

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP



Forord

For mange år siden bestemte jeg meg for at jeg skulle begynne på Ås (den gang Landbrukshøgskole). Målet mitt var satt, da var det bare å jobbe. Da jeg fortalte folk at jeg skulle begynne på Ås var standard svaret: «ååå skal du bli bonde», måtte le litt da og selvfølgelig forklare at det nå var høyere utdanning man tok på Ås. Har alltid vært glad i dyr og spesielt kuer som ligger mitt hjerte nært, og da er det de spesielle kuene i avlsfjøset som jeg tenker på. Jeg har vært så heldig og fått jobbet i avlsfjøset alle åra jeg har vært på Ås. Jeg vil takke Reidar Ødegård for at han turte å ansette meg, og for alt han har lært meg om disse flotte dyr. Jeg kommer aldri til og glemme kuene der og alle folkene som har gjort stede til noe spesielt.

Gjennom mine år her har jeg fått mange nye venner og opplevd mye. Har hatt mange vanskelige fag og mange engasjerende fag. Det var under en forelesning jeg første gang hørte om metan og da var det selveste Erling Thuen som snakket om dette tema, jeg ble så engasjert i at jeg bare måtte skrive master om dette. Erling Thuen og Torstein Garmo har vært mine trofaste veiledere som har engasjert meg i temaet og hjulpet meg gjennom hele oppgaven. Vil takke de for deres hjelp. Vil takke Tonje Storlien for hjelp på statistikken.

Men sist men ikke minst takker jeg familien Lindberg i Vardø og i Oslo for deres støtte og for hundene mine som har dratt meg gjennom Ås gatene og holdt meg i form. Da gjenstår det bare å si god lesing og håper oppgaven faller i smak for alle som leser den.

Ås, 14 mai 2012

Victoria Ollila

Sammendrag

Hovedmålet med denne masteroppgaven var å se på a) effekten av stigende mengde NDF i grassurfôr på metanproduksjonen hos lakterende og tørre kyr og b) om produksjonsnivået påvirker metanproduksjonen hos melkekyr. Masteroppgaven består av en litteraturred og en forsøksdel.

Det har de siste tiår vært en økende interesse for klimagassenes påvirkning på den globale oppvarmingen. Metan (CH_4) er den nest største klimagassen etter karbondioksid (CO_2). Metan har 21 ganger større effekt som klimagass enn karbondioksid. Metanproduksjon fra drøvtyggere er en stor kilde til den globale oppvarmingen. Globalt produserer drøvtyggere 80 millioner tonn metan hvert år. Metan er et biprodukt av fermenteringsprosessene i vomma. Det er i hovedsak fermentering av karbohydrat og forholdet mellom de flyktige fettsyrene (VFA) som påvirker metanproduksjonen i vomma. Det er estimert at melkekyr slipper ut mellom 250 -500 liter metan per dyr og dag, og om lag 8-12 % fordøyelig energi går tapt i form av metan.

Mengden av metan som produseres kan påvirkes av flere faktorer, blant annet type karbohydrat i rasjonen, rasjonssammensetning, fôropptaket, produksjonsnivå, passasjehastighet av fôret gjennom vomma og miljøfaktorer som temperatur. Fôrkomponenter som fett/olje og tanniner kan redusere metanproduksjonen.

Forsøkene som ligger til grunne for denne masteroppgave ble gjennomført på stoffskifteavdelingen ved Institutt for Husdyr- og Akvakultur (IHA), Universitet for Miljø og Biovitenskap (UMB) i 2008/2009. I det første forsøket ble det brukt seks vomfistulerte melkekyr i midtlaktasjon som hadde mellom 1-4 laktasjoner. Kyrne fikk tre forskjellige surfôrkvalliteter med ulikt NDF nivå. De fikk også to forskjellige nivå av kraftfôr, Kraftfôret var produsert uten NDF. Kyrne som fikk surfôret med lavest innhold av NDF hadde høyere surfôropptak og høyere

konsentrasjon av propionsyre: eddiksyre i vomma sammenlignet med kyrne som hadde middels og høgt innhold av NDF i surfôret. De hadde også lavere metanproduksjon per kg tørrstoffopptak og per kg EKM. Det var ingen forskjell i totalproduksjonen av metan per ku og dag mellom de tre NDF nivåene i surfôret.

Forsøk 2 omfattet fire vomfistulerte tørre melkekyr hvorav alle var med i forsøk 1. Kyrne var i middel 238 dager etter kalving og i middel 30 dager ut i tørrperioden. De fikk to forskjellige surfôrkvaliteter med ulike NDF nivå. Kyrne fikk også to forskjellige kraftfôrnivå. Kyrne som fikk surfôret med lavest innhold av NDF hadde lavere opptak av NDF per kg tørrstoff sammenlignet med høgest innhold av NDF i surfôret.

Det var ingen forskjell i totalproduksjonen av metan g per dag mellom de to NDF nivåene i surfôret. Metanproduksjonen målt i per kg NDF opptak var høyere for kyrne som fikk surfôr med lavest innhold av NDF.

Abstract

The main objective of this master thesis was to study a) the effect of increasing amount of NDF in forage on methane production in lactating and dry cows and b) if the production levels influence methane production in dairy cows. The thesis consists of a literature study and an experimental part.

It has in the recent decades been increasing interest in the greenhouse effect on global warming. Methane (CH₄) is the second largest greenhouse gas after carbon dioxide (CO₂). Methane is 21 times more effective as a greenhouse gas than carbon dioxide. Methane production from ruminants is a major source of global warming. Globally, ruminants produce 80 million tons of methane every year. Methane is a byproduct in rumen fermentation. It is mainly carbohydrate and the ration of the volatile fatty acids that affect methane emission in the rumen. It is estimated that cows emit between 250 - 500 liter methane per animal and day, and about 8 -12 % digestible energy is lost in the form of methane.

The amount of methane produced can be influenced by several factors including type of carbohydrate in the ration, feed intake, production level, the passage rate of feed through the rumen, and environmental factors like temperature. Feed components as fat/oil and tannins can reduce methane production.

The present experiment was conducted at metabolic ward on department of Animal and Aquaculture Sciences (IHA), University of Life Science (UMB) 2008 and 2009. In the first experiment were 6 ruminally cannulated milking cows in middle of lactation from 1-4 lactation. The cows got 3 different silage qualities with different NDF levels. They also got 2 different levels of concentrate, the concentrate were produced without NDF. The cows receiving silage with lowest content of NDF had higher silage intake and higher ratio of propionic acid: acetate in the rumen when compared with other qualities. They also had lower enteric methane emission measured in per kg dry matter intake and EKM per day. There was no difference in overall production in enteric methane emission per cow and day between the three levels of NDF in the forage.

Experiment 2 included 4 ruminally cannulated dry cows which all took part in experiment 1. The cows were in middle 238 days after calving and middle 30 days into the dry period. They had 2 different NDF levels in the silage cows also had 2 different concentrate levels.

The cows receiving silage with the lowest content of NDF had a lower intake of NDF per kg dry matter when they were compared with silage with highest content of NDF. There was no difference in total production of methane g per day between the two NDF levels in silage.

Methane productions in terms of per kg NDF intake were highest for cows receiving silage with the lowest content of NDF.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	1
Sammendrag	2
Abstract	4
1.0 Innledning	8
2.0 Teoridel	10
2.1 Dannelse av metan	10
2.1.1 Mikroorganismer.....	10
2.1.2 Hydrogen.....	11
2.2 Hovedprinsipper i vomfermentering.....	15
2.2.1 Vommiljø og mikroorganismer.....	15
2.3. Nedbryting av hovednæringsstoffer.....	16
2.3.1 Karbohydrat	16
2.3.2 Fett	17
2.3.3 Protein	18
2.4 Faktorer som påvirker metanproduksjon	19
2.4.1 Botanisk sammensetning	19
2.4.2 Utviklingstrinn	19
2.4.3 Struktur	21
2.4.4 Gjæringskvalitet.....	23
2.5 Forhold ved fôrtildeling	24
2.5.1 Forhold grovfôr: kraftfôr.....	24
2.5.2 Kraftfôrtype.....	26
2.5.3 Fôrnivå	27
2.5.5 Fettinnhold	28
2.6 Egenskaper ved dyret.....	29

2.6.1 Raser	29
2.6.2 Størrelse	30
2.6.3 Laktasjonsstadium/laktasjonsnummer	31
2.6.4 Produksjonsform	32
2.6.5 Produktivitet.....	33
3.0 Materiale og metoder	35
3.1. Dyrematriale	35
3.1.2 Forsøksopplegg.....	37
3.1.3 Fôrmidler og fôringsrutiner.....	40
3.1.4 Prøvetaking og analysering.....	44
3.2 Måling av metan	47
4.0 Resultater	54
4.1 Kjemisk sammensetning av grovfôr og kraftfôr	54
4.2 Fôropptak	56
4.3 Syreproduksjon og pH i vom	58
5.0 Diskusjon	60
5.1 Fôropptak og produksjon	60
5.2 Vomfermentering og metanproduksjon	61
5.3 Produksjonsnivå (Lakterende sammenlignet med tørre melkekyr).	64
6.0 Konklusjon.....	69
7.0 Litteraturliste.....	70
Vedlegg 1	75

1.0 Innledning

I dagens samfunn fokuseres det mye på klimagasser og hvilke konsekvenser disse utslippene har for temperatur utviklingen på kloden. Gjennom de siste tiår er det observert en gjennomsnittlig økning i den atmosfæriske temperaturen noe som har ført til økt fokus på de menneskeskapt (antropogene) klimaforandringer (Moss et al 2000). I 1998 skrev Norge under Kyoto-avtalen som setter begrensninger for våre utslipp. Det er ønskelig å redusere det samlede internasjonale klimagassutslippet med 5 % under 1990-nivå i perioden 2008 – 2012.

De mest aktuelle klimagassene er karbondioksid (CO₂), metan (CH₄) og lystgass (N₂O). Metan for mye oppmerksomhet da det er en sterk klimagass. Utreknet i CO₂ ekvivalent har metan 21 ganger større negativ effekt en CO₂ (Weisbjerg et al. 2000).

Tabell 1. Oversikt over de globale utslipp av aktuelle klimagasser (Statistisk & Sentralbyrå 2010; Miljøstatus 2012)

Globalt	
Karbondioksid (CO ₂)	30 000 millioner tonn
Metan (CH ₄)	80 millioner tonn
Lystgass (N ₂ O)	
Nasjonalt	
Karbondioksid (CO ₂)	42,8 millioner tonn
Metan (CH ₄)	207 tusen tonn
Lystgass (N ₂ O)	10 000 tonn

Landbruket står for ca. 8 % av Norges totale utslipp av klimagasser. Landbruk og avfallsdeponier er de viktigste kildene til metanutslipp i Norge. Metanutslipper fra landbruket kommer nesten utelukkende fra husdyrhold (UMB 2007). Globalt produserer drøvtyggere om lag 80 millioner

tonn metan (CH₄) årlig, hvilket utgjør ca. 28 % av det menneskeskapte forurensing (Beauchemin & McGinn 2008).

Drøvtyggere er forskjellig fra enmagede dyr ved at største delen av karbohydrat nedbrytinga skjer i vom ved hjelp av mikrobiell nedbryting (Moss et al. 2000). Mengden metan som produserer per ku varierer fra ku til ku men produksjonsforholdene og fôring har en innvirkning på mengden som produseres. I forsøket til Weisberg et al. (2005) produserte kyrne 250 – 300 liter per dag, og i forsøket til Johnson & Johnson (1995) produserte de 250 – 500 liter per dag.

Metan er et biprodukt av den mikrobielle nedbrytingen som skjer i vom og baktarm hos drøvtyggere (O`Mara 2004). Det er estimert at 8-12 % av fordøyelig energi tapes som metan hos melkekyr (Tamminga 1992).

Det er i hovedsak karbohydrat fermenteringen og forholdet mellom de ulike flyktige fettsyrene (VFA) produktene som påvirker mengden metan som dannes (Jentsch et al. 2007). Siden metanproduksjon har sammenheng med fôropptaket og fordøyeligheten av fôret (Sirohi & Michaelowa 2007) er det interessant å undersøke hvordan metan dannes, hva en kan gjøre for å redusere utslippet av metan, men samtidig ivareta drøvtyggernes helse, produksjonseffektivitet og produktkvalitet.

Denne oppgaven består av to deler. Den første delen er en litteraturredel som omhandler hvordan metan produseres hos drøvtyggere og ulike faktorer som påvirker produksjonen av metan i vomma. Del to: er egne undersøkelser og omhandler to forsøk med melkekyr som ble gjennomført på stoffskifteavdelingen ved Institutt for husdyr-og akvakultur (IHA), Universitet for miljø og biovitenskap (UMB) i 2008/2009. Formålet med forsøkene var å undersøke effekten av NDF-nivå i grassurfôr på metanproduksjon hos lakterende kyr (Forsøk 1) og tørre kyr (Forsøk 2). De to forsøkende gjør det også mulig å undersøke effekten av produksjonsnivå (lakterende versus tørre kyr) på produksjonen av metan. De to hypotesene som testes er:

1. Vil stigende mengde NDF i grassurfôret påvirke metanproduksjonen hos lakterende og tørre kyr.
2. Vil produksjonsnivået påvirke metanproduksjonen hos melkekyr

2.0 Teoridel

2.1 Dannelse av metan

Metan er en fargeløs, luktfri og antenneilig gass som bl.a. dannes ved anaerob, forråtnelse av planter. Metan kan dannes i fordøyelseskanalen hos de fleste husdyr (Weisbjerg et al. 2005). Nesten all CH₄ som produseres av drøvtyggerne kommer fra vomfermentering (Wolin & Miller 2006). Hos drøvtyggere slippes metan ut på to måter: 11 % slippes ut gjennom baktarm og 89 % utåndes eller rapes opp (Murray et al. 1976). Mengden metan som produseres påvirkes av mange faktorer; type karbohydrat i dietten, fôropptak, produksjonsnivå, passasjehastighet, antibiotika, mengden fett i rasjonen og miljøfaktorer som temperatur (McAllister et al. 1996).

2.1.1 Mikroorganismer

Det mikrobielle økosystemet som finnes i vomma er unikt og satt sammen av komplekse anaerobe bakterier. Noen av mikroorganismene som finnes i vomma er metanogene Archea, protozoer og sopp. Deres jobb er å bryte ned de strukturertekarbohydratene til eddiksyre, propionsyre og smørsyre. I denne nedbrytingen dannes også gassene CH₄ og CO₂ (Armentano 1992). De fleste metanogene bakterier vokser ved nøytral pH, mellom 6 og 8. Men noen av artene kan trives med ekstreme pH-verdier fra 3 til 9.2 (Jones et al. 1987). De har en merkverdig tilpassingsdyktighet til en energimetabolisme (Jones et al. 1987) og skiller seg fra andre bakterier ved at de har forskjellig celleveggoppbygging og fettsammensetning og RNA sekvenser (Miller 1995). De metanogene bakteriene bruker hydrogengass og CO₂ for syntetisering av metan (Ellis et al. 2008).

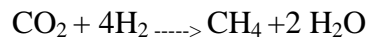
Vogels et al. (1980) fant i sitt forsøk at også protozoa hadde en rolle i metanproduksjonen. Nesten alle bakteriene som var festet til protozoa var metanogene bakterier. De metanogene bakteriene er hydrofobe og er derfor festet til fôrpertikler og på andre overflater som nettopp protozoa (Boadi et al. 2004). Det er også vist at cellolytiske bakterier transporterer hydrogen til de metanogene bakteriene (Demeyer 1981).

2.1.2 Hydrogen

Under aerobe forhold ville pyruvat, som er dannet i glukolysen, gått inn i sitronsyklusen for videre omdannelse til karbondioksid og vann. NADH (energibærer) produsert i glykolysen ville blitt oksidert i cytokrom-oksidase-systemet etterfulgt av produksjon av ATP (energibærer) og gjendannelse av NAD (Herdt 2002). I vomma er det anaerobe forhold og det er ikke atmosfærisk oksygen tilstede. Oksygen fungerer som endelig elektronakseptor, når oksygen ikke er tilstede må andre forbindelser enn oksygen reduseres for at kofaktorene skal reoksideres (Kristensen et al. 2003). Bakteriene i vomma har utviklet ulike fermenteringsruter for videre omsetning av pyruvat, som muliggjør reoksidering av reduserte kofaktorer. De viktigste produktene fra disse omsetningsrutene er VFA (eddiksyre, propionsyre og smørsyre), gassene karbondioksid og metan, ATP og reduserte kofaktorer (Herdt 2002). På denne måten vil videre redusering av pyruvat føre til gjendannelse av NAD og generell fjerning av overskuddselektroner med ytterligere produksjon av ATP (Herdt 2002). Siden NADH ikke kan utveksles mellom celler, må mikrober med overskudd av redokselektroner fra omsetning av pyruvat reoksidere NADH ved å redusere hydrogenioner til hydrogengass, som skilles ut i vomvæska og tas opp av andre bakterier for videre omsetning (Kristensen et al. 2003). Utskilt hydrogen fjernes hovedsakelig ved at de metanproduserende bakteriene syntetiserer metan med utgangspunkt i hydrogengass og karbondioksid, for å skaffe energi til vekst (Herdt 2002, Miller 1995).

Omtrent 4,5 g metan blir dannet for hver 100 g med karbohydrat som fordøyes. Metan representerer et tap av fordøyelig energi. Ved å redusere produksjonen av CH_4 kan en redusere energitapet (Beauchemin et al. 2008). Det er estimert at melkekyr har et energitap på om lag 8-12 % av fordøyelig energi i form av CH_4 (Tamminga 1992). Mesteparten av gassen som produseres går tapt ved raping. Produksjon av metan i vomma er et resultat av anaerob fermentering, men det foregår også noe produksjon av metan i tarmen.

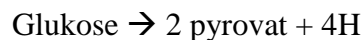
Noe CO₂ blir redusert med hydrogen for produksjon av metan:(O`Mara 2004)



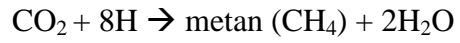
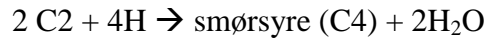
Mengdene av produsert H₂ varierer med hvilke flyktige fettsyrer som blir produsert. Smørtsyre og eddiksyre gir overskudd av H₂, mens H₂ blir forbrukt ved produksjon av propionsyre (Figur 1). Om karbohydratene blir omgjort til propionsyre, smørtsyre eller melkesyre vil dehydrogenase skaffe en alternativ måte for den reduserte ekvivalent. Tilgjengelighet av Adenosin 5`-trifosfat (ATP) er bestemt av den reduserte ekvivalent. Når hydrogenaseaktivitet er koblet til eddiksyreproduksjon, kan ATP-utbyttet fra hexose være så stor som 4 mol/mol, mens ATP utbyttet fra smørtsyre og melkesyre er bare 3 og 2 mol/mol. ATP- utbytte fra propionsyre kan være like stort som fra eddiksyre (Russell & Rychlik 2001).

Metabolsk hydrogen i form av reduserte protoner (H) kan brukes under syntese av flyktige fettsyrer, eller ved inkorporering av mikrobielt organisk materiale. Kjemisk ligning av de vanligste anaerobe fermenterings- rutene kan oppsummeres på følgende måte (O`Mara 2004)

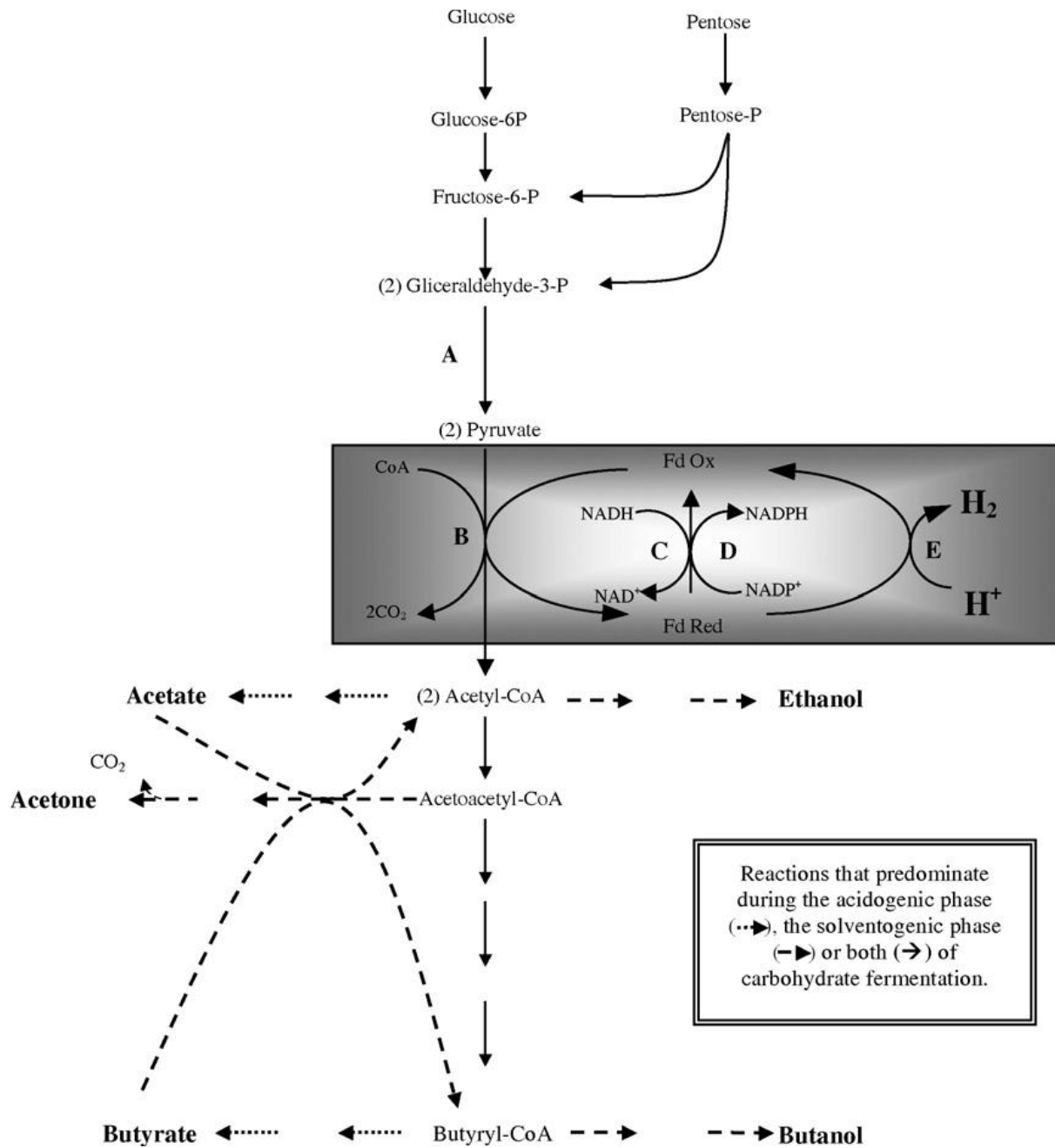
Hydrogenproduserende reaksjoner:



Hydrogenbrukende reaksjoner:



Noen av bakteriene og soppene vomma fermenterer hexose til to molekylar eddiksyre, fire molekylar H_2 , og to molekylar av CO_2 (Miller 1995).



Figur 1. Biokjemiskeruter for omdannelse av karbohydrat til hydrogen, karbondioksid og organiskstoff (Jones & Woods 1986).

2.2 Hovedprinsipper i vomfermentering

2.2.1 Vommiljø og mikroorganismer

Drøvtyggere har ikke egen endogene enzymer til å bryte ned plantenes strukturelle polysakkarider (Hobson 1997). I stedet for enzymer har de da mikrobepopulasjoner i fremre del av fordøyelsessystemet (vomma) som bryter ned polysakkarider (Wolin 1997). Drøvtyggerne lever i symbiose med mikroorganismene. Fôret fordøyes av mikroorganismenes enzymer i vomma, lenger bak i fordøyelsessystemet eksponeres fôret for vertens enzymer (McDonald et al. 2002). De vanligste mikroorganismene i vomma er bakterier, protozoer og sopp. Flesteparten av mikroorganismene i vomma er bakterier og de er også de viktigste. Bakteriene i vomma kan deles i tre grupper: amylolytiske, cellulolytiske og proteolytiske. De amylolytiske bryter ned stivelse til lettløselige karbohydrater og vil raskt øke i antall etter et måltid med mye stivelse. Syra de produserer er hovedgrunnen til at pH faller etter fôring og de amylolytiske bakteriene har stor toleranse for lav pH. De cellulolytiske bakteriene som bryter ned cellulose og hemicellulose tåler ikke lav pH. Og ved pH under 6 vil antallet av de cellulolytiske bakteriene synke og fermenteringa av cellulose minker (Sjaastad et al. 2003). De proteolytiske bakteriene bryter ned protein (Sjaastad et al. 2003).

Når kyrne for det samme fôret hver dag er antall mikrober og fordelingen mellom de ulike mikrobenes relativt konstant, ved hyppig fôrbytte og ved raskt økning i kraftfôrmengdene kan endringen mellom de ulike mikrobepopulasjonene være store (Sjaastad et al. 2003).

2.3. Nedbryting av hovednæringsstoffer

2.3.1 Karbohydrat

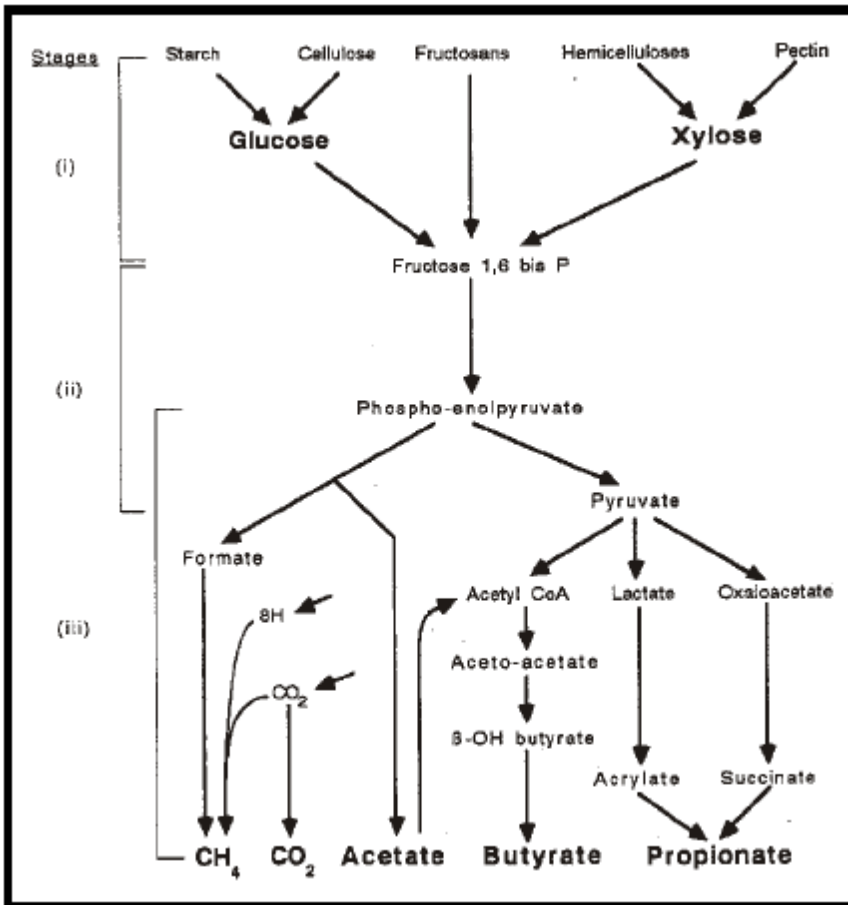
Karbohydrater er en viktig del i fôrrasjon til drøvtyggerne. De utgjør ca. 85 % av bruttoenergien (Sjaastad et al. 2003). I gruppen karbohydrater inngår celleinnholdet; sukker, stivelse og fruktaner, og celleveggstoffer som pektiner, cellulose og hemicellulose (Weisbjerg et al. 2003).

Planter inneholder forskjellige typer karbohydrat som kan brytes ned i vomma, med unntak av de som er bundet til eller maskert av lignin (Sjaastad et al. 2003). Fermenteringen av karbohydrat bidrar med både energi til vedlikehold og syntese av mikrobielt materiale i vom og karbonatomer til produksjon av VFA (Weisbjerg et al. 2003).

Den mikrobielle omsetningen og fermenteringsprosessen av karbohydrat i vomma kan dels i to faser (McDonald et al 2002; Wolin 1997). Først bryter hydrolytiske enzymer skilt at av mikrobene ned komplekse karbohydrater som er tilført gjennom fôret til enkle forbindelser (McDonald et al. 2002). Aktiviteten til de ekstracellulære mikrobielle enzymene frigjør glukose, andre monosakkarider og kortkjedede polysakkarider til vomvæska (Herdt 2002). Cellulose brytes ned til cellobiose og videre til glukose eller glukose-1-fosfat (Figur 1). Hemicellulose gir xylose samt uronsyre som omdannes videre til xylose. Uronsyre produseres også fra nedbryting av pektiner som gir xylose. Dannelse av xylose kan også komme fra hydrolyse av xylaner. Stivelse og dextriner omdannes først til maltose og isomaltose, deretter til glukose eller glukose-1-fosfat. Hydrolyse av fruktaner gir fruktose og sukrose, de brytes ned til glukose og fruktose (McDonald et al. 2002). For at bakteriene skal klare å bryte ned uløselig karbohydrat må de feste seg på plantepartiklene. Da kommer bakteriens enzymer i kontakt med fôrpartiklen og en nedbryting kan skje (Sjaastad et al. 2003).

Glukose dannes i første hydrolysetrinn og tas umiddelbart opp av mikroorganismene (McDonald et al. 2002). Den intermediære omsetningen av glukose skjer hovedsakelig gjennom glykolysen eller Emden-Meyerhof-Barnes ruten der glukose omdannes til pyrovat. Pyrovat er en nøkkelmetabolitt (Figur 2) i vomma og er utgangspunktet for dannelse av fermenteringsprodukter (McDonald et al. 2002). Fermenteringen gir produktene eddiksyre, propionsyre og smørsyre, og i

tillegg produseres det CO₂, H₂ og ammoniakk (Dohme et al. 2002; Iqbal et al. 2008). Flyktige fettsyrer (VFA) som produseres i vomma og baktarm, blir brukt som energikilde (Miller 1995). Karbohydrat står for den meste av ATP – produksjonen.



Figur 2. Nedbrytinga av karbohydrat.

2.3.2 Fett

Fôret til drøvtyggerne inneholder naturlig lite fett (mindre enn 50 g/kg) og hvis mengden økes til 100 g/kg eller mer vil dette hemme mikrobeaktiviteten (McDonald et al. 2002).

Lipider i fôret til drøvtyggere kommer fra grovfôret og kraftfôret. Lipider i grovfôret består for det meste av glykolipider og fosfolipider. Komposisjonen av det totale lipidinnholdet i planten domineres av umettet linolen- (C18:3) og linol- (C18:2) fettsyrer. I kraftfôr er det linol- (C18:2) og oljesyre (C18:1) som er de viktigste. Disse er tilstede i triglyserider (Harfoot & Hazlewood 1997).

Hos enmagede dyr blir fett absorbert og fordøyd i tynntarmen. Hos drøvtyggere er situasjonen helt annerledes pga. aktiviteten til mikroorganismene i vomma. Fett i fôrrasjonen blir hydrolysert av mikrobiell lipase. Når frigjorte frie fettsyrer, og umettede fettsyrer er utsatt for biohydrogenering av vommikrobene, er sluttproduktet av denne hydrogeneringen stearinsyre (C18:0) (Harfoot & Hazlewood 1997). Kortkjededede fettsyrer tas opp gjennom vommveggen, men de langkjededede fettsyrene må fraktes til tynntarmen for absorpsjon (McDonald et al. 2002).

2.3.3 Protein

Fordøyelsen av protein i vomma er en komplisert prosess slik det meste av fordøyelsen i vomma er. Fôrprotein blir hydrolysert av vommikrobene som skiller ut protolytiske enzymer (Harstad 1994). Fôret inneholder protein og ikkeprotein- N (NPN). Selve proteinet deles inn i fordøyelig og ufordøyelig, der den ufordøyelige delen går ufordøyd gjennom vomma til tynntarmen og fordøyes der. Fordøyelig protein blir hydrolysert av bakteriene og brytes ned til peptider og deretter til aminosyrer og noe av aminosyrene blir brutt ned til ammoniakk. Ammoniakk absorberes fra fordøyelseskanalen og transporteres med portåreblodet til lever og omdannes til urea. Urea overføres til fordøyelseskanalen via spytt og ved diffusjon gjennom veggen i fordøyelseskanalen, eller utskilles i urinen (O'Mara 2004). Produsert ammoniakk sammen med små peptider og frie aminosyrer, blir brukt av organismene i vomma for syntese av mikrobeprotein (McDonald et al. 2002). Noe av det mikrobielle proteinet blir brutt ned i vomma og nitrogenet blir dermed resirkulert. Når organismene føres ut av vomma og til tynntarm blir celleproteinet fordøyd og absorbert. NPN- delen brytes ned til ammoniakk (McDonald et al. 2002).

2.4 Faktorer som påvirker metanproduksjon

2.4.1 Botanisk sammensetning

Produksjonen av CH₄ (g/kg ts) hos kyr som er fôret med belgvekster er vanligvis lavere (Dohme et al. 2002; Miller 1995) men ikke alltid (Van Dorland et al. 2007) enn hos kyr med en grasdominerende diet. Lavere metanutslipp hos kyr som er fôret med belgvekster forklares ofte med høgrer tannininnhold, lavere fiberinnhold, høg fordøyelighet og en raskere passasjehastighet enn for de vanligste grassortene (Beauchemin et al. 2008).

En forventer en nedgang i metanproduksjonen når fôrets oppholdstid i vomma er kort: ved rask passasjehastighet klarer ikke de metanogene bakteriene å konkurrere like bra som andre typer bakterier. En rask passasjehastighet favoriserer også produksjonen av propionsyre som bruker hydrogen (Aaes et al. 2003).

Forsøk utført av Van Dorland et al. (2007) viste imidlertid ingen forskjell i metanproduksjonen ved bruk av rødkløver eller hvitkløver og resultatene deres indikerte at det ikke var noen sammenheng mellom økt passasjehastighet og fordøyelighet på metanproduksjon.

2.4.2 Utviklingstrinn

På et tidlig utviklingstrinn utgjør celleinnholdet i plantene ca. 65 % av den totale plantemassen og celleveggene bare 35 %, da har fôret høg fornøyelighet og høg fôrverdi (Mo 2005). Mengden

av cellulose som fordøyes i vomma avhenger av lignifiseringsgraden av plantematerialet. Lignin og cutin er resistent mot angrep fra anaerobe bakterier (McDonald et al. 2002). Surfôr som inneholder lite lignin i celleveggene har ganske høg fordøyeligheten av celleveggene. Høster enn graset seint vil det inneholder mye lignin i forhold til ungt beitegress (Mo 2005).

Hvor langt graset har kommet i morforlogisk utviklingstrinn, påvirker passasjehastigheta av fôret i vomma. Fôrpartiklene i vomma kan oppholde seg der i 1-2 døgn før de blir brutt ned eller skylt ut av vomma. De store partiklene ligger øverst i vomma, der skjer det en selektiv tilbakeholdning av de store fiberholdige og ufordøyde partikler (Figur 3). Den selektive tilbakeholdelsen av fiber i formagene fører til nedsatt passasjehastighet og lavere fôropptak. Ved økt innhold av fiberrikt grovfôr i rasjonen stiger pH i vom og andelen eddiksyre øker på bekostning av propionsyre (Ingvarsen & Kristensen 2003). Små partikler blir fordøyd raskere enn store partikler fordi mer av overflaten er tilgjengelig per volum. Hos drøvtyggere vil fôrpartikler reduseres ved hjelp av drøvtygging (Moss et al. 2000).

Metan produksjonen er primært påvirket av mengden og kvaliteten på fôret, som påvirker hastigheten på fordøyelsen og passasjehastigheten i fermenterings-prosessene (Beauchemin et al. 2008).

Forsøk utført av Jentsch et al. (2007) og Tamminga (1992) viste at fôring med surfôr av dårlig kvalitet ga et høgere CH₄ produksjon både ved *ad libitum* og restriktiv foring.

Den botaniske komposisjonen av graset i beitemarka forandrer seg gjennom sesongen (Ulyatt et al. 2002). Forsøket til Ulyatt et al.(2002) viste forskjeller i den botaniske sammensetningen ved fire forskjellige beitestadier (Tabell 2). Kløver andelen gikk ned fra mars til juni og videre til juli. I mars var det en stor andel med dødt gras. Stengler av gras var kun til stede i november. Det var statistisk signifikant forskjell i metanproduksjonen mellom de ulike beitemånedene (Ulyatt et al. 2002). September og november ga en høgere metanproduksjon sammenlignet med mars og juni (Tabell 2).

Tabell 2. Botanisk sammensetning av beite (% av tørrstoffavling) og metanproduksjon (Ulyatt et al 2002).

Måned	Flerårig raigras	Andre gress typer	Hvitkløver	Andre arter	Dødt materiale	Metan, g/dag
September	63,0	23,0	11,0	2,1	0,9	431
November	56,1	24,2	17,9	-	1,1	248
Mars	38,7	36,1	5,9	-	19,3	182
Juni	60,7	31,6	3,8	2,0	2,0	137

Et annet forsøk gjort ved ulike beitestadier viser samme tendens som forsøket til Ulyatt et al. (2002). Boadi et al. (2002) sitt forsøk viser at det tidligste beitestadiet ga mindre metanproduksjon sammenlignet med senere beiteperiodene (Tabell 3). Dette forsøket antyder også at beitekvalitet og tilskuddsfôring med korn spiller en betydelig rolle for CH₄-produksjon.

Tabell 3. Effekt av tidspunkt i beitesesongen på CH₄ produksjonen hos okser (Boadi et al. 2002).

Dato for beiting	Periode	NDF, g/kg	Beiteopptak, kg ts/dag	CH ₄ L/dag
17-25 Juni	Tidlig	505	12,1	256
20-29 Juli	Midt	542	8,5	364
12-21 August	Seint	529	11,0	342

2.4.3 Struktur

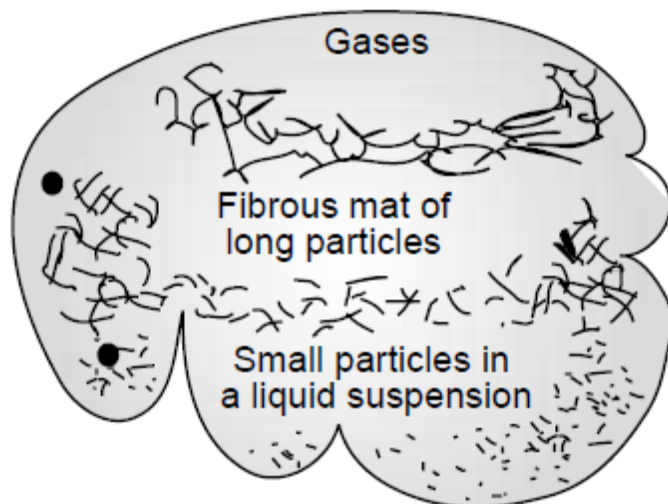
Fyllegraden av vomma er en viktig faktor når det gjelder regulering av fôropptak. Vomvolumet er en fysisk begrensning som bestemmer fôropptaket.

Fyllefaktoren i vomma øker med økt kuttelengde. En kort kuttelengde gir en raskere fermentering og raskere passasjehastighet gjennom vomma. Tyggetiden og den totale drøvtyggingstiden påvirkes av mange faktorer: høg andel av grovfôr, høgt innhold av fiber og høgt innhold av celleveggstoffer i rasjonen (Demeyer 1981). Innhold av NDF (neutral detegent

fiber) i fôrrasjonen påvirker nedbrytingshastigheten og oppholdstiden i vom. Tidlig høstet gras har lav konsentrasjon av NDF mens seint høstet gras har høgt innhold av NDF.

Små partikler har en mer tilgjengelig overflate i forhold til volum (Wilson & Kennedy 1996) og blir raskere fordøyd enn store partikler. Den optimale kuttelengden for gras er 2-5 cm, og da for kyrne utnyttet det maksimale opptakspotensial til godt surfôr (Mo 2005).

Redusert kuttelengde gir mindre tid til drøvtygging og dette gir en raskere passasjehastighet da kutting og maling av fôret øker fôropptaket. Tiden mikrobene bruker på og bryte ned fôr er kortere ved kort kuttelengde fordi hver partikkel er mindre (Herdt 2002). Når kua tygger drøv reduseres partiklene fra 1- 10 cm til 0,5-2 mm. Disse partiklene er små nok til å kunne passere ut av vomma til bladmagen. Det er vist i forsøk at raskere passasjehastighet gir mindre CH₄-utslipp (Kirchgessner et al. 1995).



Figur 3. Oversikt over vom innhold. Øverst er det gass, i er det midten store partikler, nederst er det væske og små partikler (Wattiaux & Howard 2008)

2.4.4 Gjæringskvalitet

Melkesyrebakterier er en bakteriegruppe som finnes på graset ved høsting og som utvikler seg i surfôrmassen (Mo 2005). Det er minst tap av næringsstoffer og energi når melkesyre er sluttproduktet ved fermenteringa. Dette fører vanligvis til et høgere energiinnhold og et høgere fôropptak av surfôret enn ved andre typer fermentering.

Det finnes uønskede arter av mikroorganismer i fôret under ensileringen. Smørsyrebakterier, som også er kalles klostridier, er av disse uønskede bakteriene. Sakkarolytiske klostridier utgjør en stor andel av klostridier i surfôr og disse bakteriene fører til et stort tap av energi og tørrstoff, og har også negativ effekt på dyras fôropptak (Mo 2005).

Fermentering av ulike sukkerarter, melkesyre til smørsyre, nedbryting av protein til organisk syre og NH_3 forårsaker tap av både energi og protein, dette fører også til redusert smaklighet på fôret (Mo 2005) og kan gi laver fôropptak.

Moss et al. (2000) fant i sitt forsøk en nedgang i metanproduksjon som en effekt av ensilering.

Metanproduksjon hos drøvtyggere kan reduseres med å gi fôrrasjoner med høgt inneholder ikke-strukturelle karbohydrater, dette gir høg fordøyelighet av fôret. Produksjon av propionsyre øker med innhold av lettfordøyelig fôr og gir lavere pH i vom. Dette gir mindre produsert metan, fordi de metanogene bakteriene er sensitive for lav pH (Johnson & Johnson 1995; O'Mara 2004). Shingfield et al. (2002) observerte også at tilsetning av inoculanter under ensilering senket eddiksyre og økte propionsyre produksjonen i vomma sammenligner ved bruk av maursyre.

Tilsetning av inoculanter ved ensilering kan se ut til å ha et større potensial for redusering av metantap, enn maursyre (Shingfield et al. 2002).

2.5 Forhold ved fôrtildeling

2.5.1 Forhold grovfôr: kraftfôr

Det er kjent at en rasjon sammensatt med mye rårevler (fiber) favoriserer de celleolytiske og de metanogene bakteriene i vomfloraen (Mills et al. 2003). Dette gir en høy andel av eddiksyre, som gir overskudd av H₂ og kan resultere i en økning i metanproduksjonen. Ved fôring av fullfôr, vil metanproduksjonen avhenge av mengde og type av korn/kraftfôr i rasjonen (Boadi et al. 2004). I en stivelsesrik rasjon med mye kraftfôr vil andelen eddiksyre synke og propionsyreproduksjonen stige. Produksjon av propionsyre forbruker hydrogen og tåler en lavere pH. De celleolytiske og de metanogene bakteriene er pH sensitive, og dermed kan metanproduksjonen synke (Lana et al. 1998; O'Mara 2004) I forsøket til Vijayaraghavan et al. (2006), hvor pH i den anaerobiske fermenteringen var på 4 og 5 var konsentrasjonen av de metanogene bakteriene under målbare verdier.

Effekten av å øke mengden kraftfôr i fôrrasjonen til drøvtyggere er en lavere pH (Lana et al. 1998). Kraftfôr gir lite spyttproduksjon pga. mindre tygging av fôret. Spyttete inneholder bufferstoffer som bikarbonat (Russell & Rychlik 2001). Lite spytt gir mindre buffer. En pH nedgang i vomma resulterer ofte i en endring av vomfermenteringen (Sar et al. 2005). I vomma vil forholdet mellom eddiksyre: propionsyre: smørsyre være ca. 70: 20: 10 for en grovfôrbasert rasjon og ca. 60: 30:10 for en kraftfôrbasert rasjon (Herdt 2002). Denne endringen i vomfermenteringen skjer antageligvis på grunn av forandringer i populasjonen av mikroorganismene i vomma (Monteny et al. 2006).

Beauchemin & McGinn (2005) fant i sine forsøk at kyr som ble fôret på en grovfôrbasert rasjon hadde en høyere metanproduksjon enn de som var fôret med kraftfôrrik rasjon (Tabell 4), dette

fordi metanproduksjonen synker når andelen kraftfôr øker i dietten (Johnson & Johnson 1995). I forsøkene til Beauchemin & McGinn (2005) observerte de en endring i fermenteringsmønsteret mellom de to ulike diettene (Tabell 4). Konsentrasjonen av eddiksyre gikk ned og konsentrasjonen av propionsyre gikk opp ved fôring av den kraftfôrbaserte rasjonen en kan også se at pH i vom ble påvirket av endringene i fermenteringsmønsteret.

Tabell 4. Metanproduksjon hos kviger fôret bygg eller mais ved en grovfôrbasert og en kraftfôrbasertrasjon (Beauchemin & McGinn 2005).

	Grovfôrbasert		Kraftfôrbasert	
	Mais	Bygg	Mais	Bygg
Fôropptak, kg ts/dag	6,94	5,34	6,83	6,17
Metan, g/dag	170,6	129,7	62,1	80,4
Metan, g/kg tørrstoffopptak	24,8	24,3	9,2	13,1
pH i vom	6,69	6,97	5,96	6,22
VFA, mol/100 mol				
Eddiksyre	64,0	60,5	43,6	42,6
Propionsyre	20,5	25,6	44,3	45,7
Smørsyre	12,3	10,3	7,7	7,1

Ekstremt høge kraftfôrdietter (90 %) er noe som er vanlig i USA, kan redusere CH₄-produksjonen til 2-3 % av bruttoeneriinntaket (Johnson & Johnson 1995).

I forsøket til Russel (1998) ble kyrne fôret med 100 % høy eller 90 % kraftfôr (Tabell 5). Kyrne som ble fôret med 90 % kraftfôr hadde en høyere konsentrasjon VFA, lavere pH og lavere eddiksyre: propionsyre forhold i vomma. CH₄-produksjonen var avhengig av substrat og pH. Lav pH førte til markant nedgang i eddiksyre: propionsyre -forholdet, som gjenspeilet en reduksjon i CH₄ produksjon (Russell 1998). Dette resultatet stemmer med teorien om at økt propionsyreproduksjon gir en lavere pH og dermed hemmer de metanogene bakteriene (Boadi et al. 2004).

Tabell 5. pH og VFA i vom hos kyr på en grovfôr eller kraftfôrbasert rasjon (Russel 1998).

	100 % høy	90 % kraftfôr
pH	6,9	6,2
Eddiksyre	50,0 mM	49,0 mM
Propionsyre	12,1 mM	22,3 mM
Smørsyre	5,8 mM	12,6 mM
Sum syrer	68,3 mM	83,9 mM

2.5.2 Kraftfôrtype

Det er mange forskjellige prosesseringsmåter, som kan påvirke kraftfôrets nedbrytingsevne i vomma, og dette kan også påvirke metanproduksjonen. Det finnes også mange forskjellige ingredienser man kan ha i kraftfôrblandinger, som kan påvirke metanutslippet. For de fleste kornsortene, unntatt durra, er 90 % eller mer av stivelse normalt brutt ned i vomma. Med mais, kan opptil 30 % eller mer passere ufordøyd gjennom vomma, og mesteparten av stivelsen, vil bli fordøyd i tynntarm eller fermentert i tykktarm

Moe and Tyrrell (1979) fant i sitt forsøk at metanproduksjon per gram av fordøyd cellulose var nesten tre ganger større enn per gram hemicellulose og fem ganger større enn per gram lettløseligstivelse.

I forsøkene gjort av Beauchemin & McGinn. (2005) ble kvigene fôret med en grovfôrbasert og en kraftfôrbasert rasjon. I tillegg fikk de også to typer kraftfôr: bygg eller mais. Under begge behandlingene var pH lavest og konsentrasjonen av VFA var høgest hos de som fikk maiskraftfôret (Tabell 4). Kyrne som fikk rasjonen med mye kraftfôr hadde en høyere konsentrasjon av propionsyre enn kyrne som fikk den grovfôrbaserte rasjonen. Metanproduksjonen var også lavest hos de kyrne som fikk rasjonen med mye kraftfôr, mens type kraftfôr hadde ingen effekt på metanproduksjonen. Kvigene som fikk den grovfôrbaserte rasjonen med mais hadde 32 % høyere metanproduksjonen sammenlignet med kvigene som fikk rasjonen med bygg- kraftfôret.

2.5.3 Fôrnivå

Lav fôringsfrekvens tenderer til å øke propionsyreproduksjonen, og redusere eddiksyreproduksjon (Sutton 1971). En høy fôring frekvent gir som regel en økt eddiksyre: propionsyre forhold (Sutton et al.1971; French and Kennelly 1990). I forsøket til French and Kennelly (1990) ble Holstein kyr fôret kraftfôr 12 ganger om dagen med 2 timers intervall eller 2 ganger om dagen. Fôring av kraftfôr 12 ganger om dagen ga en høyere pH i vom og økt eddiksyre: propionsyre-forhold.

Okine et al. (1986) fant i sitt forsøk at metanproduksjon gikk ned når passasjehastigheten økte for både vomvæske og partikler når dyra hadde et konstant fôropptak. Dette kan tyde på en skiftning fra eddiksyre-fermentering til propionsyre-fermentering i vomma. Siden oppholdstid i

vomma reduseres ved økt mengde fôr, reduseres og så metanproduksjonen (Kirchgeßner et al. 1995).

Et økt fôrnivå forårsaker mindre tap av CH₄ som prosent av bruttoenergiinntak (BEI). Johnson and Johnson (1995) fant at CH₄- tapet som prosent av BEI falt med 1.6 prosentenheter per økning av inntaket. Det er forårsaket av økt passasje av fôret ut av vomma (Mathison et al 1998; Hegarty 2001). Økt passasjehastighet gir mindre tilgang av organisk materiale til mikrobene, som igjen kan fører til en reduisering av vomfordøyeligheten (Mathison et al. 1998). Okine et al. (1986) observerte en nedgang på 29 % i CH₄- produksjon hos kyr, når partikkelhastigheten økte med 63 %. Cirka 28 % av variasjon i CH₄- produksjon kan forklares av tilbakeholdstiden i vomma (Mathison et al. 1998).

Benchaar et al. (2001) så en økning i CH₄- produksjonen når tørrstoffinntaket økte. Men når CH₄ ble uttrykt i bruttoenergiinntak eller fordøyeligenergi sank metanproduksjonen når tørrstoffopptaket økte.

2.5.5 Fettinnhold

Tilskudd av lipider (olje) i dietten til drøvtyggere kan redusere metanproduksjonen med opp til 80 % målt ved in vitro metode (Fievez et al. 2003) Metanproduksjonen reduseres ved hjelp av to mekanismer, ved tilsetning av fett eller olje i rasjonen til drøvtyggere. Den indirekte mekanismen inkluderer hemming av protozoer, reduksjon av dobbeltbindinger i umettede fettsyrer. Den andre mekanismen er økt produksjon propionsyre (Iqbal et al. 2008).

Dessverre påvirker fett fibernedbryting, som blir dårligere når fett er tilsatt i rasjonen. McGinn et al. (2004) fant i sitt forsøk ved å tilsette solsikkeolje i dietten en nedgang i metanproduksjonen. Dette skjer på grunn av nedgangen i vomfordøyelig substrat og enn hemming av protozoa (Johnson & Johnson 1995).

Det er vist at middels lange kjeder av fettsyrer (C8-C16) fører til størst reduksjon i CH₄ - produksjon. Dohme et al. (2002) observerte fra in vitro studie at tilsetning av palmekjerneolje, kokosolje, eller rapsolje reduserte CH₄ produksjonen med henholdsvis 34, 21 og 20 %.

2.6 Egenskaper ved dyret

Allerede 3 dager etter fødsel finne de metanogene bakteriene i vomma (Anderson et al. 1987). Men metanproduksjonen starter ikke før kalven har begynt å spise fastføde som vanligvis er rundt 4 uker etter fødsel (Anderson et al. 1987).

2.6.1 Raser

Siden kyrne ble domestisert for 10 000 år siden, har utallige raser kommet fram. Kan det tenke seg at noen av disse rasene som eksisterer i dag produserer mindre metan?

Chagunda et al. (2008) fant i sitt forsøk at genotype på dyret og fôringsstrategi påvirket dyrets metanproduksjon. De mente at dette kan indikere at kuas metanproduksjon fra vomfermenteringen påvirkes av deres genetiske arv og produksjonssystem dyrene er i.

Lal et al. (1987) observerte at energi som gikk tapt i form av metan var høyere hos Holstein - Friesian x Harijan krysset kyr en hos Holstein- Friesian kyr i India. Mens Boadi and Wittenberg (2002) fant ingen effekt av rase, men de fant en stor variasjon mellom kyr (6,6 – 35 %) ved *ad libitum* fôring. Ved å selektere dyr som har raskere passasjehastighet vil en kunne redusere CH₄ - tapet per enhet av fôr som er fordøyd. Raskere passasjehastighet av fôret påvirker også propionsyre og den mikrobielle produksjonen. Ved å selektere for dyr som har økt passasjehastighet vil dette gi stor produksjons fordel. En kan også tenke seg at ved og selektering for dyr som har en rask passasjehastighet vil kunne redusere den daglige metanproduksjon uten og måtte redusere antall dyr (Boadi et al. 2004).

2.6.2 Størrelse

Vekt mellom kyr kan variere mye. En stor ku har som regel større vomvolum enn en liten ku. Økt produksjons og økt kroppsvekt gir høyere fôropptak. Høyere fôropptak gir raskere passasjehastighet, og det er vist i forsøk at økt passasjehastighet gir mindre metanutslipp (Johnson & Johnson 1995). Forskjell i fordøyelse påvirkes av størrelse på vomma (vompool), omfanget av tygging for å redusere partikkelstørrelse og regulering av både væske- og tørrstoff - utstrømming fra vomma. Vompool størrelsen er en viktig variabel (Waghorn et al. 2006).

Fordøyelsen vil påvirke mengden og andelen av tørrstofftap (energitap) i form av metan. Betydelig variasjon i vompool størrelsen har også blitt rapportert hos sau (Pinares-Patiño et al. 2003b), hvor metan utslippet (% av BE inntak) var positivt korrelert av vom organisk materiale poolstørrelse ($R^2=0,71$), og negativt korrelert med partikkel utstrømmingshastigheten ($R^2= 0,71$). Sau med større vomfylling hadde lengre tilbakeholdetid, høyere fordøyelighet og en høyere metanproduksjon.

Holter and Young (1992) fant ingen signifikante effekter av levende vekt hos melkekyr eller tørre kyrs CH_4 - produksjon i noen av deres seks forsøk.

Boadi et al. (2004) observerte utover i forsøket at tape i form av CH_4 økte for lav grovfôr: korn dietten (Tabell 6) enn for oksekalver som ble fôret med høg grovfôr: korn dietten i periode 3. De mente at den høge kroppsvekten og fôreopptaket hos dyra som ble fôret med lav andel grovfôr: korn kan ha ført til en raskere økning i CH_4 tap. Responsen for lavere andel av CH_4 -tap var et resultat av økt tørrstoffinntak og økt kroppsvekt for lav grovfôr: korn dietten når CH_4 var uttrykt som L/kg tørrstoff inntak og L/kg kroppsvekt.

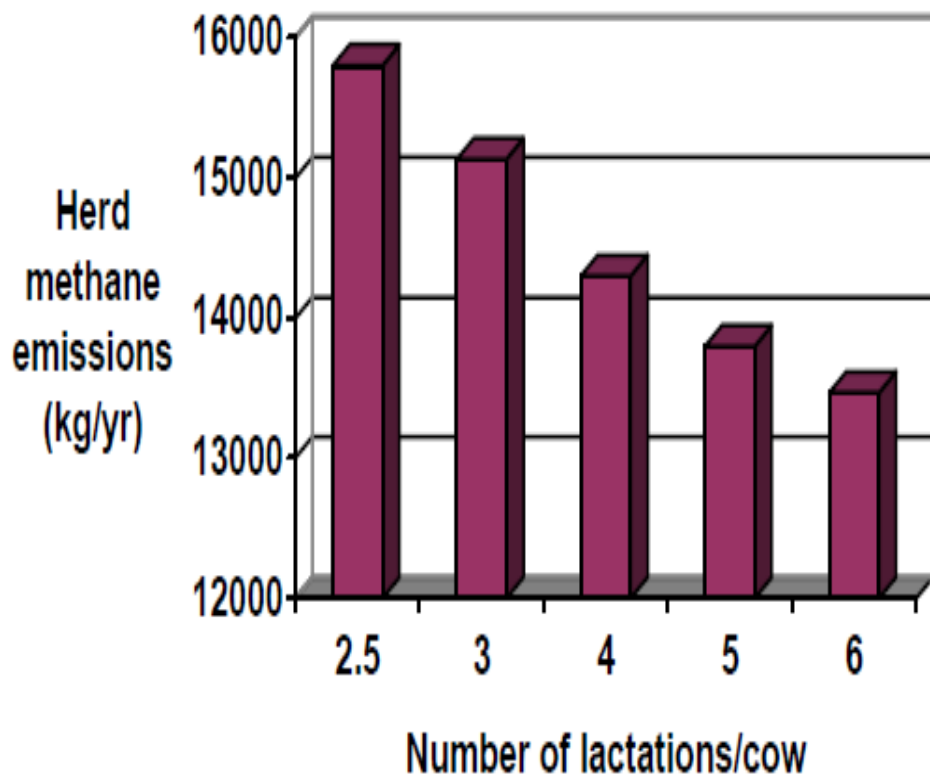
Tabell 6. Effekt av diett og periode på metanproduksjonen hos oksekalver (Boadi et al 2004).

Diett	TSI, kg/d	CH ₄ , L/d	CH ₄ , L/kg	CH ₄ , L/kg	CH ₄ , L/kg	CH ₄ , %
			BW	ADG	TSI	BRI
Lav grovfôr: korn	11,7	127,9	0,28	66,9	11,2	2,5
Høg grovfôr: korn	10,0	90,0	0,21	56,8	9,5	2,0
Periode						
1	8,8	74,2	0,22	41,1	9,4	2,0
2	11,2	84,9	0,19	52,9	8,0	1,7
3	12,4	167,4	0,33	91,4	13,7	3,0

TSI = Tørrstoffinntak
 BW = Kroppsvekt
 ADG = dagligtilvekst
 BRI = bruttoenergiinntak

2.6.3 Laktasjonsstadium/laktasjonsnummer

Antall år en beholder kyrne fører til at det behøves færre erstattede, og dette gir lavere total produksjon av metan på gården. Et eksempel er forsøket til O`Mara (2004) 100 gårder med melkekyr (figur 4), der antall laktasjoner varierer fra 2,5 til 5. Det er antatt at utslipp av metan per melkeku er på er 118 kg/år, mens oppfôring av en ny melkeku (kvige), som kalver ved 2 års alderen vil gi metanutslipp på 100 kg/år. Videre viser figuren under at metanutslippet på gårder synker fra 15,800 til 13,800 ved å øke antallet laktasjonsnummer til kyrne fra 2,5 til 6 laktasjoner, dette gir en senkning på 12,5 % (O`Mara 2004).



Figur 4. Antall laktasjoner per ku og metanproduksjon i kg/år (O'Mara 2004)

2.6.4 Produksjonsform

Et forsøk gjort av Kirchgessner et al. (1995) med kviger og okser føret på samme rasjon, viste at oksene hadde 20 % lavere metanutslipp. Dette reflekterer den raske tilveksten og mindre antall dager til slaktevekt fra 200 – 500 kg som oksene hadde.

Ved ekstensiv produksjon forventer man en h ogere andel metanutslipp i forhold til intensive produksjon, dette er fordi ekstensiv produksjonsform bruker lenger tid på oppfôring og mer fiberrik grovf orrasjon og mindre kraftfôr. Mer fiber og mindre kraftfôr (stivelse) gir mer eddiksyre og h ogere pH i vom. Siden de metanogene bakteriene er sensitive for lav pH, forventes det at de trives bedre på h ogere pH og kan lage mer CH₄ fra fiberrik fôrrasjon enn fra rasjon med mye lett tilgjengelig karbohydrat (Johnson & Johnson 1995).

En forventer en lavere metanproduksjon hos intensiv produksjonsform fordi andelen av kraftfôr er hög og ofte f ores de med grovfôr som inneholder lite fiber for å oppnå ønsket slaktevekt så tidlig som mulig. Store mengder kraftfôr og fiberfattig grovfôr gir som regel lavere pH i vomma, og en skiftning fra eddiksyreproduksjon til propionsyreproduksjon i vomma. Propionsyre er en ”hydrogen sink” (den forbruker hydrogen) og kan konkurrere med de metanogene bakteriene om hydrogen (Moss et al 2000: Clements and Ahlgrimm 2001).

2.6.5 Produktivitet

En økning i dyrets produktivitet vil generelt redusere metanutslipp per kg produkt (melk eller kjøtt), dette fordi utslipp som er tilknyttet til vedlikehold da blir fordelt på flere produkter. Men daglig utslipp og  rlig utslipp per dyr øker vanligvis fordi den h ogere produksjon vanligvis kobles med et h ogere fôropptak (O`Mara 2004)

Kirchgessner et al. (1995) fant i sitt fors ok (Tabell 7) at en økning i melkeytelse fra 4000 til 5000 kg per år økte det  rlige metanutslippet, men metanutslippet går ned 0,16 per kg melk for en ku som veier 600 kg, vist ytelsen stiger til 6000 kg/ år med samme vekt vil nedgangen i metan utslipp våre 0,128 per kg melk. Det er signifikante reduksjoner i metanutslipp ved h ogere ytelse, så lenge antall kyr blir redusert og ytelsen per ku øker (O`Mara 2004). En kan da fylle melkekvote med mindre antall kyr, så lenge ytelsen per ku øker.

Tabell 7. Estimering av metanproduksjonen kg/år (kg/melk) (Kirchgessner et al. 1995).

Kroppsvekt (kg)	Melkeytelse (kg/år)		
	4000	5000	6000
500	95	100	105
600	103	108	113
700	111	116	121

310 dager med laktasjon 55 tørrperiode.

Høge melkeytelser og korte tørrperioder vil kunne senke metanutslippet. Det samme gjør tid fra fødsel til første kalving. En ønsker at tørrperioden skal være kortest mulig, slik at de blir et mer intensivt driftsopplegg, men en total reduisering i metanutslipp gir størst resultat om den totale mengden av kjøtt og melk produseres av færre dyr (Moss et al 2000).

3.0 Materiale og metoder

Egne undersøkelser omfatter to forsøk med melkekyr som ble gjennomført på stoffskifteavdelingen ved Institutt for husdyr-og akvakultur (IHA), Universitet for miljø og biovitenskap (UMB) i 2008/2009. Formålet med forsøkene var å undersøke effekten av NDF-nivå i grassurfôr på metanproduksjon hos lakterende kyr (Forsøk 1) og tørre kyr (Forsøk 2). De to forsøkene gjør det også mulig å undersøke effekten av produksjonsnivå (lakterende versus tørre kyr) på produksjonen av metan.

De to hypotesene som testes er:

1. Vil stigende mengde NDF i grassurfôret påvirke metanproduksjonen hos lakterende og tørre kyr
2. Vil produksjonsnivået påvirke metanproduksjonen hos melkekyr

3.1. Dyrematriale

Forsøk 1 omfatter 6 vomfistulerte lakterende kyr i 1- 4. laktasjon, som kalvet i perioden januar - mars 2008. Ved forsøksstart i mars var kyrne i middel 41 dager ut i laktasjonen med en midlere kroppsvekt på 594 kg og midlere daglig melkeytelse på 24 kg (Tabell 1).

Forsøk 2 omfattet 4 vomfistulerte tørre melkekyr hvorav alle var med i forsøk 1. Kyrne var i middel 238 dager etter kalving og i middel 30 dager ut i tørrperioden (Tabell 8). Ved forsøksstart veide kyrne i middel 577 kg

Tabell 8. Laktasjonsnummer, dager etter kalving, levendevekt og mjølkeproduksjon ved forsøksstart hos kyrne i de to forsøkene.

Ku nr.	Laktasjonsnummer	Dager etter kalving	Melk kg/dag	Levende vekt
Forsøk 1				
4572	3	47	26,3	660
4628	3	19	29,8	658
4710	2	56	24,1	508
4759	2	62	21,2	551
4939	1	67	22,6	551
4772	2	55	21,3	564
5125 ¹	4	80	24,3	622
Forsøk 2				
4572	3	227	-	613
4710	2	236	-	581
4759	2	242	-	540
4939	1	247	-	575

¹ I forsøk 1 ble kunr. 5125 tatt ut før siste periode og erstattet med kunr. 4939

3.1.2 Forsøksopplegg

Forsøket 1 var lagt opp som et ufullstendig 6x6 latinsk kvadrat med 4 perioder, 3 surfôrkvaliteter med lav (G1), middels (G2) og høyt (G3) innhold av NDF og to kraftfôrnivå; Lavt (L) og høyt (H) tilsvarende henholdsvis 9 kg og 5 kg per ku og dag (Tabell 9). Hver periode besto av en tilvenningsperiode på 13 dager etterfulgt av 11 dager med målinger og prøveuttak.

Tabell 9. Forsøksopplegg i forsøk 1. Surfôr med (G1), middels (G2) og høyt (G3) innhold av NDF kombinert med lavt (L) og høyt (H) kraftfôrnivå.

Periode	Kunr.	Surfôr kvalitet	Kraftfôrnivå
1	4572	G1	L
1	4628	G1	H
1	4710	G2	H
1	4759	G3	H
1	4772	G3	H
1	5125	G2	H
2	4572	G2	L
2	4628	G3	H
2	4710	G1	L
2	4759	G2	H
2	4772	G1	H
2	5125	G3	H
3	4572	G3	L
3	4628	G2	L
3	4710	G3	L
3	4759	G1	H
3	4772	G2	L
3	4939	G1	H
4	4572	G1	L
4	4628	G1	L
4	4710	G2	L
4	4759	G3	L
4	4772	G3	L
4	4939	G2	H

Forsøksopplegget i forsøk 1 gir 4 observasjoner innen hver av de 6 behandlingskombinasjonene, til sammen 24 observasjoner (Tabell 10). Tidligere beregninger viste at det var liten effekt av kraftfôrmengden (Nes et al. 2011) og vi har derfor valgt å se på NDF innholdet i surfôr.

Tabell 10. Antall observasjoner (kyr) for de tre grovfôrkvalitetene lavt (G1), middels (G2) og høyt (G3) innhold av NDF (forsøk 1).

Kraftfôr	Grovfôr kvalitet		
	G1	G2	G3
L	4	4	4
H	4	4	4
Observasjoner	8	8	8

Dette opplegget gir 8 observasjoner på hver grovfôr kvalitet og er balansert mht. til kraftfôrnivå, i det inngår 4 kyr med høyt og 4 kyr med lavt kraftfôrnivå. Da kraftfôret ikke inneholdt NDF (se senere) vil effekten av ulik NDF i rasjonen utelukkende stamme fra grovfôret.

Forsøk 2 var lagt opp som fullstendig 4x4 latinsk kvadrat med 4 perioder, 2 grovfôr kvaliteter i rasjonen uten (K0) og med 3 kg kraftfôr (K3). Grovfôr kvaliteten med lavest innhold av NDF (G1) ble høstet sommeren 2008, mens den andre kvaliteten var en blanding 50:50 av G2 og G3 fra forsøk 1, heretter kalt G2 (Tabell 11). Kraftfôret var det samme som ble gitt i forsøk 1. Hver av de fire forsøksperiodene i forsøk 2 besto av 10 dagers forberedelsesperiode og 11 dagers prøveperiode.

Tabell 11. Forsøksopplegg i forsøk 2. Surfôr med lavt innhold av NDF (G1) og en blanding av middels og høyt innhold av NDF (G2+G3) i rasjoner uten (K0) og med 3 kg kraftfôr (K3).

Periode	Kunr.	Surfôr kvalitet	Kraftfôrnivå
1	4572	G2	K0
1	4710	G1	K0
1	4759	G2	K3
1	4939	G1	K3
2	4572	G1	K3
2	4710	G2	K0
2	4759	G2	K0
2	4939	G1	K3
3	4572	G2	K3
3	4710	G1	K3
3	4759	G2	K0
3	4939	G1	K0
4	4572	G1	K0
4	4710	G2	K3
4	4759	G1	K3
4	4939	G2	K0

Forsøksopplegget i forsøk 2 gir 4 observasjoner innen hver av de 4 behandlingskombinasjoner og 8 observasjoner for hver grovfôr kvalitet.

3.1.3 Fôrmidler og fôringsrutiner

Surfôret som ble brukt i forsøk 1 var produsert for å få tre ulike kvaliteter med forskjellig NDF-innhold (G1-G3). Enga ble derfor høstet til ulike tidspunkt i vekstsesongen (2007) ved 1. slått (G1 og G3) og 3. slått (G2), slik oppstillingen viser i tabell 12.

Enga ble slått med en skiveslåmaskin (Kuhn FC303G, Saverne, France), og plantematerialet ble fortørket i et døgn (G1) før avlingen ble presset i rundballer med rundballepresse (Orkel GP 1260, Fannrem, Norge). For de to andre kvalitetene (G2 og G3) ble avlingen presset like etter slått, da plantematerialet allerede hadde det ønskede tørrstoffinnholdet på rundt 30 %. Ensileringsmiddelet GrassAAT Lacto ble brukt i mengde på 4-5 l/tonn.

Surfôret ble kuttet i lengder på gjennomsnitt 20 mm, og pakket og innfrysst ved -20°C og tatt ut for tining noen dager før fôring.

Ulike gressartene utgjorde til sammen 85-95 % av innhøstet og ensilert enggrøde i forsøk 1, som var dominert av timotei (60-80 %) og i mindre grad av engsvingel (15-30 %) og rapp (0-8 %), som vist i tabell i tabell 3. Det var en liten andel kløver (3,5-7 %) i det innhøstet fôret, mest i grovfôr G1, som også inneholdt mest ugress (Tabell 5).

Til forsøk 2 ble grovfôr med lavest NDF- innhold (G1) høstet 3. juni 2008 fra den samme enga som G1 i forsøk 1, og inneholdt om lag samme botaniske sammensetning. Grovfôr G2 i forsøk 2 var en blanding av G2 og G3, som ble brukt i forsøk 1.

Tabell 12. Høstedata, slått nummer og botanisk sammensetning (% av TS) av innhøstet engavling av ulik kvalitet (G1-G3) i forsøk 1.

	G1	G2	G3
Høstedata	15. mai	6. august	11. juni
Slått nr.	1	3	1
Botanisk sammensetning			
Timotei	62	56	80
Engsvingel	18	28	15
Rapp	5	8	0
Kløver	7	3,5	4
Ugress	8	4,5	1

Kraftfôret ble produsert på Fôrtek ved UMB i desember 2007. Alt kraftfôr ble mikset i en 400 L Forberg dobbel aksel padle mikser og pelletert ved 75-79 °C gjennom en 0,5 mm matrise. Kraftfôret ble så fylt i store sekker og transportert til Stoffskifteavdelinga ved IHA for lagring til forsøksstart. Kraftfôret besto hovedsakelig av ren hvetestivelse (69 %) og mindre andel kukasin, fiskemel og melasse som vist i tabell 13. årsaken til denne noe spesielle kraftfôrblendingen var at kraftfôret ikke skulle inneholde NDF, pga. vom kinetiske undersøkelser, som omtalt av Nes et al.(2011).

I forsøk 1 ble grovfôret gitt etter appetitt i forberedelsesperioden og deretter ble den redusert til 90 % av appetittfôring i forsøksperioden. I forsøk 2 var det restriktiv fôring av grovfôret.

Før fôring hver morgen ble eventuelle fôrrester samlet opp. Kyrne ble så fôret og melket (forsøk 1). I alt var det 7 fôringer i døgnet. Om morgenen 0600 ble kyrne fôret manuelt, og resterende 6 fôringene ble fôret fra automatisk bånd som gikk kl: 9,12,15,18, 21 og 24. Kraftfôr og grovfôr ble fordelt på båndet før kl. 9 hver morgen da var hele døgnrasjonen delt ut (Figur 5). Under begge forsøkene var kyrne oppstallet på bås og alle hadde egne fôrkrybber og drikkekar.



Figur 5. Dagsrasjon av surfôr og kraftfôr utlagt på transportbånd.

Tabell 13. Kraftfôrets råvare sammensetning (%) i forsøk 1 og 2.

Råvarer	Sammensetning %
Ren hvetestivelse	69
Kukasin	8
LT fiskemel	8
Rørmelasse	5
Mineral Premix	4
Tørrfett	3
Sojaolje	2
Urea	1

LT fiskemel behandlet med lav temperatur

3.1.4 Prøvetaking og analysering

Fôr

Hver dag ble det tatt ut 400 g av både grovfôr og kraftfôr. Fôrprøvene ble lagt i separate merkede bøtter og ned frosset og oppbevart i en fryser ved -20 C°. De daglige prøvene av grovfôret og kraftfôret ble slått sammen til en samleprøve for hver periode og deretter frysetørket og malt gjennom 1mm sikt før kjemisk analyse.

Surfôret ble analysert for: tørrstoff, aske, råfett, Kjeldahl-N, NDF med og uten askebestemmelsen og ADF. Kraftfôret ble analysert for: tørrstoff, aske, råfett, Kjeldahl-N, stivelse og sukker. Surfôr og kraftfôr prøvene ble analysert ved laboratoriet, IHA.

(<http://www.umb.no/iha/artikkel/labtek-analyser-og-priser>)

Tørrstoff og aske ble bestemt etter Malkomesius & Nehring (1951). Tørrstoffet ble bestemt ved tørking ved 103 °C i ± 2 timer til konstantvekt er oppnådd IHA-nr.: Arb-1044.

Aske ble bestemt i foraskingsovn ved 550 °C i 4 maks 20 timer. IHA-nr.: Msp-1038.

NDF med og uten askekorrigering korrigerings.

Prøvene ble fordøyd med et nøytraldetergent løsning tilsatt natrium sulfitt og varmemestabil alfa-amylase i 75 min. NDF er den delen av prøven som ikke løser opp i såpeløsning. Prøvene ble filtratet og vasket, deretter ble filtratet tørket i 102 °C- 105 °C over natten for så å bli veid. Ved bestemmelse av NDF med aske, ble filtratet forasket. Metoden bestemmer organisk NDF.

Hovedinstrument: ANKOM kokeenhet ANKOM 200/220 fiber analyse. IHA-nr.:1041.

Acid detergent fiber (ADF) ble bestemt etter Offisielle metoder av analyser for metodenr. 97318 (AOAC 1990). Prøven ble fordøyd med syredetergent løsning i 75 min. Så ble prøvene filtrert vasket og deretter ble filtratet tørket i 102-105 °C over natten for så å bli veid. Hovedinstrument: Ankom 200/220 fiber analyser. (IHA-nr. MSP1037).

Nitrogen ble bestemt ved Kjeldahl-N analyse etter metode nr. 984.13 (AOAC 1990).

Analyse av råfett

Ekstraksjonen foregår ved at løsningsmiddel blir pumpet inn i en ekstraksjons-celle med prøven i. Ekstraktet blir så overført fra celle til et oppsamlings glass. Ekstraktet settes i varmt vannbad under nitrogen. Tørkes deretter i en vakumoven, for så og bli veid (UMB-nr:Arb1045).

Stivelse

Prøvene blir kokt med varmestabil α -amylase, stivelse brytes ned slik at den blir tilgjengelig for α -amylase. Den spalte stivelseskjedene fra lange til korte vil løse seg opp i væskefasen. Amyloglukosdase tilsettes og spalter de korte kjedene til glukose. Glukoseinnholdet kan bestemmes (Cobas spektrofotometer ved hjelp av glukose hexokinase reagens) (IHA-nr.:ARB1159).

VFA prøver

For bestemmelse av VFA og ammoniakk i vomma ble det sugd opp prøver av vomvæske. Prøvetaking ble foretatt over to døgn. Første prøve ble tatt ut før fôring kl. 06:00 og deretter 0900, 1030, 1200, 1330, 1500, 1630, 1800, 1930, 2100, 2230, og 2400 på dag 16 og 0200 og 0400 på dag 17 i hver forsøksperiode. Væska ble tatt ut fra alle væskelagene i vomma slik at det ble et mest mulig representativ prøve. En førte slangen nederst i vomma, og dro den opp samtidig som en sugde opp væske. Fra hver prøve ble det pipetter ut 10 ml vomsaft over i et reagensrør som er tilsatt 0,5 mL av 12 M maursyre. Prøvene ble oppbevart ved 4 C° til analyser av VFA og ammoniumnitrogen ble foretatt.

Konsentrasjonen av VFA i vomvæska ble bestemt av gasskromatografi (IHA-nr: MSP 1132).

Ammonium-N i vomvæska ble bestemt ved flow-injection analyse (IHA-nr.:Arb 1133).

pH

Registrering av pH i vom ble utført ved hjelp av et pH- meter (WTW pH 340i og 3310, Nova Analytics, ITT Corporation, USA), som logget hvert 10 min i ett døgn så før fôring kl. 0600 på dag 17 til kl. 0600 på dag 18 i forsøk 1 og dag 15 og 16 i forsøk 2.

Melkeveiing og melkeprøver

Daglig melkeytelsen i forsøk 1. ble registrert ved hjelp av en «True-test melkemåler». Melking startet om morgnen kl. 0600 og om ettermiddagen 1530 hver dag. På dag 16,17 og 18 (morgen og kveld) ble melka fra «true-testen» overført til 2 liters kanne (samleprøve), som var merket med kunr. Melka fra samleprøven ble varmet opp til 39 C°. Fra den oppvarmede melka ble det tatt ut Ca. 2,5 % som ble overført i en 40 ml olabeger. Olabegret var tilsatt 2-bromo-2-nitropropan-1.3-diol. Melkeprøvene ble analysert for fett, protein og laktose med infrarød melke analyserer (Milkoscan FT 6000, foss electric, Hillerød, Danmark) prøvene ble analysert ved Tine laboratoriet i Brumunddal.

3.2 Måling av metan

Til måling av metanproduksjonen hos kyrne ble det benyttet en gassmarkørteknikk “Svovelhexafluorid (SF₆) -metoden” utviklet av Johnson et al. (1994). Ved bruk av denne markørteknikken kan en estimere mengden metan produsert individuelt hos storfe i en viss periode (≤ 1 døgn).

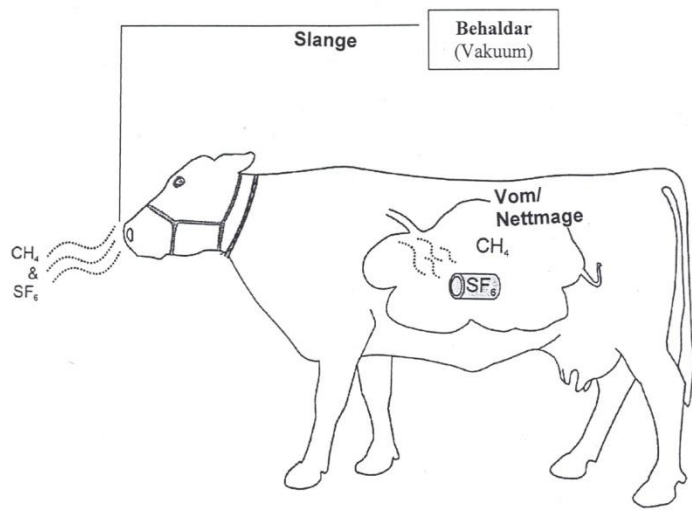
I vomma plasseres det en kapsel med en markør (svovelhexafluorid; SF₆), som frigjør en liten, konstant mengde per tidsenhet (Figur 6 nedenfor). Det samles opp prøver av luften, som dyrene puster ut og raper opp fra vomma (Figur 7). Kyrne har en grime, der en slange er festet med enden i overkant av mulen/neseborene. Slangen går til en beholder, hvor vakum gjør at luftprøver blir suget opp i beholderen i prøveperioden (Iwaasa 2004, Iwaasa et al. 2005). Etter 24

timer blir beholderen skiftet og luftprøver fra beholderen blir tatt ut for analyse av konsentrasjonen av metan (CH₄) og SF₆. Mengden metan produsert per dag (24 timer) kan deretter beregnes når en har korrigert for innholdet av disse gassene (CH₄ og SF₆) i fjøset ("bakrunnsverdier").

$$\text{Metan (l/dag)} = \text{Markør (SF}_6\text{, ml/dag)} \times [\text{Metan (ml/l)} / \text{Markør (SF}_6\text{, nl/l)}]$$



Figur 6. "Permeation tube" (Avgir middel mengde SF₆ per dag. 3,217 mg/dag i forsøk 1).



Figur 7. Måling av metanemisjon hos melkeku ved hjelp av SF₆-markørteknikk (Garmo et al. 2009).

Den opprinnelig SF₆-teknikken ble utviklet for å måle metanproduksjon hos dyr som beiter (Johnson et al. 1994; Iwaasa 2004; Iwassa et al. 2005), og det ble derfor nødvendig å modifisere metoden for bruk ved inneføring til kyr på bås. Oppsamlingsbeholderen for gass var opprinnelig festet rundt halsen på kyrne ("Yok"), men denne ble i forsøkene på Stoffskifteavdelingen, IHA plassert over krybbeinnredningen. Gassopsamlingsbeholderen ("Yoken") ble forbundet med grimen med en ca. 4 meter lang plastikkslange (Figur 8).



Figur 8. Ku med utstyr for oppsamling av gassprøver i forsøk 1. En 4 meter plastslange danner forbindelsen mellom gassoppsamlingsbeholderen ("Yok" = hvitt U-formet rør) og grime med kontinuerlig prøvetakingsutstyr av gassprøver fra mulen/neseborene På kua.

I korthet går metoden ut på: prøver av luft suges kontinuerlig inn gjennom røret ved neseborene i 24 timer, hver 15 sek åpnes og samles det gass: CH_4 , SF_6 og CO_2 . Etter 24 timer byttes gassoppsamler ut med en ny en. Oppsamling av metan ble gjort 5 påfølgende dager i hver av de 4 periodene (Vedlegg 1). Åpningen av det lille røret, som samler opp gass, kan lett gå tett, spesielt hvis grimene ikke er godt tilpasset de enkelte kuene. Derfor ble grimene og slangene mellom grimene og gassoppsamlingsbeholderne rutinemessig sjekket kontinuerlig i forsøksperiodene.

Etter hver avsluttende periode ble prøvene våre sendt til Canada (Agriculture and Agri-Food Canada, Lethbridge Research Centre) for analysering av gassprøvene (CH₄, SF₆, CO₂) ved hjelp av gass kromatografi.

Mengden metan produsert (l/dag) er kalkulert som:

$$Q_{\text{CH}_4} = Q_{\text{SF}_6} \text{ ml/dag} \times ([\text{CH}_4]_{\text{yoke}} \text{ ml/l}] - [\text{CH}_4]_{\text{blank}} \text{ nl/l}]$$

$$([\text{SF}_6]_{\text{yoke}} \text{ ml/dag}] - [\text{SF}_6]_{\text{blank}} \text{ nl/l}]$$

Forklaring av ligning:

Q_{CH_4} = mengden metan produsert (l/dag)

$Q_{\text{SF}_6} \text{ ml/ dag}$ = utslipp av SF₆

$\text{CH}_4]_{\text{yoke}} \text{ ml/l}$ = CH₄ konsentrasjon i yoke (=gassoppsamlingsbeholder)

$\text{CH}_4]_{\text{blank}} \text{ nl/l}$ = CH₄ konsentrasjon i blank yoke (=gassoppsamlingsbeholder)

$\text{SF}_6]_{\text{yoke}} \text{ ml/dag}$ = konsentrasjon av SF₆

$\text{SF}_6]_{\text{blank}} \text{ nl/l}$ = konsentrasjon av SF₆ i blank.

Statistisk behandling

Statistisk analyse

Periode og grovfôrtype er faste effekter, og ku er tilfeldig effekt.

Model;

$$Y_{ikl} = \mu + a_i + \beta_j + \eta_k + \varepsilon_{ijkl}$$

Y_{ikl} = avhengig variabel (metanproduksjon, EKM, fettprosent osv...)

μ = gjennomsnittlig metan, EKM, fettprosent...osv

a_i = effekt av ku (i=1, 2, 3, 4, 5, 6 i D147, i= 1, 2, 3, 4 i D151)

β_j = effekt av periode (j=1, 2, 3, 4)

η_k = effekt av grovfôrtype (k= 1, 2, 3 i D147, i= 1, 2 i D151)

ε_{ijkl} = feilledet (l= 1, 2, 3, 4, 5)

Kommando som ble brukt i SAS;

Eks;

```
proc mixed data= WORK.Data_til_masteroppgave_Victoria;
```

```
class ku periode dag grovfor;
```

```
model metan= periode grovfor;
```

```
random ku;
```

```
lsmeans grovfor/pdiff adjust=tukey;
```

run;

Forskjellige bokstaver (a og b) ble brukt for å markere om det var statistisk sikkert forskjell i resultatdelen. Ingen bokstav ingen statistisk sikker forskjell.

4.0 Resultater

4.1 Kjemisk sammensetning av grovfôr og kraftfôr

De tre surfôrkvalitetene i forsøk 1 hadde forskjellig kjemisk sammensetning pga. ulike høstetid (Tabell 14). Surfôret fra tidligste høsting (G1) hadde høgere innhold av råprotein, råfett og lavere innhold av NDF enn middels (G2) og seint høstet (G3). NDF innholdet steg ved utsatt høsting fra G1 til G3, mens innhold av råprotein gikk ned ved utsatt høsting fra G1 til G3, men det var veldig liten forskjell i innholdet av råprotein mellom G2 og G3. Dette var som forventet da høstetiden påvirker andelen NDF i grovfôret og andelen råprotein. Den samme trenden var også å se i forsøk 2, hvor surfôret fra tidligst høsting (G1) hadde 99 % lavere innhold av NDF og et høgere innhold av råprotein. Seint høstet grovfôret (G2) hadde derimot et litt høgere innhold av råfett enn det tidligst høstede (G1), som var motsatt av hva som var tilfelle i forsøk 1.

Tabell 14. Kjemisk innhold i grovfôret i Forsøk 1 og forsøk 2.

	Forsøk 1			Forsøk 2	
	G1	G2	G3	G1	G2
Tørstoff (ts) %	35	38	26	51	38
g/kg tørstoff					
Aske	78	77	66	85	80
Organisk stoff	922	923	934	915	920
Råprotein	215	127	125	149	123
Råfett	44	39	29	35	46
NDF	422	539	650	452	551
NDF med aske	412	530	639	440	540
ADF	262	334	393	272	341

Hovedkomponenten i kraftfôret var stivelse, som utgjorde nær 70 %. kraftfôret inneholdt 17 % råprotein og knapt 6 % råfett (Tabell 15). Kraftfôret inneholdt ikke NDF da dette var planlagt.

Tabell 15. Kjemisk innhold i kraftfôret i forsøkene 1 og 2.

Kjemiske komponent	
g/kg tørstoff	
Aske	68
Råprotein	171
Råfett	57
NDF	0
Stivelse	689
Sukker	44

4.2 Fôropptak

Kyrne som fikk surfôr av best kvalitet (G1) hadde signifikant høgst grovfôropptak (Tabell 16) enn de andre behandlingene. De hadde også et påviselig høgere totalt fôropptak (16,5 kg TS/d) noe som skyldes det høge grovfôropptaket. Kyrnes som fikk det seint høstede grovfôret (G3) hadde et statistisk sikkert høgere kraftfôropptak (0,8 kg) i forhold til de som fikk tidligst høstede (G1). Opptaket av NDF var signifikant lavere hos de kyrne som fikk grovfôret som var høstet tidligst (G1) i forhold til de to andre kvalitetene. Opptaket av NDF steg ved utsatt høstetid fra G1 til G3.

Tabell 16. Fôropptak kg TS/dag i forsøk 1.

	G1	G2	G3	SEM	p-verdi
Grovfôropptak	12,2 ^a	10,3 ^b	9,5 ^b	1,21	<0,0001
Kraftfôropptak	4,3 ^b	4,6 ^{ab}	5,1 ^a	0,62	0,017
Totalt fôropptak	16,5 ^a	14,9 ^b	14,6 ^b	1,34	0,0008
NDF g/ts	5180,6 ^c	5634,5 ^b	6382,9 ^a	526,3	<0,0001

SEM = standardfeilen til midle

Det var ingen signifikante forskjeller for hverken grovfôr eller kraftfôr mellom de to behandlingene for de tørre kyrne i forsøk 2 (Tabell 17). Det var signifikant forskjell i opptaket av NDF, kyrne som fikk grovfôr av best kvalitet hadde lavere opptak av NDF i forhold til grovfôret som var av dårligst kvalitet (G2).

Tabell 17. Fôropptak kg tørrstoff/dag i forsøk 2.

	G1	G2	SEM	p-verdi
Grovfôropptak	6,4	6,4	0,7	0,938
Kraftfôropptak	1,3	1,3	0,6	1,000
Totalt fôropptak	7,6	7,6	0,1	0,710
NDF g/ts	2719,2 ^b	3515,1 ^a	366,6	<0,0001

4.3 Syreproduksjon og pH i vom

Kyrne som fikk grovfôr av best kvalitet (G1) hadde en påviselig høgere konsentrasjon av propionsyre, smørsyre og ammoniakk i vom (Tabell 18). Det var en tendens til høgere konsentrasjon av sum syrer.

Tabell 18. Konsentrasjon av Eddiksyre, propionsyre, smørsyre, sum syrer, NH₃-N og pH i forsøk 1.

	G1	G2	G3	SEM	p-verdi
Eddiksyre, (mmol/L)	70,23	72,98	72,28	9,35	0,6454
Propionsyre, (mmol/L)	22,24 ^a	16,95 ^b	17,10 ^b	1,00	0,0189
Smørsyre, (mmol/L)	16,39 ^a	11,38 ^b	10,26 ^b	0,95	0,0001
Sum syrer, (mmol/L)	115,45	106,01	104,51	1,48	0,1085
NH ₃ -N (mmol/L)	9,5 ^a	3,0 ^b	5,3 ^c	0,6	<0,0001
pH	5,84	5,91	5,98	0,07	0,2722

I forsøk 2 var konsentrasjonen av smørsyre påviselig høgere for de kyrne som fikk det tidligst høstede grovfôret (G1) (Tabell 19). Det var også en tendens til høgere konsentrasjon av ammoniakk for kyrne som fikk grovfôr av best kvalitet (G1) sammenlignet med den andre

behandlingen (G2). Grovfôrkvaliteten hadde liten effekt på pH i vom og konsentrasjonen av propionsyre, eddiksyre og sum syrer.

5.0 Diskusjon

5.1 Fôropptak og produksjon

Surfôrkvaliteten hadde effekt både på grovfôropptaket og det totale fôropptaket i forsøk 1. De lakterende kyrne som fikk surfôret med lavest innhold av NDF (G1) hadde et høgere grovfôropptak (12,2 kg ts) enn de som fikk av middels (10,3 kg ts) og høggest (9,5 kg ts) innhold av NDF. De hadde også et høgere totalt fôropptak (Tabell 16) i forhold til de to andre surfôrkvalitetene (G2-G3). Dette samsvarer med det Ominski et al. (2006) fant i sitt forsøk. Oksekalvene som fikk surfôr med høgt innhold av NDF (61 %) hadde lavere tørrstoffinntak i forhold til oksene som fikk surfôr med lavest innhold NDF (46 %), henholdsvis 6,8 og 8,7 kg TS per dag

Kraftfôropptaket steg med økende NDF- innhold i grovfôret (G1- G3) som vist i tabell 16. Det var en nedgang i opptaket av NDF på 1,0 kg mellom det dårligste (6,18 kg NDF) til det beste grovfôret (5,14 kg NDF). Forskjellen i NDF opptaket skyldes i første omgang de forskjellige høstetidene på graset som ga ulike NDF innhold i surfôret (Tabell 14). Benchaar et al. (2001) fant også et lavere opptak av NDF når graset var på et vegetativt stadige sammenlignet med blomsterstadige. Dette samsvarer med hva vi fant i begge forsøkene våre. Det høge grovfôropptaket og totale fôropptaket hos kyrne som fikk surfôret med lavest innhold av NDF skyldes i første rekke at grovfôret gir en lav fylleverdi, kort oppholdstid i vomma og en økt passasjehastighet gjennom vomma. Et redusert innhold av NDF vil gi en raskere passasjehastighet i vom sammenlignet med fôr som har en høg andel av NDF (Prestløkken et al. 2011).

Det var ingen forskjell i grovfôropptaket mellom de to grovfôrkvalitetene (G1 og G2) for de tørre kyrne (Tabell 17) i forsøk 2. Det var heller ingen forskjell mellom kraftfôropptaket og totalt

fôropptak mellom de to surfôr-kvalitetene. For fôropptaket uttrykt i opptatt NDF(kg/dag) var det i midlertidig forskjell mellom grovfôret av best kvalitet G1 (2,7 kg) og dårligst kvalitet G2 (3,1 kg). Dette skyldes at surfôret G1 inneholdt mindre NDF (452 g/kg ts) i rasjonen en hva G2 (551 g/kg ts).

De tørre kyrne fikk restriktiv fôring og dette var grunnen til at det ikke var forskjell i grovfôropptaket eller det totale fôropptaket i forsøk 2. Dette støttes av Pelve et al. (2011) som heller ikke fant noen forskjell i fôropptaket hos de ikke lakterende kyrne ved to forskjellige NDF nivå ved restriktiv fôring.

Det tidligst høstede surfôret (G1) ga 4 kg høyere melkeytelse (EKM) enn de to andre grovfôr-kvalitetene (G2-G3). Dette skyldes nok at det høyere fôropptaket ga mer tilgjengelig energi, og resulterte i en høyere melkeytelse. Den høyere melkeytelsen førte til at kyrne i denne forsøks gruppen også hadde høyere produksjon av fett (kg/dag) selv om fettprosenten i melka var lavere (Tabell 20) for G1 enn for de andre grovfôr kvalitetene (G2 – G3). Det er normalt at fettprosenten i melka går ned ved høytytelse (Hermansen et al. 2003). Den høye melkeproduksjonen ga en høyere proteinprosent og høyere produksjon av protein (kg/dag) for kyrne som fikk det beste grovfôret (G1). Produksjon av laktose var også høyere hos de kyrne som fikk surfôret med lavest innhold av NDF (G1). Det er melkemengden som bestemmer laktoseprosenten i melka (Hermansen et al. 2003) derfor har kyrne med høyest melkeytelse høyest produksjon av laktose (Tabell 20).

5.2 Vomfermentering og metanproduksjon

De lakterende kyrne som fikk grovfôret med lavest innhold av NDF hadde høyere fôropptak sammenlignet med de andre to kvalitetene (Tabell 16). De hadde også en endret rasjonssammensetning. Et høgt fôropptak kan øke passasjehastigheten gjennom vomma dette og en endret rasjonssammensetning påvirker gjæringsmønstret i vomma. Kyrne som fikk surfôr av best kvalitet (G1) hadde den høyeste konsentrasjon av (VFA) i vomma. Konsentrasjon av propionsyre og smørsyre i vomma var høyest ved lavet innhold av NDF i surfôret.

Gjæringsmønstre i vomma forandres når rasjonen har en høg fordøyelighet, da endres den i retningen av høgere konsentrasjon av propionsyre og en lavere konsentrasjon for eddiksyre og smørsyre (Aaes et al. 2003). Forholdet mellom eddiksyre: propionsyre var for grovfôret med lavest, middels og høgst innhold av NDF henholdsvis 3,3, 4,3 og 4,2. Dette samsvarer med hva Beauchemin and McGinn (2006) fant. Kvigene som hadde høgst fôropptak fikk endre gjæringsmønsteret i form av mer propionsyre (Tabell 23). Lavest fôropptak ga høgst forhold mellom eddiksyre: propionsyre konsentrasjon (3,2), høgst fôropptak ga lavest forhold mellom eddiksyre: propionsyre konsentrasjon (2,5).

Grovfôr kvalitet og kraftfôrnivå påvirket ikke pH i vom hverken for de lakterende eller de tørre kyrne. Beauchemin and McGinn (2006) fant heller ingen forskjell for pH i vom mellom rasjonene med høgt og lavt kraftfôrandel.

Mengden av hydrogen (H_2) som produseres i vomma vil variere med de ulike karbohydratene som blir fermentert og andelen av de flyktige fettsyrene har stor effekt på metanproduksjonen (Russell & Rychlik 2001). Eddiksyre og smørsyre gir overskudd av H_2 , mens propionsyreproduksjon forbruker H_2 , dermed konkurrerer de metanogene bakteriene og de propionsyre produserende bakteriene om hydrogen (Moss et al. 2000). Overskuddet av hydrogen fjernes hovedsakelig ved at de metanogene bakteriene syntetiserer metan med utgangspunkt i hydrogengass og karbondioksid (Miller 1995). En endring i gjæringsmønster og en raskere passasjehastighet vil gi høgere konsentrasjon av propionsyre. Når konsentrasjonen av propionsyre stiger vil dette vanligvis også påvirke pH i vom. De metanogene bakteriene er sensitive for lav pH dette kan påvirke produksjonen av metan i en retning av lavere andel metanproduksjon.

Grovfôr kvaliteten påvirket ikke den totale metanproduksjonen uttrykt som g per dag (Tabell 21). Dette samsvarer med resultatene til Pinares-Patiño et al. (2003) der beite kvalitet hadde ingen effekt på metanproduksjonen g per dag. Det var heller ingen forskjell i metanproduksjonen målt i g per kg NDF-opptak eller g per kg kroppsvekt (Tabell 21).

Lavest innhold av NDF i grovfôret resulterte i en lavere metanproduksjon målt i g per kg tørrstoffopptak (19,6) sammenlignet med kyrne som fikk grovfôret med høyest innhold av NDF (23,9). Beauchemin and McGinn (2006) fant en liten forskjell i metanproduksjonen sett i forhold til tørrstoffopptaket. Ominski et al. (2006) fant at kyrne som hadde høyest innhold av NDF i rasjonen hadde lavest metanproduksjon når den var målt i tørrstoff-opptak, altså motsatt av vårt forsøk. Boadi et al. (2002) fant at tørrstoffopptaket var korrelert med metanproduksjon liter per dag ved appetittfôring, tørrstoffopptaket utgjorde 64 % av den daglige variasjonen i metanproduksjonen

Det var også forskjell i metanproduksjon målt i g per kg EKM mellom grovfôrkvalitetene i forsøk 1 (Tabell 21). Grovfôret med lavest innhold av NDF (G1) hadde lavest produksjon av metan (10,9) målt i g per kg EKM i forhold til grovfôret med middels (12,7) og høyest (14,5) innhold av NDF. Dette skyldes nok at de melket 4 kg mere (Tabell 20). Har ikke funnet andre forsøk som bekrefter eller avkrefter dette resultatet.

Grovfôr kvalitet og kraftfôrnivå hadde ingen effekt på grovfôropptaket, kraftfôropptaket eller det totale fôropptaket (Tabell 17) for de tørre kyrne i forsøk 2. Det var heller ingen endring i gjæringsmønstret. Andelen eddiksyre og propionsyre var nokså like mellom de to grovfôr kvalitetene for grovfôret av best kvalitet (4,0) og for grovfôret av dårligst kvalitet (4,3).

For de tørre kyrne (Forsøk 2) var det kun forskjell i metanproduksjonen (Tabell 22) uttrykt i g per kg NDF-opptak. Det var høyere produksjon av metan målt i g per kg NDF-opptak for grovfôret med lavest innhold av NDF (78,9) mot grovfôret med høyest innhold av NDF (60,7). Pinares-Patiño et al. (2003) fant heller ikke forskjell i metanproduksjonen hos lakterende Chairolais- kyr som gresset på timoteieng i forskjellige beitestadier. Det gjorde heller ikke Hart et al. (2009). Forfatterne konkluderte med at det var fôrinntaket heller enn fordøyeligheten i fôret som er hovedfaktoren som bestemmer den totale mengden av daglig metanproduksjon. McCaughey et al. (1999) og Boadi et al. (2002) fant en stor effekt av beite- og surfôrkvalitet på metanproduksjon hos melkekyr, kjøttfe og kviger.

5.3 Produksjonsnivå (Lakterende sammenlignet med tørre melkekyr).

Det var en høyere konsentrasjon av eddiksyre, propionsyre og smørsyre for de lakterende kyrne enn for de tørre (Tabell 23). Konsentrasjonen av (VFA) var også større for de lakterende kyrne. Dette kan skyldes at de har fermentert mer pga. det høge totale fôropptaket. Beauchemin et al. (2006) og Pinares-Patño et al. (2007) fant nokså like fermenteringsmønster som i forsøket med de lakterende kyrne i forsøk 1. Kvigene som fikk rasjonen med høg andel kraftfôr i forsøket til Beauchemin & McGinn (2006) hadde lavere andel eddiksyre: propionsyre (2,49) sammenlignet med surfôrrasjonen (3,20). De lakterende kyrne i forsøk 1 som fikk surfôret med lavest innhold av NDF hadde den lavest eddiksyre: propionsyre (3,2) konsentrasjonen. Kyrne som fikk surfôret med middels (4,3) og høgt (4,2) innhold av NDF hadde nokså lik andel eddiksyre: propionsyre som de tørre kyrne (4,0 og 4,3) i forsøk 2. I forsøket til Beauchemin & McGinn (2006) var smørsyreproduksjonen i vomma lik for de to rasjonene. For både de lakterende og de tørre kyrne hadde surfôret av den beste kvaliteten en signifikant høyere konsentrasjon av smørsyreproduksjon i vomma.

Tabell 23. Sammenligning av vomfermentering hos kyr i forsøk 1 og 2 med forsøkene til Van Dorland et al (2006) og Beauchemin & McGinn (2006).

	Forsøk 1 (D147)			Forsøk 2 (D151)		Melkekyr	Kviger	
	G1	G2	G3	G1	G2	Beite/inne	HS	HK
Eddiksyre	70,23	72,98	72,98	54,24	54,43	72,5	65,0	59,0
Propionsyre	22,24 ^a	16,95 ^b	17,10 ^b	13,63	12,53	17,6	20,6	25,9
Smørsyre	16,39 ^a	11,38 ^b	10,26 ^b	9,63 ^a	7,73 ^b	7,5	10,1	10,4
Sum syrer	116	106	105	80,58	77,9	101,8	97,6	96,2
Eddiksyre: propionsyre	3,2	4,3	4,2	4,0	4,3	4,16	3,20	2,49
pH	5,84	5,91	5,98	6,17	6,29	6,0	6,63	6,41
Ref.						Van Dorland et al. (2006)	Beauchemin & McGinn (2006)	

HS= høg surfôr rasjon 70 % surfôr 16 % kraftfôr (% tørrstoff)

HK=Høg kraftfôr andel: 30 % surfôr 56 % kraftfôr (% tørrstoff)

Opptaket av NDF var lavest for surfôret av best kvalitet (G1) for både de tørre og lakterende kyrne. De tørre kyrne hadde lavere konsentrasjon av NDF i rasjonen sammenlignet med hva forsøkene til Holter & Young (1992) og Hart et al. (2009) (Tabell 24). Total fôropptak var høgest for de lakterende kyrne sammenlignet med de tørre. Dette skyldes nok at de lakterende fikk *ad libitum* og de tørre fikk restriktiv fôring og at de lakterende kyrne har et mye høyere næringsbehov. Holter & Young (1992) hadde litt høyere total fôropptak for deres lakterende kyr sammenlignet med de lakterende kyrne i forsøk 1. Kvigene i forsøket til Hart et al.(2009) var ca.100 kg mindre en de lakterende og de tørre kyrne, dette kan forklare det lave fôropptak de hadde på beite. Surfôr kvalitet hadde signifikant effekt på total fôropptaket for de lakterende

kyrne i forsøk 1. Lavest innhold av NDF i surfôret ga høyest fôropptak sammenlignet med middels og høyest.

Metanproduksjonen g per dag var ca.100 g mindre for de tørre kyrne når de ble sammenlignet med de lakterende. I forsøket til Holter & Young (1992) var metanproduksjonen målt i g per dag ganske lik de lakterende kyrne i forsøk 1. Metanproduksjon målt i g per dag for de tørre kyrne var høyere enn hva Hart et al. (2009) fant i sitt forsøk (Tabell 24). Det var signifikant forskjell i metanproduksjonen målt i per kg NDF for de tørre kyrne, henholdsvis 78,9 og 60,7 for lavest og høyest innhold av NDF i surfôret. Pelve et al (2011) fant en lavere metanproduksjon målt i per kg NDF, men forsøket deres viste ingen effekt av rasjonene og beite for metanproduksjonen per kg NDF. Metanproduksjon uttrykt i per kg tørrstoff var signifikant lavere for kyrne som fikk surfôret av best kvalitet (19,6) sammenlignet med de tørre kyrnes beste kvalitet (26,9). De lakterende kyrne hadde også lavere metanproduksjon uttrykt i tørrstoff opptak sammenlignet med de tørre kyrne. Den lave metanproduksjonen per kg tørrstoff for de lakterende kyrne skyldes det høye fôropptaket de hadde. Johnson & Johnson (1995); Mills et al. (2003) fant at dyr med høgt tørrstoffopptak hadde en tendens til og tape mindre energi til metanproduksjonen. De tørre kyrne hadde lavere metanproduksjon per kg levendevekt (ca. 0,35) sammenlignet med (ca. 0,54) de lakterende kyrne. Dette skyldes at de tørre kyrne hadde en lavere total metanproduksjon enn hva de lakterende kyrne hadde.

Tabell 24. Sammenligning av metanproduksjonen i Forsøk 1 og 2 med Holter & Young (1992) og Hart et al. (2009).

	Forsøk 1 (D147)			Forsøk 2 (D151)		Naturligbeite		Beitekvalitet	
	Lakterende			Tørre kyr		Tørre	Lakt.	Kviger	
	G1	G2	G3	G1	G2	Høg	Lav	Høg	Lav
LV, kg	580	576	589	594	594	559	633	470±46	
NEF, g/kg ts	422	539	650	452	551	481	534	616	671
Grovfôropptak, kg ts	12,2 ^a	10,3 ^b	9,5 ^b	6,4	6,4				
Totalt fôropptak	16,5 ^a	14,9 ^b	14,6 ^b	7,6	7,6	17,9	9,0	7,7	5,4
Metan, g/dag	309	305	326	204	205	300	176	193	138
Metan, g/kg TSI	19,6 ^a	21,3 ^{ab}	23,9 ^b	26,9	27,0	{16,8}	{17,8}	25,7	25,6
Metan, g/kg NDF	63,9	58,3	59,9	78,9 ^a	60,7 ^b			{41}	{38}
Metan, g/kg LV	0,53	0,53	0,56	0,34	0,35	-	-	-	-
Metan, g/kg EKM	10,9 ^a	12,7 ^b	14,5 ^b	-	-	-	-	-	-
Ref.						Holter & Young (1992)		Hart et al. (2009)	

SNL= Artsrik eng
 NL= Naturlig eng
 Wet= grass
 L/d= liter per dag
 Lakt. = lakterende

{ } utregnet verdier
 TSI= tørrstoffinntak

Markørteknikken SF_6 som ble brukt i begge forsøkene kan ha underestimert metanproduksjonen ved at den kun måler det som utåndes eller rape opp.

Markørteknikken er blitt brukt i mange forsøk for estimering av metanproduksjon i fordøyelsessystemet til drøvtyggere (Johnson et al. 1994; Lasseby et al. 1997; Boadi and Wittenberg, 2002; Pinares-patiño et al. 2003). Markørteknikken kan bare måle metan som blir rapet opp eller pustet ut, den fanger ikke opp noe metan fra rektum (Johnson & Johnson 1995). Det er gjort lite arbeid med å kvantifisere mengden av CH_4 som frigjøres fra rektum under forskjellige fôringsforhold (McGinn et al. 2006). Ofte henviser man til studie av Murray et al. (1976), som fant at ca. 90 % av CH_4 hadde opphav i vomma og 10 % i tykktarmen hos sau. 90 % av CH_4 som ble dannet i tykktarmen var absorbert i blodet og frigjort ved respirasjon og resulterte da i at kun 1 % ble tapt gjennom rektum. Selv om en betydelig del av fôret blir fordøyd i vomma, er det mange faktorer som påvirker omfanget av fôret som passerer ufordøyd gjennom vomma, og som potensielt kan påvirke produksjon av CH_4 . Økt partikkelstørrelse, økt fôropptak, typisk kjemisk behandling av fôret og fôring av resistent stivelse kan øke mengden fôr som passerer ufordøyd gjennom vomma og blir fordøyd i baktarm (Galyean & Owens 1991). Dietter som øker mengden fôr som ikke blir fordøyd i vomma skaper en usikkerhet rundt bruk og nøyaktigheten ved SF_6 teknikken i følge McGinn et al. (2006).

6.0 Konklusjon

Innhold av NDF i surfôret påvirket metanutslippet på melkekyr og tørre kyr. Innhold av NDF i surfôret påvirket også fôropptaket og melkeytelsen. Fôring med lavt innhold av NDF i surfôret ga en lavere metanproduksjon uttrykt i forhold til tørrstoff opptak og EKM sammenlignet med middels og høgt innhold av NDF i surfôret. Melkeytelsen var 4 kg høyere ved fôringa av surfôr med lavt innhold av NDF sammenlignet med middels og høgt innhold av NDF. Det ble registrert et høyere fôropptak når surfôret med lavest innhold av NDF ble gitt sammenlignet med middels og høgt innhold av NDF i surfôret.

Produksjonsnivået påvirket metanutslippet, lakterende kyr hadde lavere metanproduksjon uttrykt i forhold til tørrstoff opptaket sammenlignet med de tørrekyrne. Metanproduksjonen uttrykt i forhold til kroppsvekt var lavest for de tørre kyrne sammenlignet med de lakterende kyrne.

7.0 Litteraturliste

- Aaes, O., Børsting, C. F., Sehestad, J. & Hvelplund, T. (2003). *DJF rapport Husdyrbruk, Kvæggets ernæring og physiology. Kvægts miljøpåvirkning med fokus på kvælstoff, fosfor og metan*, nr. 54. Danmark: DanmarkJordbForskning. 323-340 s. ISSN 1397-9892
- Anderson, K. L., Nagaraja, T. G., Morrill, J. L., Avery, T. B., Galitzer, S. J. & Boyer, J. E. (1987). Ruminant microbial development in conventional or early-waned calves. *Journal of Animal Science.*, 64 (4): 1215-1226.
- Armentano, L. E. (1992). Ruminant hepatic-metabolism of volatile fatty-acids, lactate and pyruvate. *Journal of Nutrition*, 122 (3): 838-842.
- Baker, S. K. (1999). Rumen methanogens, inhibitors of methanogenesis. *Aust. J. Agric. Res.*, 50: 1293-1298.
- Beauchemin, K. A. & McGinn, S. M. (2006). Enteric methane emissions from growing beef cattle as affected by diet and level of intake. *Canadian Journal of Animal Science*, 86 (3): 401-408.
- Beauchemin, K. A., Kreuzer, M., O'Mara, F. & McAllister, T. A. (2008). Nutritional management for enteric methane abatement: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48 (1-2): 21-27.
- Benchaar, C., Pomar, C. & Chiquette, J. (2001). Evaluation of dietary strategies to reduce methane production in ruminants: A modelling approach. *Canadian Journal of Animal Science*, 81: 563-574.
- Boadi, D., Benchaar, C., Chiquette, J. & Massé, D. (2004). Mitigation strategies to reduce enteric methane emission from dairy cow: update review. *Canadian Journal of Animal Science*, 84: 319-335.
- Boadi, D. A. & Wittenberg, K. M. (2002). Methane production from dairy and beef heifer fed forages differing in nutrient density using the sulphur hexafluoride (SF6) tracer gas technique. *Canadian Journal of Animal Science*, 82: 201-206.
- Boadi, D. A., Wittenberg, K. M. & McCaughey, W. P. (2002). Effects of grain supplementation on methane production of grazing steers using the sulphur (SF6) tracer gas technique. *Canadian Journal of Animal Science*, 82: 151-157.
- Chagunda, M. G. G., Römer, D. A. M. & Roberts, D. J. (2008). Effect of genotype and feeding regime on enteric methane, non-milk nitrogen and performance of dairy cow during the winter feeding period. *Livestock Science in press*.
- Clemens, J. & Ahlgrimm, H.-J. (2001). Greenhouse gases from animal husbandry: mitigation options. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 60: 287-300.
- Demeyer, D. I. (1981). Rumen microbes and digestion of plant cell walls *Agricultural and Environment*, 6: 295-337.
- Dohme, F., Machmüller, A., Wasserfallen, A. & Kreuzer, M. (2002). Comparative efficiency of various fat rices in medium-chain fatty acids to suppress ruminal methanogenesis as measured with rusitec. *Canadian Journal of Animal Science*, 80: 473-482.
- Ellis, J. L., Dijkstra, J., Kebreab, E., Bannink, A., Odongo, N. E., McBride, B. W. & France, J. (2008). Aspects of rumen microbiology central to mechanistic modelling of methane production in cattle. *Journal of Agricultural Science*, 146: 213-233.
- Fievez, V., Dohme, F., Danneels, M., Raes, K. & Demeyer, D. (2003). Fish oil as potent rumen methane inhibitors and associated effects on rumen fermentation in vitro and in vivo. *Science and Technology*, 104: 41-58.

- French, N. & Kennelly, J. J. (1990). Effects of Feeding Frequency on Ruminant Parameters, Plasma Insulin, Milk Yield, and Milk Composition in Holstein Cows. *Journal of Dairy Science*, 73 (7): 1857-1863.
- Galyean, M. L. & Owens, F. N. (1991). Effect of diet composition and levels of feed intake on site and extent of digestion in ruminants. *Academic Press, Inc N.Y.*: 483-514.
- Garmo, T. H., Thuen, E., Nes, S. K., Krizsan, S. J., Volden, H., Ollila, V. & Harstad, O. M. (2009). Effekt av grovfôr kvalitet og kraftfôrnivå på metanemisjon hos mjølkeku. *Husdyrforsøksmøte*: 4.
- Harfoot, C. G. & Hazlewood, G. P. (1997). *The Rumen Microbial Ecosystem*. Lipid metabolisme in the rumen London: Chapman & Hall. 419 s.
- Harstad, O. M. (1994). Formiddel vurdering og fôrutnytting hos drøvtyggere. *Landbruksbokhandelen*: 98.
- Hart, k. J., Martin, P. A., Kenny, D. A. & Boland, T.M. (2009) Effect of swards dry matter digestibility on methane production, ruminal fermentation, and microbial populations of zero-grazed beef cattle. *Journal of Animal Science*, 97: 3342-3350
- Hegarty, R. S. (2001). Strategies for mitigating methane emissions from livestock- Australian options and opportunities., : 31-34.
- Herdt, T. (2002). *Textbook of veterinary physiology*. Digestion: the fermentative processes.: Elsevier. 527
- Hermansen, J. E., Nielsen, J. H., Larsen, L. B. & Sejrsen, K. (2003). DJF rapport husdyrbrug. *Mælkens sammensætning og kvalitet*. Kvægets Ernæring og Fysiologi, nr. 54. Danmark: Danmark JordbForskning. 323-340 s. ISSN 1397-9892
- Hobson, P. N. (1997). *The Rumen Microbial Ecosystem*. Chapman and Hall: Blackie Academic & Professional. p. 575. ISBN: 0-7216-8994-9
- Holter, J. B. & Young, A. J. (1992). Methane prediction in dry and lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.*, 75: 2165-2175.
- Ingvartsen, K. I. & Kristensen, V. F. (2003). *DJF rapport Husdyrbrug* Regulering af foderoptagelsen Kvægets ernæring og fysiologi, b. nr. 53. Danmark: Danmarks JordbrugsForskning. ISSN 1397-9892
- Iqbal, M. F., Cheng, Y.-F., Zhu, W.-Y. & Zeshan, B. (2008). Mitigation of ruminants methane production: current strategies, constraints and future option. *World J. Microbiol Biotechnol.*, 24: 2747-2755.
- Iwaasa, A. D. (2004). The use of sulphur hexafluoride (SF₆) tracer technique to evaluate methane production from beef cattle grazing different forages.
- Iwaasa, A. D., McGinn, S. M., Stumborg, M. A. & McAllister, T. A. (2005). Development of a SF₆ collection system (PVC yoke and halter) for measuring methane production from grazing cattle. *1st National Conference Capturing Canada's Green Advantages*. Tilgjengelig fra: http://www.biocap.ca/images/pdfs/conferencePosters/Iwaasa_A_P1.pdf.
- Jentsch, W., Schweigel, M., Weissbach, F., Scholze H, P. W. & Derno, M. (2007). Methan production in cattle calculated by the nutrient composition of the diet *Arch. Anim. Nutr.*, 61 (1): 10-19.
- Johnson, K. A., Huyler, M., Westberg, H., Lamb, B. & Zimmerman, (1994). Measuring of methane emission from ruminants livestock using an SF₆ tracer technique. *Environmental Science and Technology*, 28: 359-362.
- Johnson, K. A. & Johnson, D. E. (1995). Methane emission from cattle. *Journal of Animal Science*, 73: 2483-2492.
- Jones, D. T. & Woods, D. R. (1986). Acetone-butanol fermentation revisited. *Microbiol. Rev.*, 50 (4): 484-524.
- Jones, W. J., Nagel, D. P. & Whitman, W. P. (1987). Methanogens and the diversity of archaeobacteria. *Microbiol. Rev.*, 53: 135-177.

- Kirchgessner, M., Windisch, W. & Müller. (1995). Nutritional factors for the quantification of methane production. Digestion, metabolism, growth and reproduction: Proceedings of the eighth international symposium on ruminant physiology. 333-348.
- Kristensen, N. B., Hvelplund, T., Weisbjerg, M. R. & Nørgaard, P. (2003). *DJF Rapport Husdyrbrug*. mikrobiell omsætning i formavene: Danmarks JordbrugsForskning. 411 s. ISBN: 1397-9892
- Lal, M., Khan, M. Y., Kishan, J., Katiyar, R. C. & Joshi, D. C. (1987). comparative nutrient utilization by Holstein Friesian crossbred cattle and buffaloes fed on wheat straw based ration. *Indian Journal of Animal Nutrition*, 4: 177-180.
- Lana, R. P., Russel, J. B. & Van Amburgh, M. E. (1998). The role of pH in regulating ruminal methane and ammonia production. *Journal of Animal Science*, 76: 2190-2196.
- Lassey, K. R., Ulyatt, M. J., Martin, R. J., Walker, C. F. & Shelton, I. D. (1997). Methane emission measured directly from grazing livestock in New Zealand. *Atmos. Environ.*, 31: 2905-2914.
- Mathison, G. W., Okine, E. K., McAllister, T. A., Dong, T. & Agalbraith, O. I. N. (1998). Reducing methane emissions from ruminant animals. *J. Appl. Anim. Res.*, 14: 1-28.
- McAllister, T. A., Okine, E. K., Mathison, G. W. & Cheng, K. J. (1996). Dietary, environmental and microbiological aspects of methane production in ruminants. *Canadian Journal of Animal Science*, 76 (2): 231-243.
- McCaughey, W. P., Wittenberg, K. & Corrigan, D. (1999). Impact of pasture type on methane production by lactating beef cows. *Canadian Journal of Animal Science*, 79: 221-226.
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhaalagh, J. F. D. & Morgan, C. A. (2002). *Animal nutrition* Gosport, Ashford Colour Press Ltd. 639 s.
- McGinn, S. M., Beauchemin, K. A., Coates, T. & Colombatto, D. (2004). Methane emissions from beef cattle: effects of monensin, sunflower oil, enzymes, yeast, and fumaric acid. *Journal of animal sci.*, 82: 3346-3356.
- McGinn, S. M., Beauchemin, K. A., Iwaasa, A. D. & McAllister, T. A. (2006). Assessments of the sulfur hexafluoride (SF6) tracer technique for measuring enteric methane emissions from cattle. *Journal of Environ. Qual.*, 35: 1686-1691.
- Miller, T. L. (1995). Ecology of methane production and hydrogen sinks in the rumen. Ruminant physiology: Digestion, metabolism, growth and reproduction. *Proceedings of the eighth international symposium on ruminant physiology* 317-331.
- Mills, J. A. N., Kebreab, E., Yates, C. M., Crompton, L. A., Cammell, S. B., Dhanoa, M. S., Agnew, R. E. & France, J. (2003). alternative approaches to prediction methane emission from dairy cow. *Journal of Animal Science*, 81: 3141-3150.
- Mo, M. (2005). *Surfôrboka*: Landbruksforlaget. 221 s. ISBN: 82-529-2883-8
- Moe, P. W. & Tyrrell, H. F. (1979). Methane production in dairy cow. *Journal of Dairy Science*, 62: 1583-1586.
- Moss, A. R., Jouany, J-P., Newbold, J. (2000). Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Ann. Zootech.* 49: 231-253.
- Monteny, G.-J., Bannik, A. & Chadwick, D. (2006). Greenhouse gas abatement for animal husbandry *Agriculture Ecosystems and Environment*, 112: 163-170.
- Murray, R. M., Bryant, A. M. & Leng, R. A. (1976). Rates of production of methane in the rumen and large intestine of sheep. *Br. J. Nutr.*, 36 (1): 1-14.
- Nes, S. K., Garmo, T. H., Chaves, A. V., Harstad, O. M., Krizsan, S. J., Beauchemin, K. A., McAllister, T. A., Norell, L., Thuen, E. & Volden, H. (2011). Effekt av høstetid av grassurfôr på metanemisjon fra melkekyr. *Husdyrforsøksmøte*: 4.

- O'Mara, F. (2004). Greenhouse gas production from dairying: reducing methane production. *Dairy Technology*, 16: 295-309.
- Okine, E. K., Mathison, G. W. & Hardin, R. T. (1986). Effects of changes in frequency of reticular contraction on fluid and particulate passage rates in cattle. *Journal of Animal Science* 67: 3388-3396.
- Ominski, K. H., Boadi, D. A. & Wittenberg, K. M. (2006). Enteric methane emission from backgrounded cattle consuming all-forage diets. *Canadian Journal of Animal Science*, 86 (3): 393-400.
- Pelvé, M. E., Olsson, I., Spörndly, E. & Eriksson, T. (2011). In vivo and in vitro digestibility, nitrogen balance and methane production in non-lactating cows and heifers fed forage harvested from heterogeneous semi-natural pastures. *Livestock Science* IN PRESS: 9.
- Pinares-Patiño, C. S., Baumont, R. & Martin, C. (2003a). Methane emissions by Charolais cows grazing a monospecific pasture of timothy at four stages of maturity. *Canadian Journal of Animal Science*, 83: 769-777.
- Pinares-Patiño, C. S., Julyatt, O. M., Lassery, K. R. & Barry, T. N. (2003). Persistence of differences between sheep in methane emission under generous grazing conditions. *Journal of Agricultural Science*, 140: 227-233.
- Prestløyken, E., Randby, Å. T., Eknæs, M. & Garmo, T. H. (2011). Nedbryttings- og passasjehastighet for fiber i grassurfôr høstet ved tidlig og normalt utviklingstrinn. *Husdyrforsøksmøte*.
- Russel, J. B. (1998). The importance of pH in the regulation of ruminal acetate to propionate ratio and methane production in vitro. *Journal of Dairy Science*, 81: 3322-3330.
- Russell, J. B. & Rychlik, J. (2001). Factors that alter rumen microbial ecology. *Science*, 292: 1119-1122.
- Sar, C., Mwenya, B., Santoso, B., Takaura, K., Morikawa, R., Isogai, N., Asakura, Y., Toride, Y. & Takahashi, J. (2005). Effect of *Escherichia coli* W3110 on ruminal methanogenesis and nitrate/nitrite reduction in vitro. *Animal Feed Science and Technology*, 118: 295-306.
- Shingfield, K. J., Jaakkola, S. & Huhtanen, P. (2002). Effect of forage conservation method concentrate level and propylene glycol on diet digestibility, rumen fermentation, blood metabolite concentrations and nutrient utilization of dairy cow. *Animal Feed Science and Technology*, 97 (1): 1-21.
- Sirohi, S. & Michaelowa, A. (2007). Sufferer and cause: Indian livestock and climate change. *Climatic Change*, 85 (3): 285-298.
- Sjaastad, Ø. V., Hove, K. & Sand, O. (2003). *Physiology of domestic animals*: Scandinavian veterinary press. 507-527 s.
- Sutton, J. D. (1971). Carbohydrate digestion and glucose supply in the gut of the ruminant. *Digestion and metabolism of carbohydrates*, 30: 243-248.
- Tammenga, S. (1992). Nutrition management of dairy cows as a contribution to pollution control. *Journal of Dairy Science*, 75: 345-357.
- Van Dorland, H. A., H.R., W., Leuenberger, H. & Kreuzer, M. (2007). Effect of supplementation of fresh and ensiled clover to ryegrass on nitrogen loss and methane emission of dairy cows. *Livestock science*, 111 (1): 57-69.
- Vijayaraghavan, K., Ahmed, D., Ibrahim, M. K. B. & Herman, H. N. B. (2006). Isolation of hydrogen generating microflora from cow dung for seeding anaerobic digester. *International Journal of Hydrogen Energy*, 31: 708-720.
- Vogels, G. D., Hoppe, W. F. & Stumm, C. K. (1980). Association of methanogenic bacteria with rumen ciliates. *Applied and Environmental Microbiology* 40: 608-612.

- Waghorn, G. C., Woodward, S. L., Tavendal, M. & Clark, D. A. (2006). Inconsistencies in rumen methane production- effects of forage composition and animal genotype. *International Congress Series*, 1293: 115-118.
- Wattiaux, M. A. & Howard, T. W. (2008). Digestion in the dairy cow. *University of Wisconsin-Madison*.
- Weisbjerg, M. R., Lund, P. & Hvelplund, T. (2003). *DJF rapport Husdyrbrug*. kulhydratomsætningen i mave-tarmkanalen., 53, 1. Danmark: JordbruksForskning. 240-280 s. ISSN 1397-9892
- Weisbjerg, M. R., Hvelplund, T. & Lund, P. (2005). *DJF Rapport Husdyrbrug*. Metanproduksjon. Danmark: DanmarkJordbForskning. 323-340 s. ISSN 1397-9892
- Wilson, J. R. & Kennedy, P. M. (1996). Plant and animal constraints to voluntary feed intake associated with fibre characteristics and particle breakdown and passage in ruminants. *Australian Journal of Agricultural Research*, 47 (2): 199-225.
- Wolin, M. J. (1997). *The Rumen Microbiel Ecosystem*. Microbe-microbe interactions. London: Chapman & Hall. 507 s.
- Wolin, M. J. & Miller, T. L. (2006). Control of rumen methanogenesis by inhibiting the growth and activity of methanogens with hydroxymethylglutaryl-SCoA inhibitors. *International Congress Series*, 1293 (0): 131-137.

Vedlegg 1

Oppsamlingsprosedyre av metan.

Dag 1.

Utstyret blir klargjort og satt på kyrne(kl. 8-10)

Beholderene for gassoppsamling (yoke) blir påført vakum (Ca.13-14) ved bruk av vakumpumpe i ca 12 sekunder. Bruk manometer og noter vakum-trykk i et eget skjema(som psi og Hg)

Gassoppsamling starter opp ca kl. 9.00

Gassoppsamling i 24 timer starter opp fra ca kl 9.00 ved å koble slangen fra gremen til oppsamlingsbeholder (yoke). Tidspunktet for start oppsamling for hver ku skal noteres i et eget skjema. I tillegg skal det plasseres en oppsamlingbeholder i fjøset for oppsamling av gass fra fjøset (bakgrunnsverdi)

Rutinesjekk (Daglig/kontinuerlig)

kontroller at utstyret sitter riktig på kyrne – flere ganger i døgne

sjekk at ”sil” på enden av slangen over neseborene/mule er ok.

Sjekk at husdyrrommet er godt utlufta/ventilert.

Dag 2.

Utstyret blir klargjort og tatt av/satt på kyrne (kl.8-10)

en setter beholderene for gassoppsamling (yoke) blir påført vakum (ca13 – 14 psi) ved bruk av vakumpumpe i ca 12 sekunder. Noter vakum – trykk i et eget skjema. Gassoppsamling starter opp ca kl. 9.00

Etter 24 timer gassoppsamling blir beholderen (yoke) skifta ut med ny oppsamlingsbeholder.
Tidspunkte for avslutting av oppsamling for hver ku skal noteres i et eget skjema

Som punkt 2-3 for dag 1

Prøvetaking av gassprøver fra beholder (yoke) tatt ut på et prøveglass (Extainer)

Mål og noter i skjema vakum – trykk på beholderen (yoke) etter 24 timer med oppsamling (før gassprøvetaking). Den målte vakumet bør ligge på ca 4-5 psi. Dersom den målte vakum er høyere indikerer det tilstopping i luftrøret ved mulen/neseborene. Dersom målte vakum er nær 0 psi viser det indikasjon på lekkasje i grime/slange/york.

Tilfør nitrogengass (1 bar, ca 15 sek) i beholderen (yoke), mål trykk og noter i skjema (bør være mellom 15 – 18 psi) og la beholderen (yoke) deretter stå i 45 minutter før prøveuttakking begynner. Nitrogen i beholderen (yoke) jevner ut trykket, påvirker ikke metan og CO₂ konsentrasjonen.

Uttak av ca 20 ml prøve med 30 ml sprøyte (type: BD Plastipak[®] med tynn sprøytespis (type BD Microlance[™] 3,0,5 x 16 mm) Første fylling av sprøyte tømmes ut i lufta for å renske sprøyta og unngå forerensning fra andres prøver.

Hele prøvevolumet på sprøyta overføres til (Vakum) prøveglass som er godt merket med etiketter, prøve glasset(exteriner) rommer 5,9 ml.

Punkt 6) og 7) gjentas 4 ganger (det vil si 5 prøver pr yoke)

Tøm oppsamlingsgass fra beholderen (yoke) blir tilført Nitrogen gass (2 bar, ca 15 sek) og deretter tømt. Dette gjøres for å ”vaske” ut innholdet i beholderen. Dette gjentas 3 ganger. Beholderne er nå rene og er klare til påføring av vakum neste morgen før kl 9.00. Husk og skru av gassen sett trykket på 0 bar.

Dag 3-5 som dag 2. Utstyret skal rengjøres når de blir tatt av dyra etter bruk dag 5.

