



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2017 30 stp
Fakultet for biovitenskap

Sammenhengen mellom innholdet av palmitinsyre og frie fettsyrer i melk

The relationship between the content of palmitic
acid and free fatty acids in milk

Elisabeth Johanne Nielsen Vintermyr
Husdyrvitenskap

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet ved Institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap (IHA) på Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU) våren 2017. Etter fem år som student ved studiet husdyrvitenskap, markerer denne oppgaven slutten på min studietid på Ås.

I løpet av studieårene økte interessen spesielt for drøvtyggerernæring og melke kvalitet, og det ble derfor utgangspunktet for valg av tema på min masteroppgave. Med god hjelp fra Odd Magne Harstad, Ingunn Schei og flere ansatte ved TINE Langbakken på Ås, ble det til slutt en oppgave som omhandler fettsyresammensetningen og innholdet av frie fettsyrer i melk.

Arbeidet med masteroppgaven har vært krevende, men samtidig veldig lærerikt. Oppgaven vil forhåpentligvis gjøre meg bedre forberedt til arbeidslivet som nærmer seg med stormskritt.

Jeg vil først og fremst rette en stor takk til min hovedveileder, professor Odd Magne Harstad ved IHA, for svært god veiledning og oppfølging gjennom hele skriveprosessen. Jeg vil også takke min biveileder, spesialrådgiver Ingunn Schei i TINE SA, for god hjelp med datamaterialet og statistiske beregninger. I tillegg takk til TINE SA for stipendet som bidro til at undersøkelsen i oppgaven ble mulig å gjennomføre. Til slutt tusen takk til familie, samboer, venner og medstudenter på lesesalen (spesielt Pentarekene) for hjelp og støtte under arbeidet med denne oppgaven.

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

Ås, 15. mai 2017

Elisabeth Johanne Nielsen Vintermyr

Sammendrag

Næringsrik melk fra storfe har en sentral rolle i det daglige kostholdet til de fleste nordmenn. God melkekvalitet er viktig for å opprettholde melkeforbruket, og i tillegg er det viktig for bonden som får betaling etter kvalitetsgraden av melk. Melkekvaliteten bedømmes etter flere forskjellige kvalitetsparametere, og for forbrukeren er det spesielt melkens lukt og smak som har stor betydning. Melken blir analysert for innholdet av frie fettsyrer, da økt lipolyse av fett i melk resulterer i dårligere smak på melk. Det er flere faktorer som kan påvirke innholdet av frie fettsyrer i melk, blant annet fôringen av melkekyr. Av hovednæringsstoffene i melk er fett den komponenten som kan påvirkes i størst mulig grad gjennom fôringen. Palmitinsyre er kvantitativt viktigst av fettsyrene i melkefett, og i tillegg har den ofte en sentral rolle i kraftfôr til høytstående kyr. For å opprettholde melkeytelsen og fettinnholdet i melk i tidlig laktasjon, blir det vanligvis tilsatt ekstra fôrfett i kraftfôret. Det mest brukte tilskuddsfett i dag er palmeoljebasert, noe som inneholder en vesentlig andel palmitinsyre. Hovedformålet med masteroppgaven var derfor å undersøke sammenhengen mellom innholdet av palmitinsyre og frie fettsyrer i melk, og i tillegg om en eventuell sammenheng kan relateres til fôringen av kyrne.

Denne masteroppgaven består av en teoretisk del og en eksperimentell del. Den teoretiske delen omhandler betydningen av fett i rasjonen til melkekyr. Litteraturdelen omhandler først oppbygging av fett, fett i fôr og fordøyelsen av hovednæringsstoffene i vom og tarm med spesielt vekt på fettfordøyelsen. Melk inneholder 3-5% fett og fettsyrene i melk består av både mettede- og umettede fettsyrer, der mettede fettsyrer dominerer og utgjør ca. 64% av totalt fett i melk. De tre kvantitativt viktigste fettsyrene i melk er palmitinsyre, stearinsyre og oljesyre. Sammensetningen av melk og melkefett gjennomgås i litteraturdelen, og i tillegg forhold ved fôret som påvirker melkefett. Fettsyrene som finnes i melk stammer fra *de novo* syntesen i juret og fettsyrer tilført juret via blodet. Melkefett er inkorporert i fettkuler som er omgitt av en kompleks membran som fungerer som beskyttelse mot lipolyse av fett i melk som kan bidra til smaksfeil. Dette omtales i litteraturdelen, etterfulgt av en gjennomgang av melkekvalitet og regelverket omkring kvalitetsparametere, inkludert melkens innhold av frie fettsyrer. Fôringen av melkekyr og flere andre faktorer som kan påvirke innholdet av frie fettsyrer i melk, vil gjennomgås til slutt i litteraturdelen. Litteraturdelen støtter en positiv sammenheng mellom innholdet av palmitinsyre og frie fettsyrer i melk, men sikker dokumentasjon mangler.

Den eksperimentelle delen omhandler en statistisk analyse for å undersøke om melkens innhold av frie fettsyrer har sammenheng med innholdet av mettede fettsyrer, monoumettede fettsyrer, polyumettede fettsyrer og umettede fettsyrer i melk, og i tillegg til enkeltfettsyrene palmitinsyre, stearinsyre og oljesyre i melk. Det ble også undersøkt om innholdet av frie fettsyrer har sammenheng med innholdet av fett, laktose, protein og urea i melk. Den statistiske analysen ble gjort på analyseresultatene av tankmelkprøver for årene 2015 og 2016 fra utvalgte besetninger som leverer melk til TINE Råvare. I tillegg ble det testet om det er sammenheng mellom melkens innhold av frie fettsyrer og data fra Kukontrollen over kraftfôrmengde og melkeavdrått.

Resultatet av den statistiske analysen for sammenhengen mellom innhold av palmitinsyre og frie fettsyrer i melk viste en positiv signifikant sammenheng ($P < 0,0001$), noe som bekreftet hypotesen i masteroppgaven. Det ble funnet negativ sammenheng mellom melkens innhold av mettet fett og frie fettsyrer ($P < 0,0001$), til tross for at melkens innhold av palmitinsyre økte ved økt innhold av frie fettsyrer. Mengde fettsyrer syntetisert *de novo* var dermed negativt korrelert til innholdet av frie fettsyrer i melk. Det kan ha sammenheng med fôring av kyrne, og det ble funnet positiv sammenheng mellom innhold av frie fettsyrer i melk og forbruk av kg kraftfôr pr. 100 kg EKM ($P < 0,0001$). En reduksjon av *de novo* syntetiserte fettsyrer vil vanligvis føre til lavere fettinnhold i melk, men i denne undersøkelsen økte fettinnholdet ved økt innhold av frie fettsyrer i melk ($P < 0,0001$). Melkens innhold av fett kan være påvirket av innholdet av palmitinsyre, da denne fettsyren kan bidra til økt fettinnhold i melk. Innholdet av umettede fettsyrer viste positiv sammenheng med innhold av frie fettsyrer i melk ($P < 0,0001$). Dette gjaldt også monoumettede fettsyrer ($P < 0,0001$). Økningen i innholdet av umettet fett er sannsynligvis sterkt påvirket av oljesyre som også viste positiv sammenheng med innholdet av frie fettsyrer i melk ($P < 0,0001$), da den er veldig viktig kvantitativt sett. Derimot ble det påvist en reduksjon av polyumettede fettsyrer ($P = 0,0002$) ved økt innhold av frie fettsyrer i melken, noe som indikerer at melkens innhold av polyumettede fettsyrer kan forebygge økt innhold av frie fettsyrer i melk.

Abstract

Nutritious milk from cattle has a central role in the daily diet of many Norwegians. Good milk quality is important to maintain milk consumption, and in addition, it is important for the milk farmer who receive payment according to the quality of milk. The milk quality is determined by several different quality parameters, and for the consumer, the smell and taste of the milk are of particular importance. The content of free fatty acids is analysed in milk, as increased lipolysis in milk results in the appearance of rancid flavours. Several factors can affect the content of free fatty acids in milk, including the feeding of the cows. Of the main nutrients in milk, the one most easily to affect by feeding is fat. Palmitic acid is quantitatively the most important of the fatty acids in milk and in addition, it often plays a central role in concentrates given to high-yielding cows. In order to maintain milk yield and fat content in milk in early lactation, supplementation of diets with fat is usual. The most commonly used dietary fat supplement today is palm oil based, which contain a substantial amount of palmitic acid. The main purpose of this master thesis was therefore to study the relationship between the content of palmitic acid and free fatty acids in milk, and in addition, evaluate whether any correlation can relate to the feeding of the cows.

This master's thesis consists of a theoretical part and an experimental part. The theoretical part deals with the significance of fat in the feed of dairy cows. The literature section reviews the structure of fat, fat in feed and the digestion of the main nutrients through the four-compartment stomach and the intestinal tract, with particular emphasis on fat digestion. Milk contains 3-5% fat and the fatty acids in milk consist of both saturated- and unsaturated fatty acids. Saturated fatty acids dominate in milk and account for about 64% of total fat. The three quantitatively most important fatty acids in milk are palmitic acid, stearic acid and oleic acid. The literature section reviews the composition of milk and milk fat, as well as aspects of the feed affecting milk fat. The fatty acids found in milk origins from the *de novo* fatty acid synthesis in the udder and fatty acids applied to the udder from the bloodstream. Milk fat is present as globules covered by a complex membrane, which acts as protection against lipolysis of milk fat that can result in rancid flavour in milk. The literature section reviews this, as well as milk quality and the regulations concerning quality parameters including milk's free fatty acid content. The feeding of the cows and several other factors, which can affect the content of free fatty acids in milk, are reviewed at the end of the literature section. The literature section supports a positive correlation between the content of palmitic acid and free fatty acids in milk, but reliable documentation is scarce.

The experimental section deals with a statistical analysis to determine if the content of free fatty acids in milk are correlated to the content of saturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids and the total of unsaturated fatty acids in milk, in addition to the single fatty acids palmitic acid, stearic acid and oleic acid in milk. The correlation between the milk's content of free fatty acids and the content of fat, lactose, protein and urea in milk were also determined. The statistical analysis were performed on analysis results of milk samples from selected milk farms, which were delivering milk to TINE Råvare in 2015 and 2016. In addition, the correlation between the content of free fatty acids in milk and data of the amount on concentrates and milk yield from Kukontrollen were tested.

The result of the statistical analysis of the relationship between the content of palmitic acid and free fatty acids in milk showed a positive significant relationship ($P < 0,0001$), which confirmed the hypothesis of this master's thesis. A negative relationship between the content of saturated fatty acids and free fatty acids were found ($P < 0,0001$), despite the fact that the milk's palmitic acid content increased as the content of free fatty acids increased. Thus, the amount of fatty acids synthesized *de novo* were negative correlated to the content of free fatty acids in milk. This may be related to the feeding of the cows, and a positive correlation were found between the content of free fatty acids in milk and the consumption of kg concentrates per 100 kg ECM ($P < 0,0001$). A reduction of fatty acids synthesized *de novo* usually results in lower fat content in milk, but in this study, the fat content increased as the content of free fatty acids increased in milk ($P < 0,0001$). The content of palmitic acid in milk may have affected the fat content in milk, as this fatty acid can influence an increase of fat content in milk. A positive correlation between the content of unsaturated fatty acids and free fatty acids were found ($P < 0,0001$). This also applied to monounsaturated fatty acids ($P < 0,0001$). The increase in the content of unsaturated fat is most likely by the influence of the content of oleic acid, as it is very important quantitatively. The results showed a positive correlation between the content of free fatty acid and oleic acid in milk ($P < 0,0001$). On the other hand, the results also showed a decrease of the content polyunsaturated fatty acids as the content of free fatty acids increased in milk ($P = 0,0002$). This indicates that the milk's content of polyunsaturated fatty acids can prevent an increase of free fatty acids in milk.

Innholdsfortegnelse

Forord	I
Sammendrag	III
Abstract	V
1.0 Innledning.....	1
2.0 Betydningen av fett i rasjonen til melkekyr	3
2.1 Fett og fettsyrer.....	3
2.2 Fett i fôr	5
2.2.1 Grovfôr.....	5
2.2.2 Kraftfôr	6
2.2.3 Tilsetning av fett	7
2.3 Fordøyelse av hovednæringsstoffene	9
2.3.1 Karbohydrat- og proteinfordøyelse i vom og tarm	9
2.3.2 Fettfordøyelse i vom	12
2.3.3 Fettfordøyelse i tarm og transport intermediært	14
2.4 Melk.....	15
2.4.1 Melkefett.....	16
2.4.2 Syntese av melkefett	17
2.4.3 Fettkulemembranen og lipolyse i melk.....	18
2.5 Forhold ved fôret som påvirker innhold og sammensetning av melkefett	20
2.6 Melke kvalitet	21
2.6.1 Lukt- og smaksfeil i leverandørmelk	21
2.6.2 Kvalitetsbetalingsregelverket ved TINE Råvare.....	22
2.7 Faktorer som påvirker innholdet av frie fettsyrer i melk.....	23
2.7.1 Laktasjonsstadium og tidspunkt for melking.....	24
2.7.2 Laktasjonsnummer	25
2.7.3 Helse	26

2.7.4 Fôring	27
3.0 Egen undersøkelse	31
3.1 Material og metode	31
3.1.1 Kriterier ved utvelgelse av besetninger	31
3.1.2 Beregninger	32
3.1.3 Statistiske analyser	32
3.2 Resultater	34
3.2.1 Oversikt over datamaterialet for hele laktasjonsperioden	34
3.2.2 Oversikt over datamaterialet for perioden 30-60 dager etter kalving	38
3.2.3 Sammenhengen mellom innhold av frie fettsyrer og innhold av fett, laktose, protein og urea i tankmelk	39
3.2.4 Sammenhengen mellom innhold av frie fettsyrer og fettsyresammensetningen i tankmelk	42
3.2.5 Sammenhengen mellom innhold av frie fettsyrer i tankmelk og opplysninger om kraftfôrmengde og melkeavdrått registrert i Kukontrollen	46
3.3 Diskusjon	51
4.0 Konklusjon	55
Litteraturliste	57

1.0 Innledning

Melk har en betydelig rolle i dagens kosthold for de fleste nordmenn, da den har et naturlig høyt innhold av flere viktige næringsstoffer som kroppen har behov for. Melk består først og fremst av vann, fett, melkesukker (laktose) og protein, men den er også en vesentlig kilde til mineralene kalsium, jod, magnesium og fosfor, og B-vitaminene riboflavin (B₂) og kobalamin (B₁₂) (Matvaretabellen, 2016). Ifølge Opplysningskontoret for Meieriprodukter (2016) hadde gjennomsnittsnordmannen i 2016 et årlig forbruk på omtrent 90 liter konsummelk, 20 kg ost, 11 kg yoghurt, 10 kg fløte, 7 kg rømme, og 3 kg smør.

For å opprettholde forbruket av melk på et høyt nivå, er god kvalitet på melken av avgjørende betydning. Som et redskap for å fremme produksjon av melk av god kvalitet, får leverandør betaling etter kvalitetsgraden av melken ved levering til TINE Råvare (TINE Råvare, 2017). Kvalitetskrav som inngår i regelverket er blant annet innholdet av fett og protein, celletall, frysepunkt og innhold av bakterier og frie fettsyrer. Alle kvalitetskrav er vesentlige for melkekvaliteten. For forbrukeren er det melkens lukt- og smaks kvalitet som er særlig viktig, da dette er egenskaper ved melk som de selv kan bedømme. I 1973 ble det innført lukt- og smaksbedømmelse av melk, og dette ble dermed ett av kriteriene ved kvalitetsbetalingen til leverandør (Bævre et al., 2000). Denne bedømmelsen av melk ble erstattet 1. januar 2004 med analyse for innholdet av frie fettsyrer (TINE, 2003). Innholdet av frie fettsyrer i melk uttrykker graden av fettspalting (lipolyse) av melkefett og har sammenheng med smaksfeilen besk/harsk smak (Whist et al., 2015). En rekke faktorer kan bidra til et forhøyet innhold av frie fettsyrer i melk, både forhold ved melkekyrne som blant annet laktasjonsstadium, fôring og helse, og tekniske forhold som blant annet melkesystem, transport og gårdstank. Vanligvis er det ikke en faktor alene som er årsaken til smaksfeil i melk, men flere faktorer som alle påvirker i et omfattende samspill.

Melk inneholder 3-5% fett og omkring 400 unike fettsyrer som bidrar til at melkefett har en svært kompleks fettsyresammensetningen (Jensen, 2002). Fettsyrene i melk består både av mettede- og umettede fettsyrer, der mettede fettsyrer dominerer og utgjør ca. 64% av totalt fett i melk (Berg, 2016). Av hovednæringsstoffene i melk er fett den komponenten som kan påvirkes i størst grad, og både innholdet av fett og fettsyresammensetningen i melk kan endres som følge av fôringen av melkekyrne (Sutton, 1989). Fettsyrene i melk stammer både fra *de novo* syntesen i juret (ca. 40%) og fettsyrer tilført juret via blodet (ca. 60%) (Karlengen, 2011). Fôringen kan derfor påvirke begge kildene til fettsyrer i melk, og fôrrasjonens sammensetning har av den grunn stor betydning for innhold og sammensetning av melkefett.

De tre kvantitativt viktigste fettsyrene i melk er palmitinsyre (C16:0), stearinsyre (C18:0) og oljesyre (C18:1). Palmitinsyre er den mest dominerende fettsyren og utgjør ca. 22-35% av melkefett (Harstad & Steinshamn, 2010). Palmitinsyre har derfor stor betydning for fettene i melk, og innholdet av palmitinsyre i melk er mulig å påvirke ved fôringen. Palmitinsyre i melk stammer delvis fra *de novo* syntesen i juret og tilførsel til juret via blodet.

I dag er det vanlig å bruke tilskudd av fett i kraftfôret til høytstående melkekyr. Palmitinsyre er ofte en sentral fettsyre i disse fetttilskuddene, da palmeoljebaserte produkter med høyt innhold av palmitinsyre (ca. 40 g/100 g) (Børsting et al., 2003) er det mest brukte fetttilskudd i kraftfôr i dag (Bakke, 2015). Bruk av slike fetttilskudd i kraftfôret kan derfor øke innholdet av palmitinsyre i melkefettet. Bruk av palmeoljebaserte produkter som fetttilskudd i kraftfôr har blitt mye kritisert i norsk media de siste årene, da produksjonen forårsaker nedhugging av regnskog for å plante oljepalmer (Jørgensen, 2012). Det er derfor av flere årsaker interessant å undersøke om det er en sammenheng mellom den omdiskuterte mettede fettsyren og innholdet av frie fettsyrer i melk.

Hovedformålet med denne oppgaven er å undersøke sammenhengen mellom innholdet av palmitinsyre og frie fettsyrer i melk, og om en eventuell slik sammenheng kan relateres til fôringen. Oppgaven består av en litteraturoversikt og en egen undersøkelse. Litteraturoversikten omhandler relevant litteratur i forhold til undersøkelsen i denne oppgaven. I litteraturoversikten blir det pekt på at forhøyet innhold av frie fettsyrer i melk kan ha sammenheng med høy andel av palmitinsyre i melkefettet, men dette er ikke godt dokumentert. Den eksperimentelle delen består av en statistisk analyse av sammenhengen mellom innholdet av frie fettsyrer i melk og melkens fettsyresammensetning og innhold av hovednæringsstoffer i tankmelkprøver fra utvalgte besetninger i Norge. Dette ble gjort for å kunne bekrefte eller avkrefte følgende hypotese:

- Det er en positiv sammenheng mellom innholdet av palmitinsyre og frie fettsyrer i melk.

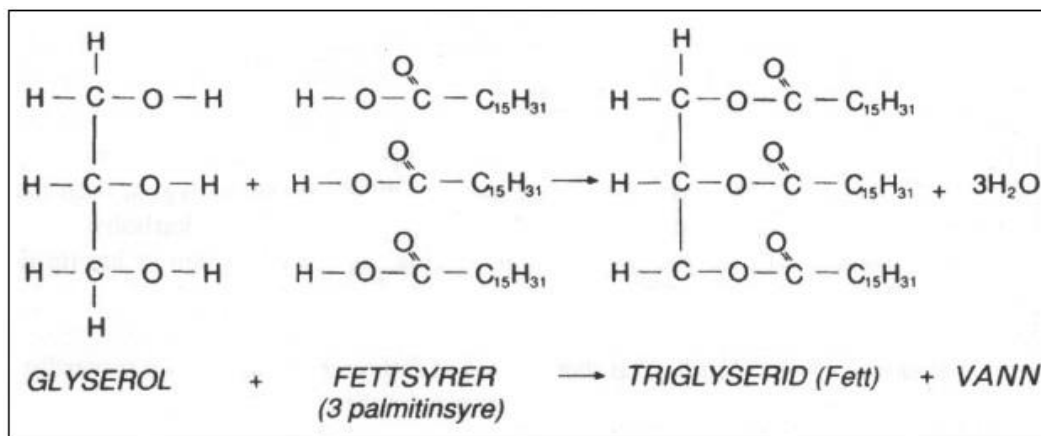
2.0 Betydningen av fett i rasjonen til melkekyr

2.1 Fett og fettsyrer

Lipider, som er et samlebegrep for fett og andre fettholdige forbindelser, er en gruppe upolare organiske stoffer som finnes både i planter og i dyr. Lipider inngår blant annet som komponenter i biologiske membraner, substratbærere i enzymatiske reaksjoner, elektronbærere og er en spesielt viktig kilde til lagret energi (McDonald et al., 2011).

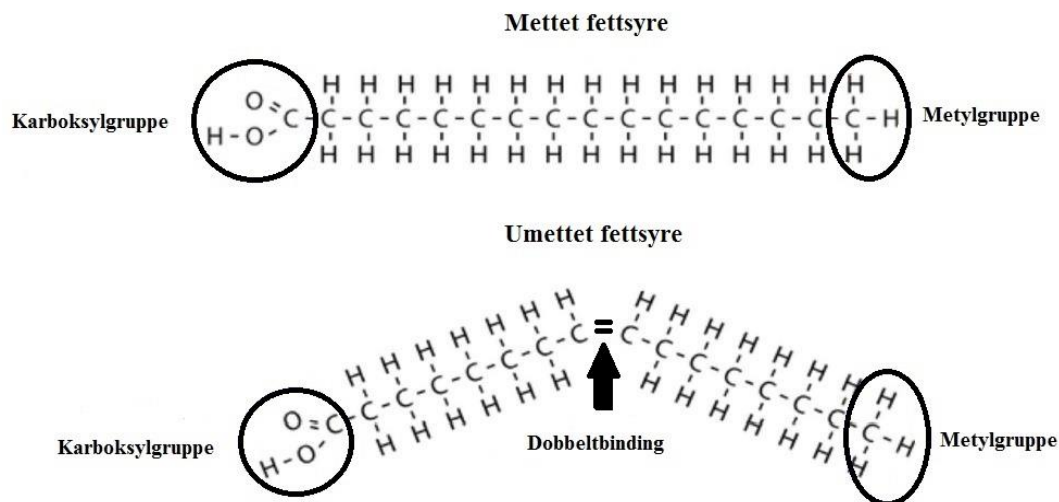
Fettmolekylene er dyrekroppens minste makromolekyler (Sjaastad et al., 2010), og de inneholder grunnstoffene hydrogen, oksygen og karbon. Ved dannelse av fettmolekyler bindes det vanligvis fettsyrer på alkoholen glyserol med esterbinding, men glyserol kan også være erstattet med andre stoffer i enkelte typer fett. Glyserol har tre hydroksylgrupper, og dersom tre fettsyrer bindes dannes et triglyserid, se figur 1. I dyrekroppen lagres fett i form av triglyserid i fettvev, og det finnes også store mengder triglyserider i fôr. Glyserol er en felles bestanddel for triglyserider, mens sammensetningen av fettsyrene i et triglyserid kan variere. Et triglyserid kan både inneholde tre like fettsyrer og tre ulike fettsyrer (Sjaastad et al., 2010). En karboksylgruppe (-COOH) i den ene enden og en metylgruppe (CH₃) i den andre enden er felles for alle typer fettsyrer, slik som vist i figur 2.

En fettsyre består av en kjede av både karbon og hydrogen. Den kan inneholde alt fra 4 til 24 karbonatomer, og antall karbonatomer i kjeden avgjør om det er en kort-, mellomlang- eller lang fettsyre. Metningsgraden er bestemt av antall hydrogenatomer i kjeden, da en fettsyre kan inneholde både enkeltbindinger og dobbeltbindinger. Mettede fettsyrer inneholder bare enkeltbindinger mellom karbonatomene i kjeden, mens umettede fettsyrer inneholder også dobbeltbindinger i karbonkjeden (McDonald et al., 2011), se figur 2.



Figur 1: Glyserol og tre fettsyrer danner et triglyserid (Gjefsen, 2007).

Umettede fettsyrer inneholder dobbeltbinding en eller flere steder i kjeden. Fettsyrer som bare inneholder en dobbeltbinding kalles enumettede-/monoumettede fettsyrer, mens fettsyrer med flere dobbeltbindinger kalles flerumettede-/polyumettede fettsyrer. De kjemiske og fysiske egenskapene til fett avhenger av fettsyrenes lengde og metningsgrad. Lange, umettede fettsyrer vil ha lavere smeltepunkt enn mettede fettsyrer (McDonald et al., 2011).



Figur 2: Enkel fremstilling av mettet- og umettet fettsyre (Washington, 2014).

Umettede fettsyrer kan foreligge enten som cis- eller transfettsyre. Den isomere formen der hydrogenatomene i kjeden er orientert på samme side av dobbeltbindingen kalles cis-form, mens trans-form vil forekomme dersom hydrogenatomene er plassert på motsatt side av hverandre i dobbeltbindingen. Mesteparten av fettsyrene som forekommer naturlig, finnes på cis-formen (McDonald et al., 2011). Imidlertid er transfettsyrer karakteristisk for melk fra storfe, da de kan dannes under hydrogeneringen av umettede fettsyrer i vomma. Dette er videre omtalt i kapittel 2.3.

Det er enkelte fettsyrer som dyret ikke kan syntetisere selv og derfor må få tilført gjennom fôret. Disse kalles essensielle fettsyrer, og de er livsnødvendige for at dyrekroppen skal fungere optimalt. Omega-6 fettsyren linolsyre (C18:2, n-6) og omega-3 fettsyren linolensyre (C18:3, n-3), som er navngitt etter posisjonen til dobbeltbindingen nærmest omega-enden, er de to viktigste essensielle fettsyrene. Ved tilførsel av disse gjennom fôret kan de omdannes videre til andre fettsyrer dyrekroppen har behov for. Dette gjelder for eksempel arakidonsyre som kan fremstilles fra linolsyre (McDonald et al., 2011).

2.2 Fett i fôr

Fôrrasjonen til melkekyr består både av grovfôr og kraftfôr. Grovfôr er et viktig grunnlag ved fôring av melkekyr her til lands, og hoveddelen av fôrrasjonen i melkeproduksjonen består av gras og grasprodukter. Imidlertid er kraftfôr, med sitt konsentrerte næringsinnhold, også en meget viktig del av fôrrasjonen til melkekyr. Kraftfôr er et nødvendig supplement til grovfôr for å kunne dekke næringsbehovet til dagens høyt ytende kyr, spesielt i tidlig laktasjon, og på samme tid kunne utnytte melkekyrnes maksimale ytelsespotensial.

Fettfraksjonen i en fôrrasjon til melkekyr inneholder i hovedsak triglyserider og glykolipider. I kraftfôr finnes fett hovedsakelig i form av triglyserider. Derimot finnes fett i grovfôr også delvis i form av glykolipider, fortrinnsvis galaktolipider, som vil si at en av tre fettsyrer er blitt erstattet med disakkaridet galaktose (Shingfield & Garnsworthy, 2012). Fettfraksjonen inneholder i tillegg små mengder fosfolipider som er en viktig del av plantenes cellemembran (Børsting et al., 2003).

Det er normalt et relativt lavt innhold av fett (<50 g/kg TS) i en fôrrasjon til drøvtyggere (Shingfield & Garnsworthy, 2012). Store mengder fett i rasjonen kan påvirke den mikrobielle omsetningen i vomma negativt. En stor andel av fett i fôr er umettet, og det er spesielt disse fettsyrene som kan virke toksisk på mikroorganismene i vom (Børsting et al., 2003).

Fettinnholdet i totalrasjonen til drøvtyggere burde derfor ikke være mer enn ca. 5% (Skrede & Ahlstrøm, 2015). Til tross for det lave innholdet er fett en viktig del av fôrrasjonen, da det er den mest konsentrerte energikilden, samtidig som fôrfett bidrar med om lag 50% av fett i melk (Wattiaux & Grummer, 2000).

2.2.1 Grovfôr

Innen kategorien grovfôr dominerer surfôr i melkeproduksjonen. Fettinnholdet i surfôr er forholdsvis stabilt sammenlignet med de andre næringsstoffene, men det varierer noe som følge av botanisk sammensetning og grasets utviklingsstadium (Harstad, 2011).

Tabell 1 viser fettinnhold og fettsyresammensetningen til enkelte grasarter og kløver som ofte brukes i grovfôr til drøvtyggere her til lands. Som tabellen viser utgjør umettede fettsyrer en betydelig andel av fettsyrene med linolensyre (C18:3, n-3) som den dominerende. I tillegg viser tabellen et reduserende innhold av fett som følge av økt utviklingstrinn for timotei. Engsvingel, engrapp, engkvein og hundregas er andre plantesorter som er ofte benyttet i grovfôret.

Tabell 1: Innhold av fett (g fettsyrer pr. kg TS) og fettsyresammensetning (g/100 g fettsyrer) i timotei, raigras, hvitkløver og rødkløver (Harstad & Steinshamn, 2010).

	Fett	12:0	14:0	16:0	16:1	18:0	18:1	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.

2.2.2 Kraftfôr

Kraftfôr brukes som supplement til grovfôr i melkeproduksjonen, og ved høy melkeytelse kan kraftfôrandelen av fôrrasjonen bli stor. Ifølge Kukontrollen (2013) utgjør kraftfôr 43,4% av rasjonen på energibasis.

I Norge er det normalt å omsette kraftfôrblandinger, noe som vil si en komplett blanding av en eller flere råvarer som er tilpasset behovet til en bestemt dyreart og produksjon. Den største andelen av kraftfôrblendingen består av korn og kornprodukter. I tillegg inneholder disse blandingene fett, vitaminer, mineraler, proteinfôrmidler og flere forskjellige tilsetningsstoffer (Skrede & Ahlstrøm, 2015).

De vanligste kornsortene som blir dyrket her i landet er bygg, havre, hvete og rug. Bygg og havre er de to kornsortene som utgjør hoveddelen av kraftfôrblendingene som produseres i Norge, se tabell 2. Innholdet av fett vil variere mellom kraftfôrblandinger, da fôrmidlene som inngår i blandingene kan ha vesentlige forskjeller i fettinnhold. Korn inneholder vanligvis omkring 1-6% fett på tørrstoffbasis (Harstad & Steinshamn, 2010), der de umettede fettsyrene linolsyre (C18:2, n-6) og oljesyre (C18:1) i hovedsak dominerer (Harstad et al., 2000). I tillegg er det vanlig å tilsette ekstra fett i kraftfôret, noe som er omtalt i neste kapittel.

Tabell 2: Innhold av fett (g fettsyrer pr. kg TS) og fettsyresammensetning (g/100 g fettsyrer) i havre, bygg og raps (Harstad & Steinshamn, 2010).

	Fett	12:0	14:0	16:0	16:1	18:0	18:1	18:2, n-6	18:3, n-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

2.2.3 Tilsetning av fett

Korn og kornproduktene i kraftfôr har et naturlig innhold av fett, men i dag er det også vanlig å tilsette ekstra fett i kraftfôret. Tilsetning av fett foretas for å heve energiinnholdet i fôret og dermed kunne dekke energibehovet til høytstående melkekyr (Hermansen et al., 2003). Et høyt energiinnhold gjør fett til en god energikilde, og det inneholder også essensielle fettsyrer og fettløselig vitamin som dyret må få tilført gjennom fôret. Dessuten er fett en billig kilde til energi, som i tillegg kan gi en god smak på fôret (Skrede & Ahlstrøm, 2015). Ulike typer tilskuddsfett i kraftfôr kan derfor bidra til å kunne utnytte kyrenes maksimale ytelsespotensial, og i tillegg ha en påvirkning på fettinnholdet i melk. Imidlertid er dette avhengig av både mengden og sammensetningen av typen tilskuddsfett.

Det finnes flere typer tilskuddsfett, og i dag er det særlig tilsetningsfett som inneholder de vegetabiliske oljene rapsolje og palmeolje som har en sentral rolle. Karakteristisk for rapsolje er en høy andel av den monoumettede fettsyren oljesyre (C18:1), mens i palmeolje er det en høy andel av den mettede fettsyren palmitinsyre (C16:0), se tabell 3. Både mengden og sammensetningen av fettkilden som benyttes i kraftfôret, har en vesentlig innflytelse på den mikrobielle omsetningen i vom, som videre har innflytelse på mengden og sammensetningen av fett i melk. Store mengder fett i fôret, spesielt umettet fett, kan ha en negativ effekt på den mikrobielle omsetningen i vomma. Mye umettet fôrfett vil ha en toksisk virkning på mikroorganismene og kan påvirke produksjonen av flyktige fettsyrer. Toksisiteten vil stige ved stigende umetthet av fett (Børsting et al., 2003). Mindre substrat i form av eddik- og smørsyre til fettsyntesen i juret kan gi redusert fettprosent i melk. Dette er mer omtalt i kapittel 2.3 og 2.5.

Mettet fett påvirker ikke den mikrobielle omsetningen i vom på samme måte som umettet fett, og mettede fettsyrer fungerer godt som fetttilskudd i fôret til melkekyr (Børsting et al., 2003). Palmitinsyre blir effektivt overført til melkefett (Hermansen et al., 2003), og det er spesielt denne fettsyren som har vist seg å bidra til en økt fettprosent i melk (Felleskjøpet, 2014). Ved høy melkeavdrått i tidlig laktasjon er derfor fôrfett med palmeolje gunstig for å opprettholde fettinnholdet i melk.

Fôrfett med palmeolje vil påvirke fettsyresammensetningen i melk med en høyere andel mettede fettsyrer, mens fôrfett med rapsolje vil derimot gi en høyere andel umettede fettsyrer i melk (Hermansen et al., 2003). Ved tanke på human konsum er en høyere andel umettet fett i melk ønskelig, da mettet fett anses å ha en mer negativ helseeffekt og kan bidra til blant annet hjertesykdommer og fedme (Haug et al., 2007). Det finnes forskjellige metoder for å beskytte

umettet fett mot hydrolyse og hydrogenering i vom, noe som på den måten fører til at fettene passerer uforandret gjennom vomma og overføres til melk som umettet fett (Skrede & Ahlstrøm, 2015). På den måten kan det gis en større andel fett uten negativ påvirkning på omsetningen i vom. Kalsiumforsåpning er en metode som ofte brukes, der kalsium blir festet på karboksylgruppen på fettsyren. Det medfører at fettene unngår hydrolyse og hydrogenering i vom og fordøyes i tynntarm (Børsting et al., 2003).

Tabell 3: Innhold av fett (%) og fettsyresammensetning (g/100 g fettsyrer) i palmeolje og rapsolje (Børsting et al., 2003).

	Fett	12:0	14:0	16:0	18:0	18:1	18:2, n-6	18:3, n-3
Palmeolje	100	-	1,4	40,1	5,5	42,7	10,3	-
Rapsolje	100	-	-	4,4	1,4	54,3	19,5	11,4

Kritikk mot bruk av palmeolje i fôr

I dag er det palmeolje som er mest brukt som tilskuddsfett i kraftfôr (Bakke, 2015). Bruk av palmeolje i kraftfôr er omstridt og har blitt mye kritisert de siste årene i mediene. Det er en høy etterspørsel etter den billige oljen over hele verden, noe som medfører en stadig utvidelse av oljeplantasjene. Konsekvensen av dette er nedhugging av store områder med regnskog for å plante oljepalmer (Jørgensen, 2012). Imidlertid er palmeoljeproduksjonen arealeffektiv, og 10 dekar gir om lag 3,7 tonn olje per år. Tilsvarende mengde raps-, solsikke- eller soyaolje behøver 7-10 ganger mer areal (Felleskjøpet, 2014).

Ifølge Norges største kraftfôrleverandør, Felleskjøpet (2014), har palmeolje blitt erstattet i flere av deres kraftfôrblandinger. Imidlertid tilsettes det palmeolje i noen enkelte kraftfôrblandinger fortsatt, og da fortrinnsvis i kraftfôr rettet mot høytstående melkekyr. Det arbeides med å finne bærekraftige alternativer til palmeolje i dag, men det er en utfordring å finne et alternativ som har tilsvarende positiv effekt på melkeytelse og fettprosent i melk. Redusert melkeytelse og fettprosent i melk vil føre til negative økonomiske konsekvenser for bonden (Felleskjøpet, 2014). Det opplyses også på nettsiden til Felleskjøpet (2014) om et målrettet arbeid mellom den norske fôrbransjen og TINE for å redusere bruken av fôrfett basert på palmeolje i kraftfôr til drøvtyggere. Et resultat av dette har ført til en felles standard som kraftfôrbransjen i Norge må følge, der det er fastsatt en øvre grense av fôrfett basert på palmeolje på 3 prosent. I tillegg informeres det om bruk av mest mulig bærekraftig palmeolje, og palmeoljen som benyttes må derfor oppfylle kriteriene som er satt i henhold til RSPO (Roundtable on Sustainable Palm Oil).

2.3 Fordøyelse av hovednæringsstoffene

I fordøyelseskanalen foregår det en omfattende nedbrytning og omsetning av næringsstoffene. I dette kapittelet vil det bli lagt mest vekt på fordøyelse av fett, men en kort gjennomgang av fordøyelse av karbohydrater og protein vil også bli tatt med, ettersom disse næringsstoffene også har en vesentlig betydning for melkefett.

2.3.1 Karbohydrat- og proteinfordøyelse i vom og tarm

En omfattende mikrobiell omsetning av næringsstoffene fra fôret finner sted i drøvtyggerens vom. Mikroorganismene utnytter næringsstoffene til sitt eget vedlikehold og sin egen vekst, som videre resulterer i næringsrike mikrober og viktige sluttprodukter som drøvtyggeren selv kan benytte.

Karbohydrat

Karbohydratene er den viktigste energikilden til mikroorganismene i vomma, ettersom karbohydratene utgjør en svært stor del av fôret. Typisk utgjør karbohydratene om lag 75% av det organiske stoffet i en fôrrasjon til drøvtyggere (Weisbjerg et al., 2003).

I fôret finnes det forskjellige typer karbohydrater, der enkelte karbohydrater er mer lettomsattelig enn andre karbohydrater. Mono-, di- og oligosakkarider og polysakkaridet stivelse nedbrytes og fermenteres rimelig raskt og tilnærmet fullstendig i vom. I tynntarmen er det begrenset enzymatisk kapasitet for visse disakkarider som for eksempel sukrose, men da det er relativt lite av disse karbohydratene som passerer ufordøyd videre til tynntarmen, er det stort sett uproblematisk. Disse karbohydratene, i all hovedsak stivelse, utgjør først og fremst en vesentlig del av kraftfôret. I motsetning utgjør polysakkaridene cellulose og hemicellulose en betydelig andel av grovfôret, og disse karbohydratene har normalt en lavere fordøyelighet i vom. Det er kun mulig å utnytte disse mer tungtfordøyelige karbohydratene fra grovfôret ved hjelp av den mikrobielle fermenteringa som hovedsakelig finner sted i vom, da drøvtyggerens egne enzymer ikke har evne til å fordøye disse polysakkaridene (Weisbjerg et al., 2003).

Sentrale sluttprodukter fra mikroorganismenes nedbrytning og omsetning av karbohydratene er flyktige fettsyrer, karbondioksid og metan. De flyktige fettsyrene utgjør omtrent tre firedeler av energien drøvtyggeren benytter (McDonald et al., 2011). Gassene karbondioksid og metan betraktes som avfallsstoff, og gassen metan representerer et energitap for dyret. Propionsyre, eddiksyre og smørsyre utgjør til sammen >95% av de flyktige fettsyrene, der eddiksyre er den mest dominerende (Wattiaux & Armentano, 2000). Forholdet mellom de

flyktige fettsyrene i vom kan imidlertid endres som følge av fôring. Andelen eddiksyre, som utgjør 50-70% av den molare konsentrasjonen i vom (Kristensen et al., 2003), kan reduseres som følge av mer lettomssettelige karbohydrater i fôret. Økt kraftfôrandel kan forårsake lavere pH-verdi i vom, noe som begrenser de cellulolytiske bakteriene og resulterer i mindre andel eddiksyre. De amylolytiske bakteriene er mer motstandsdyktige mot surere vommiljø som resulterer i en større andel propionsyre. Andelen propionsyre utgjør 15-40% av den molare konsentrasjonen, mens andelen smørsyre utgjør 5-20% av den molare konsentrasjonen (Kristensen et al., 2003).

Mesteparten av de flyktige fettsyrene absorberes gjennom vomveggen og transporteres med blodet til leveren for videre omsetning, mens en mindre andel på omkring 10-20% vil fortsette videre til løpen og deretter absorberes i tynntarmen (McDonald et al., 2011). En mindre andel propionsyre blir omdannet til laktat (melkesyre) i vomveggen ved absorpsjon, men storparten av propionsyren blir direkte transportert til leveren og omdannet til glukose. Laktat blir også transportert til leveren og omdannet til glukose (Sjaastad et al., 2010). Glukose har flere viktige roller i dyrekroppen, der den blant annet har en sentral rolle i melkesyntesen i juret. Glukose benyttes i dannelsen av laktose (melkesukker), og i tillegg er glukose et viktig substrat for syntesen av glyserol som trengs i dannelsen av triglyserider i melkefett. Smørsyre blir omdannet til β -hydroksysmørsyre ved passasje gjennom vomveggen og sammen med eddiksyre benyttes de begge i *de novo* syntesen av fettsyrer i juret (Hermansen et al., 2003). Under fermentering av karbohydrater i vom blir det også produsert tilgjengelig energi (ATP) som mikrobenes benytter i sine synteseprosesser. Enkel oversikt over hovedtrekkene i karbohydratfordøyelsen er vist i figur 3.

Protein

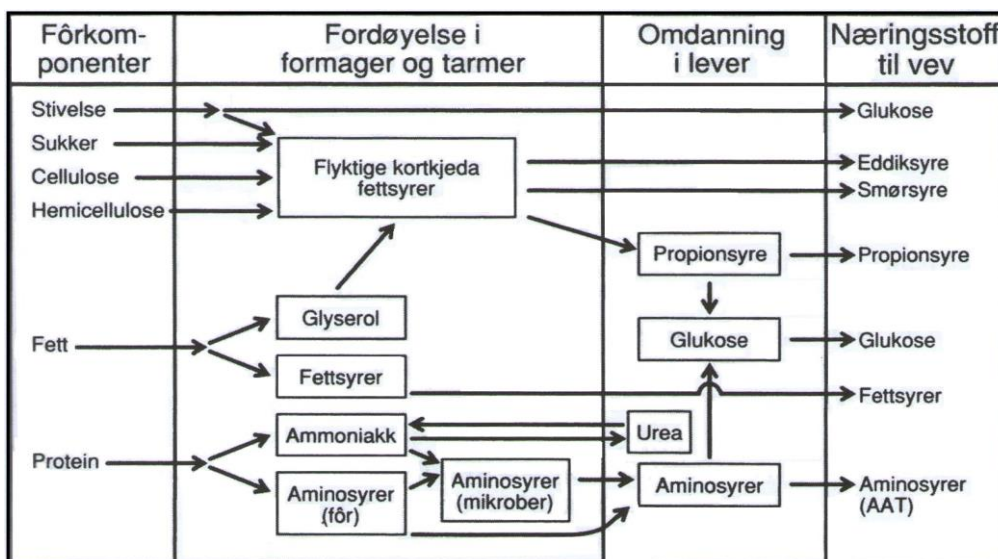
Hovedandelen av fôrproteinet blir brutt ned i vomma, mens den resterende andelen passerer direkte til løpen og videre til tarmen. I vomma nedbrytes fôrproteinet til aminosyrer og peptider av enzymer som mikroorganismene skiller ut. Aminosyrer blir transportert inn i mikroorganismene og blir der videre nedbrutt til ammoniakk, organiske syrer og karbondioksid (McDonald et al., 2011). I tillegg inneholder fôret ikke-protein nitrogen (NPN) som bidrar til mikroorganismenes forsyning av ammoniakk (Hvelplund et al., 2003).

Mikroorganismene i vomma har evne til å syntetisere eget kroppsprotein, der de benytter tilgjengelig energi hovedsakelig fra karbohydratnedbrytninga og tilgjengelig ammoniakk til mikrobiell vekst (Hvelplund et al., 2003). Mikrobenes inneholder først og fremst protein i

tørrstoffet, ca. 45-50%, men inneholder også fett, ribonukleinsyre (RNA), karbohydrat og aske (Kristensen et al., 2003). Proteinmengden som passerer til tynntarmen og fordøyes der, vil i hovedsak være en blanding av unedbrutt fôrprotein og mikrobielt protein. Mikrobeprotein kan utgjøre 60-90% av aminosyrene absorbert fra tarm (AAT) (Volden, 2009). I tillegg vil en liten andel være endogent protein. Endogent protein tilføres gjennom hele fordøyelseskanalen, som for eksempel fordøyelsesenzymer eller avslitte celler, og det endogene proteinet er derfor ikke et resultat av fordøyelse (Hvelplund et al., 2003).

I hovedsak har mikroorganismene i vomma evne til å syntetisere alle nødvendige aminosyrer, men for å kunne dekke behovet til høytstående kyr er protein fra fôret viktig. Effektiviteten av den mikrobielle proteinsyntese i vom er fortrinnsvis avhengig av tilgjengelig energi og tilgjengelig nitrogenforbindelser. Den mikrobielle syntese vil begrenses ved mangel på energi og/eller nitrogen. Imidlertid foregår det en resirkulering av nitrogen til vomma, og dermed kan en manglende nitrogenforsyning til mikrobene i vomma til en viss grad dekkes av resirkulert nitrogen (Hvelplund et al., 2003).

Videre fordøyelse etter vomma starter i løpen, der det proteinsplaltende enzymet pepsin gir opphav til store peptider og i noen grad frie aminosyrer. I tynntarmen tilføres det enzymer fra bukspytt og tarmveggen som resulterer i små peptider og aminosyrer. Disse absorberes gjennom tarmveggen og inn i epitelcellene. Peptidene spaltes her til aminosyrer, og aminosyrene overføres til blodet ved aktiv transport (Hvelplund et al., 2003). Aminosyrer ført til juret via blod inngår i syntesen av melkeprotein. Enkel oversikt over hovedtrekkene i proteinfordøyelsen er vist i figur 3.



Figur 3: Enkel oversikt over hovedtrekkene ved fordøyelse av hovednæringsstoffene (Gjefsen, 2007).

2.3.2 Fettfordøyelse i vom

For fôrfettet er det tre vesentlige prosesser som finner sted i vomma - lipolyse (hydrolyse), hydrogenering av umettede fettsyrer og syntese av mikrobielt fett.

Lipolyse/hydrolyse

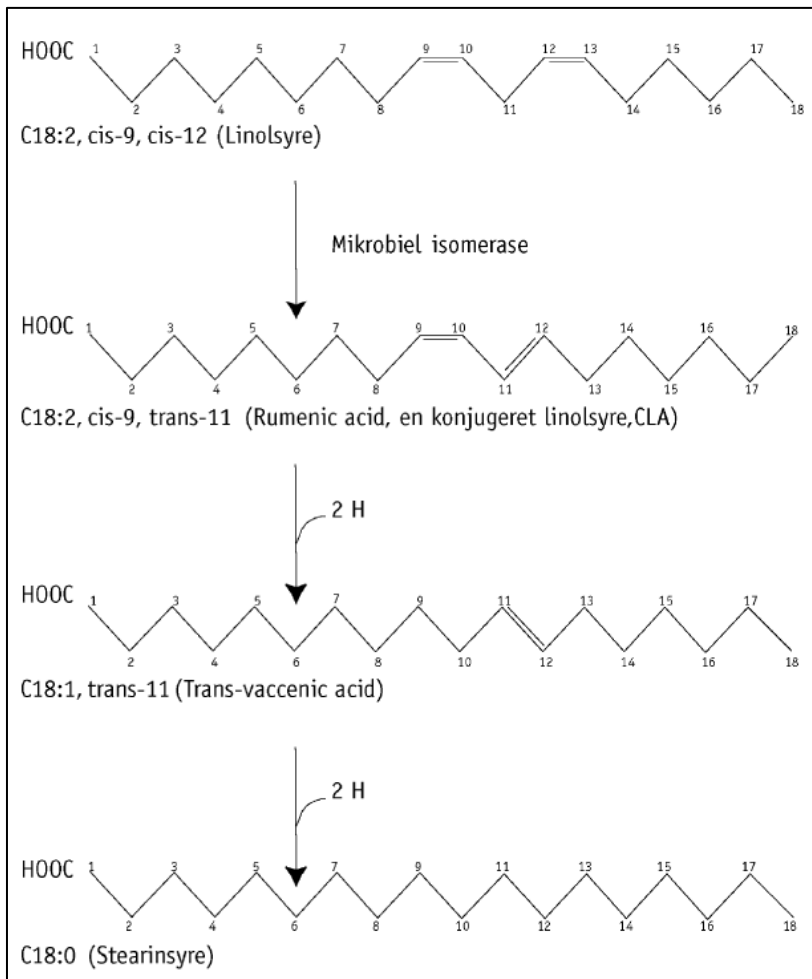
Ved hydrolyse, som er det første som skjer idet fett ankommer vomma, spaltes triglyseridene til glyserol og frie fettsyrer, mens galaktolipidene spaltes til glyserol, frie fettsyrer og galaktose (McDonald et al., 2011). Fettsyrer fermenteres ikke i vomma, men det skjer en fermentering av glyserol og galaktose til kortkjedede flyktige fettsyrer. Dette er en hurtig spaltningsprosess, og den skjer ved hjelp av enkelte enzymer som i hovedsak er av mikrobiell opprinnelse, som lipaser, galaktosidaser og fosfolipaser (Børsting et al., 2003). Graden av hydrolyse er normalt mer enn 85%. Imidlertid kan både graden og hastigheten av hydrolyse påvirkes av blant annet fôrets sammensetning og surhetsgraden i vom (Shingfield & Garnsworthy, 2012). For eksempel vil en fôrrasjon rik på stivelse føre til lav pH i vom, noe som følgelig kan begrense hydrolysen av fôrfettet (Chilliard et al., 2007).

Hydrogenering

Mesteparten av de frie fettsyrene som dannes etter hydrolysen binder seg til overflaten av andre fôrpartikler, der størstparten av de umettede fettsyrene vil etterfølgende gjennomgå en hydrogenering, mens en mindre andel av de frie fettsyrene bli tatt opp av mikrobene for å inngå i mikrobielt fett (Børsting et al., 2003). Hydrogenering av umettede fettsyrer innebærer at mikrobene bryter dobbeltbindingene og tilfører hydrogenatomer, slik at en umettet fettsyre blir omdannet til en mettet fettsyre (Wattiaux & Grummer, 2000). Graden av hydrogenering i vom er høy, og mikrobenes kapasitet er blitt estimert til å være fra 60-90% (Grummer, 1991). I en fôrrasjon er det mye umettede C18 fettsyrer, som oljesyre (C18:1) og linolsyre (C18:2), og ved hydrogenering vil disse normalt bli omdannet til den mettede fettsyren stearinsyre (C18:0) (Sjaastad et al., 2010).

Imidlertid er det ikke alltid hydrogenering av umettede fettsyrer blir fullstendig gjennomført, og som følge oppstår det transfettsyrer som i neste omgang avleires i produktene, og er et typisk kjennetegn på melkefett fra kyr. Det er flere typer isomerer som kan bli dannet ved ufullstendig hydrogenering i vom, men hvilke som dannes avhenger av fettsyren og hvor den er i selve hydrogeneringsprosessen (Børsting et al., 2003). Et kjent eksempel er konjugert linolsyre (CLA) som er et samlebegrep for isomerer av linolsyre med dobbeltbinding i

transposisjon. Hele 82% av totalmengden av CLA består av C18:2 cis-9, trans 11, som utgjør den kvantitativt viktigste isomeren av linolsyre (Harstad et al., 2000). En enkel illustrasjon av hydrogenering av linolsyre i vom er vist i figur 4.



Figur 4: Enkel illustrasjon av hydrogenering av linolsyre i vom (Børsting et al., 2003).

Syntese av mikrobielt fett

Mikroorganismene i vomma tar opp fettsyrer som har gjennomgått hydrogenering for å inkludere det i sitt eget «kroppsfett». Ca. 70% av det mikrobielle fettet består av mettede fettsyrer (Harstad & Steinshamn, 2010). Dessuten kan mikroorganismene selv danne fettsyrer, men det foregår bare i et begrenset omfang. Disse mikrobielle fettsyrene er kjent for dets innhold av forgrenede fettsyrer (Børsting et al., 2003). Et annet kjennetegn ved mikrobielt fett er fettsyrer med oddetall karbonatomer, som for eksempel pentadecansyre (C15:0). Eksempelvis vil fettsyntese i vom med propionsyre som forløper, som består av tre karbonatomer, gi opphav til en oddetallsfettsyre. Både oddetallsfettsyrer og forgrenede fettsyrer er karakteristisk for fettet i melk til kyr (Harstad & Steinshamn, 2010).

2.3.3 Fettfordøyelse i tarm og transport intermediært

I tynntarmen utskilles det gallesalter fra leveren og bukspytt fra bukspyttkjertelen som inneholder essensielle stoffer for nedbrytning og absorpsjon av fettforbindelser i tynntarmen. Fettet som kommer fra vomma, består hovedsakelig av mettede frie fettsyrer, der omtrent 2/3 er stearinsyre (C18:0) og omtrent 1/3 er palmitinsyre (C16:0) (Harstad & Steinshamn, 2010). Lipaser utskilles fra bukspyttkjertelen, og det bidrar til hydrolyse av triglyserider, glykolipider og fosfolipider som har passert vomma unedbrutt (Børsting et al., 2003). Leveren utskiller gallesalter som er vesentlige for emulgering av fett, noe som vil si at størrelsen på fettkulene reduseres. Dette vil videre gi en mer effektiv nedbrytning av fett. En mindre andel triglyserider kan passere vomma uten å bli hydrolysert. Fettspaltingen av triglyserider i tynntarmen kan være ufullstendig og dermed gir opphav til monoglyserider (Sjaastad et al., 2010). Sammenlignet med vomma er forholdene i tynntarmen mer basiske. Lipasene er mest aktive i den midterste delen av tynntarmen (jejunum), og her foregår det også størst absorpsjon av fett (Børsting et al., 2003).

Utskilte sekreter til tarmlumen er vesentlige for absorpsjonen av fett, og da først og fremst gallesalter som bidrar til å danne et kompleks kalt micelle. Micellene er vannløselig og fungerer som transportør for fett som er tilnærmet uløselig i vann (Sjaastad et al., 2010). For absorpsjon av fett må det passere en smal vannoverflate på tarmcellens vegger som ytterligere er bygget opp av membraner bestående av fosfolipider. Ved hjelp av micellene er det mulig for fettsyrer og andre fettoppløselige stoffer å passere vannoverflaten når det er inkorporert i miceller. Idet micellen er i kontakt med tarmcellens cellemembran, kan fett diffundere passivt fra micellen, gjennom cellemembranen og til slutt inn i tarmcellen (Børsting et al., 2003).

Inne i tarmcellen foregår det re-esterifisering av monoglyserider og frie fettsyrer til triglyserider. Nødvendig glyserol blir syntetisert i tarmcellene fra glukose. Fettsyrer som inneholder flere enn 14 karbonatomer må gjennomgå re-esterifisering til triglyserider innen de kan forlate tarmcellen. Derimot kan fettsyrer som har 12 eller færre karbonatomer og en andel av fettsyrene med 14 karbonatomer, diffundere direkte over i blodet som frie fettsyrer som følge av deres oppløselighet i vann (Børsting et al., 2003). Triglyseridene vil også forlate tarmcellene, men først innebygges de i kylomikroner som etterfølgende kan dekket med protein. Dette resulterer i lipoproteiner med en vannløselig ende som gjør det mulig å transportere kylomikronene både i blodet og lymfen (Sjaastad et al., 2010).

2.4 Melk

Melk fra storfe er en biokjemisk kompleks væske som hovedsakelig består av vann, men også av et næringsrikt tørrstoff. Hovednæringsstoffene i melkens tørrstoff er fett, protein og laktose, og i tillegg inneholder melk små mengder vesentlige vitaminer og mineraler. I tabell 4 er næringsinnholdet per 100 g melk oppgitt, ifølge Matvaretabellen (2016).

Tabell 4: Viktige næringsstoffer i melk (per 100 g) (Matvaretabellen, 2016).

Næringsstoffer i melk	
Vann	87 g
Fett	3,9 g
Protein	3,3 g
Laktose	4,6 g
Kalsium	120 mg
Magnesium	13 mg
Jod	11 µg
Fosfor	97 mg
Vitamin B ₂ (riboflavin)	0,15 mg
Vitamin B ₁₂ (kobalamin)	0,6 µg

Den kjemiske sammensetningen av melk er forholdsvis stabil, men den kan variere avhengig av flere faktorer som blant annet årstid, rase, laktasjonsnummer, laktasjonsstadium, miljø, helse og fôring (Sølverød et al., u.å). Effekten av fôring på den kjemiske sammensetningen av melk er vesentlig. Sammenhengen mellom komponentene i fôrrasjonen og melkens sammensetning er kompleks. Av melkens hovedkomponenter fett, laktose og protein, er fett den komponenten som i størst mulig grad er mulig å påvirke gjennom fôring (Sutton, 1989). I melk er laktose den viktigste osmotiske komponenten. Melkens laktoseinnhold er nokså konstant og det er laktoseproduksjonen som bestemmer melkevolumet. Melkens innhold av protein kan påvirkes til en viss grad av fôringen, men variasjonen er relativt begrenset (Hermansen et al., 2003).

Ved målrettet fôring er det mulig å påvirke både fettinnhold og fettsyresammensetning av melk til en viss grad. Dette har lenge vært kjent, og det er blitt skrevet flere artikler om temaet, blant annet av Sutton (1989), Grummer (1991) og Palmquist et al. (1993).

2.4.1 Melkefett

Melkens innhold av fett kan variere betydelig fra i underkant av 3% til i overkant av 5%. (Kelly & Larsen, 2010). Hovedsakelig består melkefettet av triglyserider (>95%). Det resterende fettet er små mengder diglyserider (ca. 2%), fosfolipider (ca. 1%), kolesterol (<0,5%) og frie fettsyrer (<0,5%) (Haug et al., 2007).

Melk inneholder både mettede- og umettede fettsyrer med et varierende antall karbonatomer fra 4 til 24 i kjeden. Karakteristisk for melkefett er dets høye innhold av mettede fettsyrer, da de utgjør mer enn halvparten av fettsyrene i melk. Fettsyrene kan ha en kort-, mellomlang- og lang kjedelengde i melk (Haug et al., 2007). Av de mettede fettsyrene er det høyest innhold av palmitinsyre (C16:0), mens av de umettede fettsyrene er det høyest innhold av oljesyre (C18:1). Stearinsyre (C18:0) er den mettede fettsyren det er nest høyest innhold av i melk, slik som vist i tabell 5. Tabellen viser normalt innhold av de viktigste fettsyrene i melk, mens den totale fettsyresammensetningen i melk er svært omfattende, da det finnes minst 400 unike fettsyrer i melkefettet til sammen (Jensen, 2002).

Tabell 5: Normalt innhold av viktige fettsyrer i melk (Kaylegian and Lindsay, 1995) fra Harstad og Steinshamn (2010).

Fettsyrer		Gjennomsnittlig andel (%)
<u>Mettede fettsyrer</u>		
Smørsyre	C 4:0	2-5
Kaprinsyre	C 6:0	1-5
Kaprylsyre	C 8:0	1-3
Kaprinsyre	C 10:0	2-4
Laurinsyre	C 12:0	2-5
Myristinsyre	C 14:0	8-14
Pentadecansyre	C 15:0	1-2
Palmitinsyre	C 16:0	22-35
Margarinsyre	C 17:0	0,5-1,5
Stearinsyre	C 18:0	9-14
<u>Umettede fettsyrer</u>		
Palmeteinsyre	C 16:1	1-3
Oljesyre	C 18:1, c9	20-30
Linolsyre	C 18:2, c9, c12	1-3
Linolensyre	C 18:3	0,5-2

Karakteristisk for melk er også innholdet av oddetallsfettsyrer og transfettsyrer, i tillegg til det lave innholdet av flerumettede fettsyrer. Melkens innhold av flerumettede fettsyrer varierer fra 2-4%. De mest sentrale flerumettede fettsyrene i melk er linolsyre (C18:2) og linolensyre (C 18:3), og forholdet mellom disse er vanligvis gunstig i melk (Hermansen et al., 2003).

2.4.2 Syntese av melkefett

Melkeproduksjonen foregår i melkekjertlene som utgjør juret. Melkefettet består hovedsakelig av triglyserider som inneholder en rekke forskjellige fettsyrer. Fettsyrene i melk stammer fra to kilder: fettsyrer syntetisert ved *de novo* syntesen i juret og fettsyrer tilført ved blodet til juret (Grummer, 1991). Eddiksyre og β -hydroksysmørsyre er viktige komponenter i *de novo* syntesen som er kilden til ca. 40% av fettsyrene i melk (Karlengen, 2011). De resterende ca. 60% av fettsyrene i melk tas direkte opp fra blodet, og stammer fra fôrfett og mikrobielt fett absorbert fra tarmen. I tillegg utgjør en mindre andel (<10%) mobilisert fett (Bauman & Griinari, 2003). Imidlertid øker andelen av mobilisert fett når kua er i betydelig negativ energibalanse i første del av laktasjonen.

Tabell 6 viser en oversikt over kildene til fettsyrene i melk. Melkefettets innhold av de mettede, kortkjedede fettsyrene C4 - C10 dannes utelukkende fra *de novo* syntesen som finner sted i epitelcellene i juret. I tillegg dannes det aller meste av de mettede, mellomlange fettsyrene C12 og C14, og ca. halvparten av C16, fra *de novo* syntesen, mens resten blir tilført via blodet. Eddiksyre og β -hydroksysmørsyre fra karbohydratnedbrytningen i vom benyttes som substrat i fettsyntesen og tilføres via blodet til juret. I tillegg er glukose et viktig substrat i syntesen, da det benyttes i dannelsen av glyserol som er en nødvendig bestanddel i dannelsen av triglyserider (Hermansen et al., 2003). Begrenset tilgang til substrat kan redusere effektiviteten av syntesen og resultere i lavere fettinnhold i melken. Hovedproduktet fra *de novo* syntesen er palmitinsyre (C16:0) (Karlengen, 2011).

Lange fettsyrer (>C18), både mettede- og umettede fettsyrer, blir direkte tatt opp fra blodet og stammer utelukkende fra fôret eller er mobilisert fra fettvev. Dette er kilden til den mettede fettsyren stearinsyre (C18:0), og de umettede fettsyrene oljesyre (C18:1), linolsyre (C18:2) og linolensyre (C18:3) (Karlengen, 2011). Fettsyrene som er syntetisert av mikrobene i vom utgjør oddetallsfettsyrer (Hermansen et al., 2003).

Tabell 6: Fettsyrer i melkefett kommer fra forskjellige kilder (Hermansen et al., 2003).

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

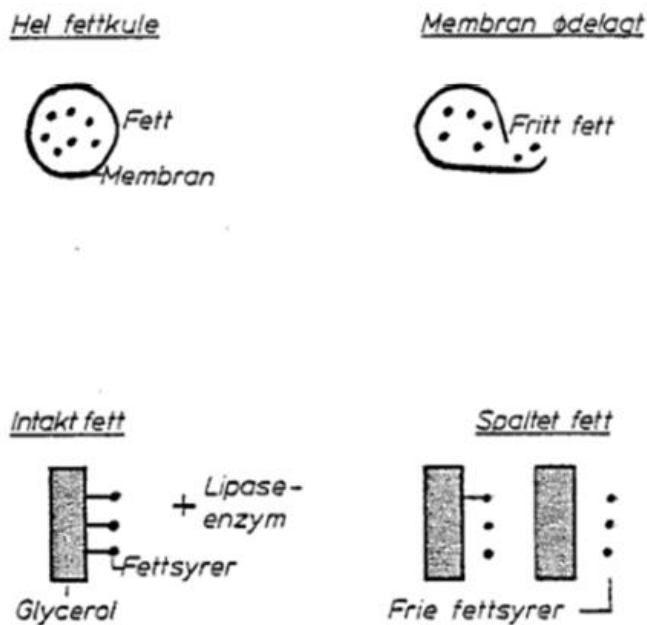
Melkefett inneholder typisk om lag 64% mettede fettsyrer, 30% monoumettede fettsyrer og 3% flerumettede fettsyrer i norsk melk (Berg, 2016). Melkens innhold av umettede fettsyrer er avhengig av graden av hydrogenering i vom, men også graden av dehydrogenering i juret (Hermansen et al., 2003). Ved dehydrogenering i jurvevet tilføres fettsyrer dobbeltbinding i karbonkjeden ved hjelp av et enzym, der det kvantitativt viktigste enzymet er *delta 9-desaturase* (Karlengen, 2011). Dehydrogeneringen i jurvevet er sentralt for omdannelsen av stearinsyre til oljesyre. Hele 2/3 av stearinsyren som tas opp fra blodet blir dehydrogenert til oljesyre i juret (Schei & Volden, 2013). Dette tilsvarer mer enn 50% av oljesyren i melkefett. I tillegg blir ca. 33% vaksensyre dehydrogenert til CLA (Chilliard et al., 2000). Nydannet melkefett i juret blir innkapslet i fettkuler, som omslutes av en fettkulemembran.

2.4.3 Fettkulemembranen og lipolyse i melk

Triglyseridene i melk blir innkapslet i såkalte fettkuler som dannes i de sekretoriske cellene i melkekjertlene. Triglyseridene er konsentrert i midten av fettkulene som er omgitt av en tynn, kompleks membran. Fettkulemembranen er hovedsakelig sammensatt av fosfolipider, glykolipider, lipoprotein og enzymer (Wiking et al., 2004). En intakt membran fungerer som beskyttelse av triglyseridene mot oksidasjon og lipolyse som kan forårsake smaksfeil i melk.

Størrelsen på fettkulene kan variere fra 0,2 til 5 μm i diameter, men gjennomsnittlig diameter er omkring 4 μm . Svært sjeldent overgår diameteren på fettkulene 10 μm (Singh, 2006).

Fettkulens størrelse har en avgjørende betydning for melkens stabilitet. Det er kjent at melk med større andel store fettkuler er mer ustabil sammenlignet med melk med større andel små fettkuler (Hermansen et al., 2003), da større fettkuler er mer utsatt for lipolyse enn mindre fettkuler (Wiking et al., 2006).



Figur 5: Spalting av melkefett (Alfnes & Østerås, 1992) fra Whist et al. (2015).

Melk inneholder enzymer som kan forårsake spalting av triglyseridene. Et lipolytisk enzym, lipoprotein lipase (LPL), finnes i melk og står for omtrent all lipolytisk aktivitet i melk (Deeth, 2006). Lipase er naturlig tilstede i melk hele tiden, men så fremt fettkulemembranen er intakt kan ikke lipasene komme i kontakt med triglyseridene. Ved spalting av triglyseridene i melk resulterer det i mono- og diglyserider, frie fettsyrer, og i tillegg glyserol i enkelte tilfeller. Det er først og fremst frie fettsyrer som bidrar til smaksfeil i melk, og da fortrinnsvis frie fettsyrer med kort- og mellomlang kjedelengde (Deeth, 2006).

Lipolyse i melk kan deles inn i to kategorier: *spontan-* og *indusert lipolyse*. Spontan lipolyse kan forekomme på gårdsbruket, og det er i hovedsak relatert til forhold ved enkeltkyr. Først og fremst er spontan lipolyse knyttet til underfôring og slutten av laktasjonen, og det oppstår kort tid etter melken har forlatt juret (Deeth, 2006). Indusert lipolyse i melk er i hovedsak relatert til hard mekanisk behandling av melken, noe som forårsaker skade på fettkulemembranen og gir lipase tilgang på triglyseridene (Bævre et al., 2000). Indusert lipolyse kan oppstå på gårdsbruket, under transport og på meieriet. Viktige årsaker er fysiske påkjenninger som blanding og pumping av melk, spesielt med innblanding av luft, homogenisering og frysing/tining av melk (Deeth, 2006). Forhold som kan relateres til spontan- og indusert lipolyse i melk og resulterer i forhøyet innhold av frie fettsyrer i melk er mer omtalt i kapittel 2.7.

2.5 Forhold ved fôret som påvirker innhold og sammensetning av melkefett

Det er flere faktorer ved fôrrasjonen som kan ha innvirkning på melkefettet. Som tidligere beskrevet stammer fettsyrene i melk både fra fettsyrer syntetisert ved *de novo* syntesen i juret og fettsyrer tilført via blodet til juret (Grummer, 1991). Av den grunn har fôring både direkte og indirekte innvirkning på fett i melk, da fôrkomponentene i rasjonen både påvirker jurets substratforsyning til fettsyntese og fettsyrene tilført via blodet.

Forholdet mellom rasjonens innhold av kraftfôr og grovfôr er sentralt i denne sammenheng, da en økt tildeling av kraftfôr kan føre til en lavere fettprosent i melk. Økt kraftfôrandel vil gi en økning i innhold av lettomsattelige karbohydrater i rasjonen, noe som videre kan forårsake lavere pH-verdi i vom. Et surere vommiljø kan føre til økt produksjon av propionsyre på bekostning av produksjonen av eddiksyre. Da sistnevnte er en forløper i fettsyntesen i juret, kan det bidra til lavere fettprosent i melk (Børsting et al., 2003). Grovfôret er blant annet viktig for å bidra med struktur til fôrrasjonen som er sentralt for å opprettholde et godt vommiljø. Innholdet av fett i melk vil normalt gå betydelig ned når andelen grovfôr i fôrrasjonen kommer under 50% på tørrstoffbasis (Sutton, 1989).

Fettinnholdet og fettsyresammensetningen i fôret gjenspeiles i melk. Som tidligere nevnt i kapittel 2.2.3, kan store mengder fôrfett, spesielt i form av umettede fettsyrer, bidra til å redusere fettinnholdet i melk. På den andre siden kan mettede fettsyrer som palmitinsyre (C16:0) og stearinsyre (C18:0) bidra til å øke fettsyntesen og dermed øke andelen melkefett (Børsting et al., 2003). Økt mengde fôrfett kan gi en reduksjon i andelen korte fettsyrer (C4-C10) og mellomlange fettsyrer (C12-C16) som syntetiseres i juret. Samtidig vil det gi en øking i andelen stearinsyre (C18:0) og oljesyre (C18:1), mens andelen av polyumettede fettsyrer (C18:2 og C18:3) forblir nokså uforandret (Hermansen et al., 2003).

I forbindelse med masteroppgaven til Dahl (2015) ble det gjennomført et forsøk for å sammenligne effektene av kalsiumforsåpet rapsolje og frie fettsyrer basert på prosessert palmeolje som fettkilde i kraftfôret til melkekyr. Fôropptak, melkeytelse og melkens sammensetning ble undersøkt. Kort oppsummert viste resultatene for sistnevnte at melkekyr som ble fôret med kraftfôr som inneholdt vombeskyttet rapsfett, hadde en større andel umettede fettsyrer sammenlignet med melkekyr som ble fôret med kraftfôr som inneholdt palmeoljebasert fett. Det ble også påvist høyere fettinnhold og høyere andel palmitinsyre i melk fra kyr fôret med palmebasert fett sammenlignet med kyr fôret med vombeskyttet fett. Kyr fôret med vombeskyttet fett hadde også høyere andel oljesyre i melkefettet.

2.6 Melkekvalitet

Melkekvalitet er et vidt begrep med flere aspekter, og kan derfor være noe vanskelig å definere (Abrahamsen et al., 2007). Tilnærmingen til begrepet varierer imellom forbruker, og i tillegg vil den variere mellom forbruker og melkeindustri. For eksempel kan spesielt god smak være viktigst for en forbruker, mens for en annen forbruker er det næringsinnholdet som er viktigst. For melkeindustrien er det også sentralt med en teknisk god melk, hvilket ikke er like sentralt for en forbruker. Til syvende og sist er dette alle viktige egenskaper for å oppnå god melkekvalitet, både for melkeindustrien og forbruker.

Kvalitetsparametere for vurdering av melkekvaliteten kan inndeles i ernæringsmessig kvalitet, teknologisk kvalitet og lukt- og smaks kvalitet. I tillegg kan etisk kvalitet medregnes, men dette er en parameter som må vurderes på en annen måte sammenlignet med de førstnevnte, da denne parameteren er vanskeligere å måle tilsvarende kjemisk eller fysisk (Harstad, 2015). Melk brukes enten direkte som konsummelk eller til fremstilling av ulike meieriprodukter, og i begge tilfeller er det viktig med god melkekvalitet. Imidlertid er det lukt- og smaks kvalitet som er særlig sentralt for forbrukeren, da dette er egenskaper ved melk som de selv kan bedømme. Det er flere lukt- og smaksfeil som kan oppstå på melk, og den mest fremtredende smaksfeilen i norsk leverandørmelk har sammenheng med graden av fettspalting av melkefettet, nemlig besk smak (Whist et al., 2015).

2.6.1 Lukt- og smaksfeil i leverandørmelk

De vanligste lukt- og smaksfeil som oppstår på norsk leverandørmelk er besk smak, fôrsmak, oksidasjonssmak, sur smak og bismak (Bævre et al., 2000). Som oftest er det ikke en faktor alene som er årsaken til at det oppstår smaksfeil i melk, men flere faktorer som kan påvirke i et komplekst samspill. Dermed kan en smaksfeil i enkelte tilfeller enkelt og raskt rettes opp, mens i et mer komplisert tilfelle kan det kreve mer tid og innsats.

Harsk, bitter, salt og surbesk er flere smaksfeil som inngår i besk smak på melk. Alle disse smaksfeilene forekommer vanligvis som følge av fettspalting (lipolyse) av fett i melk. Ved lipolyse spaltes triglyseridene i melkefettet, noe som gir opphav til frie fettsyrer i melk (FFS). Disse frie fettsyrene, i tillegg til mono- og diglyserider, er først og fremst hovedårsaken til forekomst av smaksfeilen besk smak i melk (Bævre et al., 2000). Som et uttrykk for graden av fettspalting i melk analyseres leverandørmelk flere ganger i måneden for innholdet av frie fettsyrer.

2.6.2 Kvalitetsbetalingsregelverket ved TINE Råvare

TINEs regelverk om bedømmelse og betaling av melk etter kvalitet ved levering til TINE

Råvare utarbeides av TINE Råvare og har som formål å fremme produksjon av melk med god kvalitet. Den nyeste utgaven av regelverket er gjeldende fra 1. januar 2017. Ifølge regelverket får leverandør betalt en melkepris som består av en generell basispris, samt et pristillegg eller pristrekk etter kvalitetsgraden av levert melk. Kvalitetsbetalingen gjøres på grunnlag av hvilken avregningsklasse melken plasseres i, se tabell 7.

Tabell 7: Avregningsklasser i kvalitetsbetalingsregelverket (TINE Råvare, 2017).

Avregningsklasser	
Elite	Elitetillegg for ekstra god kvalitet
1. klasse	Ikke tillegg eller trekk for standard kvalitet
2. klasse	Trekk for dårlig kvalitet
3. klasse	Trekk for svært dårlig kvalitet

Elitemelk og 1. klasse-melk anses som god kvalitet, mens melk av 2. klasse og 3. klasse anses som dårlig kvalitet. Melk av dårlig kvalitet er mindre egnet i fremstilling av forskjellige meieriprodukter. Dårlig kvalitet på melken fører til smaksfeil, økte produksjonskostnader, redusert holdbarhet og vraking av melk (Sølverød et al., u.å).

Ved vurdering av melkens kvalitet i henhold til regelverket gjennomføres det analyser av melkens innhold av fett, protein, celler, bakterier, sporedannende bakterier, medisinerester og frie fettsyrer. I tillegg undersøkes melkens frysepunkt. Avregningsverdiene varierer mellom typer av analyser og etter avregningsklasse. Lukt- og smaksbedømmelse av melk fra leverandør ble innført og tatt med som et av kriteriene for kvalitetsbetaling fra og med 1973 (Bævre et al., 2000). Imidlertid ble denne bedømmelsen erstattet 1. januar 2004 med analyse for innholdet av frie fettsyrer i leverandørmelk (TINE, 2003). I tabell 8 er avregningsverdier for melkens innhold av frie fettsyrer vist.

Tabell 8: Avregningsverdier for innhold av frie fettsyrer i kvalitetsbetalingsregelverket (TINE Råvare, 2017)

Avregningsverdier for frie fettsyrer (mmol/l)	
Elite	Lavere eller lik 0,9
1. klasse	F.o.m. 1,0 t.o.m. 1,1
2. klasse	F.o.m. 1,2 t.o.m. 1,7
3. klasse	Høyere enn 1,7

Melkekvaliteten her til lands er hovedsakelig meget god. I 2015 ble 95,0% av melkevolumet klassifisert som elitemelk, mens i 2016 var det en svak nedgang i melkekvaliteten på 0,2 prosentpoeng til 94,8% (Syrstad, 2017). Ifølge leder for Mastittlaboratoriet i Molde, Liv Sølvørød (2015), er det celletall som er den vanligste årsaken til tap av elitemelk. Statistikk over melkekvaliteten for 2015 og 2016 viste at ca. 3,5% av melkevolumet ble nedklassifisert fra elitemelk på grunn av celletall. Etterfølgende er det bakterietall som er årsaken til tap av elitemelk (ca. 1,5% av melkevolumet), mens frie fettsyrer kommer på tredjeplass (<1% av melkevolumet) (Syrstad, 2017, personlig meddelelse).

2.7 Faktorer som påvirker innholdet av frie fettsyrer i melk

Melkefett består hovedsakelig av triglyserider (> 95%) inkorporert i fettkuler som er omgitt av en kompleks membran (Kelly & Larsen, 2010). Fettkulemembranen fungerer som beskyttelse mot oksidasjon og lipolyse av triglyseridene, og derfor er konsentrasjon av frie fettsyrer normalt lavt i melk (Thomson et al., 2005). Imidlertid kan fettkulemembranen svekkes eller ødelegges, noe som videre kan medføre spaltning av triglyseridene, og dermed et økt innhold av frie fettsyrer i melk (Deeth, 2006).

En økt konsentrasjon av frie fettsyrer i melk kan oppstå enten på grunn av en ustabil, svekket membranstabilitet på fettkulene allerede før melken har forlatt juret eller som følge av ytre, fysiske faktorer som ødelegger fettkulemembranen etter melken har forlatt juret. Melk kan inneholde sterke, membranstabile fettkuler, men på grunn av hard, mekanisk behandling av melken kan fettkulemembranen likevel svekkes og ødelegges. Ustabile fettkuler allerede før melken har forlatt juret oppstår som følge av metabolske prosesser i individet som påvirker syntesen av fettkulemembranen. Til og med normal, mekanisk behandling av melk kan forårsake ødeleggelse av ustabile fettkuler. Hard, mekanisk behandling kan øke forekomsten av frie fettsyrer ytterligere (Whist et al., 2015).

Faktorer relatert til individet har innvirkning på syntesen av fettkulemembranen som avgjør dens grunnkomposisjon, mens faktorene som er teknisk relatert har innvirkning på melken etter sekresjon og kan dermed påvirke fettkulemembranen negativt (Whist et al., 2015). Det er vanligvis ikke bare en faktor alene som er årsaken til økt konsentrasjon av frie fettsyrer i melk, men flere faktorer, både relatert til individet og teknisk relatert, som alle påvirker i et omfattende samspill.

Driftsopplegget på gården kan ha innvirkning både på forhold relatert til individet og det tekniske, og om det er båsfjøs eller løsdriftsfjøs vil ha innvirkning på hvilket melkesystemet som benyttes i fjøset. Melkesystemet kan påvirke innholdet av frie fettsyrer i melk på flere måter, men et forhøyet innhold av frie fettsyrer vil vanligvis forbindes med fjøs som har automatisk melkesystem (AMS). Det er et kjent problem med et forhøyet innhold av frie fettsyrer i melk fra AMS-besetninger, og da spesielt i starten av perioden etter AMS er tatt i bruk. En faktor som kan bidra til økt innhold av frie fettsyrer i melk ved bruk av AMS er for eksempel en økning i antall melkinger daglig, noe som har blitt undersøkt av Wiking et al. (2006). I et to ukers eksperimentet ble det benyttet 11 melkekyr, der den ene halvdel av juret til kyrne ble melket to ganger daglig, mens den andre halvdel ble melket fire ganger daglig. Analyse av melken viste et høyere innhold av frie fettsyrer etter fire melkinger (1.49 mEq/100 g fett) sammenlignet med to melkinger daglig (1.14 mEq/100 g fett) (Wiking et al., 2006). Faktorer som er teknisk relatert, kan derfor ha stor betydning for melkens innhold av frie fettsyrer. I en nylig skrevet masteroppgave ved NMBU ble melkens innhold av frie fettsyrer undersøkt fra AMS-besetninger og ikke AMS-besetninger (Flagestad, 2014). Det ble påvist høyest innhold av frie fettsyrer i melk fra AMS-besetninger.

I denne masteroppgaven er det først og fremst innholdet av frie fettsyrer i melk i sammenheng med fôring av melkekyr som er satt i fokus. Andre forhold som kan ha innvirkning på fôring og som kan relateres til enkeltdyret er blant annet drektighetsstadium, kalvingstidspunkt, laktasjonsstadium, laktasjonsnummer og helse. Disse faktorene vil kort gjennomgås her, men da faktorer som er teknisk relatert ikke er relevant i forhold til oppgavens eksperimentelle del, vil de ikke gjennomgås noe mer i dette kapittelet.

2.7.1 Laktasjonsstadium og tidspunkt for melking

Det er flere forskjellige forhold ved individet som på hver sin måte kan påvirke innholdet av frie fettsyrer i melk. Dersom det praktiseres konsentrert kalving i besetningen, kan det bidra til et økt innhold av frie fettsyrer i tankmelk på slutten av laktasjonsperioden. I løpet av laktasjonsperioden er det en naturlig, jevn stigning av enkeltindividets innhold av frie fettsyrer i melk (Whist et al., 2015). Kyr i slutten av laktasjonsperioden produserer melk som er mer utsatt for lipolyse enn kyr i tidlig laktasjon (de Koning et al., 2003). Så fremt storparten av besetningen befinner seg i sluttlaktasjon samtidig, kan det derfor forårsake et høyt innhold av frie fettsyrer i tankmelk. Praktisering av spredt kalving kan derfor bidra til å redusere risikoen

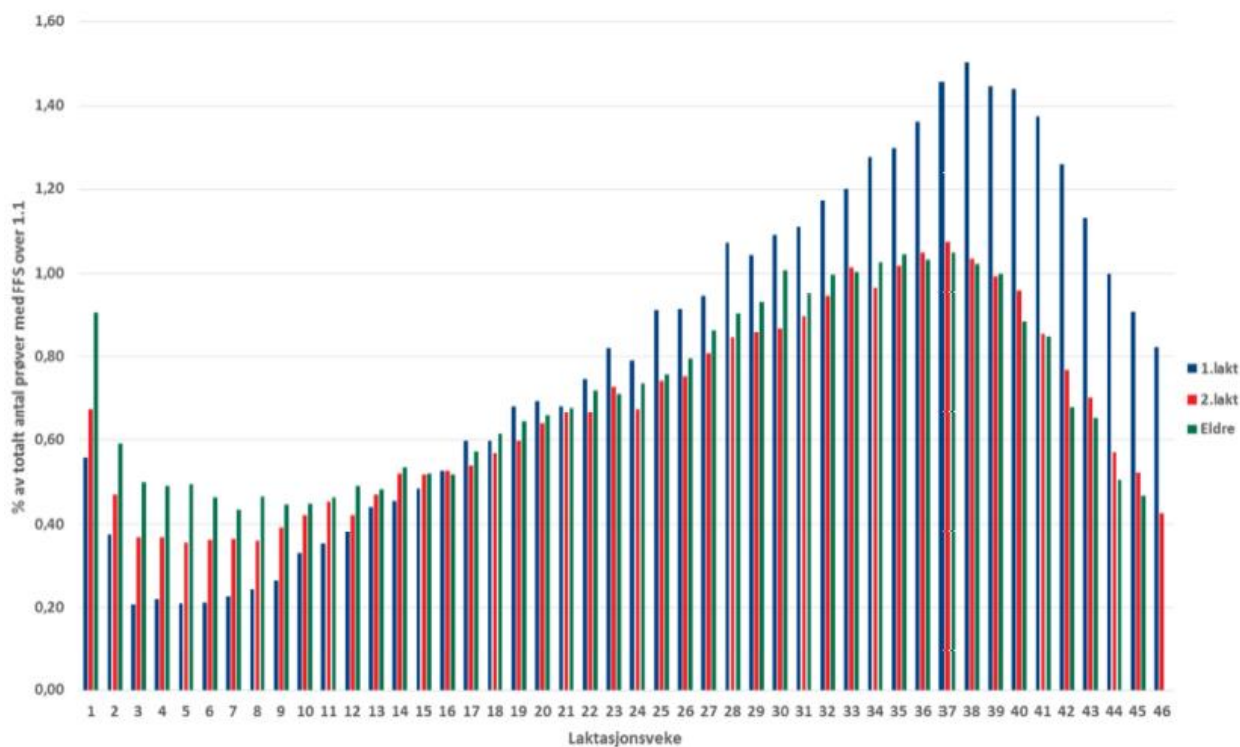
for et uønsket høyt innhold av frie fettsyrer i tankmelk, da færre kyr er i sluttlaktasjon på samme tidspunkt (de Koning et al., 2003).

Virkning av laktasjonsstadie på frie fettsyrer i melk har blitt undersøkt av Chazal og Chilliard (1986), som hver andre uke i ett år målte konsentrasjonen av frie fettsyrer i tankmelk til 57 kyr etter melking. Kort oppsummert viste resultatene en jevn økning av frie fettsyrer i melken utover i laktasjonsperioden, og i tillegg at drektighetsstadium også har en effekt på økt innhold av frie fettsyrer i melk.

Ifølge Ahrné og Björck (1985) har tidspunktet for melking i løpet av døgnet innvirkning på innholdet av frie fettsyrer i melk. I forsøket ble det foretatt målinger av frie fettsyrer i melk 48 timer etter melking av 96 kyr ved to stadier i laktasjonen. Målingene ble gjort både på morgenmelk og ettermiddagsmelk, og resultatet viste tre ganger så høyt innhold av frie fettsyrer i ettermiddagsmelk sammenlignet med morgenmelk. Forsøket vist også et høyere innhold av frie fettsyrer i melk utover i laktasjonsperioden.

2.7.2 Laktasjonsnummer

Antall laktasjoner for kyrne har innvirkning på melkens innhold av frie fettsyrer. Statistisk analyse gjennomført av TINE på tankmelkprøver fra førstegangskalvere, andregangskalvere og eldre kyr er vist i figur 6 (Whist et al., 2015). Figuren viser antall prøver med en verdi av frie fettsyrer over 1,1 mmol av totalt antall prøver oppgitt i prosent. I tidlig laktasjon har eldre kyr høyest prosentandel av prøver med høyt innhold av frie fettsyrer, mens i senlaktasjon er det derimot førstegangskalvere som har høyest prosentandel av prøver med høyt innhold av frie fettsyrer. Betydningen av laktasjonsstadium vises også av figuren, da det er 2-3 ganger flere prøver med et høyt innhold av frie fettsyrer sent i laktasjon sammenlignet med prøver fra tidlig laktasjon (Whist et al., 2015)



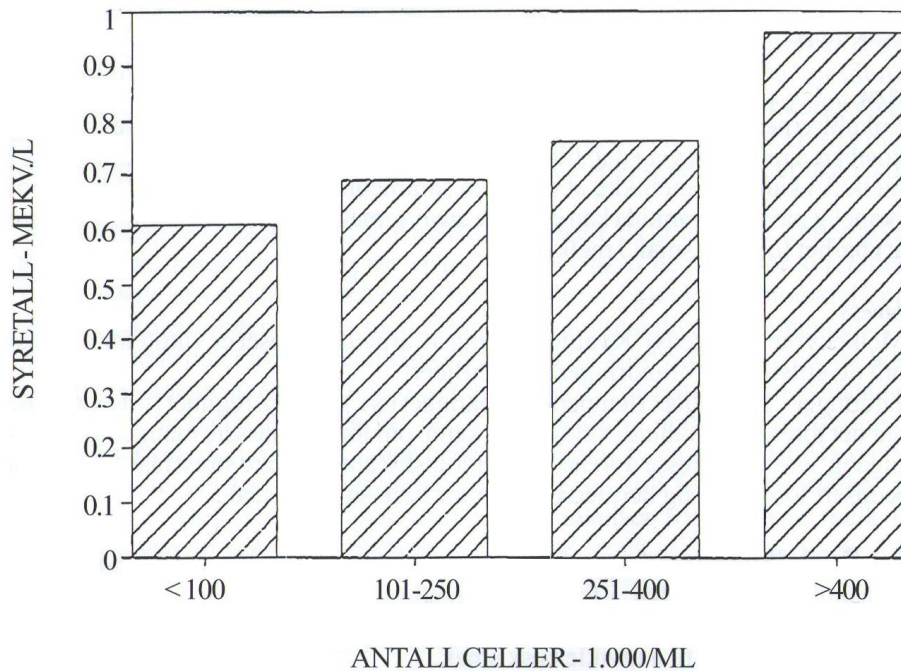
Figur 6: Antall prøver med et innhold av frie fettsyrer over 1,1 mmol av totalt antall prøver fra kyr i 1. laktasjon, 2. laktasjon og eldre etter laktasjonsuke (Whist et al., 2015).

2.7.3 Helse

Melkekyrs helse, og spesielt jurhelsen, har betydning for melkens innhold av frie fettsyrer. Melkekyrs helse kan både ha en direkte og indirekte innvirkning på innholdet av frie fettsyrer i melk. En undersøkelse som omhandlet innholdet av frie fettsyrer i melk og mastitt har vist en positiv sammenheng (Fitz-Gerald et al., 1981). I denne undersøkelsen ble melkeprøver fra både friske kyr og kyr med mastitt analysert for å undersøke innvirkningen av mastitt på lipolytisk aktivitet i melk og melkens innhold av frie fettsyrer. Resultatet fra undersøkelsen viste at melk fra kyr med mastitt tenderte til å ha et høyere innhold av frie fettsyrer i melk, men en lavere lipolytisk aktivitet i melken sammenlignet med melk fra friske dyr. Sammenhengen var signifikant ved kraftig infeksjon (Fitz-Gerald et al., 1981).

Problemer med jurhelsen som bidrar til celletallsøkning, kan være en faktor i besetninger med melk som har forhøyet innhold av frie fettsyrer (Whist et al., 2015). Figur 7 viser innholdet av frie fettsyrer i melk ved ulikt celletall (Bævre et al., 2000).

Indirekte kan helse til kyrene påvirke melkens innhold av frie fettsyrer. Dårligere helsestatus kan bidra til at kyr lettere får negativ energibalanse, da sykdom kan gi dyret nedsatt appetitt som videre vil gi redusert fôropptak (Whist et al., 2015).



Figur 7: Innholdet av frie fettsyrer i melk og celletall (Bævre et al., 2000).

2.7.4 Fôring

Den viktigste årsaken til forhøyet innhold av frie fettsyrer i melk er antagelig underfôring med energi (Bævre et al., 2000; Stene, 2016; Sølverød et al., u.å). Underfôring med energi fører til en høy mobilisering av fett fra kroppsvev og syntese av svakere fettkulemembraner (Stene, 2016). Svakere fettkulemembraner kan bidra til et høyere innhold av frie fettsyrer i melk, og derfor er det viktig med god energidekning gjennom hele laktasjonsperioden. Det vil bidra til et godt grunnlag for dannelse av stabile fettkuler (Bergersen, 2010).

I tidlig laktasjon har melkekyr et høyt energibehov som er vanskelig å fullstendig dekke gjennom fôringen. Dette fører til negativ energibalanse og mobilisering av kropps fett (Schei et al., 2005). Å unngå negativ energibalanse i denne perioden er vanskelig (Nørgaard & Hvelplund, 2003). Palmitinsyre, stearinsyre og oljesyre er alle fettsyrer som blir mobilisert fra kroppsvev ved negativ energibalanse (Schei & Volden, 2013). Hovedsakelig er innholdet av frie fettsyrer naturlig lavt i starten av laktasjonsperioden, da fettkulene er mer stabile og derfor mindre utsatt for lipolyse (Sølverød et al., u.å). En økt andel frie fettsyrer i melk i tidlig

laktasjon kan tyde på mobilisering av fett (Whist et al., 2015). Kyr som har høy mobilisering i tidlig laktasjon og melker mye av holdet, kan få et høyt innhold av frie fettsyrer senere i laktasjonsperioden (Stene, 2016).

Effekt av underfôring med energi har tidligere blitt undersøkt av Astrup et al. (1980a). I undersøkelsen ble melkekyrne underfôret med to fôrenheter pr. dag i en periode på åtte uker. Den systematiske underfôringen hadde en klar effekt på melkens innhold av frie fettsyrer og besk smak sammenlignet med melk fra kyr som ble fôret etter norm, som vist i tabell 9. I dette forsøket ble det i tillegg gitt tilskudd av rapsolje til enkelte av kyrene som ble underfôret, noe som resulterte i litt bedre melke kvalitet ved tanke på besk smak.

Tabell 9: Effekt av underfôring med energi og fetttilskudd av rapsolje på lipolyse i melk (Astrup et al., 1980a) fra Bævre et al. (2000).

	Norm	-2 F.E	-3,5 F.E + 450 g rapsolje
Grovfôr F.E	5,2	5,2	5,2
Kraftfôr F.E	6,2	2,5	3
Melk, kg	17,3	11,5	12,6
Fett %	3,83	4	4,41
Protein %	3,14	3,16	3,06
FFS mekv. pr l	1,01	1,6	1,13
Besk smak, poeng	1,4	2,4	1,9

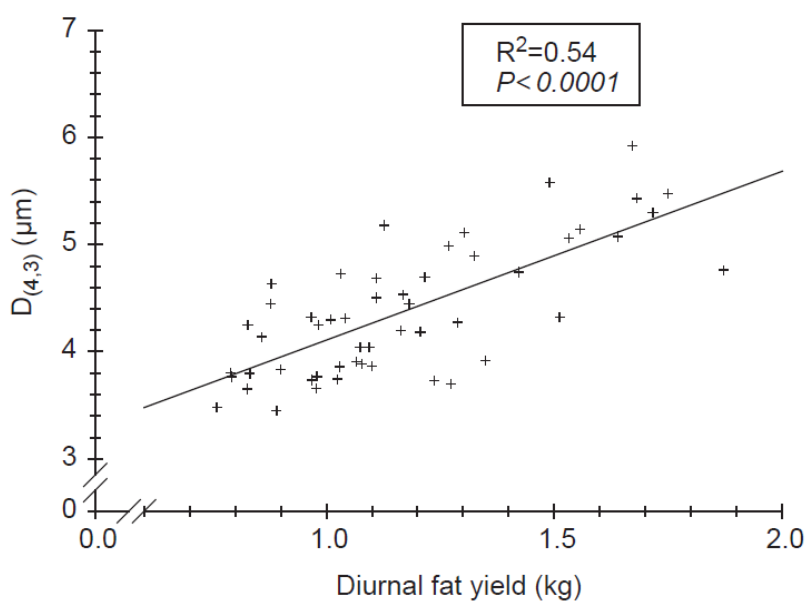
Fettsyresammensetningen i fôret gjenspeiles i melken. I en undersøkelse ble 15 melkekyr fôret i perioder på fem uker etter latinsk kvadrat, der fôrrasjonen bestod i hovedsak av silofôr og kraftfôr (Astrup et al., 1980b). Effekt av 6% tilskudd av palmitinsyre ble undersøkt, noe som kort oppsummert resulterte i melk med et høyere innhold av palmitinsyre, fett, frie fettsyrer og dårligere smak sammenlignet med kontrollgruppen. De samme forskerne undersøkte i tillegg effekten av 600 gram tilskudd av palmitinsyre i kraftfôret, noe som også førte til et høyere innhold av frie fettsyrer og dårligere smak på melken.

I et fôringsforsøk utført av Wiking et al. (2003) ble tre grupper med kyr fôret med kraftfôr som hadde forskjellig fettsyresammensetning: en med høyt innhold av mettet fett (tilsatt fôrfett med 50% palmitinsyre), en med høyt innhold av umettet fett og den siste fremmet *de novo* syntesen i juret. Kort oppsummert var det høyest fettinnhold i melk fra kyr gitt høy andel mettet fett (5,0%). Kyr gitt kraftfôr med høy andel umettet fett hadde lavest fettinnhold i melken (3,7%), mens kyr gitt kraftfôr som fremmet *de novo* syntesen lå midt imellom (4,0%).

Signifikant større fettkuler ble funnet i melk med høyest fettinnhold. Etter mekanisk behandling av melken ble det også påvist høyere innhold av frie fettsyrer i melk med størst gjennomsnittlig diameter på fettkulene.

Ifølge Wiking et al. (2004), som undersøkte melkeprøver fra 52 melkekyr, er det en sterkt sammenheng mellom fettproduksjonen og gjennomsnittlig størrelsen på fettkulene i melk. Resultatene fra forsøket påviste at økt innhold av fett i melk medfører en økt gjennomsnittlig diameter på fettkulene, se figur 8. Funnene indikerer at syntesen av materiale til fettkulemembranen er begrenset ved et høyere innhold av fett i melk, og teorien er at de sekretoriske cellene i melkekjertlene ikke har mulighet til å øke syntesen av materiale til fettkulemembranen ved et økt fettinnhold. Av den grunn må fettkulene øke i størrelse før de blir dekt med membran for å kunne spare membranmateriale (Wiking et al., 2004).

Større fettkuler er mer utsatt for lipolyse enn mindre fettkuler (Wiking et al., 2006). Store fettkuler vil lettere svekkes eller ødelegges sammenlignet med små fettkuler, da bindingene som holder sammen fettsyrene har nokså lik styrke for både små og store fettkuler. Fettkulene kan sammenlignes med såpebobler, da store såpebobler lettere sprekker sammenlignet med små såpebobler (Stene, 2016). På bakgrunn av dette kan målrettet fôring mot økt fettinnhold i melk derfor også bidra til et økt innhold av frie fettsyrer i melk.



Figur 8: Sammenheng mellom fettproduksjon og gjennomsnittlig diameter på fettkuler i melk (Wiking et al., 2004).

Forskjellen mellom innefôring og beite har også påvirkning på innholdet av frie fettsyrer i melk. Ifølge Bævre et al. (2000) undersøkte Sundheim (1980) effekten av å skifte fra innefôring til beite på melkens innhold av frie fettsyrer, og det ble påvist at innhold av frie fettsyrer reduseres ved å slippe dyrene på beite. Andelen langkjedede- og umettede fettsyrer er høyere i beitegras enn i innhøsta grovfôr (Schei & Volden, 2013).

3.0 Egen undersøkelse

3.1 Material og metode

Hovedformålet var å undersøke om det er en sammenheng mellom innholdet av palmitinsyre og frie fettsyrer i melk, og om en eventuell sammenheng kan relateres til fôringen av kyrne. Datamaterialet er fra Kukontrollen og leverandørdatabasen til TINE Rådgiving for produksjonsårene 2015 og 2016.

Det ble utført statistisk analyse for å undersøke om melkens innhold av frie fettsyrer har sammenheng med innholdet av de mest sentrale enkeltfettsyrene; palmitinsyre, stearinsyre og oljesyre og fettgruppene mettet fett, umettet fett, monoumettede fettsyrer og polyumettede fettsyrer i melkefettet. I tillegg ble det testet om innholdet av frie fettsyrer har sammenheng med melkens innhold av fett, laktose, protein og urea. Den statistiske analysen ble gjort på resultatene fra de månedlige analysene av tankmelkprøver. Til slutt ble det testet om det var sammenheng mellom melkens innhold av frie fettsyrer og data fra Kukontrollen over kraftfôrmengde og melkeavdrått.

Prøvene av tankmelk ble analysert etter standard fremgangsmåte med metoden *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) ved Distriktslaboratoriene til TINE.

3.1.1 Kriterier ved utvelgelse av besetninger

Datamaterialet bestod i hovedsak av analysedata fra gårdstankmelk. Hver måned tas det ut tre til fem prøver av tankmelken hos hver enkelt melkeprodusent som en kvalitetskontroll.

Utgangspunktet for etablering av datasettet var disse prøvene som analyseres for blant annet innhold av frie fettsyrer og fettsyremønsteret. Kukontrollen, som registrerer opplysninger på individnivå, har ikke data på fettsyremønsteret i melk, og derfor måtte tankmelk benyttes.

Ved utvelgelse av besetninger ble bestemte kriterier lagt til grunn for å etablere et datasett der melkens innhold av frie fettsyrer mest sannsynlig relateres til forhold ved fôringen av kyrne. Det ble derfor bare valgt ut melkeprodusenter med båsfjøs, da det er kjent at melk fra besetninger med automatiske melkesystem kan ha høyere forekomst av frie fettsyrer enn melk fra besetninger med andre melkesystem (Flagestad, 2014). Denne effekten av automatiske melkesystem skyldes i hovedsak andre forhold enn fôringen. Ved å benytte tankmelk i den statistiske analysen, som er melk fra hele besetningen, vil variasjoner mellom enkeltdyr og laktasjonsstadiet jevnes ut. Innholdet av frie fettsyrer i tankmelk vil på en bedre måte uttrykke status i hele besetningen enn ved bruk av prøver på enkeltdyr.

For å standardisere laktasjonsstadiet ble det valgt ut besetninger som har konsentrert høstkalving, der minst 70% av kalvingene var i august til november. For å unngå besetninger med svært få kyr, ble det også satt krav til minst 10 kalvinger per besetning. Alle kyr i besetningene var av rasen Norsk Rødt Fe (NRF).

Perioden som ble statistisk analysert i denne undersøkelsen, ble begrenset til 30-60 dager etter kalving. Denne begrensningen ble gjort da høye verdier av frie fettsyrer i utvalgt periode mest sannsynlig er relatert til fôringen enten gjennom mobilisering av kroppsfett eller gjennom direkte tilførsel til juret av fett fra fôret. Til slutt ble det et datasett med 483 besetninger for året 2015 og 872 besetninger for året 2016 med et samlet gjennomsnittlig antall på 14 kyr per besetning. Grunnen til denne skjeve fordelingen mellom årene er at det ikke har truffet helt med utplukket på 30-60 dager etter kalving på like mange besetninger i 2015 som i 2016.

3.1.2 Beregninger

Energikorrigert melk (EKM)

Melkeytelsen (kg) korrigeres ved hensyn til fettprosent, laktoseprosent og proteinprosent ved følgende formel (Ekern, 1991):

$$\text{EKM (kg)} = \text{kg melk} \times (0,01 + 0,122 \times \text{fett\%} + 0,077 \times \text{protein\%} + 0,053 \times \text{laktose\%}) \quad (1)$$

Kg kraftfôr per 100 kg melk

Mengden kraftfôr gitt per 100 kg produsert melk ble beregnet ved følgende formel:

$$\text{Kg kraftfôr per 100 kg melk} = \frac{\text{Kraftfôrmengde (kg)}}{\text{Melkeytelse (kg)}} \times 100 \quad (2)$$

Samme formel ble brukt ved utregning av kg kraftfôr pr 100 kg EKM, men med EKM divisor.

3.1.3 Statistiske analyser

Statistisk behandling og analyser av datamaterialet ble utført i den statistiske programvaren SAS 9.4 (SAS 9.4, 2013).

Det ble utført en *proc summary* analyse for å finne gjennomsnittsverdier for de aktuelle variablene på månedsbasis for hele laktasjonsperioden i 2015 og 2016. Analysen danner grunnlaget for alle figurene i kapittel 3.2.1.

I perioden 30-60 dager etter kalving ble verdiene for frie fettsyrer gruppert på lavt, middels og høyt nivå. Det ble utført en *proc univariate* analyse for å se på fordelingen av frie fettsyrer og for å klassifisere nivå for hva som kunne karakteriseres som lavt, middels og høyt nivå i tankmelken. Nivået som angir de 50% laveste prøvene ble satt som grense for «lavt», de neste 25% angir nivået «middels» og de høyeste 25% av prøvene angir nivået «høyt», se tabell 10.

Tabell 10: Gruppering av frie fettsyrer etter klasse (mmol/l).

Klasse	2015	2016
Lav	$\leq 0,2$	$\leq 0,35$
Middels	$> 0,2$ til $\leq 0,3$	$> 0,35$ til $\leq 0,5$
Høy	$> 0,3$	$> 0,5$

I 2016 var det større spredning i innholdet av frie fettsyrer i tankmelken mellom besetningene, noe som gjenspeiler seg i litt andre grenseverdier enn i 2015.

Det ble deretter utført en *proc mixed* analyse for å teste om innholdet av frie fettsyrer i melk hadde sammenheng med innholdet av hovednæringsstoffer og fettsyremønsteret i tankmelk, og i tillegg opplysninger om kraftfôrmengde og melkeytelse registrert i Kukontrollen. Som grunnlag for den statistiske analysen ble ikke gjennomsnitt av tankmelkprøvene per måned benyttet, men de månedlige enkeltprøvene av tankmelken. Outliers ble fjernet fra datasettet, og for mettet fett ble det fjernet verdier fra oktober til desember 2016 på grunn av unormale hopp i verdiene. Analysen danner grunnlaget for tabellene og figurene i kapittel 3.2.3 – 3.2.5. Av hensyn til variasjonene mellom årene 2015 og 2016 er alle figurene vist med samspill, der eventuelt samspillseffekt er fremstilt på hver figur.

Følgende modell ble brukt:

$$Y = \mu + a_i + b_j + a_i b_j + e_{ij}$$

Hvor:

Y= avhengig variabel

a_i = effekt av friefettsyreklasse der $i= 1,2,3$ (lav, middels og høy)

b_j = effekt av år der $j= 1,2$ (2015 og 2016)

$a_i b_j$ = samspill friefettsyreklasse*år

e_{ijk} = feilledd

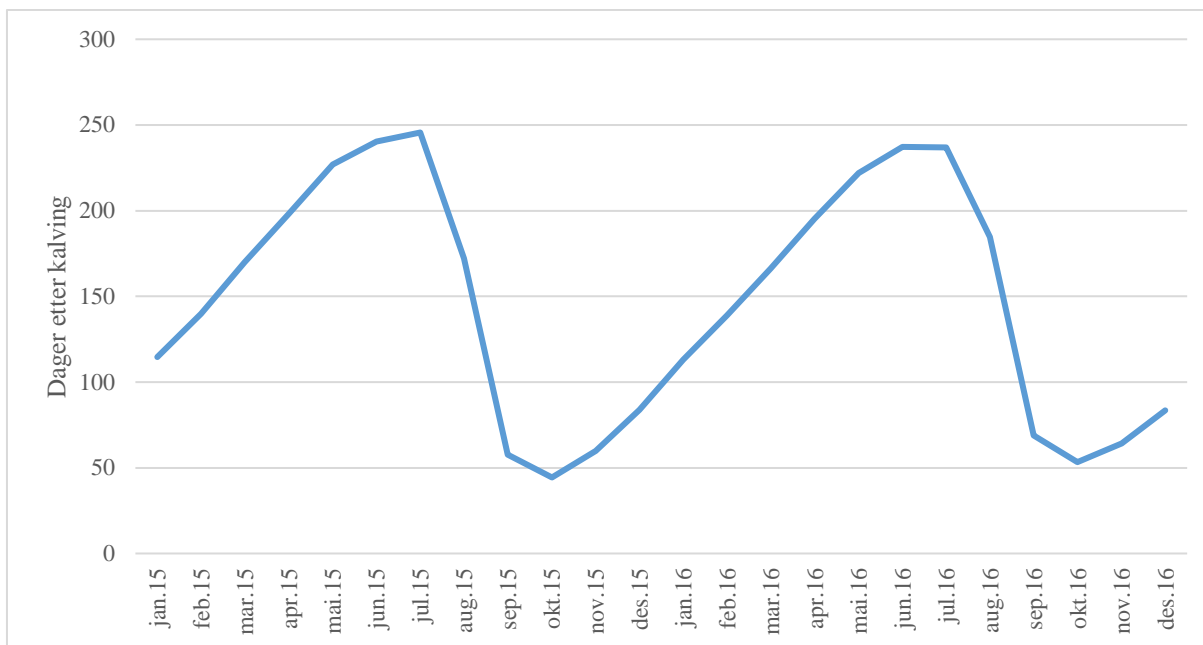
Grensen for statistisk signifikante forskjeller er satt ved p -verdi $\leq 0,05$. I resultatene er et stjernetegn (*) benyttet i tabellene for å fremheve signifikans. Alle figurene og tabellene presentert i kapittel 3.2 er fremstilt i Excel (Excel, 2013).

3.2 Resultater

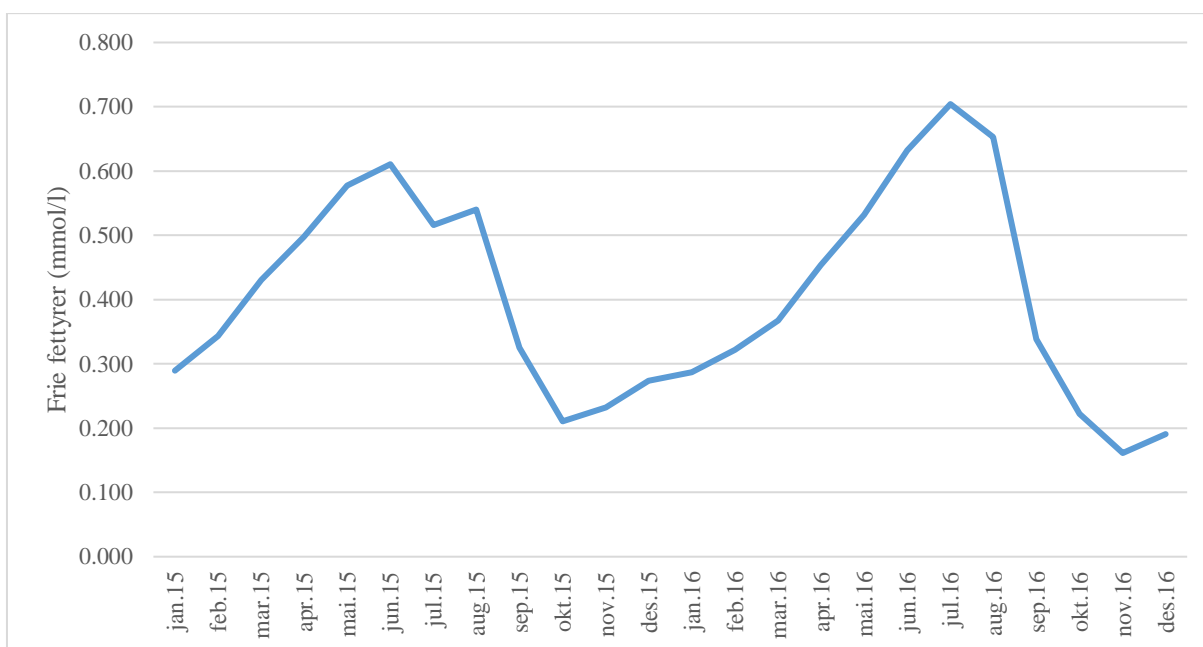
3.2.1 Oversikt over datamaterialet for hele laktasjonsperioden

Datamaterialet for hele laktasjonsperioden i 2015 og 2016 for de utvalgte besetningene er vist i figurene 9 - 13 for å få oversikt over melkens sammensetning på månedsbasis. Det er benyttet gjennomsnittlige verdier av prøvene fra tankmelk per måned i alle figurene.

Gjennomsnittlige antall dager etter kalving per måned er som forventet lavest i perioden september til november for begge årene (figur 9). Gjennomsnittlig innhold av frie fettsyrer på månedsbasis følger et nokså tilsvarende mønster som for antall dager etter kalving (figur 10). Innholdet av frie fettsyrer er lavest den første tiden etter kalving, i perioden september til desember, og øker deretter gradvis utover i laktasjonsperioden. Generelt er det lave verdier for innholdet av frie fettsyrer i dette datasettet.



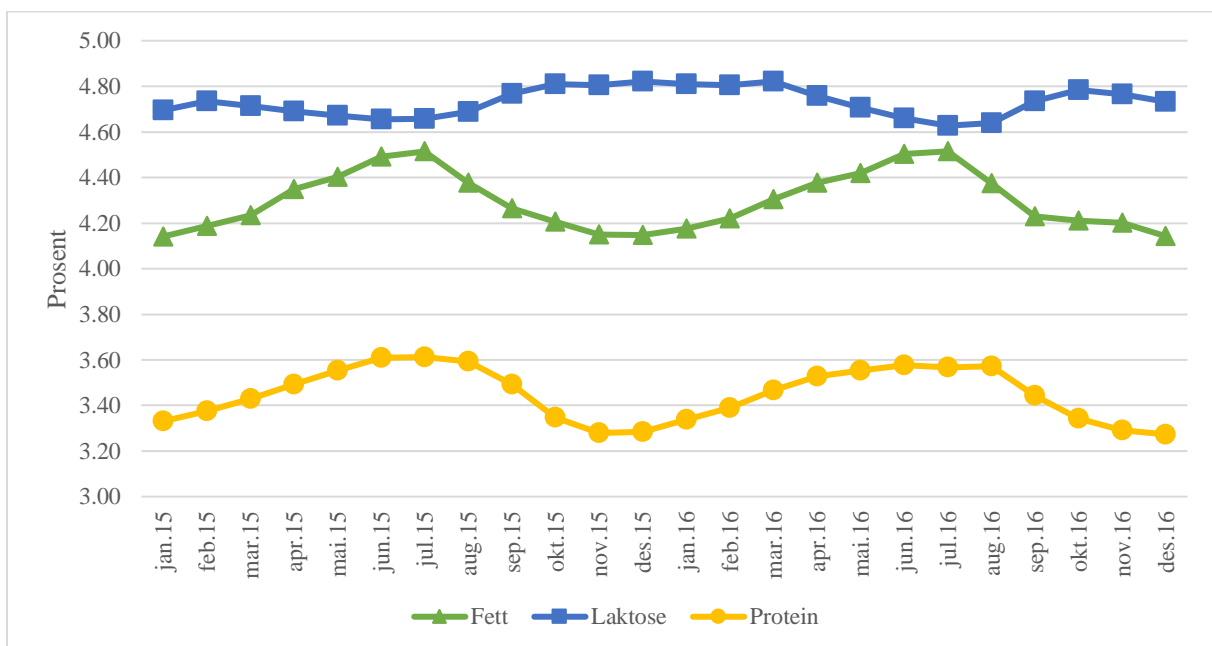
Figur 9: Gjennomsnittlige antall dager etter kalving på månedsbasis for 2015 og 2016.



Figur 10: Gjennomsnittlige verdier for innhold av frie fettsyrer i tankmelk på månedsbasis for 2015 og 2016.

Gjennomsnittlig innhold av fett, laktose og protein i melk varierer nokså likt gjennom laktasjonsperioden begge årene (figur 11). Melkens fettprosent varierer fra ca. 4,15% til 4,50%, med høyest fettinnhold på sommeren i juni og juli begge år og lavest fettinnhold på høsten omkring kalving i oktober, november og desember begge år. Proteininnholdet varierer fra ca. 3,30% til 3,60% med et forholdsvis likt mønster gjennom årene som fettprosenten, med

høyest proteininnhold på sommeren og lavest på høsten omkring kalving. Variasjonen mellom årstidene er litt mindre for proteininnholdet enn for fettinnholdet i melk. Laktoseprosenten varierer fra ca. 4,63% til 4,82%. Innhold av laktose er nokså jevnt årene gjennom, med en liten økning på vinteren og en liten reduksjon på sommeren begge årene. Noe av variasjonen for melkens innhold av hovednæringsstoffer kan relateres til laktasjonsstadiet i større grad enn til sesongvariasjoner, da disse besetningene har konsentrert kalving. Blant annet reduseres melkens innhold av fett og protein i den perioden hvor hovedtyngden av kyrne nylig har kalvet.

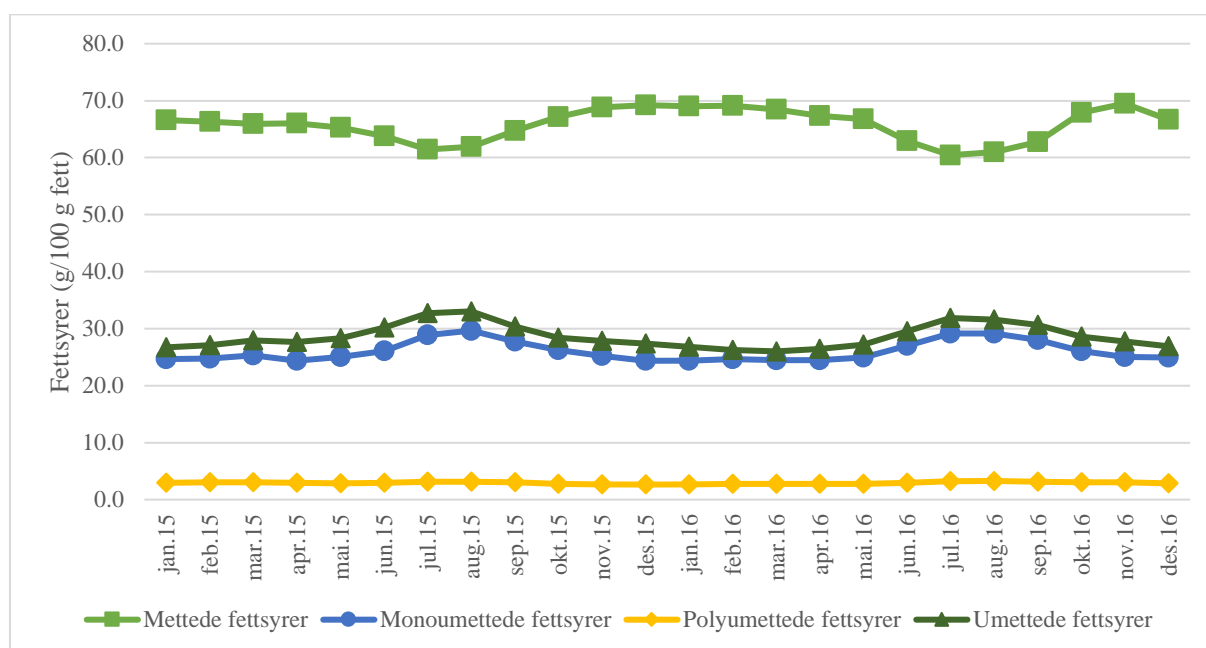


Figur 11: Gjennomsnittlig innhold av fett, laktose og protein i tankmelk per måned for 2015 og 2016.

Gjennomsnittlige innhold av mettede, umettede-, monoumettede- og polyumettede fettsyrer per måned viser at det er vesentlig høyere innhold av mettede fettsyrer enn umettede fettsyrer i melken (figur 12). Andelen mettede fettsyrer varierer fra ca. 60 til 69 g/100 g fett, mens andelen umettede fettsyrer varierer fra ca. 26 til 33 g/100 g fett. Variasjonen gjennom årene for mettede fettsyrer følger et motsatt mønster i forhold til umettede fettsyrer i melk. Melkens innhold av mettede fettsyrer reduseres på sommeren, fra mai til august for begge årene, på samme tid som innholdet av umettede fettsyrer øker. Motsatt fettsyremønster forekommer på høsten/vinteren, da melkens innhold av mettede fettsyrer øker fra og med august til november,

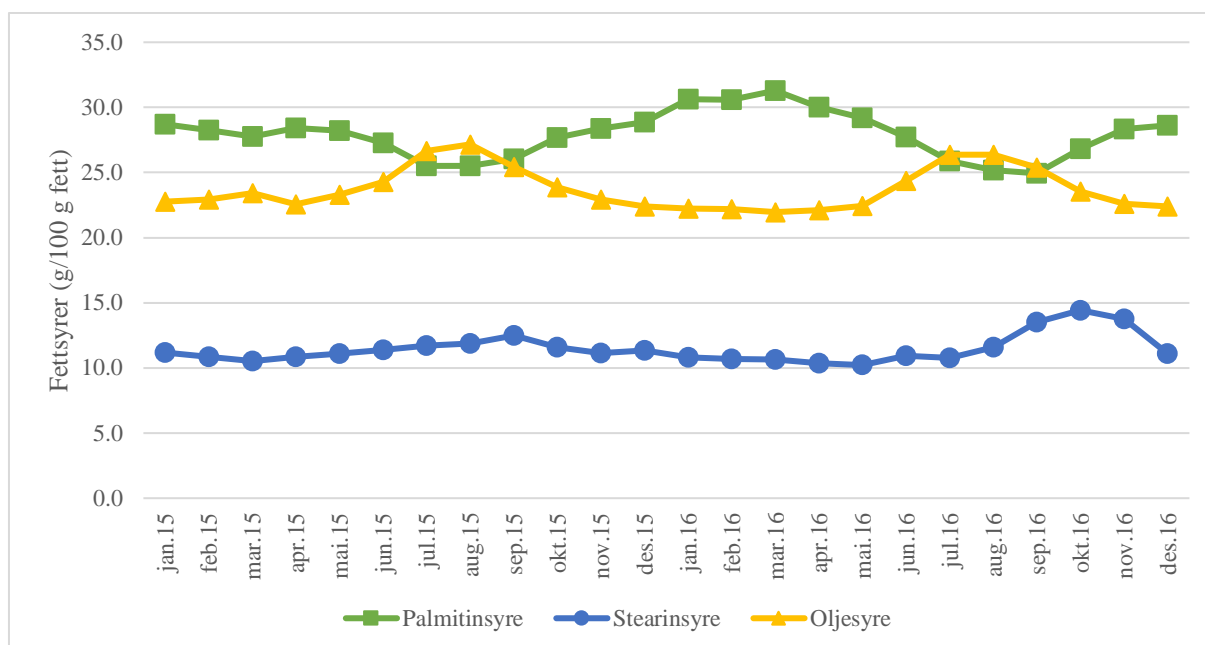
samtidig som innholdet av umettede fettsyrer reduseres. Andelen mettede- og umettede fettsyrer er nokså stabil i løpet av vintermånedene desember til mars for begge årene.

Andelen monoumettede fettsyrer varierer fra ca. 24 til 29 g/100 g fett, og følger et tilsvarende mønster som umettede fettsyrer gjennom begge årene. Det er et normalt lavt innhold av polyumettede fettsyrer for begge årene som varierer fra ca. 2,6 til 3,3 g/100 g fett. Melkens innhold av polyumettede fettsyrer er høyest i månedene juni, juli og august begge årene.



Figur 12: Gjennomsnittlig innhold av mettede-, umettede-, monoumettede- og polyumettede fettsyrer i tankmelk per måned for 2015 og 2016.

Gjennomsnittlig innhold av palmitinsyre, stearinsyre og oljesyre per måned viser i hovedsak høyest innhold av palmitinsyre, deretter oljesyre og til slutt stearinsyre (figur 13). Andelen av den mettede fettsyren palmitinsyre varierer fra ca. 25 til 31 g/100 g fett gjennom årene, det er høyest andel på vinteren og lavest på sommeren. Andelen av den monoumettede fettsyren oljesyre varierer fra ca. 22 til 27 g/100 g fett gjennom årene. Melkens innhold av oljesyre øker på sommeren og minker på vinteren som er motsatt av mønsteret til palmitinsyre. Andelen av den mettede fettsyren stearinsyre er forholdsvis jevn gjennom årene og varierer fra ca. 10 til 14 g/100 g fett. Det er en liten økning i stearinsyre på høsten begge årene, med høyest økning i året 2016.



Figur 13: Gjennomsnittlig innhold av palmitinsyre, stearinsyre og oljesyre i tankmelk per måned for 2015 og 2016.

3.2.2 Oversikt over datamaterialet for perioden 30-60 dager etter kalving

Datamaterialet som ble testet omfattet perioden 30-60 dager etter kalving. Tabellene 11 - 13 viser oversikt over datamaterialet samlet for 2015 og 2016. I tabellene er det oppført antall observasjoner (N), gjennomsnittsverdi, standardavvik (Std Dev), laveste- (Min) og høyeste verdi (Maks) i datasettet for de aktuelle variablene.

Tabell 11: Antall observasjoner, gjennomsnitt, standardavvik, minimum- og maksimumsverdi for antall dager etter kalving og innholdet av frie fettsyrer i tankmelk.

Variabel	N	Gjennomsnitt	Std Dev	Min	Maks
Dager etter kalving	7086	45	9	30	60
Frie fettsyrer (mmol/l)	7086	0.19	0.12	0.10	1.60

Tabell 12: Antall observasjoner, gjennomsnitt, standardavvik, minimum- og maksimumsverdi for innhold av fett, laktose, protein (prosent) og urea (mmol/l) i tankmelk.

Variabel	N	Gjennomsnitt	Std Dev	Min	Maks
Fett	7086	4.15	0.251	2.72	5.69
Laktose	7086	4.80	0.072	4.43	5.03
Protein	7086	3.26	0.137	2.82	4.10
Urea	7086	4.75	0.919	1.50	9.20

Tabell 13: Antall observasjoner, gjennomsnitt, standardavvik, minimum- og maksimumsverdi for innhold av fettgruppene og enkeltfettsyrer (g/100 g fett) i tankmelk.

Variabel	N	Gjennomsnitt	Std Dev	Min	Maks
Mettet fett	3141	67.35	3.347	50.83	74.63
Umettet fett	7086	28.13	2.663	19.57	43.8
Monoumettede fettsyrer	7086	25.63	2.302	18.81	36.69
Polyumettede fettsyrer	7086	2.92	0.371	1.5	4.83
Palmitinsyre	7086	27.66	2.567	18.24	37.01
Stearinsyre	6005	12.98	2.211	7.09	21.18
Oljesyre	7086	23.24	2.380	16.05	35.07

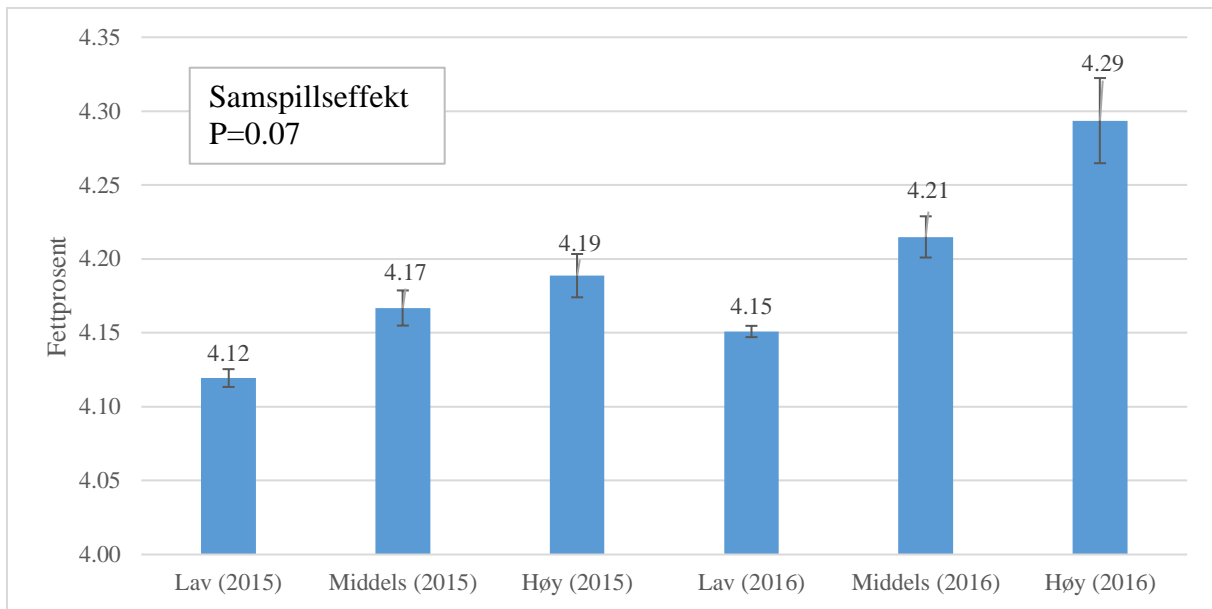
3.2.3 Sammenhengen mellom innhold av frie fettsyrer og innhold av fett, laktose, protein og urea i tankmelk

Statistisk analyse ble gjort for å undersøke om det er sammenheng mellom innholdet av frie fettsyrer (FFS-klasse) og årene for variablene fett, laktose, protein og urea, og i tillegg om det er samspill mellom variablene, fettsyreklasse og år. F-verdi og P-verdi er presentert i tabell 14. Resultatene for hver enkelt variabel er vist i de etterfølgende figurene 14-17. Eventuell samspillseffekt er angitt ved p-verdien på hver figur.

Tabell 14: Statistisk analyse av sammenhengen mellom innhold av frie fettsyrer og fett, laktose, protein og urea i tankmelk.

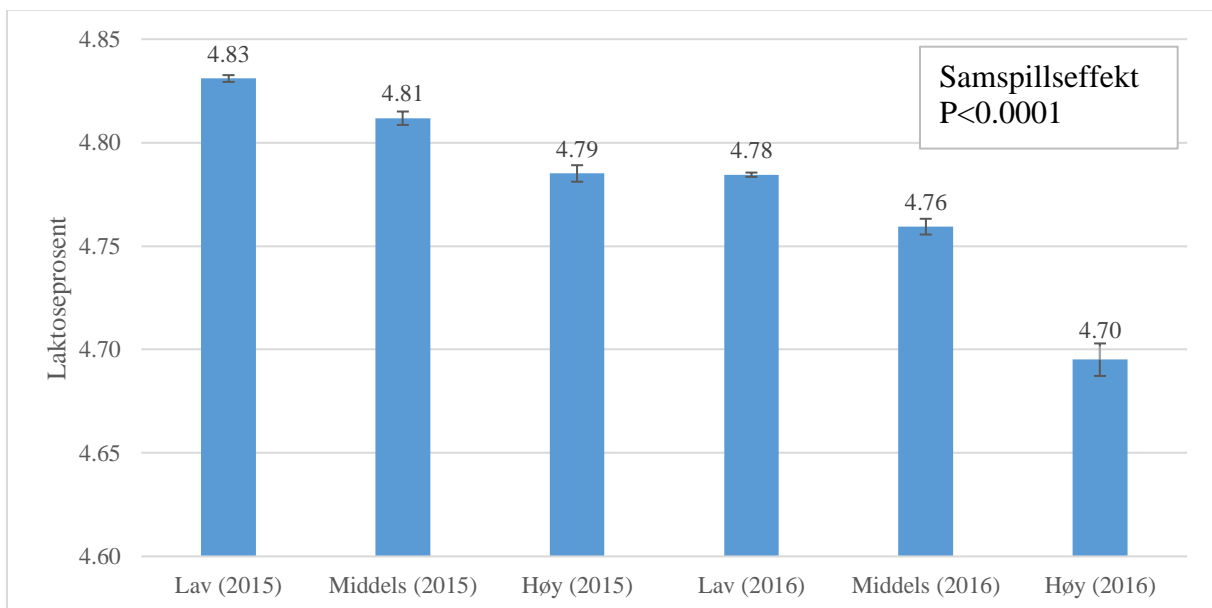
Variabel	FFS-klasse		År		Samspill	
	F-verdi	P-verdi	F-verdi	P-verdi	F-verdi	P-verdi
Fett	33.90	<0.0001*	23.77	<0.0001*	2.68	0.07
Laktose	137.76	<0.0001*	335.56	<0.0001*	11.91	<0.0001*
Protein	33.62	<0.0001*	28.34	<0.0001*	27.26	<0.0001*
Urea	8.50	0.0002*	101.55	<0.0001*	1.10	0.33

Det var signifikante forskjeller mellom fettsyreklasse og begge årene for innholdet av fett i melken, og det ble ikke påvist signifikant samspill mellom disse (P=0,07). Figur 14 viser en positiv sammenheng mellom innhold av fett og frie fettsyrer i melken. Det er betydelig forskjell på fettsyreklassen «høy» mellom årene for fettprosenten.



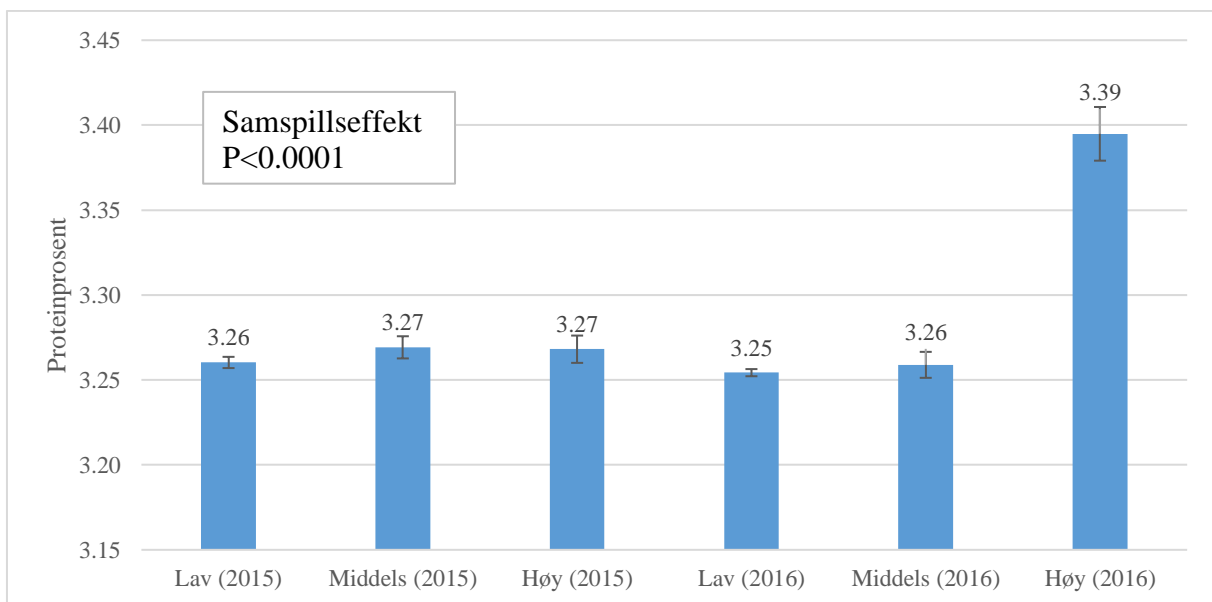
Figur 14: LSMeans av fettprosent gruppert etter innhold av frie fettsyrer i tankmelk for 2015 og 2016.

Det var også signifikant forskjell mellom fettsyreklasse og begge årene for innholdet av laktose, og det ble i tillegg påvist signifikant samspill mellom disse ($P < 0,0001$). Figur 15 viser samspillet mellom fettsyreklasse og årene for innholdet av laktose. Figuren viser negativ sammenheng mellom innholdet av laktose og frie fettsyrer i melken. I tillegg viser dataene fra 2016 en lavere andel laktose enn dataene fra 2015.

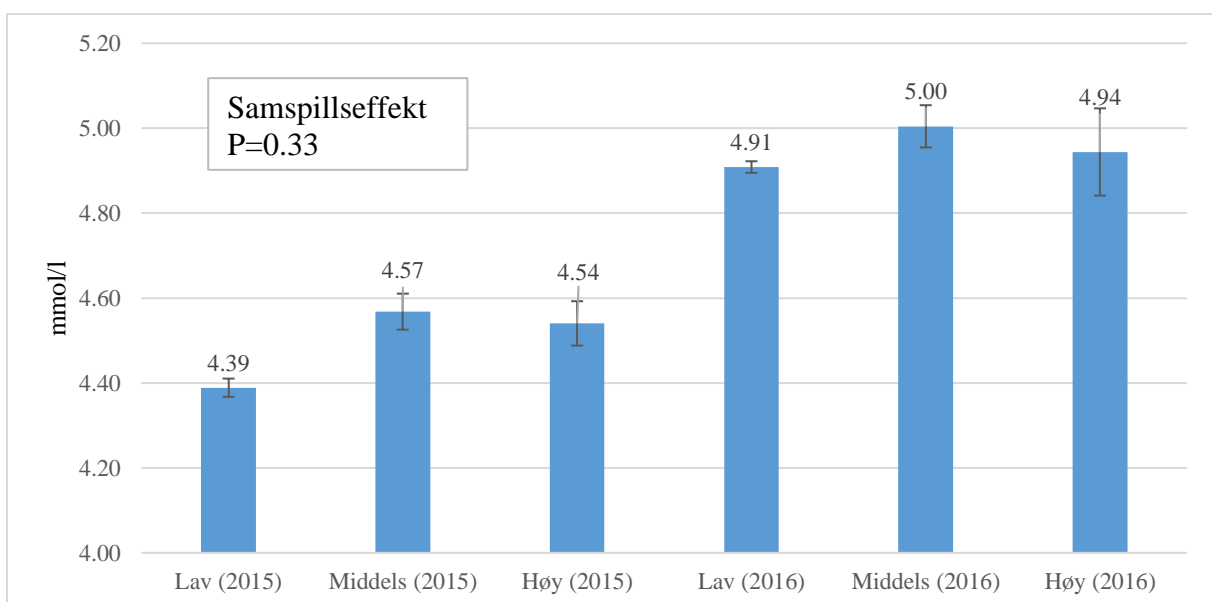


Figur 15: LSMeans av laktoseprosent gruppert etter innhold av frie fettsyrer i tankmelk for 2015 og 2016.

Tabell 14 viser at både innholdet av protein og urea varierte signifikant med innholdet av frie fettsyrer i melken, men det ble bare påvist samspill mellom disse og år for protein. Figur 16 viser samspillet mellom fettsyreklasse og år for protein. Fettsyreklassene «middels» og «høy» for året 2015 er rimelig like for begge årene. Derimot er innholdet av protein svært høyt ved høyt innhold av frie fettsyrer i melk i 2016 sammenlignet med året 2015. Figur 17, som viser analysedataene for urea, viser samme mønster for begge årene. Det er en liten økning fra fettsyreklassen «lav» til «middels» og deretter en reduksjon fra fettsyreklassen «middels» til «høy». Det er en litt høyere andel urea i melk for året 2016 i forhold til året 2015.



Figur 16: LSMMeans av proteinprosent gruppert etter innhold av frie fettsyrer i tankmelk for 2015 og 2016.



Figur 17: LSMMeans av urea gruppert etter innhold av frie fettsyrer i tankmelk for 2015 og 2016.

3.2.4 Sammenhengen mellom innhold av frie fettsyrer og fettsyresammensetningen i tankmelk

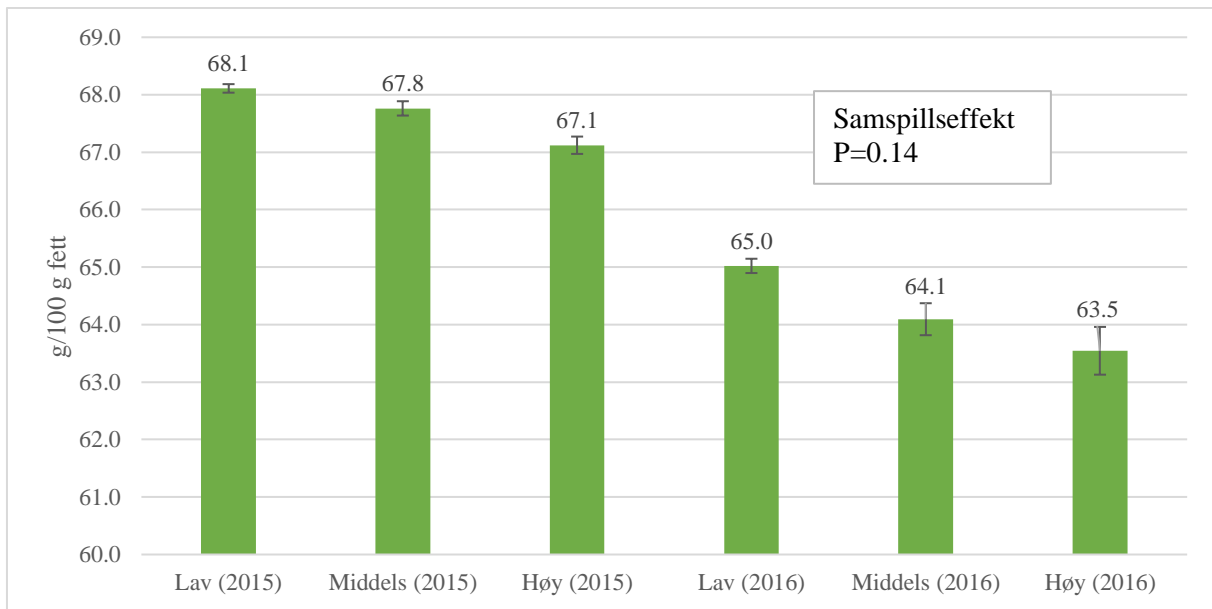
Statistisk analyse ble gjort for å undersøke om det er sammenheng mellom innholdet av frie fettsyrer (FFS-klasse) og årene for fettgrupper og de tre viktigste fettsyrene i melk, og i tillegg om det er samspill mellom fettsyreklasse og år for variablene. F-verdi og P-verdi er presentert i tabell 15. Resultatene for hver enkelt variabel er vist i de etterfølgende figurene 18-24.

Eventuell samspillseffekt er angitt ved p-verdien på hver figur.

Tabell 15: Statistisk analyse av sammenhengen mellom innhold av frie fettsyrer og fettgruppene og de tre viktigste fettsyrene i tankmelk.

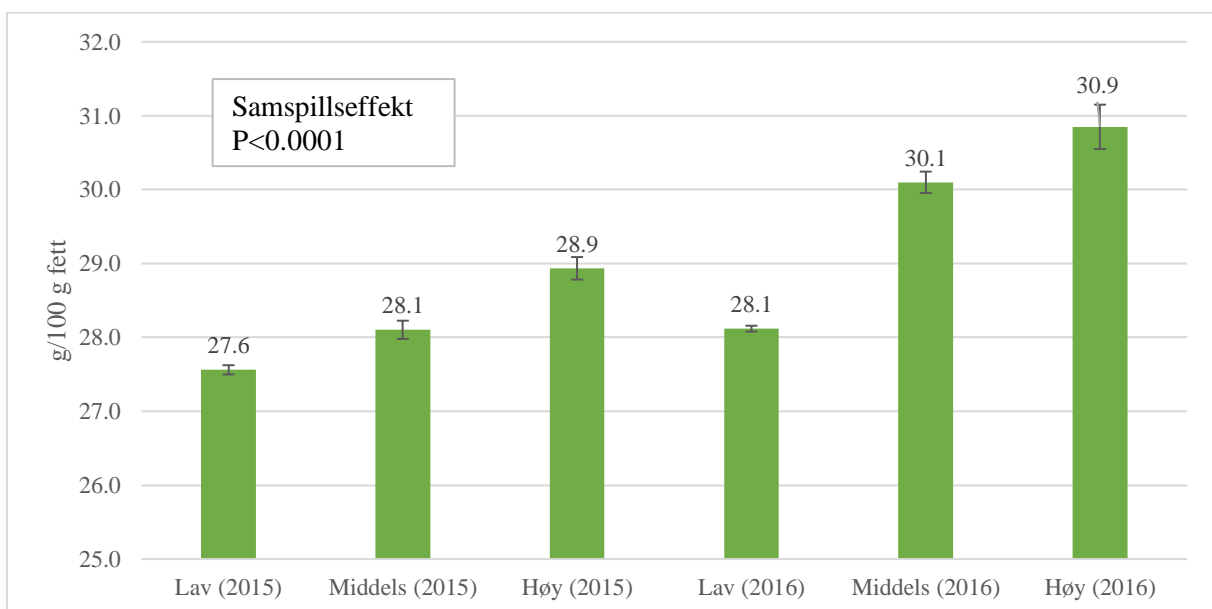
Variabel	FFS-klasse		År		Samspill	
	F-verdi	P-verdi	F-verdi	P-verdi	F-verdi	P-verdi
Mettet fett	19.99	<0.0001*	288.01	<0.0001*	1.99	0.14
Umettet fett (totalt)	136.38	<0.0001*	128.91	<0.0001*	30.51	<0.0001*
Monoumettede fettsyrer	114.67	<0.0001*	91.96	<0.0001*	31.50	<0.0001*
Polyumettede fettsyrer	8.49	0.0002*	318.12	<0.0001*	4.04	0.0176*
Palmitinsyre	12.42	<0.0001*	17.37	<0.0001*	0.07	0.93
Stearinsyre	7.97	0.0003*	480.10	<0.0001*	1.53	0.22
Oljesyre	108.82	<0.0001*	65.57	<0.0001*	27.94	<0.0001*

Tabell 15 viser signifikant forskjell mellom fettsyreklasse og begge årene for innholdet av mettet fett, og det ble ikke påvist signifikant samspill mellom disse (P=0,14). Som figur 18 viser er det en negativ sammenheng mellom innholdet av mettet fett og frie fettsyrer i melken begge årene. Figuren viser i tillegg en høyere andel mettet fett i 2015 enn i 2016.



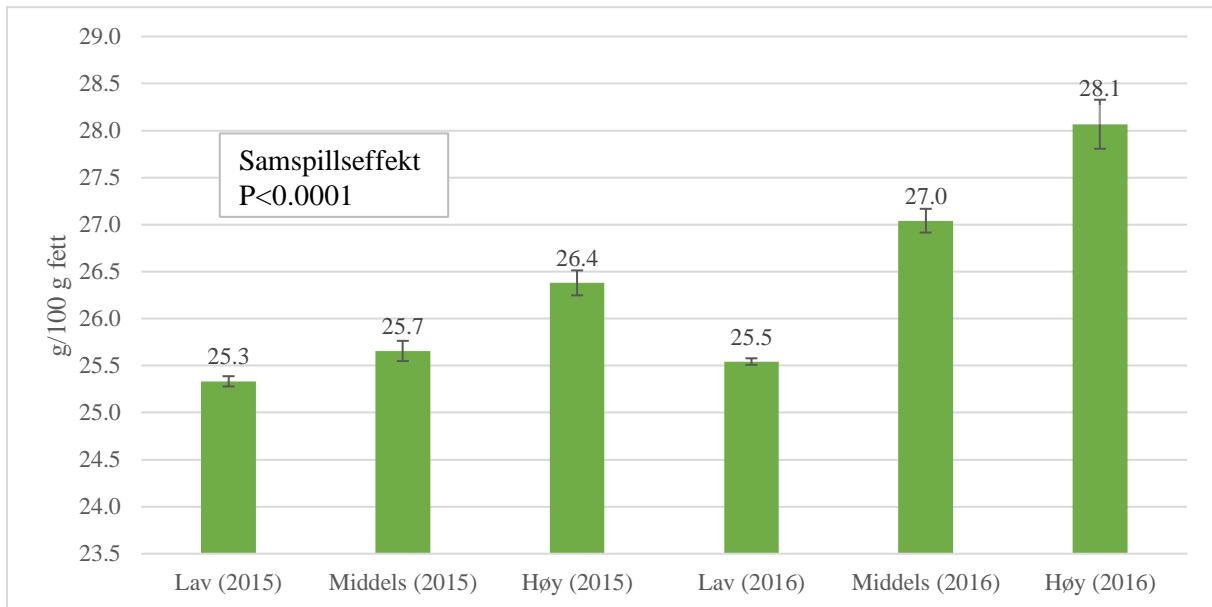
Figur 18: LSMMeans av mettet fett gruppert etter innhold av frie fettsyrer i tankmelk for 2015 og 2016.

For umettet fett var det også signifikant forskjell mellom fettsyreklasse og begge årene, og i tillegg ble det påvist signifikant samspill mellom disse ($P < 0,0001$). Samspillet mellom fettsyreklasse og årene for umettet fett er vist i figur 19. Andelen umettet fett viser et motsatt mønster enn for mettet fett, da andelen umettet fett øker ved økt innhold av frie fettsyrer i melken. Figuren viser også litt høyere innhold av umettet fett i 2016 enn i 2015. Samspillseffekten er relatert til fettsyreklasse «lav» i 2016 som skiller seg ut med lavere verdier enn forventet ut fra nivået dette året.

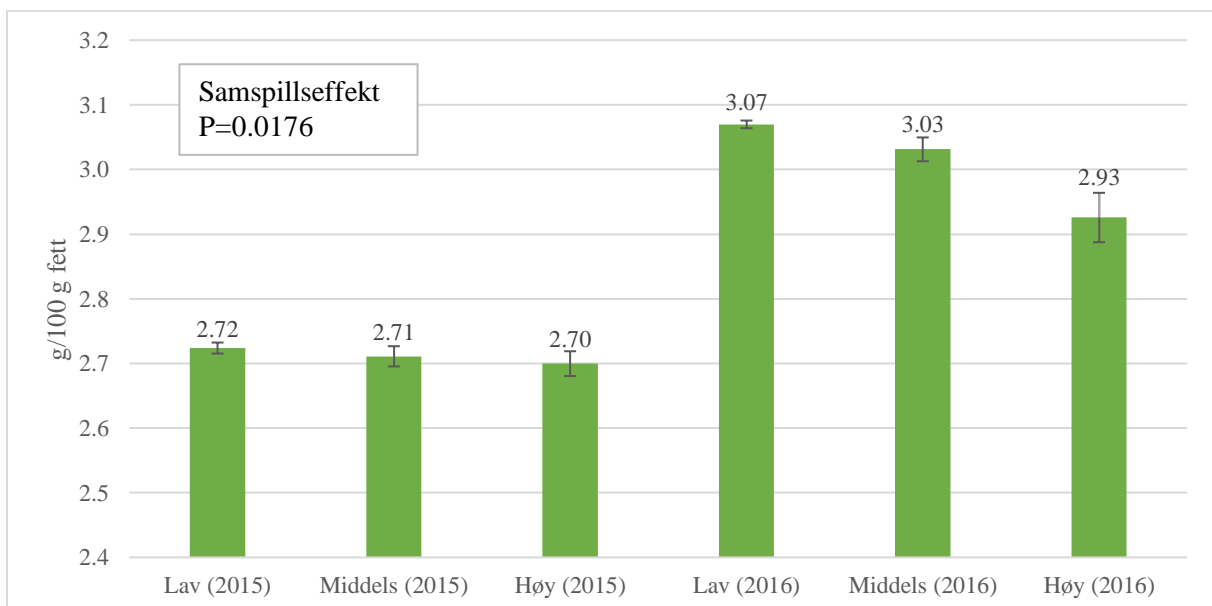


Figur 19: LSMMeans av umettet fett gruppert etter innhold av frie fettsyrer i tankmelk for 2015 og 2016.

Både innholdet av monoumettede- og polyumettede fettsyrer viser signifikant sammenheng mellom fettsyreklasse og begge årene. Det ble også påvist signifikant samspill mellom disse for monoumettede fettsyrer ($P < 0,0001$) vist i figur 20 og polyumettede fettsyrer ($P = 0,0176$) vist i figur 21. Som figurene viser er det positiv sammenheng mellom innholdet av monoumettede fettsyrer og frie fettsyrer, mens det derimot er negativ sammenheng mellom innholdet av polyumettede fettsyrer og frie fettsyrer i melken.

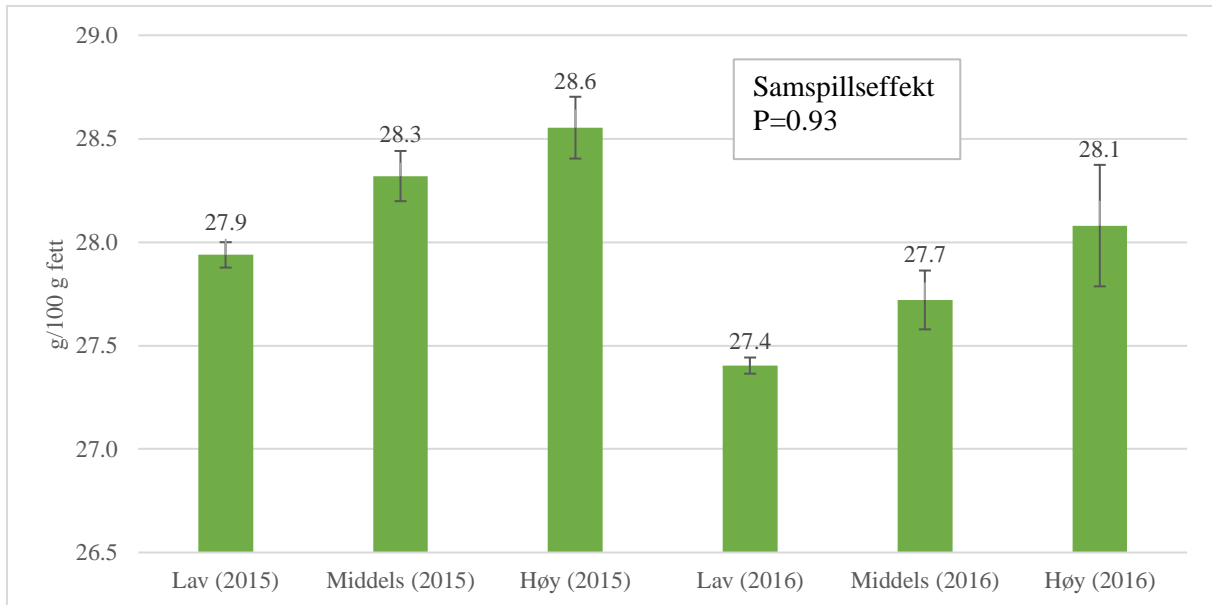


Figur 20: LSMeans av monoumettede fettsyrer gruppert etter innhold av frie fettsyrer i tankmelk for 2015 og 2016.

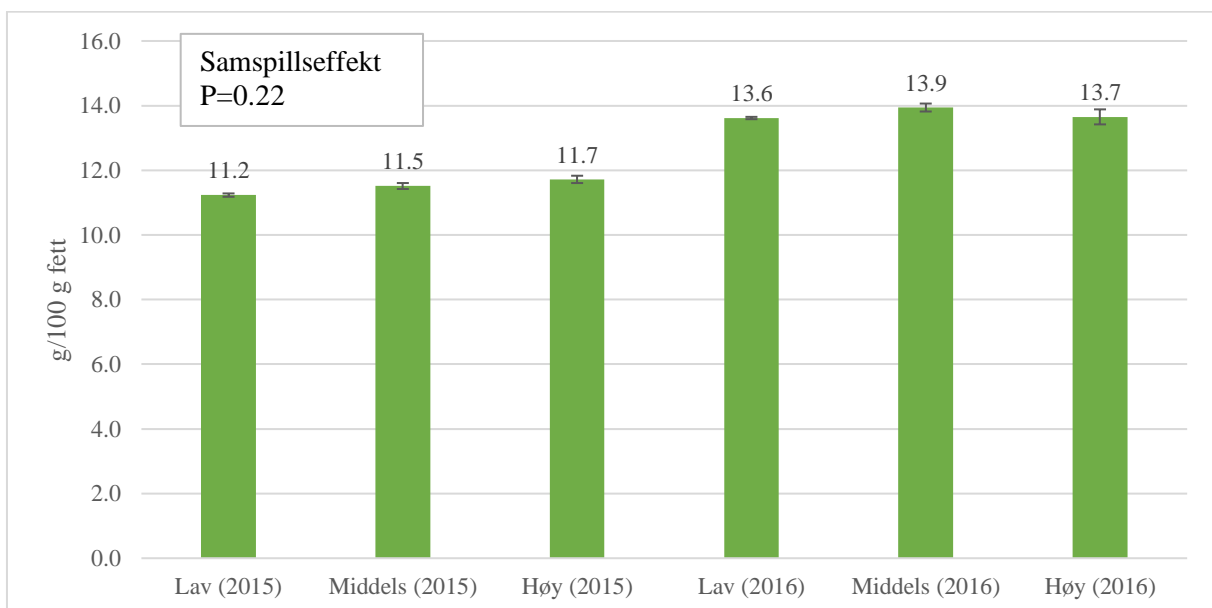


Figur 21: LSMeans av polyumettede fettsyrer gruppert etter innhold av frie fettsyrer i tankmelk for 2015 og 2016.

Det var signifikant forskjell mellom fettsyreklasser og begge årene for innholdet av palmitinsyre, og det ble ikke påvist signifikant samspill mellom disse ($P=0,93$). Det samme gjelder for innholdet av stearinsyre ($P=0,22$). Det er en positiv sammenheng mellom innholdet av palmitinsyre og frie fettsyrer i melken som vist i figur 22. Innholdet av stearinsyre er omtrent nominelt upåvirket som vist i figur 23.

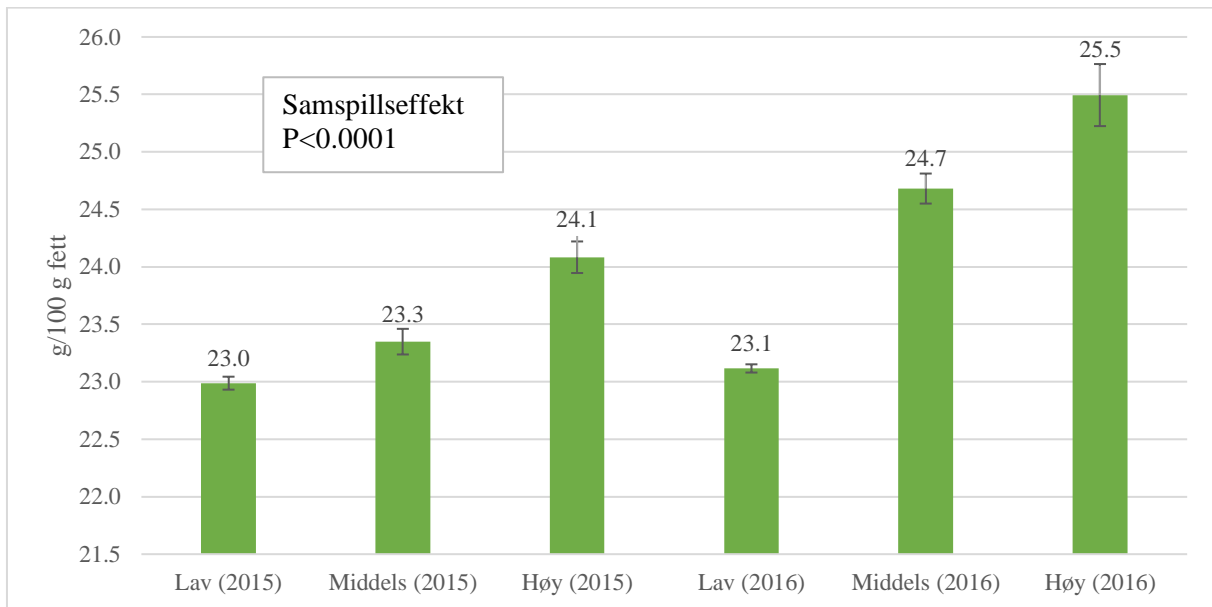


Figur 22: LSMeans av palmitinsyre gruppert etter innhold av frie fettsyrer i tankmelk for 2015 og 2016.



Figur 23: LSMeans av stearinsyre gruppert etter innhold av frie fettsyrer i tankmelk for 2015 og 2016.

Innholdet av oljesyre, som er vist i figur 24, viser også signifikant forskjell mellom fettsyreklasse og begge årene, og i tillegg ble det påvist samspill mellom disse ($P < 0,0001$). Som vist i figuren er det en positiv sammenheng mellom innholdet av oljesyre og frie fettsyrer i melken.



Figur 24: LSMMeans av oljesyre gruppert etter innhold av frie fettsyrer i tankmelk for 2015 og 2016.

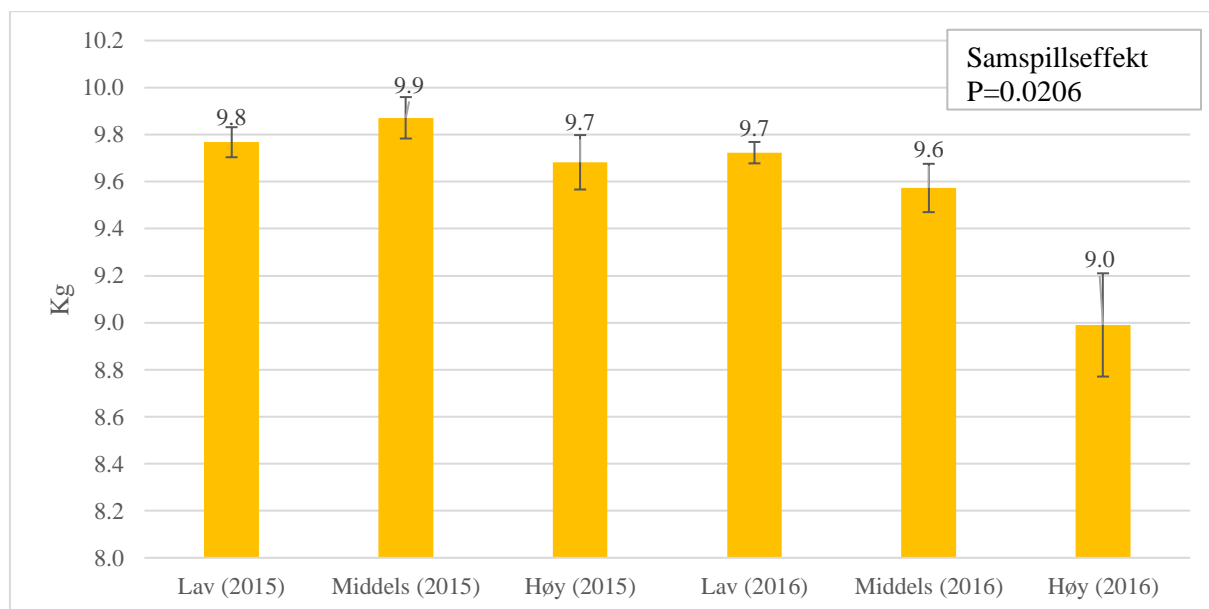
3.2.5 Sammenhengen mellom innhold av frie fettsyrer i tankmelk og opplysninger om kraftfôrmengde og melkeavdrått registrert i Kukontrollen

Det ble også hentet datamateriale fra Kukontrollen til bruk i denne undersøkelsen. Det er obligatorisk med minst 10 registreringer av kraftfôrmengde og avdrått i året for å få godkjent årsoppgjøret. Statistisk analyse ble gjort for å undersøke om det er sammenheng mellom innholdet av frie fettsyrer (FFS-klasse) og årene for kraftfôrmengde og melkeavdrått, og i tillegg om det er samspill mellom fettsyreklasse og år for disse variablene. F-verdi og P-verdi er presentert i tabell 16. Resultatene for hver enkelt variabel er vist i de etterfølgende figurene 25-29. Eventuell samspillseffekt er angitt ved p-verdien på hver figur.

Tabell 16: Statistisk analyse av sammenhengen mellom innhold av frie fettsyrer i tankmelk og registreringer av kraftfôrmengde og melkeavdrått i Kukontrollen.

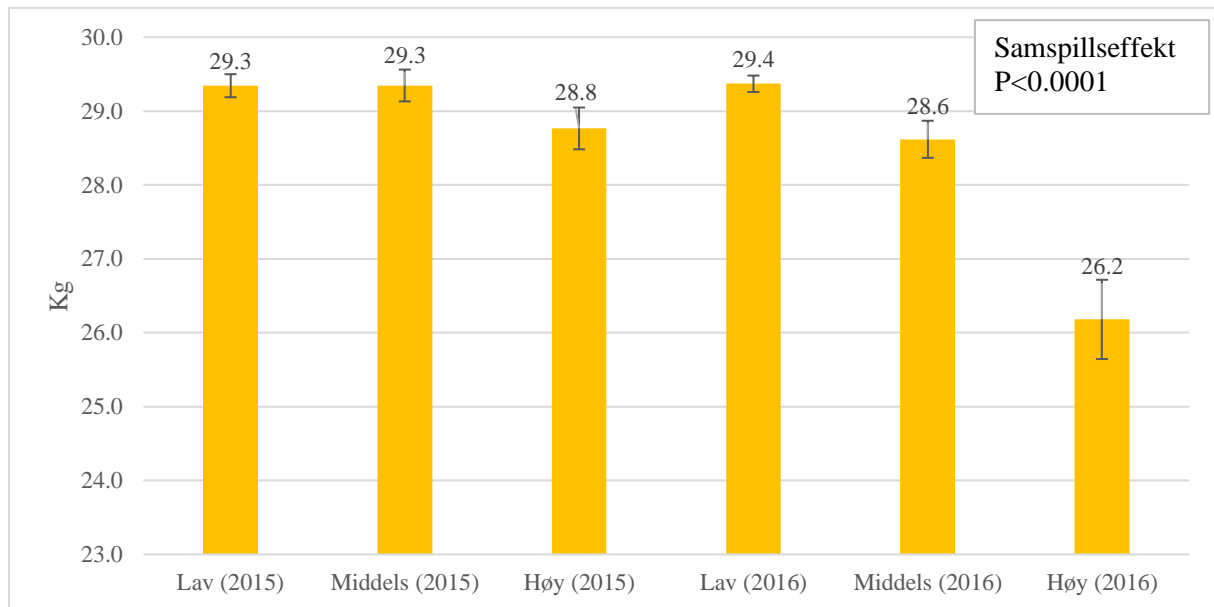
Variabel	FFS-klasse		År		Samspill	
	F-verdi	P-verdi	F-verdi	P-verdi	F-verdi	P-verdi
Kg kraftfôr pr. ku/dag	4.96	0.0071*	12.43	0.0004*	3.89	0.0206*
Kg melk pr. ku/dag	18.15	<0.0001*	21.06	<0.0001*	9.38	<0.0001*
Kg kraftfôr/100 kg melk	3.81	0.0222*	1.00	0.3178	1.12	0.32
Kg EKM pr. ku/dag	43.56	<0.0001*	47.34	<0.0001*	22.64	<0.0001*
Kg kraftfôr/100 kg EKM	12.29	<0.0001*	6.57	0.0104*	3.87	0.0210*

Kg kraftfôr pr. ku/dag for besetningene viser signifikant forskjell mellom fettsyreklasse og begge årene, og i tillegg ble det påvist samspill mellom disse (P= 0,0206). Som figur 25 viser er det for året 2015 en økning fra fettsyreklasse «lav» til «middels» og deretter en reduksjon fra fettsyreklasse «middels» til «høy». Derimot er det en reduksjon ved økt innhold av frie fettsyrer for året 2016.



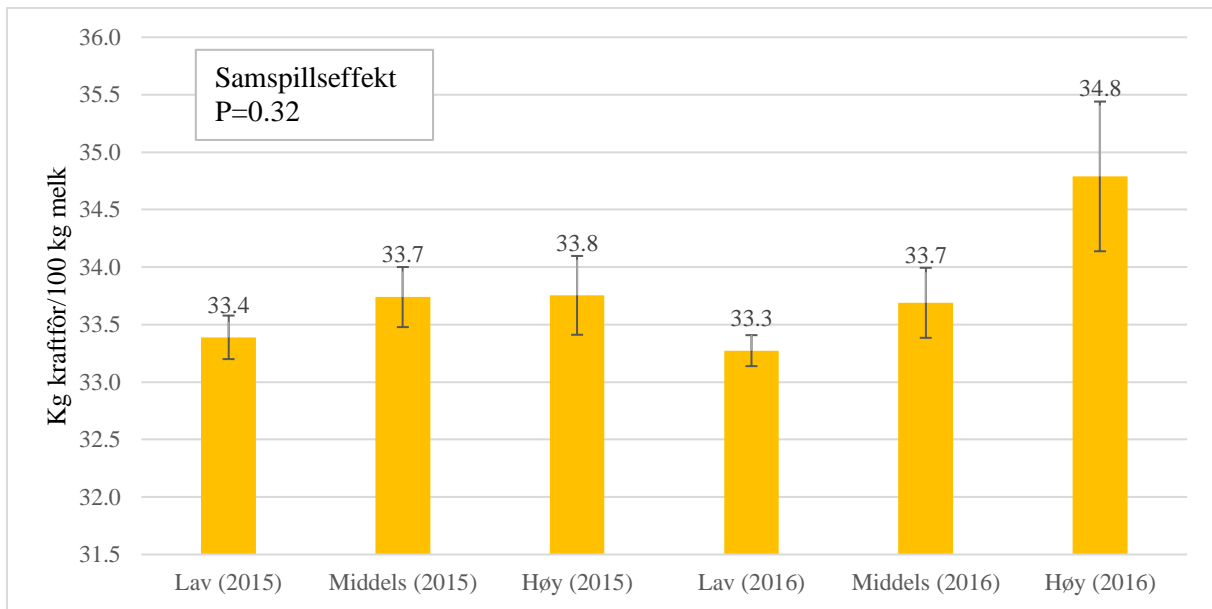
Figur 25: LSMeans av kraftfôr pr. ku/dag gruppert etter innhold av frie fettsyrer i tankmelk for 2015 og 2016.

Melkeavdrått, oppgitt som kg melk pr. ku/dag, viste signifikant forskjell mellom fettsyreklasse og begge årene, og i tillegg ble det påvist samspill mellom disse ($P < 0,0001$). Samspillet for avdrått er vist i figur 26. Figuren viser forskjell på melkemengden for de ulike fettsyreklassene, og da spesielt for året 2016.



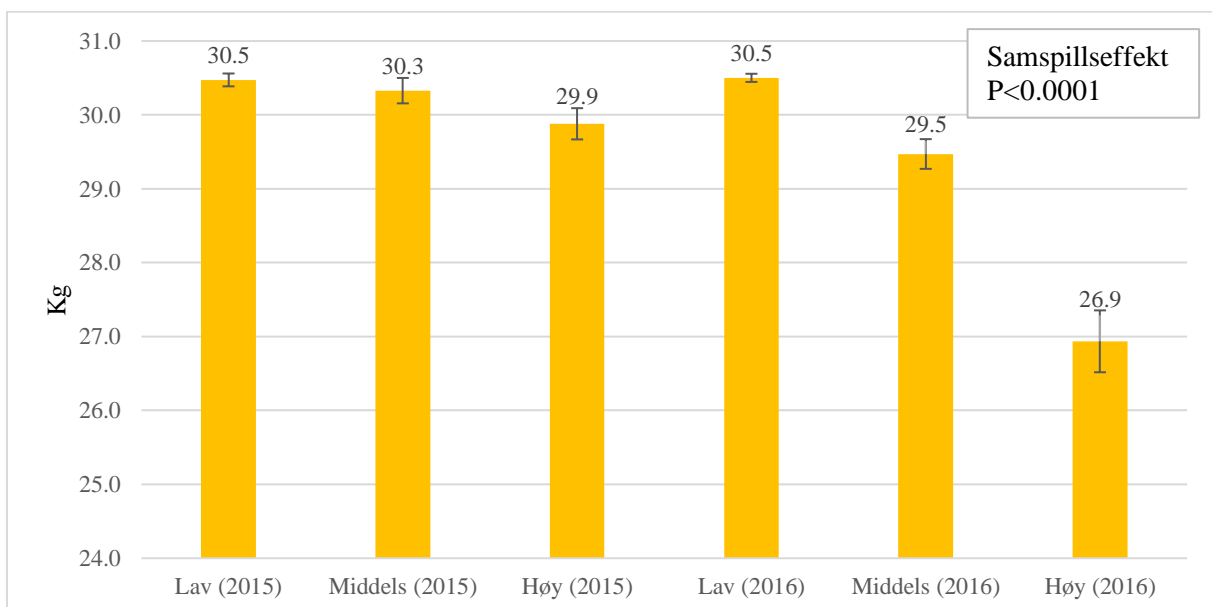
Figur 26: LSMeans av kg melk pr. ku/dag gruppert etter innhold av frie fettsyrer i tankmelk for 2015 og 2016.

Kg kraftfôr pr. 100 kg melk viser signifikant forskjell mellom fettsyreklasse, men derimot ikke årene. Det ble heller ikke påvist samspill ($P = 0,32$). Figur 27 viser en positiv sammenheng mellom kg kraftfôr pr. 100 kg melk og innholdet av frie fettsyrer. Det er tydeligere utslag mellom fettsyreklassene i 2016 enn i 2015.



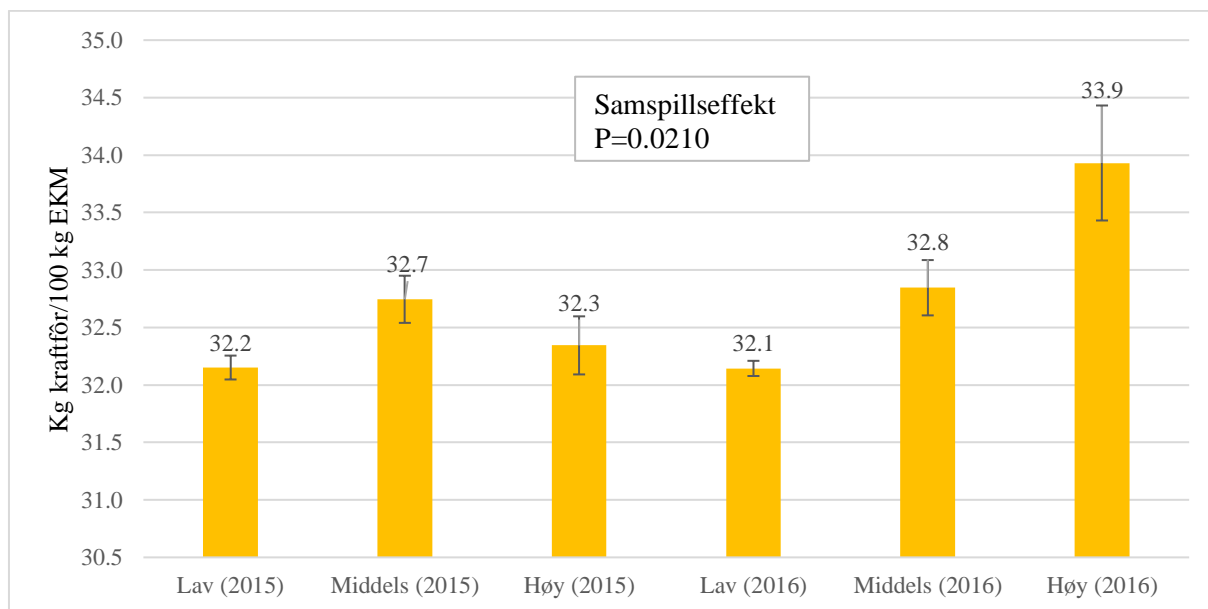
Figur 27: LSMeans av kg kraftfôr/100 kg melk gruppert etter innhold av frie fettsyrer i tankmelk for 2015 og 2016.

Energikorrigert melk viser signifikant forskjell mellom fettsyreklasse og begge årene, og i tillegg ble det påviste samspill mellom disse ($P < 0,0001$). Figur 28 viser en negativ sammenheng mellom energikorrigert melk og innholdet av frie fettsyrer i melken. Det er tydeligere utslag i 2016 enn i 2015, med en vesentlig reduksjon fra fettsyreklasse «middels» til «høy» i 2016.



Figur 28: LSMeans av kg EKM pr. ku/dag gruppert etter innhold av frie fettsyrer i tankmelk for 2015 og 2016.

Kg kraftfôr pr. 100 kg EKM viser signifikant forskjell mellom fettsyreklasse og begge årene, og i tillegg ble det påvist samspill mellom disse ($P=0,0210$). Som figur 29 viser er det forskjellig mønster for året 2015 og 2016. For året 2015 er det en økning fra fettsyreklassen «lav» til «middels» og deretter en reduksjon fra fettsyreklassen «middels» til «høy». Derimot er det for året 2016 en økning ved økt innhold av frie fettsyrer i melken.



Figur 29: LSMeans av kg kraftfôr/100 kg EKM gruppert etter innhold av frie fettsyrer i tankmelk for 2015 og 2016.

3.3 Diskusjon

Det ble benyttet analysedata av tankmelk for produksjonsårene 2015 og 2016. Innholdet av frie fettsyrer i melk er generelt veldig lavt i tidlig laktasjon, og gjennomsnittsverdien for hele datamaterialet samlet for begge årene var 0,19 mmol/l for perioden 30-60 dager etter kalving (tabell 11). Imidlertid viste dataene for 2016 betydelig mer variasjon i melkens innhold av frie fettsyrer sammenlignet med dataene for 2015. Dette resulterte i forskjellige grenseverdier mellom årene (tabell 10), noe som er viktig å ta hensyn til ved vurdering av resultatene i denne undersøkelsen. I 2015 var innholdet av frie fettsyrer over 0,3 mmol/l for de 25% av tankmelkprøvene med høyest verdi, mens i 2016 var den tilsvarende verdien over 0,5 mmol/l. På bakgrunn av dette blir det lagt størst vekt på å vurdere resultatene fra den statistiske analysen av datamaterialet fra 2016, da det er tydeligere utslag på disse enn for dataene fra 2015.

Hypotesen i denne undersøkelsen var at det er en positiv sammenheng mellom innholdet av palmitinsyre og frie fettsyrer i melk. Resultatet av den statistiske analysen viser en sterk positiv signifikant sammenheng mellom disse parameterne ($P < 0,0001$), noe som bekrefter hypotesen. Ikke påvist samspillseffekt mellom innholdet av palmitinsyre og frie fettsyrer i melk mellom årene viser at rangeringen er lik og at det mest sannsynlig ikke er noe spesielt ved disse årene som bidrar til at det blir signifikant sammenheng mellom innholdet av palmitinsyre og frie fettsyrer i melk. Dette styrker sikkerheten på resultatet.

Innholdet av mettede fettsyrer og frie fettsyrer i melk viser en sterk negativ sammenheng (tabell 15, $P < 0,0001$). Andelen mettede fettsyrer varierer fra 63,5 til 65,0 g/100 g fett, noe som samsvarer godt med verdien 64% som blir sett på som normalt i norsk melk (Berg, 2016). Imidlertid viser resultatene en jevn reduksjon i innholdet av mettede fettsyrer i melken for fettsyreklasse «lav» til «høy» (figur 18). Dette var et interessant funn og ikke helt forventet. Innholdet av mettet fett gikk altså ned selv om innholdet av palmitinsyre, som utgjør en stor andel av de mettede fettsyrene i melk, økte. Stearinsyre, som også utgjør en betydningsfull andel av de mettede fettsyrene i melk, viser også signifikant sammenheng med innholdet av frie fettsyrer i melk i denne undersøkelsen ($P < 0,0003$).

Ettersom innholdet av palmitinsyre økte og innholdet av stearinsyre var omtrent nominelt upåvirket ved avtagende innhold av mettet fett, må reduksjonen av mettede fettsyrer i melken mest sannsynlig ha oppstått som følge av en reduksjon av de kortkjedede- og mellomlange fettsyrene i melken. Norske fôrrasjoner har normalt svært lavt innhold av fettsyrer kortere enn

C16. I praksis blir derfor fettsyrer kortere enn C16 i melk syntetisert *de novo* i juret hos kyr (Harstad, 2017, personlig meddelelse). Til sammen er disse fettsyrene kilden til ca. 40% av fettsyrene i melk (Karlengen, 2011), noe som er i overensstemmelsen med innholdet i denne undersøkelsen ettersom innholdet av palmitinsyre og stearinsyre i gjennomsnitt utgjør ca. 60% av de mettede fettsyrene i melken (tabell 13). Beregning av *de novo* syntetiserte fettsyrer viser nokså jevn reduksjon fra fettsyreklasse «lav» (37 g/100 g fett) til «middels» (35,1 g/100 g fett) og til «høy» (34,2 g/100 g fett). Reduksjonen i innholdet av de mettede fettsyrer som er syntetisert *de novo* ved økende innhold av frie fettsyrer i melk, indikere derfor at melkekyrne har hatt en redusert forsyning til juret av eddiksyre og β -hydroksysmørsyre som er de to kvantitativt viktigste substratene til *de novo* syntesen av fettsyrer i juret. Dette kan ha sammenheng med fôringen av melkekyrne. I tidlig laktasjon er det vanligvis et stort kraftfôrforbruk for i størst mulig grad å kunne dekke energibehovet til kyrne. Den statistiske analysen viser en signifikant positiv sammenheng mellom innholdet av frie fettsyrer i melk og forbruk av både kg kraftfôr pr. 100 kg melk ($P=0,0222$) og kg kraftfôr pr. 100 kg EKM ($P<0,0001$). Dette antyder at melk med et høyere innhold av frie fettsyrer kommer fra melkekyr som har hatt et høyt kraftfôrforbruk. Kraftfôrforbruket kan være en mulig årsak til en lavere andel av *de novo* syntetiserte fettsyrer. Økt kraftfôrforbruk vil gi en økning i innholdet av lettomsettelige karbohydrater i rasjonen, noe som kan forårsake lavere pH-verdi i vomma og økt produksjon av propionsyre på bekostning av produksjonen av eddiksyre (Børsting et al., 2003). Det kan resultere i mindre eddiksyre og β -hydroksysmørsyre.

Normalt er innholdet av fett høyere i kraftfôr enn i grovfôr. Tildeling av mer kraftfôr på bekostning av grovfôr kan derfor også være en mulig årsak, da økt mengde fôrfett kan forårsake en lavere andel *de novo* syntetiserte fettsyrer (Hermansen et al., 2003). Kraftfôr som benyttes i tidlig laktasjon er ofte tilsatt ekstra fôrfett for å kunne dekke energibehovet til kyrne. For å opprettholde fettinnholdet i melken ved økt melkeytelse, er det vanlig at det blir brukt palmeoljebasert fett som inneholder en høy andel palmitinsyre (40,1 g/100 g fettsyrer) (Børsting et al., 2003). Palmitinsyre blir delvis syntetisert *de novo* i juret (Karlengen, 2011), og en reduksjon av *de novo* syntetiserte fettsyrer, samtidig som det er en økning i innholdet av palmitinsyre, antyder en høy tilførsel av palmitinsyre via blodet. Vanligvis vil en reduksjon av *de novo* syntetiserte fettsyrer føre til lavere fettinnhold i melk, men i denne undersøkelsen viser den statistiske analysen en signifikant økning i fettinnholdet ved økt innhold av frie fettsyrer i melken (figur 14, $P<0,0001$). Dette forsterker mistanken om at det er tilsatt palmeoljebaserte produkter med høyt innhold av palmitinsyre i kraftfôret til de besetningene

med høyt innhold av frie fettsyrer i melken. Sammensetningen av kraftfôret som ble gitt til de aktuelle besetningene er dessverre ikke kjent i denne undersøkelsen, men det ville vært veldig interessant å undersøke dette nærmere. Som kjent er større fettkuler mer utsatt for lipolyse i melk enn mindre fettkuler (Wiking et al., 2006), og i en tidligere undersøkelse er det påvist at økt fettinnhold bidrar til økt størrelse på fettkulene (Wiking et al., 2004). Siden palmitinsyre effektivt overføres til melkefett og bidrar til økt fettinnhold i melk, kan det indikere at innholdet av palmitinsyre har en vesentlig betydning for melkens innhold av frie fettsyrer. Tilskudd av palmitinsyre i kraftfôr har i tidligere norsk forskning resultert i melk med høyere fettinnhold og høyere innhold av frie fettsyrer (Astrup et al., 1980b).

I denne undersøkelsen viser den statistiske analysen at innholdet av umettede fettsyrer har en signifikant økning når innholdet av frie fettsyrer øker i melken (figur 19, $P < 0,0001$). Dette gjelder også for monoumettede fettsyrer ($P < 0,0001$). Oljesyre utgjør mesteparten av de monoumettede fettsyrene i melk, og derfor er det forventet at også oljesyre viser signifikant positiv sammenheng med innholdet av frie fettsyrer i melk ($P < 0,0001$). Økningen i innhold av umettet fett er sannsynligvis sterkt påvirket av oljesyre fordi den er så viktig kvantitativt sett, og i gjennomsnitt utgjør oljesyre ca. 82% av de umettede fettsyrene i denne undersøkelsen (tabell 13). Økt mengde fôrfett i kraftfôret fremmer en økning av oljesyre i melk (Hermansen et al., 2003). Palmeoljebaserte produkter med høyt innhold av palmitinsyre inneholder også ofte en høy andel oljesyre (42,7 g/100 g fettsyrer) (Børsting et al., 2003). Oljesyren vil først og fremst gjennomgå hydrogenering i vom til stearinsyre, men hele 2/3 av stearinsyren som tas opp i juret vil bli dehydrogenert til oljesyre (Schei & Volden, 2013). En økt mengde kraftfôr tilsatt fôrfett kan derfor bidra til en økning av oljesyre i melkefett, både direkte fra fôret og indirekte ved dehydrogenering av stearinsyre i juret.

Ifølge Wiking et al. (2003) vil fôring med fôrfett som består av en høy andel mettet fett forårsake økt fettinnhold og økt størrelse på fettkulene, noe som kan føre til høyere innhold av frie fettsyrer i melk. I en senere undersøkelse ble det funnet liten effekt av fôring med fôrfett med mettet fett på innholdet av frie fettsyrer i melk (Weisbjerg et al., 2008). Sistnevnte anslo det var grunnet liten økning i størrelsen på fettkulene. Lange fettsyrer økte, mens *de novo* fettsyrer ble redusert i melk. Dette funnet støtter resultatene i denne undersøkelsen. Det var høyere innhold av frie fettsyrer i melken ved økt andel av de lange fettsyrene i melkefett (tabell 15), noe som trolig skyldes større fettkuler. Wiking et al. (2003) fant en mindre økning i melkens fettinnhold ved fôring med kraftfôr som stimulerte *de novo* syntesen enn ved fôring

med høy andel av mettet fett (50% palmitinsyre). Imidlertid ble det funnet lavest økning i fettinnholdet ved fôring med en høy andel umettet fett.

Innholdet av de polyumettede fettsyrene gikk derimot signifikant ned ved økt innhold av frie fettsyrer i melken (figur 21, $P < 0,0002$). For eksempel er det en høy andel av polyumettede fettsyrer i beitegras, og i en tidligere undersøkelse er det påvist at innholdet av frie fettsyrer i melk reduseres ved skifte fra innefôring til beite (Bævre et al., 2000). Ved skifte til beite er det også vanlig at fettinnholdet i melk reduseres på grunn av en høyere andel umettet fett i fôret. Negativ sammenheng mellom innholdet av polyumettede fettsyrer og frie fettsyrer i melken i denne undersøkelsen, støtter resultatene om at polyumettede fettsyrer kan forebygge økt innhold av frie fettsyrer i melken.

Den viktigste årsaken til forhøyet innhold av frie fettsyrer i melk er antagelig underfôring med energi (Bævre et al., 2000; Stene, 2016; Sølverød et al., u.å). Mest utsatt periode er i tidlig laktasjon med et høyt energibehov som kan forårsake mobilisering av fett. Melkekyr i negativ energibalanse mobiliserer palmitinsyre, stearinsyre og oljesyre fra kroppsvev (Schei & Volden, 2013). Underfôring på energi kan forårsake redusert laktoseproduksjon og dermed mindre melk, men økt konsentrasjon av fett (Whist et al., 2015). Melkeavdrått viser i denne undersøkelsen signifikant reduksjon ved økt innhold av frie fettsyrer i melk, både for kg melk pr. ku/dag ($P < 0,0001$) og kg EKM pr. ku/dag ($P < 0,0001$). Innholdet av laktose viser også en negativ sammenheng med innholdet av frie fettsyrer (figur 15, $P < 0,0001$). Redusert melkemengde og økt fettinnhold kan indikere at underfôring av energi var en viktig årsak til høyt innhold av frie fettsyrer i melken i denne undersøkelsen. Imidlertid viste den statistiske analysen en positiv sammenheng mellom innholdet av frie fettsyrer og melkens proteininnhold (figur 16, $P < 0,0001$). Økningen i proteininnhold er spesielt tydelig for fettsyreklassen «høy», noe som kan tilsi at melkekyrne likevel har hatt nok energiforsyning. Høy proteinprosent kan også delvis være et resultat av oppkonsentrasjon på grunn av lav melkeytelse. Det er derfor vanskelig å trekke en konklusjon om det var stort underskudd på energi eller ikke.

4.0 Konklusjon

Det er svært mange faktorer som kan påvirke melkens innhold av frie fettsyrer, og det er vanskelig å fastslå årsakssammenhengen. I denne undersøkelsen var hypotesen at det er en positiv sammenheng mellom innholdet av palmitinsyre og frie fettsyrer i melk, og resultatet av den statistiske analysen bekrefter dette ($P < 0,0001$).

Økt innhold av palmitinsyre og avtagende innhold av mettet fett ved høyere innhold av frie fettsyrer i melk, kan indikere at palmitinsyre i seg selv har stor betydning og ikke bare som en del av mettet fett. Lengden på fettsyrene har betydning. Palmitinsyre blir effektivt overført til melkefett og kan bidra til å øke fettinnholdet i melk, og det ble påvist positiv sammenheng mellom innholdet av fett og frie fettsyrer i melken ($P < 0,0001$).

Om den positive sammenhengen påvist mellom innholdet av palmitinsyre og frie fettsyrer i melken oppstår som følge av ulik sammensetning av fôret og/eller mobilisering av fett er vanskelig å bedømme ut fra resultatene i undersøkelsen, men at det er en sammenheng mellom innholdet av palmitinsyre og frie fettsyrer i melk er statistisk sikkert.

Melkens innhold av frie fettsyrer i tidlig laktasjon er vanligvis såpass lavt at det ikke vil føre til et problem i praksis. Imidlertid er det enkeltbesetninger som har problemer med høyt innhold av frie fettsyrer i melken, selv i tidlig laktasjon. I disse besetningene kan mye kraftfôr i forhold til ytelsen være en medvirkende årsak, enten gjennom høy tilførsel av langkjedede mettede- og monoumettede fettsyrer og/eller gjennom redusert *de novo* syntese av korte- og mellomlange fettsyrer.

Litteraturliste

Litteraturlisten er utarbeidet ved bruk av EndNote X7 (2016).

- Abrahamsen, R. K., Borge, G. I., Harstad, O. M., Haug, A. & Wetlesen, A. (2007). Milk quality - a future approach from a researcher's point of view *Journal of Animal and Feed Sciences*, 16: 209-226.
- Ahrné, L. & Björck, L. (1985). Lipolysis and the distribution of lipase activity in bovine milk in relation to stage of lactation and time of milking. *Journal of Dairy Research*, 52 (01): 55-64.
- Astrup, H., Bævre, L., Vik-Mo, L. & Ekern, A. (1980a). Effect on milk lipolysis of restricted feeding with and without supplementation with protected rape seed oil. *Journal of Dairy Research*, 47 (03): 287-294.
- Astrup, H., Vik-Mo, L., Skrøvseth, O. & Ekern, A. (1980b). Milk lipolysis when feeding saturated fatty acids to the cow. *Milchwissenschaft*, 35 (1): 1-4.
- Bakke, S. (2015). *Har Norgesfôr funnet x-faktor mot frie fettsyrer i melk?* Landbrukstidende.no. Tilgjengelig fra: <http://landbrukstidende.no/2015/09/13/har-norgesfor-funnet-x-faktor-mot-frie-fettsyrer-i-melk/> (lest 13.04.17).
- Bauman, D. E. & Griinari, J. M. (2003). Nutritional regulation of milk fat synthesis. *Annual review of nutrition*, 23 (1): 203-227.
- 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 26.04.2017).
- Bergersen, L. (2010). *Pass på frie fettsyrer i kumjølke*. Topp Team Fôring: TINE SA. Tilgjengelig fra: <https://kuforing.wordpress.com/2010/10/08/pass-pa-frie-fettsyrer-i-kumj%C3%B8lk/> (lest 17.04.17).
- Bævre, L., Haug, I., Ouren, E. & Ulberg, O. (2000). *Lukt- og smaksfeil i leverandørmelk*: TINE Norske Meierier BA.
- Børsting, C. F., Weisbjerg, M. R. & Hermansen, J. E. (2003). Fedtomsætningen i mave-tarmkanalen. I: *DJF rapport, Kvægets ernæring og fysiologi, Bind 1 - Næringsstofsomsætning og fodervurdering*: Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri.
- Chazal, M.-P. & Chilliard, Y. (1986). Effect of stage of lactation, stage of pregnancy, milk yield and herd management on seasonal variation in spontaneous lipolysis in bovine milk. *Journal of Dairy Research*, 53 (04): 529-538.
- Chilliard, Y., Ferlay, A., Mansbridge, R. M. & Doreau, M. (2000). *Ruminant milk fat plasticity: nutritional control of saturated, polyunsaturated, trans and conjugated fatty acids*. Annales de zootechnie: EDP Sciences. 181-205 s.

- 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*.
- Dahl, L. E. (2015). *Kalsiumforsåpet rapsolje eller prosessert palmeolje som fetttilsetning i kraftfôr til melkekyr: effekt på melkeytelse og melkens kjemiske sammensetning*: Norwegian University of Life Sciences, Ås.
- de Koning, K., Slaghuis, B. & Van der Vorst, Y. (2003). Robotic milking and milk quality: effects on bacterial counts, somatic cell counts, freezing point and free fatty acids. *Italian Journal of Animal Science*, 2 (4): 291-299.
- Deeth, H. C. (2006). Lipoprotein lipase and lipolysis in milk. *International Dairy Journal*, 16 (6): 555-562.
- Ekern, A. (1991). Nytt system for energivurdering av fôr til drøvtyggere. *Norsk Landbruksforskning*, 5: 273-277.
- EndNote X7. (2016).
- Excel. (2013). *Microsoft Office*.
- Felleskjøpet. (2014). *Palmeolje – bærekraftige råvarer*. Tilgjengelig fra: <https://www.felleskjopet.no/om-felleskjopet/barekraftig-landbruk-soya-og-palmeolje/palmeolje--barekraftige-ravarer/> (lest 27.03.17).
- Fitz-Gerald, C. H., Deeth, H. C. & Kitchen, B. J. (1981). The relationship between the levels of free fatty acids, lipoprotein lipase, carboxylesterase, N-acetyl- β -D-glucosaminidase, somatic cell count and other mastitis indices in bovine milk. *Journal of Dairy Research*, 48 (02): 253-265.
- Flagestad, S. (2014). *Frie fettsyrer i automatiske melkesystemer (AMS)*: Norwegian University of Life Sciences, Ås.
- Gjefsen, T. (2007). *Fôringsslære*. 3. utgave. Fagbokforlaget.
- Grummer, R. R. (1991). Effect of feed on the composition of milk fat. *Journal of Dairy Science*, 74 (9): 3244-3257.
- Harstad, O. M., Ekern, A., Haug, A. & Havrevoll, Ø. (2000). Fôringas virkning på mengde og kvalitet av fett i mjølk. *Husdyrforsøksmøtet. Norges Landbrukshøgskole*.
- Harstad, O. M. & Steinshamn, H. (2010). Cows' diet and milk composition. *Improving the safety and quality of milk. Volume 1: Milk production and processing*.
- Harstad, O. M. (2011). *Grovfôr*. Institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap, Ås.
- Harstad, O. M. (2015). *Mjølkesyntesen og faktorer som virker inn på mjølkeytelsen og kvaliteten på melka*. Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
- Haug, A., Høstmark, A. T. & Harstad, O. M. (2007). Bovine milk in human nutrition—a review. *Lipids in health and disease*, 6 (1): 25.

- Hermansen, J. E., Nielsen, J. H., Larsen, L. B. & Sejrsen, K. (2003). Mælkenes sammensætning og kvalitet. I: *DJF rapport, Kvægets ernæring og fysiologi, Bind 2 - Fodring og produktion*. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri.
- Hvelplund, T., Madsen, J., Misciattelli, L. & Weisbjerg, M. R. (2003). Proteinomsætningen i mave-tarmkanalen og dens kvantificering. I: *DJF rapport, Kvægets ernæring og fysiologi, Bind 1 - Næringsstofomsætning og fodervurdering*. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri.
- Jensen, R. G. (2002). The composition of bovine milk lipids: January 1995 to December 2000. *Journal of dairy science*, 85 (2): 295-350.
- Jørgensen, K. K. (2012). *Derfor bør du styre unna palmeolje*. Norsk Rikskringkasting AS. Tilgjengelig fra: <https://www.nrk.no/livsstil/derfor-bor-du-styre-unna-palmeolje-1.8084572> (lest 15.04.17).
- Karlengen, I. J. (2011). *Effect of cobalt on fatty acid composition in milk of dairy cows and sows* Norwegian university of Life Sciences Department of Animal and Aquacultural Sciences.
- Kelly, A. L. & Larsen, L. B. (2010). Milk biochemistry *Improving the safety and quality of milk*.
- Kristensen, N. B., Hvelplund, T., Weisbjerg, M. R. & Nørgaard, P. (2003). Mikrobiel omsætning i formaverne. I: *DJF rapport, Kvægets ernæring og fysiologi, Bind 1 - Næringsstofomsætning og fodervurdering*. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri.
- Matvaretabellen. (2016). Tilgjengelig fra: <http://www.matvaretabellen.no/> (lest 05.02.2017).
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., Morgan, C. A., Sinclair, L. A. & Wilkinson, R. G. (2011). *Animal Nutrition*. Seventh Edition.
- Nørgaard, P. & Hvelplund, T. (2003). Drøvtyggernes karakteristika. I: *DJF rapport, Kvægets ernæring og fysiologi, Bind 1 - Næringsstofomsætning og fodervurdering*. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri.
- Opplysningskontoret for Meieriprodukter. (2016). *Meieristatistikk*. Melk.no. Tilgjengelig fra: <http://www.melk.no/melk-og-meierifakta/meieristatistikk/> (lest 16.01.17).
- Palmquist, D., Beaulieu, A. D. & Barbano, D. (1993). Feed and animal factors influencing milk fat composition1. *Journal of dairy science*, 76 (6): 1753-1771.
- SAS 9.4. (2013). *SAS 9.4 Software for Windows*.
- Schei, I., Volden, H. & Bævre, L. (2005). Effects of energy balance and metabolizable protein level on tissue mobilization and milk performance of dairy cows in early lactation. *Livestock Production Science*, 95 (1): 35-47.
- Schei, I. & Volden, H. (2013). Feittsyresamansetning i norsk mjølk målt på IR. *Husdyrforsøksmøtet*: 104-107.

- Shingfield, K. & Garnsworthy, P. (2012). Rumen lipid metabolism and its impacts on milk production and quality. *Recent Advances in Animal Nutrition 2012/Garnsworthy, PC, Wiseman, J.*
- Singh, H. (2006). The milk fat globule membrane—A biophysical system for food applications. *Current opinion in colloid & interface science*, 11 (2): 154-163.
- Sjaastad, Ø. V., Hove, K. & Sand, O. (2010). *Physiology of domestic animals*: Scan. Vet. Press.
- Skrede, A. & Ahlstrøm, Ø. (2015). *Kraftfôr* Institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap, Landbruksbokhandelen Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. 141 s.
- Stene, O. (2016). *Frie fettsyrer i kumjøl*k. Fagartikkel. Bondevennen. Tilgjengelig fra: <http://www.bondevennen.no/fagartiklar/frie-fettsyrer-i-kumjolk/> (lest 17.04.17).
- Sutton, J. (1989). Altering milk composition by feeding. *Journal of dairy science*, 72 (10): 2801-2814.
- Syrstad, Ø. (2017). *Svak nedgang i melke*kvaliteten i 2016 TINE Rådgiving og medlem Tilgjengelig fra: <https://medlem.tine.no/aktuelt/nyheter/statistikk/svak-nedgang-i-melke-kvaliteten-i-2016> (lest 20.02.2017).
- Sølverød, L. (2015). *Årsaker til tap av elitemelk* TINE Rådgiving og medlem Tilgjengelig fra: <https://medlem.tine.no/fagprat/mj%C3%B8lkekvalitet/%C3%A5rsaker-til-tap-av-elitemelk> (lest 20.02.2017).
- Sølverød, L., Nybakken, D., Østerås, O., Kvamsås, H. & Brodshaug, E. (u.å). *Kanskje verdens fineste melk*. Faktahefte om melkekvalitet. TINE Rådgiving og Medlem.
- Thomson, N., Van der Poel, W., Woolford, M. & Auldist, M. (2005). Effect of cow diet on free fatty acid concentrations in milk. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 48 (3): 301-310.
- TINE. (2003). TINE GRUPPA - Årsmelding og regnskap 2003.
- TINE Rådgiving og Medlem. (2013). Statistikksamling 2013.
- TINE Råvare. (2017). *TINEs regelverk om bedømmelse og betaling av melk etter kvalitet ved levering til TINE Råvare*. Tilgjengelig fra: https://medlem.tine.no/praktisk-informasjon/tines-regelverk/_attachment/397755?_ts=159e00e1600 (lest 20.01.17).
- Volden, H. (2009). NorFor Plan Mjølkeku. *Husdyrforsøks*møtet: 425-428.
- Washington. (2014). *Fatty Acids and Triacylglycerols*. Tilgjengelig fra: <http://courses.washington.edu/conj/membrane/fattyacids.htm> (lest 01.02.17).
- Wattiaux, M. A. & Armentano, L. E. (2000). Carbohydrate metabolism in dairy cows. *Web site of Babcock Institute for International Dairy Research and Development. University of Wisconsin, USA.*

- Wattiaux, M. A. & Grummer, R. R. (2000). Lipid metabolism in dairy cows. *Web site of Babcock Institute for International Dairy Research and Development. University of Wisconsin, USA.*
- Weisbjerg, M. R., Lund, P. & Hvelplund, T. (2003). Kulhydratomsætningen i mave-tarmkanalen I: *DJF rapport, Kvægets ernæring og fysiologi, Bind 1 - Næringsstofomsætning og fodervurdering.* Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri.
- Weisbjerg, M. R., Wiking, L., Kristensen, N. B. & Lund, P. (2008). Effects of supplemental dietary fatty acids on milk yield and fatty acid composition in high and medium yielding cows. *Journal of dairy research*, 75 (02): 142-152.
- Whist, A. C., Hettach, T., Nørstebø, H., Moen, R., Haug, I. & Brodshaug, E. (2015). *Frie fettsyrer i ku- og geitemelk.*
- Wiking, L., Björck, L. & Nielsen, J. H. (2003). Influence of feed composition on stability of fat globules during pumping of raw milk. *International Dairy Journal*, 13 (10): 797-803.
- Wiking, L., Stagsted, J., Björck, L. & Nielsen, J. H. (2004). Milk fat globule size is affected by fat production in dairy cows. *International Dairy Journal*, 14 (10): 909-913.
- Wiking, L., Nielsen, J. H., Båvius, A.-K., Edvardsson, A. & Svennersten-Sjaunja, K. (2006). Impact of milking frequencies on the level of free fatty acids in milk, fat globule size, and fatty acid composition. *Journal of dairy science*, 89 (3): 1004-1009.



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway