen av kraftfôrråvarer. Effekter av alkalisk korn på ytelse, helse og klimagassutslipp bør undersøkes i oppfølgende studier der det brukes flere dyr og lengre forsøksperioder.

## 6 Konklusjon

Det er vanskelig å trekke endelige konklusjoner da det er få signifikante forskjeller. Resultatene fra forsøket med lakterende kyr indikerer et høyere grovfôropptak og totalfordøyelighet av næringsstoffer ved fôring med kraftfôr tilsatt alkalisk korn. Rasjonen med alkalisk korn ga høyere pH i vom enn rasjonen med bygg tilsatt urea. Kraftfôr tilsatt alkalisk korn gav numerisk høyere syreproduksjon i vom uten negativ påvirkning på pH eller totalfordøyeligheten av næringsstoff.

Forsøket med standardkyr viste at Alkakorn 150 hadde en høyere nedbrytning av fiber i vom sammenlignet med bygg tilsatt Home n' Dry®, og at alkalisk korn vil bidra til å øke fordøyeligheten av fiber i råvaren.

Alkalisk korn brukt i kraftfôr kan derfor bidra til å øke andelen norske råvarer, ved å erstatte importert protein og karbohydrat i rasjonen til mjølkekyr. Effekter på produksjon, helse og utslipp av klimagasser bør inkluderes i videre studier med flere dyr og lengre forsøksperioder.



## Referanser

- Agri Analyse. (2017). Landbruksbarometeret. I: AgriAnalyse (red.). *Statistikk fra Statistisk SentralByrå (SSB)*. Oslo.
- Aguilar, M., Hanigan, M. D., Tucker, H. A., Jones, B. L., Garbade, S. K., McGilliard, M. L., Stallings, C. C., Knowlton, K. F. & James, R. E. (2012). Cow and herd variation in milk urea nitrogen concentrations in lactating dairy cattle. *Journal of dairy science*, 95 (12): 7261-7268.
- Alvseike, A. O., Kjos, A. K., Nafstad, O., Odden, H., Ruud, T. A., Saltnes, T. & Ytterdahl, M. (2017). KJØTTETS TILSTAND - Status i norsk kjøtt og eggproduksjon. Oslo: Animalia.
- Arrigoni, M. D. B., Martins, C. L. & Factori, M. A. (2016). Lipid Metabolism in the Rumen. I: *Rumenology*, s. 103-126: Springer.
- Asplund, J. M. (1994). Structure and function of the ruminant digestive tract. I: *Principles of Protein Nutrition of Ruminants*, s. 5-28: CRC Press Boca Raton.
- Auldish, M. J., Maret, L. C., Greenwood, J. S., Hannah, M., Jacobs, J. L. & Wales, W. J. (2013). Effects of different strategies for feeding supplements on milk production responses in cows grazing a restricted pasture allowance. *Journal of Dairy Science*, 96 (2): 1218-1231.
- Beauchemin, K. A., Yang, W. Z. & Rode, L. M. (2003). Effects of particle size of alfalfa-based dairy cow diets on chewing activity, ruminal fermentation, and milk production. *Journal of Dairy Science*, 86 (2): 630-643.
- Beauchemin, K. A. (2018). Invited review: Current perspectives on eating and rumination activity in dairy cows. *Journal of Dairy Science*.
- Berg, M. B. (2011a). Metodespesifikasjon - IHA-nr.: Msp-1038, Aske. I: *Institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap* Tilgjengelig fra: <https://www.nmbu.no/fakultet/biovit/om/institutt/iha/tjenester/node/10055> (lest 03.04.2018).
- Berg, M. B. (2011b). Metodespesifikasjon - IHA-nr: Msp-1044, Tørrstoff. I: *Institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap*. Tilgjengelig fra: <https://www.nmbu.no/fakultet/biovit/om/institutt/iha/tjenester/node/10055> (lest 03.04.2018).

- Berg, M. B. (2011c). Metodespesifikasjoner IHA-nr.: Msp-1040, Kjeldahl-N. I: *Institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap*. Tilgjengelig fra: <https://www.nmbu.no/fakultet/biovit/om/institutt/iha/tjenester/node/10055> (lest 03.04.2018).
- Berg, M. B. (2013a). Metodespesifikasjon IHA-nr.: Msp-1041, aNDF (Neutral Detergent Fiber). I: *Institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap*. Tilgjengelig fra: <https://www.nmbu.no/fakultet/biovit/om/institutt/iha/tjenester/node/10055> (lest 03.04.2018).
- Berg, M. B. (2013b). Metodespesifikasjon IHA-nr.: Msp-1042, Askekorrigert aNDF (aNDFom). I: *Institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap*. Tilgjengelig fra: <https://www.nmbu.no/fakultet/biovit/om/institutt/iha/tjenester/node/10055> (lest 03.04.2018).
- Berg, M. B. (2013c). Metodespesifikasjoner IHA-nr.: Msp-1133, Ammoniom-N. I: *Institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap*. Tilgjengelig fra: <https://www.nmbu.no/fakultet/biovit/om/institutt/iha/tjenester/node/10055> (lest 03.04.2018).
- Berntsen, C., Bungler, A. & Fjellhammer, E. (2018). Korn og konjunktur 2018. *Rapporten legger frem den globale kornsituasjonen og den norske kornhøsten 2016/2017*. Oslo: ArgiAnalyse 45 s.
- Bryant, A. M. (1964). Variations in the pH and volatile fatty acid concentration within the bovine reticulo-rumen. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 7 (4): 694-706.
- Buléon, A., Colonna, P., Planchot, V. & Ball, S. (1998). Starch granules: structure and biosynthesis. *International journal of biological macromolecules*, 23 (2): 85-112.
- Bye, A. S., Per Amund Aarstad, A. P., Løvberget, A. I. & Høie, H. (2017). *Jordbruk og miljø 2017 - Tilstand og utvikling*. Oslo - Kongsvinger: Statistisk sentralbyrå (SSB). 181 s.
- Bævre, L. (2005). NorFor – felles fôrvurdering i Norden. Husdyrforsøksmøte NMBU. 4 s.
- Børsting, C. F., Hermansen, J. E. & Weisbjerg, M. R. (2003). Fedtforsyningens betydning for mælkeproduksjonen. I: Strudsholm, F. & Sejrsen, K. (red.) b. 407 *Kvægets ernæring og fysiologi. Bind 2 - Fodring og produksjon*, s. 133-151. Danmark: Danmarks jordbruksforskning.
- Bøvre, K. & Hjukse, O. (2017). Totalkalkylen for jordbruket. *Jordbrukets totalregnskap 2015 og 2017 og budsjett 2017*: Norsk Institutt for bioøkonomi (NIBIO). 180 s.

- Castillo, A., Kebreab, E., Beever, D. & France, J. (2000). A review of efficiency of nitrogen utilisation in lactating dairy cows and its relationship with environmental pollution. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 9 (1): 1-32.
- Chilliard, Y., Ferlay, A., Mansbridge, R. M. & Doreau, M. (2000). *Ruminant milk fat plasticity: nutritional control of saturated, polyunsaturated, trans and conjugated fatty acids*. Annales de zootechnie: EDP Sciences. 181-205 s.
- Church, D. C. (1988). Salivary function and production. Church, D. C. (Ed.), *The Ruminant Animal, Digestive Physiology and Nutrition*. Prentice Hall, Englewood Cliffs NJ, 117-124: 117-124.
- Council, N. R. (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle*. Seventh Revised Edition utg., b. 363. Washington, D. C.: National Academies Press.
- De Campeneere, S., De Boever, J. L. & De Brabander, D. L. (2006). Comparison of rolled, NaOH treated and ensiled wheat grain in dairy cattle diets. *Livestock Science*, 99 (2): 267-276.
- Dewhurst, R. J., Davies, D. R. & Merry, R. J. (2000). Microbial protein supply from the rumen. *Animal feed science and technology*, 85 (1-2): 1-21.
- Dijkstra, J. (1994). Production and absorption of volatile fatty acids in the rumen. *Livestock Production Science*, 39 (1): 61-69.
- Dijkstra, J., Forbes, J. M. & France, J. (2005). Introduction. I: Dijkstra, J., Forbes, J. M. & France, J. (red.) b. 727 *Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism*, s. 1-12: CABI.
- Dijkstra, J., Ellis, J. L., Kebreab, E., Strathe, A. B., López, S., France, J. & Bannink, A. (2012). Ruminant pH regulation and nutritional consequences of low pH. *Animal Feed Science and Technology*, 172 (1-2): 22-33.
- DiLorenzo, N. (2016). Planning and Analyzing Digestibility Experiments. I: *Rumenology*, s. 281-308: Springer.
- Duffield, T., Plaizier, J. C., Fairfield, A., Bagg, R., Vessie, G., Dick, P., Wilson, J., Aramini, J. & McBride, B. (2004). Comparison of techniques for measurement of rumen pH in lactating dairy cows. *Journal of dairy science*, 87 (1): 59-66.
- Edvardsen, D. H. & Ormestad, I. (2015). *Karbohydratfôrmidler*. Kraftfôr, b. 141. Norge - Landbruksbokhandelen Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet - Husdyr- og akvakulturvitenskap

- Eriksen, E. E. (2000). Grovfôr eller kraftfôr? - Kartlegging av substutisjonsmulighetene ved fôring av melkekyr i Norge. I: 56/00, N. (red.). *SNF RAPPORT*. Norge.
- Eurofins. (2010). Veiledning til analysebeviset grovfôr. Tilgjengelig fra: <http://www.eurofins.no/media/356785/veiledning-grovf%C3%B4r.pdf> (lest 01.03.2018).
- Felleskjøpet. (2017, 1. desember). *ROM FOR BRUK AV NORSK KORN*. Korn konferanse 2018, Oslo Kongressenter, Youngs gate 21, Oslo, s. 1-50. <https://www.fk.no/om-norske-felleskjoep/kalender/kornkonferansen-2018>: Norske Felleskjøpet
- Ferraretto, L. F., Crump, P. M. & Shaver, R. D. (2013). Effect of cereal grain type and corn grain harvesting and processing methods on intake, digestion, and milk production by dairy cows through a meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, 96 (1): 533-550.
- France, J., Thornley, J., López, S., Siddons, R., Dhanoa, M., Van Soest, P. & Gill, M. (1990). On the two-compartment model for estimating the rate and extent of feed degradation in the rumen. *Journal of theoretical Biology*, 146 (2): 269-287.
- France, J. & Dijkstra, J. (2005). Volitary Fatty Acid Production I: Dijkstra, J., Forbes, J. M. & France, J. (red.) b. 727 *Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism* s. 155 - 175. USA Massachusetts Avenu CABI Publishing
- Frank, B., Persson, M. & Gustafsson, G. (2002). Feeding dairy cows for decreased ammonia emission. *Livestock Production Science*, 76 (1): 171-179.
- Gozho, G., Plaizier, J., Krause, D., Kennedy, A. & Wittenberg, K. (2005). Subacute ruminal acidosis induces ruminal lipopolysaccharide endotoxin release and triggers an inflammatory response. *Journal of Dairy Science*, 88 (4): 1399-1403.
- Graham, M. & Dugdale, M. (2004). *FiveF Alka Ltd - alkaline feeding solutions*. UK and Ireland. Tilgjengelig fra: <http://www.fiveflp.com/>.
- Gressley, T. F., Hall, M. B. & Armentano, L. E. (2011). RUMINANT NUTRITION SYMPOSIUM: Productivity, digestion, and health responses to hindgut acidosis in ruminants1. *Journal of animal science*, 89 (4): 1120-1130.
- Gunun, P., Wanapat, M. & Anantasook, N. (2013). Effects of physical form and urea treatment of rice straw on rumen fermentation, microbial protein synthesis and nutrient digestibility in dairy steers. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 26 (12): 1689.
- Harstad, M. O. (2000). Effekt av prosessering på stivelse i kraftfôret til drøvtyggere *husdyrforsøksmøte 2000 - Institutt for husdyrfag, Norges landbrukshøgskole*, 5: 5.

- Herd, T. H. & Sayegh, A. I. (2013). *Physiology of the Gastrointestinal Tract - 31; Digestion: The Fermentative Processes*. FIFTH utg. VETERINARY PHYSIOLOGY, b. 493. Louis, Missouri Cunningham's Textbook of.
- Hermansen, J. E., Nielsen, J. H., Larsen, L. B. & Sejrsen, K. (2003). Mælkens sammensætning og kvalitet. I: Strudsholm, F. & Sejrsen, K. (red.) b. 407 *Kvægets Ernæring Og Fysiologi - Fodring og produktion Bind 2*, s. 341-366. Danmark: Danmarks jordbrugsForskning.
- Highstreet, A., Robinson, P. H., Robison, J. & Garrett, J. G. (2010). Response of Holstein cows to replacing urea with a slowly rumen released urea in a diet high in soluble crude protein. *Livestock Science*, 129 (1): 179-185.
- Hobson, P. N. & Stewart, C. S. (2012). *The rumen microbial ecosystem*: Springer Science & Business Media.
- Huhtanen, P. & Vanhatalo, A. (1997). Ruminal and total plant cell-wall digestibility estimated by a combined in situ method utilizing mathematical models. *British Journal of Nutrition*, 78 (4): 583-598.
- Huhtanen, P., Rinne, M. & Nousiainen, J. (2007). Evaluation of the factors affecting silage intake of dairy cows: a revision of the relative silage dry-matter intake index. *Animal*, 1 (5): 758-770.
- Huhtanen, P., Seppälä, A., Ahvenjärvi, S. & Rinne, M. (2008). Prediction of in vivo neutral detergent fiber digestibility and digestion rate of potentially digestible neutral detergent fiber: Comparison of models. *Journal of animal science*, 86 (10): 2657-2669.
- Huhtanen, P., Cabezas-Garcia, E. H., Krizsan, S. J. & Shingfield, K. J. (2015). Evaluation of between-cow variation in milk urea and rumen ammonia nitrogen concentrations and the association with nitrogen utilization and diet digestibility in lactating cows. *Journal of dairy science*, 98 (5): 3182-3196.
- Hvelplund, T., Madsen, J., Misciattelli, L. & Weisbjerg, M. R. (2003a). Proteinomsætningen i mave-tarmkanalen og dens kvantificering. I: Hvelplund, T. & Nørgaard, P. (red.) b. 635 *Kvægets ernæring og fysiologi - Næringsstofomsætning og fodervurdering Bind 1*, s. 281-308. Danmark: Danmarks jordbrugsForskning.
- Hvelplund, T., Madsen, J. & Weisbjerg, M. R. (2003b). Protein vurdering. I: Hvelplund, T. & Nørgaard, P. (red.) b. 635 *Kvægets ernæring og fysiologi - Næringsstofomsætning og fodervurdering Bind 1*, s. 583-602. Danmark: Danmarks jordbrugsForskning.
- Institute, S. (2012). SAS 9.4 for windows. *SAS Institute Inc., Cary, NC, USA*.



- Jenkins, T. C. (1993). Lipid Metabolism in the Rumen. *Journal of Dairy Science*, 76 (12): 3851-3863.
- Khatab, I. M., Salem, A. Z. M., Abdel-Wahed, A. M. & Kewan, K. Z. (2013). Effects of urea supplementation on nutrient digestibility, nitrogen utilisation and rumen fermentation in sheep fed diets containing dates. *Livestock Science*, 155 (2): 223-229.
- Khorasani, G. R., Okine, E. K. & Kennelly, J. J. (2001). Effects of Substituting Barley Grain with Corn on Ruminant Fermentation Characteristics, Milk Yield, and Milk Composition of Holstein Cows. *Journal of Dairy Science*, 84 (12): 2760-2769.
- Kleen, J. L., Hooijer, G. A., Rehage, J. & Noordhuizen, J. (2003). Subacute ruminal acidosis (SARA): a review. *Transboundary and Emerging Diseases*, 50 (8): 406-414.
- Kotb, A. R. & Luckey, T. D. (1972). Markers in nutrition. *Nutr Abstr Rev*, 42 (3): 813-45.
- Kristensen, N. B., Hvelplund, T., Weisbjerg, M. R. & Nørgaard, P. (2003a). Mikrobiel omsætning i formaverne. I: Hvelplund, T. & Nørgaard, P. (red.) b. 635 *Kvægets ernæring og fysiologi. Bind 1 - Næringsstofomsætning og fodervurdering*, s. 211-235. Danmark: Danmarks jordbrugsForskning.
- Kristensen, N. B., Weisbjerg, M., R., Børsing, C. F., Aaes, O. & Nørgaard, P. (2003b). Malkekoens energiforsyning og produktion. I: Strudsholm, F. & Sejrsen, K. (red.) b. 407 *Kvægets ernæring og fysiologi - Bind 2 - Fodring og produktion*, s. 73-103. Danmark: Danmarks jordbrugsForskning.
- Kukontrollen. (2008). Årsstatistikk for Kukontrollen 2008 (landet) (11691 buskaper). I: *Husdyrkontrollen - Medlem Tine*. Tilgjengelig fra: [medlem.tine.no/minedata-kk/#/reports/statistics/report?selectedId=0&grouping=Country&timeSpan=annual&timeSpanYear=2017&timeSpa...](http://medlem.tine.no/minedata-kk/#/reports/statistics/report?selectedId=0&grouping=Country&timeSpan=annual&timeSpanYear=2017&timeSpa...) (lest 20.03.2018).
- Kukontrollen. (2017). Årsstatistikk for Kukontrollen 2017 (landet) (6333 buskaper). I: *Husdyrkontrollen - Medlem Tine*. Tilgjengelig fra: [medlem.tine.no/minedata-kk/#/reports/statistics/report?selectedId=0&grouping=Country&timeSpan=annual&timeSpanYear=2017&timeSpa...](http://medlem.tine.no/minedata-kk/#/reports/statistics/report?selectedId=0&grouping=Country&timeSpan=annual&timeSpanYear=2017&timeSpa...) (lest 20.03.2018).
- Kung, L. & Rode, L. M. (1996). Amino acid metabolism in ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 59 (1): 167-172.
- Kung, L., Stokes, M. R. & Lin, C. J. (2003). Silage Additives. I: Buxton, D. R., Muck, R. E. & Harrison, J. H. (red.) *Agronomy Monograph*, b. 42 *Silage Science and Technology*, s. 305-360. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America.

- Landbruks- og Matdepartementet. (2011). *Landbruks- og Matpolitikken — Velkommen til bords. Meld. St. 9* Landbruks- og matpolitikken — Velkommen til bords, b. 300. Bergen: Fagbokforlaget.
- Landbruks- og Matdepartementet. (2016). *Endring og utvikling- En fremtidsrettet jordbruksproduksjon. Meld. St. 11.* Endring og utvikling- En fremtidsrettet jordbruksproduksjon. Meld. St. 11, b. 161: Fagbokforlaget.
- Landbruksdirektoratet. (2017a). Råvareforbruk til kraftfôr til husdyr i Norge. I: Landbruksdirektoratet (red.). *Råvareforbruk til kraftfôr til husdyr i Norge 2016.* <https://www.landbruksdirektoratet.no/no/produksjon-og-marked/korn-og-kraftfor/marked-og-pris/statistikk>. 1 s.
- Landbruksdirektoratet. (2017b). *Salg av kraftfôr.* Landbruksdirektoratet (red.). Statistikk over salg av kraftfôr til husdyrbrukere. <https://www.landbruksdirektoratet.no/no/produksjon-og-marked/korn-og-kraftfor/marked-og-pris/statistikk>.
- Linstad, P. (2007). Metodespesifikasjon. I: *Institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap.* Tilgjengelig fra: <https://www.nmbu.no/fakultet/biovit/om/institutt/iha/tjenester/node/10055> (lest 08.04.2018).
- Liu, S., Zhang, R., Kang, R., Meng, J. & Ao, C. (2016). Milk fatty acids profiles and milk production from dairy cows fed different forage quality diets. *Animal Nutrition*, 2 (4): 329-333.
- Ljøkjel, K., Skrede, A. & Harstad, O. M. (2003). Effects of pelleting and expanding of vegetable feeds on *in situ* protein and starch digestion in dairy cows. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 12 (3): 435-449.
- López, S. (2005). In vitro and in situ techniques for estimating digestibility. *Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism, 2nd edn.* CAB International, Wallingford, UK: 87-121.
- Madsen, J. (1985). The basis for the proposed Nordic protein evaluation system for ruminants. The AAT-PBV system. *Acta Agri. Scand*, 25: 9-20.
- Madsen, J., Misciattelli, L., Kristensen, V. F. & Hvelplund, T. (2003). Proteinforsyning til malkekøer: Bind 2-Fodring og produktion. *Djff Rapport*, 54: 113-132.
- Madsen, J. M., Hvelplund, T., Weisbjerg, M. R., Bertilson, J., Olsson, I., Spöndly, R., Harstad, O. M., Volden, H., Tuori, M. & Varvikko, T. (1995). The AAT/PBV protein evaluation system for ruminants. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences, Supplement*, 19: 1-37.

- Mapato, C., Wanapat, M. & Cherdthong, A. (2010). Effects of urea treatment of straw and dietary level of vegetable oil on lactating dairy cows. *Tropical animal health and production*, 42 (8): 1635-1642.
- Maskařová, I. & Vajda, V. (2015). Digestibility of NDF and its effect on the level of rumen fermentation of carbohydrates. *Acta Fytotechnica et Zootechnica*, 18 (4): 110-113.
- Mathiesen, H. F. (2014). Fulldyra jord og dyrkbar jord - en landsoversikt. Ås: Norsk institutt for skog og landskap.
- Mathison, G. W. (1996). Effects of processing on the utilization of grain by cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 58 (1): 113-125.
- Mc Donald, R., Edwards, A., D., G. J. F., Morgan, C. A., A., S. L. & G., W. R. (2011). *Animal Nutrition*. Seventh edition England Pearson Education Limited
- McDonald, P. (1981). *The biochemistry of silage*: John Wiley & Sons, Ltd.
- Membrive, C. M. B. (2016). Anatomy and Physiology of the Rumen. I: *Rumenology*, s. 1-38: Springer.
- Millen, D. D., Pacheco, R. D. L., Cabral, L. D. S., Cursino, L. L., Watanabe, D. H. M. & Rigueiro, A. L. N. (2016). Ruminal Acidosis. I: Millen, D. D., Arrigoni, M. D. B. & Pacheco, R. D. L. (red.) b. 309 *Rumenology*, s. 127-156. Switzerland: Springer.
- Mills, J. A. N., France, J. & Dijkstra, J. (1999). A review of starch digestion in the lactating dairy cow and proposals for a mechanistic model: 1. Dietary starch characterisation and ruminal starch digestion. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 8 (3): 291-340.
- Mo, M. (2005). *Surfôrboka*. Landbruksforlaget, Tun Forlag AS. Oslo.
- Møller, J., Thøgersen, R., Kjeldsen, A. M., Weisbjerg, M. R., Søgaard, K., Hvelplund, T. & F, B. C. (2000). Fodermiddeltabel, Sammensætning og foderværdi af fodermidler til kvæg. I: 91, N. (red.): Landsutvalget for kvæg.
- Månsson, H. L. (2008). Fatty acids in bovine milk fat. *Food & Nutrition Research*, 52: 10.3402/fnr.v52i0.1821.
- Neubauer, V., Humer, E., Kröger, I., Braid, T., Wagner, M. & Zebeli, Q. (2018). Differences between pH of indwelling sensors and the pH of fluid and solid phase in the rumen of dairy cows fed varying concentrate levels. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 102 (1): 343-349.

- NIBIO. (2017). *Resultatkontroll for gjennomføringen av landbrukspolitikken*, b. 243. Omslagsfoto: Adobe - Stock: Norsk Institutt for Bioøkonomi (NIBIO) - Budsjettnemda for jordbruket.
- Nocek, J. E. & Tamminga, S. (1991). Site of digestion of starch in the gastrointestinal tract of dairy cows and its effect on milk yield and composition. *Journal of Dairy Science*, 74 (10): 3598-3629.
- Nordli, N. (2018). *Kommunikasjon angående alkalisk behandling av korn og andre innspill i forbindelse med kraftfôrproduksjon*. Moelven: Strand Unikorn (20. april).
- NorFor. (2007). Nordic Feed Evaluation System - Feed Table. I: *TINE - Norway, VÄXA - Sweden, SEGES - Denmark, RML - Iceland*. Tilgjengelig fra: <http://www.norfor.info/> (lest 10.05.2018).
- Oba, M. & Allen, M. S. (1999). Evaluation of the importance of the digestibility of neutral detergent fiber from forage: effects on dry matter intake and milk yield of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 82 (3): 589-596.
- Oba, M. (2011). Effects of feeding sugars on productivity of lactating dairy cows. *Canadian journal of animal science*, 91 (1): 37-46.
- Offner, A. & Sauvant, D. (2004). Prediction of in vivo starch digestion in cattle from in situ data. *Animal Feed Science and Technology*, 111 (1): 41-56.
- Oosting, S. J. & Waanders, A. (1993). The effect of rumen ammonia nitrogen concentration on intake and digestion of wheat straw by goats. *Animal feed science and technology*, 43 (1-2): 31-40.
- Osbourn, D. F. (1980). *The feeding value of grass and grass products*. Oxford: Blackwell Scientific Publications. 70-124 s.
- Owens, F. N. & Hanson, C. F. (1992). External and Internal Markers for Appraising Site and Extent of Digestion in Ruminants<sup>1</sup>. *Journal of Dairy Science*, 75 (9): 2605-2617.
- Peyraud, J. & Peeters, A. (2016). *The role of grassland based production system in the protein security*, b. 21. 29-43 s.
- Plaizier, J. C., Krause, D. O., Gozho, G. N. & McBride, B. W. (2008). Subacute ruminal acidosis in dairy cows: the physiological causes, incidence and consequences. *Vet J*, 176 (1): 21-31.

- Prestløkken, E. (1999a). In situ ruminal degradation and intestinal digestibility of dry matter and protein in expanded feedstuffs. *Animal Feed Science and Technology*, 77 (1): 1-23.
- Prestløkken, E. (1999b). *Protein value of expander-treated barley and oats for ruminants - Proteinverdi av ekspanderbehandlet bygg og havre til drøvtyggere*. Ås: Department of Animal Science, Agricultural University of Norway, Proteinverdi av ekspanderbehandlet bygg og havre til drøvtyggere.
- Prestløkken, E. (2015). BEHANDLING AV KRAFTFÔR. I: Skrede, A. & Ahlstrøm, Ø. (red.) b. 141 *Kraftfôr*, s. 107-124. Norge: Landbruksbokhandelen.
- Prestløkken, E. (2016). Maxammonbehandlet korn til melkekyr. *Buskap - Fagblad for norske storfebønder*, 100 (3. utgave): 82-83.
- Raastad, N. & Ø., A. (2015). Kraftfôrforsyning i Norge. I: Skrede, A. & Ahlstrøm, Ø. (red.) b. 141 *Kraftfôr*, s. 8-20. Landbruksbokhandleren: Norges Miljø-og Biovitenskapelige Universitet i Ås.
- Randby, Å. T., Weisbjerg, M. R., Nørgaard, P. & Heringstad, B. (2012). Early lactation feed intake and milk yield responses of dairy cows offered grass silages harvested at early maturity stages. *Journal of Dairy science*, 95 (1): 304-317.
- Rustan, C. A. & Drevon, A. C. (2005). Fatty Acids: Structures and Properties *ENCYCLOPEDIA OF LIFE SCIENCES*, 7: 1-2.
- Rustomo, B., AlZahal, O., Cant, J. P., Fan, M. Z., Duffield, T. F., Odongo, N. E. & McBride, B. W. (2006). Acidogenic value of feeds II. Effects of rumen acid load from feeds on dry matter intake, ruminal pH, fibre degradability and milk production in the lactating dairy cow. *Canadian journal of animal science*, 86 (1): 119-127.
- Schei, I., Harstad, M. O. & Taugbøl, O. (2011). Innhold av feittsyrer i norsk mjølk. *TINE Rådgiving, Institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap, UMB*: 5.
- Schepers, A. J. & Meijer, R. G. M. (1998). Evaluation of the Utilization of Dietary Nitrogen by Dairy Cows Based on Urea Concentration in Milk. *Journal of Dairy Science*, 81 (2): 579-584.
- Shi, Y. & Weimer, P. J. (2002). Response surface analysis of the effects of pH and dilution rate on *Ruminococcus flavefaciens* FD-1 in cellulose-fed continuous culture. *Applied and environmental microbiology* 58, 2583 - 2591.

- Shingfield, K. & Garnsworthy, P. (2012). Rumen lipid metabolism and its impacts on milk production and quality. *Recent Advances in Animal Nutrition 2012/Garnsworthy, PC, Wiseman, J.*
- Sjaastad, O. V., Hove, K. & Sand, O. (2010). The digestive system. I: b. 775 *Physiology of Domestic Animals. Edt: Sjaastad, OY, Hove, K. and Sand, O., Edn. 1st, International Book Distributing Co. Lucknow, s. 534-618: Scandinavian Veterinary Press.*
- Smedshaug, C. A. (2012a). Det 21. århundrets utfordring. I: b. 279 *KAN JORDBRUKET FØ VERDEN? Jordbruket og kampen om ressursene*, s. 273-277. Oslo: Universitetsforslaget.
- Smedshaug, C. A. (2012b). Jordbrukspolitikk for det 21. århundret. I: Smedshaug, C. A. (red.) b. 279 *KAN JORDBRUKET FØ VERDEN? jordbruket og kampen om ressursene*, s. 259-271. Oslo: Universitetsforslaget.
- Sniffen, C. J., O'connor, J. D., Van Soest, P. J., Fox, D. G. & Russell, J. B. (1992). A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *Journal of Animal science*, 70 (11): 3562-3577.
- Spanghero, M. & Kowalski, Z. M. (1997). Critical analysis of N balance experiments with lactating cows. *Livestock Production Science*, 52 (2): 113-122.
- SSB. (2017). Husdyrhald. I: (SSB), S. S. (red.). *Husdyrprodusenter per 1. januar*. <https://www.ssb.no/jordhus>.
- Steinshamn, H., Nesheim, L. & Bakken, A. K. (2016). *Grassland production in Norway, Ås*, s. 15-25: NIBIO.
- Stern, M. D., Bach, A. & Calsamiglia, S. (1997). Alternative techniques for measuring nutrient digestion in ruminants. *Journal of Animal Science*, 75 (8): 2256-2276.
- Stone, W. C. (1999). The effect of subclinical rumen acidosis on milk components. *Proceedings - Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers.*: 40-46.
- Stone, W. C. (2004). Nutritional approaches to minimize subacute ruminal acidosis and laminitis in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 87: E13-E26.
- Sutton, J. D. (1989). Altering milk composition by feeding. *Journal of dairy science*, 72 (10): 2801-2814.

- Svihus, B. (2010). Metodespesifikasjon IHA-nrMSP 1159, Stivelse i kornprodukter/gjødsel/vom- og tarminnhold. I: *Institutt for husdyr-og akvakulturvitenskap*, . Tilgjengelig fra: <https://www.nmbu.no/fakultet/biovit/om/institutt/iha/tjenester/node/10055> (lest 08.04.2018).
- Søegaard, K., Hansen, H. H. & Weisbjerg, M. R. (2003). *Fodermidlernes karakteristikk*. DJF rapport - Kvægets ernæring og fysiologi. Bind 1 - Næringsstoffomsætning og fodervurdering, b. 39 - 65. Danmark: Danmarks jordbruksforskning - Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri.
- Tamminga, S. (1992). Nutrition management of dairy cows as a contribution to pollution control. *Journal of Dairy Science*, 75 (1): 345-357.
- Tingstad. (2010). Metodespesifikasjoner IHA-nr.: Msp-1045, Råfett (Accelerated Solvent Extraction, ASE). I: *Institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap*. Tilgjengelig fra: <https://www.nmbu.no/fakultet/biovit/om/institutt/iha/tjenester/node/10055> (lest 08.04.2018).
- Van Houtert, M. (1993). The production and metabolism of volatile fatty acids by ruminants fed roughages: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 43 (3-4): 189-225.
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant* Second Edition. New York: Cornell University 476 s.
- Volden, H. (2011a). Feed calculations in NorFor. I: *NorFor-The Nordic feed evaluation system*, s. 55-58: Springer.
- Volden, H. (2011b). Feed fraction characteristics. I: *NorFor-The Nordic feed evaluation system*, s. 33-40: Springer.
- Volden, H. (2011c). Overall model description. I: *NorFor-The Nordic feed evaluation system*, s. 23-25: Springer.
- Volden, H. & Gustafsson, G. (2011). *Introduction*. NorFor - The Nordic feed evaluation system, b. 21-23: EAAP publication No. 130.
- Volden, H. & Nielsen, N. I. (2011). Energy and metabolizable protein supply. I: *NorFor-The Nordic feed evaluation system*, s. 81-84: Springer.
- Wanapat, M., Sundstøl, F. & Garmo, T. H. (1985). A comparison of alkali treatment methods to improve the nutritive value of straw. I. Digestibility and metabolizability. *Animal Feed Science and Technology*, 12 (4): 295-309.

- Wanapat, M., Polyorach, S., Boonnop, K., Mapato, C. & Cherdthong, A. (2009). Effects of treating rice straw with urea or urea and calcium hydroxide upon intake, digestibility, rumen fermentation and milk yield of dairy cows. *Livestock Science*, 125 (2): 238-243.
- Wattiaux, M. A. (1998). *LIPID METABOLISM IN DAIRY COWS*. Grummer, R. R. utg. Babcock Institute for International Dairy Research and Development, b. 13-16. University of Wisconsin-Madison: Department of Dairy science
- Wattiaux, M. A. & Howard, W. T. (2000). *Digestion in the dairy cow*, 4. Wisconsin: Babcock Institute for International - Dairy Research and Development.
- Weisbjerg, M. R., Hvelplund, T., Hellberg, S., Olsson, S. & Sanne, S. (1996). Effective rumen degradability and intestinal digestibility of individual amino acids in different concentrates determined in situ. *Animal Feed Science and Technology*, 62 (2-4): 179-188.
- Weisbjerg, M. R. & Hvelplund, T. (2003). Metoder til bestemmelse af kemisk sammensætning og tilgængelighed. I: Hvelplund, T. & Nørgaard, P. (red.) b. 635 *Kvægets ernæring og fysiologi - Næringsstofomsætning og fodervurdering Bind 1*, s. 69-86. Danmark: Danmarks jordbruksforskning.
- Weisbjerg, R. M., Lund, P. & Hvelplund, T. (2003). Kullhydratomsætning i mave tarmkanalen. I: Hvelplund, T. & Nørgaard, P. (red.) b. 239-276 *Kvægets ernæring og fysiologi - Næringsstofomsætning og fodervurdering Bind 1*, s. 618. Danmark: Danmarks jordbruksforskning
- Zhu, Z., Kristensen, L., Højberg, O., Poulsen, M., Lassen, J., Noel, S. J. & Løvendahl, P. (2014). *Variation among dairy cows in rumen liquid fermentation characteristics*. Proceedings, 10th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production. 17-22 s.
- Ørskov, E. R. & McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *The Journal of Agricultural Science*, 92 (2): 499-503.
- Øverland, M. & Skrede, A. (2015). FEITT I KRAFTFÔR. I: Skrede, A. & Ahlstrøm, Ø. (red.) b. 141 *Kraftfôr*, s. 67-77. Ås Landbruksbokhandelen Norges miljø- og biovitenskapelige universitet - Husdyr og akvakulturvitenskap
- Åkerlind, M., Weisbjerg, M. R., Eriksson, T., Tøgersen, R., Udén, P., Ólafsson, B. L., Harstad, O. M. & Volden, H. (2011). Feed analyses and digestion methods. I: *NorFor-The Nordic feed evaluation system*, s. 41-54: Springer.





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

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway