



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2018 30 stp

Fakultet for Biovitenskap

Hovedveileder: Odd Magne Harstad

Hvordan øke innholdet av umettet fett i kumelk

How to increase the content of unsaturated fatty
acids in bovine milk

Kjersti Bogstad

Husdyrvitenskap

Institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap

Forord

Masteroppgaven er skrevet som en avsluttende oppgave våren 2018, etter tre år ved studiet Husdyrfag – velferd og produksjon ved Nord universitet, studiested Steinkjer og to år Husdyrvitenskap med spesialisering innen ernæring, ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.

Under hele studietiden er det drøvtyggere som har vært av størst interesse. Interessen for temaet melke kvalitet økte i løpet av studietiden, og bacheloroppgaven ble skrevet innen dette temaet. Når jeg kom til Ås økte interessen for drøvtyggerernæring, og derfor ble det utgangspunktet for min masteroppgave. Med god hjelp fra Odd Magne Harstad ble det fettsyresammensetning i melk som ble temaet for masteroppgaven. Det er et stort og vidt tema som jeg kunne veldig lite om fra tidligere, men det skjer mye på denne fronten både i Norge og utlandet og det er et svært spennende tema. Arbeidet med masteroppgaven har vært krevende og læringskurven har vært bratt, men jeg sitter igjen med mye kunnskap på temaet som forhåpentligvis gjør meg bedre rustet på arbeidslivet som venter etter endte studier.

Jeg ønsker å rette en stor takk til

- Professor Odd Magne Harstad ved IHA for utrolig god veiledning gjennom hele skriveprosessen. Det har vært til stor hjelp og en trygghet med en veileder som alltid har vært tilgjengelig.
- Biveileder Ingunn Schei spesialrådgiver i TINE SA og førsteamanuensis Egil Prestløyken ved IHA for gode møter og diskusjoner.
- Kristine Steinslett Jenssen for teknisk og engelsk språklig hjelp
- Medstudenter ved NMBU, spesielt takk til Haakon og Øystein
- Randi Steinslett, Brita Skallerud og Margrete Letnes for korrekturlesing

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

Ås, 13. mai 2018

Kjersti Bogstad

Sammendrag

Næringsrik kumelk utgjør en viktig del av kostholdet til de fleste nordmenn. Melk består av foruten vann, protein, fett, sukker, vitaminer og mineraler. Melkefettet har fått mye fokus de siste ti årene på grunn av det høye innholdet av mettede fettsyrer som blir ansett som helseskadelig. Det er derfor ønskelig å redusere andelen mettede fettsyrer i melka for å bedre den ernæringsmessige kvaliteten. Mettede fettsyrer utgjør om lag to tredjedeler av melkefettet, og det er spesielt laurinsyre (C12:0), myristinsyre (C14:0) og palmitinsyre (C16:0) som virker kolesteroløkende.

Mettede fettsyrer utgjør i dag 15 % av energiinntaket vårt, men helsemyndighetene har en målsetting om å redusere bidraget til 10 %. Meieriprodukter er den største kilden til mettet fett i kostholdet vårt. TINE har derfor inngått forpliktelser overfor helsemyndighetene om å redusere andelen mettede fettsyrer i melk. Dette skal de oppnå ved å premiere produsenter som har høy andel umettet fett i melka. 1. mai 2018 økte TINE betalingen for fett, og dette vil skape utfordringer da det er en nær negativ korrelasjon mellom fettinnholdet i melka og andelen umettet fett. Det vil derfor bli svært utfordrende å øke andelen umettet fett i melka, samtidig som innholdet av fett skal øke. Dette er problemstillingen for masteroppgaven, som gjennom et litteraturstudie skal belyse hvilke muligheter melkeprodusentene har gjennom føring og driftsmåte til å øke andelen umettet fett i melk. Oppgaven skal munne ut i anbefalte strategier som kan oppfylle denne målsettingen.

Første del av masteroppgaven omhandler fettsyrer i melk og fôr, samt fordøyelsen av fôret med hovedvekt på fettfraksjonen. Deretter følger en gjennomgang av tilførselen av substrater som inngår i syntesen av melkefett, og munner ut i selve syntesen av melkefett. Melk inneholder 3-5 % fett, og fettsyresammensetningen i melka avhenger av tilførselen på byggesteiner for dannelsen av melkefett. Substrater som tilføres juret via blodet er i hovedsak glukose, eddiksyre, β -hydroksymørsyre, triglyserider og aminosyrer. Disse substratene stammer fra fordøyelseskanalen, er produkter fra intermediær omsetning eller fra mobilisert kroppsvev. Fettsyresammensetningen i melka skiller seg vesentlig fra fettsyresammensetningen i fôret. Fôrfettet blir restrukturert i fordøyelseskanalen og i juret blir det syntetisert korte og mellomlange fettsyrer, og mettede fettsyrer blir desaturert. Fettsyrene i melk stammer dels fra *de novo* syntesen i juret og dels fra fettsyrer som tilføres juret via blodet.

En rekke fettsyrer i melka blir sett på som gunstig ernæringsmessig. Det er imidlertid også flere fettsyrer (C12:0, C14:0, C16:0) som påvirker helsen negativt ved å øke sannsynligheten for hjerte- og karsykdommer. Det er derfor ønskelig å øke innholdet av oljesyre (C18:1c9), linolsyre (C18:2c9,c12) og linolensyre (C18:3), samt redusere linolsyre:linolensyre forholdet. Økningen av disse fettsyrene skal skje på bekostning av lange og mellomlange, mettede fettsyrer.

I neste del av masteroppgaven diskuteres effekten av grovfôret, komposisjonen av kraftfôret, rasjonssammensetning, samt effekten av fettilsetning på fettsyreprofilen i melka. Det er betydelig potensiale for å øke innholdet av umettet fett i melka gjennom fôring ved å øke innholdet av enumettede- og polyumettede fettsyrer, særlig oljesyre (C18:1c9). Grovfôr utgjør hovedandelen av fôrrasjonen til melkekuer her til lands, og grovfôr har et relativt høyt innhold av umettet fett, noe som vil gjenspeile seg i melka. Grovfôrandelen i fôrrasjonen kan økes ved å høste grovfôret på et tidlig utviklingsstadium. I tillegg vil viktig strategier være å maksimere andelen beite og øke andelen kløver i enga og beite. Forholdene under fortørring av grasmaterialet og gjæringsforløpet under ensileringen kan ha betydning for effekten på sammensetning av melkefettet. Kort fortørring og vellykket ensilering bidrar til å redusere hydrogeneringen av umettede fettsyrer i surfôret, og derigjennom påvirker fettsyresammensetningen i melka. Nivået av nitrogen gjødsling, konserveringsmetode og bruk av konserveringsmiddel vil trolig også være av betydning, men her er ikke resultatene fra forsøkene entydige. Komposisjonen av kraftfôret og bruk av fetttilskudd i kraftfôret vil være viktige redskaper. Bruk av havre og raps i kraftfôret vil være gunstig for å øke andelen umettet fett i melk. Kalsiumsalter av raps (høy andel oljesyre) vil trolig være et viktig virkemiddel for å øke andelen umettet fett i melk. Kalsiumsalter reduserer de negative effektene umettet fett har i vom, og har vist seg å øke andelen umettede og redusere andelen mettede fettsyrer i melk. Det er ofte sett en økning i melkeytelsen, men en nedgang i fettprosent. Lavere fettprosent vil skape konflikt med betalingssystemet til TINE som premierer et høyt fettinnhold. Skal TINE klare å holde løftet de har gitt til myndighetene om å øke andelen umettede fettsyrer i sine produkter, må belønningen av produsentene veie opp for eventuell nedgang i fettprosenten. Masteroppgaven avslutter med å diskutere strategier som er praktisk gjennomførbare med målsetting om høyere innhold av umettet fett i melk, men nødvendigvis ikke øke fettprosenten. Utover økt grovfôrandel er det ikke lett å se hvilke strategier som øker både fettprosenten i melk, og andelen umettede fettsyrer.

Abstract

Dairy products are a substantial part of the Norwegian diet. Milk contain nutrients such as proteins, fat, sugar, vitamins and minerals. The last decade there has been a lot of focus on dairy fat because of the high content of saturated fatty acids, which are deemed harmful to the health of humans. It is therefore desirable to lower the content of saturated fatty acids to increase the nutritional quality of milk. Two thirds of the fat in milk is saturated. The fatty acids lauric acid (C12:0), myristic acid (C14:0) and palmitic acid(C16:0) are the main culprits in the dairy fat that increases cholesterol levels.

Saturated fatty acids make up 15 % of our daily energy intake, but The Norwegian Directorate of Health has a goal of reducing this to 10 %. Dairy products are the largest source of saturated fat in our diet. TINE has committed to reduce the amount of saturated fatty acids in the milk. To achieve this, TINE will award farmers that has a high content of unsaturated fatty acids in the milk. The first of May 2018 TINE increased the additional payment for extra fatty milk. This will create challenges since there is a strong negative correlation between total fat and unsaturated fat in the milk. This will make it very challenging to increase the proportion of unsaturated fatty acids, while increasing the amount of total fat. This is the focus of this thesis, which through a study of literature will shed light on the opportunities dairy farmers have to increase the proportion of unsaturated fat in the milk through feeding and management. This paper will give recommendations to strategies that can achieve this goal.

The first part of this paper is about fatty acids in milk, feed and digestion of feed with focus on fat. Following that there is a review regarding the supply of substrates to the synthesis of dairy fat, and the synthesis of dairy fat itself. Milk contains 3-5 % fat, and the fatty acid profile is dependent on the supply of precursors for dairy fat production. Glucose, acetic acid, β -hydroxybutyric acid, triglycerides and amino acids are the main substrates that are transported through the blood to the mammary gland. All these substrates are from the digestive tract, products of intermediary metabolism or mobilized from adipose tissues. The fatty acid profile of the milk is very distinct from the fatty acid profile of the feed. Fat from the feed will be restructured in the digestive tract, and in the udder synthesizing short- and medium chain fatty acids occur, and saturated fatty acids become denaturated. The fatty acids in the milk are partially from the *de novo* synthesis in the udder and partially from the fatty acids that are supplied from the blood.

Several fatty acids in the milk are regarded as positive for the health. However, there are also several fatty acids that are negative for the health (C12:0, C14:0, C16:0) because of an

increased probability for cardiac disease. It is therefore desirable to increase the content for oleic acid (C18:1c9), linoleic acid (C18:2c9,c12) and linolenic acid (C18:3), while reducing the linoleic: linolenic ratio. An increase in these fatty acids should be at the expense of long- and medium chain fatty acids.

In the next part of the thesis the effect of forage, concentrate composition, ration composition and the effect of fat as an additive on the fatty acid profile in the milk will be discussed. There is a considerable potential to increase the content of unsaturated fat in the milk through feeding by increasing the content of mono- and polyunsaturated fatty acids, especially C18:1c9, in the feed. The main proportion of the ration for dairy cows in Norway is forage, which has a relative high content of unsaturated fat. This is reflected by the fatty acid profile in the milk. By harvesting the forage at an earlier stage in its development, an even higher proportion of forage can be achieved. In addition to this, important strategies will be to maximize the proportion of pasture and increasing the proportion of clover in both pasture and grassland. The condition during pre-wilting and the fermentation during the conservation process can have a considerable effect on the fatty acid profile in the milk. Short pre-wilting and successful conservation will contribute to reduced hydrogenation of unsaturated fatty acids in the silage, and by that have an effect on the fatty acid composition in milk. The level of N-fertilizing, conservation method and use of silage additives will also probably be of some importance, but the data are inconclusive. Composition of the concentrate and the addition of fat in the concentrate will be important tools. It would be beneficial to use rapeseed and oats in the concentrate to increase the proportion of unsaturated fat in the milk. Calcium salts of rapeseed would probably be of importance to increase the proportion of unsaturated fat in the milk. Calcium salts decrease the negative effects that unsaturated fats have in the rumen and has been shown to increase the proportion unsaturated fats and decrease the proportion of saturated fats in the milk. An increase in yield has also been observed but with a decreased in the percentage of fat. A lower percentage of fat will create conflicts with the increased payment TINE gives for a higher percentage of fat. To achieve their goals, TINE would have to compensate the farmers for the lower percentage of milk fat. This thesis ends with a discussion of strategies that are doable in practice with the goal of achieving a higher proportion of unsaturated fat in the milk, but not necessarily increasing the fat percentage. Besides increasing the proportion roughage, it is not predicted which strategies that can increase both fat percentage and the proportion of unsaturated fatty acids.

Innhold

Forord	I
Sammendrag.....	III
Abstract.....	V
1 Innledning	1
2 Fett i melk og fôr.....	3
2.1 Fett i fôr.....	4
2.1.1 Kraftfôr.....	5
2.1.2 Grovfôr	7
2.1.3 Beite	8
2.2 Melkefett	8
2.2.1 Melkefett og human helse	10
2.2.2 Hvilke mettede fettsyrer bør reduseres?.....	11
3 Forsyning av substrater til syntesen av melkefett	12
3.1 Substrater fra fordøyelse og omsetning av hovednæringsstoffene.....	12
3.1.1 Karbohydrat	13
3.1.2 Protein	14
3.1.3 Fett	15
4 Syntesen av melkefett.....	19
5 Virkning av fôring på fettsyresammensetning av melk.....	23
5.1 Effekt av kraftfôr på fettsyresammensetning i melk.....	23
5.2 Effekt av grovfôr på fettsyresammensetning i melk.....	25
5.2.1 Effekt av grasart og kløver	26
5.2.2 Betydning av utviklingstrinn og høstetidspunkt av gras og kløver på fetsyresammensetning i melk.....	32
5.2.3 Effekt av nitrogen gjødsling på fettsyresammensetning i gras og melk	36
5.2.4 Effekt av ensilering på fettsyresammensetning i gras og melk	39

5.3 Effekt av grovfôr: kraftfôrforhold på fettsyresammensetning i melk.....	45
5.4 Effekt av beite på fettsyresammensetning i melk.....	47
5.5 Effekt av fôrrasjonen på innholdet av CLA i melk.....	50
5.6 Effekt av mobilisering av kroppsfett på fettsyresammensetning i melk.....	52
5.7 Genetisk variasjon og innvirkning på fettsyresammensetning i melk.....	52
6 Bruk av fettilsetninger for å påvirke forsyningen av substrater til fettsyntesen	55
6.1 Fett i naturlig form.....	57
6.2 Fett tilført som oljer	60
6.3 Fett tilført som kalsiumsåper / kalsiumsalter	63
7 Strategier for å øke innholdet av umettede fettsyrer i melk.....	69
Litteraturliste.....	75

1 Innledning

Melk er en viktig del av kostholdet hos de aller fleste nordmenn. Melk er en naturlig næringsrik, biokjemisk kompleks råvare som foruten vann består av protein, fett, sukker (laktose), mineraler og vitaminer. Melk er en viktig kilde til vitaminene riboflavin (vitamin B₂) og kobalamin (vitamin B₁₂), og mineralene kalsium, jod, fosfor og magnesium (Matvaretabellen, 2017).

Forbruket av konsummelk har gått betydelig ned siden 1970-årene, og nedgangen fortsatte også i 2016 (Helsedirektoratet, 2018). Denne nedgangen har frem til nå stort sett blitt kompensert med et større inntak av andre melkeprodukter, som ost og yoghurt. Utviklingen de senere årene har ført til en klar vridning fra fete til magre meieriprodukter, og lettmelk fortsetter å ta over markedsandel på bekostning av helmelk (Helsedirektoratet, 2018). I følge Opplysningskontoret for meieriprodukter (2016) hadde gjennomsnittsnordmannen i 2017 et årlig forbruk på omtrent 85 liter melk, 10 kg yoghurt, 19 kg ost, 3 kg smør og 3,5 kg rømme.

Melkefettet har vært et mye omtalt tema de siste ti årene på grunn av det høye innholdet av mettede fettsyrer, med et høyt innslag av transfettsyrer. Disse kategoriene av fettsyrer blir ansatt som helseskadelig, og det er derfor ønskelig å øke andelen umettet fett i kosten (Haug, 2000). Mettede fettsyrer utgjør om lag to tredjedeler av melkefettet (Berg, 2016), hvor laurinsyre (C12:0), myristinsyre (C14:0) og palmitinsyre (C16:0) virker kolesteroløkende (Haug, 2000; Dewhurst et al., 2006; Helsedirektoratet, 2014). De korte, mettede fettsyrene smørsyre (C4:0), kapronsyre (C6:0), kaprylsyre (C8:0) og kaprinsyre (C10:0) som utgjør 12 til 14 % av melkefettet og stearinsyre (C18:0) som utgjør om lag 4-14 % blir regnet som nøytrale i forhold til kolesterolet (Harstad & Steinshamn, 2010; Næringslivsgruppen på matområdet, 2015). Oljesyre (C18:1c9), konjugert linolsyre (CLA) og omega-3 fettsyrer ansees å være gunstig for helsen vår (German & Dillard, 2004; Harstad & Steinshamn, 2010).

Det er gjort en rekke forsøk for å undersøke mulighetene til å øke andelen umettet fett i melka. Gjennom fôring er det mulig å påvirke fettsyresammensetningen i gunstig retning (Hermansen et al., 2003). Fokusområdene som Abrahamsen et al. (2007) diskuterte; senke innholdet av mellomlange og lange mettede fettsyrer, øke innholdet av oljesyre, CLA og polyumettede fettsyrer, spesielt omega-3 fettsyrer, gjelder fortsatt. Målet må være å oppnå et forhold mellom omega-6 og omega-3 på 2:1, samt et lavt innhold av vaccensyre (Harstad, 2007).

Helsedirektoratet (2014) anbefaler at mettede fettsyrer bør begrenses til under 10 % av energiinntaket vårt, mot rundt 15 % i dag. Matvarebransjen har satt seg et mål om å redusere denne andelen til 13 % innen 2018 (Regjeringen, 2015). Kjøtt- og meieriprodukter er de største kildene til mettet fett, og skal en klare å nå målet må derfor innholdet av mettet fett i blant annet meieriprodukter reduseres (Regjeringen, 2015). TINE har derfor inngått forpliktelser overfor helsemyndighetene om å redusere andelen mettede fettsyrer i melk. Dette skal de oppnå gjennom å premiere produsenter som har høy andel umettet fett i melka (TINE Rådgiving og Medlem, 2018).

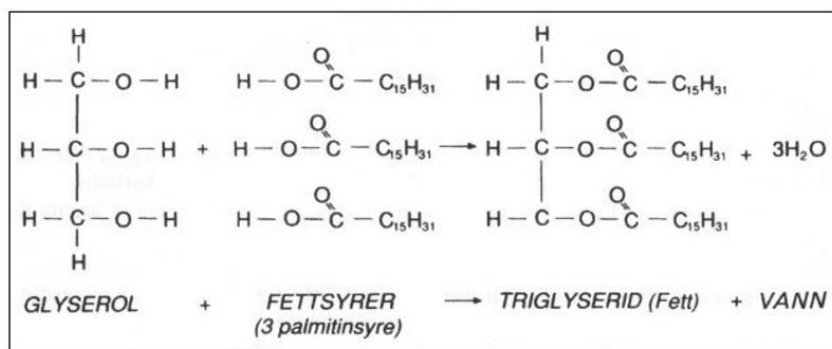
I 2011 var det underskudd på melkefett som resulterte i smørkrise. Etter dette har fettbetalingen økt, og fettinnholdet i melk har steget fra 4,10 % i 2011 (TINE SA, 2011), til 4,25 % i 2017 (TINE SA, 2017). Imidlertid gikk fettinnholdet ned fra 2016 til 2017, og prognosene viser at nedgangen vil fortsette i 2018 (TINE Rådgiving og Medlem, 2018). For å sikre tilstrekkelig mengde melkefett og unngå en ny smørkrise, øker TINE betalingen for fett fra fem til sju øre per liter fra 1. mai 2018 (TINE Rådgiving og Medlem, 2018). Det er en nær positiv korrelasjon mellom fettinnhold i melka og andelen mettet fett (Schei & Volden, 2013), og det vil derfor bli ekstra utfordrende å øke andelen umettet fett i melk. Det er denne problemstillingen som er bakgrunnen for masteroppgaven.

Hovedhensikten med denne masteroppgaven er å belyse hvilke muligheter melkeprodusentene har gjennom fôring og driftsmåte å øke andelen av umettede fettsyrer i melkefettet i tråd med målsettingen til TINE, og foreslå strategier for å nå dette målet.

2 Fett i melk og fôr

Fett, også kaldt lipider er en gruppe upolare organiske stoffer i planter og dyr. Lipider inngår blant annet som komponenter i biologiske membraner, er substratbærere i enzymatiske reaksjoner, elektronbærere og er en spesielt viktig kilde til lagret energi (McDonald et al., 2011). Fettmolekyler er de minste makromolekylene i dyrekroppen, og de inneholder grunnstoffene karbon, hydrogen og oksygen. Lipider deles inn i tre grupper; triglyserider, fosfolipider og steroider (Sjaastad et al., 2010). Triglyserider utgjør gruppen som omtales som fett, og består av ett glyserolmolekyl og tre fettsyrer, hvor ulike kombinasjoner av fettsyrer vil gi ulike triglyserider. Glyserol er ett alkohol med tre karboksylgrupper (-COOH), og fett dannes ved at det bindes fettsyrer på glyserol med en esterbinding. Glyserol kan være erstattet med andre stoffer i enkelte typer fett. I dyrekroppen lagres fett i form av triglyserider i fettvev. En karboksylgruppe i den ene enden og en metylgruppe (CH₃) i den andre er felles for alle typer fettsyrer (figur 1) (Gjefsen, 2007; Sjaastad et al., 2010).

Fettsyrer er organiske syrer som inneholder fra 4 til 24 karbonatomer, og kjedelengden avgjør om det er en kort-, mellomlang- eller lang fettsyre. Egenskapene til fettsyrene bestemmes av kjedelengden og av antallet dobbeltbindinger mellom karbonatomene (McDonald et al., 2011). Metningsgraden bestemmes av antall hydrogenatomer i kjeden, da en fettsyre kan inneholde både enkeltbindinger og dobbeltbindinger. Mettede fettsyrer har kun enkeltbinding mellom karbonatomene og har ikke plass til flere hydrogenatomer i skjelettet, og er dermed mettet. Umettede fettsyrer har en eller flere dobbeltbindinger. Fettsyrer med kun en dobbeltbinding kalles enumettede-/monumettede fettsyrer, mens fettsyrer med flere dobbeltbindinger kalles flerumettede-/polyumettede fettsyrer. Lange, umettede fettsyrer har et lavere smeltepunkt enn lange, mettede fettsyrer (McDonald et al., 2011).



Figur 1: Danning av triglyserid (Gjefsen, 2007).

En skiller mellom essensielle fettsyrer og ikke-essensielle fettsyrer. Essensielle fettsyrer klarer ikke kroppen å produsere selv, og de må tilføres gjennom fôret. De essensielle fettsyrene er linol- og linolensyre, hvor det er kun linolensyre som blir regnet som den eneste sanne essensielle fettsyren, da det er kun denne som kan hindre symptomer som oppstår ved mangel på essensielle fettsyrer hos varmblodige dyr (Gjefsen, 2007; McDonald et al., 2011; Ahlstrøm & Skrede, 2017). Linolsyre tilhører omega-6-fettsyre familien, og linolensyre omega-3-fettsyre familien. Det er omega-3 fettsyren som er utgangspunktet når det dannes lengre omega-3 fettsyrer, som eikosapentaensyre (EPA) og dokosaheksaensyre (DHA). Disse ansees også som essensielle fettsyrer, da enzymene som deltar i forlenging og desaturering av linolensyre kan være avgrensede (McDonald et al., 2011; Ahlstrøm & Skrede, 2017).

Transfett er en samlebetegnelse på umettede fettsyrer som har dobbeltbinding, med trans-konfigurasjon. Transfett finnes i fettprodukter fremstilt industrielt fra fiske- og planteoljer og i melkefett. I drøvtyggerfett dominerer transfettsyren vaccensyre (C18:1t11) (Haug, 2000; Arnesen, 2013).

2.1 Fett i fôr

Fôrrasjonen til norske melkekyr består av kraftfôr og konservert grovfôr, samt beite i sommermånedene. Av de ulike grovfôrslagene er det surfôr som dominerer, og for å dekke energibehovet til kua må det suppleres med kraftfôr. Melkeproduksjonen har endret seg de siste ti årene. Antall melkegårdsbruk og melkekuer har gått ned, men melkeproduksjonen på landsbasis har holdt seg stabil. Det har vært en stor ytelsesøkning per ku, hvor økningen hovedsakelig skyldes økt kraftfôrforbruk (Steinshamn et al., 2016). I følge TINE Rådgiving og Medlem (2013) utgjorde kraftfôr 43,4 % av fôrrasjonen i melkeproduksjon i 2013 (siste året dette ble oppgitt).

Fettsyresammensetningen i fôret skiller seg svært mye fra fettsyresammensetningen i melka (tabell 1 og 2). Årsaken til dette er at fôrfettet blir restrukturert i fordøyelseskanalen og at det i juret blir syntetisert korte og mellomlange fettsyrer (*de novo* syntetiserte fettsyrer), og mettede fettsyrer blir omdannet til umettede fettsyrer (desaturering). Fôrrasjonen til ei melkeku består hovedsakelig av palmitinsyre (C16:0), oljesyre (C18:1c9), linolsyre (C18:2c9,c12) og linolensyre (C18:3c9,12,15) (tabell 3 og 4). I motsetning til fôret, har melk et høyt innhold av fettsyrer med 16 eller færre karbonatomer og lavt innhold av linolsyre, og særlig linolensyre (tabell 3, 4 og 5). Til tross for disse forskjellene vil likevel fettsyresammensetningen i fôr påvirke sammensetningen av melkefettet (Harstad et al., 2000).

Tabell 1: Eksempler på omsetningen av förfett i fordøyelseskanalen og fettsyresammensetning i melk (Harstad et al., 2000).

Byggbasert kraftfôr						
	Kg/d	Fettsyresammensetning, %				
	Fett	≤C16	C18:0	C18:1c9	C18:2	C18:3
Inntak	1,22	23	7	20	30	18
Tarmen	2,15	24	58	8	8	2
Melka	1,1	67	16	14	2	<1

Tabell 2: Eksempler på omsetningen av förfett i fordøyelseskanalen og fettsyresammensetning i melk (Harstad et al., 2000).

Havre-/rapsbasert kraftfôr						
	Kg/d	Fettsyresammensetning, %				
	Fett	≤C16	C18:0	C18:1c9	C18:2	C18:3
Inntak	1,54	22	5	34	30	14
Tarmen	2,18	16	64	10	7	2
Melka	1,13	56	21	20	3	<1

2.1.1 Kraftfôr

Kraftfôr er et konsentrert fôrmiddel med et høyt energi- og/eller proteininnhold, og består av en rekke råvarer, som korn og oljefrø. Til drøvtyggere brukes kraftfôrblandinger som supplement til grovfôr, og kraftfôrandelen varierer mellom ulike besetninger. Det settes store krav til ytelse hos dagens melkekuer, og det er nødvendig å supplere med kraftfôr for å oppnå en optimal fôrrasjon og sikre at kua får dekket sitt næringsbehov. Kraftfôrfirmaene arbeider stadig med å utvikle og forbedre ulike kraftfôrslag til ulike husdyr. De tilpasser kraftfôret for å supplere ulike typer, mengder og kvaliteter på grovfôret, som resulterer i en rekke kraftfôrblandinger på markedet. Kraftfôret skal inneholde optimale mengder av næringsstoffer og energi i forhold til dyrets behov (Ahlstrøm & Skrede, 2017).

Innholdet av fett og fettsyresammensetning varierer mye mellom de ulike råvarene som benyttes i kraftfôr (tabell 3). Havre har et høyt fettinnhold på 5,5 % ifølge Harstad og Steinshamn (2010), men normal variasjon er 5 til 8 % ifølge Bævre et al. (2000), hvor oljesyre og linolsyre utgjør hele 80 % av den totale fettfraksjonen. Havre inneholder større mengde trevler enn bygg, noe som medfører lavere fordøyelighet. Til tross for dette medfører det høye fettinnholdet at havre har en relativt høy energiverdi (Astrup et al., 1988). Et normalt fettinnhold i bygg og hvete ligger mellom 1 til 2 %. Til tross for at bygg har et lavere fettinnhold totalt, er andelen umettet fett høyere enn havre (Bævre et al., 2000). Ryps-/rapsfrø inneholder 45 % fett, hvor oljesyre utgjør omlag 60 %. Innholdet av linolensyre er høyt, og linolsyre:linolensyre forholdet er veldig lavt (Harstad, 2007).

Tabell 3: Innhold av fett (gram fettsyrer per kg TS) og fettsyresammensetning (gram/100 gram fettsyrer) i havre, bygg og raps (Harstad & Steinshamn, 2010).

	Fett	12:0	14:0	16:0	16:1	18:0	18:1c9	18:2n-6	18:3n-3
Havre	55,70	0,9	1,7	16,3	0,6	1,4	33,9	38,3	1,4
Bygg	22,40	-	0,4	22,3	-	1,4	13,4	53,9	5,1
Raps	420,80	-	-	4,0	0,2	1,6	58,1	21,2	11,8

Oljefrø er frø fra planter som blir dyrket på grunn av deres høye fettinnhold, hvor vanlige arter er soyabønner, raps, solsikke og linfrø. Både frø og olje fra plantene kan bli benyttet i fôr til drøvtyggere. Oljefrø benyttes som fettkilde og proteinkilde i fôrrasjonen, og de vegetabiliske proteinfôrmidlene er biprodukter etter oljeutvinning fra frøene (Ahlstrøm & Skrede, 2017). Når fett tas ut av oljefrøet vil det skje en oppkonsentrasjon av protein. Fettinnholdet i de ulike restene fra denne prosessen varierer veldig, men ligger normalt mellom 1-10 % på tørrstoffbasis (Harstad & Steinshamn, 2010). Raps og rybs er korsblomstret oljevekster som brukes i produksjon av rapsmjøl eller canolamjøl (Ahlstrøm & Skrede, 2017). Canolaolje er laget ut av rapsfrø, og er karakterisert ved et lavt innhold av mettede fettsyrer og store mengder monoumettede- og polyumettede fettsyrer. Canolaolje inneholder hele 61 % oljesyre, 21 % linolsyre og 11 % linolensyre (Lin et al., 2013). Til drøvtyggere kan raps også tilføres som hele rapsfrø som blandes inn i fôret som rapsgrøpp. Rapsgrøpp brukes både som proteinkilde og for å øke energiinnholdet i fôret (Ahlstrøm & Skrede, 2017).

2.1.2 Grovfôr

Av det totale fôrforbruket i melkeproduksjon i 2013 utgjorde surfôr om lag 45 % og beite 10 % ifølge TINE Rådgiving og Medlem (2013). Lipider utgjør omkring 6 % av tørrstoffet i gras, og fettfraksjonen består av glykolipider, triglyserider, fosfolipider, voks og steroler (McDonald et al., 2011). Grovfôr står derfor for en betydelig del av fettsyrene som kua får gjennom fôret. Fettinnholdet og fettsyresammensetningen i grovfôret avhenger av en rekke faktorer som planteart, sorter innen art, utviklingsstadium, temperatur, lys, nitrogengjødsling, tilgang på vann, om vekstene er ferske eller konservert, konserveringsmetode og management (Harstad & Steinshamn, 2010; Buccioni et al., 2012).

Innholdet av fettsyrer og forholdet mellom dem i noen engvekster er vist i tabell 4. Mer enn 95 % av det totale fett i gras foreligger som linolsyre, linolensyre og palmitinsyre, hvor linolensyre utgjør mer enn 40 % av det totale fett (Harstad & Steinshamn, 2010). Grovfôret bidrar med betydelige mengder palmitinsyre i fôrrasjonen. Det er liten forskjell i innholdet av palmitinsyre mellom korn (havre og bygg) og engvekster som timotei, kløver og raigras (tabell 3 og 4).

Tabell 4: Innhold av fett (gram fettsyrer per kg TS) og fettsyresammensetning (g/100 gram fettsyrer) i timotei, raigras, hvitkløver og rødkløver (Harstad & Steinshamn, 2010).

	Fett	12:0	14:0	16:0	16:1	18:0	18:1c9	18:2n-6	18:3n-3
Timotei ¹	19,82	0,4	0,7	17,7	2,3	1,9	5,5	19,4	52,1
Timotei ²	16,80	0,4	1,0	18,9	2,1	2,0	6,5	22,1	47,0
Raigras	26,50	0,2	0,5	17,5	2,6	1,5	5,1	15,1	57,4
Hvitkløver	28,13	0,2	0,4	16,9	2,7	2,9	5,1	16,5	55,3
Rødkløver	21,56	0,3	0,5	18,8	2,6	3,8	8,0	22,9	43,0

¹ Tidlig skyting. ² Tidlig blomstring.

En økning av flerumettede fettsyrer i grovfôret kan oppnås ved å høste ved et tidlig utviklingsstadium, ved å velge arter med høy fettsyrekonsentrasjon som hvitkløver eller raigras og ved å øke nitrogengjødslingen. En økning i nitrogengjødslingen vil øke andelen fettsyrer siden det er positivt korrelasjon mellom konsentrasjonen av råprotein og konsentrasjonen av den totale mengden fettsyrer og individuelle fettsyrer i planten (Boufaïed et al., 2003a; Elgersma et al., 2005).

Det er også et positivt forhold mellom konsentrasjonen av råprotein og klorofyll. Innholdet av råprotein er relatert til nivået av tilgjengelig nitrogen i jorda, og det er derfor tett sammenheng mellom tilgjengelig nitrogen i jorda og fettinnholdet i planten (Boufaïed et al., 2003a; Arvidsson et al., 2013).

2.1.3 Beite

Ved beiting blir graset høstet på et tidligere utviklingsstadium enn gras som konserveres. Totalt fettinnhold i ferskt beitegras utgjør 3 til 8 % av tørrstoffet (Harfoot, 1981), hvor 40 til å 50 % foreligger som galaktolipider. Totalt fettinnhold i surfôr ligger på om lag 2 % (tabell 12). Fettsyrene i beitegras er i hovedsak umettede (70-90 %), med en stor mengde linol- og linolensyre (Dewhurst et al., 2001). Beitende kuer har derfor et høyt inntak av polyumettede fettsyrer.

2.2 Melkefett

Melk har et fettinnhold mellom 3,5 og 5 %, og består av ulike grupper lipider, hvor 95-96 % utgjøres av triglyserider (Harstad & Steinshamn, 2010). Resten av fettfraksjonen består av fosfolipider, diglyserider, kolesterol, steroler og frie fettsyrer (Jensen et al., 1991; Jensen, 1995). I tabell 5 er det gitt en oversikt over de viktigste fettsyrene i melk, men på langt nær alle. Melkefett er svært allsidig sammensatt og er en av mest kompliserte type fett en vet om, med over 400 ulike fettsyrer (Jensen et al., 1991). Største delen av fett i melk består av mettede fettsyrer, og i norsk melk utgjør mettede-, monoumettede- og flerumettede fettsyrer henholdsvis omlag 64, 30 og 3 % (Berg, 2016). Av de umettede fettsyrene er det særlig oljesyre (C18:1c9), men også linolsyre (C18:2,c9,c12) og linolensyre (C18:3) som er av størst betydning (Bævre et al., 2000).

Karakteristisk for melkefettet er et relativt høyt innhold av konjugert linolsyre (CLA), transfettsyrer, korte- og mellomlange fettsyrer (særlig palmitinsyre) og et lavt innhold av umettet fett, med unntak av oljesyre (Harstad & Steinshamn, 2010). Oljesyre utgjør mellom 17 til 29 % av melkefettet, avhengig av føring, rase og sesong (Jensen, 1995).

Etter oljesyre fokuseres det på innholdet av linol- og linolensyre, hvor det legges vekt på forholdet i mellom disse. I norsk melk ligger linolsyre:linolensyre forholdet på 3:1 (Abrahamsen et al., 2007).

Tabell 5: Innhold av de viktigste fettsyrene i melk (Kaylegian og Lindsay (1995) etter Harstad og Steinshamn (2010)).

Fettsyrer	Normal variasjon (%)	
<u>Mettede fettsyrer</u>		
Smørsyre	C4:0	2-5
Kapronsyre	C6:0	1-5
Kaprylsyre	C8:0	1-3
Kaprinsyre	C10:0	2-4
Laurinsyre	C12:0	2-5
Myristinsyre	C14:0	8-14
Pentadecansyre	C15:0	1-2
Palmitinsyre	C16:0	22-35
Margarinsyre	C17:0	0,5-1,5
Stearinsyre	C18:0	9-14
<u>Umettede fettsyrer</u>		
Palmeteinsyre	C16:1	1-3
Oljesyre	C18:1c9	20-30
Linolsyre	C18:2,c9,c12	1-3
Linolensyre	C18:3	0,5-2

Melkas sammensetning varierer med en rekke faktorer som rase, individ, årstid, laktasjonsnummer, laktasjonsstadium, utmelkingsstadium, fôring og helsetilstand (Hermansen et al., 2003). Fettsyresammensetningen i melka har stor betydning på egenskapene til melkeproduktene (Hermansen et al., 2003; Harstad & Steinshamn, 2010). Innholdet av fett avtar ettersom ytelsen øker etter kalving, og på grunn av en uttynningseffekt vil fettinnholdet være lavest i topplaktasjonen (Sjaastad et al., 2010). Fettsyresammensetningen i melka avhenger av tilgjengeligheten på byggesteiner for dannelse av melkefett, og er uavhengig av melkeytelsen (Hermansen et al., 2003).

2.2.1 Melkefett og human helse

Forbrukerne ønsker sikre og sunne produkter, og det er viktig å produsere melkeprodukter av ønsket ernæringsmessig kvalitet (Hermansen et al., 2003). Melk og meieriprodukter er svært næringsrikt og er en viktig kilde til energi, protein og flere mineraler og vitaminer. De viktigste næringsstoffene i melk er vist i tabell 6. Mer enn 60 % av kalsium- og jod inntaket i kosten vår stammer fra melk og meieriprodukter (Helsedirektoratet, 2017). Meieriprodukter er altså en naturlig del av et sunt kosthold og reduserer risikoen for å utvikle tarmkreft, diabetes type to og kreft i tjukk- og endetarm (Helsedirektoratet, 2017). Melk består av mange ulike komponenter, men melkefett er den komponenten som har størst fokus i humanernæringen.

Tabell 6: Viktige næringsstoffer i melk (per 100 g) (Matvaretabellen, 2017).

Næringsstoff i melk	
Vann	87 g
Fett	3,9 g
Protein	3,3 g
Laktose	4,6 g
Kalsium	120 mg
Magnesium	13 mg
Jod	16 µg
Fosfor	97 mg
Vitamin B ₂	0,15 mg
Vitamin B ₁₂	0,6 µg

En rekke fettsyrer ansees for å være gunstig ernæringsmessig, mens flere mettede fettsyrer påvirker kolesterolet og helsen negativt. Det har foregått, og foregår mye forskning på området. Oljesyre, konjugert linolsyre (CLA), omega-3 fettsyrer, samt noen korte- og mellomlange fettsyrer ansees for å ha en nøytral eller gunstig effekt på kolesterolet. Melk inneholder et gunstig, lavt forhold mellom omega-6 fettsyrer og omega-3 fettsyrer. I det norske kostholdet er det for mye omega-6 i forhold til omega-3 fettsyrer, og gir økt risiko for å utvikle et høyt blodtrykk, betennelsesreaksjoner og blodpropp (Haug et al., 2007). Derimot viser forskningen at laurinsyre (C12:0), myristinsyre (C14:0) og palmitinsyre (C16:0) er fettsyrene som virker negativ på humanhelsen, særlig hjerte- og karsykdommer (German & Dillard, 2004).

Melk og meieriprodukter står for omkring 65 % av transfettinntaket i et norsk gjennomsnittskosthold (Arnesen, 2013). Meierismør inneholder mye fett, og er en viktig kilde til transfett, som bidrar til å øke risikoen for hjerte- og karsykdommer. Årsaken til dette er økning i konsentrasjonen av LDL-kolesterol, som ansees som uheldig, og reduksjon av konsentrasjonen av HDL-kolesterolet, som ansees som det gode kolesterolet (Arnesen, 2013). Det er viktig å skille mellom transfettsyrer, da de har ulike egenskaper og ikke kan slås sammen i en gruppe. Det er store forskjeller mellom transfett som stammer fra biohydrogenering (drøvtyggere) og transfett fremskaffet ved industriell hydrogenering av umettede fettsyrer som for eksempel margarin. Forskingen viser klare negative virkninger av industrielt fremstilte transfettsyrer på forekomsten av hjerte- og karsykdommer (Haug, 2000). Flere studier tyder på at transfett fra industrielt herdet olje i større grad er skadelig for humanhelsen, enn transfett fra drøvtyggere (Haug, 2000). De monoumettede transfettsyrene som dannes ved biohydrogenering i vomma har en annen konfigurasjon og metabolisme, enn transfettsyrene som fremstilles industrielt. En kan derfor ikke anta at transfettsyrer i drøvtyggerfett gir samme økt risiko for å utvikle hjerte- og karsykdommer som industrielt fremstilte transfettsyrer (Hermansen et al., 2003).

2.2.2 Hvilke mettede fettsyrer bør reduseres?

Det har de senere årene vært stor interesse for å øke innholdet av de fettsyrene i melkefettet med positiv virkning på human helse, slik som smørsyre, oljesyre, polyumettede fettsyrer (PUFA) med 18 til 22 karbonatomer og CLA (Chilliard et al., 2000), på bekostning av mellomlange og lange-, mettede fettsyrer (Dewhurst et al., 2006; Abrahamsen et al., 2007). Det er særlig laurin-, myristin- og palmitinsyre som har negativ innvirkning på humanhelsen (German & Dillard, 2004) og bør derfor reduseres.

Oljesyre blir ansett som positiv for humanhelsen, siden en diett med høyt innhold av monoumettede fettsyrer vil senke kolesterolet i plasma og LDL kolesterolet (Abrahamsen et al., 2007). En fremtidig tilnærming for å bedre den ernæringsmessige kvaliteten på melk er å øke innholdet av oljesyre i melka opp til et innhold på 25-30 % av melkefettet, på bekostning av mettede fettsyrer, gjennom endringer av fôrrasjonen. Det er ønskelig å øke innholdet av linol- og linolensyre i melkefettet, men på samme tid redusere forholdet mellom disse fettsyrene fra 3:1 en i dag, til 2:1 eller lavere (Abrahamsen et al., 2007) ved å endre fôringsregime.

3 Forsyning av substrater til syntesen av melkefett

Syntese av hovednæringsstoffene protein, fett (triglyserider) og laktose krever tilførsel av substrater som byggesteiner i synteseprosessen og til energi. Substrater som tilføres juret via blodet er i hovedsak glukose, eddiksyre, β -hydroksysmørsyre, triglyserider og aminosyrer. Disse substratene stammer fra fordøyelseskanalen, er produkter fra intermediaer omsetning eller fra mobilisert kroppsvev (McDonald et al., 2011). Hvilke substrater som danner de ulike fettsyrene i melkefettet er illustrert i figur 2.

Substrat til melkefettsyntese	Fettsyrer i melkefett
Eddiksyre og β -hydroksysmørsyre fra karbohydratnedbrytninga i vom	C4:0 - C10:0 C12:0 - C16:0
Fettsyrer tilført ved føret eller mobilisert fra fettvev	C18:0, C18:1, C18:2, C18:3
Fettsyrer syntetisert av mikroorganismene i vom	C15 og C17

Figur 2: Ulike kilder for fettsyrene i melkefett (Hermansen et al., 2003).

3.1 Substrater fra fordøyelse og omsetning av hovednæringsstoffene

Fôringens innvirkning på melkens sammensetning avhenger i stor grad av hvordan fôringen påvirker jurets forsyning av næringsstoffer som er av betydning for dannelse av ulike bestanddeler i melka (Hermansen et al., 2003). Omsetning av fôr i vomma gir en rekke sluttprodukter, hvor de viktigste er flyktige fettsyrer (VFA), karbondioksid, metan og ammoniakk. Det er kun de flyktige fettsyrene dyret kan nyttiggjøre seg av, i tillegg til mikrobemassen som dannes (Gjefsen, 2007). Karbohydrater i føret fermenteres i vom til propionsyre, eddiksyre og smørsyre som utgjør den viktigste energikilden til kua (Sjaastad et al., 2010). Propionsyre er viktig byggestein i nydannelsen av glukose (glukoneogenesen), mens eddiksyre og smørsyre er byggesteiner i *de novo* syntesen av fettsyrer i melk (Hermansen et al., 2003). Ei høytstående ku produserer mellom seks til åtte kilo VFA per døgn (Sjaastad et al., 2010), og ved et normalt mengdeforhold mellom VFA utgjør eddiksyre mellom 60-70 molarprosent, propionsyre 15-25 %, og smørsyre 10-20 %. Ved høye kraftfôrmengder vil eddiksyreandelen synke til fordel for propionsyre (Gjefsen, 2007), da det dannes store mengder propionsyre ved nedbryting av lettløselige karbohydrater.

Glukose har flere viktige roller i dyrekroppen, og står sentralt i melkesyntesen. Eddiksyre er hovedproduktet av nedbrytingen av celleveggkarbohydrater, og er den eneste av de flyktige fettsyrene en finner i blodet av betydelige mengder (Hermansen et al., 2003; McDonald et al., 2011).

Hovedvekten blir her lagt på fordøyelse og omsetning av fett da det er mest relevant for oppgaven. Fermenteringen av særlig karbohydrater påvirker tilførselen til juret av substrater til *de novo* syntese av fettsyrer, og vil derfor også bli diskutert. Fordøyelse av protein er også nevnt.

3.1.1 Karbohydrat

Karbohydrater er det kvantitativt viktigste substratet til energiomsetningen i vom. I fôret finnes det ulike typer karbohydrater, hvor enkelte karbohydrater er mer lettomsattelig enn andre (Weisbjerg et al., 2003). Nedbrytingen skjer i to trinn, ekstracellulært og intracellulært. Ved fermentering i vom skjer det en nedbryting av fôrets karbohydrater til eddiksyre, smørsyre og propionsyre, samt CO₂ og metan under dannelse av ATP (Kristensen et al., 2003a). Fôrrasjonen til drøvtyggere består av en rekke karbohydrater med forskjellige bindinger hvor det kreves ulike enzymer for å spalte bindingene. De fire viktigste karbohydratene i fôret er stivelse, cellulose, hemicellulose og pektiner (Kristensen et al., 2003a). Mono-, di- og oligosakkarider og polysakkaridet stivelse nedbrytes og fermenteres raskt og tilnærmet fullstendig i vom. Det er stor forskjell mellom kraftfôr og grovfôr, hvor kraftfôr har et høyt innhold av stivelse, mens grovfôr inneholder mye celleveggstoffer. På grunn av ulik oppbygging av stivelse og celleveggstoffer blir det dannet ulike sluttprodukter, i tillegg er det forskjell i hvordan substratene utnyttes. Stivelse er et polysakkarid med alfa glukosebinding, som kan spaltes av enzymer dyret skiller ut. I vomma blir stivelse spaltet til glukose ved hjelp av enzymer mikrobene skiller ut, og glukose blir fermentert til VFA, med høy andel propionsyre. Cellulose og hemicellulose er også polysakkarid, men glukoseenhetene er bundet sammen med betabinding. Det er kun enzymer som skilles ut fra vommikrobene som kan bryte disse bindingene. Dette forklarer hvorfor det er bare gjennom fermentering (drøvtyggere og hest) de tungtfordøyelige karbohydratene fra grovfôret kan utnyttes. NDF blir brutt ned av cellulolytiske bakterier, og det dannes hovedsakelig eddiksyre (Kristensen et al., 2003a; Weisbjerg et al., 2003; Gjefsen, 2007). Eddiksyre, sammen med andre VFA blir transportert via portåreblodet til lever, og mesteparten av eddiksyren blir transportert videre med blodet til juret og det perifere vev. Eddiksyre er en viktig energikilde, på grunn av den sentrale rollen som bærer av fri energi for synteseprosesser i juret.

Hovedandelen som ikke oksyderes brukes som byggesteiner i *de novo* syntesen av fett. Smørsyre omsettes til β -hydroksysmørsyre i vomveggen og transporteres videre til det perifere vev og blir oksidert der (McDonald et al., 2011).

Stivelsen fermenteres hurtig og tilnærmet fullstendig i vom. Store stivelsesmengder i fôrrasjonen virker negativt inn på fordøyelsen av celleveggkarbohydrater, da de cellulolytiske bakteriene takler lav pH dårlig (Weisbjerg et al., 2003; McDonald et al., 2011). Stivelse som ikke blir fermentert i vom må brytes ned til glukose i tarmen før de kan absorberes over tarmcellen via aktiv transport. Stivelse som passerer ufordøyd gjennom tynntarmen vil bli utsatt for mikrobiell omsetning i blind- og tjukktarm, og det blir produsert VFA (Weisbjerg et al., 2003). Når stivelsen passerer unedbrutt gjennom vom og fordøyes i tynntarm, forventes en høyere energiutnyttelse enn ved mikrobiell omsetning i vom, siden det unngås tap gjennom fermenteringen (Weisbjerg et al., 2003).

Største delen av de flyktige fettsyrene absorberes gjennom vomveggen og transporteres med blodet til leveren, for videre omsetning. En mindre andel på omkring 10-20 % vil fortsette videre til løpen, for så å bli absorbert i tynntarmen (McDonald et al., 2011). Noe propionsyre blir omdannet til laktat i vomveggen ved absorpsjon, men største delen av propionsyre blir transportert til leveren og omdannet til glukose, og det samme vil skje med laktat (Sjaastad et al., 2010). Under fermenteringen av karbohydrater i vom produseres det tilgjengelig energi (ATP) som mikrobene benytter i sine synteseprosesser (Sjaastad et al., 2010).

3.1.2 Protein

Hovedandelen av fôrprotein blir brutt ned i vom, og den resterende andelen passerer direkte til løpen og videre til tarm. I vom brytes fôrprotein ned til peptider og aminosyrer av enzymer skilt ut av vommikrobene (McDonald et al., 2011). Aminosyrene transporteres inn i mikrobene og blir brutt ned til organiske syrer, ammoniakk og karbondioksid (McDonald et al., 2011). Proteinnedbryting foregår altså både ekstracellulært og intracellulært, hvor nedbryting av protein til aminosyrer er en ekstracellulær prosess, mens deaminering av aminosyrer under frigjørelse av ammoniakk skjer intracellulært (Hvelplund et al., 2003). Ammoniakk benyttes til å syntetisere mikrobeprotein, sammen med små peptider og frie aminosyrer. Noe av mikrobeprotein brytes ned i vom, og nitrogenet blir resirkulert (McDonald et al., 2011).

Videre fordøyelse av protein (mikrobeprotein og ikke vom-nedbrutt fôrprotein) etter vomma starter i løpen. Her tilsettes det proteinspaltede enzymet pepsin, og resultatet blir store peptider og frie aminosyrer. I tynntarmen tilsettes det enzymer fra bukspytt eller tarmveggen, som resulterer i aminosyrer og små peptider som absorberes fra tarmen og inn i epitelcellene. Peptidene spaltes til aminosyrer som overføres til blodet ved aktiv transport. Aminosyrer blir ført til juret via blodet, og inngår i syntesen av melkeprotein (Hvelplund et al., 2003).

3.1.3 Fett

Fettet i de mest brukte fôrmidlene til melkekuer foreligger i hovedsak som triglyserider, fosfolipider og glykolipider (Loften et al., 2014). Fôrfettet gjennomgår tre prosesser i vom; hydrolyse, hydrogenering og syntese av mikrobielt fett.

Hydrolyse

Ved hydrolyse spaltes triglyseridene til glyserol og frie fettsyrer, og galaktolipider spaltes til glyserol, frie fettsyrer og galaktose. De frie fettsyrene spaltes fra glyserol ved hjelp av enzymene lipaser (Gjefsen, 2007). Glyserol og galaktose blir fermentert til VFA, i hovedsak propionsyre og smørsyre (Doreau & Ferlay, 1994; Sjaastad et al., 2010). Hydrolyse er nødvendig for at de umettede fettsyrene kan biohydrogeneres (Palmquist & Jenkins, 1980), og omfanget av hydrolysen er veldig høyt. Hele 85 til 95 % av fôrfettet kommer til tolvfingertarmen som frie fettsyrer (Loften et al., 2014). Forsøk har vist at lipase er mer aktivt ved fôrrasjoner med mye NDF, enn fôrrasjoner med høyt innhold av stivelse, men kortvarig tilskudd av stivelse i fôrrasjonen med mye NDF kan øke hydrolysen. Dette kan tyde på at graden av hydrolyse henger sammen med vommiljø eller at svingninger i pH kontrollerer lipaseaktiviteten (Doreau & Ferlay, 1994).

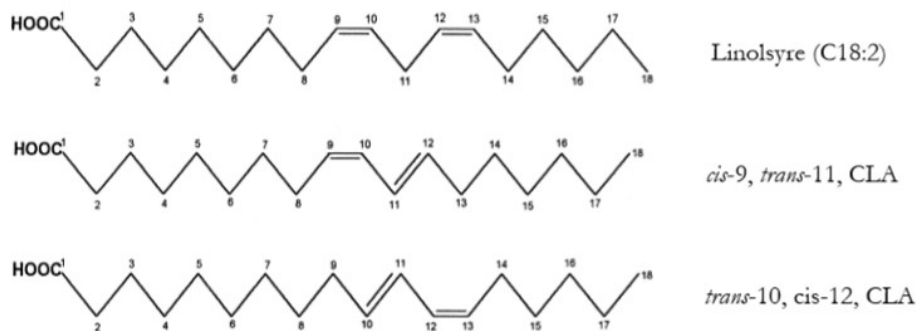
Biohydrogenering

Biohydrogenering i vom er årsaken til den lave andelen umettet fett i produkter fra drøvtyggere. Ved biohydrogenering blir hydrogen tilført karbonatomene som er bundet med dobbeltbinding, og dobbeltbindingen opphører (Gjefsen, 2007). Det er bakterier i vomma som sørger for biohydrogeneringen, og de cellulolytiske bakteriene er de viktigste (Buccioni et al., 2012). Det er i hovedsak bakterier som er festet til fôrpartikler som står for hydrogeneringen. Frie, umettede fettsyrer fester seg på fôrpartiklenes overflate og blir hydrogenert (Buccioni et al., 2012). Det første trinnet i biohydrogeneringen er en isomeringsreaksjon som forandrer cis-12 dobbeltbindingen i umettede fettsyrer til trans-11 isomerer. For at dette skal skje må det være en fri karboksylgruppe tilstede (Jenkins, 1993).

For eksempel vil linolsyre først isomeres til CLA, før den hydrogenes til trans vaccensyre, for å så ende opp som C18:0 (Chilliard et al., 2000). Umettede fettsyrer blir hydrogenert til mettede, frie fettsyrer, i hovedsak C18:0 og C16:0 (Loften et al., 2014). For noen av syrene stopper prosessen opp før hydrogeneringen er fullstendig og det dannes transfettsyrer (McDonald et al., 2011). Mengden av C18:0 som skylles ut fra vomma er flere ganger høyere enn mengden tatt opp gjennom fôret på grunn av biohydrogenering av polyumettede fettsyrer i fôret (Loften et al., 2014). Hydrogenering av C18:1c9, C18:2n-6, C18:3n-3 og C18:3n-6 følger ulike ruter med et stort antall intermediater (Harfoot & Hazlewood, 1997). Hvis biohydrogeneringen av C18 PUFA er fullstendig vil endeproduktet være C18:0. Hvis biohydrogeneringen er ufullstendig vil en høyere andel av polyumettede fettsyrer fra fôret skylles ut av vom (McKain et al., 2010). Lav pH i vom og høyt inntak av polyumettede fettsyrer er forhold som virker indirekte eller direkte begrensende på biohydrogeneringen (Harfoot & Hazlewood, 1997). Andre faktorer som reduserer hydrolysen og biohydrogenering i vom er sent utviklingsstadium på grovfôret, og/eller finhakked grovfôr (Buccioni et al., 2012).

Umettede fettsyrer har større negativ effekt på fermentering i vom - enn mettede fettsyrer (McDonald et al., 2011). Omfanget av biohydrogeneringen øker ved økt grad av umettethet, fra 60-70 % for C18:1c9 til 80-85 % for C18:3 (Wu et al., 1991). En høy andel av de umettede fettsyrene i plantene blir hydrolysert til frie fettsyrer under ensileringsprosessen i surfôret eller i vom, og hele 70-100 % av de frie, umettede fettsyrene blir fullstendig hydrogenert i vom (Adler et al., 2011).

Når biohydrogeneringen ikke er fullstendig kan det dannes flere isomerer av C18:2 fettsyrer, blant annet CLA, som er en cis-trans C18:2 fettsyre (Hermansen et al., 2003). CLA forekommer i flere former og er en fellesbetegnelse for en gruppe isomerer av linolsyre, hvor C18:2c9t11 er kvantitativt viktigst, og utgjør hele 82 % av total CLA (Dhiman et al., 1999). CLA ligner på linolsyre, men dobbeltbindingene sitter nærmere hverandre i CLA, enn de gjør i linolsyre (figur 3) (Bell et al., 2006). Mellomprodukter som CLA og vaccensyre blir transportert ut av vom, absorbert i tarmen, transportert til juret og inngår i melkefettsyntesen. CLA t10c12 i melk stammer kun fra produksjon i vom og blir dannet ut fra C18:2, da det ikke finnes enzymer i juret som kan syntetisere denne fettsyren med utgangspunkt i vaccensyre (Hermansen et al., 2003).



Figur 3: Skjematisk fremstilling av linolsyre og de to viktigste CLA isomerene (Nielsen et al., 2005).

Effekt av polyfenoloksidase på hydrogenering

Polyfenoloksidase er et enzym som er involvert i bruningsprosessen i bladene på rødkløver, etter høsting og fysisk påvirkning som eksponerer massen for luft (Lee et al., 2004). Når polyfenoler oksideres, hemmes enzymet lipase som hydrolyserer fett (Adler et al., 2011), og fett som ikke blir hydrolysert, kan heller ikke bli hydrogenert (Palmquist & Jenkins, 1980). Polyfenoloksidase beskytter lipider mot nedbryting både i surfør og i vom, og fører til høyere innhold av polyumettede fettsyrer i kjøtt og melk fra drøvtyggere (Van Ranst et al., 2011).

Syntese av mikrobielt fett

Mikroorganismene i vom tar opp fettsyrer som har gjennomgått biohydrogenering. Fettsyrene blir inkorporert og blir en del av mikroorganismenes «kroppsfett», og hele 70 % av det mikrobielle fettet utgjøres av mettede fettsyrer (Harstad & Steinshamn, 2010).

Mikroorganismene kan danne fettsyrer i et begrenset omfang, og disse fettsyrene er kjent for innholdet av forgreinede fettsyrer (Børsting et al., 2003). Bakterier og protozoer i vom er i stand til å inkorporere eller syntetisere langkjedede fettsyrer i ulike lengder, i et begrenset omfang. Det er hovedsakelig fettsyrer med 15, 16, 17 og 18 karbonatomer som stammer fra mikrobiell syntese av fettsyrer i vom. Mikrobielt fett kjennetegnes ved høy andel mettede fettsyrer. Årsaken til at en finner igjen karbonatomer med 15 og 17 karbonatomer i produkter fra drøvtyggere skyldes at mikrobene i vom syntetiserer fettsyrer med oddetall karbonatomer (Harstad et al., 2000). Oddetallsfettsyrer oppnås ved å redusere kjedelengden gjennom alfaoksidasjon eller når tre karbonskjelett fra propionsyre inngår i *de novo* syntesen (Doreau & Ferlay, 1994). Både oddetallsfettsyrer og forgreinede fettsyrer er karakteristisk for kumelk (Harstad & Steinshamn, 2010).

Fettfordøyelse i tarm og transport intermediært

I tynntarmen skilles det ut gallesalter fra leveren og bukspytt fra bukspyttkjertelen som inneholder stoffer som er viktig for nedbryting og absorpsjon av fettforbindelser i tynntarmen (Harstad & Steinshamn, 2010). Fettet som kommer fra vom består hovedsakelig av mettede, frie fettsyrer og består av to tredjedeler stearinsyre, og en tredjedel palmitinsyre (Jenkins, 1993). Fra bukspyttkjertelen skilles det ut lipaser som bidrar til hydrolyse av triglyserider, glykolipider og fosfolipider som har passert vom uten å bli brutt ned (Børsting et al., 2003). Gallesalter står sentralt for emulgering av fett slik at størrelsen på fettkulene reduseres, og bidrar til en videre effektiv nedbryting av fett (Sjaastad et al., 2010). Fettsyrene som tilføres tarmen blir tatt opp i tarmepitelcellene, og det foregår en re-esterifisering av monoglyserider og frie fettsyrer til triglyserider og C18:0 omdannes delvis til C18:1c9 (desaturering). Fettsyrer med 14 eller flere karbonatomer må re-esterifiseres til triglyserider før de kan forlate tarmcellen. Fettsyrer som har 12 eller færre karbonatomer kan diffundere direkte over i blodet som frie fettsyrer, da de er oppløselig i vann (Børsting et al., 2003). Triglyserider og fosfolipider blir inkorporert i chylomikronene og very low density lipoproteins (VLDL), og blir transportert hovedsakelig av lymfe ut til vevene (Doreau & Ferlay, 1994).

Graden av fordøyelse av fett er avhengig av den kjemiske strukturen av fettsyrene. Umettede fettsyrer har en høyere fordøyelsesgrad enn mettede fettsyrer, på grunn av høy løsningssevne i miceller og blir derfor lettere absorbert. Fettkjeder med korte karbonkjeder har høyere fordøyelsesgrad enn lange karbonkjeder, med lik metningsgrad på grunn av umettede fettsyrer har lavere smeltepunkt enn mettede fettsyrer (Ahlstrøm & Skrede, 2017).

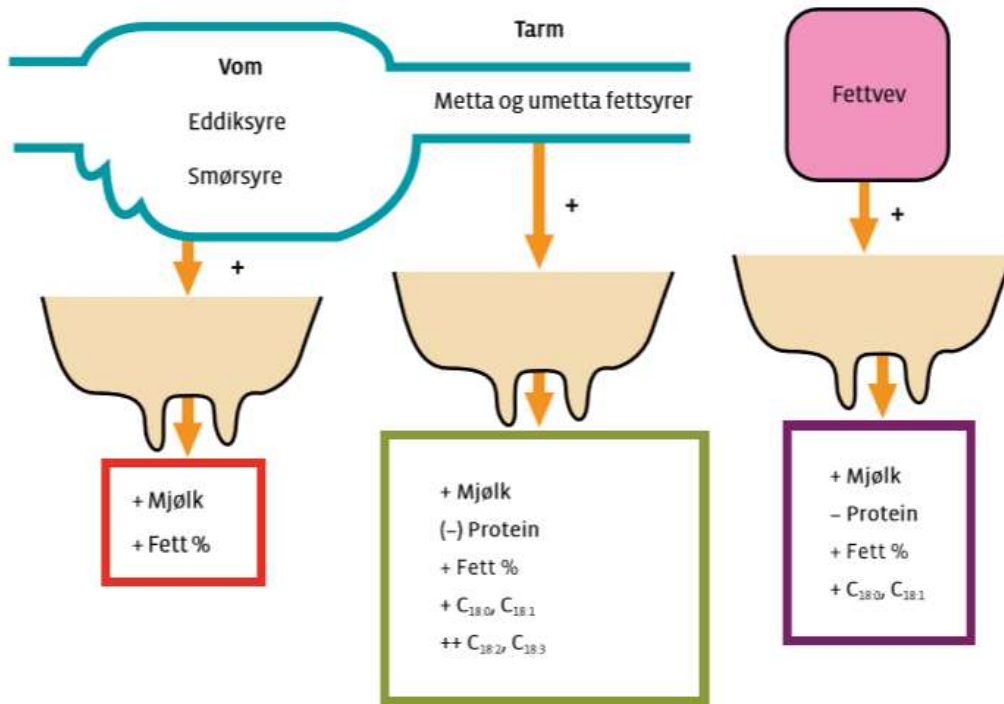
Oppsummert er fettsyrer som forlater vom stort sett mettede fettsyrer (i hovedsak C16:0 og C18:0), intermediater fra biohydrogeneringen (hovedsakelig C18:1t11), bypass umettede fettsyrer (i hovedsak C18:1c9, C18:2n-6 og C18:3n-3) og *de novo* syntetiserte oddetalsfettsyrer og forgreinede fettsyrer fra bakterier (hovedsakelig C15:0). De fleste fettsyrene forlater vomma som ikke-esterifiserte fettsyrer, men reestifisering av fettsyrer i vom kan forekomme (Atkinson et al., 2006).

4 Syntesen av melkefett

Syntesen av melkefett krever byggesteiner og energi. Hovedbestanddelen av melkefett utgjøres av triglyserider, som utgjør ca. 97 % (Chilliard et al., 2000). Dannelse av triglyserider krever fettsyrer og glyserol, og esterifiseringen foregår intracellulært i det kornet endoplasmatiske retikulum av jurcellene (Kelly & Bach Larsen, 2010). Frie fettsyrer aktiveres til acetyl-CoA og blir bundet med alfa-glyserolfosfat (Kristensen et al., 2003b). Glukose bidrar til syntesen av triglyserider gjennom syntese av glyserol-3-P. I melkekjertlene brukes glukose hovedsakelig til syntese av laktose, som er en av de viktigste osmotiske faktorene i melk, og bestemmer ytelsesnivået (Kristensen et al., 2003b)

Fettsyrene i melk stammer fra to hovedkilder; *de novo* syntesen i juret (ca. 40 %) og fettsyrer tilført med blodet (ca. 60 %) (Chilliard et al., 2000). De kortkjedede mettede fettsyrene, C4:0 til C14:0 syntetiseres utelukkende gjennom *de novo* syntesen (Grummer, 1991). Eddiksyre, som er opphav til omkring 35-45 % av fettene i melk og β -hydroksymørsyre transporteres fra vom til jur og utgjør hovedsubstratene til *de novo* syntesen (Gjefsen, 2007). De langkjedede fettsyrene stearin-, olje-, linol- og linolensyre stammer fra fôret og blir absorbert i tarmen eller mobilisert fra fettvev. Palmitinsyre skiller seg ut fra de andre fettsyrene, og blir syntetisert både via *de novo* syntesen og stammer fra fôret (Harstad, 2007; Kelly & Bach Larsen, 2010). Hvordan ulike byggesteiner påvirker innholdet av melkefett og fettsyresammensetning er illustrert i figur 4.

Melkas fettsyresammensetning avhenger av forholdet mellom mengden *de novo* syntetiserte fettsyrer, og mengde og sammensetning av fôrfettet. Melkas innhold av flerumettede fettsyrer avhenger av hvor stor del av de umettede fettsyrene i fôret som biohydrogeneres i vom. På grunn av biohydrogeneringen er det lite umettede fettsyrer som kommer til juret, men de som ikke blir hydrogenert, skilles ut i melken som olje-, linol- og linolensyre (Hermansen et al., 2003).



Figur 4: Skjematisk oversikt over hvordan ulike byggesteiner for melkefett påvirker melkeytelse, fettinnholdet og fettsyresammensetning av melkefettet. (+) positiv effekt, (÷) negativ effekt, (-) ingen effekt (Volden, 2012).

I juret blir noen av de mettede fettsyrene omdannet til monoumettede fettsyrer ved hjelp av delta-9-desaturase (Harstad, 2007). Delta-9-desaturase er et enzym som katalyserer syntesen av monoumettede fettsyrer fra mettede fettsyrer, ved å plassere en umettet binding mellom karbonatom nummer ni og ti i fettsyremolekylet. Fettsyrene som stammer fra *de novo* syntesen, er i all hovedsak mettede fettsyrer med unntak av palmitinsyre. Årsaken til dette er at delta-9-desaturasen har veldig lav aktivitet for fettsyrer med kortere kjedelengde enn 16 karbonatomer. Langkjedede fettsyrer med 16 karbonatomer og lenger, har en hemmende effekt på *de novo* syntesen av fettsyrer (Chilliard et al., 2000). Høy tilførsel av langkjedede fettsyrer fra fôret eller fra mobilisert fettvev vil føre til en reduksjon i prosentandelen av mellomlange fettsyrer (C_{8:0} til C_{14:0}, eller C_{16:0}) på grunn av høyere andel av langkjedede fettsyrer fra blodet, og redusert *de novo* syntese i juret (Chilliard et al., 2000). Hovedsubstratene til delta-9-desaturasen er stearinsyre og palmitinsyre, men vaccensyre fungerer også som substrat (Taugbøl et al., 2007). Den dominerende umettede fettsyren i melk er oljesyre, som utgjør ¼ av melkefettet, hvor halvparten er syntetisert fra stearinsyre ved hjelp av delta-9-desaturase (Enjalbert et al., 1998).

Juret er ikke i stand til å danne dobbeltbindinger nærmere enn karbonatom nummer ni fra metylgruppen, og innholdet av linolsyre og linolensyre i melka avhenger derfor av tilførselen av disse fettsyrene til juret (Harstad & Steinshamn, 2010; McDonald et al., 2011).

Overføringen av palmitinsyre og stearinsyre fra fôret til melk blir påvirket av *de novo* syntesen av C16:0 og desaturering av C18:0 til oljesyre i juret. I tillegg blir inkorporeringen av begge fettsyrene trolig regulert for å opprettholde flyteegenskapene av melkefettet, som krever en balanse mellom mettede og umettede fettsyrer. Oljesyre er kvantitativt den nest viktigste fettsyren i melkefett, og utgjør hoveddelen av de umettede fettsyrene som er involvert i reguleringen av flyteegenskapene av melk. Siden juret kan desaturere C18:0 til oljesyre, ser det ut til at C18:0 har en mer fremtredende rolle i melkeproduksjonen, enn C16:0 (Loften et al., 2014).

CLA i melk stammer fra to kilder, hvor en mindre andel stammer fra linolsyre som blir omdannet til CLA i vomma, absorbert fra tarmen og transportert til juret, hvor den inngår i fettsyntesen. 70-95 % (Nielsen et al., 2005) av CLA i melk stammer fra vaccensyre som er et mellomstadium fra biohydrogeneringen av umettede fettsyrer i vom, hovedsakelig linol- og linolensyre. Vaccensyren blir desaturert til CLA ved hjelp av delta-9-desaturase når det har blitt transportert til juret via blodet (Harstad, 2007).

5 Virkning av fôring på fettsyresammensetning av melk

Fôringen kan påvirke innholdet av oljesyre i melk i betydelig grad. Innholdet av monoumettede fettsyrer (C18:1c9) i melk kan økes fra 50 til 80 % og nærme seg 50 % av fettsyrene i melk ved å fôre med en fôrrasjon rik på C18 fettsyrer (Grummer, 1991). Likeså kan innholdet av CLA økes betydelig ved høyere tilførsel av vaccensyre til juret. Ved å øke innholdet av oljesyre i melka øker sjansen for at melkefettet blir oksidativt ustabil.

Fettsyresammensetningen i melk er avgjørende for holdbarheten, og økt innhold av umettede fettsyrer kan føre til lipolyse og oksidasjon av melkefettet, som medfører smaks- og luktfel i melka (Hermansen et al., 2003). Forsøk har vist at sammensetningen av grovfôret har innvirkning på fettsyresammensetningen og oksidasjonsstabiliteten av melka (Kelly & Bach Larsen, 2010).

Potensialet for å endre fettsyresammensetningen i melk i gunstig retning ernæringsmessig ved å optimalisere sammensetningen av fôrrasjonen blir diskutert nedenfor.

5.1 Effekt av kraftfôr på fettsyresammensetning i melk

Både kraftfôrandelen og sammensetningen av kraftfôret har betydning for fettinnholdet i melka, og økt kraftfôrandel er ofte forbundet med en lavere fettprosent. Ved appetittfôring av grovfôr er det først når kraftfôrandelen kommer over 50 til 55 % at man ser en tydelig nedgang i fettinnholdet i melka (Volden, 2012). Denne nedgangen skyldes dårlig vommiljø. Råvaresammensetningen i kraftfôret har betydning for fettinnholdet, og økt tilsetning av mettett fett i fôrrasjonen vil ha positiv effekt på fettinnholdet i melka. Størst effekt er observert når fôrrasjonen allerede inneholder en del umettet fett (Volden, 2012). Fôring med umettede fettsyrer i kraftfôret vil øke innholdet av langkjedede, umettede fettsyrer, inkludert CLA i melk (Schroeder et al., 2004). I motsetning, er det mettett fett som gir størst positiv effekt på fettinnholdet i melka, og det er i hovedsak palmitinsyre som så langt har blitt benyttet. Denne muligheten er nå begrenset, ettersom TINE i samarbeid med kraftfôrindustrien har satt en grense på 2,5 % tilsatt mettett fett i kraftfôr (Sølverød et al., u.å).

Palmeoljebaserte produkter er en god kilde til fett. Ved tilsetning av palmeolje i kraftfôret vil det som regel gå på bekostning av stivelse i fôret, noe som vil være gunstig for vommiljøet. Hvis fôrfett fjernes fra kraftfôret vil melkeytelsen reduseres og fettprosenten synke (Felleskjøpet, u.å). Dette vil gi et økonomisk tap for bonden, spesielt nå som TINE øker fettbetalingen fra fem til sju øre per liter, for å unngå en ny smørkrise (TINE Rådgiving og Medlem, 2018).

Palmeolje står for 30 til 40 % av verdens forbruk av vegetabiliske oljer (Felleskjøpet, u.å). Årsaken til dette er at utvinning av palmeolje er svært arealeffektivt, og ved dyrking av raps, solsikke og soya trengs det sju til ti ganger så stort areal for å gi samme mengde olje. Ved å erstatte palmeolje med andre vegetabiliske fettkilder vil en legge beslag på langt større jordbruksarealer som vil være ugunstig med tanke på bærekraft (Felleskjøpet, u.å).
Palmebasert fett inngår i kraftfôret til melkeku, spesielt til høytstående melkekuer (Felleskjøpet, u.å). I det siste er palmeolje fjernet fra flere kraftfôrblandinger som et resultat av et samarbeid mellom den norske fôrbransjen og TINE. Bakgrunnen for fjerning av palmeolje er avskoging av regnskog, i tillegg øker andelen mettede fettsyrer i melk når det blir gitt tilskudd av palmeolje. Dette har resultert i en felles bransjestandard for kraftfôrbransjen i Norge, som fastsetter en øvre grense for bruk av palmebasert fett på 3 % i kraftfôrblandinger til drøvtyggere (Felleskjøpet, u.å).

Raps er fordelaktig å benytte som fettkilde på grunn av høy andel monoumettede, og lav andel polyumettede fettsyrer (Dubois et al., 2007). Dette tillater en høyere andel raps i fôrrasjonen enn for de fleste andre oljefrø, uten at det medfører skadelig effekter på mikrobene og negativ effekt på fordøyelse og fôropptak (Collomb et al., 2004). Melkefett fra kuer som har fått tildelt raps i fôrrasjonen har bedre oksidativ stabilitet, sammenlignet med de fleste andre oljefrø (Havemose et al., 2006). Raps er derfor svært godt egnet til å øke innholdet av umettede fettsyrer i melka, sammenlignet med blant annet linfrø. Raps kan dyrkes i Norge og kan bidra til å redusere importen av proteinråvarer. Det produseres mellom 6000 til 10 000 tonn oljevekster årlig, som brukes i blandinger til drøvtyggere. Dette dekker ikke behovet, og det er mulig å doble den norske produksjonen (Ahlstrøm & Skrede, 2017).

Det er gjort en rekke forsøk for å studere effekten av raps, og i et forsøk hvor effekten av å tilføre raps i fôrrasjonen og innvirkningen på metan ble studert, viste resultatene at knuste rapsfrø kan være en effektiv metode for å redusere metanutslipp fra lakterende kuer på beite (Storlien et al., 2014).

Ekern et al. (2003) studerte forskjellen mellom byggbasert og havrebasert kraftfôr på melkeytelse og melkesammensetning. Det ble gitt maksimalt 13 kilo kraftfôr til kuene og 11 kilo til førstegangskalvere, i tillegg til surfôr. Havrebasert kraftfôr økte melkeytelsen, men reduserte konsentrasjonen av melkefett. Fôring med havrebasert kraftfôr ga signifikant økning av C18:0 og C18:1c9. Innholdet av CLA i melkefettet ble også hevet, og andelen C12:0, C14:0 og C16:0 ble redusert, sammenlignet med bygg.

Ved å erstatte vanlig havre med fettrik havre økte melkeytelsen, innholdet av protein og laktose, og andelen av C18:0, C18:1c9 og C18:2c9t11 CLA i melka. Andelen C12:0, C14:0 og C16:0 ble redusert (Ekern et al., 2003). Ut fra resultatene oppnådd i forsøket til Ekern et al. (2003) kan en konkludere med at kraftfôr med havre versus bygg er gunstig. Den positive responsen av fôring med havrebasert kraftfôr beror på en høyere tilførsel av fett med høyt innhold av oljesyre, og muligens en positiv effekt via gunstigere fermentering i vom og bedre proteinforsyning (Ekern et al., 2003).

I rapporten fra forsøket til Astrup et al. (1988) er det gjengitt et forsøk utført i Skottland hvor kuene ble fôret med en rasjon sammensatt av 34 % høy, 12 % soyamel og 54 % korn (tørrestoff basis) av havre eller bygg. Ved å gi havre ble andelen palmitinsyre i melkefettet redusert med hele elleve prosentenheter, sammenlignet med bygg (27 vs. 38 %). Innholdet av oljesyre steg fra 21 % når det ble gitt bygg, til hele 38 % når det kuene fikk havre. Melkeytelsen og fettprosenten var høyere i melk fra kuer som hadde fått havre, sammenlignet med bygg (Astrup et al., 1988).

5.2 Effekt av grovfôr på fettsyresammensetning i melk

Fôrrasjoner basert på beite og konservert grovfôr kan forbedre den næringsmessige kvaliteten på melka ved å endre fettsyresammensetningen. I melk ligger et normalt omega-6:omega-3 forhold på 4:1, men om sommeren når kuene er på beite er forholdet gunstigere, og et forhold på 2:1 er normalt (Haug et al., 2007). Fettinnholdet og fettsyresammensetningen i grovfôret er bestemt av en rekke faktorer (kapittel 2.1.2). Det er gjort en rekke forsøk på området, hvor effekt av planteart, ulike sorter innen arter, utviklingsstadium, blad/stengel forhold, nitrogen gjødsling, ferskt eller konservert gras, fortørking og management er studert (Harstad & Steinshamn, 2010; Buccioni et al., 2012).

I USA ble det gjort et studie av Benbrook et al. (2018) som samlet inn en rekke melkeprøver over en periode på tre år for å studere fettsyresammensetningen i melk fra kuer med tilnærmet 100 % grovfôr i rasjonen. Disse melkeprøvene ble sammenlignet med melk fra konvensjonelle og økologiske besetninger. Fôringsregime og grovfôr: kraftfôrforholdet i disse driftsenhetene er ikke oppgitt. Det totale innholdet av mettede og monoumettede fettsyrer i melka fra besetningen med bare grovfôr i rasjonen, skilte seg lite fra melk fra de konvensjonelle og økologiske besetningene.

Derimot var det store forskjeller i den totale mengden av omega-3 fettsyrer, omega-6 fettsyrer og CLA, som var over dobbelt så høyt i melk fra kuer som kun fikk grovfôr, sammenlignet med konvensjonelle besetninger (Benbrook et al., 2018). Sammenlignet med økologisk produsert melk, viste melka fra besetningene med nesten bare grovfôr i rasjonene hele 52 % økning av omega-3 fettsyrer, på bekostning av omega-6 fettsyrer. Dette medførte et redusert omega-6:omega-3 forhold fra 5,8 i konvensjonell melk til 2,3 i økologisk melk, og 0,95 i melk fra grovfôrbasert melkeproduksjon. Melka fra den grovfôrbaserte driften inneholdt også prosentvis høyere andel EPA og DHA, men også høyere innhold av transfettsyrer (Benbrook et al., 2018). Forsøket viser at grovfôrandelen har stor betydning på fettsyresammensetningen i melk, og er et viktig virkemiddel for å redusere andelen mettet fett i melk. Innvirkningen av grovfôr på fettsyresammensetning beror imidlertid på type grovfôr som blir benyttet.

5.2.1 Effekt av grasart og kløver

Surfôr av rødkløver og hvitkløver resulterer i høyere overføring av polyumettede fettsyrer til melk, sammenlignet med surfôr av raigras (Van Ranst et al., 2009a). For rødkløver skyldes dette proteinbundete fenoler formet som polyfenoloksidase, noe som kan medføre redusert biohydrogenering av polyumettede fettsyrer i vom, som diskutert i kapittel 3.1.3. Høyere overføring av polyumettede fettsyrer i fôrrasjoner med hvitkløver er satt i sammenheng med høyere passasjehastighet i vom, og dermed lavere biohydrogeneringsgrad. Det har også blitt funnet lavere lipolysegrad i surfôr av hvitkløver (Van Ranst et al., 2009a). Karakteristisk for hvitkløver er høyt inntak og rask passasje gjennom vom, sammenlignet med gras (Dewhurst et al., 2003b). Som et resultat av dette unngår en høyere andel av omega-3 polyumettede fettsyrer biohydrogenering og blir absorbert i tynntarmen ved fôring av kløver, sammenlignet med gras (Dewhurst et al., 2003a). Fôring med surfôr av rødkløver resulterer i høyere innhold av polyumettede fettsyrer i melk, enn ved surfôr av raigras, per enhet inntak av PUFA. Det er sett forskjeller i polyfenoloksidase aktiviteten mellom ulike sorter rødkløver (Van Ranst et al., 2011).

Forsøket til Dewhurst et al. (2003b) studerte effekten av surfôr av med kun gras, surfôr av rødkløver, surfôr av hvitkløver og surfôr av alfaalfa, på fôropptak og melkeproduksjon. Kuene som fikk surfôr av belgvekster hadde høyere tørrstoffopptak sammenlignet med grassurfôr. Høyere tørrstoffopptak resulterte i høyere melkeytelse og høyere fettinnhold i melk hos kuene som fikk rødkløver og hvitkløver surfôr, enn grassurfôr. Hvitkløver surfôr økte andelen av kortkjedede fettsyrer.

Både surfôr av rødkløver og hvitkløver økte andelen linolensyre, linolsyre og CLA i melk, men økningen av linolensyre var størst hos kuene som ble fôret med rødkløver surfôr. Innholdet av oljesyre ble ikke påvirket, men en signifikant reduksjon av palmitinsyre når det ble fôret surfôr av alfaalfa og rødkløver (Dewhurst et al., 2003b). Stergiadis et al. (2018) studerte effekten av å erstatte ferskt, kuttet flerårig raigras med fersk, kuttet hvitkløver på fetttsyresammensetningen i melk. Forsøksdyrene ble delt inn i tre grupper;

- a) Kontrollgruppe. 0 g hvitkløver, 600 g raigras og 400 g kraftfôr*
 - b) Lav andel hvitkløver. 200 g hvitkløver, 400 g raigras, 400 g kraftfôr*
 - c) Høy andel hvitkløver. 400 g hvitkløver, 200 g raigras, 400 g kraftfôr*
- * på tørrstoffbasis

Rasjonssammensetning hadde signifikant effekt på innholdet av PUFA, omega-3 og omega-6 polyumettede fettsyrer, linol- og linolensyre. Kontrollgruppen produserte melk med mindre PUFA enn kuer som fikk hvitkløver, og andelen omega-3 og omega-6 polyumettede fettsyrer, linol- og linolensyre økte ved økt andel av hvitkløver i fôrrasjonen. Høyere konsentrasjon av linol- og linolensyre i melkefettet på fôrrasjonen med hvitkløver kan forklares med høyere overføringseffektivitet fra fôr til melk av disse fettsyrene (Stergiadis et al., 2018).

Kontrollrasjonen hadde et høyere NDF innhold enn rasjonene med lav og høy andel hvitkløver. Hvitkløver hadde trolig høyere passasjehastighet gjennom vom enn gras, siden gras består av mindre nedbrytbare fôrpartikler med et høyt celluloseinnhold og følgelig lengere oppholdstid i vom. Dette kan ha ført til redusert eksponering av polyumettede fettsyrer fra hvitkløver, noe som har resultert i lavere grad av biohydrogenering av disse fettsyrene, og følgelig større mengder tilgjengelig for absorpsjon i tarmen. Til tross for et noe høyere inntak av linolensyre ved høy andel hvitkløver var det numerisk lavere konsentrasjon av vaccensyre og CLA i melka, sammenlignet med kontrollgruppen. Dette indikerer en lavere biohydrogenering av linolensyre i vom, men forskjellen var ikke statistisk signifikant. Dette resultatet støttes av en signifikant høyere produksjon av linolensyre og linolsyre i melk fra kuer som fikk lav og høy andel hvitkløver. Vanhatalo et al. (2007) sammenlignet grassurfôr og surfôr av rødkløver. Resultatene slo fast en lavere NDF konsentrasjon og høyere passasjehastighet gjennom vom (Vanhatalo et al., 2007). Signifikant høyere konsentrasjoner av linol- og linolensyre har blitt funnet i melk fra kuer fôret med rødkløver surfôr enn kuer som fikk surfôr av raigras (Dewhurst et al., 2003a). Studiet til Stergiadis et al. (2018) er den første til å rapportere om en økning i overføringseffektiviteten av linol- og linolensyre fra fôr til melk, ved å tilføre ferskt kuttet hvitkløver i fôrrasjon til melkekuer.

Effekten antas å skyldes en redusert grad av biohydrogenering av linol- og linolensyre ved bruk av fersk hvitkløver. Den relativt beskjedne effekten av rasjonssammensetning ved grovfôr: kraftfôrforhold, på fettsyresammensetning i melka indikerer at inntak av ferskt gras kan være en effektiv strategi for å øke andelen av de ernæringsmessige gunstige fetttsyrene, og redusere andelen mettet fett i melk (Stergiadis et al., 2018).

Elgersma et al. (2003) sammenlignet effekten av ulike grassorter av flerårig raigras høstet etter 25 dagers gjenvekstperiode på fettsyrekonsentrasjon i planten. Resultatene viste forskjell i fettsyresammensetningen i tre av de seks sortene. Disse forskjellene skyldes genetiske forskjeller, siden vekstvilkår og management var likt for alle sortene. Andelen blad har stor påvirkning på fettsyresammensetningen i planten (Dewhurst et al., 2001), men siden blad/stengel forholdet var likt i dette forsøket, kan det ikke forklare forskjellen i fettsyresammensetningen mellom de ulike sortene. Forskjellen mellom sorter kunne imidlertid ikke påvises etter ensilering (Elgersma et al., 2003).

Van Ranst et al. (2009b) undersøkte innvirkningen av planteart (flerårig raigras, rødkløver og hvitkløver) og høstetidspunkt på fettsyresammensetningen og lipidmetabolismen under ensilering. Innholdet av fettsyrer og fettsyresammensetning var sterkt påvirket av art og høstetidspunkt, noe som bekrefter tidligere funn (Boufaïed et al., 2003a; Elgersma et al., 2003). Flerårig raigras hadde lavere konsentrasjoner av C16:1, C18:1c9 og C18:2 enn rød- og hvitkløver. Innenfor rød- og hvitkløver var effekt av sort liten. Lipolysen under ensileringen var påvirket av høstetidspunkt og art, og i noen av slåttene var det lavere lipolyse i surfôr av kløver, sammenlignet med raigras (Van Ranst et al., 2009b). Sammenlignet med surfôr av raigras gir surfôr av rød- og hvitkløver høyere innhold av polyumettete fettsyrer, og dette skyldes lavere lipolyse og hydrogenering på grunn av innholdet av polyfenoloksidase (Van Ranst et al., 2009b).

Adler et al. (2013) undersøkte biohydrogenering i vom og overføring av fettsyrer til melk ved bruk av fire ulike surfôrslag. De fire surfôrslagene var;

- A) økologisk kortvarig eng med timotei og kløver, blanding av første og tredje slått
- B) økologisk, gammel eng med høy andel av naturlig eng
- C) konvensjonelle eng med raigras
- D) konvensjonell eng med timotei

Graset ble fortørket til ca. 300 g TS/kg, tilsatt tilsetningsmiddel av syre og ensilert i rundballer. Det ble brukt fire kuer av rasen norsk rødt fe (NRF), som var i midtlaktasjonen under forsøket. I tillegg til surfôret utgjorde bygg 300 gram/kg TS av den totale fôrrasjonen. Surfôrslag hadde ingen signifikant forskjell på tørrstoffopptaket, men utslag på inntaket av umettede fettsyrer, biohydrogeneringen og overføring av umettede fettsyrer til melkefettet. Melkeytelsen var lavere hos gruppen som ble fôret med surfôr D, sammenlignet med de andre. Selv om utslaget på tørrstoffopptaket ikke var signifikant var det nesten 2 kilo forskjell i opptaket av surfôr D, sammenlignet med de andre surfôrene. I følge Adler et al. (2013) er det denne effekten som forklarer lavere melkeytelse, sammen med lavere konsentrasjon av protein og høyere innhold av NDF, enn i de andre surfôrslagene. Inntaket av C18:2n-6 var høyest når det ble fôret surfôrslag B, mens inntaket av C18:3n-3 var høyest når det ble fôret med surfôrslag B og C (tabell 7). Biohydrogeneringen av C18:3n-3 ble redusert når det ble fôret med surfôr som inneholdt rødkløver, og det siste trinnet i biohydrogeneringen ble inhibert av surfôr med store mengder tofrøbladete planter, som førte til høyere utskillelse av C18:1 transfettsyrer, sammenlignet med de grasbaserte fôrrasjonene. Den negative effekten av rødkløver på biohydrogeneringen kan skyldes økt passasjehastighet gjennom vom, og på det måten redusere oppholdstiden for polyumettede fettsyrer i vom som fører til redusert biohydrogenering og øker andelen bypass C18:3n-3 (Adler et al., 2013). Hvitkløver øker passasjehastigheten mer enn rødkløver, og høyere andel hvitkløver i surfôr B kan forklare redusert biohydrogenering av umettede C18 fettsyrer sammenlignet med konvensjonelt raigras og timotei. Andelen av C16:0 i melkefettet var lavere for gruppen som fikk surfôr med høyt innhold av tofrøbladete planter, som resulterte i melk med høy andel C18:1 transfettsyrer og C18:2c9t11, og reduserte andelen av mettede fettsyrer. Lavere andel C16:0 i melkefettet fra økologisk surfôr sammenlignet med konvensjonelt skyldes trolig en reduksjon i *de novo* syntesen, men korte, mettede fettsyrer ble ikke påvirket. Biohydrogenering av C18:3n-3 var lavere for surfôr av økologisk timotei og kløver, enn de tre andre surfôrslagene. Økologisk surfôr ga høyere andel av C18:1 transfettsyrer på grunn av intermediater fra biohydrogeneringen, og reflekterte en høyere tilførsel til bladmagen av denne fettsyren. Melk fra økologisk surfôr hadde høyere CLA innhold i melkefettet, sammenlignet med grassurfôr. Økt innhold av CLA blir sett i sammenheng med den høye andelen av tofrøbladete planter i surfôret (Lourenço et al., 2005).

Oppsummert førte bruk av økologisk surfôr til lavere andel C16:0 og høyere CLA og vaccensyre, og ga melk med gunstig fettsyresammensetning ernæringsmessig. Omega-6:omega-3 forholdet ble ikke påvirket i forsøket (Adler et al., 2013).

I et forsøk hvor det ble fôret med surfôr av rødkløver og surfôr av gras (Buccioni et al., 2012), viste resultatene at rødkløver overfører C18:2 og C18:3 mer effektivt til melk, enn gras, på grunn av høyere polyfenoloksidase i rødkløver. Samme resultatene har blitt rapportert når rødkløver sammenlignes med hvitkløver, noe som beviser at polyfenoloksidase gir beskyttelse mot endogen hydrolyse og biohydrogenering. Hvitkløver gir høyere innhold av linolensyre, EPA og DHA i melk, i forhold til rødkløver (Buccioni et al., 2012).

Tabell 7: Fettsyresammensetning (g/kg TS) i surfôrslagene A) økologisk kortvarig eng, blanding av første og tredje slått med timotei og kløver eng B) økologisk, gammel eng med høy andel av naturlig eng C) konvensjonell eng med raigras D) konvensjonell eng med timotei (Adler et al., 2013).

	Surfôrslag							
	A	SD	B	SD	C	SD	D	SD
C16:0	2,27	0,185	2,90	0,154	2,76	0,093	1,93	0,163
C18:0	0,29	0,018	0,30	0,017	0,33	0,010	0,24	0,010
C18:1c9	0,52	0,84	0,043	0,47	0,006	0,48	0,48	0,024
C18:2 n-6	2,56	0,208	3,81	0,457	2,37	0,101	2,40	0,188
C18:3 n-3	6,78	0,541	9,43	0,802	9,90	0,686	6,80	0,764
Totalt	13,66	1,073	18,85	1,584	17,53	0,745	13,15	1,059

Tabell 8: Resultatene summert opp for innholdet av fettsyrer totalt (TFA) og utvalgte fettsyrer fra forsøk hvor effekten av ulike grasarter og kløver på innhold av fettsyrer i melk er studert.

	Forsøk	TFA	Sum metta	Sum umetta	C16:0	C18:0	C18:1c9	C18:2 n-6	C18:3 n-3
Kløversurfôr vs. grassurfôr	1	--	io	io	--	likt	io	+	+
Fersk hvitkløver vs. ferskt raigras	2	io	--	+	+	--	--	++	++
Flerårig raigras vs. kløver	3	++	io	+	--	--	--	--	--

io = ikke oppgitt

+ positivt påvirket ++ signifikant påvirket -- negativt påvirket

1: Dewhurst et al. (2003b)

2: Stergiadis et al. (2018)

3: Van Ranst et al. (2009b)

5.2.2 Betydning av utviklingstrinn og høstetidspunkt av gras og kløver på fettsyresammensetning i melk

Adler og Randby (2005) undersøkte om høstetid påvirket innholdet av gunstige fettsyrer i melk. Kuene ble delt i to grupper, hvor halvparten fikk henholdsvis 40 og 10 % kraftfôr (tørrstoff). Kuene fikk appetittfôring av surfôr bestående av 87 % grasarter, hovedsakelig timotei, 5 % rødkløver og hvitkløver og 8 % urter. Graset ble høstet når timoteien hadde tre kjennbare noder (tidlig høstetid), og når timoteiakset var fullt utkommet (normal høstetid). Resultatene viste at fôring med tidlig høstet surfôr ga høyere andel mettede fettsyrer og lavere andel av oljesyre, CLA og vaccensyre (tabell 9), i forhold til fôring med normalt høstet surfôr. Til tross for at normal høstetid ga den høyeste fettprosenten og høyest innhold av oljesyre, CLA og vaccensyre, var innholdet av linolensyre og omega-6:omega-3 forholdet gunstigere i melk fra tidlig høstet gras. Fettinnholdet i graset ble redusert ved økt utviklingsstadium, mens fettinnholdet i melka økte (ved høyt kraftfôrnivå).

Tidlig høstetidspunkt førte til bedre energidekning og trolig økt syntese av kortkjedede fettsyrer. Ved normal høstetid har trolig kuene økt mobilisering av fettsyrer fra fettvevet (Adler & Randby, 2005). I et forsøk hvor det ble sett på kjemisk innhold og fettsyresammensetning i gras, høy og surfôr som ble høstet ved ulike utviklingstrinn var linolensyre den dominerende fettsyren i grasmaterialet, men andelen ble kraftig redusert ved utsatt høsting (Randby et al., 2002b). Boufaïed et al. (2003a) fant en reduksjon i C16:0, C16:1, C18:2 og C18:3 og fettsyrer totalt, ved økt utviklingsstadium i timotei. C12:0, C14:0, C18:0 og C18:1c9 var ikke signifikant påvirket av utviklingsstadium. Nedgangen i andelen blader ved utsatt høsting er trolig forklaringen på reduksjonen i fettinnholdet, da stengelen inneholder kun halvparten til en tredjedel av fettsyrekonsentrasjonen av blader (Boufaïed et al., 2003a).

Tabell 9: Effekt av høstetid av gras på fettsyresammensetningen i melk, ved høyt og lavt kraftfôrnivå (Adler & Randby, 2005).

g/100 g FAME	Høyt kraftfôrnivå				Lavt kraftfôrnivå			
	Tidlig høstetid	Normal høstetid	SEM	p	Tidlig høstetid	Normal høstetid	SEM	p
C14:0	13,78	12,55	0,162	0,0002	13,37	12,73	0,381	0,26
C16:0	31,73	31,79	0,629	0,95	34,16	33,77	0,632	0,67
C18:0	8,46	9,30	0,213	0,02	7,96	7,98	0,257	0,96
C18:1c9	12,75	15,21	0,400	0,0009	12,49	14,09	0,435	0,024
C18:1c11	1,03	1,29	0,060	0,012	1,22	1,40	0,445	0,0005
C18:2c9t11 CLA	0,42	0,58	0,017	0,0001	0,47	0,64	0,015	0,0001
C18:2c9,12 n-6	0,73	0,75	0,031	0,76	0,54	0,55	0,031	0,87
C18:3c9,12,15 n-3	0,45	0,33	0,010	0,0001	0,41	0,37	0,026	0,24
C20:4n-6	0,06	0,06	0,002	0,90	0,05	0,05	0,002	0,95
C20:5 n-3 EPA	0,09	0,07	0,003	0,0010	0,10	0,09	0,002	0,0025
C22:6 n-3 DHA	0,12	0,11	0,005	0,21	0,13	0,12	0,004	0,33
Mettede	74,82	72,49	0,587	0,023	75,33	73,45	0,635	0,059
Enumettede	17,12	19,77	0,478	0,0023	17,07	19,00	0,518	0,022
Flerumettede	1,90	1,87	0,036	0,55	1,71	1,81	0,055	0,21
Omega-6/ omega-3	1,20	1,59	0,064	0,0012	0,92	1,03	0,023	0,005

¹ FAME: fatty acid methyl esters

Antall slåtter og slåttetidspunkt gjennom vekstsesongen har stor innvirkning på fettsyreinholdet i grovfôr. Boufaïed et al. (2003a) og Dewhurst et al. (2001) fant lavere konsentrasjon av fettsyrer ved førsteslått, enn ved gjenvekst. Management, inkludert intervaller mellom slåing eller beiting har stor innvirkning på mengde fettsyrer. Forsøk har vist at kortere gjenvekstperiode resulterer i økt andel av C18:2 og C18:3 (Dewhurst et al., 2001). Innholdet av alle fettsyrer i ferskt gras med unntak av C18:0 og C18:2 gikk ned (% av TS) når gjenvekstperioden ble forlenget fra 23 til 33 dager. I likhet med forsøket til Adler og Randby (2005) økte konsentrasjonen av C18:1c9 ved økt utviklingsstadium. Innholdet var høyere i eldre gras, enn ungt gras i både ferskt grasmateriale og surfôr (Elgersma et al., 2003). Gjennom intensiv drift kan innholdet av fettsyrer i grasmaterialet bli opprettholdt, ved å slå graset før blomstring (Dewhurst et al., 2001). Både under gjenvekst i løpet av våren (juni) og sommeren (juli og august) var konsentrasjonen av de fire fettsyrene C16:0, C18:1n-9, C18:2n-6 og C18:3n-3 og den totale mengden fettsyrer i timotei og engsvingel høyest ved førsteslått (Arvidsson et al., 2013).

Resultatene viste at fettsyrekonsentrasjonen i engsvingel ble redusert gjennom sommergjenveksten, selv om majoriteten av plantene var på bladstadiet under hele forsøksperioden. Det er viktig å påpeke at andre faktorer som lysintensitet og temperatur kan være viktigere for grassorter som engsvingel og flerårig raigras om sensommeren, til tross for høy mengde blad (Arvidsson et al., 2013). Dette henger sammen med at timotei må gjennom en vernaliseringsperiode for å starte blomstringen. Dette er likt for både vårvekst og sommergjenvekst, og en kan gjennom blad/stengel forholdet forutsi fettsyrekonsentrasjonen. For engsvingel og flerårig raigras er det omvendt. De må gjennomgå en vernaliseringsperiode for å sette i gang blomstring og forbli i bladlirestadiet i løpet av sommerveksten (Arvidsson et al., 2013). Andre forsøk har sett en nedgang i fettsyrekonsentrasjonen i flerårig raigras på sensommeren på tross av et høyt blad/stengel forhold (Elgersma et al., 2003).

Tabell 10: Effekt av utviklingstrinn og høstetid på innholdet av fettsyrer totalt (TFA) og utvalgte fettsyrer i planten. Sammendrag av resultater fra flere forsøk.

	Forsøk	TFA	Sum metta	Sum umetta	C16:0	C18:0	C18:1c9	C18:2 n-6	C18:3 n-3
Tidlig vs. seint høstet surfôr	1	io	+	--	+	+	+	+	--
Sommervekst vs. vårvekst	2	++	io	io	++	++	+	++	++
Gjenvekst fra 23-33 dager	3	io	io	io	--	+	--	+	--
Fortørket surfôr slått 14. juni vs. 29. juli	4	+	io	io	--	--	+	--	+

io = ikke oppgitt

+ positivt påvirket, ++ signifikant påvirket, -- negativt påvirket

1: Adler og Randby (2005) 2: Boufaïed et al. (2003a) 3: Elgersma et al. (2003) 4: Arvidsson et al. (2013)

Boufaïed et al. (2003a) gjennomførte et forsøk for å måle og sammenligne biohydrogenering av linol- og linolensyre i vomma ved bruk av timotei høstet ved ulike utviklingsstadium, gjødselmengder og konserveringsmetoder. I første forsøk ble timotei gjødslet med 120 kg N/hektar eller 0 kg N/hektar, og høstet ved fire ulike utviklingsstadium. I forsøk nummer to ble timotei konserverert som ferskt gras, fortørket gras, tørt høy, høyensilasje og surfôr. Det ble brukt ulike tilsetningsmidler; høyensilasje ble konserverert med melkesyrebakterier, høyensilasje med maursyre, surfôr med melkesyrebakterier og surfôr med maursyre. Gjennom et *in vitro* forsøk ble prøver inkubert med vomvæske for å sammenligne hvordan de ulike behandlingene påvirket biohydrogeneringen av C18:3 og C18:2. En effektiv nedbryting og høy passasjehastighet gjennom vom av C18:3 og C18:2 i timotei høstet ved stråstrekkingsstadiet. Effektiviteten av nedbrytingen og passasjehastigheten ble redusert lineært ved økende utviklingsstadium (Boufaïed et al., 2003b). Passasje av C18:3 gjennom vom var høyere i ferskt gras, tørket gras og tørt høy, enn høyensilasje og surfôr. Tilsetting av melkesyrebakterier og maursyre hadde ingen signifikant effekt på nedbryting og passasjehastighet av C18:3 og C18:2. Boufaïed et al. (2003b) slo fast at for å øke mengden C18:3 som passerer vomma uten å bli hydrogenert, bør timotei gjødsles med nitrogen, høstes ved tidlig utviklingsstadium og konserveres som tørt høy.

5.2.3 Effekt av nitrogengjødsling på fettsyresammensetning i gras og melk

Arvidsson et al. (2013) studerte fettsyrekonsentrasjonen i timotei og engsvingel og effekt av sesongvariasjon ved tre nivåer av nitrogengjødsling (30+30, 90+90 og 120+90 kg nitrogen/hektar) i Sverige. Enga ble høstet ved tre ulike utviklingsstadium i løpet av våren (juni) og to ulike stadier i løpet av sommeren (juli og august). Det var signifikant forskjell i fettsyresammensetning mellom timotei og engsvingel. Engsvingel hadde et høyere innhold av C16:0, C18:1n-9 og C18:3n-3, mens timotei hadde et høyere innhold av C18:2n-6. Den totale fettsyrekonsentrasjonen var lik. Total fettsyrekonsentrasjon og konsentrasjonen av C16:0, C18:1n-9, C18:2n-6 og C18:3n-3 som i sum utgjør 90 til 94 gram/100 g totale fettsyrer gikk ned over tid i begge vekstperiodene, i både timotei og engsvingel – uavhengig av gjødselnivå. Den relative andelen av de fire fettsyrene ble påvirket av høstetidspunkt, hvor C16:0, C18:1n-9 og C18:2n-6 økte ved utsatt høstetidspunkt, men det var motsatt for C18:3n-3. Nivået av nitrogengjødsling påvirket ikke fettsyrekonsentrasjonen direkte eller mengden av de ulike fettsyrene (g kg/TS), men det var positive lineære sammenhenger mellom konsentrasjonen av fettsyrer og råprotein.

Dette er motsatt resultat sammenlignet med Boufaïed et al. (2003a), som studerte timotei som ble gjødslet med 0 eller 120 kg nitrogen per hektar. Her økte nitrogengjødslingen konsentrasjonen av individuelle fettsyrer og den totale mengden fettsyrer. I forsøket til Arvidsson et al. (2013) ble det høyeste fettinnholdet funnet i gras gjødslet med 90 kg nitrogen/hektar, og lavest i gras som ble gjødslet med 30 kg nitrogen/hektar. Arvidsson et al. (2013) konkluderte med at det er mulig å justere fettsyresammensetning og fettinnholdet i fôr gjennom valg av grasarter og høstetidspunkt, hvor sistnevnte har størst innvirkning.

I et annet forsøk studerte Arvidsson et al. (2012) effekten av ulik nitrogengjødsling på fettsyresammensetning i melk, samt sammenlignet surfôr av gras med surfôr av rødkløver. Det ble gjødslet med samme mengde nitrogen som i forsøket av Arvidsson et al. (2013). Det ble gjødslet med 30, 90 og 120 kg N/hektar, som her blir referert til som surfôr A, B og C. I tillegg var rødkløversurfôr forsøksledd (D). Kuene i forsøket fikk 11 kg tørrstoff surfôr og 7 kg kraftfôr om dagen, og alle surfôrslagene hadde samme tørrstoffinnhold og energikonsentrasjon. Konsentrasjonen av råprotein økte ved økt nitrogengjødsling, og det var en lineær økning i tørrstoffopptaket av surfôrslagene ved økt nitrogengjødsling.

Nitrogengjødsling økte innholdet av råprotein og NDF konsentrasjonen i grassurfôrene. Den laveste NDF konsentrasjonen var i rødkløversurfôret. Det var forskjell i innhold av individuelle fettsyrer og totalt fettsyreinhold mellom surfôrslagene, men det var ikke signifikant forskjell i melkeytelse. Det var en økning i nesten alle fettsyrer i surfôret ved økt nitrogengjødsling fra 30 til 90 kg, men ingen ytterligere økning når det ble gjødslet med 120 kg. Surfôr A hadde høyest konsentrasjon av palmitinsyre, oljesyre og linolsyre (tabell 11), sammenlignet med surfôr B og C. Surfôr A viste høyere konsentrasjon av linolsyre og samme konsentrasjon av linolensyre i melk som de andre grassurfôrene, til tross for lavere inntak av disse fettsyrene gjennom fôret. Høyere konsentrasjon av C18:2n-6 og samme konsentrasjon av C18:3n-3 i melk fra kuer som fikk surfôr A, sammenlignet med de andre grassurfôrene vitner om et lavere inntak av disse fettsyrene gjennom fôret. Den høyeste konsentrasjonen av linolensyre og CLA i melk kom fra kuene som fikk surfôr D (Arvidsson et al., 2012).

Boufaïed et al. (2003a) fant høyere mengde C18:3n-3 som unngikk biohydrogenering når det ble gjødslet med 120 kg N/hektar, sammenlignet med 0 kg N/hektar. Dette skyldes en høyere overføring av polyumettede fettsyrer fra fôr til melk fra surfôr B og C, siden det vil være mer fettsyrer tilgjengelig for absorpsjon i tarmen, enn når det ble fôret med surfôr A (Arvidsson et al., 2012). Høyere konsentrasjon av C18:3n-3 i melk fra kuer som fikk surfôr D sammenlignet med gras er i tråd med tidligere studier.

Dewhurst et al. (2003b) fant høyere konsentrasjon av C18:3n-3 i melk fra kuer fôret med rødkløver, til tross for lavere konsentrasjon av denne fettsyren i kløversurfôr sammenlignet med grassurfôr. Høyere konsentrasjon av polyumettede fettsyrer i melk fra kløversurfôr sees i sammenheng med polyfenoloksidase aktivitet i rødkløver (Lee et al., 2004). Arvidsson et al. (2012) konkluderer med at ulike nivåer av nitrogen gjødsling ikke hadde store nok effekter på fettsyresammensetning i melk, i fôrrasjoner med så høyt kraftfôrnivå som er vanlig i Sverige.

Tabell 11: Effekt av nitrogen gjødsling på konsentrasjon av utvalgte fettsyrer (g/100 g fettsyrer) i melk. Surfôr A, B og C ble gjødslet med henholdsvis 30, 90 og 120 kg nitrogen per hektar. Surfôr D består av kløversurfôr (Arvidsson et al., 2012).

	Kontraster ²								
	A	B	C	D	s.e. ¹	S	L	Q	
C4:0	3,42	2,34	3,37	3,25	0,071	ns	ns	ns	
C6:0	2,63	2,59	5,59	2,51	0,050	ns	ns	ns	
C8:0	1,42	1,38	1,39	1,37	0,027	ns	ns	ns	
C10:0	2,84	2,73	2,77	2,77	0,063	ns	ns	ns	
C12:0	3,06	2,95	2,98	3,00	0,069	ns	ns	ns	
C14:0	10,98	10,83	10,89	10,89	0,135	ns	ns	ns	
C15:0	1,00	1,00	1,01	1,2	0,024	ns	ns	ns	
C16:0	33,51	33,50	33,33	33,26	0,370	ns	ns	ns	
C17:0	0,45	0,43	0,44	0,46	0,012	*	ns	*	
C18:0	8,63	8,78	9,03	8,86	0,175	ns	*	ns	
C20:0	0,14	0,14	0,15	0,15	0,003	ns	ns	ns	
C18:1c9	19,30	19,67	19,51	19,52	0,426	ns	ns	ns	
C18:1c11	0,63	0,62	0,62	0,63	0,016	ns	ns	ns	
C18:1t	1,37	1,32	1,36	1,46	0,043	***	ns	ns	
C18:2n-6	1,10	1,03	1,01	1,07	0,030	ns	*	ns	
C18:3n-3	0,41	0,40	0,40	0,46	0,021	***	ns	ns	
C9,t11 CLA	0,63	0,62	0,63	0,66	0,022	***	ns	ns	

¹ Standard error of mean

² S = kløversurfôr vs. grassurfôr

² L = lineær effekt av nitrogen gjødsling

² Q = kvadratisk effekt av nitrogen gjødsling

ns – ikke signifikant; *P < 0.05; **P < 0.01, ***P < 0.001.

I et forsøk utført av Boufaïed et al. (2003a) førte nitrogen gjødsling av timotei til økt innhold av C16:0, C18:1c9, C18:2, C18:3 og andelen fettsyrer totalt i planten. C12:0 og C18:0 ble ikke påvirket av nitrogen gjødsling. Effekten av nitrogen gjødsling var avhengig av utviklingsstadium for C12:0, C16:1 og C18:3 (Boufaïed et al., 2003a).

5.2.4 Effekt av ensilering på fettsyresammensetning i gras og melk

Ensilering av gras kan medføre tap av polyumettede fettsyrer, og hovedårsaken til dette er oksidasjon under tørking av grasmaterialet (Dewhurst et al., 2003b). Innholdet av polyumettede fettsyrer, i hovedsak linolensyre, avhenger av tapet i forbindelse med tørking før ensilering. Under ensileringsprosessen foregår det hydrolyse, som resulterer i økt andel frie fettsyrer (Harstad & Steinshamn, 2010). Resultatene fra forsøk som har studert effekten av ensileringsmidler på fettsyresammensetningen i surfôr, er ikke entydige. I noen forsøk er det funnet liten effekt på fettsyresammensetningen i surfôr, mens i andre har bruk av syremidler og bakterielle inokulanter redusert konsentrasjonen av fettsyrer i raigras- og rødkløversurfôr (Arvidsson et al., 2009). Bruk av maursyrebaserte ensileringsmidler har vist seg å øke innholdet av fettsyrer totalt, spesielt linolensyre – i forhold til inokulanter og ikke bruk av ensileringsmidler (Harstad & Steinshamn, 2010).

Frie fettsyrer dominerer i surfôr på grunn av lipolyse. Lipolyse er nødvendig før hydrogenering kan forekomme, og en stor mengde frie fettsyrer i grovfôret kan resultere i høy andel biohydrogenering. Lipolyse i surfôr er trolig forklaringen på den lave konsentrasjonen av polyumettede fettsyrer i melk fra ensilert gras, i forhold til ferskt grasmateriale. Ved å redusere lipolysen som skjer under ensileringsprosessen kan man redusere graden av biohydrogenering (Van Ranst et al., 2009a). En kan redusere proteolyse og lipolyse i rødkløver ved å øke aktiviteten av polyfenoloksidase. Dette kan ha konsekvenser i ensileringen siden innholdet av protein og polyumettede fettsyrer kan bli redusert ytterligere ved å bruke grovfôr med høy polyfenoloksidaseaktivitet. Redusert lipolyse i vom vil gi redusert hydrogenering av polyumettede fettsyrer og dermed øke forholdet mellom polyumettede fettsyrer og mettede fettsyrer i produkter fra drøvtygger (Lee et al., 2004).

Fortørking av gras før ensilering reduserer innholdet av umettede fettsyrer ved oksidasjon. Umettede fettsyrer er mer utsatt for oksidasjon enn mettede fettsyrer, og oksidasjon fører derfor til reduksjon i det totale fettinnholdet (Van Ranst et al., 2009b).

Elgersma et al. (2003) sammenlignet fettsyresammensetningen i ferskt og ensilert raigras, og innvirkning av sort og gjenvokstintervall. I ferskt gras gikk konsentrasjonen av de fleste fettsyrene ned ved økende gjenvokstperiode. I ferskt gras var hele 98 % av fett triglyserider, men i surfôr var 27-73 % av totalt fett frie fettsyrer. De største forandringene i fettsyreinholdet var i triglyseridene. Fortørket ensilert gras hadde lavere konsentrasjoner av de fleste fettsyrene enn ferskt gras (tabell 12), spesielt C18:1c9 og C18:3. Ensilering senket altså det totale innholdet av fettsyrer, og påvirket i tillegg fettsyresammensetningen. Innholdet av C16:0 og C18:2 var høyere i surfôr enn i ferskt gras, mens det prosentvise innholdet av C18:1c9 og C18:3 var lavere i surfôr (Elgersma et al., 2003). Høyere konsentrasjoner av C16:0, C18:2, C18:3 og fettsyrer totalt i surfôr skyldes mest sannsynlig et tap av noen komponenter under gjæring, som resulterer økning i konsentrasjonen av andre komponenter (Boufaïed et al., 2003a). Det ser ut til at under ensileringsprosessen ved tilsetning av syre, gir lipolyse i noen fraksjoner i planten, mest sannsynlig celleveggkomponentene, og resulterte i frigjorte komponenter. Forskjellen i fettsyresammensetningen mellom ferskt gras og fortørket, ensilert gras kan skyldes fortørking og den enzymatiske prosessen som skjer under tørking (Elgersma et al., 2003).

Tabell 12: Effekt av ensilering på konsentrasjon (g/kg TS) av esterifiserte fettsyrer (EFA) og frie fettsyrer (FFA), og prosentandel av de viktigste fettsyrene. Gjennomsnitt for seks ulike sorter av flerårig raigras (Elgersma et al., 2003).

	Ferskt gras			Surfôr		
	EFA	FFA	Totalt	EFA	FFA	Totalt
Fett (g kg⁻¹ TS)	28,6	0,5	29,1	9,9	9,6	19,5
Fettsyresammensetning (%)						
C14:0	0,3	8,1	0,4	0,1	1,5	0,6
C16:0	14,4	28,7	14,6	13,3	19,4	16,3
C16:1	1,7	0,6	1,7	2,2	0,2	1,2
C18:0	1,0	13,4	1,2	0,9	1,6	1,2
C18:1c9	1,6	4,2	1,7	1,2	1,3	1,2
C18:2	10,6	8,8	10,6	11,9	11,3	11,8
C18:3	69,4	15,0	68,5	66,9	60,9	64,7
Ukjent	1,0	21,1	1,4	3,3	3,7	2,9

Arvidsson et al. (2009) studerte effekten av ensilering og konserveringsmiddel på fettsyresammensetning i surfôr av timotei (tabell 13). Tidligere har de fleste forsøk som har studert effekten av ensilering på fettsyresammensetning i gras og melk brukt raigras.

Tabell 13: Innhold av råfett (g/kg TS) og fettsyrer (g/100 g fettsyrer) i ferskt og ensilert materiale (Arvidsson et al., 2009).

	Ferskt gras	Surfôr	SEM ^b	Signifikant ^a
Råfett	2,67	3,39	0,17	**
C16:0	16,94	15,67	0,28	**
C16:1	0,02	1,64	0,06	**
C18:0	1,32	1,26	0,08	NS
C18:1c9	2,29	2,04	0,14	NS
C18:2	16,35	16,98	0,43	NS
C18:3	61,96	60,49	0,89	NS
Andre	1,25	1,84	0,27	*

^aNS, ikke signifikant ved $P \geq 0.05$; * signifikant ved $P < 0.05$; ** signifikant ved $P < 0.01$.

^bSEM = standard error of the mean

Surfôr av gras tilsatt bakterielle inokulanter hadde et høyere innhold av C16:0, enn surfôr av gras behandlet med syremiddel, og lavere innhold av C18:3 enn surfôr behandlet med vann og syremiddel (Arvidsson et al., 2009). Studiet viste at fortørking og konserveringsmiddel hadde liten innvirkning på fettsyresammensetningen, med unntak av C16:0 og C18:3.

Fettsyresammensetningen i ferskt og ensilert grasmateriale var ulik (tabell 13), og i surfôr var det et lavere innhold av C16:0, C18:0, C18:1c9 og C18:3, og høyere innhold av C16:1, C18:2 og andre identifiserte fettsyrer enn i ferskt gras (Arvidsson et al., 2009).

En tørkeprosess på under 24 timer og tørrstoffinnhold på 330-350 g/kg hadde ingen effekt på innholdet av fettsyrer i Grindstad timotei (Arvidsson et al., 2009), noe som er ulikt hva Elgersma et al. (2003) og Boufaïed et al. (2003a) fant i sine forsøk. De fant lavere innhold av C18:3 i tørket enn ikke tørket grasmaterialet. I forsøkene til Elgersma et al. (2003) og Boufaïed et al. (2003a) ble graset fortørket i en lenger tidsperiode og hadde høyere tørrstoffinnhold, noe som kan ha innvirkning på resultatet.

Forskjell i fettsyreinnholdet kan være forårsaket av fortørkingen og enzymatisk aktivitet etter graset er slått (Elgersma et al., 2003), og fikk foregå i en lenger periode enn forsøket til Arvidsson et al. (2009). Som nevnt ble det brukt timotei, og ikke raigras i dette forsøket. Grunnen til at konsentrasjonen av C18:3 ikke gikk ned, kan ha sammenheng med at det ble brukt en timotei sort hvor fettsyrene var lite påvirket av fortørkingen. Det er tidligere vist for raigras at graden av oksidasjon under tørking varierer mellom sorter (Chow et al., 2004). Ensileringsprosessen påvirket fettsyresammensetningen i graset, selv om det var små forskjeller. Forskjell i fettsyreinnholdet mellom ferskt grasmateriale og surfôr, men ikke mellom tørket og ikke tørket gras indikerer at ensileringsprosessen påvirker fettsyreinnholdet, trolig gjennom lipolyse i selve ensileringsprosessen, og ikke ved tørking (Arvidsson et al., 2009).

Van Ranst et al. (2009a) studerte effekten av grasmaterialet ensilert ved forskjellig tørrstoffprosent og ulike tilsetningsmidler. Det har ikke tidligere vært forsket på innvirkning av tørrstoff og forskjellige tilsetningsmidler på omfang av lipolyse i surfôr. Målet med forsøket var å se på effekten ved bruk av tilsetningsmidler som maursyre, inokulanter og en karbohydratbuffer, samt av tørrstoffinnholdet i gras ved ensilering på fettsyresammensetning og lipolyse i surfôr av rødkløver, hvitkløver og raigras. Effekten av tørrstoffinnhold var begrenset, til tross for noe redusert lipolyse ved økt tørrstoffinnhold i raigras. Det ble sett en nedgang i det totale fettsyreinnholdet i løpet av tørkingen av raigras og hvitkløver, noe som trolig henger sammen med oksidasjon av umettede fettsyrer. I rødkløver førte tørking til en dramatisk reduksjon i innhold av totale fettsyrer til tross for små endringer i konsentrasjonen av C18:3. Tørking hadde ingen videre effekt på fettinnhold og fettsyresammensetning i rødkløver. Forskjellen mellom rødkløver og hvitkløver og raigras skyldes trolig ulike tørkebetingelser, selv om dette forsøket ikke klarte å skille forskjellen mellom tørkebetingelser og effekt av planteart. Det ble sett en økning av C18:3 i fri form under tørking som viser at lipolyse forekom allerede da. Høyere tørrstoffinnhold ved ensilering resulterte i lavere konsentrasjoner av linolensyre, noe som skyldes lenger tørkeperiode og mer oksidasjon i grasmaterialet (Van Ranst et al., 2009a). I raigras og hvitkløver var det ingen effekt av tilsetningsmiddel på fettsyresammensetningen. Ved å ensilere rødkløver med karbohydratbuffer økte innholdet av C16:0 sammenlignet med kontrollgruppen, og reduserte C18:3 andelen sammenlignet med maursyre. Dette indikerer at surfôr av dårlig kvalitet, på grunn av høyere andel acetat i surfôret av rødkløver ensilert med buffer, vil medføre en endring i fettsyresammensetningen til fordel for mettede fettsyrer (Van Ranst et al., 2009a).

Bruk av maursyre resulterte i lavere lipolyse i surfôret, sammenlignet med andre tilsetningsmidler. Lipolyse var lavere i surfôr av rød- og hvitkløver sammenlignet med raigras ved 30 % tørrstoff. Ved høyere tørrstoffinnhold var lipolysen det samme som, eller lavere i surfôr av raigras. Høyere tørrstoffinnhold kan resultere i redusert fermentering og dermed lavere lipolyse (Van Ranst et al., 2009a).

Van Ranst et al. (2009b) fant ut at effekten av ensilering på fettsyresammensetningen var liten. Dette er motsatt av hva Boufaïed et al. (2003a) og Arvidsson et al. (2009) fant i sine forsøk. Forskjell mellom forsøk kan skyldes ulik nedbryting av fettsyrer på grunn av forskjellig mikrobiell aktivitet og/eller oksidasjon på grunn av ulik tilgang på oksygen under ensileringsprosessen av surfôret. Forskjellen i fettsyresammensetningen i planter av ulike sorter, og lipid metabolisme i løpet av tørkingen og ensileringen var små (Van Ranst et al., 2009b).

Tabell 14: Sammendrag av resultater fra ulike forsøk som har studert effekten av ensilering på fettsyresammensetning i grasmaterialet.

Forsøk		TFA	Sum metta	Sum umetta	C16:0	C18:0	C18:1c9	C18:2 n-6	C18:3 n-3
Ferskt gras vs. surfôr	1	+	io	io	--	uf	+	--	+
Ferskt gras vs. surfôr	2	--	io	io	++	+	+	--	+
Ferskt gras vs. surfôr	3	--	io	io	--	+	++	--	--

io = ikke oppgitt

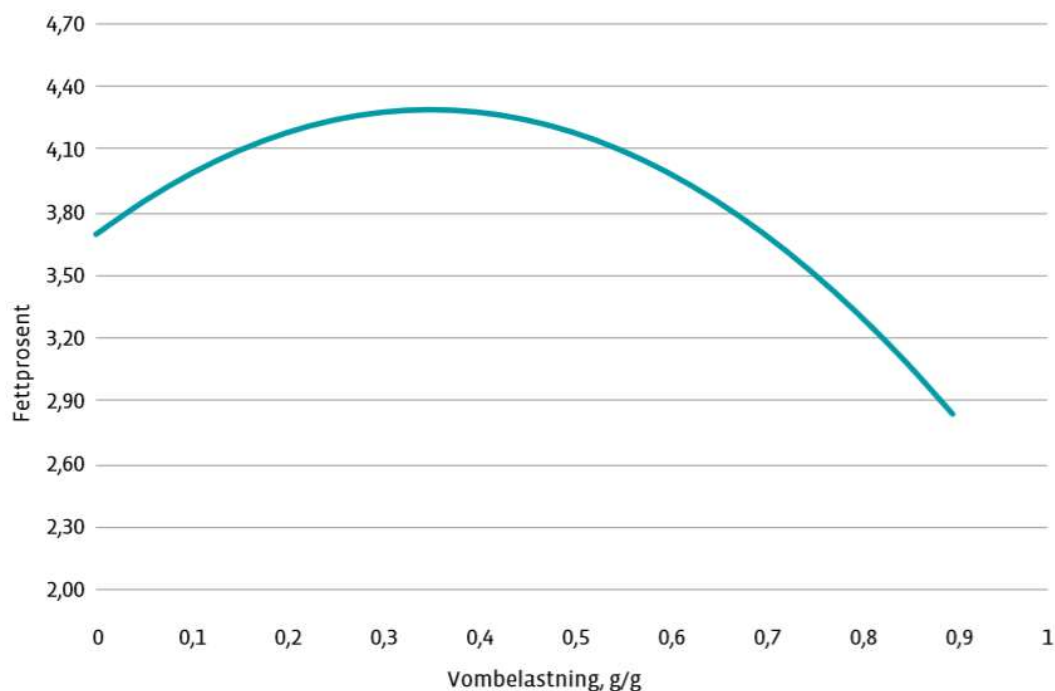
uf = uforandret

+ positivt påvirket ++ signifikant -- negativt påvirket

1: Elgersma et al. (2003) 2: Arvidsson et al. (2009) 3: Boufaïed et al. (2003a)

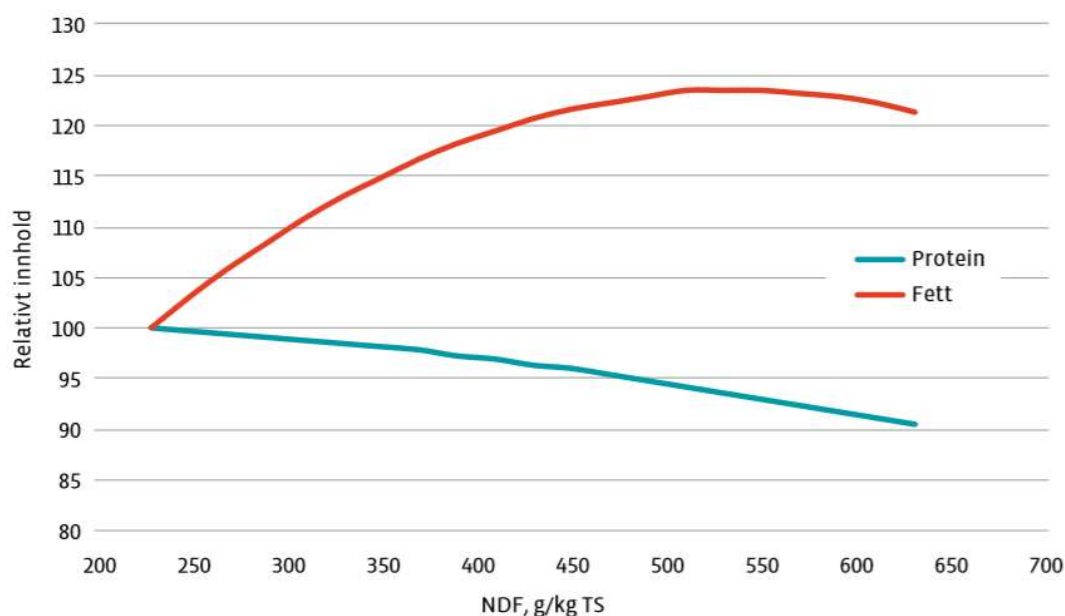
5.3 Effekt av grovfôr: kraftfôrforhold på fettsyresammensetning i melk

En fôrrasjon med balanse mellom stivelse og NDF er viktig for å sikre et godt vommiljø, som er avgjørende for å oppnå høyt fettinnhold i melka (figur 5). Ved høye kraftfôrmengder økes innholdet av lettfordøyelige karbohydrater (stivelse) på bekostning av andelen celleveggkarbohydrater, og dette gir også mindre fysisk struktur i fôrrasjonen. Gjæringsmønsteret i vomma endres og konsentrasjon av propionsyre øker, på bekostning av eddiksyre (Hermansen et al., 2003). I slike situasjoner øker ofte proteininnholdet i melka, samtidig som fettinnholdet går ned. Ved fôrrasjoner som inneholder for høye kraftfôrmengder, kan propionsyrekonsentrasjonen påvirke den hormonelle reguleringen av næringstoffomsetningen i kua. Forbruket av glukose og eddiksyre til avleiring av fett i kua øker. Begge disse er byggesteiner for melk og melkefett, og når kua bruker disse til avleiring i kroppen, vil melkeproduksjonen og fettsyntesen reduseres. Proteinprosenten vil øke, trolig på grunn av oppkonsentrasjon (Hermansen et al., 2003).



Figur 5: Sammenheng mellom fôrrasjonens vombelastning og fettinnholdet i melka (Volden, 2012).

Fôrrasjonens innhold av NDF blir ofte brukt som et mål på om fôrrasjonen inneholder tilstrekkelig med struktur. Med økt innhold av NDF i rasjonen, øker fettprosenten, samtidig som proteinprosenten faller (figur 6). *De novo* syntesen blir favorisert ved fôrrasjoner som inneholder tilstrekkelig mengde grovfôr, siden fôrrasjoner med mye kraftfôr og lite grovfôr gir mindre substrat til *de novo* syntesen, og resulterer i lavere fettinnhold i melka (Kelly & Bach Larsen, 2010). Store mengder kraftfôr vil redusere pH i vom og dermed redusere fordøyelsen av NDF, øke risikoen for vomacidose og redusere fettinnholdet i melk (Schroeder et al., 2004). Høye kraftfôrmengder er uheldige for vommiljøet, men for lite kraftfôr er heller ikke optimalt. For lite kraftfôr fører til for liten dannelse av propionsyre, og det vil ikke være tilstrekkelig mengde energi og byggesteiner som behøves for viktige livsprosesser i kroppen (Gjefsen, 2007).



Figur 6: Sammenheng mellom NDF i fôrrasjonen og innholdet av fett og protein i melka. Et NDF innhold på 230 g/kg TS er satt til en relativ verdi på 100 (Volden, 2012).

En reduksjon i NDF andelen og økning i kraftfôrandel i rasjonen vil redusere andelen av cellulolytiske bakterier i vom. Under slike forhold vil hydrolysen av lipider være redusert (Buccioni et al., 2012). Hvis kraftfôret utgjør mer enn 70 % av fôrrasjonen, vil kun 50-65 % av linol- og linolensyre hydrogeneres. Dette skyldes fall i pH som begrenser hydrolysen, og dermed hydrogeneringen siden fettsyrene må være i form av frie fettsyrer for å gå gjennom hydrogenering (Chilliard et al., 2000).

Ved et høyt kraftfôr: grovfôrforhold, i kombinasjon med store mengder C18:2 i fôret øker tilførselen av t10c12 i melka, som virker hemmende på melkefettsyntesen i juret (Nielsen et al., 2005). Dette skyldes at t10c12 virker hemmende på produksjonen av enzymer som er nødvendig for produksjon av kortkjedede fettsyrer (<C16:0) i jurcellene. Resultatet blir lavere fettprosent i melka og en reduksjon i den daglige fettproduksjonen (Baumgard et al., 2002).

5.4 Effekt av beite på fettsyresammensetning i melk

Bruken av beite til melkekuer går stadig ned, og utgjør i dag under 10 % av den totale fôrandelen (Steinshamn, 2016). Årsaken til denne nedgangen skyldes større besetninger og høyere avdrått, som gir større utfordringer ved bruk av beite. En økning i andelen av melkekufjøs med robot skaper større utfordringer med beite, og mange fjøs er bygd uten å ta hensyn til beiting. All storfe skal sikres mulighet for fri bevegelse og mosjon på beite i minimum åtte uker i løpet av sommerhalvåret, og for løsdriftsfjøs som ikke har beiter skal dyrene få mulighet til å bruke et annet utendørsområde eller luftegård (Mattilsynet, 2015). I Norge er det kun et luftekrav, og ikke beitekrav. Store besetninger ser det arbeidsomt med beitedrift, og har kun dyrene i luftegård. Bruk av beite har mange positive effekter, og beite vil gi en høy ernæringsmessig kvalitet på melka. Grovfôropptaket vil være høyere på beite enn på surfôr, forutsatt at det er tilstrekkelig med beite og grovfôret er av normal, god kvalitet (Steinshamn, 2016).

Beitende kuer produserer melk med lavere mettede:umettede fettsyrer ratio og et høyt linol- og linolensyre innhold (Khan et al., 2012). Ungt beitegras, raigras og kløver skiller seg ut fra andre grasarter og er et gunstig virkemiddel for å produsere melk med en god fettsyresammensetning. Rødkløver gir svært gunstig omega-3:omega-6 forhold, som trolig har sammenheng med redusert biohydrogenering av C18:3 i vom (Harstad, 2007).

Bolstad et al. (2007) utførte et beiteforsøk hvor virkningen av beite og kraftfôrmengde på fettsyresammensetningen i melk ble studert. Forsøket hadde to forsøksledd; lav beitetilgang med 12 kg tørrstoff per ku per dag, og høy beitetilgang med 24 kg TS per ku per dag. Innen hvert ledd var det to undergrupper med lav kraftfôrmengde (3 kg/dag) og høy kraftfôrmengde (7 kg/dag). Forsøket viste at rikelig tilgang på beite ga en større mengde av de *de novo* syntetiserte kortkjedede fettsyrene, C4:0 til C14:0, men en nedgang i innholdet av oljesyre og stearinsyre. Innholdet av de polyumettede, langkjedede fettsyrene linolsyre, linolensyre og EPA (C20:5) økte (Bolstad et al., 2007). Oljesyre, stearinsyre og palmitinsyre er de tre vanligste fettsyrene i fettvevet hos melkeku (Chilliard et al., 2000).

Ved rikelig tilgang på beite var det lavere konsentrasjon av disse fettsyrene i melka enn ved mindre tilgang på beite. Ved rikelig beitetilgang har dyrene antageligvis vært i energibalanse og har derfor mobilisert mindre av de lange, typiske lagringsfettsyrene, samtidig som et høyt fôropptak resulterte i økt konsentrasjon av *de novo* syntetiserte fettsyrer i melka (Bolstad et al., 2007). Schei og Volden (2013) fant lavere innhold av palmitinsyre i melka i sommermånedene juni, juli og august når dyrene var på beite, sammenlignet med resten av året. Dette henger sammen med at beite har et lavere innhold av korte og mellomlange fettsyrer (C4:0-C16:0) enn innhøstet fôr. Innholdet av langkjedede fettsyrer er høyere på beite enn ved inneføring (Elgersma et al., 2003; Harstad & Steinshamn, 2010). Innholdet av palmitinsyre økte utover høsten, og var på topp i november og desember. Palmitinsyre er negativt korrelert til stearinsyre og oljesyre, og svakt positivt korrelert til frie fettsyrer i melk (Schei & Volden, 2013).

I et forsøk gjort i Valdres ble det sett på effekten av fjellbeite på ulike kvalitetsaspekter i melk. Det ble det funnet forskjell i fettsyresammensetning mellom vintermelk og melk produsert på fjellbeite. Mengden av de mettede fettsyrene C14:0 og C16:0 ble redusert fra den relative mengden bestemt i vintermelken i forhold til den relative mengden som ble oppnådd i juli. Andelen av C18:1c9, C18:3, C18:1t11 og CLA var høyere i melk fra kuer som hadde gått på fjellbeite, sammenlignet med vintermelk, mens mengden av C18:2 var lavere i melk fra fjellbeite (Abrahamsen et al., 2007).

Lu et al. (2018) studerte sesongvariasjon i innholdet av fettsyrer i melk ved å samle inn melk fra seks ulike måneder (mars, mai, juni, juli, september og november). Som forventet var konsentrasjonen av mettede fettsyrer lavere i sommermånedene (juni og juli), mens mono- og polyumettede fettsyrer var høyere i juni og juli måned, sammenlignet med de andre månedene (Lu et al., 2018). Eneste opplysningen som ble gitt om fôringsregime i forsøket var at kuene var på beite i sommermånedene, mens resten av perioden var det inneføring med surfôr og kraftfôr.

Tabell 15: Resultatene summert opp fra ulike forsøk hvor effekt av beite på fettsyresammensetning av melk er studert.

	Forsøk	TFA	Sum metta	Sum umetta	C16:0	C18:0	C18:1c9	C18:2 n-6	C18:3 n-3
Høy beitetilgang	1	--	io	io	+	--	--	+	+
Fjellbeite vs. vintermelk	2	io	--	+	--	io	+	--	+

io = ikke oppgitt

+ positivt påvirket ++ signifikant -- negativt påvirket

1: Bolstad et al. (2007) 2: Abrahamsen et al. (2007)

Ved Institutt for husdyrfag ved UMB ble det sett på ulike faktorer som påvirker smak, innholdet av frie fettsyrer og fettsyresammensetning i melk fra en økologisk og en konvensjonell driftsenhet (Stene et al., 2002). Resultatene viste et dobbelt så høyt innhold av CLA-isomerene C18:2c9t11 og C18:2t10c12 i økologisk melk, og det var signifikant positiv sammenheng mellom innholdet av CLA og vaccensyre, som er forstadiet til CLA. En forklaring på den store forskjellen kan skyldes at den økologiske besetningen hadde vårkalving, og mye av melka ble produsert på beite, som vil gi et høyere CLA innhold i melka (Stene et al., 2002). Forsøket viste også et lavere, og et mer gunstig forhold mellom omega-6 fettsyren linolsyre og omega-3 fettsyren linolensyre i økologisk melk, sammenlignet med den konvensjonelle. Denne forskjellen skyldes ulik kraftfôrandel i de to driftsenhetene, da økning i kraftfôrnivå ga signifikant høyere ratio mellom omega-6:omega-3 i melka fra den konvensjonelle besetningen (Stene et al., 2002). Resultatene er trolig en effekt av god tilgang på beite og lite kraftfôr, fremfor økologisk drift.

Schroeder et al. (2004) publiserte i en oversiktsartikkel resultatene fra totalt 18 forsøk hvor effekten av fetttilskudd på produksjon og sammensetning av melk hos kuer på beite ble studert. Resultatene viste ingen effekt av fett tilskudd på fordøyelse av NDF, enten det ble tilsatt mettet- eller umettet fetttilskudd. Melkeytelsen og fettinnholdet i melka økte, og den største økningen ble observert i midtlaktasjonen når det ble benyttet mettet fetttilskudd. Fettinnholdet i melka økte med 5,1 % ved tilskudd av mettet fett, og ble redusert med 8,0 % ved tilskudd av umettet fett, sammenlignet med kontrollgruppen (Schroeder et al., 2004).

Tilskudd av umettet fett økte innholdet av langkjedede, umettede fettsyrer i melkefettet, inkludert CLA. Resultatene viste at fetttilskudd i fôrrasjonen til kuer som er på beite av god kvalitet, øker melkeproduksjonen, selv om effekten på fettinnholdet i melka avhenger av graden av mettheten på fetttilskuddet (Schroeder et al., 2004). Nedgangen i fettinnholdet når det ble gitt tilskudd av umettet fett henger trolig sammen med redusert *de novo* syntese i juret, som en direkte effekt av noen lange, umettede fettsyrer (Schroeder et al., 2004).

Oppsummert økte tilskudd av fett melkeytelsen til beitende kuer, og mettet fett ga bedre respons enn umettet fett hos kuer i midtlaktasjonen. Innholdet av melkefett økte når det ble benyttet mettet fett, og redusert når det ble benyttet umettet fetttilskudd, trolig fordi disse virker hemmende på *de novo* syntesen. Tilførsel av umettede fettsyrer økte innholdet av umettede, lange fettsyrer og CLA i melk, og gir bedre ernæringsmessig kvalitet på melka (Schroeder et al., 2004).

5.5 Effekt av fôrrasjonen på innholdet av CLA i melk

Det er store variasjoner i mengden CLA i melkefett, og innholdet henger nøye sammen med fôrrasjonen til dyret (Arnesen, 2013). Gras vil gi en høy konsentrasjon av CLA i melk (Bell et al., 2006), men konsentrasjonen av CLA avhenger også av andre faktorer enn fôring, som for eksempel laktasjonsnummer og sesongvariasjon (Lock & Garnsworthy, 2003). Innholdet av CLA i melk vil som oftest øke når kuene kommer ut på beite (Kelly et al., 1998), og årsaken til dette kan være at ferskt beitegras er en bedre kilde for CLA-produksjon i dyret enn konservert gras av flere årsaker. Ved beiting blir graset høstet på et tidligere utviklingsstadium enn gras som konserveres, men utslagene kan også være en effekt av selve beitingen, da det forekommer oksidasjon av umettede fettsyrer med en gang graset blir slått (Randby et al., 2002a). Det er forsket mye på CLA, og det er funnet sterk korrelasjon mellom CLA og enumettede transfettsyrer i melkefett. Det vil si at en økning av CLA i melk for å forbedre den ernæringsmessige kvaliteten, vil samtidig innebære et økt innhold av enumettede transfettsyrer (Hermansen et al., 2003).

Som nevnt blir innholdet av CLA i melk påvirket av en rekke faktorer, og det forekommer også forskjeller mellom ulike raser (Refsgaard Andersen et al., 2003). I ulike forsøk hvor det er sett på variasjon i CLA innholdet i melk er det funnet like store variasjoner innad i besetninger, som mellom besetninger. I forsøket til Refsgaard Andersen et al. (2003) ble det ikke funnet effekt av laktasjonsstadium på CLA innholdet.

Lock og Garnsworthy (2003) fant ved å fôre kuer med en basal diett av surfôr og tilskudd av C18:2 og C18:3 at tilførselen av CLA til tynntarmen og vaccensyre økte. Hele 80 % av CLA ble produsert endogent i juret, og forfatterne konkluderte med at økt aktivitet av delta-9-desaturase vil være mer nyttig for å øke CLA innholdet i melk, enn å øke CLA produksjonen i vom (Lock & Garnsworthy, 2003).

Siurana og Calsamiglia (2016) gjorde en metaanalyse for å studere ulike fôringsstrategier for å øke innholdet av CLA i melk. En kombinasjon av fiskeolje og vegetabiliske fettkilder resulterte i den største økningen av CLA av total andel fett i melk, men andelen melkefett ble redusert. Linfrø økte andelen av CLA i melkefettet, uten å påvirke det totale fettinnholdet. De kom frem til at den beste måten å øke CLA innholdet i melk var gjennom ekstrudering av oljefrø, men ekstruderte oljefrø reduserte melkeytelsen, og oljer reduserte fettinnholdet. De konkluderte med at tilskudd av fiskeolje, sammen med vegetabilisk fett er den beste strategien (Siurana & Calsamiglia, 2016). Fôrrasjoner med et høyt innhold av linolensyre reduserte melkeytelsen, men fettinnhold og total fettproduksjon ble ikke påvirket. Sammenlignet med fôrrasjoner med et høyt innhold av linolsyre, ble ikke melkeytelsen påvirket, men reduserte totalt fettproduksjon. Fettinnholdet ble også redusert når det ble gitt tilskudd av fiskeolje. Alle fôringsstrategiene som ble studert økte innholdet, og totalt utbytte av CLA, med unntak av når det ble gitt fiskeolje (Siurana & Calsamiglia, 2016). Andre studier har rapportert at fôrrasjoner med et høyt innhold av linolsyre er mer effektivt for å øke innholdet av CLA, enn rasjoner med et høyt innhold av oljesyre og linolensyre (Kelly et al., 1998).

Tilskudd av CLA reduserer syntesen av melkefett. t10c12 CLA er den isomeren som hemmer melkefettsyntesen hos melkekuer (Baumgard et al., 2001; Nielsen et al., 2005). Det ble sett på hvordan ulike doseringer av t10c12 CLA virker inn på produksjonen av melkefett og fettsyresammensetningen i melk. Fôropptaket og melkeytelse ble ikke påvirket av CLA tilskuddet. Fettsyresammensetningen viste at *de novo* syntetiserte fettsyrer ble redusert når kuer fikk den høyeste dosen av t10c12 CLA. Forandringer i fettsyresammensetningen skyldes at delta-9-desaturasen ble hemmet av de to høyeste dosene av t10c12 CLA, men ble ikke påvirket av laveste dose (Baumgard et al., 2001).

5.6 Effekt av mobilisering av kroppsfett på fettsyresammensetning i melk

Fettsyrer blir lagret som triglyserider i fettvev i hovedsak som palmitinsyre, stearinsyre og oljesyre (Chilliard et al., 2000). Fettsyresammensetning i fettvevet er imidlertid påvirket av føringen. Kuer i negativ energibalanse mobiliserer fettreservene, som øker innholdet av langkjedede fettsyrer i blod og melk. Kuer i negativ energibalanse vil redusere *de novo* syntesen for å spare energi (Chilliard et al., 2000; Martin et al., 2015).

I starten av laktasjonen vil ei ku ofte være i negativ energibalanse, noe som forårsaker mobilisering av palmitinsyre, oljesyre og stearinsyre, og disse inkorporeres i melkefettet. Disse fettsyrene kan utgjøre 5-20 % av fettsyrene i melka, avhengig av næringsstatus tidlig i laktasjonen (Schei & Volden, 2013). Et høyt opptak av langkjedede fettsyrer hemmer *de novo* syntesen av kortkjedede fettsyrer i juret (Palmquist et al., 1993). I tidlig laktasjon er andelen kortkjedede fettsyrer lav, med unntak av smørsyre. Andelen kortkjedede fettsyrer øker så frem til åtte uker ut i laktasjonen (Palmquist et al., 1993). Mobilisering av kroppsfett øker C18:0 og C18:1c9 i melkefett på bekostning av C10:0 til C16:0 fettsyrer, uten å redusere C4:0 til C8:0 fettsyrene betydelig (Chilliard et al., 2000).

5.7 Genetisk variasjon og innvirkning på fettsyresammensetning i melk

Selv om oppgaven har hovedfokus på føring er det interessant å diskutere genetisk variasjon og innvirkning på fettsyresammensetningen i melk.

Forsøk har vist at genetisk variasjon har betydelig innvirkning på samtlige fettsyrer i melk, hvor C4:0 til C16:0 hadde høyeste arvegrad innad i besetningen (Stoop et al., 2008). Det er høy, genetisk korrelasjon innenfor gruppene av korte- og lange fettsyrer, noe som passer med opprinnelsen til fettsyrene og de biologiske synteseprosessene. Det er derfor mulig å endre fettsyresammensetning i melk gjennom avl, men seleksjon for fett kan føre til en økt andel av C16:0 og en reduksjon i C18 fettsyrer, på grunn av høy genetisk korrelasjon (Stoop et al., 2008). De genetiske korrelasjonene indikerer at ulike fettsyrer reagerer forskjellig på seleksjon. Seleksjon hadde liten effekt på C6:0 til C12:0 fettsyrene, men førte til en økning av C14:0 til C16:0 og reduksjon i C18 fettsyrene. Det kan være mange årsaker til variasjoner i fettsyresammensetningen av melka mellom besetninger, som forskjellig føring, i tillegg til andre management faktorer som kan ha betydning. Langkjedede fettsyrer stammer i hovedsak fra føret, og forskjeller i fôrrasjoner vil ha større innvirkning på langkjedede fettsyrer, enn

korte fettsyrer som blir syntetisert gjennom *de novo* syntesen, noe som delvis kan forklare forskjellene (Stoop et al., 2008).

I et forsøk gjennomført i Danmark hadde kuer av rasen Jersey et signifikant lavere CLA innhold i melka enn kuer av rasen sort dansk melkefe (SDM) og rødt danske melkefe (RDM) (Refsgaard Andersen et al., 2003). Forklaringen på dette kan være genetisk betinget, og skyldes ulik evne til å syntetisere CLA fra vaccensyre. Hos Jersey syntetiseres en større andel av melkefettet i juret og andelen av fettsyrer fra fôret utgjør en mindre del av det totale fettinnholdet i melka (Nielsen et al., 2005).

6 Bruk av fetttilsetninger for å påvirke forsyningen av substrater til fettsyntesen

Fett kan tilsettes fôrrasjonen i flere former, og i kapitlene under er resultater fra forsøk hvor fett er tilsatt i naturlig form, som oljer og kalsiumsåper diskutert.

Tilskudd av fett har flere fordeler. Fett vil gi økt energiinnhold i fôrrasjonen siden fett inneholder tre ganger mer nettoenergi enn protein- og karbohydrater (Schroeder et al., 2004). Forbedret energieffektivitet på grunn av redusert tap av energi gjennom varme, metan og urin kan forventes (Jenkins, 1993), i tillegg til at fettsyrene blir inkorporert direkte inn i melka i juret. Det vil også være redusert risiko for lav fettprosent i melka ved høye kraftfôrmengder når det benyttes tilskudd av fett i fôrrasjonen og redusert risiko for vomacidose. Vomacidose kan forekomme på grunn av stor andel lettfordøyelige karbohydrater i rasjonen, som fører til sur vom og reduksjon i fettprosent i melka (Palmquist, 1988). Det å maksimisere energiinntaket til kua ved å øke energikonsentrasjonen av fôret er en optimal strategi for kuer i starten av laktasjonen, som ofte er i negativ energibalanse (Grummer, 1988). Overdreven bruk av kraftfôr vil øke energikonsentrasjonen, men forårsaker ofte uønsket fermentering i vom, og kan medføre melkefettdepresjon. Fetttilskudd øker energiinnholdet i fôrrasjonen, men en reduksjon i fordøyelsen av NDF og melkefettprosenten kan forekomme. Dette avhenger av mengde og type fett som tilføres fôret (Grummer, 1988). Ved økt tilsetting av fett i fôrrasjonen kan tørrstoffopptaket gå noe ned, men energiopptaket øker likevel. Størst økning i energiopptaket ved økt fetttilskudd sees i begynnelsen av laktasjonen, når kuene ofte er i energiunderskudd (Børsting & Weisbjerg, 2004).

Forsøk har vist at ekstra tildeling av fetttilskudd har størst effekt på energiopptaket ved lavt energiinnhold i grovfôret. Årsaken til dette er at kuer som fôres med et fôr med høy energikonsentrasjon har delvis metabolsk regulering av fôropptaket, mens hos kuer som fôres med fôr av lav energikonsentrasjon er fôropptaket fysisk regulert. Lav energikonsentrasjon, og dermed høy strukturverdi i rasjonen vil fremme hydrogeneringen av umettede fettsyrer og på den måte redusere den negative effekten umettede fettsyrer kan ha på omsetningen i vom (Børsting & Weisbjerg, 2004). I tillegg til å virke inn på fordøyelse av NDF, har fetttilskudd innvirkning på fôropptaket, melkeproduksjonen, fettinnholdet i melk og fettsyresammensetningen i melka.

Fordøyelse av NDF er ofte det som setter begrensningene for hvor mye fetttilskudd som kan tilføres i fôrrasjon, da for store mengder fett virker hemmende på mikrobeaktiviteten, spesielt på de cellulolytiske bakteriene som står for nedbrytingen av NDF (Palmquist et al., 1993). Ved økt fettinnhold i fôrrasjonen, sees ofte et fall i tørrstoffopptaket (Børsting et al., 2003), men effekten på fôropptaket beror på hvilke type fett som blir brukt. Gjennom flere ulike forsøk har det kommet frem at mettet fett ikke reduserer tørrstoffopptaket. Dette kan sees i sammenheng med at mettet fett ikke reduserer NDF fordøyeligheten i vom (Børsting et al., 2003). Fôrrasjoner med en høy andel umettede fettsyrer er klassisk for fôrrasjoner som fører til melkefettdepresjon, og fører til redusert produksjon av melkefett og fettkonsentrasjon (Bauman & Griinari, 2001). De negative effektene økte ved grad av oppløselighet, og var høyest for mellomlange og langkjedede fettsyrer og umettede fettsyrer (Jenkins, 1993).

Mengde og type fett i fôrrasjonen kan påvirke biohydrogeneringen av lipider i vom. For eksempel har marine oljer et høyt innhold av EPA og DHA, mens soyabønner, solsikkefrø, canola og linfrø består i hovedsak av C18 enumettede- og polyumettede fettsyrer. Disse fettsyrene hydrogenes i vom og påvirker syntesen av mellomprodukter fra hydrogeneringen, som konjugerte- og trans isomerer (Buccioni et al., 2012). Fetttilskudd i form av oljefrø, planteoljer og marine oljer til lakterende kuer kan bidra til å erstatte mettet fett i melkefettet med enumettede- og flerumettede fettsyrer. En reduksjon av mettede fettsyrer, vil samtidig medføre en økning i transfettsyrer og konjugerte isomerer. Potensialet til å redusere mettede fettsyrer og øke innholdet av enumettede- og flerumettede fettsyrer i melk varierer. Faktorer som oljekilde, formen på fetttilskuddet, hvordan oljefrøene er behandlet og innflytelse på andre komponenter i fôrrasjonen vil virke inn på fettsyresammensetningen i melk (Kliem & Shingfield, 2016). Potensialet til å erstatte mettede fettsyrer med cis-enumettede fettsyrer i melka er mye større enn for cis-polyumettede fettsyrer. Dette skyldes en mer omfattende biohydrogenering i vom av PUFA, enn cis-enumettede fettsyrer og endogen syntese av cis-9 enumettede fettsyrer av delta-9-desaturase i juret (Chilliard et al., 2007).

Harvatine og Allen (2006) gjennomførte et forsøk på lakterende kuer for å bestemme mengden fettsyrer som biohydrogeneres ved ulike fetttilskudd med forskjellig grad av mettetthet. Forsøkene viste redusert passasje av C16:0, C18:0 og C18 fettsyrer, når andelen umettede fettsyrer økte. Økt andel umettet fett økte omfanget av C18:2 og C18:3 biohydrogenering, og reduserte C18:1c9 og trans C18:1 biohydrogeneringen (Harvatine & Allen, 2006).

Hvordan melkeproduksjonen responderer på økt fettildeling henger sammen med flere faktorer som kuas energibalanse, laktasjonsstadium, fôrrasjonens sammensetning, fettets fettsyresammensetning og totalt tørrstoffopptak (Børsting et al., 2003). Desto høyere tildeling av förfett (g/kg TS), desto lavere konsentrasjon av kortkjedede fettsyrer, samt fettsyrer med 12, 14 og 16 karbonatomer. Jo større andel förfett i rasjonen, jo høyere er innholdet av stearinsyre og oljesyre i melkefettet. Mengden polyumettede fettsyrer ble ikke påvirket. Fôring med fôrmidler med et høyt innhold av C12:0 og C14:0 økte innholdet av disse mettede fettsyrene i melkefettet (Hermansen et al., 2003).

6.1 Fett i naturlig form

Ubeskyttet fett vil bli eksponert for hydrolyse og hydrogenering i vom. Ved å tilføre fett som hele oljefrø vil fettene være naturlig beskyttet på grunn av celleveggstrukturen i frøet (Chilliard et al., 2000), og olje fra hele frø vil være mindre utsatt for biohydrogenering i vom, sammenlignet med fett tilført som oljer. Dette resulterer i større mengder umettet fett som forlater vom (Hoffmann et al., 2016). I oljefrø foreligger energireservene som triglyserider, og frøene har et høyt fettinnhold på rundt 20 til 42 %, hvor C18:2 dominerer (Schroeder et al., 2004). Det å bruke store mengder havre og ryps-/rapsfrø vil være gunstig for fettsyresammensetningen i melka, men det vil samtidig sette begrensninger i bruken av kraftfôret (Harstad, 2007).

Chilliard et al. (2009) studerte effekten av tre ulike fysiske former av linfrø på melkefett og fettsyresammensetning. Melkeytelsen og fettinnholdet var likt for kuene fôret med linfrøolje og ekstrudert linfrø, men lavere enn kuene som hadde fått hele linfrø. Hele linfrø resulterte i reduksjon i C8:0 til C16:0 og ga en økning av stearinsyre og oljesyre. Linfrøolje endret konsentrasjonen av nesten samtlige fettsyrer som ble målt, hvor hovedeffekten var reduksjon av fettsyrene C4:0 til C16:0, og en økning av C18:0, C16:1t11, alle cis og trans C18:1 fettsyrene, med unntak av vaccensyre og ikke konjugerte C18:2 trans isomerer, sammenlignet med kontrollgruppen (Chilliard et al., 2009).

Meignan et al. (2017) studerte hvordan ekstruderte linfrø virker inn på produksjon og fettsyresammensetning i melk. Andelen melkefett ble redusert når ekstruderte linfrø ble benyttet som fetttilskudd i fôrrasjoner med høy andel maissurfôr. Melkefettet ble ikke redusert i fôrrasjon med alfaalfa høy. C18:1t10 økte når ekstrudert linfrø ble brukt i maisbasert fôrrasjon.

Årsaken til dette skyldes trolig biohydrogenering, fra C18:1t11 til C18:1t10 når det ble tilført ekstrudert linfrø. *De novo* syntetiserte fettsyrer, palmitinsyre og summen av umettede fettsyrer ble redusert lineært ved økning av ekstrudert linfrøolje. Oljesyre, vaccensyre, CLA, linolensyre og noen enumettede- og polyumettede fettsyrer økte lineært, når andelen ekstruderte linfrø økte (Meignan et al., 2017). Den ernæringsmessige kvaliteten på melka økte altså når det ble tilført ekstrudert linfrø.

Loor et al. (2005) studerte effekten av tilskudd av linfrøolje ved ulike kraftfôrnivåer. Fôrrasjonen besto av 35:65 eller 65:35 kraftfôr: grovfôrforhold. Produksjonen av melkefett ble redusert ved høy kraftfôrmengde, men var mye lavere med kombinasjon av linfrøolje og høy kraftfôrmengde. Utbytte av C4:0, C6:0, forgreinede fettsyrer, C18:0 og C18:1c9 i melkefettet var drastisk redusert når linfrøolje ble gitt i kombinasjon med høy kraftfôrmengde. Ulike transfettsyrer og isomerer, blant annet isomerer av C18:3 økte. Andelen oljesyre i melka økte når det ble gitt lite kraftfôr og linfrøolje, sammenlignet med høy kraftfôrmengde og mye linfrøolje, noe som antageligvis skyldes større tilførsel av C18:0 til tolvfingertarmen og mer desaturering i juret (Loor et al., 2005).

Barletta et al. (2016) studerte biohydrogeneringen i vom og passasjen av fettsyrer til løpen hos lakterende kuer som ble fôret med ulike fettkilder. Tilskudd av soyaolje, hele soyabønner og kalsiumsalter av umettede fettsyrer ble evaluert. Tilskudd av fett reduserte tørrstoffopptaket, men økte inntaket og passasje av fettsyrer til løpen, sammenlignet med kontrollgruppen. Beskyttede fettkilder (kalsiumsalter og hele soyabønner) hadde høyere passasje til løpen av linolsyre og lavere biohydrogenering i vom, sammenlignet med kuene som fikk soyaolje. Tilskudd av fett økte gjennomstrømningen av alle fettsyrene som ble studert i forsøket, med unntak av oljesyre og linolensyre. Beskyttet fett reduserte passasjen av C18:1c9 som er et produkt av C18:2 biohydrogenering. Forsøket konkluderte med at naturlig beskyttelse av oljefrø er mer effektivt enn beskyttede fettsyrer mot biohydrogenering, da den kjemiske barrieren beskytter bedre enn kalsiumsalter (Barletta et al., 2016).

de Souza et al. (2018) studerte hvilken betydning det ville ha å endre forholdet mellom palmitin-, stearin- og oljesyre på fordøyelighet og produksjonsrespons. Det ble gitt tilskudd av soyaskall og hele bomullsfrø, i tillegg til en basal fôrrasjon uten fetttilskudd. Kraftfôr: grovfôr forhold eller annen informasjon om fôringsregime under forsøksperioden var ikke oppgitt. Fôrrasjon med hele bomullsfrø økte produksjonen av melkefett på grunn av inkorporering av gunstige fettsyrer og *de novo* syntetiserte fettsyrer.

Dette var som forventet på grunn av økt opptak av langkjedede fettsyrer i fôrrasjonene hvor hele bomullsfrø ble gitt. Tilskudd av palmitinsyre og oljesyre reduserte andelen melkefett og reduserte utbytte av *de novo* syntetiserte fettsyrer, mens innholdet av C18:1t10 økte. Dette indikerer at tilskudd av palmitinsyre og oljesyre forårsaket en mild melkefettdepresjon (de Souza et al., 2018).

Hoffmann et al. (2016) studerte effekten av raps som fetttilskudd, hvor fettet ble tilført som knuste rapsfrø eller rapsolje. Tilførsel av begge fetttilskuddene økte tørrstoffopptaket og melkeytelsen (EKM). Innholdet av kortkjedede og mettede fettsyrer i melkefettet ble redusert, og innholdet av langkjedede og umettede fettsyrer økte, når det ble brukt rapsfrø som fettkilde. Resultatene bekreftet en reduksjon i *de novo* syntesen og økt overføringsgrad av fôrfett ved supplement av langkjedede og umettede fettsyrer. Lavere andel mettet fett i melka fra kuene fôret med knuste rapsfrø, sammenlignet med rapsolje indikerer en delvis beskyttelse av knuste rapsfrø mot hydrogenering i vom (Hoffmann et al., 2016). Forsøk TINE har gjort i samarbeid med NMBU viser at innblanding av rapsolje og rapsfrø i kraftfôret kan gi signifikant høyere andel olje-, linol- og linolensyre, på bekostning av palmitinsyre og stearinsyre i melk (Næringslivsgruppen på matområdet, 2015). En økt andel rapsfett i fôret vil føre til dyrere kraftfôr og skal dette være basert på norske fôrressurser må dagens jordbruksareal som benyttes til olje- og proteinvekster økes, forutsett at det er samme antall kuer og kraftfôrmengder (Næringslivsgruppen på matområdet, 2015).

Storlien et al. (2014) studerte effekten av å gi knuste rapsfrø på reduksjon i metanutslipp hos melkekuer på beite, hvor det samtidig ble sett på innvirkning på fettinnholdet og fettsyresammensetning i melka. Melkeytelsen hos kuene som fikk tilskudd av knuste rapsfrø var høyere enn kontrollgruppen. Derimot var fett- og proteininnholdet lavere.

Tørrstoffopptaket totalt og på beite var likt for begge gruppene, men inntak av fetttilskudd var noe høyere hos kuene som fikk knuste rapsfrø. Tilskudd av knuste rapsfrø ga forbedret melke kvalitet, da melka hadde et lavere innhold av C16:0, og økt innhold av C20:0, sammenlignet med kontrollgruppen. Forsøket viste også numeriske forskjeller mellom C18:1t11, med høyest innhold i melk fra kuene som fikk knuste rapsfrø (Storlien et al., 2014).

Murphy et al. (1995) studerte effekten av å gi soyabønner og rapsfrø til kuer på beite. Soyabønner reduserte innholdet av C6:0 til C14:0 fettsyrer og økte innholdet av C18:0, C18:1c9, C18:2 og C18:3 (Murphy et al., 1995).

Bruk av palmefett økte innholdet av C16:0 i melka og fôring med rapskaker økte innholdet av C18:0 i melka (Hermansen et al., 2003). Ved tilskudd av rapsfett vil det skje en reduksjon i de mettede, mellomlange fettsyrene, til fordel for et høyere innhold av oljesyre. Ut fra forsøkene så det ut til at sammenhengen for C12:0, C14:0, C16:0 og C18:1c9 går på tvers av raser, grunnrasjon og ytelsesnivå, mens innholdet av de kortkjedede fettsyrene <C12:0, C18:0, C18:2 og C18:3 er mer avhengig av fôringsforhold (Hermansen et al., 2003).

Boerman og Lock (2014) undersøkte om økt andel umettet fett i fôrrasjonen tilført som triglyserider eller frie fettsyrer påvirket fôropptaket, melkeytelse, melkesammensetning og fôreffektivitet. Umettet fetttilskudd gitt som frie fettsyrer eller triglyserider i soyabønner reduserte tørrstoffopptaket, økte melkeytelsen, men hadde ingen effekt på melkefettet. Det ble observert en økning i konsentrasjonen av C18:1t10, og en tendens til økning av C18:2t10c12 og C18:2t9c11 i melka fra kuene som fikk umettet fetttilskudd, sammenlignet med kontrollgruppen (Boerman & Lock, 2014).

6.2 Fett tilført som oljer

Kairenius et al. (2015) undersøkte potensialet til fiskeolje for å øke innholdet av 20:5n-3 (EPA) og 22:6n-3 (DHA) konsentrasjonen i melkefettet. Tilskudd av fiskeolje til grassurfôr baserte fôrrasjoner ga lavere tørrstoffopptak, melkeytelse og fettinnhold i melka. Fiskeolje økte konsentrasjonen av EPA, DHA, total CLA, transfettsyrer og polyumettede fettsyrer, men reduserte fettsyrer med 4 til 18 karbonatomer. Reduksjon i melkefettsyntesen var ikke assosiert med høyere inkorporering av t10c12 CLA i melkefettet eller endring i estimert melkefettets smeltepunkt. Årsaken henger trolig sammen med lavere tilgang på C18:0 sammen med et høyere opptak av C18:1c11 og C18:0t10. Mellomprodukter med 20 til 22 karbonatomer i juret som stammer fra vom, kan direkte eller indirekte bidra til at tilsetning av fiskeolje fører til melkefettdepresjon. Økende mengder fiskeolje har økt innholdet av 20:5n-3 og 22:6n-3 i melk i en rekke forsøk, men det trengs mer forskning på området (Kairenius et al., 2015).

Kargar et al. (2017) studerte hvilken effekt kornslag og tilskudd av olje hadde på fettsyresammensetningen i melk fra Holstein kuer. Fôrrasjonen bestod 19 % (TS) maissurfôr og 21 % (TS) alfaalfa høy supplert med enten bygg eller mais som grunnkraftfôr. Disse rasjonene ble supplert med 2 % fiskeolje eller soyaolje på tørrstoffbasis. Tørrstoffopptaket viste tendenser til å være høyere ved bygg som grunnrasjon, sammenlignet med mais, men ble redusert ved tilskudd av fiskeolje, sammenlignet med soyaolje.

Uavhengig av hvilken fôrrasjon dyrene fikk oppsto melkefettdepresjon. Produksjonen av melkefett ble ikke påvirket, men fôrrasjonen med bygg økte innholdet av C16:0 og C16:1c9, og reduserte innholdet av de foretrukne fettsyrene, sammenlignet med fôrrasjonen med mais. Den maisbaserte fôrrasjonen økte konsentrasjonen av C18:1t11 og C18:2c9t11 CLA, som et resultat av et høyere inntak av C18:2c12,c9 som substrat for biohydrogenering i vom. Graden av melkefettdepresjon var større for gruppen som fikk fiskeolje enn soyaolje. Melkefettdepresjon ble påvist på bakgrunn av økt konsentrasjon og utbytte av mellomprodukter fra biohydrogeneringen, spesielt C18:1t10 som er assosiert med melkefettdepresjon. Økt konsentrasjon av propionsyre i vom når det ble fôret med bygg-basert fôrrasjon økte konsentrasjonen av C16:0 og C16:1c9 fettsyrer. Fiskeolje ga lavere fettproduksjon enn tilskudd av soya, noe som var forventet, men økte konsentrasjonen av vaccensyre og CLA, sammenlignet med soyaolje (Kargar et al., 2017).

Tabell 16: Sammendrag av resultater fra ulike forsøk som har studert effekten av å tilsette fett i naturlig form eller som olje, og innvirkning på fettsyresammensetning i melk.

	Forsøk	TFA	Sum metta	Sum umetta	C16:0	C18:0	C18:1c9	C18:2 n-6	C18:3 n-3
Hele linfrø	1	io	--	+	--	+	+	--	--
Linfrøolje	2	io	--	+	--	+	+	+	--
Ekstruderte linfrø	3	io	--	+	--	+	+	+	+
Ekstruderte linfrø	4	io	--	+	--	+	+	+	+
Knuste rapsfrø	5	io	--	++	--	++	++	--	++
Rapsolje	6	io	--	++	--	++	++	--	--
Fiskeolje	7	io	--	+	--	--	+	io	+

io = ikke oppgitt

+ positivt påvirket ++ signifikant -- negativt påvirket

1, 2 og 3: Chilliard et al. (2009)

4: Meignan et al. (2017)

5 og 6: Hoffmann et al. (2016)

7: Kairenius et al. (2015)

6.3 Fett tilført som kalsiumsåper / kalsiumsalter

Formålet med beskyttet fett er at fettene passerer vomma uten å bli endret av vommikrobene, for så å bli absorbert i tynntarmen. Gjennom bruk av beskyttet fett kan man endre fettsyresammensetningen i fettvev og i melk, spesielt innholdet av omega-3 fettsyrer. Foretrukne fettsyrer kan bli inkorporert direkte inn i melkefettet, og dermed også redusere energiforbruket til syntese av fettsyrer som blir inkorporert i melk. Energi blir spart til andre prosesser i juret (Schauff & Clark, 1992). Fettet kan beskyttes gjennom innkapsling med protein, tilføres som kalsiumsåper/salter eller gjennom herding av fettsyrer (Ahlstrøm & Skrede, 2017). En av de mest brukte kildene av vombeskyttet fett er kalsiumsalter, hvor fettsyresammensetningen av det absorberte fettene vil være det samme som i produktet. Ved bruk av denne metoden kan en påvirke sammensetningen av melkefettet i stor grad, men ulempen er oksidasjon av fettene i melka. Melk med høy andel umettet fett er mer utsatt for oksidasjon, og det må tilsettes antioksidanter umiddelbart for å hindre dette (Harstad et al., 2000). Det er mindre sannsynlig at mettede fettsyrer endrer fermenteringen i vom, sammenlignet med umettede fettsyrer, siden mettede fettsyrer er mindre løselig og derfor virker mindre hemmende på bakterieveksten. Mettede fettsyrer reagerer også lettere med metallioner for å danne uoppløselige salter av fettsyrer (Jenkins & Palmquist, 1982). Mettede og umettede, langkjedede fettsyrer har mindre effekt på fermenteringen i vom når de blir tilført som kalsiumsalter, enn når de blir tilført som frie fettsyrer (Grummer, 1988). Ved å føre med kalsiumsalter endres ikke fermenteringen i vom på grunn av deres uoppløselighet ved å sørge for at pH i vom holdes over 6,0 (Palmquist et al., 1986). Kalsiumsalter av langkjedede fettsyrer er uoppløselige ved normal pH i vomma og blir derfor ikke fermentert. I løpen blir kalsiumsaltene til frie fettsyrer og kalsiumioner, og videre blir de frie fettsyrene absorbert i tynntarmen (Schneider et al., 1988).

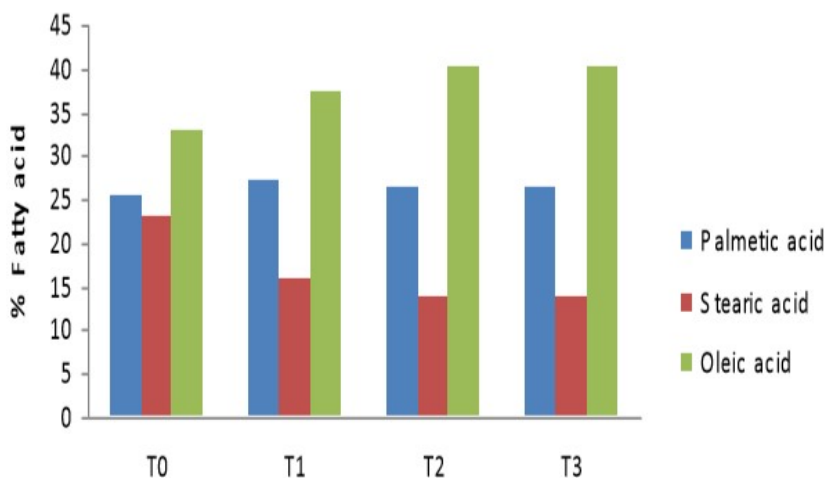
Av beskyttede fettsyrer er det kalsiumsalter av palmeolje som er mest brukt, men interessen for å benytte kalsiumsalter av rapsolje har økt de siste årene. En rekke forsøk har vist at kalsiumsåper av fettsyrer, uavhengig av opprinnelse, har moderat innvirkning på vom (Kowalski et al., 1999). Imidlertid kan det under spesielle forhold, hovedsakelig ved lav pH i vom, forekomme dissosiasjon av kalsiumsåper etterfulgt av biohydrogenering av langkjedede, umettede fettsyrer. Evnen kalsiumsåper har til å motstå dissosiasjon og biohydrogenering avhenger altså av hvilke fettsyrer som blir brukt (Kowalski et al., 1999).

de Souza og Lock (2018) studerte effekten av tilskudd av triglyserider av palmitinsyre og kalsiumsalter av palmeolje på produksjonsrespons hos kuer i midtlaktasjonen. Grunnrasjonen bestod av maissurfôr og alfaalfa surfôr, og tre ulike grupper; kontrollgruppe uten fetttilskudd, 1,5 % fettsyrer tilført som triglyserider av palmitinsyre og 1,5 % fettsyrer tilført som kalsiumsalter av palmeolje (på tørrstoffbasis). Fetttilskudd påvirket ikke tørrstoffopptaket, sammenlignet med kontrollgruppen, men gruppen som fikk kalsiumsalter av palmeolje hadde numerisk lavere tørrstoffopptak sammenlignet med palmitinsyre. Begge fetttilskuddene økte fordøyelsen av NDF sammenlignet med kontrollgruppen, hvor triglyserider av palmitinsyre viste en større økning enn kalsiumsalter. Årsaken til økningen i NDF fordøyelighet ved tilsetning av C16:0 kan være forbundet med en økning i oppholdstid i vom som følge av en økning iolecystokinin sekresjonen, som styrer metthetsfølelsen til kua. Supplering av fetttilskudd økte melkeytelsen, og triglyserider av palmitinsyre økte fettinnholdet sammenlignet med kalsiumsalter, spesielt C16:0. Begge fetttilskuddene økte andelen av C18 fettsyrer, spesielt C18:1c9, C18:2c12, C18:2t11c9 og C18:3c9,12,15. Supplement av fett reduserte andelen *de novo* syntetiserte fettsyrer (23 g/dag). Resultatene viste at kalsiumsalter av palmeolje har høyere fettsyrefordøyelighet enn triglyserider av palmitinsyre (de Souza & Lock, 2018). Rico et al. (2014) sammenlignet også palmitinsyre og kalsiumsalter av palmefett. Supplement av palmitinsyre økte melkeytelsen og melkekomponenter sammenlignet med palmeolje. Økning i melkefettutbytte ved bruk av palmitinsyre er forklart av økt *de novo* syntese og økning av C16 fettsyrer (Rico et al., 2014). Kalsiumsalter av palmeolje økte innholdet av C16:0 i melkefettet, og det er to mulige forklaringer til dette. Palmeolje har et høyt innhold av C16:0 (>40 %) som trolig blir inkorporert direkte inn i melkefettet, og C16:0 vil stimulere til syntese og inkorporering av C16:0 inn i triglyserider i juret (Chouinard et al., 1998).

Dahl (2015) gjennomførte et forsøk med kalsiumforsåpet rapsolje og prosessert palmeolje. Resultatene viste at fetttilsetningene ikke påvirket grovfôr- og kraftfôropptaket hos kuene. Ytelsen var lik for begge gruppene, men kilo energikorrigert melk (EKM) var høyere ved tilsetning av palmeolje, på grunn av vesentlig høyere fettprosent. Fettsyresammensetningen endret seg, og ved fôring med palmeolje var andelen palmitinsyre i melk vesentlig høyere enn ved bruk av rapsolje. Andelen C16:1 økte også ved bruk av palmeolje, noe som trolig henger sammen med økt tilgjengelighet av C16:0 for desaturering i juret. Tilsetning av rapsolje i kraftfôret økte andelen C18:1c9, og resulterte i mer umettet fett i melka, lavere omega-6:omega-3 forhold og høyere andel CLA (Dahl, 2015).

Det var liten effekt på innholdet av kortkjedede fettsyrer i melka, noe som var forventet siden en økt mengde C18 fettsyrer virker hemmende på *de novo* syntesen (Palmquist et al., 1986).

Sarker et al. (2016) studerte effekten av kalsiumsalter av fettsyrer på fettsyresammensetningen i melk. Artikkelen informerer ikke om sammensetningen av kalsiumsaltene, eller hvilke fettsyrer som dominerte. Kuene ble føret med ferskt gras og kraftfôr, og kuene ble delt inn i fire grupper; en kontrollgruppe og tre grupper som ble gitt ulike mengder kalsiumsalter (2, 2,5 og 3 % på tørrstoffbasis). Tilskudd av kalsiumsalter av fettsyrer økte andelen umettede fettsyrer, spesielt olje-, linol- og linolensyre, og reduserte andelen mettet fett i melk. Det høyeste funnet av C16:0 var i gruppen som fikk 2 % kalsiumsalter (figur 7) og lavest i kontrollgruppen hvor det ikke var tilsatt kalsiumsalter. Det ble funnet høyest innhold av stearinsyre melka i kontrollgruppen, og lavest i gruppen som fikk 3 % kalsiumsalter. Høyest innhold av oljesyre i melk ble funnet i de som fikk 3 %, og lavest i gruppen med 2 % kalsiumsalter. Ut fra resultatene i forsøket ble det konkludert med at tilskudd av 2,5 % kalsiumsalter er anbefalt for å øke andelen umettet fett i kumelk (Sarker et al., 2016). Resultatene fra dette forsøket underbygger funnene som ble gjort av Sultana et al. (2008). Sultana et al. (2008) undersøkte effekten av kalsiumsalter av fettsyrer av soyabønner og linoljefettsyrer på innholdet av CLA_{c9t11} i melkefettet fra Holstein kuer. Kuene ble delt inn to grupper hvor grovfôr: kraftfôrforholdet var 52:48 i begge gruppene. En gruppe fikk 1 % kalsiumsalter av soyabønnefettsyrer og den andre fikk 1 % kalsiumsalter av linoljefettsyrer, i tillegg til en kontrollgruppe. Sultana et al. (2008) rapporterte om at tilskudd av kalsiumsalter av linolje signifikant reduserte andelen av C16:0. De fant også en signifikant økning av de langkjedede fettsyrene C18:0, C18:1c9, C18:2, C18:1t11 og CLA ved bruk av linolje. Det var ikke signifikant forskjell i tørrstoffopptaket mellom kontrollgruppen og gruppene som fikk kalsiumsalter av linolje og soyabønner. Melkefettprosenten var uforandret for begge behandlingene, og hovedandelen av de korte- og mellomlange fettsyrene i melkefettet var uforandret eller viste tendenser til å bli redusert for begge behandlingene, med unntak av smørsyre. Reduksjon av korte og mellomlange fettsyrer indikerer en lavere *de novo* syntese på grunn av høyere opptak av langkjedede fettsyrer fra plasma triglyserider, som virker hemmende på acetylCoA carboksylyase, som er et hastighetsavgrensende enzym i *de novo* syntesen i juret (Sultana et al., 2008).



Figur 7: Effekt av tilskudd av kalsiumsalter på fettsyresammensetning i melk. T₀ = ingen kalsiumsalter, T₁ = 2,0 % kalsiumsalter, T₂ = 2,5 % kalsiumsalter, T₃ = 3,0 % kalsiumsalter (Sarker et al., 2016).

Ulike studier har vist at tilsetning av kalsiumsalter av CLA reduserer melkefettprosenten og melkeytelsen hos kuer (Giesy et al., 2002). Kalsiumsalter av CLA kan være en effektiv metode for å øke tilførselen av CLA til tarmen ved å redusere omfanget av biohydrogenering. Infusjon av 50 gram CLA per dag i løpen økte innholdet av alle CLA isomerene i melkefettet, men reduserte melkefettprosenten (Chouinard et al., 1999). Baumgard et al. (2000) slo fast at melkefettsyntesen ble hemmet av trans10, cis12 CLA, men ikke av cis9, trans11 CLA. Begge disse CLA isomerene er innblandet i preparatet CLA-60 som ofte er blitt brukt som supplement til kuer under ulike forsøk. Ved tilskudd av 50 gram CLA per dag økte CLA konsentrasjonen i melk med 61,5 %. Samme studiet viste at melkefettprosenten var hele 34 % lavere hos kuer som ble føret med kalsiumsalter, sammenlignet med kontrollgruppen (Baumgard et al., 2000). Disse forsøkene viser en melkefettdepresjon når det blir tilsatt 50 gram CLA daglig. Giesy et al. (2002) gjennomførte et forsøk for å finne ut hvor store mengder kalsiumsalter av CLA som er nødvendig for å oppnå maksimal depresjon av melkefettprosenten for å bestemme effekten av CLA dose på fettsyresammensetningen. Det ble testet fem ulike nivåer av kalsiumsalter av CLA, og maksimal fettdepresjon ble oppnådd når det ble gitt 100 gram CLA-60 per dag. Tilskudd av CLA-60 reduserte *de novo* syntesen av C8:0, C10:0 og C12:0, mens cis9, trans11 CLA og trans10, cis12 CLA i melkefettet økte. Tilskudd av kalsiumsalter av CLA reduserte utbyttet av alle andre fettsyrer (Giesy et al., 2002).

Chouinard et al. (1998) undersøkte effekten av kalsiumsalter med ulik grad av umettethet på melkeytelse, melkesammensetning og fettsyresammensetning på Holsteinkuer i tidlig laktasjon. Dette ble gjort ved å føre kalsiumsalter av rapsolje, soyaolje og linolje, i tillegg til en kontrollgruppe som fikk kun total mixed ration (TMR), uten tilsatt kalsiumsalter. Rapsolje, soyaolje og linolje ble valgt fordi deres dominerende fettsyrer er henholdsvis C18:1c9 for rapsolje, C18:2 for soyaolje og C18:3 for linolje. Melkeytelsen økte lineært med økt grad umettethet av de dominerende fettsyrene i kalsiumsaltene. Melkefettprosenten ble redusert når kalsiumsalter ble tilført fôrrasjonen. Tilsetning av kalsiumsalter reduserte innholdet av mettede fettsyrer fra C6:0 til C16, og økte innholdet av C18:0, C18:1c9 og C18:1t11. Proporsjonene av C18:2 og C18:3 økte lineært, mens C18:1c9 ble redusert lineært. Den høye mengden av C18:1t11 som ble observert skyldes trolig at frie umettede fettsyrer kun blir delvis hydrogenert i vom. Det lave innholdet av C6:0 til C16:0 fettsyrer når det ble tilsatt kalsiumsalter skyldes reduksjon i *de novo* syntesen, som trolig skyldes det høye innholdet av C18:1t11 og C18:1c1, da disse hemmer syntesen av fettsyrer i juret (Chouinard et al., 1998). Tørrstoffopptaket ble ikke påvirket av kalsiumsalter. Fordøyelsen av NDF var høyere i gruppene med kalsiumsalter enn kontrollgruppen. De polyumettede fettsyrene som ble tilført fôret som kalsiumsalter var tilsynelatende ikke tilstrekkelig beskyttet mot biohydrogenering i vom, noe som førte til kun en liten økning av disse fettsyrene i juret (Chouinard et al., 1998).

Leduc et al. (2017) studerte effekten av ulik partikkelstørrelse på kalsiumsalter og hvor lang oppholdstid de hadde i vom, kuas prestasjoner og overføring av polyumettede fettsyrer fra fôret til melkefett. Resultatene viste at store partikler av kalsiumsalter økte beskyttelsen mot biohydrogenering i vom av umettede fettsyrer og økte melkeytelsen. Tilskudd av kalsiumsalter reduserte de negative effektene umettet fett har på fermentering i vom, og økte konsentrasjonen av melkefett (Leduc et al., 2017).

Tabell 17: Sammendrag av resultater fra ulike forsøk hvor effekten av kalsiumsalter (KS) av ulike fettsyrer (FA) på innvirkning på fettsyresammensetning i melk.

	Forsøk	TFA	Sum metta	Sum umetta	C16:0	C18:0	C18:1c9	C18:2 n-6	C18:3 n-3
Økt mengde KS	1	io	--	+	--	--	+	+	+
KS av linolje	2	io	io	io	--	++	++	++	--
KS av raps-, soya- og linolje	3	--	--	+	--	+	+	+	+
KS av palmeolje	4	io	io	io	+	+	+	+	+
KS av rapsolje	5	io	+	--	--	+	+	+	+

io = ikke oppgitt

+ positivt påvirket ++ signifikant påvirket -- negativt påvirket

1: Sarker et al. (2016)

2: Sultana et al. (2008)

3: Chouinard et al. (1998)

4: de Souza og Lock (2018)

5: Dahl (2015)

7 Strategier for å øke innholdet av umettede fettsyrer i melk

Det er mulig å øke andelen umettet fett i melk ved å optimalisere bruken av grovfôr og kraftfôr. På grunn av ytelsesøkningen de siste ti årene har andelen kraftfôr i rasjonen økt betydelig for å dekke fôrbehovet, og utgjør i dag om lag 43 % av fôrresasjonen. Grovfôr utgjør likevel hovedandelen av fôrresasjonen, med 45 % surfôr og 10 % beite. Arbeidet for å redusere innholdet av mettede fettsyrer i melk ved å øke andelen umettede fettsyrer bør konsentreres om å øke innholdet av oljesyre (C18:1c9) og CLA, samt innholdet av polyumettede fettsyrer, spesielt omega-3 fettsyrer. Dette er viktig for å oppnå et omega-6:omega-3 forhold nær 2:1. Fôringen kan påvirke innholdet av oljesyre i melk i betydelig grad. Innholdet av monoumettede fettsyrer (C18:1c9) i melk kan økes fra 50 til 80 % og nærme seg 50 % av fettsyrene i melk ved å føre med en fôrresasjon rik på C18 fettsyrer. For å oppnå melk med en høyere andel umettede C18 fettsyrer på bekostning av mettede korte og mellomlange fettsyrer, må det benyttes fôrmidler med et høyt innhold av polyumettede fettsyrer som i størst mulig grad passerer til tarmen uten å bli mettet (hydrogenert) i vomma. For å oppnå dette vil dyrking og bruk av grovfôr, bruk av beite, bruk av havre, raps og kalsiumsalter av raps i kraftfôret være viktige verktøy.

En økning i andelen av polyumettede fettsyrer i grovfôret sammen med høyere opptak av grovfôr vil ha positiv innvirkning på fettsyresammensetningen i melk. Potensialet for å øke innholdet av umettede fettsyrer melka er betydelig, gjennom å optimalisere produksjonen og bruken av grovfôr. Følgende tiltak står sentralt:

Høste grovfôret på et tidlig utviklingsstadium. Ved å høste grovfôret på et tidlig utviklingsstadium oppnås det et høyere innhold av linolensyre og et gunstig omega-6:omega-3 forhold i grasen, sammenlignet med senere høstetidspunkt. Innholdet av fettsyrer totalt, andelen linolsyre (C18:2) og linolensyre (C18:3) går ned ved økt utviklingsstadium på grunn av lavere bladandel. Mesteparten av fett er i bladene. En kort gjenvekstperiode resulterer i høy andel C18:2 og C18:3, og ved lengre gjenvekstperiode vil innholdet av samtlige fettsyrer bli redusert, med unntak av stearinsyre (C18:0) og linolsyre (C18:2). Intensiv drift med tidlig førsteslått og kort gjenvekstperiode vil opprettholde fettsyrekonsentrasjonen i grasmaterialet. Ved å høste grovfôret på et tidlig utviklingsstadium vil energiinnholdet i grovfôret øke, og en større andel grovfôr kan erstatte kraftfôr i fôrresasjonen. En økt grovfôrandel vil øke mengden substrater til *de novo* syntesen i juret i form av eddiksyre og smørsyre. I tillegg til økt mengde *de novo* syntetiserte fettsyrer vil en økt grovfôrandel ved å øke tilførselen av umettede fettsyrer, øke innholdet av omega-3 fettsyrer og reduserer innholdet av omega-6 fettsyrer i

melka. Dette vil medføre et redusert omega-6:omega-3 forhold som er gunstig for humant konsum. I sum betyr en høyere grovfôrandel ofte både høyere fettprosent og en gunstigere fettsyreprofil i melka. Grovfôr høstet ved et tidlig utviklingsstadium har god fordøyelighet og lavt NDF innhold. Det er viktig å sikre tilstrekkelig mengde struktur i fôrrasjonen, da økt vombelastning gir lavere fettinnhold i melka (figur 5). Et høyt grovfôropptak er viktig for å sikre et godt vommiljø.

Foruten et høyt grovfôropptak, er det vanskelig å se tiltak som samtidig øker både fettprosenten og andelen av gunstige fettsyrer i melka. I strategiene som er foreslått er det derfor lagt størst vekt på målsettingen om å øke andelen av umettede fettsyrer i melka.

Mye beite har entydig positiv effekt på fettsyresammensetningen i melk, men fettprosenten går ofte ned på beite. Det er likevel en effektiv strategi å utnytte beitepotensialet. Typisk gir beite et lavere innhold av palmitinsyre og høyere innhold av oljesyre og polyumettede fettsyrer i melk, sammenlignet med konservert grovfôr. Nullbeiting vil ikke ha samme positive effekt på fettsyresammensetningen i melk som når kua beiter selv, siden oksidasjon av umettede fettsyrer starter rett etter høsting. For løsdriftsfjøs som ikke har tilgang til beite og kun benytter luftegård, vil nullbeiting likevel være et tiltak for å bedre fettsyresammensetningen i melk, men er altså ikke like effektivt som beiting.

På grunn av høyere kraftfôrpris om våren og sommeren vil det være ekstra lønnsomt for bonden å dekke så store deler av fôrbehovet som mulig gjennom beite.

Høy andel hvitkløver og rødkløver i grovfôret vil øke andelen av umettede fettsyrer i melka, sammenlignet med grovfôr av bare gras. For rødkløver skyldes dette særlig polyfenoloksidase som hemmer biohydrogenering av umettede fettsyrer i vomma. For hvitkløver gir høyere passasjehastighet mindre biohydrogenering av umettede fettsyrer i vomma, og gir dermed høyere overføring av polyumettede fettsyrer, spesielt linol- og linolensyre til melka. Surfôr av rødkløver og hvitkløver overfører C18:2 og C18:3 mer effektivt til melk, enn surfôr av gras.

Virkning av grasarter. Det er lite undersøkt om grasart har betydning for innholdet av umettede fettsyrer i melka. I de fleste forsøkene er det raigras som har utgjort grovfôret. Dette skyldes nok at raigras er den dominerende grasarten i svært mange land. Raigras har et høyere fettinnhold (g fettsyrer/kg TS) og har et høyere innhold av C18:3n-3 enn timotei, hvitkløver og rødkløver (g/100 g fettsyrer) (tabell 4), men på grunn av polyfenoloksidase i rødkløver og økt passasjehastighet gjennom vom ved bruk av hvitkløver vil hvitkløver og rødkløver mer effektivt overføre polyumettede fettsyrer til melkefettet enn raigras.

Det er viktig å ta med i vurderingene at de fleste forsøkene som har studert virkning av føringen på fettsyresammensetningen i melk er utført i utlandet, under andre produksjonsforhold enn her i Norge. Det er store forskjeller i klima og dyrkningsmetoder, og dette virker inn på fettsyresammensetningen i plantene. Det oppfordres til mer forskning på ulike norske arter og sorter og deres innhold av fett og fettsyreprofil, samt evnen til å motstå hydrogenering ved eksponering for luft og under fermentering i vomma. Det kan være gode muligheter for å øke andelen umettet fett i grovføret også her til lands, fordi ulike virkemidler har vist seg å være effektive i utlandet. I fremtiden bør det være mulig for melkeprodusentene å få grovføranalyser med fettsyresammensetningen, siden fettsyresammensetningen i melka vil ha betydning på økonomien i produksjonen.

Nitrogengjødsling øker konsentrasjonen av individuelle fettsyrer og det totale fettsyreinnholdet i plantene, spesielt C18:0. For å øke mengden C18:3 som unnslipper biohydrogenering i vom bør graset gjødsles med nitrogen. Nitrogengjødsling fremskyver veksten av graset og man får tidligere skyting. Dette fører til en økning i bladandelen da nitrogengjødsling virker raskere på blad enn stengel, og bladene er den delen av planten med høyest fettsyreinnhold. Forsøk gjort av Arvidsson et al. (2012) viste at 9 kg N/daa ga størst utbytte av gunstige fettsyrer i melk, og en økning fra 9 kg N/daa til 12 kg N/daa ikke hadde noen videre effekt. Dette henger sammen med avtagende utbytte økning, og en vil ha lite igjen for de siste tre kiloene med nitrogengjødsling. Det er vanskelig å komme med anbefalinger om mengde nitrogengjødsling da forsøkene ikke er gjort under norske forhold. Det er flere faktorer som må tas hensyn til. Ved høy andel kløver i enga vil for store mengder nitrogengjødsling redusere andelen kløver, noe som vil være uheldig siden forsøkene er entydige om den positive effekten kløver har på fettsyresammensetningen i melk. Anbefalingene rundt gjødselmengde vil også være avhengig av gjødseltidspunkt, om det er gjødsling før førsteslått eller etter gjenvekst. Det oppfordres til forskning på innvirkning av ulike nivåer nitrogengjødsling og fettsyresammensetning i grasmaterialet og melk, under norske forhold.

Begrenset og rask fortørking ved ensilering. Fortørking av gras før ensilering reduserer innholdet av umettede fettsyrer ved oksidasjon. Fortørket grasmateriale har lavere innhold av C18:3 enn ikke fortørket grasmateriale, noe som trolig henger sammen med enzymatisk aktivitet etter at graset er slått. Graden av oksidasjon varierer mellom sorter og oksidasjon fører til tap av umettet fett under tørking. Hvordan fortørkingen gjennomføres kan derfor være en faktor å ta hensyn til når målet er å oppnå høy andel umettet fett i melka.

I Norge fortørkes store deler av grasmaterialet som skal ensileres. Det har de siste årene blitt mer vanlig å ensilere graset i plansilo, istedenfor å presse i rundballer. Ved ensilering i plansilo fortørkes ikke grasmaterialet like mye som ved pressing i rundballer. Dette kan ha positiv effekt på fettsyresammensetningen i fôret, som igjen vil ha positiv innvirkning på melka. Teoretisk er det sånn, men det er ikke dokumentert i forsøk. Ved bruk av rundballer som konserveringsmetode vil det ikke være praktisk mulig å ikke fortørke grasmaterialet, da dette vil gi økte kostnader i form av nett, plast og transport – da en må frakte større mengder vann på grunn av lavere tørrstoff i grasmaterialet. Rundballene vil i tillegg være harde og vanskelig å håndtere på vinterstid. Fortørking virker også positivt på gjæringskvaliteten.

Konserveringsmetode. Forsøk har vist en reduksjon i palmitinsyre (C16:0) og C18:2n-6 innholdet ved ensilering sammenlignet med ferskt gras. C18:0, C18:1c9 og C18:3n-3 økte. Ensilert grasmaterialet har et lavere innhold av total andel fettsyrer og høyere innhold av frie fettsyrer. Lipolyse i surfôr er trolig forklaringen på lavere konsentrasjon av polyumettede fettsyrer i melk ved bruk av ensilert grasmateriale, sammenlignet med ferskt gras. En reduksjon av lipolyse under ensileringsprosessen kan redusere graden av biohydrogenering i vom, og på den måten øke innholdet av PUFA i melkefettet.

Forsøk har vist at tørking av graset til høy ikke reduserer innholdet av polyumettede fettsyrer, slik som ensilert grasmateriale. I praksis vil det trolig være lite aktuelt med overgang fra surfôr til høy. Ensilering egner seg bedre som konserveringsmetode ved ungt grasmateriale, noe som vil være en forutsetning for å øke grovfôrandelen i fôrrasjonen. På bakgrunn av at det ikke vil være praktisk gjennomførbart med overgang fra surfôr til høy, er dette temaet ikke vektlagt i oppgaven.

Maursyrebaserte ensileringsmidler slår positivt ut på innholdet av umettet fett i melka, og øker det totale innholdet av fettsyrer, spesielt innholdet av linolensyre. Surfôr behandlet med syrebasert ensileringsmiddel ga mindre C16:0 og høyere andel C18:0 i melka, sammenlignet med inokulanter og vann. Resultatene fra forsøkene som har studert ulike ensileringsmidler er ikke entydige, men det er funnet liten innvirkning på fettsyrer utenom C18:0 og C16:0. Maursyrebaserte ensileringsmidler gir lavere lipolyse i surfôret, sammenlignet med andre ensileringsmidler. Syrebaserte tilsetningsmidler er et effektivt virkemiddel for å sikre gode gjæringsforhold og redusere graden av lipolyse og proteolyse i surfôret. En god gjæringskvalitet i surfôret er avgjørende for et høyt grovfôropptak, noe som i seg selv virker positivt på fettsyresammensetningen i melk.

Havre vil være gunstig for fettsyresammensetningen i melka, og kan bidra med betydelige mengder fett i fôrrasjonen. Ved å føre med et havre-/rapsbasert kraftfôr vil andelen <C16 fettsyrer i melka gå ned og fettmengde (kg/dag), C18:0, C18:1c9 og C18:2 innholdet i melka vil øke, sammenlignet med byggbasert kraftfôr (tabell 1 og 2). Den positive responsen av føring med havrebasert kraftfôr beror på en høyere tilførsel av fett med høyt innhold av oljesyre, og muligens en positiv effekt via gunstigere fermentering i vom og bedre proteinforsyning. Økt andel havre i kraftfôret vil sette begrensninger i bruken av kraftfôret og det vil være krevende å oppnå gode pelletsegenskaper på grunn av det høye trevleinnholdet. Nakenhavre og fettrik havre er absolutt verdt videre forskning, og fettrik havre har vist seg å øke de gunstige fettsyrene i melk. Ved produksjon av havre får bonden kilopris på kornet han leverer. Ved nakenhavre vil kornet veie mindre, og bonden vil få dårligere betalt, sammenlignet med vanlig havre. Skal bønder produsere nakenhavre må de betales etter kvalitet, og ikke etter kilo for å klare å konkurrere med andre kornsorter.

Raps er fordelaktig å benytte som fettkilde på grunn av høy andel monoumettede, og lav andel polyumettede fettsyrer. Dette tillater en høyere andel raps i fôrrasjonen enn for de fleste andre oljefrø, uten at det medfører skadelig effekter på mikrobene og negativ effekt på fordøyelse og fôropptak. Raps er svært godt egnet til å øke innholdet av umettede fettsyrer i melka, sammenlignet med blant annet linfrø. Raps kan dyrkes i Norge og kan bidra til å redusere importen av proteinråvarer. I dag produseres det mellom 6000 til 10 000 tonn oljevekster i Norge årlig, som brukes i blandinger til drøvtyggere. Dette dekker på langt nær behovet, men det er mulig å doble den norske produksjonen. Raps er et gunstig vekstskifte på skifter hvor det dyrkes korn, og en kan på denne måten øke andelen norsk produsert raps. Raps vil trolig være en del av løsningen når kraftfôrindustrien skal redusere andelen palmitinsyre i norsk kraftfôr. Det er billigere å benytte fett her i Norge enn andre land, siden det er korn som er alternativet, og norsk korn er dyrt når en sammenligner med andre land. Når man optimerer kraftfôrblandinger handler det om å finne den beste blandingen, til lavest mulig pris. Dette kan by på utfordringer, og økt andelen raps vil øke kraftfôrprisen.

Tilskudd av kalsiumsalter. I tillegg til å optimalisere dyrkingen og bruk av grovfôr og kraftfôr vil trolig en av løsningene være tilsetning av kalsiumsalter i kraftfôret, for å beskytte fett mot biohydrogenering i vom. Forsøk har vist at kalsiumsalter er en gunstig metode for å øke andelen umettede fettsyrer, og redusere mettede fettsyrer i melk, men flere forsøk viser at kalsiumsalter reduserer fettprosenten. Kalsiumsalter kan redusere tørrstoffopptaket, trolig på grunn av vond smak.

Kalsiumsalter reduserer de negative effektene umettet fett har på vommiljøet da kalsiumsalter hemmer biohydrogenering. For å øke andelen umettet fett i melka er kalsiumsalter av raps trolig veien å gå for norske melkebesetninger. 2,5 % tilskudd av kalsiumsalter har vist seg å være nivået å legge seg på for å øke andelen umettet fett i melka.

Kalsiumsalter har størst effekt med høy andel grovfôr i rasjonen og kalsiumsåper er gunstigst ved høy pH i vom. Store kraftfôrmengder vil gi surere miljø i vom og det stilles strengere krav til beskyttelse av kalsiumsaltene. Kalsiumsalter spaltes og fettsyrene frigis ved lav pH. Det er dette som gjør at kalsiumsalter spaltes i løpen og at fettsyrer blir absorbert i tynntarmen. Det er så vidt jeg kjenner til, ikke publisert resultater fra forsøk som har studert effekten av kalsiumsalter ved ulik grovfôrandel.

Ved å bruke kalsiumsalter vil en ofte oppnå lavere fettprosent, med gunstigere fettsyresammensetning. Dette vil skape konflikter ved at TINE økte betalingen for fett i melka 1. mai 2018, samtidig som de skal belønne produsenter med en høy andel umettet fett i melka. Det blir spennende å se om denne belønningen veier opp for en eventuell nedgang i fettprosent, noe den absolutt burde om TINE skal klare å holde løftet de har gitt til myndighetene om å redusere andelen mettet fett i sine produkter.

De siste strategiene omhandler hvilke muligheter som foreligger for kraftfôrindustrien, mens første del av strategiene er det bonden selv som må ta ansvar for. Det er gjennom grovfôret de største mulighetene foreligger. Økt andel grovfôr høstet ved et tidlig utviklingsstadium, med høy andel kløver, og med riktig nitrogengjødsling er veien å gå i tiden fremover, for å øke andelen umettet fett i melk.

Litteraturliste

- Abrahamsen, R. K., Borge, G. I., Harstad, O. M., Haug, A. & Wetlesen, A. (2007). Milk quality—a future approach from a researcher's. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 16 (1): 209-226.
- Adler, S. A. & Randby, Å. (2005). Påvirker høstetid for gras innholdet av gunstige fettsyrer i økologisk melk? *Sammanfattninger av fôredrag och postrar*.
- Adler, S. A., Steinshamn, H., Thuen, E., Jensen, S. K. & Hansen-Møller, J. (2011). Hydrogenering av fettsyrer i vomma-effekt av botanisk sammenstening av surfôret. *Husdyrforsøksmøtet 2011*: 13-16.
- Adler, S. A., Jensen, S. K., Thuen, E., Gustavsson, A. M., Harstad, O. M. & Steinshamn, H. (2013). Effect of silage botanical composition on ruminal biohydrogenation and transfer of fatty acids to milk in dairy cows. *Journal of dairy science*, 96 (2): 1135-1147.
- Ahlstrøm, Ø. & Skrede, A. (2017). *Kraftfôr*: Institutt for husdyr og akvakulturvitenskap. Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet
- Arnesen, E. (2013). *Melk og hjerte- og karsykdom LHL* - Landsforeningen for hjerte- og lungesyke. Tilgjengelig fra: <https://www.lhl.no/et-sunnere-liv/ernaring-mat-og-helse/melk-og-hjerte--og-karsykdom/> (lest 13.03.2018).
- Arvidsson, K., Gustavsson, A.-M. & Martinsson, K. (2009). Effects of conservation method on fatty acid composition of silage. *Animal Feed Science and Technology*, 148 (2-4): 241-252.
- Arvidsson, K., Gustavsson, A.-M., Fievez, V. & Martinsson, K. (2012). The effect of N-fertilisation rate or inclusion of red clover to timothy leys on fatty acid composition in milk of dairy cows fed a commercial silage: concentrate ratio. *animal*, 6 (7): 1178-1186.
- Arvidsson, K., Martinsson, K. & Gustavsson, A.-M. (2013). Fatty acid concentrations in timothy (*Phleum pratense* L.) and meadow fescue (*Festuca pratensis* Huds.): Effects of seasonal variations at different nitrogen fertilization levels. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 63 (4): 314-321.
- Astrup, H. N., Breirem, K. & Ekern, A. (1988). Havre i fôret blir umettet fett i melken. Fôringsforsøk med havre *Husdyrforsøksmøtet 1988* 1: 340-345.
- Atkinson, R. L., Scholljegerdes, E. J., Lake, S. L., Nayigihugu, V., Hess, B. W. & Rule, D. C. (2006). Site and extent of digestion, duodenal flow, and intestinal disappearance of total and esterified fatty acids in sheep fed a high-concentrate diet supplemented with high-linoleate safflower oil. *Journal of animal science*, 84 (2): 387-396.

- Barletta, R. V., Gandra, J. R., Bettero, V. P., Araújo, C. E., Del Valle, T. A., de Almeida, G. F., de Jesus, E. F., Mingoti, R. D., Benevento, B. C. & de Freitas Júnior, J. E. (2016). Ruminal biohydrogenation and abomasal flow of fatty acids in lactating cows: oilseed provides ruminal protection for fatty acids. *Animal Feed Science and Technology*, 219: 111-121.
- Bauman, D. E. & Griinari, J. M. (2001). Regulation and nutritional manipulation of milk fat: low-fat milk syndrome. *Livestock Production Science*, 70 (1): 15-29.
- Baumgard, L. H., Corl, B. A., Dwyer, D. A., Sæbø, A. & Bauman, D. E. (2000). Identification of the conjugated linoleic acid isomer that inhibits milk fat synthesis. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 278 (1): 179-184.
- Baumgard, L. H., Sangster, J. K. & Bauman, D. E. (2001). Milk fat synthesis in dairy cows is progressively reduced by increasing supplemental amounts of trans-10, cis-12 conjugated linoleic acid (CLA). *The Journal of nutrition*, 131 (6): 1764-1769.
- Baumgard, L. H., Corl, B. A., Dwyer, D. A. & Bauman, D. E. (2002). Effects of conjugated linoleic acids (CLA) on tissue response to homeostatic signals and plasma variables associated with lipid metabolism in lactating dairy cows. *Journal of animal science*, 80 (5): 1285-1293.
- Bell, J. A., Griinari, J. M. & Kennelly, J. J. (2006). Effect of safflower oil, flaxseed oil, monensin, and vitamin E on concentration of conjugated linoleic acid in bovine milk fat. *Journal of Dairy Science*, 89 (2): 733-748.
- Benbrook, C. M., Davis, D. R., Heins, B. J., Latif, M. A., Leifert, C., Peterman, L., Butler, G., Faergeman, O., Abel-Caines, S. & Baranski, M. (2018). Enhancing the fatty acid profile of milk through forage-based rations, with nutrition modeling of diet outcomes. *Food Science & Nutrition*.
- Berg, O. (2016). *Hva er melkefett? Opplysningskontoret for Meieriprodukter melk.no*. Tilgjengelig fra: <https://www.melk.no/Kosthold-og-helse/Melk-og-helse/Hva-er-melkefett> (lest 27.02.2018).
- Boerman, J. P. & Lock, A. L. (2014). Effect of unsaturated fatty acids and triglycerides from soybeans on milk fat synthesis and biohydrogenation intermediates in dairy cattle. *Journal of dairy science*, 97 (11): 7031-7042.
- Bolstad, T., Garmo, T. H. & Harstad, O. M. (2007). Verknad av beitetilgang og kraftfôrmengde på feittsyresamansetnad i mjølk hos mjølkeku på kvitkløverrikt beite. *Husdyrforsøksmøtet. Norges Landbrukshøgskole*.
- Boufaïed, H., Chouinard, P. Y., Tremblay, G. F., Petit, H. V., Michaud, R. & Bélanger, G. (2003a). Fatty acids in forages. I. Factors affecting concentrations. *Canadian Journal of Animal Science*, 83 (3): 501-511.

- Boufaïed, H., Chouinard, P. Y., Tremblay, G. F., Petit, H. V., Michaud, R. & Bélanger, G. (2003b). Fatty acids in forages. II. In vitro ruminal biohydrogenation of linolenic and linoleic acids from timothy. *Canadian journal of animal science*, 83 (3): 513-522.
- Buccioni, A., Decandia, M., Minieri, S., Molle, G. & Cabiddu, A. (2012). Lipid metabolism in the rumen: New insights on lipolysis and biohydrogenation with an emphasis on the role of endogenous plant factors. *Animal Feed Science and Technology*, 174 (1-2): 1-25.
- Bævre, L., Haug, I., Ouren, E. & Ulberg, O. (2000). *Lukt- og smaksfeil i leverandørmelk* Oslo Tine Norske Meierier BA
- Børsting, C. F., Hermansen, J. E. & Weisbjerg, M. R. (2003). Fedtforsyningens betydning for mælkeproduktionen. I: Strudsholm, F. & Sejrsen, K. (red.) *DJF rapport Husdyrbrug nr. 54 - Kvægets ernæring og fysiologi. Bind 2 - Fodring og produktion* s. 133-151. Tjele, Danmark: Danmarks JordbrugsForskning.
- Børsting, C. F. & Weisbjerg, M. R. (2004). Fedtforsyningens betydning for mælkeproduktionen. *KvægInfo nr. 1411 - Dansk Kvæg*.
- Chilliard, Y., Ferlay, A., Mansbridge, R. M. & Doreau, M. (2000). *Ruminant milk fat plasticity: nutritional control of saturated, polyunsaturated, trans and conjugated fatty acids*. Annales de zootechnie: EDP Sciences.
- Chilliard, Y., Glasser, F., Ferlay, A., Bernard, L., Rouel, J. & Doreau, M. (2007). Diet, rumen biohydrogenation and nutritional quality of cow and goat milk fat. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 109 (8): 828-855.
- Chilliard, Y., Martin, C., Rouel, J. & Doreau, M. (2009). Milk fatty acids in dairy cows fed whole crude linseed, extruded linseed, or linseed oil, and their relationship with methane output¹. *Journal of Dairy Science*, 92 (10): 5199-5211.
- Chouinard, P. Y., Girard, V. & Brisson, G. J. (1998). Fatty Acid Profile and Physical Properties of Milk Fat from Cows fed Calcium Salts of Fatty Acids with Varying Unsaturation¹. *Journal of Dairy Science*, 81 (2): 471-481.
- Chouinard, P. Y., Corneau, L., Barbano, D. M., Metzger, L. E. & Bauman, D. E. (1999). Conjugated linoleic acids alter milk fatty acid composition and inhibit milk fat secretion in dairy cows. *The Journal of nutrition*, 129 (8): 1579-1584.
- Chow, T. T., Fievez, V., Ensberg, M., Elgersma, A. & Smet, S. d. (2004). *Fatty acid content, composition and lipolysis during wilting and ensiling of perennial ryegrass (Lolium perenne L.): preliminary findings*. Land use systems in grassland dominated regions. Proceedings of the 20th General Meeting of the European Grassland Federation, Luzern, Switzerland, 21-24 June 2004: vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zurich.

- Collomb, M., Sollberger, H., Bütikofer, U., Sieber, R., Stoll, W. & Schaeren, W. (2004). Impact of a basal diet of hay and fodder beet supplemented with rapeseed, linseed and sunflowerseed on the fatty acid composition of milk fat. *International Dairy Journal*, 14 (6): 549-559.
- Dahl, L. E. (2015). *Kalsiumforsåpet rapsolje eller prosessert palmeolje som fetttilsetning i kraftfôr til melkekyr: effekt på melkeytelse og melkens kjemiske sammensetning*. Masteroppgave Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet Tilgjengelig fra: <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/294263> (lest 30.04.2018).
- de Souza, J. & Lock, A. L. (2018). Comparison of a palmitic acid-enriched triglyceride supplement and calcium salts of palm fatty acids supplement on production responses of dairy cows. *Journal of dairy science*, 101 (4): 3110-3117.
- de Souza, J., Preseault, C. L. & Lock, A. L. (2018). Altering the ratio of dietary palmitic, stearic, and oleic acids in diets with or without whole cottonseed affects nutrient digestibility, energy partitioning, and production responses of dairy cows. *Journal of dairy science*, 101 (1): 172-185.
- Dewhurst, R. J., Scollan, N. D., Youell, S. J., Tweed, J. K. S. & Humphreys, M. O. (2001). Influence of species, cutting date and cutting interval on the fatty acid composition of grasses. *Grass and forage Science*, 56 (1): 68-74.
- Dewhurst, R. J., Evans, R. T., Scollan, N. D., Moorby, J. M., Merry, R. J. & Wilkins, R. J. (2003a). Comparison of grass and legume silages for milk production. 2. In vivo and in sacco evaluations of rumen function. *Journal of Dairy Science*, 86 (8): 2612-2621.
- Dewhurst, R. J., Fisher, W. J., Tweed, J. K. S. & Wilkins, R. J. (2003b). Comparison of grass and legume silages for milk production. 1. Production responses with different levels of concentrate. *Journal of dairy science*, 86 (8): 2598-2611.
- Dewhurst, R. J., Shingfield, K. J., Lee, M. R. F. & Scollan, N. D. (2006). Increasing the concentrations of beneficial polyunsaturated fatty acids in milk produced by dairy cows in high-forage systems. *Animal Feed Science and Technology*, 131 (3-4): 168-206.
- Dhiman, T. R., Anand, G. R., Satter, L. D. & Pariza, M. W. (1999). Conjugated Linoleic Acid Content of Milk from Cows Fed Different Diets1. *Journal of dairy Science*, 82 (10): 2146-2156.
- Doreau, M. & Ferlay, A. (1994). Digestion and utilisation of fatty acids by ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 45 (3-4): 379-396.
- Dubois, V., Breton, S., Linder, M., Fanni, J. & Parmentier, M. (2007). Fatty acid profiles of 80 vegetable oils with regard to their nutritional potential. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 109 (7): 710-732.

- Ekern, A., Havrevoll, Ø., Haug, A., Berg, J., Lindstad, P. & Skeie, S. (2003). Oat and barley based concentrate supplements for dairy cows. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A-Animal Science*, 53 (2): 65-73.
- Elgersma, A., Ellen, G., Van der Horst, H., Muuse, B. G., Boer, H. & Tamminga, S. (2003). Comparison of the fatty acid composition of fresh and ensiled perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.), affected by cultivar and regrowth interval. *Animal Feed Science and Technology*, 108 (1-4): 191-205.
- Elgersma, A., Maudet, P., Witkowska, I. M. & Wever, A. C. (2005). Effects of nitrogen fertilisation and regrowth period on fatty acid concentrations in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Annals of Applied Biology*, 147 (2): 145-152.
- Enjalbert, F., Nicot, M. C., Bayourthe, C. & Moncoulon, R. (1998). Duodenal infusions of palmitic, stearic or oleic acids differently affect mammary gland metabolism of fatty acids in lactating dairy cows. *The Journal of nutrition*, 128 (9): 1525-1532.
- Felleskjøpet. (u.å). *Palmeolje - bærekraftige råvarer*. Tilgjengelig fra: <https://www.felleskjopet.no/om-felleskjopet/barekraftig-landbruk-soya-og-palmeolje/palmeolje--bærekraftige-råvarer/>.
- German, J. B. & Dillard, C. J. (2004). Saturated fats: what dietary intake? *The American journal of clinical nutrition*, 80 (3): 550-559.
- Giesy, J. G., McGuire, M. A., Shafii, B. & Hanson, T. W. (2002). Effect of dose of calcium salts of conjugated linoleic acid (CLA) on percentage and fatty acid content of milk fat in midlactation Holstein cows¹. *Journal of Dairy Science*, 85 (8): 2023-2029.
- Gjefsen, T. (2007). *Fôringslære*, b. 3: Landbruksforlaget.
- Grummer, R. R. (1988). Influence of Prilled Fat and Calcium Salt of Palm Oil Fatty Acids on Ruminal Fermentation and Nutrient Digestibility¹. *Journal of Dairy Science*, 71 (1): 117-123.
- Grummer, R. R. (1991). Effect of feed on the composition of milk fat. *Journal of Dairy Science*, 74 (9): 3244-3257.
- Harfoot, C. G. (1981). Lipid metabolism in the rumen. I: *Lipid metabolism in ruminant animals*, s. 21-55: Elsevier.
- Harfoot, C. G. & Hazlewood, G. P. (1997). Lipid metabolism in the rumen. I: *The rumen microbial ecosystem*, s. 382-426: Springer.
- Harstad, O. M., Ekren, A., Haug, A. & Havrevoll, Ø. (2000). Fôringas virkning på mengde og kvalitet av fett i mjølk. *Husdyrforsøksmøtet. Norges Landbrukshøgskole*.

- Harstad, O. M. (2007). Hvilke muligheter har vi til å påvirke den ernæringsmessige kvaliteten på mjølka. *Husdyrforsøksmøtet. Norges Landbrukshøgskole.*
- Harstad, O. M. & Steinshamn, H. (2010). Cows' diet and milk composition. I: Griffiths, M. (red.) b. 1 *Improving the safety and quality of Milk: Milk Production and Processing*, s. 223-245: Woodhead Publishing Limited
- Harvatine, K. J. & Allen, M. S. (2006). Fat supplements affect fractional rates of ruminal fatty acid biohydrogenation and passage in dairy cows. *The Journal of nutrition*, 136 (3): 677-685.
- Haug, A. (2000). Drøvtyggerfett og helse *Husdyrforsøksmøtet. Norges Landbrukshøgskole.*
- Haug, A., Christophersen, O. A., Høstmark, A. T. & Harstad, O. M. (2007). Melk og helse. *TIDSSKRIFT-NORSKE LÆGEFORENING*, 127 (19): 2542-2545.
- Havemose, M. S., Weisbjerg, M. R., Bredie, W. L. P., Poulsen, H. D. & Nielsen, J. H. (2006). Oxidative stability of milk influenced by fatty acids, antioxidants, and copper derived from feed. *Journal of Dairy Science*, 89 (6): 1970-1980.
- Helsedirektoratet. (2014). Anbefalinger om kosthold, ernæring og fysisk aktivitet.
- Helsedirektoratet. (2017). *Kostråd om melk og meieriprodukter* Tilgjengelig fra: <https://helsenorge.no/kosthold-og-ernaring/kostrad/velg-magre-meieriprodukter> (lest 06.03.2018).
- Helsedirektoratet. (2018). *Utviklingen i norsk kosthold 2017*. Matforsyningsstatistikk og forbruksundersøkelser. Oslo: Helsedirektoratet.
- Hermansen, J. E., Nielsen, J. H., Larsen, L. B. & Sejrsen, K. (2003). Mælkens sammensætning og kvalitet. I: Strudsholm, F. & Sejrsen, K. (red.) *DJF rapport Husdyrbrug nr 54 - Kvægets Ernæring Og Fysiologi. Bind 2 - Fodring og produktion* s. 341-366. Tjele, Danmark Danmarks JordbruksForskning.
- Hoffmann, A., Görlich, S., Steingass, H., Terry, H., Schollenberger, M., Hartung, K. & Mosenthin, R. (2016). Milk production and milk fatty acids in dairy cows fed crushed rapeseed or rapeseed oil. *Livestock Science*, 190: 31-34.
- Hvelplund, T., Madsen, J., Misciattelli, L. & Weisbjerg, M. R. (2003). Proteinomsætningen i mave-tarmkanalen og dens kvantificering. I: Strudsholm, F. & Sejrsen, K. (red.) *DFJ rapport Husdyrbrug nr. 53 - Kvægets ernæring og fysiologi. Bind 1 - Næringsstofomsætning og fodervurdering* s. 281-312. Tjele, Danmark: Danmarks JordbruksForskning.
- Jenkins, T. C. & Palmquist, D. L. (1982). Effect of Added Fat and Calcium on in Vitro Formation of Insoluble Fatty Acid Soaps and Cell Wall Digestibility 1, 2. *Journal of Animal Science*, 55 (4): 957-963.

- Jenkins, T. C. (1993). Lipid metabolism in the rumen. *Journal of Dairy Science*, 76 (12): 3851-3863.
- Jensen, R. G., Ferris, A. M. & Lammi-Keefe, C. J. (1991). The Composition of Milk Fat1. *Journal of Dairy Science*, 74 (9): 3228-3243.
- Jensen, R. G. (1995). *Handbook of milk composition*: Academic press.
- Kairenius, P., Ärölä, A., Leskinen, H., Toivonen, V., Ahvenjärvi, S., Vanhatalo, A., Huhtanen, P., Hurme, T., Grünari, J. M. & Shingfield, K. J. (2015). Dietary fish oil supplements depress milk fat yield and alter milk fatty acid composition in lactating cows fed grass silage-based diets. *Journal of dairy science*, 98 (8): 5653-5671.
- Kargar, S., Ghorbani, G. R., Khorvash, M., Kahyani, A., Karimi-Dehkordi, S., Safahani-Langarudi, M., Fievez, V. & Schingoethe, D. J. (2017). Milk fat secretion in Holstein dairy cows: Insights from grain type and oil supplement. *Livestock Science*, 196: 36-41.
- Kaylegian, K. E. & Lindsay, R. C. (1995). Milk fat usage and modification. I: *Handbook of milkfat fractionation technology and application* s. 1-18. Champaign: AOCS Press.
- Kelly, A. L. & Bach Larsen, L. (2010). Milk biochemistry. I: Griffiths, M. (red.) b. 1 *Improving the safety and quality of milk: Milk Production and Processing*, s. 3-26: Woodhead Publishing Limited
- Kelly, M. L., Kolver, E. S., Bauman, D. E., Van Amburgh, M. E. & Muller, L. D. (1998). Effect of Pasture on Concentrations of Conjugated Linoleic Acid in Milk of Lactating Cows. *Journal of dairy science*, 81 (6): 1630-1636.
- Khan, N. A., Cone, J. W., Fievez, V. & Hendriks, W. H. (2012). Causes of variation in fatty acid content and composition in grass and maize silages. *Animal feed science and technology*, 174 (1-2): 36-45.
- Kliem, K. E. & Shingfield, K. J. (2016). Manipulation of milk fatty acid composition in lactating cows: Opportunities and challenges. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 118 (11): 1661-1683.
- Kowalski, Z. M., Pisuelewski, P. M. & Spanghero, M. (1999). Effects of calcium soaps of rapeseed fatty acids and protected methionine on milk yield and composition in dairy cows. *Journal of Dairy Research*, 66 (4): 475-487.
- Kristensen, N. B., Hvelplund, T., Weisbjerg, M. R. & Nørgaard, P. (2003a). Mikrobiel omsætning i formaverne. I: Hvelplund, T. & Nørgaard, P. (red.) *DJF rapport Husdyrbrug nr. 53 - Kvægets ernæring og fysiologi. Bind 1 - Næringsstofomsætning og fodervurdering* s. 211-237. Tjele, Danmark: Danmarks JordbrugsForskning.

- Kristensen, N. B., Misciattelli, L. & Danfær, A. (2003b). Næringsstoffernes absorption og tilgjængelighed for de perifere vev I: Hvelplund, T. & Nørgaard, P. (red.) *DJF rapport. Kvægets ernæring og fysiologi. Bind 1 - Næringstofomsætning og fodervurdering* s. 389-411. Tjele, Danmark Danmarks JordbrugsForskning.
- Leduc, M., Gervais, R. & Chouinard, P. Y. (2017). Effect of calcium salts of polyunsaturated fatty acids with different particle sizes on lactation performance and milk fatty acid profile in dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 228: 102-114.
- Lee, M. R. F., Winters, A. L., Scollan, N. D., Dewhurst, R. J., Theodorou, M. K. & Minchin, F. R. (2004). Plant-mediated lipolysis and proteolysis in red clover with different polyphenol oxidase activities. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84 (13): 1639-1645.
- Lin, L., Allemekinders, H., Dansby, A., Campbell, L., Durance-Tod, S., Berger, A. & Jones, P. J. H. (2013). Evidence of health benefits of canola oil. *Nutrition reviews*, 71 (6): 370-385.
- Lock, A. L. & Garnsworthy, P. C. (2003). Seasonal variation in milk conjugated linoleic acid and $\Delta 9$ -desaturase activity in dairy cows. *Livestock Science*, 79 (1): 47-59.
- Loften, J. R., Linn, J. G., Drackley, J. K., Jenkins, T. C., Soderholm, C. G. & Kertz, A. F. (2014). Invited review: Palmitic and stearic acid metabolism in lactating dairy cows. *Journal of dairy science*, 97 (8): 4661-4674.
- Loor, J. J., Ferlay, A., Ollier, A., Doreau, M. & Chilliard, Y. (2005). Relationship among trans and conjugated fatty acids and bovine milk fat yield due to dietary concentrate and linseed oil. *Journal of Dairy Science*, 88 (2): 726-740.
- Lourenço, M., Vlaeminck, B., Bruinenberg, M., Demeyer, D. & Fievez, V. (2005). Milk fatty acid composition and associated rumen lipolysis and fatty acid hydrogenation when feeding forages from intensively managed or semi-natural grasslands. *Animal Research*, 54 (6): 471-484.
- Lu, J., Pickova, J., Vázquez-Gutiérrez, J. L. & Langton, M. (2018). Influence of seasonal variation and ultra high temperature processing on lipid profile and fat globule structure of Swedish cow milk. *Food chemistry*, 239: 848-857.
- Martin, A. D., Afseth, N. K., Kohler, A., Randby, Å., Eknæs, M., Waldmann, A., Dørum, G., Måge, I. & Reksen, O. (2015). The relationship between fatty acid profiles in milk identified by Fourier transform infrared spectroscopy and onset of luteal activity in Norwegian dairy cattle. *Journal of dairy science*, 98 (8): 5374-5384.
- Mattilsynet. (2015). *Mattilsynet minner om mosjonskrav og beite for storfe*. Tilgjengelig fra: https://www.mattilsynet.no/dyr_og_dyrehold/produksjonsdyr/storfe/mattilsynet_minner_om_mosjonskrav_og_beite_for_storfe.15210 (lest 03.05.2018).

- Matvaretabellen. (2017). Tilgjengelig fra: <http://www.matvaretabellen.no/melk-og-melkeprodukter-g1/helmelk-39-fett-01.235> (lest 06.03.2018).
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., Morgan, C. A., Sinclair, L. A. & Wilkinson, R. G. (2011). *Animal nutrition*. 7th ed. utg. Harlow: Prentice Hall.
- McKain, N., Shingfield, K. J. & Wallace, R. J. (2010). Metabolism of conjugated linoleic acids and 18: 1 fatty acids by ruminal bacteria: products and mechanisms. *Microbiology*, 156 (2): 579-588.
- Meignan, T., Lechartier, C., Chesneau, G. & Bareille, N. (2017). Effects of feeding extruded linseed on production performance and milk fatty acid profile in dairy cows: A meta-analysis. *Journal of dairy science*, 100 (6): 4394-4408.
- Murphy, J. J., Connolly, J. F. & McNeill, G. P. (1995). Effects on cow performance and milk fat composition of feeding full fat soyabeans and rapeseeds to dairy cows at pasture. *Livestock production science*, 44 (1): 13-25.
- Nielsen, T. S., Straarup, E. M. & Sejrsen, K. (2005). CLA og andre stoffer i mælk relatert til den humane sundhed-hvordan kan primærproducenten påvirke indholdet. *Økologisk mælkeproduktion. Fodring og management ved høj selvforsyning*, 20: 41-50.
- Næringslivsgruppen på matområdet. (2015). *Felles innsats for å redusere inntaket av mettet fett* Helseministerens næringslivsgruppe på matområdet. Tilgjengelig fra: https://www.regjeringen.no/contentassets/1ca30fc458334d7688bf6d3c771f863c/intensjonsnotat_mettet_fett_m_vedlegg.pdf (lest 16.03.2018).
- Opplysningskontoret for meieriprodukter. (2016). *Tall og fakta* Tilgjengelig fra: <https://www.melk.no/Statistikk> (lest 14.03.2018).
- Palmquist, D. L. & Jenkins, T. C. (1980). Fat in Lactation Rations¹, 2: Review. *Journal of dairy science*, 63 (1): 1-14.
- Palmquist, D. L., Jenkins, T. C. & Joyner, A. E. (1986). Effect of Dietary Fat and Calcium Source on Insoluble Soap Formation in the Rumen¹. *Journal of dairy science*, 69 (4): 1020-1025.
- Palmquist, D. L. (1988). The feeding value of fats. *Feed science*, 12: 293-311.
- Palmquist, D. L., Beaulieu, A. D. & Barbano, D. M. (1993). Feed and animal factors influencing milk fat composition¹. *Journal of dairy science*, 76 (6): 1753-1771.
- Randby, Å., Haug, A., Kvam, A. S., Bernhoft, A., Lindstad, P. & Harstad, O. M. (2002a). Fettsyresammensetning i mjølk fra kyr fôra med gras, høy eller surfôr. *Husdyrforsøksmøtet. Norges Landbrukshøgskole*.

- Randby, Å., Haug, A., Kvam, A. S., Bernhoft, A., Lindstad, P., Volden, H. & Bævre, L. (2002b). Kjemisk innhold og fettsyresammensetning i gras, høy og surfôr høste ved ulike utviklingsstrinn. *Husdyrforsøksmøtet. Norges Landbrukshøgskole*.
- Refsgaard Andersen, H., Sejrsen, K., Sørensen, M. T., Kristensen, T. & Straarup, E. M. (2003). CLA-indhold i komælk. *FØJOenyt*.
- Regjeringen. (2015). *Matvarebransjen vil redusere innholdet av mettet fett i kjøtt- og meieriprodukter* Helse- og omsorgsdepartementet Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/matvarebransjen-vil-reducere-innholdet-av-mettet-fett-i-kjott--og-meieriprodukter/id2466405/> (lest 06.03.2018).
- Rico, D. E., Ying, Y. & Harvatine, K. J. (2014). Comparison of enriched palmitic acid and calcium salts of palm fatty acids distillate fat supplements on milk production and metabolic profiles of high-producing dairy cows. *Journal of dairy science*, 97 (9): 5637-5644.
- Sarker, N. R., Huque, K. S., Islam, H. & Das, N. G. (2016). Effect of feeding ca-salts of fatty acids on fatty acids composition in milk. *Bangladesh Journal of Livestock Research*, 19 (1-2): 10-17.
- Schauff, D. J. & Clark, J. H. (1992). Effects of Feeding Diets Containing Calcium Salts of Long-Chain Fatty Acids to Lactating Dairy Cows¹. *Journal of Dairy Science*, 75 (11): 2990-3002.
- Schei, I. & Volden, H. (2013). Feittsyresammensetning i norsk mjølk målt på IR. *Husdyrforsøksmøtet. Norges Landbrukshøgskole*: 104-107.
- Schneider, P., Sklan, D., Chalupa, W. & Kronfeld, D. S. (1988). Feeding calcium salts of fatty acids to lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 71 (8): 2143-2150.
- Schroeder, G. F., Gagliostro, G. A., Bargo, F., Delahoy, J. E. & Muller, L. D. (2004). Effects of fat supplementation on milk production and composition by dairy cows on pasture: a review. *Livestock Production Science*, 86 (1): 1-18.
- Siurana, A. & Calsamiglia, S. (2016). A metaanalysis of feeding strategies to increase the content of conjugated linoleic acid (CLA) in dairy cattle milk and the impact on daily human consumption. *Animal Feed Science and Technology*, 217: 13-26.
- Sjaastad, O. V., Hove, K. & Sand, O. (2010). *Physiology of domestic animals*. 2 utg. Oslo: Scan. Vet. Press.
- Steinshamn, H. (2016). *Nye tider krever nye beitestrategier* Tilgjengelig fra: <https://www.nibio.no/nyheter/nye-tider-krever-nye-beitestrategier> (lest 03.05.2018).
- Steinshamn, H., Nesheim, L. & Bakken, A. K. (2016). *Grassland production in Norway*. The multiple roles of grassland in the European bioeconomy. Proceedings of the 26th

General Meeting of the European Grassland Federation, Trondheim, Norway, 4-8 September 2016: NIBIO.

- Stene, O., Thuen, E., Haug, A. & Lindstad, P. (2002). Innhold av konjugert linolsyre (CLA) i mjølk fra kyr i to ulike produksjonssystemer *Husdyrforsøksmøtet. Norges Landbrukshøgskole*.
- Stergiadis, S., Hynes, D. N., Thomson, A. L., Kliem, K. E., Berlitz, C. G. B., Günal, M. & Yan, T. (2018). Effect of substituting fresh-cut perennial ryegrass with fresh-cut white clover on bovine milk fatty acid profile. *Journal of the Science of Food and Agriculture*.
- Stoop, W. M., Van Arendonk, J. A. M., Heck, J. M. L., Van Valenberg, H. J. F. & Bovenhuis, H. (2008). Genetic parameters for major milk fatty acids and milk production traits of Dutch Holstein-Friesians. *Journal of Dairy Science*, 91 (1): 385-394.
- Storlien, T. M., Prestløkken, E., Beauchemin, K. A., McAllister, T. A. & Harstad, O. M. (2014). *Supplementation with crushed rapeseed causes reduction of methane emissions from lactating dairy cows on pasture*. Doktoravhandling. Ås: Norwegian University of Life Sciences
- Sultana, H., Ishida, T., Shintaku, T., Kanda, S. & Itabashi, H. (2008). Effect of feeding Ca-salts of fatty acids from soybean oil and linseed oil on c9, t11-CLA production in ruminal fluid and milk of Holstein dairy cows. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 21: 1262-1270.
- Sølverød, L., Nybakken, D., Østerås, O., Kvamsås, H. & Brodshaug, E. (u.å). *Kanskje verdens fineste melk: TINE Rådgiving og medlem*
- Taugbøl, O., Karlengen, I. J., Bolstad, T., Aastveit, A. H. & Harstad, O. M. (2007). Kan fôringa påvirke fettsyresammensetningen av mjølk via aktiviteten til delta-9-desaturase *Husdyrforsøksmøtet. Norges Landbrukshøgskole*.
- TINE Rådgiving og Medlem. (2013). *Statistikksamling 2013*. Ås.
- TINE Rådgiving og Medlem. (2018). *Endring i betaling for fett og protein fra 1.mai*. Tilgjengelig fra: <https://medlem.tine.no/aktuelt/nyheter/Nytt+fra+konsernstyret/endring-i-betaling-for-fett-og-protein-fra-1.mai> (lest 16.03.2018).
- TINE SA. (2011). *Årsrapport 2011*.
- TINE SA. (2017). *Årsrapport 2017*. Styrets beretning - årsregnskap - statistikk
- Van Ranst, G., Fievez, V., De Riek, J. & Van Bockstaele, E. (2009a). Influence of ensiling forages at different dry matters and silage additives on lipid metabolism and fatty acid composition. *Animal Feed Science and Technology*, 150 (1-2): 62-74.

- Van Ranst, G., Fievez, V., Vandewalle, M., De Riek, J. & Van Bockstaele, E. (2009b). Influence of herbage species, cultivar and cutting date on fatty acid composition of herbage and lipid metabolism during ensiling. *Grass and Forage Science*, 64 (2): 196-207.
- Van Ranst, G., Lee, M. R. F. & Fievez, V. (2011). Red clover polyphenol oxidase and lipid metabolism. *Animal*, 5 (4): 512-521.
- Vanhatalo, A., Kuoppala, K., Toivonen, V. & Shingfield, K. J. (2007). Effects of forage species and stage of maturity on bovine milk fatty acid composition. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 109 (8): 856-867.
- Volden, H. (2012). Fôring for høyere fettprosent i mjølka *Buskap* (6): 20-23.
- Weisbjerg, M. R., Lund, P. & Hvelplund, T. (2003). Kulhydratomsætningen i mave-tarmkanalen. I: Hvelplund, T. & Nørgaard, P. (red.) *DJF rapport Husdyrbrug nr. 53 - Kvægets ernæring og fysiologi. Bind 1 - Næringsstofomsætning og fodervurdering*, s. 239-280. Tjele, Danmark: Danmarks JordbrugsForskning.
- Wu, Z., Ohajuruka, O. A. & Palmquist, D. L. (1991). Ruminant Synthesis, Biohydrogenation, and Digestibility of Fatty Acids by Dairy Cows¹. *Journal of Dairy Science*, 74 (9): 3025-3034.



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway