



## Forord

Jeg hadde min første opplevelse med hest som fireåring. Hesten ble da min store interesse og det var det livet handlet om. Etter å ha eid hest og vært aktiv i travsporten bestemte jeg meg for at det var hest jeg ville studere. Målet var i all hovedsak å bli veterinær, men etter en bachelor i Hestefag, bestemte jeg meg for å ta en mastergrad i ernæring. Fokus på ernæring som ivaretar hestens helse og forebygger utvikling av fôringsrelaterte helseproblemer er noe jeg brenner for. I fremtiden ønsker jeg å kunne jobbe videre med å finne ut av flere fôringsrelaterte utfordringer som kan hjelpe den enkelte med fôring av hest. For at hesten skal kunne yte sitt ytterste er riktig ernæring essensielt og dermed en faktor som påvirker hestens prestasjon. Kunnskap om ulike fôrråvarer og dens påvirkning på hesten er imidlertid viktig for å kunne gi fôringsanbefalinger. Jeg ønsket derfor i samarbeid med Felleskjøpet Fôrutvikling å se på ulike fôrråvarer og deres påvirkning på pH-verdien og VFA-konsentrasjonen i blindtarmen, samt insulin og glukose i blodet.

Det siste året i masterløpet har vært utfordrende og vanskelig, da det ble innledet med dyp sorg over tap av nære familiemedlemmer. På et tidspunkt vurderte jeg å ta permisjon fra skolen og avvente. Det er takket være min mann Thomas Dvergedal at jeg leverer denne masteroppgaven. Han har vært til stor hjelp og støtte gjennom det siste året. Jeg vil takke Felleskjøpet Fôrutvikling for samarbeid og muligheten til å være med på et prosjekt hvor jeg har lært ufattelig mye det siste året. Mine veiledere Dag Austbø og Jon Anders Næset må takkes for god veiledning og læring. Jeg vil samtidig takke Britt Karin Utvær og Liv Torun Mydland for verdifull korrektur- og kritikklesning. Ola Løkbakks fond må takkes for 5 års økonomisk støtte, slik at jeg kunne prioritert skolen og utdanning. Til slutt vil jeg takke min familie for støtte og for å ha tro på meg.

Ås, 14.05.15

Hanne Dvergedal

## Innholdsfortegnelse

Forord .....	i
Innholdsfortegnelse .....	ii
Tabelliste .....	v
Figurliste.....	vi
Liste over forkortelser .....	vii
Sammendrag .....	viii
Abstract .....	ix
1.0 Innledning.....	1
1.1 Formål, problemstilling og hypoteser .....	2
2.0 Hovednæringsstoffene.....	3
2.1 Karbohydrater .....	3
2.1.1 Ikke strukturelle karbohydrater .....	4
2.1.2 Strukturelle karbohydrater .....	5
2.2 Proteiner.....	7
2.2.1 Aminosyrene .....	8
2.3 Fett.....	9
2.3.1 Kjemisk oppbygning av fett.....	9
3.0 Hestens fordøyelsessystem.....	10
3.1 Munn og spiserør .....	10
3.2 Magesekken .....	11
3.3 Tynntarm .....	12
3.4 Blind- og tykktarm.....	14
4.0 Opptak og omsetning av endeprodukter fra fordøyelsen og regulering av glukose i blodet .....	15
4.1 Ikke strukturelle karbohydrater og fett .....	15

4.2 Strukturelle karbohydrater .....	16
5.0 Ulike fôrråvarer brukt i rasjonene .....	17
5.1 Høy (timotei) .....	17
5.2 Eplepulp.....	18
5.3 Luserne .....	18
5.4 Bygg.....	18
6.0 Fôringsrelaterte helseproblemer hos hest .....	19
6.1 Forfangenhet .....	19
6.2 Kolikk .....	19
6.3 Insulinresistens .....	20
6.4 Hyperadrenokortisisme.....	20
6.5 Krysslammelse.....	21
6.6 Unormal glykogenlagring .....	21
6.7 Magesår .....	21
7.0 Material og metode.....	22
7.1 Forsøksdesign .....	22
7.2 Hester, oppstalling og mosjoning .....	22
7.3 Rasjonene.....	23
7.4 Innsamling av data.....	24
7.4.1 Oppsamling av gjødsel.....	24
7.4.2 Tarmprøver og pH måling .....	25
7.4.3 Blodprøver .....	25
7.5 Analyser.....	26
7.5.1 Kjemiske analyser .....	26
7.5.2 Differanseforsøk .....	26
7.5.3 Statistiske analyser.....	27
8.0 Resultater.....	27

8.1 Rasjonssammensetting.....	27
8.2 Fordøyelighet.....	28
8.3 Fôrrasjonens påvirkning på serum insulin og blodglukose .....	28
8.4 Fôrrasjonens påvirkning på pH-verdi og VFA-konsentrasjon i blindtarmen .....	30
9.0 Diskusjon.....	34
9.1 Rasjonssammensetting.....	34
9.2 Fordøyelighet.....	35
9.3 Fôrrasjonens påvirkning på serum insulin og blodglukose .....	36
9.4 Fôrrasjonens påvirkning på pH-verdi og VFA-konsentrasjon i blindtarmen .....	39
10.0 Fremtidig arbeid .....	42
11.0 Konklusjon .....	43
Referanseliste .....	45
Vedlegg 1: Resultat på serum insulin og blodglukose .....	57
Vedlegg 2: Resultater på pH-verdi og VFA-konsentrasjon i blindtarmen.....	59
Vedlegg 3: Resultater på serum insulin og blodglukose .....	62
Vedlegg 4: VFA-konsentrasjon i blindtarmen inntil 8 timer etter fôring .....	63

## Tabelliste

Tabell 1: Tørrstoff og kjemisk sammensetning av høy, bygg, luserne og eplepulp.....	24
Tabell 2: Rasjonssammensetning og daglig inntak av fôr og næringsstoffer .....	24
Tabell 3: Apparent fordøyelighet av tørrstoff, trevler, NFE og råprotein for de ulike fôrråvarene .....	28
Tabell 4-12: Effekt av rasjon på serum insulin og blodglukose og forskjeller mellom rasjonene .....	57
Tabell 13-21: Effekt av rasjon på pH-verdi og VFA-konsentrasjon og forskjeller mellom rasjonene.....	59

## Figurliste

Figur 1: Kjemisk klassifisering av karbohydrater. ....	4
Figur 2: Hestens fordøyelsessystem for en hest på 500 kg. ....	10
Figur 3: Hestens magesekk og inndeling av de ulike regionene i magesekken .....	12
Figur 4: Endring i serum insulin ved ulike rasjoner, inntil 8 timer etter fôring. ....	29
Figur 5: Endring i blodglukose ved ulike rasjoner, inntil 8 timer etter fôring. ....	30
Figur 6: Endring i pH-verdi i blindtarmen ved ulike rasjoner, inntil 8 timer etter fôring. ....	31
Figur 7: VFA-konsentrasjon og pH-verdi i blindtarmen ved ulike rasjoner, inntil 8 timer etter fôring. ....	33
Figur 8: Endring i serum insulin og blodglukose ved ulike rasjoner, inntil 8 timer etter fôring. ....	62
Figur 9: VFA-konsentrasjon i blindtarmen, inntil 8 timer etter fôring. ....	63

## Liste over forkortelser

ASAT = aspartat transaminase

ATP = Adenosin trifosfat

BW = Kroppsvekt

CK = Kreatin kinase

ECD = Equine Cushing's Disease

FEh = Fôrenheter hest

HCl = Saltsyre

MV = Mangler verdi

NDF = Nøytral løselig fiber (Neutral detergent fiber)

NFE = Nitrogen frie ekstrakter

NIR = Near-infrared spectroscopy

NSP = Ikke stivelses polysakkarider (Non Starch polysaccharids)

H = Høyrasjonen

B = Byggrasjonen

L = Lusernerasjonen

E = Eplepulprasjonen

PUFA = Flerumettede fettsyrer

TS = Tørrstoff

VFA = Flyktige fettsyrer



## Sammendrag

Det har de siste årene vært et stort fokus på rasjonens effekt på hestens helse og prestasjon. Det er klare indikasjoner på at det er store fordeler med å gi mer fiber i forhold til sukker og stivelse i rasjonen til hest. En forståelse for hvordan stivelse og fiber fordøyes og hvordan endeproduktene omsettes i kroppen hos hest er essensielt, for å kunne utvikle fôrrasjoner som hindre utvikling av fôringsrelaterte helseproblemer. Formålet med oppgaven var derfor å se på fordøyeligheten til ulike fôrråvarer i fôrrasjonen til blindtarmsfistulerte hester og hvordan rasjonene påvirket glukose og insulin i blodet og pH-verdien og VFA-konsentrasjonen i blindtarmen. Endring i pH-verdi, VFA-konsentrasjon i blindtarmen og insulin og glukose i blodet ble sammenlignet for å undersøke effekten av fôrrasjon på hestens insulin- og glukoseverdier i blodet og gjæringsforløpet i blindtarmen. Studiet brukte fire blindtarmsfistulerte hester og tarm- og blodprøvene ble tatt opptil 8 timer etter fôring. Det ble gjort totaloppsamling av gjødsel i 4 døgn for å finne fôrråvarenes apparente total fordøyelighet. Hestene ble gitt fire forskjellige fôrrasjoner (høyrasjon, bygggrasjon, lusernerasjon, eplepulprasjon) i fire perioder. Det førte til signifikante forskjeller mellom rasjonenes påvirkning på insulin og glukose. Bygggrasjonen hadde størst påvirkning på insulinverdiene, men høyrasjonen hadde størst svingninger i glukosekonsentrasjonen. Det viser at ved lite glukose i blodet vil leverglykogen brytes ned og pumpes ut i blodet. Det fører til store svingninger i blodet som ikke er å foretrekke hos hest. Bygggrasjonen hadde størst påvirkning på pH-verdien i blindtarmen, som skyldes fermentering av stivelse i blindtarmen. pH-verdien falt imidlertid ikke så lavt som tidligere målt og det konkluderes med at 1,4 g stivelse/per kg kroppsvekt er en akseptabel mengde i en fôrrasjon. Det ble videre målt forskjeller i påvirkning på gjæringsforløpet i blindtarmen, men forskjellene skyldes i all hovedsak passasjehastigheten i tarmen. Dette studiet gir et grunnlag for forståelse for hvordan enkelte fôrråvarer påvirker pH-verdien og gjæringsforløpet i blindtarmen og insulin- og glukoseverdiene i blodet.

## Abstract

There has been a major focus on diets effect on the horse's health and performance. There are clear indications that there are major advantages to provide more fiber compared to sugar and starch in the ration for horses. An understanding of how starch and fiber is digested and how the end products is utilized in the body of the horse is important to develop diets and to prevent feeding-related health problems. The aim of this thesis was to investigate the digestibility of various feed ingredients in diets to caecally cannulated horses, and how diet influence glucose and insulin in the blood and pH and VFA-concentration in the cecum. Changes in pH, VFA-concentration in the caecum and insulin and glucose in blood were compared to evaluate the effect of diet on the horse's insulin and glucose levels in the blood and fermentation pattern in the caecum. The study used four caecally cannulated horses and caecal and blood samples were taken up to 8 hours after feeding. Feces were collected for four days, to investigate the feedstuff's apparent total digestibility. The horses were given four different diets (hay diet, barley diet, lucerne diet, apple pomace diet) in four periods. There were significant differences between the diets impact on insulin and glucose. The barley diet had the greatest impact on the insulin values, but the hay diet had the greatest fluctuations in glucose concentration. It shows that when the blood contains small amounts of glucose, liver glycogen will be broken down and pumped into the bloodstream. This leads to large fluctuations that are not preferable for the horses. The barley diet had the largest influence on the pH in the caecum and was caused by fermentation of starch. The pH dropped however not as low as previously measured and it is concluded that 1.4 g starch/per kg bodyweight is acceptable in a diet. It was further measured differences in the impact on the fermentation process in the cecum, but the differences were mainly due to the passage rate throughout the digestive system. This study provides a foundation for understanding how individual feed ingredients affect the pH and fermentation process in the caecum and insulin and glucose levels in the blood.

## 1.0 Innledning

Hestens fôrrasjon består gjerne av grovfôr og ulike mengder kornbasert kraftfôr med høyt innhold av stivelse (Frape 2003). Fôrrasjonen skal tilføre hesten energi og de næringsstoffene det er behov for, samt være sammensatt slik at fôringsrelaterte sykdommer unngås. Hestens primære energikilde er karbohydrater (Brøkner et al. 2012d). Karbohydrater kan deles inn i ikke strukturelle karbohydrater, eksempelvis sukker, stivelse og fruktan og strukturelle karbohydrater, eksempelvis fiber (Dey & Harborne 1997). En fôrrasjon som hovedsakelig består av strukturelle karbohydrater kan tilfredsstillende hestens energibehov ved vedlikehold, men vil ofte ikke dekke behovet til sportshest (NRC 2007). Problemet er ofte at hesten gis store stivelsesrike kraftfôrrasjoner som påvirker hestens helse (Kronfeld et al. 2004).

Stivelse absorberes i hovedsak enzymatisk i jejunum i tynntarmen. Glukose- og insulinverdiene i blodet påvirkes av den stivelsen som absorberes fra tynntarmen (Kronfeld et al. 2004). Den delen av stivelsen som ikke absorberes i tynntarmen går imidlertid videre til blind- og tykktarm og fører til rask fermentering med en økt konsentrasjon av flyktige fettsyrer (VFA) og laktat. Dette kan føre til fall i pH fra 6,9 til 6,1 i blind- og tykktarm (Argenzio et al. 1974; Austbø 2005; Kern et al. 1973). Fall i pH kan føre til acidose (overskudd av syre i blod) og kan være uheldig for tarmmikrobene (Sprouse & Garner 1982). Det kan føre til fôringsrelaterte helseproblemer som forfangenhet (Garner et al. 1977), kolikk (Hudson et al. 2001), insulinresistens (Kronfeld & Harris 2003), Equine Cushing disease (Kolk 1997), krysslammelse (MacLeay et al. 2000), unormal glykogen lagring (McCue et al. 2009) og magesår (Al Jassim & Andrews 2009).

Tarmmiljøet i blind- og tykktarm påvirkes av fôrrasjonen. Når pH senkes i blind- og tykktarm senkes forholdet mellom eddiksyre:propionsyre, samt at det produseres smørsyre og laktat (Hintz et al. 1971a; Julliand et al. 2001a). Alternativer til fôrråvarer med høyt stivelsesinnhold kan være fiberrike fôrråvarer med høy fordøyelighet. Fiber påvirker pH-verdien i blindtarmen i mindre grad enn stivelse. Mengden fiber i fôrrasjonen kan derfor være med på å hindre utvikling av fôringsrelaterte helseproblemer som relateres til høyt stivelsesinntak.

Utfordringene med bruk av fiberrike råvarer i kraftfôr er at fordøyeligheten kan være redusert

og dermed ikke bidra med tilstrekkelig energi til hest med et høyere energibehov. I en kraftfôrblending er det derfor ønskelig med fiberråvarer med høy fordøyelighet.

En forståelse for hvordan stivelse og fiber fordøyes og hvordan endeproduktene omsettes i kroppen hos hest er viktig for å kunne sette sammen gode fôrrasjoner og hindre utvikling av fôringsrelaterte helseproblemer. Det trengs imidlertid mer forskning på de enkelte fôrråvarer og deres påvirkning på pH-verdi og VFA-konsentrasjon i blindtarmen, samt insulin og glukose i blodet.

## 1.1 Formål, problemstilling og hypoteser

Formålet med oppgaven er å se på fordøyeligheten til ulike fôrråvarer i fôrrasjonen til blindtarmsfistulerte hester og hvordan rasjonene påvirker glukose og insulin i blodet og pH-verdien og VFA-konsentrasjonen i blindtarmen. Oppgaven tar for seg noen utvalgte fôrråvarer som er av interesse i en kraftfôrblending. Problemstillingen for oppgaven er:

*«Hvordan vil ulike fôrråvarer påvirke glukose og insulin i blodet og pH-verdien og VFA-konsentrasjon i blindtarmen?»*

Opgavens hypotese er:

*Rasjonenes innhold av stivelse og fiber påvirker glukose og insulin i blodet og gjæringsforløpet i blindtarmen hos hest i timene etter fôring.*

Det gis en kort oversikt over hovednæringsstoffene, hestens fordøyelse, opptak, omsetning og regulering av glukose i blodet. I tillegg gis det en kort oversikt over de ulike fôrråvarene brukt i forsøket og fôringsrelaterte helseproblemer hos hest som assosieres med stivelsesrike kraftfôrmasjer.

For å teste overstående hypoteser ble det utført et forsøk hvor det ble gitt fire forskjellige rasjoner i fire perioder. Det ble gitt en høyrasjon, en byggmasje (høy + bygg), lusernerasjon

(luserne + høy) og en eplepulprasjon (høy + eplepulp). I slutten av hver periode ble det målt rasjonenes påvirkning på pH-verdien og VFA-konsentrasjonen i blindtarmen og insulin og glukose i blodet.

## 2.0 Hovednæringsstoffene

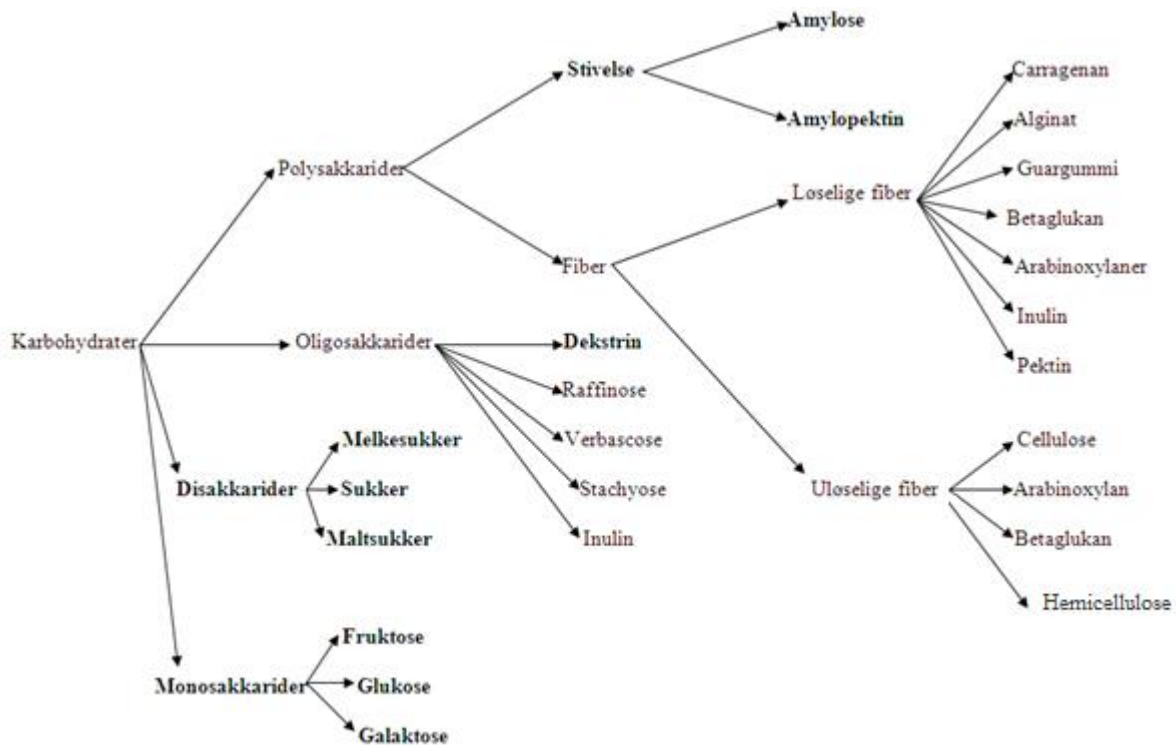
Hovednæringsstoffene er karbohydrater, fett og protein. Disse må dekke hestens energibehov. Dersom energien tilført fra fôret er lavere enn behovet kan energien komme fra nedbrutt fettvev. Protein fra fôret eller fra nedbrutt kroppsvev kan også brukes som energikilde, men dette er en lite effektiv prosess (Mathews et al. 2013). Kapittelet legger hovedvekt karbohydrater da det er hestens primære energikilde. Protein og fett omtales kort.

### 2.1 Karbohydrater

Karbohydrater består av karbon, hydrogen og oksygen (McDonald et al. 2011). Karbohydrater klassifiseres i fire strukturelle klasser: monosakkarider, oligosakkarider, polysakkarider og komplekse karbohydrater (McDonald et al. 2011). De enkleste sukker kalles monosakkarider og deles inn i ulike grupper avhengig av molekylets størrelse som defineres ut fra antall karbonatomer (Mathews et al. 2013). Bindinger mellom monosakkarider kan oppstå ved at det spaltes av et vannmolekyl ved hvert bindested og det kan da dannes di-, tri-, tetra- eller polysakkarider (Geor et al. 2013). Karbohydrater som inneholder <10 karbonatomer kalles monosakkarid og >10 kalles oligosakkarider. Polymerere av monosakkarider kalles polysakkarider eller glykaner. Polysakkaridene kan deles inn i to grupper, homoglykaner som består av en enkelt type monosakkarider, og heteroglykaner som består av ulike monosakkarider og derivater (McDonald et al. 2011).

Det finnes et stort antall isomere former av monosakkaridsukkerne, både glukose og fruktose en strukturell isomer (Mathews et al. 2013). Glukose har en aldehydgruppe og fruktose en ketongruppe. Sukkerne finnes også som speilbilder, i stereoisomer form, dextro og laevo (D- og L-), som bestemmes ut fra hvor OH-gruppen befinner seg på karbonatom 5. Dextroformen er den viktigste formen (McDonald et al. 2011). Strukturen til sukkerne er enten ringformet

eller syklisk. Hver ringstruktur kan igjen deles inn i to isomere former, alfa eller beta ( $\alpha$  og  $\beta$ ). Stivelse er en polymer av  $\alpha$ -formen, mens cellulose er en polymer av  $\beta$ -formen (Mathews et al. 2013). Under nedbrytning av alle karbohydrater er målet å bryte bindingen mellom glukosemolekylene slik at glukosen blir tilgjengelig for omsetning i dyrekroppen, og hvor lett bindingen brytes er avhengig av om det er i  $\alpha$ - eller  $\beta$ -form.



**Figur 1:** Kjemisk klassifisering av karbohydrater. De med uthevet skrift kan fordøyes av enzymer som sekreses i mage- og tarmkanalen (McDonald et al. 2011).

Det er mange måter å klassifisere karbohydrater på, men ved å ta høyde for fordøyelsesfysiologien hos hest er karbohydrater i denne oppgaven delt inn i ikke strukturelle og strukturelle karbohydrater (Dey & Harborne 1997).

### 2.1.1 Ikke strukturelle karbohydrater

Ikke strukturelle karbohydrater kan hydrolyseres i tyntarmen til enkel sukker, som glukose, fruktose og galaktose. Ikke strukturelle karbohydrater består av glukosemolekyler bundet av

$\alpha$ -1,4 bindinger og kan fordøyas enzymatisk i tynntarmen, men også fermenteres i blind- og tykktarm.

### *Enkle sukker*

Finnes ofte som store karbohydratmolekyler, hvor flere monosakkarider er bundet sammen (Geor et al. 2013). De fleste monosakkarider er plantens byggeklosser som bindes sammen i form av oligosakkarider eller polysakkarider. Det finnes små konsentrasjoner av fritt sukker i planten, men av de som er tilstede er glukose og fruktose de mest dominerende (McDonald et al. 2011).

### *Stivelse*

Stivelse klassifiseres som et polysakkarid som går under navnet homoglukan og finnes i mange planter som et reservelager (Knudsen 1997). Stivelsens kjemiske komposisjon varierer og er sammensatt av to strukturelle polysakkarider kalt amylose og amylopektin (Knudsen 1997). Andel av de to strukturelle polysakkaridene varierer, men det er for det meste 70-80 % amylopektin i all stivelse. Både amylose og amylopektin er polymerer av D-glukose. Amylose er bundet av  $\alpha$ -1,4 og har en lineær struktur (Svihus et al. 2005). Amylopektin er bundet av  $\alpha$ -1,4 og  $\alpha$ -1,6 og har en mer forgreinet busklignende struktur. I korn ligger stivelsen i endospermen, og stivelseskornene er krystallisk organiserte (Stevnebø et al. 2005). Det gjør at stivelsen i stivelseskornene er lite tilgjengelig. For å forbedre den enzymatiske fordøyelsen kan stivelsen varmebehandles. Under varmebehandlingen vil stivelseskornene svulle og forklistre og til slutt bryte. Stivelsen lekker da ut fra stivelseskornene. Fordøyelsesenzymene vil da komme til og nedbrytningen kan da skje i hestens tynntarm (Han & Hamaker 2001). Stivelse som ikke blir nedbrutt i tynntarm kan fermenteres i blind- og tykktarm (McIntosh 2007).

#### 2.1.2 Strukturelle karbohydrater

Strukturelle karbohydrater kan ikke fordøyas enzymatisk, men må fermenteres av mikrobene i blind- og tykktarm til VFA (Geor et al. 2013). Strukturelle karbohydrater består av

glukosemolekyler bundet av  $\beta$ -1,4 bindinger og  $\beta$ -1,6. Fiber kan deles inn i uløselig og løselig fiber. Cellulose, hemicellulose og lignin er eksempler på uløselig fiber. Pektin og fruktaner er eksempler på løselig fiber. Fruktaner karakteriseres som sukker, men fordi de ikke kan fordøyas enzymatisk i tynntarm er de i denne oppgaven lagt under løselig fiber.

### *Cellulose*

Cellulose er i likhet med stivelse et polysakkarid som går under navnet homoglukan. Det finnes i de fleste planter og er med på å forme plantens struktur i celleveggen. Cellulosen dannes ved å produsere kompakte microfibriller som holdes sammen av både inter- og intramolekulære hydrogenbindinger (McDonald et al. 2011). Cellulose kan bestå av få til over titusen glukoseenheter. I likhet med stivelse er også cellulose oppbygd av D-glukosemolekyler, men glukosemolekylene er bundet sammen av  $\beta$ -1,4 bindinger. Disse kan ikke fordøyas av enzymene i tynntarmen. Uløselig fiber, som cellulose fordøyas derimot av cellulolytiske bakterier i blind- og tykktarm (Geor et al. 2013).

### *Hemicellulose*

Hemicellulose er et heteroglukanpolysakkarid i likhet med pektin og defineres som alkali-løselig celleveggstoff (McDonald et al. 2011). Det består hovedsakelig av D-glukose-, D-galaktose-, D-mannose-, D-xylose- og L-arabinoseenheter som er bundet sammen i forskjellige variasjoner og av ulike glykosidbindinger. Hemicellulose kan også inneholde uronsyre (Van Soest 1987). De fleste hemicellulose heteroglukanene er løselig i syre og fermenteres relativt lett (Geor et al. 2013).

### *Lignin*

Lignin kan ikke betraktes som et karbohydrat, men er nært assosiert med denne gruppen. Det bidrar både kjemisk og biologisk til plantens cellevegg og mekaniske styrke (McDonald et al. 2011). Lignin er ikke en enkelt forbindelse, men en rekke derivater av fenylpropan. Derivatene av fenylpropan er bundet sammen av en kompleks kryssbindende struktur (Geor et al. 2013).



## *Pektin*

Pektin klassifiseres som et polysakkarid som går under navnet heteroglukan. Det er et polysakkarid som er løselig i varmt vann og er en bestanddel i primære cellevegger og intercellulære regioner hos større planter (McDonald et al. 2011). Det er bygd opp av D-galakturonsyreenheter bundet sammen av lineære  $\alpha$ -1,4-bindinger, men består også av andre sukkerenheter. Pektin kan redusere fordøyeligheten av fett, ved å binde seg til fettmicellene i tarmen (Skrede 2000). Pektin finnes spesielt i sitrusfrukter. Sukkerbetepulp inneholder 30 % pektin og eplepressrester 15 % pektin (Geor et al. 2013). Pektin fermenteres i hestens blind- og tykktarm og betraktes som det polysakkaridet i plantens cellevegg med høyest fordøyelighet (Jensen 2009).

## *Fruktaner*

Fruktaner klassifiseres både som oligo- og polyfruktosyl sukrosepolymer (<10 = oligo; og >10 = polyfruktosyl), som består av et sukrose molekyl og varierende antall fruktofuranose enheter. Noen fruktaner er lineære og består av D-fruktose bundet av  $\beta$ -2,6 og  $\beta$ -2,1 bindinger (McDonald et al. 2011). Andre fruktaner kan være forgreinede i likhet med stivelse. De to vanligste fruktanene i hestens grovfôr er inuliner og levaner. Fruktaner kan ikke fordøyas enzymatisk (Ritsema & Smeekens 2003), men er vannløselige.

## 2.2 Proteiner

Protein inneholder karbon, oksygen og hydrogen i likhet med fett og karbohydrater, men i tillegg nitrogen og svovel (McDonald et al. 2011). Proteiner er komplekse organiske makromolekyler med høy molekylvekt. De består av lange aminosyrekjeder som er bundet sammen av peptidbindinger. Når proteiner fordøyas brytes peptidbindingene og de enkelte aminosyrene (eller korte peptider som di- og tri-peptider) kan absorberes og brukes i proteinsyntesen og metabolismen (Geor et al. 2013). Proteiner finnes i alle levende celler og bidrar i all aktivitet som omhandler å holde liv i cellene. Hver enkelt art har egne spesifikke proteiner, og en enkelt organisme har mange forskjellige proteiner i celler og vev. Det finnes derfor mange forskjellige proteiner i naturen. Proteiner kan ha fire ulike strukturer, primær-, sekundær-, tertiær- og kvartærstruktur (McDonald et al. 2011).

Proteiner utgjør ca. 15 % av den totale kroppsmassen, hvor muskulaturen inneholder store deler av kroppspoteinet. Proteinets oppgaver er å bidra med struktur (f.eks. kontraktile proteiner som aktin og myosin i muskel, collagen og keratin), transportere næringsstoffer i blodet (f.eks. hemoglobin, albumin), transportere næringsstoffer på tvers av cellemembraner, regulere metabolske funksjoner (f.eks. enzymer, peptid hormoner) og er en komponent i immunsystemet (f.eks. immunoglobiner) (Geor et al. 2013).

### 2.2.1 Aminosyrene

Når proteiner hydrolyseres av enzymer, syrer eller baser (alkalier) er endeproduktet aminosyrer. I biologisk materialet er det funnet over 200 aminosyrer og bare 21 av disse er ofte funnet som komponenter i proteiner (McDonald et al. 2011). Alle aminosyrer karakteriseres ved at de har en basisk nitrogengruppe, ofte en aminogruppe (-NH<sub>2</sub>) og en syrlig karboksylgruppe (-COOH) (Geor et al. 2013). Aminosyrer som forekommer naturlig i proteiner har  $\alpha$ -konfigurasjon. Forskjellen på alle aminosyrene er sidegruppen (R-gruppen) (Geor et al. 2013). Aminosyrer har både basiske- og syreegenskaper. Aminogruppen og karboksylgruppen gjør at aminosyrene er amfotær (McDonald et al. 2011). Som karbohydrater finnes også aminosyrer i speilbildeformer, D- og L-. Alle aminosyrer som er en del av proteinets struktur har en L-konfigurasjon i forhold til karbonatomet (McDonald et al. 2011).

Proteiner kan syntetiseres fra enkle nitrogenrike komponenter, noe planter og mange mikroorganismer gjør (McDonald et al. 2011). Gjennom transaminering kan noen aminosyrer produseres fra andre aminosyrer. Derimot er det noen aminosyrer dyrekroppen ikke klarer å syntetisere, disse kalles essensielle aminosyrer og må tilføres gjennom i fôret (McDonald et al. 2011).

## 2.3 Fett

Fett finnes i planter og dyrevev. Fett er uløselig i vann, men løselig i noen organiske løsningsmidler som benzen, eter og kloroform. I metabolismen har fett mange oppgaver, f.eks.

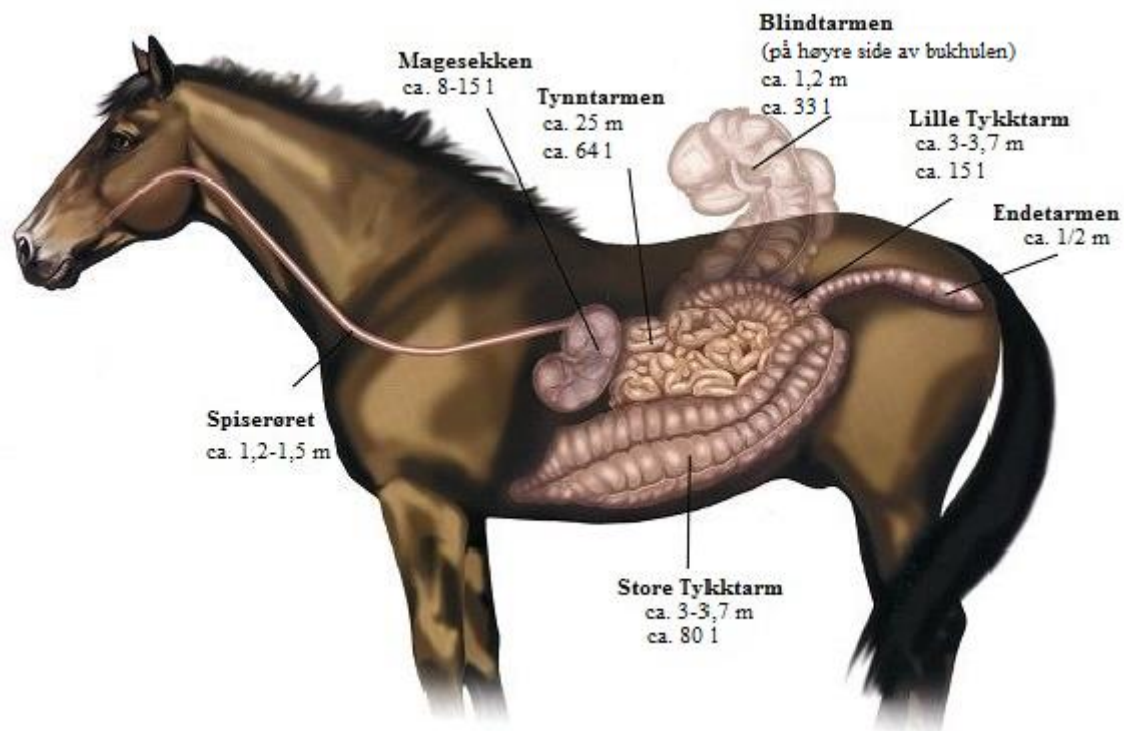
elektronbærere, substratbærere i enzymatiske reaksjoner, komponent i biologiske membraner og som lager og kilde til energi (McDonald et al. 2011). Hvis man sammenligner oksidering av fett (39 MJ/kg TS) og glykogen (17 MJ/kg TS) er den kjemiske energien per vektenhet hos fett større. Fett kan redusere svingninger i insulin og glukose (Williams et al. 2001), og er dermed med på å redusere risikoen for å utvikle fôringsrelaterte helseproblemer hos hest.

### 2.3.1 Kjemisk oppbygning av fett

Fett er estere av fettsyrer bundet sammen med et glyserolmolekyl (McDonald et al. 2011). Glyserol er en alkohol som består av tre karbonatomer hvor hvert karbonatom har en hydroksylgruppe. Når alle alkoholgruppene er bundet med en fettsyre, får man et triacylglyserol (triglyserid). Lengden på fettsyrene kan variere fra 7 til 21 karbonatomer. Fettsyrer med 16 til 18 karbonatomer er de vanligste. De fleste fettsyrer har en karboksylgruppe og en uforgreinet karbonkjede som kan være mettet eller umettet. Om fettsyren er mettet eller umettet defineres ut fra antall dobbeltbindinger man finner i karbonkjeden (McDonald et al. 2011). Mettede fettsyrer har bare enkeltbindinger mellom karbonatomene. Umattede fettsyrer kan ha fra en (mono) til mange (poly) dobbeltbindinger. Fettsyrer som inneholder flere enn en dobbeltbinding kalles flerumattede fettsyrer (PUFA). Umattede fettsyrer har lavere smeltepunkt og er i større grad kjemisk reaktive enn mettet fett. Når fettsyren inneholder en dobbeltbinding kan fettsyren forekomme i to former, *cis* og *trans*. Type konfigurasjon er avhengig av hvordan hydrogenatomene ligger (McDonald et al. 2011). Er hydrogenatomene samlet på samme side av dobbeltbindingen, kaller man fettsyren for *cis*, og *trans* hvis hydrogenatomene ligger på motsatt side for hverandre. Mest naturlig forekommende er *cis*-konfigurasjonen. Mettede fettsyrer dominerer i animalsk fett (bortsett fra fisk).

### 3.0 Hestens fordøyelsessystem

Hesten har den enzymatiske fordøyelsen i mage og tynntarm. Deretter har den en omfattende mikrobiell fordøyelse hovedsakelig i blind- og tykktarm. Dette kapittelet vil ta for seg fordøyelsen hos hest i seksjoner fra munn til tykktarm.



*Figur 2: Hestens fordøyelsessystem for en hest på 500 kg (Raynor 2015).*

### 3.1 Munn og spiserør

I hestens munn starter fordøyelsen ved at fôret blir oppdelt, malt og tilsatt spytt. Det er store forskjeller på hestens tyggeaktivitet i forhold til fôrets struktur og form. Kraftfôr tygges fra 800 til 1400 ganger per kg tørrstoff (TS), mens grovfôr (høy) tygges 3000-3500 ganger per kg tørrstoff (Ellis & Hill 2005). Dette fører til at etetiden hos hest varierer fra ca. 10 min per kg tørrstoff av kraftfôr til 40-50 min per kg tørrstoff av grovfôr (høy), og er opp til 4 ganger lengre hos ponnier (Meyer & Coenen 2002). Det er viktig at hesten tygger fôret slik at det blir tilstrekkelig malt. Grovfôr må tygges til partikler med diameter 2 mm og lengde 1-4 mm for å sikre normal tarmpassasje. Dersom tyggingen er for dårlig og partiklene blir for store er det fare for forstoppelse og kolikk (Meyer & Coenen 2002).

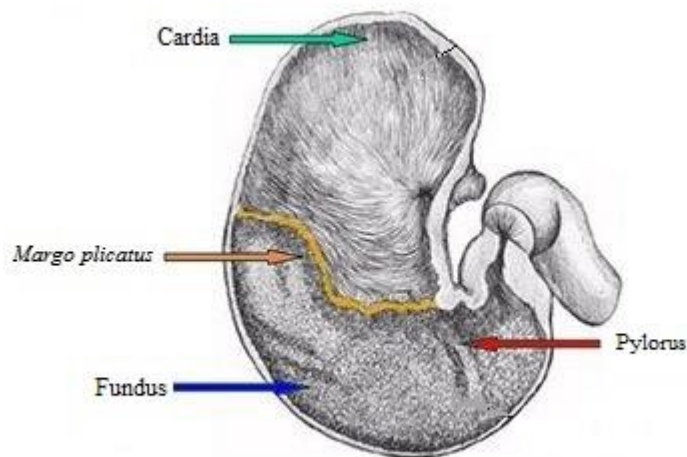
Spyttet hos hest inneholder ikke fordøyelsesenzymmer (Meyer & Coenen 2002). Det inneholder slim (mucin) som bløtgjør fôret og gjør det lett å svelge og bikarbonat som bufrer i øverste delen av magesekken, samt en del andre mineraler (Cl, K, Ca, Mg, P). En voksen hest (500 kg) skiller ut 35-45 liter spytt per dag, avhengig av rasjonens mengde og sammensetning (Meyer & Coenen 2002). Spyttets pH ligger mellom 8,6-9,1 (Meyer et al. 1985; Moeller et al. 2008; Stick et al. 1981). Høyt tørrstoffinnhold stimulerer til økt tyggeaktivitet, som igjen stimulerer økt spyttsekresjon (Meyer et al. 1985; Meyer et al. 1986). Forsøk med spiserørsfistulerte hester har vist at grovfôr hadde et tørrstoffinnhold mellom 15-20 % etter at det var blitt blandet med spytt, mens tilsvarende for kraftfôr var 25-40 % (Meyer & Coenen 2002). Det virker som at munnens viktigste funksjon i fordøyelsen er ved tyggingen å finmale fôret, blande inn spytt og å gjøre fôret bløtt og glatt slik at det lett kan svelges. I tillegg tilføres bikarbonat og mineraler som har buffervirkning i spiserørsdelen av magesekken.

### 3.2 Magesekken

Magesekken hos hest er formet som en pose og er ca. 8 % av hestens totale mage-/tarmkanal. Det tilsvarer 8-15 liter hos en voksen hest (500 kg) (Nickel et al. 1979). Hestens magesekk deles inn i tre regioner *cardia*, *fundus* og *pylorus* (Geor et al. 2013). I inngangen fra spiserøret ligger *cardia* også kalt spiserørskledet, da den har samme slimhinne som spiserøret. Slimhinnen i *cardia* er ømfintlig for magesyre og pH ligger mellom 5-7. I *fundus* utskilles saltsyre (HCl), samt pepsinogen som aktiveres til pepsin (Meyer & Coenen 2002). pH i regionen *pylorus* ligger mellom 2-3 (Merritt et al. 2003). Slimhinnen i *fundus* og *pylorus* er spesielt beskyttet mot saltsyren som produseres og tåler det sure miljøet. Det er et klart skille mellom øvre (*cardia*) og nedre (*fundus* og *pylorus*) del av magesekken, kalt *margo plicatus*. I *fundus* utskilles det saltsyre kontinuerlig, uavhengig om hesten spiser eller ikke. Ved en lengre periode uten fôr, danner det seg store dammer av saltsyre som skulper omkring når hesten beveger seg. Det kan føre til utvikling av magesår, nær *margo plicatus* (Andrews et al. 2006; Widenhouse et al. 2002). Ved å fôre luserne kan man øke beskyttelsen av den ømfintlige slimhinnen i øvre del av magesekken (Lybbert et al. 2007; Nadeau et al. 2000).

I *fundus* består den mikrobielle bakteriemassen av *lactobacilli* og *streptococci* (Geor et al. 2013). pH påvirker den bakterielle fermenteringsaktiviteten. Mengden og aktiviteten til

organismene i magesekken øker med høyere pH (Varloud et al. 2007). Amylolytiske bakterier fermenterer noe av stivelsen og det produseres laktat i magesekken (de Fombelle et al. 2003; Varloud et al. 2007). Det produserer i tillegg noe VFA ved fermentering av fiber (Argenzio et al. 1974; Varloud et al. 2007). Fra magesekken transporteres det konsumerte fôret videre inn i tynntarm.



*Figur 3: Hestens magesekk og inndeling av de ulike regionene i magesekken (WikiVet 2012).*

### 3.3 Tynntarm

Hestens tynntarm deles inn i tre regioner: duodenum (tolvfingerarmen), jejunum og ileum. Tynntarmen er relativt liten (25 m) tatt hestens kroppsstørrelse i betraktning. Slimhinnen i tynntarmen er dekket med fingerlignende tarmtotter, hvor hver enkelt er omgitt av flere krypter. Epitelcellene på overflaten kommer opp fra kryptene og migrerer opp tarmtottene når de modner. Under modningen utvikles en rekke mikrovilli, som inneholder fordøyelsesenzymer. Det er disse cellene som absorberer næringsstoffene som f.eks. fettsyrer, glukose og aminosyrer (Geor et al. 2013).

I duodenum sekreses fordøyelsesvæsker fra gallesystemet og bukspyttkjertelen inn i tynntarm. Bikarbonat er basisk (pH 8,0) og sekreses fra bukspyttkjertelen og bufrer surt innholdet som kommer fra magesekken og inn i duodenum (Geor et al. 2013; Kitchen et al. 2000).

Enzymet  $\alpha$ -amylase fra bukspyttkjertelen og enzymer i mikrovilli (dextrinase, maltase, sukrase) i tynntarm hydrolyserer ikke-strukturelle karbohydrater som stivelse og dextrin ( $\alpha$ -1,4 og  $\alpha$ -1,6 bindinger). Hos hest er  $\alpha$ -amylase aktiviteten lav sammenlignet med karnivore og omnivore arter (Kienzle & Radicke 1993; Kienzle et al. 1994; McDonald et al. 2011). Aktiviteten av  $\alpha$ -amylase kan være begrensende hos hester som får mye stivelsesholdig kraftfôr. Nedbrutt stivelse gir glukose som absorberes hovedsakelig i duodenum og jejunum (Dyer et al. 2002). Glukose transporteres over den luminale og basolaterale membranen til enterozyttene i tynntarmen og inn i blodstrømmen.

Stivelse som ikke fordøyes i tynntarm, går videre i fordøyelsen til blind- og tykktarm. En stivelsesrik fôrrasjon gjør at mer av stivelsen fermenteres av mikrobene i blind- og tykktarm. Dette fører hovedsakelig til produksjon av laktat, samt økt andel propionsyre. Konsentrasjonen og aktiviteten til cellulolytiske bakterier reduseres. Det produseres i gjennomsnitt fra 1,2 (Wolter et al. 1980) til 4,6 (Medina et al. 2002) mmol/L laktat i blindtarmen og 0,5 (Wolter et al. 1980) til 4,9 mmol/L laktat i tykktarmen (Julliand et al. 2001b). Det er vist at ved å gi 2 kg pelletert bygg (2 g stivelse per kg kroppsvekt) kan pH i blindtarmen reduseres til lavere enn 6,0 (Austbø 2005).

Enzymene trypsinogen, kymotrypsinogen utskilles fra bukspyttkjertelen og aktiveres til trypsin og kymotrypsin i tynntarmen. Enzymene hydrolyserer proteiner og de mindre peptidene til aminosyrer som kan absorberes over tarmveggen (McDonald et al. 2011). I tynntarmen absorberes 16-58 % av nitrogenet. Dette indikerer at absorpsjonen av protein skjer hovedsakelig før blindtarmen (Gibbs et al. 1988; Glade 1983; Hintz et al. 1971b). Det antas at protein hovedsakelig absorberes som aminosyrer i tynntarm hos hest (Coenen 2013; Geor et al. 2013).

Fett hydrolyseres under påvirkning av tarmsaft, bukspytt (inneholder enzymet lipase som spalter fett) og gallesalter (finfordeler og emulgerer) (Sjaastad et al. 2010). Gall saltsaltene danner miceller som transporterer nedbrutt fett ved å ta opp monoglyserider og fettsyrer. Fettsyrene og glyserol diffunderer inn i tarmcellene. I tarmcellen bindes glyserol og fettsyrene sammen igjen og danner triglyserid (Sjaastad et al. 2010).

### 3.4 Blind- og tykktarm

Hesten er herbivor og har omfattende fermentering i blind- og tykktarm. Disse tarmavsnittene er utviklet for å fermentere plantemateriale som ikke kan fordøyes enzymatisk i tynntarmen. Hos hest (500 kg) er gjennomsnittlig volum av blindtarm 33 liter og tykktarm 80 liter (Meyer & Coenen 2002; Nickel et al. 1979). Det tilsvarer 60 % av mage-/tarmkanalens volum. Tykktarmen går over i en tverrgående tarm som avsluttes av endetarm hvor vannet absorberes og gjødselpærer dannes. Slimhinnen i blind- og tykktarm har ingen tarmtotter, men søyleceller. Søylecellene har mikrovilli (små tarmtotter), men cellene produserer ikke enzymer (Wille & Nakov 1999).

Tarmmiljøet i blind- og tykktarm fremmer vekst av anaerobe mikroorganismer, som lever av å fermentere forskjellige substrater, de kan dermed fermentere strukturelle karbohydrater som består av  $\beta$ -bindinger. Endeproduktet etter fermenteringen er VFA, gasser, ammoniakk og noe laktat (Argenzio et al. 1974; Ellis & Hill 2005). I blind- og tykktarm er gjennomsnittlig pH på 7 under faste (Frape 2003).

Mikrobene er viktige for fordøyelsen av cellulose og andre plantefiber og de cellulolytiske bakteriene spiller derfor en viktig rolle i fordøyelsen. Bakteriene *Ruminococcus flavefaciens* og *Fibrobacter succinogenes* er de mest dominerende cellulolytiske bakteriene i blind- og tykktarm hos hest (Daly et al. 2001; Daly & Shirazi-Beechey 2003; Julliand et al. 1999).

Den cellulolytiske aktiviteten i blind- og tykktarm er stor i motsetning til tynntarm. I all hovedsak produseres eddiksyre (ca. 74,9 % av VFA-konsentrasjonen), propionsyre (16,9-18,0 % av VFA-konsentrasjonen) og smørsyre (ca. 6,3 % av VFA-konsentrasjonen) (de Fombelle et al. 2003). Produsert VFA absorberes og benyttes som energi eller i glukoneogenese (propionsyre).

Det er viktig å tilføye at i hvilken grad næringsstoffene i fôret fordøyes er avhengig av oppholdstiden i tarm. Gjennomsnittlig oppholdstid (Mean retention time) kan variere mellom 20-30 timer, avhengig av faktorer som fôrråvare og type fôr. Forskjellen i oppholdstid skyldes



i all hovedsak det som skjer i blind- og tykktarm (Austbø & Volden 2006; Rosenfeld et al. 2006; Rosenfeld & Austbø 2009b). Tarmmiljøet i blind- og tykktarm forandres i samsvar med fôrrasjonen. Økt andel bygg i kraftfôrrasjonen endrer forholdet mellom eddiksyre og propionsyre, det blir mer propion- og mindre eddiksyre, sammenlignet med fiberrikasjoner. Endringen i forholdet mellom eddiksyre og propionsyre viser at den cellulolytiske aktiviteten avtar og fermenteringen av stivelse øker (Julliand et al. 2001b; Medina et al. 2002).

## 4.0 Opptak og omsetning av endeprodukter fra fordøyelsen og regulering av glukose i blodet

Kapittelet tar for seg opptak og omsetning av endeproduktene fra fordøyelsen av ikke strukturelle og strukturelle karbohydrater, samt fett. I tillegg hvordan kroppen regulerer glukosekonsentrasjonen i blodet.

### 4.1 Ikke strukturelle karbohydrater og fett

Når ikke strukturelle karbohydrater er enzymatisk hydrolysert i tynntarmen til enkle sukker, kan de absorberes over tarmveggen i tynntarmen (Dyer et al. 2002; Roberts 1975). Det tilfører cellene energi gjennom glykolysen og TCA-syklus (Mathews et al. 2013). Energien transporteres til steder i cellen hvor det er behov for energi. Er det ikke behov for energi kan sukkeret lagres som glykogen i muskulatur og lever, samt konverteres til fett i fettvev (Geor et al. 2013). Alle celler er avhengig av en jevn tilgang på energi, derfor kan glykogen lagrene brytes ned ved hjelp av enzymet glykogen fosforylase i en prosess som kalles glykogenolyse. I glykogenolysen blir glukose-1-fosfat og omdannet til glukose-6-fosfat som kan gå inn i flere energigivende systemer (glykolysen, TCA-syklus) (Ellis & Hill 2005; Mathews et al. 2013).

Fettet i rasjonen kan lagres i form av triglyserid i muskel og fettvev, hvor det etter behov kan hydrolyseres til glyserol og frie fettsyrer for å tilfredsstille hestens behov for energi (Geor et al. 2013; Mathews et al. 2013). Gjennom glukoneogenesen i leveren kan glyserol omdannes til glukose, samt at frie fettsyrer oksideres å benyttes som energi i skjelettmuskulatur og lever (Mathews et al. 2013; McDonald et al. 2011; Sjaastad et al. 2010).

I dag fôres hesten tradisjonelt 3-4 ganger i løpet av et døgn. Det gir tilførsel av energi i perioder og energien må derfor kunne lagres til perioder med lite tilførsel av energi. Det er mange hormoner som er med å regulere konsentrasjonen av glukose i blodet, men de viktigste er insulin og glukagon (Mathews et al. 2013; Sjaastad et al. 2010).

En stivelsesrik fôrrasjon gir høy konsentrasjon av glukose i blodstrømmen. Det stimulerer til insulinutskillelse fra  $\beta$ -cellene i bukspyttkjertelen. Insulinet stimulerer deretter leveren, skjelettmuskulaturen og fettvevet for å øke opptaket av glukose fra blodet (Geor et al. 2013; Mathews et al. 2013; Sjaastad et al. 2010). Insulinkonsentrasjonen øker etter fôring og for så å avta når det er lite glukose som absorberes fra tarmen. Under absorpsjon av glukose hemmer insulinet oksidering av lagret fett (triglyserid) i fettvevet (Sjaastad et al. 2010). Er det imidlertid lite glukose i blodet stimuleres utskillelsen av glukagon fra  $\alpha$ -celler i bukspyttkjertelen. Dette stimulerer glukoneogenese og glykogenolyse. Det beskytter kroppen mot hypoglykemi (lavt blodsukker) (Mathews et al. 2013; Pedersen et al. 2012; Sjaastad et al. 2010). Hormonene insulin og glukagon er elementær for å kunne opprettholde en homeostase (likevekt) mellom opptak og metabolisering av glukose for å opprettholde normal glukosekonsentrasjonen i blodet.

Glukose har en rekke vitale funksjoner (hjerneaktivitet, erytrocyttene, binyremargen og skjelettmuskulaturen under anaerobe forhold) og det er dermed viktig å nøye regulere konsentrasjonen av glukose i blodet for å opprettholde ulike funksjoner. Før fôring holdes glukosekonsentrasjonen i blodet relativt stabil ved ca. 4-5 mM. Ved å gi 2 g stivelse/kg kroppsvekt stiger glukosekonsentrasjonen opp mot 6,5 mM (Meyer & Coenen 2002).

## 4.2 Strukturelle karbohydrater

Ved mikrobiell fermentering av strukturelle karbohydrater i blind- og tykktarm produseres VFA. Produsert VFA kan absorberes og transporteres over tarmveggen i blind- og tykktarm (Argenzio et al. 1974; Geor et al. 2013), for deretter å bli metabolisert. Fermentering av strukturelle karbohydrater kan dekke opptil 60 til 70 % av hestens energibehov (Argenzio 1975; Argenzio et al. 1974). Propionsyren transporteres til leveren hvor den konverteres til glukose via glukoneogenesen, samt at 5 % av propionsyren konverteres til laktat (Ford &

Simmons 1985; Simmons & Ford 1991; Sjaastad et al. 2010). Nesten all smørsyre konverteres til  $\beta$ -hydroxybyturat, som er et keton.  $\beta$ -hydroxybyturat er en energikilde som brukes av hjerte- og skjelettmuskulaturen, og for fettsyntese i fett- og brystvev. Eddiksyre absorberes uforandret gjennom tarmveggen og benyttes som energi av ulike vev (Ellis & Hill 2005; Sjaastad et al. 2010).

## 5.0 Ulike fôrråvarer brukt i rasjonene

Kapittelet vil ikke ta for seg alle fôrråvarer i kraftfôr til hest, men vil ta for seg de fôrråvarene som er brukt i forsøket. Fôrråvarene er rangert ut fra innhold av fiber, hvor mest fiber finnes i høy deretter eplepulp, luserne og bygg.

### 5.1 Høy (timotei)

I Norge er timotei den viktigste grasarten og Grindstad er den mest brukte sorten i Sør-Norge. På beite og i eng kan man også finne vill timotei, den vokser da sammen med andre grasarter og urter. Når grasproduksjonen økte fikk timoteien en sentral rolle i norsk landbruk. Timotei ble dyrket først i begynnelsen av 1700-tallet i Nord-Amerika. Deretter kom produksjonen av timotei til England og andre land i Europa. I 200 år har man i Norge dyrket timotei, og det var først fra 1860 at man dyrket grasenger i flatbygdene på Østlandet (Skog og Landskap 2015).

Timotei er et flerårig gras som vokser oppover og danner løse tuer. Det er et typisk strågras, hvor de fleste skudd strekker seg til strå det første året i enga. Arten trives best hvor jorda er næringsrik og i velholdt dyrkamark. Timotei er en holdbar art som kan ha lang varighet, men det er sterkt avhengig av høsteteknikk og stell. Etter skyting øker innholdet av trevler raskt (Steinshamn 2014). Timotei i høy velges på grunn av høyt innhold av NDF (Nøytral løselig fiber) (ca. 58 %) og NSP (ikke stivelses polysakkarider) (ca. 60 %), sammenlignet med bygg (Brøkner et al. 2012d).

## 5.2 Eplepulp

Eplepulp er et restmateriale fra pressing av epler til juice og består av fruktkjøttet, kjernen og skallet. Eplepulp har lavt proteininnhold, men er fiberrikt og inneholder lite stivelse (Brøkner et al. 2012d). Eplepulp har god smak og foretrekkes av hester (Agro Food Solution GMBH 2014). Høyt fiberinnhold fremmer stabil pH (ca. 6,5-7,0) i blind- og tykktarm (Austbø 2005). Stabil pH i blind- og tykktarm bidrar til godt miljø for mikrobene og fremmer god tarmhelse hos hest (Golden leaf enterprises ltd 2014). Eplepulp har høyt innhold av pektin, som er vist å ha positiv innvirkning på tarmhelse (Pedersen et al. 2012).

## 5.3 Luserne

Luserne er en plante med høyt avlingspotensial og egner seg godt som fôr. Luserne trives best under varme og tørre forhold med relativt høy pH i jordsmonnet. Fôrveksten klarer seg derfor best på Sørøstlandet, men noen sorter klarer seg også i dal og fjellbygdene (Sturite & Lunnan 2013). Belgveksten luserne er nært beslektet med kløver. Belgvekster lever i symbiose med bakterier som lagrer nitrogen. Dette kalles nitrogenfiksering. På grunn av plantens evne til å fikse nitrogen har den dermed høyt proteininnhold (Felleskjøpet 2014). Belgveksten har et kraftig rotsystem, som kan ta opp næringsstoffer og vann fra dype jordlag (Sturite & Lunnan 2013). Luserne vil egne seg godt som fiberråvare i kraftfôr til hest på grunn av plantens struktur. Hakket luserne forlenger etetiden av kraftfôret, noe som samtidig øker spyttproduksjonen (Vilomix AS 2014). Økt spyttproduksjon gir mindre risiko for magesår i den øvre delen av magesekken (Nadeau et al. 2003). Store deler av tørrstoffinnholdet i luserne består av karbohydrater og ca. 60 % er fordøyelig fiber (Brøkner et al. 2012c).

## 5.4 Bygg

Kornarten bygg tilhører grasfamilien Gramineae. Bygg er en av de eldste kulturplantene i Norge og ble dyrket allerede 7000-10000 år siden. En liten del av byggproduksjonen i Norge brukes til mat- eller mjølprodukter. En større del brukes i kraftfôr til hest og de andre husdyra (Skrede 2000). Bygg er en stivelsesrik kornart (ca. 58 % per kg tørrstoff) som er lett fordøyelig og på verdensbasis er bygg en viktig fôrråvare i kraftfôr (Frape 2003).

## 6.0 Fôringsrelaterte helseproblemer hos hest

Hesten fikk tidligere dekket sitt næringsbehov ved beiting og høstet grovfôr (høy). Økt krav til arbeid og annen fysisk aktivitet førte til at rasjonene måtte suppleres med korn og senere kornbaserte kraftfôrblandinger (Ellis & Hill 2005). Det ble ofte gitt bygg og havre som er stivelsesrike kornarter. Fôring med stivelsesrike kraftfôr-rasjoner ga nye utfordringer, da stivelsesrike fôr-rasjoner førte til flere fôringsrelaterte helseproblemer. Kapittelet vil belyse ulike fôringsrelaterte helseproblemer som assosieres med stivelsesrike kraftfôr-rasjoner.

### 6.1 Forfangenhet

Forfangenhet (Laminitis) er en almenlidelse, med fremtredende symptomer i høvene. Hesten har feber, svetter og den motoriske bevegelsen er svekket (Harris 2012). Forfangenhet innebærer at hovbeinet roterer inne i hornkapselen. I noen tilfeller kan hovbeinspissen perforere hovsålen. Forfangenhet knyttes oftest til fôring eller brått fôrbytte og skyldes en rekke reaksjoner og muligens flere patofysiologiske årsaker (Harris 2012). Hvilke mekanismer som forårsaker utvikling av forfangenhet er ikke kjent, men en endring i gjæringsforløpet i blind- og tykktarm kan fremme utvikling av forfangenhet (Bailey et al. 2004). Det er i forsøk induisert forfangenhet ved bruk av store mengder stivelse (17 g/kg kroppsvekt) og fruktan (7,5-12 g/kg kroppsvekt) (Geor 2009). Det anbefales derfor at fôr-rasjonen ikke bør inneholde mer enn 2 g stivelse/kg kroppsvekt for å hindre utvikling av forfangenhet (Julliand et al. 2006).

### 6.2 Kolikk

Kolikk (Colic) er en tilstand med smerte og kraftige kramper i hestens bukhule. Den vanligste årsaken til kolikk er tykktarmforstoppelse og gasskolikk. Hester som rammes av kolikk trenger akutt behandling og har stor dødelighet (Shirazi-Beechey 2008). Det kan være mange årsaker til forstoppelse i tykktarmen, men for brå overgang fra et fôr til et annet kan øke sannsynligheten for forstoppelse. Hester med gasskolikk får voldsomme luft smerter fordi tykktarmen fylles med gass. Fôring er en av hovedårsakene til utvikling av kolikk (NRC 2007). Kolikk virker å være påvirket av tarmmiljøet og er genetisk predisponert. Risikoen for

at kolikk utvikles virker å øke når hesten gis store stivelsesrike kraftfôrrasjoner, som følge av endring i gjæringsforløpet i blind- og tykktarm (Hudson et al. 2001; Shirazi-Beechey 2008).

### 6.3 Insulinresistens

Insulinresistens (Equine Metabolic Syndrome) defineres generelt som en unormal metabolsk tilstand når normale konsentrasjoner av sirkulerende insulin ikke klarer å fremme fysiologiske reaksjoner i målvevet (Kahn 1978). Insulinresistente celler i muskler, fettvev og leveren trenger store konsentrasjoner av sirkulerende insulin for å stimulere opptak av glukose fra blodstrømmen (Hoffman 2009). Hos mennesker kaller man insulinresistens diabetes type II (Bessesen 2001; Storlien et al. 2000). Stivelsesrike fôrrasjoner assosieres med utvikling av insulinresistens hos hest (Hoffman et al. 2003; Treiber et al. 2005). Insulinresistens kan føre til utvikling av forfangenhet (Frank et al. 2010; Pass et al. 1998; Treiber et al. 2006), kolikk (Hudson et al. 2001) og Equine Cushing's disease (Garcia & Beech 1986; Johnson et al. 2004).

### 6.4 Hyperadrenokortisisme

Hyperadrenokortisisme (Equine Cushing's disease, ECD), er en aldersrelatert neuroendokrin sykdom hos eldre hester og ponnier, som ikke kan kureres. Tilstanden stammer nesten alltid fra adenom av pars intermedia i hypofysen og noen ganger fra den fremre forlappen (Kolk 1997). Sykdommen fører til overproduksjon av kortisol som fører til økt glukosekonsentrasjon i blodet. Symptomer som kjennetegner ECD er unormal pelsvekst, økt appetitt, vekttap, økt vanninntak og urinering, forfangenhet og insulinresistens (Christie 2015). Det anbefales at fôrrasjonen ikke bør inneholde stivelsesrike fôrråvarer som påvirker glukosekonsentrasjonen i blodet i større grad. Hester med ECD har ofte et større energibehov, for å opprettholde normal kroppsvekt. Fôrråvarer som inneholder mye fett og fordøyelig fiber kan erstatte stivelsesrike fôrråvarer (Johnson 2002; McCue 2002; Schott II 2002).

## 6.5 Krysslammelse

Krysslammelse (Recurrent exertional rhabdomyolysis) er en av de mest kjente muskelsykdommene hos hest. Krysslammelse oppstår ofte etter at hesten har hatt hvile noen dager etter hardt fysisk arbeid. Under hvile får hesten ofte samme mengde kraftfôr, som fører til abnormt lagret glykogen i muskulaturen (Aleman 2008; MacLeay et al. 2000). Fysisk arbeid etter hvile fører til rask nedbrytning av glykogenet og det dannes store mengder melkesyre. Melkesyren senker pH i cellen, som fører til at cellen sprekker. Det fører til store muskelskader, spesielt i muskulaturen i krysset og lårene (Aleman 2008). Sykdommen forekommer ofte hos trav- og galopphester som er gitt stivelsesrike kraftfôrrasjoner på grunn av økt energibehov. Kreatin kinase (CK) og aspartat transaminase (ASAT) måles for å diagnostisere alvorlighetsgraden (MacLeay et al. 2000). Det anbefales å redusere den totale mengden stivelse og sukker i fôrrasjonen og erstatte med fett eller fordøyelig fiber (MacLeay et al. 2000; McKenzie & Firshman 2009), for å hindre abnorm glykogen lagring i muskulaturen.

## 6.6 Unormal glykogenlagring

Unormal glykogenlagring (Polysaccharide storage myopathy) er en sykdom som fører til unormal glykogen lagring i skjelettmuskulaturen opptil 1,5 til 2 ganger mer enn normalt. Sykdommen er kjent hos quarterhester og skyldes insulinsensitivitet (McCue et al. 2009; Secombe & Lester 2012). Hester gitt en fôrrasjon som besto av mye fett og lite stivelse tålte mer trening og CK-aktiviteten etter trening ble sterkt forbedret (Aleman 2008; McCue et al. 2009). Det anbefales å gi fôrrasjoner som ikke påvirker glukosekonsentrasjonen i blodet i større grad. Et energibehovet høyt kan fôrrasjonen inneholde store mengder fett og fordøyelig fiber som vil redusere sannsynligheten for å utvikle insulinsensitivitet (Secombe & Lester 2012).

## 6.7 Magesår

Magesår (Equine gastric ulcer syndrome) er en vanlig sykdom som forekommer ofte (ca. 40-90 %) hos sportshest (NRC 2007). Stivelsesrike kraftfôrrasjoner fermenteres og fremmer høy produksjon av laktat og lengre perioder med lav pH (4,5) i øvre del (*cardia*) av magesekken

(Al Jassim & Andrews 2009; Nadeau et al. 2000; Nadeau et al. 2003). Lengre perioder med forhøyet syrekonsentrasjon er med på å fremme dannelse av magesår i *cardia* nær *margo plicatus*. Hele 80 % av magesår hos hest finnes i *cardia*, da slimhinnen er svært ømfintlig for lav pH (Buchanan & Andrews 2003). Fôrrasjoner som fremmer høyere pH i magesekken, som lusernehøy eller lusernepellets er med på å redusere faren for magesår (Buchanan & Andrews 2003; Orsini 2000; Pagan 1997). Fôrrasjoner som er med på å øke tyggetiden øker spyttproduksjon og dermed bufferkapasiteten i øvre del av magesekken (Lybbert et al. 2007; Nadeau et al. 2000).

## 7.0 Material og metode

### 7.1 Forsøksdesign

Forsøket var designet for å finne total apparent fordøyelighet av fire forskjellige fôrrasjoner (høyraasjon, byggrasjon, lusernerasjon og eplepulprasjon). Rasjonene ble gitt i fire forskjellige perioder. Det ble brukt fire blindtarmsfistulerte hester og alle hestene ble gitt samme rasjon i hver periode. Hver forsøksperiode besto av en tilvenningsperiode på 10 dager, etterfulgt av total oppsamling av gjødsel i 4 døgn. Rasjonens påvirkning på glukose og insulin i blodet og pH-verdien og VFA-konsentrasjonen i blindtarmen ble registrert den femte dagen.

### 7.2 Hester, oppstalling og mosjoning

Hestene var fire blindtarmsfistulerte vallaker av rasen Norsk kaldblodstraver i alderen 9-19 år, med en gjennomsnittlig kroppsvekt (BW) på  $555 \pm 38$  kg. Under oppsamlingsperiodene ble hestene veid til samme tidspunkt hver morgen. Hestene var utstyrt med en fistel som var plassert i blindtarmen i området der tynntarm munner ut (*ileo caecal junction*). Hver hest var oppstallet i en boks på  $3 \times 3$  m og underlaget var dekket med flis. I oppsamlingsperiodene ble hestene mosjonert på en høyhastighets tredemølle (Haico 4000, Loimaa, Finland). Mosjoningene var 10 minutters oppvarming ved 1,5 m/s og 0,7-1,2 % stigning, fulgt av 10 minutter trav ved 2,7-3,1 m/s og til slutt 10 minutter nedskritting ved 1,5 m/s. I tilvenningsperioden gikk hestene ute i en paddock i 6-7 timer etter morgenfôringen. Hestene



var friske gjennom hele studiet og stelt etter dyrevelferdsmessige krav, norske lover og reguleringer rundt forsøk på levende dyr (Mattilsynet 1996; Mattilsynet 2009).

### 7.3 Rasjonene

Den kjemiske sammensetningen til de enkelte fôrråvarene er vist i tabell 1 og rasjonssammensetting vises i tabell 2. Høyrasjonen ble delt i tre måltider: morgenen 06:30, ettermiddagen 16:00 og kvelden 20:00. Kraftfôrrasjonen ble gitt bare på morgenen kl. 06:30. Hver rasjon hadde et energiinnhold som tilsvarte 1,1 ganger hestens vedlikeholdsbehov. Det ble gjort en NIR-analyse av høyet før oppstart av forsøket (Eurofins, Moss, Norge). Analysen viste at høyet hadde et tørrstoffinnhold på 89,5 % og beregnet energiinnhold på 0,53 FEh/kg tørrstoff. Alle rasjonene var kalkulert til å inneholde 5 fôrenheter hest (FEh) og minimum 7,15 kg/TS fra høy, da gjennomsnittlig kroppsvekt ved forsøksstart var 552 kg. I første periode ble det kun gitt en høyrasjon (H) på 10,6 kg høy per dag. I de resterende periodene besto rasjonene av 8 kg høy per dag og 1,25 kg pelletert bygg (B) i andre periode, 2,35 kg lusernepellets (L) i tredje periode og 2,8 kg eplepulp (E) i fjerde periode. For å dekke hestens behov for vitaminer og mineraler ble de gitt en vitamin-/mineralblanding (Champion Multitilskudd, Felleskjøpet Agri, Gardermoen, Norway) og NaCl under fôringen klokken 06.30 på henholdsvis 50 g og 25 g. For hver forsøksperiode ble det tatt en representativ prøve av hver enkelt fôrråvare. Prøvene ble lagret og forseglet i blanke plastikkposer for senere kjemisk analyse.

**Tabell 1:** Tørrstoff og kjemisk sammensetning av høy, bygg, luserne og eplepulp

	Høy	Bygg	Luserne	Eplepulp
Tørrstoff [g/kg]	874,6	872,8	923,4	922,6
Organisk materiale [g/kg TS]	826,5	848,5	829,1	895,0
Aske [g/kg TS]	48,3	24,5	93,9	28,0
Råfett [g/kg TS]	17,1	19,4	21,8	33,8
Råprotein [g/kg TS] (Nx6,25)	91,3	105,4	131,9	78,3
Råtrevler [g/kg TS]	319,6	43,3	270,9	253,8
NDF <sup>1</sup> [g/kg TS]	653,3	177,6	502,7	497,3
NFE <sup>2</sup> [g/kg TS]	398,5	680,4	404,5	529,1
Stivelse [g/kg TS]	39,4	471,4	35,1	18,5

<sup>1</sup>NDF: Nøytral løselig fiber <sup>2</sup>NFE: Nitrogen frie ekstrakter

**Tabell 2:** Rasjonssammensetning og daglig inntak av fôr og næringsstoffer

	Rasjon			
	Høy (H)	Bygg (B)	Luserne (L)	Eplepulp (E)
<b>Fôr [kg]</b>				
Høy	10,6	8,0	8,0	8,0
Bygg	-	1,25	-	-
Luserne	-	-	2,35	-
Eplepulp	-	-	-	2,80
Tørrstoff [per fôrasjon]	9,27	8,09	9,17	9,58
<b>Daglig tilførsel fra fôrasjon [g]</b>				
Aske	447,7	364,8	541,9	410,3
Råfett	158,5	140,8	167,0	206,9
Råprotein (Nx6,25)	846,4	754,0	925,3	841,1
Råtrevler	2962,7	2284,4	2825,1	2892,0
NDF	6056,1	4766,7	5664,0	5856,1
NFE	3694,1	3531,1	3667,3	4154,6
Stivelse	365,2	789,6	352,0	323,5

## 7.4 Innsamling av data

### 7.4.1 Oppsamling av gjødsel

Under oppsamlingsperioden av gjødsel ble hestene utstyrt med en oppsamlingssele (Stablemaid, Melbourne, Australia). Oppsamlingssele ble tømt etter behov for å unngå tap av gjødsel. Gjødsel ble lagret i plastikkbøtter i et uoppvarmet rom eller utendørs. Det ble daglig gjort døgnoppgjør, hvor gjødselen ble veid og blandet med en mekanisk mikser. Det ble tatt ut en representativ prøve (20 %), som ble lagret i plastikkbøtter og fryst ved -20°C. Prøvene fra

hvert døgnoppgjør ble så blandet sammen og mikset. Det ble tatt fire gjødselprøver på 500 g, hvor to prøver var for analyse av tørrstoff og to for kjemisk analyse.

#### 7.4.2 Tarmprøver og pH måling

Prøver av blindtarmsinnhold ble tatt ved at en slange på 100 cm ble ført inn gjennom fistelen. Slangen lå ca. 90 cm ned i blindtarmen. Enden av slangen (de siste 39 cm) hadde ca. 50 hull med en diameter på 3 mm slik at prøve ble tatt fra ulike deler av blindtarmen. Under prøvetakingen ble det brukt en 400 ml sprøyte som ble koblet til slangen for å trekke ut ca. 100 ml tarmvæske fra blindtarm. Den første tarmprøven ble tatt før fôring klokken 06.30 og hver time i 8 timer etter fôring. For seinere analyse av VFA ble det tatt ut en representativ prøve (9,5 ml) i sentrifugerør som ble blandet med 0,5 ml 98 % maursyre. Prøven ble lagret ved 4°C. Rett etter at tarmprøven ble tatt, ble pH målt med en pH elektrode (SenTix® 41, WTW GmbH, Weilheim, Tyskland). Før og etter prøvetakingen ble alle pH elektrodene rengjort og kalibrert. Kalibreringen av pH elektroden ble gjort etter en to-steps kalibreringsmetode, hvor det ble benyttet kalibreringsløsninger med pH 7,0 og 4,0.

#### 7.4.3 Blodprøver

Blodet ble tatt fra halsvenen med 10 ml vacutainer rør uten tilsetning (Vacutainer® Becton - Dickinson), før fôring og hver time i 8 timer etter fôring. Rett etter prøvetakingen ble glukosekonsentrasjonen målt med en blodsuktermåler (ACCU-CHEK® Compact plus, Roche Diagnostics GmbH, Mannheim, Tyskland). Deretter ble blodprøvene satt på et oppvarmet rom (20°C) for å koagulere (1 time). Etter ferdig koagulering ble blodprøvene sentrifugert ved 3000 r/min i en utsvingrotor (Heraeus Labofuge 300 Centrifuge, USA) i 15 minutter. Serumet ble så tatt ut med pipette (>1ml) og lagret og fryst ved -20°C for senere analyse av insulin.

## 7.5 Analyser

### 7.5.1 Kjemiske analyser

Tørrstoffinnholdet i fôrråvarene og gjødsla ble bestemt ved å lufttørke prøvene til konstant vekt. Prøvene ble lufttørket i en laboratorisk tørkeovn (Termaks 430 L, Bergen, Norge) i 24 timer ved 105°C og 60°C. Prøvene som ble sendt videre til kjemisk analyse ble veid ut for tørrstoff. Deretter ble de holdt i romtemperatur i to døgn for å stabiliseres. Prøvene ble så veid på nytt og malt i en hammermølle (Retsch Mølle, Retsch GmbH, Tyskland), gjennom ett 1 mm sold. Prøvene ble så lagret i små plastikkposer som ble sendt videre til analyse. Aske ble analysert ved å forbrenne prøvene ved 525°C i 6 timer. Analyse for nitrogen ble gjort ved bruk av Kjeldahl metoden (Tecator-Kjeltec system 2400, Tecator AB, Höganäs, Sverige) og råprotein (CP) ble kalkulert ved  $N \times 6,25$ . Fettinnholdet ble bestemt ved bruk av petroleum-eter ekstraksjon i et akselerert løsemiddelekstraksjonssystem (ASE 200, Dionex, USA). Stivelsen ble analysert ved en enzymatisk-kolorimetrisk metode ifølge en modifisert AACC.method 76-11 (McCleary et al. 1994). Råtrevler ble bestemt ved bruk av Weende metoden hvor den ekstraheres med aceton i en Ankom200 fiber analyse (ANKOM Technology, Fairport, NY, USA). NDF ble bestemt med ANKOM220 fiber analyse (ANKOM Technology, Fairport, NY, USA) hvor det ble brukt natriumsulfitt, alfa-amylase- og askekorreksjon (aNDFom) (Mertens et al. 2002). NFE ble utregnet etter formelen:  $NFE \text{ g/kg TS} = TS\text{-aske} - \text{råprotein} - \text{råtrevler} - \text{råfett}$ . Tarmprøvene ble analysert for VFA ved bruk av en gaskromatograf av typen MaxMat PL II Flerbruks diagenitikk analysesystem (MaxMat S.A., Montpellier Cedex, Frankrike), hvor konsentrasjonen av VFA; eddik-, propion- og smørsyre uttrykkes i mmol/L og som % av sum syrer. Serum insulin ble analysert v.h.a. kjemiluminescens immunoassay (Immulite 2000 immunoassay system, Tyskland).

### 7.5.2 Differanseforsøk

For å bestemme fordøyeligheten av tørrstoff, råtrevler, råprotein og NFE for de enkelte fôrråvarene ble oppgjøret fra fordøyelsesforsøket beregnet som et differanseforsøk. Høy ble satt som grunnfôr og differansen mellom fordøyelighetene i forsøksrasjon og grunnfôrets fordøyelighet ble regnet som forsøksfôrets fordøyelighet. I dette forsøket ble det valgt å bruke tørrstoff, råtrevler, råprotein og NFE videre i de statistiske analysene på grunn av resultatene

som ble funnet i differanseforsøket. Fordøyelighetskoeffisientene for organisk materiale, råfett og NDF var for ustabile til å kunne brukes videre i analysen.

### 7.5.3 Statistiske analyser

Resultatene ble analysert statistisk ved bruk av en General Linear Model (GLM) prosedyre, SAS versjonen 9.2 (SAS Institute Inc. 2008) og forskjeller ble antatt som signifikant når  $p < 0,05$  og som en tendens når  $p < 0,10$ .

Modellen var:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ijk}$$

Hvor  $\alpha_i$  er effekten av fôr ( $i=1, \dots, 4$ );  $\beta_j$  er effekten av hest ( $j=1, \dots, 4$ ) og  $\varepsilon_{ijk}$  er det tilfeldige residuale som antas å ha fordelingen  $\sim N(0, \sigma_e^2)$ .

Ved statistisk analyse av pH verdier og VFA i blindtarmen ble materialet sortert for tidspunkt for prøvetaking og analyse gjort separat for hvert tidspunkt.

## 8.0 Resultater

### 8.1 Rasjonssammensetting

Forsøksfôrenes kjemiske sammensetting blir vist i tabell 1. Høyest tørrstoffinnhold ble målt i luserne og eplepulp (tabell 1). Fôrråvarene varierte i innhold av protein (78,3-131,9 g/kg TS) og var høyest i luserne. Høy inneholdte høyere andel av NDF og rårevler enn de andre fôrråvarene, hvor det var minst i bygg. Innholdet av andelen NFE og stivelse i bygg var høyere enn i de andre fôrråvarene (tabell 1). Fettinnholdet i fôrråvarene varierte mellom 17,1-33,8 g/kg TS. Stivelsesinnholdet i bygg var imidlertid lavere enn hva som er gjennomsnittlig mengde stivelse i bygg (ca. 58 % per kg tørrstoff).

Rasjonssammensettingen og daglig inntak av fôr per fôrrasjon er basert på kjemiske analyser og daglig fôropptak (tabell 2). Inntak av tørrstoff var høyest for rasjonen med eplepulp (9,58

kg tørrstoff) og varierte med 0,31-1,49 kg tørrstoff sammenlignet med rasjonene med bygg, luserne og høy. Som forventet var inntaket av NDF og rårevler høyest i høyrasjonen og minst for byggasjonen (tabell 2). Inntaket av NFE var høyest for eplepulprasjonen og minst i byggasjonen. Stivelsesinntaket var høyest for byggasjonen lavest for eplepulprasjonene (tabell 2).

## 8.2 Fordøyelighet

Fordøyelighet av tørrstoff var høyest i bygg (94 %) og lavest i høy (53 %) (tabell 3). Fordøyeligheten av tørrstoff i høy, bygg og luserne var signifikant forskjellige ( $p < 0,0001$ ), samt at eplepulp og luserne var forskjellig ( $p < 0,0001$ ) fra høy og bygg. Fordøyeligheten av rårevler varierte mellom (37-72 %) og var høyest i eplepulp. Det var ingen signifikante forskjeller, men en tendens til at bygg og luserne var forskjellig ( $p = 0,059$ ) fra eplepulp. Fordøyeligheten av NFE varierte mellom 63-93 %, og var høyest i bygg og lavest i høy. Bygg og høy var signifikant forskjellig ( $p = 0,0006$ ) fra alle fôrråvarene i fordøyelighet av NFE. Fordøyeligheten av råprotein varierte mellom 20-66 % og var lavest i eplepulp og høyest i høy og luserne. Eplepulp var signifikant forskjellig ( $p = 0,0001$ ) fra høy, bygg og luserne (tabell 3).

**Tabell 3:** Apparent fordøyelighet av tørrstoff, trevler, NFE og råprotein for de ulike fôrråvarene

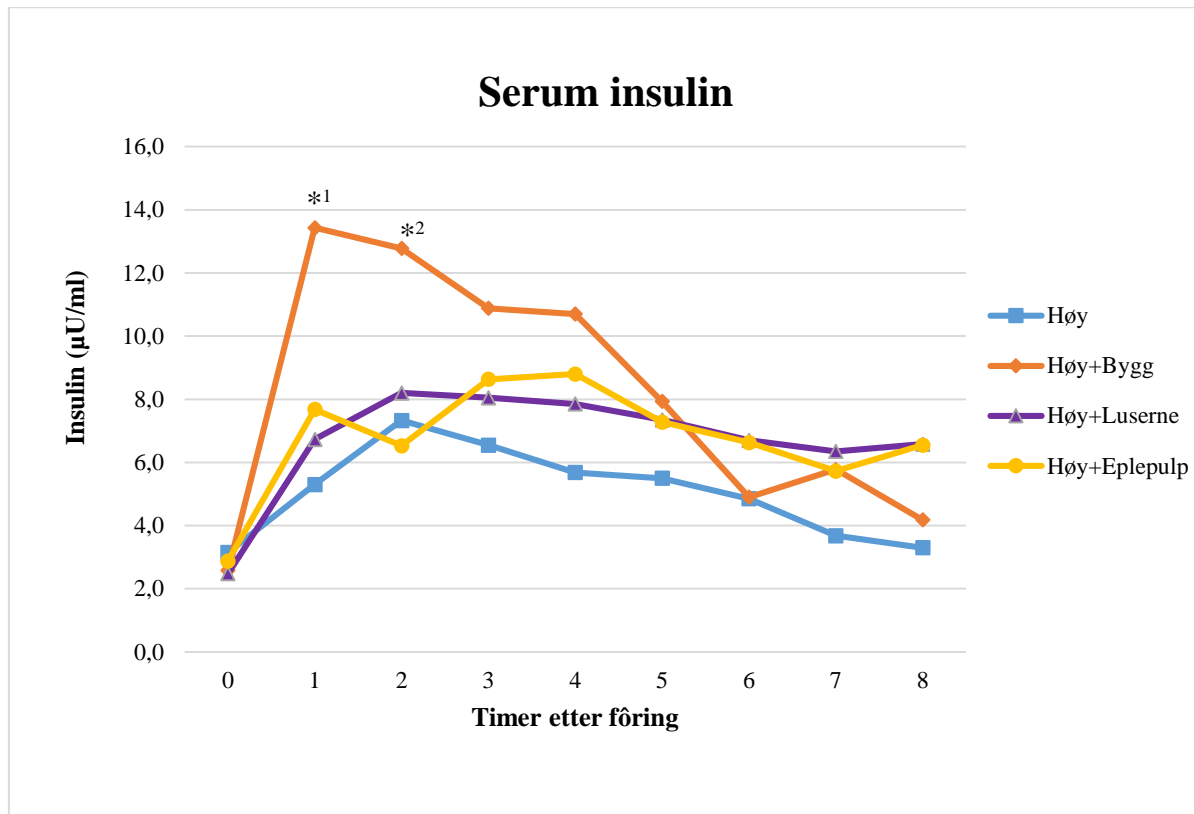
	Høy	Bygg	Luserne	Eplepulp	SE	P-verdi	
						Fôr	Hest
Tørrstoff	0,53 <sup>a</sup>	0,94 <sup>b</sup>	0,62 <sup>c</sup>	0,68 <sup>c</sup>	0,027	<0,0001	0,15
Rårevler	0,56 <sup>a</sup>	0,37 <sup>ab</sup>	0,49 <sup>ab</sup>	0,72 <sup>a</sup>	0,069	0,059	0,34
NFE	0,63 <sup>a</sup>	0,93 <sup>b</sup>	0,74 <sup>c</sup>	0,81 <sup>c</sup>	0,022	0,0006	0,16
Råprotein	0,66 <sup>a</sup>	0,57 <sup>a</sup>	0,66 <sup>a</sup>	0,20 <sup>b</sup>	0,031	0,0001	0,32

<sup>a,b,c</sup> Verdier med ulik bokstav innen samme rad er signifikant forskjellige ( $P < 0,05$ )

## 8.3 Fôrrasjonens påvirkning på serum insulin og blodglukose

Byggasjonen hadde størst påvirkning på serum insulin verdiene. Påvirkningen var størst 1 time etter fôring for deretter å avta. Rasjonene med høy, luserne og eplepulp hadde relativt lik påvirkning på serum insulin, hvor verdiene økte den første timen etter fôring for så å avta (figur 4). Byggasjonens påvirkning på serum insulin var signifikant forskjellig ( $p < 0,05$ ) fra de andre fôrrasjonene ved prøvetaking 1 og 2 timer etter fôring. Det var ingen signifikante

forskjeller, men en tendens til at høyrasjonen og byggasjonen var forskjellige ( $p=0,06$ ) 4 timer etter fôring (vedlegg 1).



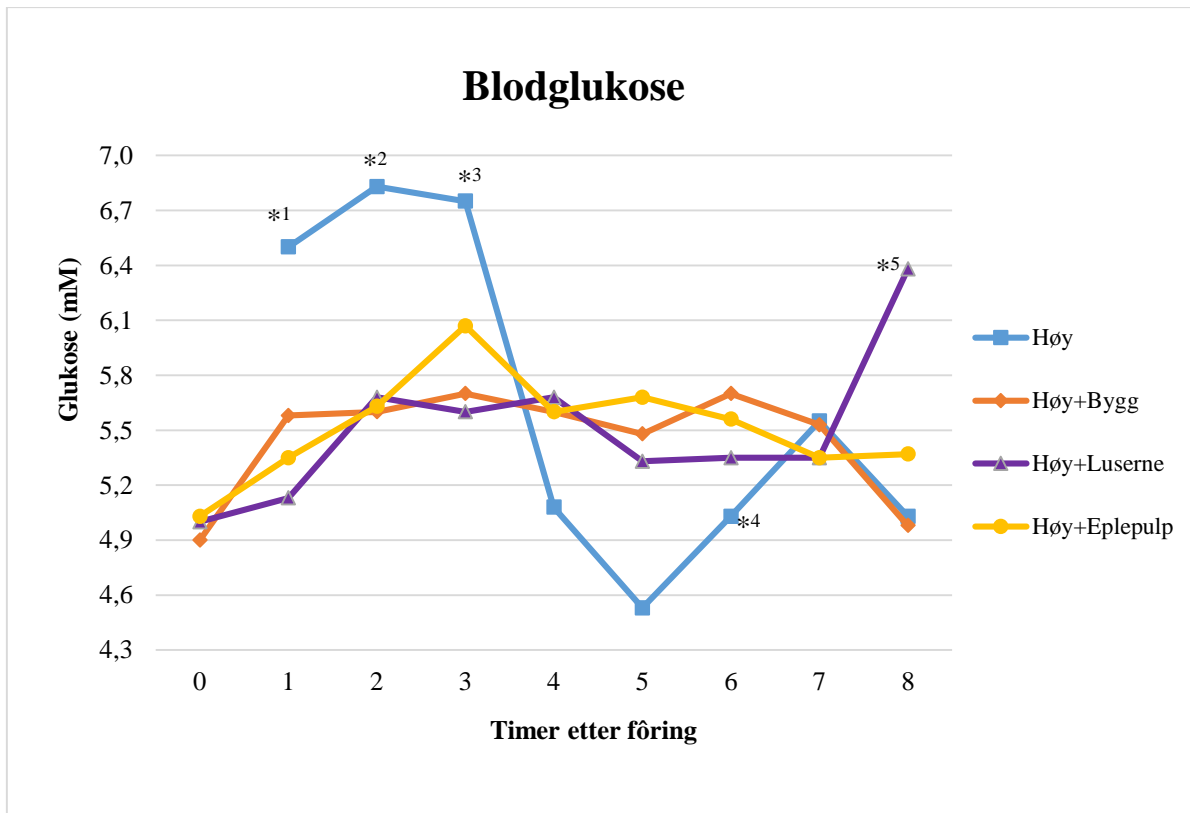
\*1.2 Byggasjonen er signifikant forskjellig fra de andre fôrrasjonene

**Figur 4:** Endring i serum insulin ved ulike rasjoner, inntil 8 timer etter fôring.

Høyrasjonen hadde størst påvirkning på blodglukose verdiene, det ble ikke tatt prøve for glukose før fôring i høyperioden (vedlegg 1). Påvirkningen var størst 1, 2 og 3 timer etter fôring for deretter å avta (figur 5). Blodglukose verdiene ved høyrasjonen når så sitt laveste 5 timer etter fôring. Rasjonene med bygg, luserne og eplepulp hadde relativt lik påvirkning på blodglukosen, hvor verdiene økte de første 3 timene etter fôring for så å avta (figur 5).

Høyrasjonens påvirkning på plasma glukoseverdiene var signifikant forskjellig ( $p<0,05$ ) fra de andre fôrrasjonene 1, 2 og 3 timer etter fôring (vedlegg 1). Det var ingen signifikante forskjeller, men en tendens ( $p=0,059$ ) til at eplepulprasjonen og byggasjonen var forskjellig fra høyrasjonen 5 timer etter fôring. Høyrasjonen var signifikant forskjellig ( $p=0,02$ ) fra byggasjonen og eplepulprasjonen 6 timer etter fôring. Lusernerasjonen var signifikant forskjellig ( $p=0,003$ ) fra de andre fôrrasjonene 8 timer etter fôring (figur 5). Det ble også

funnet signifikante forskjeller ( $p < 0,05$ ) mellom hestene de første 6 timene etter fôring og en tendens ( $p = 0,058$ ) til forskjell mellom hester 8 timer etter fôring (vedlegg 1).



\*1,2,3 Høyrasjonen er signifikant forskjellig fra de andre fôrrasjonene

\*4 Høyrasjonen er signifikant forskjellig fra byggrasjonen og eplepulprasjonen

\*5 Lusernerasjonen er signifikant forskjellig fra de andre fôrrasjonene

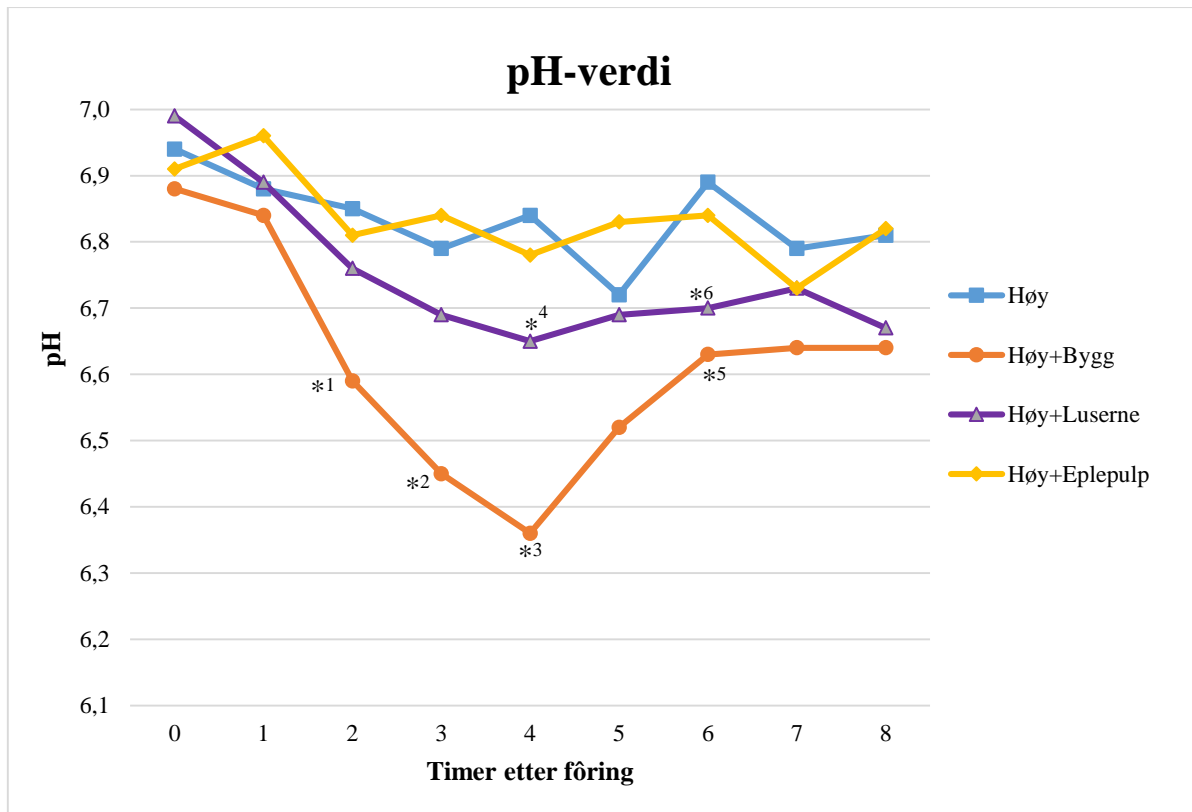
**Figur 5:** Endring i blodglukose ved ulike rasjoner, inntil 8 timer etter fôring.

#### 8.4 Fôrrasjonens påvirkning på pH-verdi og VFA-konsentrasjon i blindtarmen

I tarmvæsken tatt fra blindtarmen ble pH-verdien registrert før fôring og inntil 8 timer etter fôring (figur 6). Det ble registrert et pH-fall de 4 første timene etter fôring i blindtarmen når hestene ble gitt byggrasjonen. pH-verdien var på sitt laveste (6,38) 4 timer etter fôring ved byggrasjonen, pH-verdien stiger deretter for så å stabiliseres. Høyrasjonen og eplepulprasjonen påvirker pH-verdien i mindre grad en lusernerasjonen, men grafene er relativt stabil. Byggrasjonen var signifikant forskjellig ( $p < 0,05$ ) fra alle rasjonene ved 2, 3 og 4 timer etter fôring, samt at ved 6 timer etter fôring var byggrasjonen signifikant forskjellig fra høyrasjonen og eplepulprasjonen. Det var ingen signifikante forskjeller, men en tendens



( $p=0,07$ ) til at eplepulprasjonen var forskjellig fra byggrasjonen og lusernerasjonen 5 timer etter fôring. Lusernerasjonen var signifikant forskjellig ( $p<0,05$ ) fra høyrasjonen 6 timer etter fôring. Det ble ved 2 og 6 timer etter fôring funnet signifikante forskjeller ( $p=0,01$ ) mellom hester, samt at ved 7 timer etter fôring var det en tendens til forskjell mellom hester (vedlegg 2).



- \*1,2,3 Byggrasjonen er signifikant forskjellig fra de andre fôrrasjonene
- \*4 Lusernerasjonen er signifikant forskjellig fra de andre fôrrasjonene
- \*5 Byggrasjonen er signifikant forskjellig fra høyrasjonen og eplepulprasjonen
- \*6 Lusernerasjonen er signifikant forskjellig fra høyrasjonen

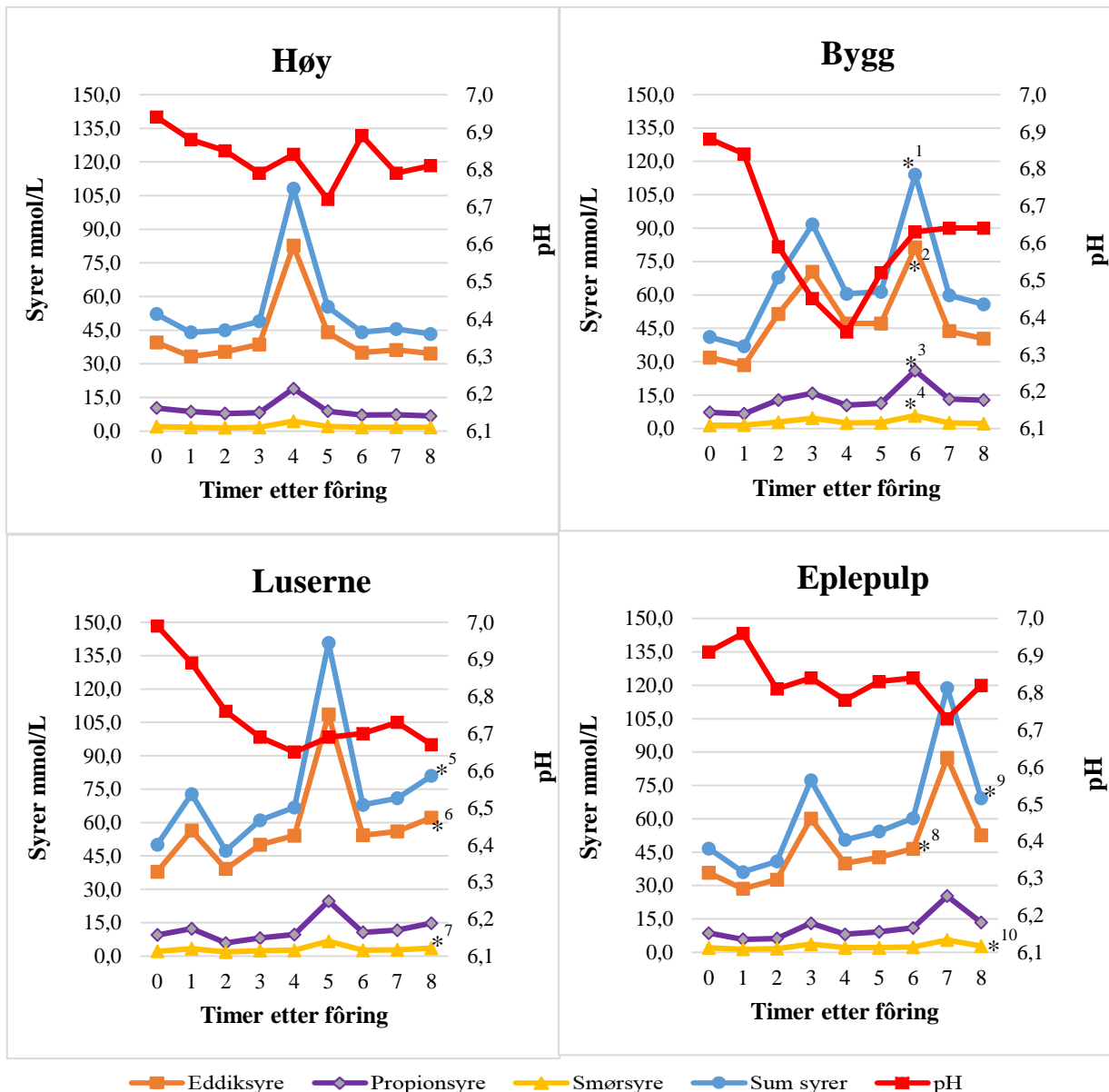
**Figur 6:** Endring i pH-verdi i blindtarmen ved ulike rasjoner, inntil 8 timer etter fôring.

Rasjonene påvirket VFA- konsentrasjonen i blindtarmen og var signifikant høyest for byggrasjonen ved 6 timer, lusernerasjonen ved 5 timer, høyrasjonen ved 4 timer og eplepulprasjonen 8 timer etter fôring (figur 7). Når fôret kommer ned i blindtarmen blir det en kraftig økning i VFA-konsentrasjonen. For alle rasjonene fordobles VFA-konsentrasjonen (figur 7). Fordelingen av VFA produsert var eddiksyre > propionsyre > smørtsyre. Alle rasjonene har stor eddiksyreproduksjon, men lusernerasjonen gir mer eddiksyre i mmol/L

(vedlegg 2). Høyrasjonen gir minst propionsyre i mmol/L, samt at de andre fôrrasjonene gir relativt lik propionsyreproduksjon (30 mmol/L) (vedlegg 4).

Forholdet mellom eddiksyre:propionsyre blir lavere hos alle fôrrasjonene. Hvor mye forholdet endrer seg varierer. Ved byggrasjonen er forholdet på sitt laveste (3:1) 6 timer etter fôring. For de andre rasjonene er forholdet mellom eddiksyre:propionsyre på sitt laveste henholdsvis 4 (høyrasjonen 4,4:1), 5 (lusernerasjonen 4,4:1) og 7 (eplepulprasjonen 3,5:1) timer etter fôring (vedlegg 2).

Det ble ikke funnet signifikante forskjeller, men en tendens ( $p=0,08$ ) til at byggrasjonen var forskjellig fra høyrasjonen og eplepulprasjonen 2 timer etter fôring. Byggrasjonen var signifikant forskjellig ( $p<0,05$ ) fra alle rasjonene i sum VFA-, propion- og smørsyrekonsentrasjon, samt at den var forskjellig fra ( $p<0,05$ ) høyrasjonen og eplepulprasjonen i eddiksyrekonsentrasjon 6 timer etter fôring (figur 7). Det ble ikke funnet signifikante forskjeller, men en tendens ( $p<0,10$ ) til at eplepulprasjonen var forskjellig fra rasjonene med høy og bygg i sum VFA, eddiksyre- og smørsyrekonsentrasjon, samt forskjellig fra høyrasjonen i propionsyrekonsentrasjon 7 timer etter fôring. Det var en tendens ( $p=0,06$ ) til at lusernerasjonen var forskjellig fra byggrasjonen i propionsyrekonsentrasjon 7 timer etter fôring. Rasjonene med luserne og eplepulp var signifikant forskjellig ( $p<0,05$ ) fra høyrasjonen i sum VFA-konsentrasjon 8 timer etter fôring. Lusernerasjonen var signifikant forskjellig ( $p<0,05$ ) fra rasjonene med høy og bygg i eddiksyre- og smørsyrekonsentrasjon 8 timer etter fôring. Det ble ikke funnet signifikante forskjeller, men en tendens ( $p=0,07$ ) til at lusernerasjonen og eplepulprasjonen var forskjellig fra høyrasjonen i propionsyrekonsentrasjon 8 timer etter fôring. Eplepulprasjonen var signifikant forskjellig ( $p=0,02$ ) fra høyrasjonen i smørsyrekonsentrasjon 8 timer etter fôring.



\*<sup>1,3,4</sup> Bygggrasjonen er signifikant forskjellig fra de andre fôrrasjonene  
 \*<sup>2</sup> Bygggrasjonen er signifikant forskjellig fra høyrasjonene og eplepulprasjonen  
 \*<sup>5</sup> Lusernerasjonen er signifikant forskjellig fra høyrasjonene  
 \*<sup>6,7</sup> Lusernerasjonen er signifikant forskjellig fra høyrasjonene og bygggrasjonen  
 \*<sup>8</sup> Eplepulprasjonen er signifikant forskjellig fra bygggrasjonen  
 \*<sup>9,10</sup> Eplepulprasjonen er signifikant forskjellig fra høyrasjonene

Figur 7: VFA-konsentrasjon og pH-verdi i blindtarmen ved ulike rasjoner, inntil 8 timer etter fôring.

## 9.0 Diskusjon

De siste årene har det vært et stort fokus på rasjonens effekt på hestens helse og prestasjon. Det er klare indikasjoner på at det er store fordeler med å gi mer fiber i forhold til sukker og stivelse i rasjonen til hest (Cubitt 2010; Kronfeld & Harris 2003). Målet i dette forsøket var å se på fordøyeligheten til ulike fôrråvarer i fôrrasjonen og hvordan rasjonene påvirker glukose og insulin i blodet og pH-verdien og VFA-konsentrasjonen i blindtarmen.

### 9.1 Rasjonssammensetting

Fôrråvarene i rasjonene ble valgt på det grunnlaget at man ønsket å måle forskjeller på stivelses- og fiberrike fôrråvarer, samt rasjonens påvirkning på pH-verdi og VFA-konsentrasjonen i blindtarmen og insulin og glukose i blodet. Forsøksmetoden gjorde det imidlertid vanskelig å måle forskjeller mellom rasjonene, da det fører med seg en del «cross over» effekter. Resultatene har derfor stor usikkerhet, da alle hestene ble gitt samme rasjon innad i perioden. Eventuelle forskjeller som skyldes periode kan derfor ikke korrigeres for i den statistiske modellen.

Rasjonene ble sammensatt for å dekke  $1,1 \times$  hestens vedlikeholdsbehov for energi. Det gjorde at grovfôrrasjonen (grunnfôret) ble satt til 8 kg og at forsøksfôret skulle dekke opp resten av energibehovet. Det gjør at i et differanseforsøk vil grunnfôret bringe med seg en større andel over i resultatet. Dette medfører utfordringer i å måle forsøksfôrets apparente fordøyelighet. Resultatene som viser til fordøyelighet og forskjeller mellom rasjonene er derfor belemret med stor usikkerhet.

Rasjonene med høy, luserne og eplepulp hadde høyest innhold av fiber, og inneholdte lite stivelse. Byggrasjonen ble valgt på grunnlag av stivelse og hadde som forventet høyest stivelsesinnhold. Hovedfokuset for dette forsøket var å måle forskjeller mellom stivelses- og fiberrike fôrråvarer, men det daglige behovet for protein ble tilfredsstilt i alle perioder.

## 9.2 Fordøyelighet

Apparent total fordøyelighet ble basert på fire dagers fullstendig oppsamling av gjødsel. Dette gir tilstrekkelig med tid for å oppnå stabile forhold og nøyaktige estimater av fordøyelighetskoeffisienter (Goachet et al. 2009). Analyse av rårevler uttrykker imidlertid ikke den totale mengden fiber, men den måler cellulose (ca. 50-80 %), hemicellulose (ca. 20 %) og lignin (10-50 %) (NMBU 2015). Dette er en gammel metode som ikke brukes så ofte, men på grunn av ustabile tall på NDF, ble rårevler brukt i den statistiske modellen.

Det er tidligere kjent at den apparente totale fordøyeligheten av stivelse er nær 100 % (Julliand et al. 2006). Stivelsesinnholdet i bygg var 471 g/kg tørrstoff og høyest apparent total fordøyelighet ble målt i bygg (tabell 3), sammenlignet med de andre fôrråvarene som inneholdte mer fiber. Det er tidligere vist at fiberråvarer har lavere apparent fordøyelighet enn stivelsesrike fôrråvarer (Drogoul et al. 2001). Varmebehandling av byggstivelsen påvirker fordøyeligheten i tynntarmen (Meyer et al. 1995), og fordøyeligheten er tidligere målt til å være mellom 71-75 % av tørrstoff (Brøkner et al. 2010; Rosenfeld & Austbø 2009a). Ved å anta at store deler av stivelsen (75 %) er enzymatisk fordøyd i tynntarm, vil fortsatt noe av stivelsen fermenteres i blindtarmen. pH-fallet (figur 6) viser at noe av stivelsen ble fermentert i blindtarmen ved bygggrasjonen (Austbø 2005).

Fordøyeligheten av tørrstoff i høy var lavest (53 %). Dette er i samsvar med trevlerinnholdet. Luserne og eplepulp hadde likt tørrstoffinnhold (tabell 1) og det ble heller ikke funnet signifikante forskjeller mellom fordøyeligheten av tørrstoff. Tørrstoffinnholdet i eplepulp er i samsvar med tidligere målinger (Brøkner et al. 2012d). Resultatene viser imidlertid at trevlerinnholdet i luserne og eplepulp er mer lettfordøyelig enn trevlerinnholdet i høy. Trevler i bygg hadde lavest fordøyelighet (tabell 3). Dette viser at det er lite fordøyelig, sammenlignet med de andre fôrrasjonene.

Fiberfordøyeligheten varierer mellom de ulike fôrråvarene, og var høyest for eplepulp. Plantens kjemiske innhold påvirkes av dens morfologiske utviklingsstadium (Harstad 2011; Ragnarsson & Lindberg 2008). Andelen strukturelle karbohydrater øker med plantens utviklingsstadium og fordøyeligheten reduseres. Ved bruk av fiberråvarer med høy

fordøyelighet i kraftfôrblandinger til hest kan stivelsesinnholdet reduseres, samtidig som energiinnholdet i kraftfôret opprettholdes (Brøkner et al. 2012d). Løselig fiber er lett fermenterbart i blind- og tykktarm hos hest, det viser at fiber i eplepulp og luserne kan erstatte noe av stivelsen i kraftfôrblandinger til hest (Brøkner et al. 2012d).

Fôrets passasjehastighet gjennom fordøyelsessystemet påvirker fordøyeligheten av fôrrasjonen. Lengre oppholdstid, assosieres med økt fordøyelighet (Warner 1981). Den økte fordøyeligheten skyldes at fôret materialet er under påvirkning av enzymer og tarmvæsker i en lengre periode ved økt passasjehastighet. Det kan ha påvirket fordøyeligheten av rårevler i luserne og eplepulp.

Det er tidligere vist at ved å øke mengden kraftfôr i fôrrasjonen øker fordøyeligheten av tørrstoff, organisk materiale og råprotein, samt at fordøyeligheten av rårevler og NDF reduseres (Miraglia et al. 2006). Ved bruk av kraftfôr med høyt fiberinnhold øker den gjennomsnittlige fordøyeligheten (Miraglia et al. 2006). Det kan forklare noe av grunnen til at det i dette forsøket ble funnet høyere fordøyelighet for luserne og eplepulp enn for høy.

De estimerte fordøyelighetskoeffisientene har stor usikkerhet og forsøksfôrets «sanne» apparent total fordøyelighet er ikke kjent. Videre kan man si at råvarene vil kunne fungere bra sammen i en kraftfôrblending til hest og tilføre hesten tilstrekkelig med energi, samtidig som man hindrer utvikling av fôringsrelaterte helseproblemer.

### 9.3 Fôrrasjonens påvirkning på serum insulin og blodglukose

Serum insulin varierte mellom 1,6 til 20,2  $\mu\text{U/ml}$  ved fôrrasjonene i forsøket. Rasjonene med høy, luserne og eplepulp hadde som forventet mindre påvirkning på serum insulin. Rasjonene med luserne og eplepulp kunne sammenlignes med hester gitt bare en høyrasjon (Borgia et al. 2011). Det er tidligere målt påvirkning på serum insulin ved å gi en byggrasjon. Det ble da målt insulinverdier som varierte mellom 19,1-29,5  $\mu\text{U/ml}$ , samt at insulinverdien nådde sitt høyeste 1-2 timer etter fôring (Vervuert et al. 2007). I dette forsøket ble høyeste serum insulin målt til 20,2  $\mu\text{U/ml}$  ved byggrasjonen og ble målt 2 timer etter fôring. Insulinverdiene varierte

stort mellom hestene, da det var spesielt en hest som skilte seg ut (dobbelt så høye verdier som de andre). Insulinverdiene viser imidlertid at insulinresponsen ligger langt under de tidligere målte insulinverdiene (Vervuert et al. 2007). Hvor byggrasjonen inneholdt 1,2-1,5 g stivelse/kg kroppsvekt (Vervuert et al. 2007). Det kan forklares ved at forholdet mellom grovfôr:kraftfôr var høyere i dette forsøket enn tidligere. Det gir en jevnere glukosekonsentrasjon som reduserer behovet for å regulere glukoseverdiene i blodet.

Insulinets evne til å regulere glukosekonsentrasjonen i blodet er essensiell for å opprettholde en homeostase av glukose i blodet (Schmidt & Hickey 2009). Det forklarer hvorfor insulinverdiene når sitt høyeste 1-3 timer etter fôring. Det er en respons til økt glukosekonsentrasjon i blodet. Insulinverdiene ved byggrasjonen førte til signifikante forskjeller fra alle de andre fôrrasjonene 1 og 2 timer etter fôring. Det skyldes at stivelsesinnholdet i byggrasjonen (tabell 1) er høyere enn i de andre fôrrasjonene, samt at stivelsen som fordøyes i tynntarmen absorberes over tarmveggen og tas raskt opp i blodet. Dermed øker insulinverdien og glukoseverdien senkes tilbake til normale verdier i blodet.

Blodglukose verdien varierte mellom 3,4 og 8,4 mM ved fôrrasjonene i dette forsøket. Verdiene er noe utenfor de verdiene som viser til normale glukoseverdier i blodet (3,44 til 7,44 mM) (Hollis et al. 2007; Lumsden et al. 1980). En middelvei av blodglukose verdiene ligger imidlertid innenfor de gitte normalverdiene. De glukoseverdiene som ligger utenfor normalverdiene skyldes den ene hesten i forsøket, og verdiene ligger jevnt over de andre. Det førte til signifikante forskjeller mellom hester i 6 timer etter fôring, samt en tendens 8 timer etter fôring. Det antas at hesten kan være insulinresistent.

Høyeste blodglukose verdi målt i de ulike rasjonene varierte, høyrasjonen (6,8 mM), byggrasjonen (5,7 mM), lusernerasjonen (6,4 mM) og eplepulprasjonen (6,1 mM). Det ble målt høyest blodglukose verdier i høyrasjonen de første 3 timene etter fôring (figur 5). Leverglykogen benyttes for å opprettholde en normal glukosekonsentrasjon i blodet i perioder med lite absorpsjon av glukose fra tarmen. Det antas at hestene før morgenfôringen ved høyrasjonen har lite glukose i blodet og må derfor kompensere for lav glukosekonsentrasjon og pumper derfor glukose ut i blodet (Mathews et al. 2013; Sjaastad et al. 2010). Det førte til

signifikante forskjeller mellom høyrasjonene og de andre fôrrasjonene frem til 3 timer etter fôring. Glukoseverdien ved 2 til 3 timer etter fôring er effekt av høyrasjonen og hesten får økt glukosekonsentrasjon i blodet. For å redusere glukosekonsentrasjonen økte insulinverdiene og dermed synker glukosekonsentrasjonen raskt og når laveste målte verdi (4,5 mM) ved 5 timer etter fôring (figur 5). Det ble ikke funnet signifikante forskjeller, men en tendens til at høyrasjonen var forskjellig fra byggrasjonen og eplepulprasjonen ved 5 timer etter fôring. Det skyldes store forskjeller mellom hester. Blodglukose verdiene målt ved byggrasjonen var tilnærmet lik de verdiene som er målt tidligere ved en byggrasjon, samt at glukoseverdiene når sitt høyeste 1-2 timer etter fôring (Vervuert et al. 2007). Høyeste glukoseverdi ble observert 2 og 4 timer etter fôring, som skyldes absorpsjon av stivelse fra fordøyelsen i tynntarmen. Byggrasjonen fikk en økning 6 timer etter fôring og lusernerasjonene 8 timer etter fôring, det skyldes fermentering av fiber i blindtarmen. Dette viser til normale responser (1,5-3,5 timer etter fôring) som tidligere er målt (Gunkel 2011; Williams et al. 2001).

Det er tidligere målt store variasjoner i glukosekonsentrasjon når det er gitt ikke strukturelle karbohydrater (Brøkner et al. 2012a; Brøkner et al. 2012b; Vervuert et al. 2007; Vervuert et al. 2009b). Hos fullblodshester er det målt 7,21 mM ved en fôrrasjon som besto av strukturert fôr med melasse (Williams et al. 2001). Faktorer som påvirker variasjoner i glukosekonsentrasjonen er rasjonens størrelse, individuelle variasjoner, insulinsensitivitet og rase (Gunkel 2011). Svingningene i glukosekonsentrasjonen er en effektiv nedregulering av glukosen i blodet som skyldes insulinet (Schmidt & Hickey 2009). En fôrrasjon som ikke gir en jevn energitilførsel vil føre til store svingninger i glukosekonsentrasjonen i blodet, som ved høyrasjonen i dette forsøket. Rasjonene med luserne og eplepulp hadde en relativ stabil glukosekonsentrasjon som knyttes til fermentering av fiber og produksjon av propionsyre. Lusernerasjonene førte til signifikante forskjeller fra alle de andre fôrråvarene i glukosekonsentrasjon 8 timer etter fôring. Den økte glukosekonsentrasjonen 8 timer etter fôring ved lusernerasjonen kan forklares ved at propionsyren blir brutt ned via glukoneogenese og det produseres glukose. Dette er i samsvar med tidligere funn gjort på hest (Hallebeek & Beynen 2003).

Det ble ikke målt signifikante forskjeller mellom bygg-, luserne- og eplepulprasjonen i glukosekonsentrasjon, selv om bygg inneholdt 471 g stivelse/kg tørrstoff (tabell 1). Det viser



at rasjonssammensetningen gjør at andelen forsøksfôr (1,25 kg bygg) er for liten til at dette forårsaker store svingninger i glukosekonsentrasjon. Det er tidligere anbefalt at stivelsesinnholdet i fôrrasjonen ikke burde overstige 1,1 g/kg kroppsvekt (Vervuert et al. 2009a) og <2 g/kg kroppsvekt (Austbø 2005; Meyer et al. 1995). I dette forsøket ble det gitt 1,4 g stivelse/kg kroppsvekt. Dermed ligger stivelsesinnholdet i byggrasjonen over de anbefalingene gitt i (Vervuert et al. 2009a). Stivelsesinnholdet i byggrasjonen i dette forsøket ga ikke store svingninger i glukosekonsentrasjonen og vil dermed ikke kunne føre til fôringsrelaterte helseproblemer. Dette kan ytterligere begrunnes med å vise til laveste pH-verdi i blindtarmen målt ved byggrasjonen (6,36). Det er ved tidligere forsøk med 2 g stivelse/kg kroppsvekt målt pH <6,1 i blindtarmen (Austbø 2005). Et stivelsesinnhold under <1,4 g/kg kroppsvekt er derfor en akseptabel mengde i en fôrrasjon.

Konsumert fett kan redusere passasjehastigheten i tarmen og redusere påvirkningen på glukosekonsentrasjonen (Frape 2003). Fettets påvirkning er imidlertid avhengig av mengden fett i rasjonen, selv om det er vist at svingninger i glukosekonsentrasjonen kan reduseres ved økt bruk av fett (Williams et al. 2001). I dette forsøket hadde eplepulp høyest fettinnhold (tabell 1). Fettinnholdet i rasjonen kan også ha en innvirkning på glukosekonsentrasjonen, men resultatene fra dette forsøket tyder på at fettinnholdet i eplepulp er for lavt til å kunne redusere påvirkningen på glukosekonsentrasjonen. Det er imidlertid ingen forskning som sier noe om hvor mye fett eller type fett som har påvirkning på hestens glukosekonsentrasjon.

#### 9.4 Fôrrasjonens påvirkning på pH-verdi og VFA-konsentrasjon i blindtarmen

Rasjonene hadde en signifikant effekt på pH-verdien i blindtarmen 2, 4 og 6 timer etter fôring. Det er godt kjent at forholdet mellom grovfôr og kraftfôr endrer fermenteringsmønsteret i blind- og tykktarmen hos hesten (Julliand et al. 2001a; Willard et al. 1977). Byggrasjonen hadde som forventet størst effekt på pH-verdien i blindtarmen og førte til signifikant forskjellige verdier fra de andre fôrrasjonene 2, 3 og 4 timer etter fôring. Dette skyldes fermentering av stivelse i blindtarmen som følge av at noe av stivelsen har unndratt seg fra den enzymatiske fordøyelsen i tynntarm (Austbø 2005; McLean et al. 2000). Det ble imidlertid ikke målt så lave pH-verdier som tidligere (Austbø 2005; Hansen et al. 2013). Det viser at en byggrasjon som består av 1,4 g stivelse/kg kroppsvekt, i motsetning til 2 g

stivelse/kg kroppsvekt (Austbø 2005; Hansen et al. 2013) reduserer fall i pH i blindtarmen hos hest. I tidligere forsøk har fermentering av fiberinnholdet i rasjonen påvirket fermenteringen av stivelse og redusert pH-endringen i blindtarmen (Brøkner et al. 2010; de Fombelle et al. 2003). Resultatene i dette forsøket viser at fiberinnholdet i byggrasjonen kan ha påvirket fermentering av stivelsen og dens påvirkning på pH-verdien i blindtarmen (figur 6).

Det antas at noe av grunnen til at pH-verdien synker raskest og lavest i rasjonen med bygg er at laktatproduksjonen i blindtarmen er størst ved byggrasjonen. Laktatproduksjonen i blindtarmen ble imidlertid ikke målt, men laktat er en sterk syre som senker pH-verdien raskt (Medina et al. 2002; Wolter et al. 1980). pH-fallet i blindtarmen ved byggrasjonen er i samsvar med endringen i pH og VFA-konsentrasjonen (figur 7), det gir ytterlig tegn på at det er fermentert en del stivelse i blindtarmen (Al Jassim et al. 2005; Daly et al. 2012). Det er vist at surt miljø i blindtarmen kan føre til forfangenhet hos hest (Katz & Bailey 2012) og et større pH-fall i blindtarmen er derfor ikke ønskelig. Resultatene viser at for å redusere pH-fallet i blindtarmen må mengden stivelse i fôrrasjonen reduseres (figur 6), som er i samsvar med tidligere funn (Jensen et al. 2012). For å redusere pH-fallet er det tidligere prøvd å endre rekkefølgen på kraftfôr og grovfôret, men det ble ikke funnet noen effekt på pH-verdien i blindtarmen (Jensen et al. 2012). Tiden det tok før pH-verdien nådde sitt laveste var signifikant med rasjonene, som kan forklares av fôrrasjonenes innhold av ikke strukturelle karbohydrater.

Det ble funnet signifikante forskjeller mellom fôrrasjonene i endring av pH ved ulike tidspunkt etter fôring (figur 6). Dette skyldes at når fermenteringsaktiviteten av fiber og stivelse i blindtarmen er på sitt høyeste reduseres pH-verdien ved de ulike fôrrasjonene. Det viser at passasjehastigheten til kraftfôret er kortere og fermenteres raskere i blindtarmen, enn grovfôret (Julliand et al. 2006; Udén et al. 1982). Det er tidligere vist at det er forskjell på passasjehastighet i tarmen når hestene gis bare en grovfôrrasjon sammenlignet med en rasjon hvor det gis kraftfôr og grovfôr. Dette er forklart ut fra tørrstoffinntaket (Pagan et al. 1998). Fiberinnholdet i fôrrasjonen kan imidlertid være en bedre forklaring på forskjeller i passasjehastighet i tarmen (Jensen et al. 2014), som er i samsvar med endringen i pH og VFA-konsentrasjonen i blindtarmen (figur 7). Resultatene i dette forsøket viser signifikante forskjeller i sum VFA-, eddiksyre-, propionsyre- og smørsyre-konsentrasjon mellom

fôrrasjonene. Det viser at tiden det tar før grovfôret når blindtarmen er forskjellig for alle fôrrasjonene (vedlegg 2). VFA-konsentrasjonen indikerer at ved å gi løselig fiber og stivelse i kraftfôrrasjonen fremmes økt VFA-konsentrasjon i blindtarmen. Det er i samsvar med tidligere forskning (McLean et al. 2000).

Det ble ved 2 og 6 timer etter fôring observert signifikante forskjeller mellom hestene, samt en tendens 7 timer etter fôring i hvordan pH-verdien endret seg i blindtarmen (vedlegg 2). Hva som er grunnen til at pH-verdien senkes forskjellig er ikke klarlagt. Man antar at det kan skyldes hestens evne til å bufre pH endringene i blindtarmen, eller skyldes variert tarmflora sammensetning i blindtarmen (Austbø 2005).

Smørsyre metaboliseres til  $\beta$ -hydroxybyturat, som er et keton, som følge av fermentering av fiber (Zeyner 2008). Resultatene i dette forsøket viser imidlertid at byggrasjonen førte til signifikant forskjeller fra alle de andre fôrrasjonene i smørsyrekonsentrasjon 6 timer etter fôring. Byggrasjonen er rasjonen som inneholdte minst fiber, men forskjellen kan forklares at ved 6 timer etter fôring er det grovfôret som kommer inn i blindtarmen og gir en økt smørsyrekonsentrasjon. Det gjenspeiler seg ved 5 og 7 timer etter fôring hvor smørsyrekonsentrasjonen var høyest for lusernerasjonen og eplepulprasjonen. Det er tidligere målt at løselig fiber har stor effekt på  $\beta$ -hydroxybyturat konsentrasjonen (Brøkner et al. 2012b) og ved å øke mengden løselig fiber i fôrrasjonen øker VFA-konsentrasjonen. Omsetting av VFA er vist å påvirke hestens glukosekonsentrasjon i liten grad, og vil derfor hindre utvikling av fôringsrelaterte sykdommer (Brøkner et al. 2012b), som er i samsvar med resultatene i denne oppgaven.

Forholdet mellom eddiksyre:propionsyre ble redusert i alle rasjonene, men graden av endring i forholdet mellom eddiksyre:propionsyre varierte i størrelse og timer etter fôring. Videre var forholdet lavest ved byggrasjonen 6 timer etter fôring (vedlegg 2). Det viser at den cellulolytiske aktiviteten avtar og dermed reduserer fermenteringen av fiber (Julliand et al. 2001a; Medina et al. 2002). I dette forsøket var det imidlertid størst påvirkning på forholdet mellom eddiksyre:propionsyre fra 5, 6, 7 og 8 timer etter fôring ved bygg-, luserne- og eplepulprasjonen (vedlegg 2). Det viser at forholdet mellom grovfôr og kraftfôr i fôrrasjonen i

dette forsøket gjør at det blir små endringer i forholdet mellom eddiksyre:propionsyre i blindtarmen hos hest, som er i samsvar med tidligere funn hvor forholdet senkes ved økt mengde kraftfôr i fôrrasjonen (Julliand et al. 2001a).

Fermenteringen av fiber i blind- og tykktarm og absorpsjon av VFA gir en stabil energitilførsel som ikke påvirker glukose- og insulinverdiene i blodet, i motsetning til fôring med ikke strukturelle karbohydrater (Brøkner et al. 2012a). Slik kan man unngå utvikling av fôringsrelaterte sykdommer som assosieres med stivelsesrike fôrrasjoner (Kronfeld et al. 2004). Rasjonssammensettingen reflekteres gjennom den metabolske responsen, endring i pH-verdi og VFA-konsentrasjonen i blindtarmen. Tidligere er det vist at rasjoner basert på bygg gir en høyere konsentrasjon av glukose og insulin i blodet, som en følge av fordøyelse av stivelse (Brøkner et al. 2012a; Brøkner et al. 2012b; Vervuert et al. 2007; Williams et al. 2001). Mengden stivelse gitt i byggrasjonen (1,4 g/kg kroppsvekt) hadde imidlertid mindre effekt på blodglukose verdiene, enn høyrasjonen. Dette viser en positiv virkning på metabolismen da svingningene var mindre i byggrasjonen enn ved høyrasjonen. Mengden stivelse gitt i dette forsøket er en akseptabel mengde i fôrrasjonen til hest og vil ikke kunne føre til fôringsrelaterte helseproblemer, som forfangenhet (Katz & Bailey 2012). Ved praktisk fôring anbefales det å gi <1,4 g stivelse/kg kroppsvekt og dele kraftfôrrasjonen i to. Det vil senke rasjonens effekt på pH og svingningene i glukosekonsentrasjon vil da reduseres, samt at hesten vil kunne nå normale glukoseverdier raskere etter fôring. Det er derimot hestens energibehov som avgjør rasjonens størrelse og hvordan den bør fordeles i løpet av et døgn.

## 10.0 Fremtidig arbeid

Fôrrasjonens påvirkning på insulin og glukose, samt gjæringsforløpet i blindtarmen er mer komplisert enn det som er forklart i denne oppgaven. Det viser at bruk av ulike fôrråvarer i kraftfôrblandinger og dens innvirkning på hestens fordøyelse er kompleks. Kunnskap om enkelte fôrråvarer er nødvendig i utvikling av nye kraftfôrblandinger. Ved å benytte de blindtarmsfistulerte hestens som tilhører Norges miljø- og biovitenskapelige universitet har man en gylden mulighet til å forske videre på ulike fôrråvarer i kraftfôrblandinger til hest.

Ved å utvikle kraftfôrblandinger som hindrer utvikling av fôringsrelaterte sykdommer ivaretar man hestens helse.

## 11.0 Konklusjon

Innledningsvis spørres det om rasjonens innhold av stivelse og fiber påvirker glukose og insulin, samt gjæringsforløpet i blindtarmen hos hest i timene etter fôring. Det ble i dette forsøket vist at høyrasjonen som inneholdte mindre stivelse enn byggrasjonen, var rasjonen med de største svingningene i blodglukose. Det skyldes at hestene kompenserer for lav glukosekonsentrasjon ved å bryte ned leverglykogen. Man ønsker at fôrrasjonen skal opprettholde en stabil glukosekonsentrasjon i blodet slik at man kan hindre utvikling av fôringsrelaterte helseproblemer. Når man skal produsere nye kraftfôrblandinger og ved anbefalinger av fôrrasjoner til hest, må rasjonens påvirkning på glukoseverdiene i blodet tas i betraktning. Ved å ta høyde for hestens fordøyelsesfysiologi er en jevn tilførsel av energi å foretrekke. Det vil hindre store svingninger i insulin og glukose i blodet. Forsøket viser at en fôrrasjon kan inneholde store mengder fiberrikeråvarer og 1,4 g stivelse/kg kroppsvekt uten at det gir store påvirkninger på glukosekonsentrasjonen. Det ble i dette forsøket ikke registrert store forskjeller mellom rasjonene på gjæringsforløpet i blindtarmen hos hest i timene etter fôring. Forskjellene i gjæringsforløpet skyldes i all hovedsak passasjehastigheten i tarmen.

Endring i fôringsrutiner, fôrtyper og fôr kvalitet påvirker hestens følsomme fordøyelseskanal. Sportshest har høyt energibehov som ofte tilfredsstilles gjennom stivelsesrike kraftfôrrasjoner. Det er fra tidligere godt kjent at 2 g stivelse per kg kroppsvekt gir et tydelig fall i pH-verdien i blindtarmen når det ble gitt bygg i rasjonen. Det ble i dette forsøket gitt 1,4 g stivelse per kg kroppsvekt og man registrerte et tydelig fall i pH-verdien i blindtarmen, men det ble ikke målt så lave verdier som tidligere (Austbø 2005; Hansen et al. 2013). Det viser viktigheten av å kjenne effekten på pH-verdien i blindtarmen av ulike fôrråvarer i kraftfôr til hest og mengden som gis. Det er med på å gi et bedre estimat på hvor mye kraftfôr en fôrrasjon bør bestå av til hest, for å unngå fôringsrelaterte helseproblemer som forgangenhet, kolikk, krysslammelse, magesår, insulinresistens og ECD.

Energitilførselen i rasjonen bør anbefales ut fra produksjon, livstilstand, arbeidskrav, aktivitetsnivå og størrelse. For høyt energiinntak kan føre til fôringsrelaterte helseproblemer. Hestens energibalanse er derfor sentral ved fôringsanbefalinger. Fôrrasjoner med høy fordøyelighet og som ikke påvirker pH-verdien i blindtarmen, samt insulin og glukosekonsentrasjonen i større grad er å foretrekke. Fordøyeligheten av luserne og eplepulp viser at råvarene har bedre fordøyelighet enn høy, men lavere enn bygg. Resultatene i dette forsøket viser også at fôrrasjoner med luserne og eplepulp ikke påvirker pH-verdien i blindtarmen, samt insulin- og glukoseverdiene i blodet i samme grad som byggrasjonen. Kraftfôrblandinger til hest kan derfor bestå av en blanding av fôrråvarene som utfyller hverandre og tilfredsstillende behovet for energi, samtidig som man hindrer utvikling av fôringsrelaterte helseproblemer.

## Referanseliste

- Agro Food Solution GMBH. (2014). *Herbavital depectinised apple pomace*. Tilgjengelig fra: <http://www.agro-food-solution.de/en/produkte/herbavital-entpektinisierte-apfeltrester/index.htm> (lest 15.05.15).
- Al Jassim, R. A., Scott, P. T., Trebbin, A. L., Trott, D. & Pollitt, C. C. (2005). The genetic diversity of lactic acid producing bacteria in the equine gastrointestinal tract. *FEMS microbiology letters*, 248 (1): 75-81.
- Al Jassim, R. A. M. & Andrews, F. M. (2009). The Bacterial Community of the Horse Gastrointestinal Tract and Its Relation to Fermentative Acidosis, Laminitis, Colic, and Stomach Ulcers. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 25 (2): 199-215.
- Aleman, M. (2008). A review of equine muscle disorders. *Neuromuscular Disorders*, 18 (4): 277-287.
- Andrews, F. M., Buchanan, B. R., Smith, S. H., Elliott, S. B. & Saxton, A. M. (2006). In vitro effects of hydrochloric acid and various concentrations of acetic, propionic, butyric, or valeric acids on bioelectric properties of equine gastric squamous mucosa. *American journal of veterinary research*, 67 (11): 1873-1882.
- Argenzio, R. (1975). Functions of the equine large intestine and their interrelationship in disease. *The Cornell Veterinarian*, 65 (3): 303.
- Argenzio, R. A., Southworth, M. & Stevens, C. E. (1974). Sites of organic acid production and absorption in the equine gastrointestinal tract. *American Journal of Physiology-- Legacy Content*, 226 (5): 1043-1050.
- Austbø, D. (2005). pH-verdien i blindtarmen hos hest, effekten av rasjon og tid. *Husdyrforsøksmøtet*, Sports- og familiedyr: 1-3.
- Austbø, D. & Volden, H. (2006). Influence of passage model and caecal cannulation on estimated passage kinetics of roughage and concentrate in the gastrointestinal tract of horses. *Livestock Science*, 100 (1): 33-43.
- Bailey, S. R., Marr, C. M. & Elliott, J. (2004). Current research and theories on the pathogenesis of acute laminitis in the horse. *The Veterinary Journal*, 167 (2): 129-142.
- Bessesen, D. H. (2001). The role of carbohydrates in insulin resistance. *The Journal of nutrition*, 131 (10): 2782-2786.
- Borgia, L., Valberg, S., McCue, M., Watts, K. & Pagan, J. (2011). Glycaemic and insulinaemic responses to feeding hay with different non-structural carbohydrate

- content in control and polysaccharide storage myopathy-affected horses. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 95 (6): 798-807.
- Brøkner, C., Austbø, D., Næsset, J. A., Bach Knudsen, K. E. & Tauson, A. H. (2010). The effect of sugar beet pulp on caecal pH in Norwegian cold-blooded trotter horses. In: Ellis AD, Longland AC, Coenen M, Miraglia N, editors. The impact of nutrition on the health and welfare of horses. EAAP Publication No. 128. Wageningen (The Netherlands): Wageningen Academic Publishers.: 210-212.
- Brøkner, C., Austbø, D., Næsset, J. A., Blache, D., Knudsen, K. E. B. & Tauson, A. H. (2012a). *Blood plasma metabolites, metabolic hormones, caecal and fecal short chain fatty acid concentration in horses fed different fiber diets*. Phd: University of Copenhagen, Faculty of health and medical sciences. 31 s.
- Brøkner, C., Austbø, D., Næsset, J. A., Knudsen, K. E. B. & Tauson, A. H. (2012b). Blood glucose, NEFA, lactate, urea,  $\beta$ -hydroxybutyrate and insulin in Norwegian trotter horses fed different diets. *Forages and grazing in horse nutrition* 132: 335-339.
- Brøkner, C., Austbø, D., Næsset, J. A., Knudsen, K. E. B. & Tauson, A. H. (2012c). Equine pre-caecal and total tract digestibility of individual carbohydrate fractions and their effect on caecal pH response. *Archives of Animal Nutrition*, 66 (6): 490-506.
- Brøkner, C., Knudsen, K. E. B., Karaman, I., Eybye, K. L. & Tauson, A. H. (2012d). Chemical and physicochemical characterisation of various horse feed ingredients. *Animal Feed Science and Technology*, 177 (1-2): 86-97.
- Buchanan, B. R. & Andrews, F. M. (2003). Treatment and prevention of equine gastric ulcer syndrome. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 19 (3): 575-597.
- Christie, K. (2015). *Equine Cushing's Disease*. Tilgjengelig fra: [citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.113.5383&rep=rep1&type=pdf](http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.113.5383&rep=rep1&type=pdf) (lest 01.03.15).
- Coenen, M. (2013). Protein ingestion and utilisation in performance horses related to muscle adaptation for conditioning and regeneration. In *Applied Equine Nutrition and Training: Equine Nutrition and Training Conference (Enutraco) 2013*: 61.
- Cubitt, T. (2010). *Why is fibre so important to horses?* Hygain. Tilgjengelig fra: <http://www.hygain.com.au/fibre-important-horses/> (lest 22.04.15).
- Daly, K., Stewart, C. S., Flint, H. J. & Shirazi-Beechey, S. P. (2001). Bacterial diversity within the equine large intestine as revealed by molecular analysis of cloned 16S rRNA genes. *FEMS microbiology ecology*, 38 (2-3): 141-151.



- Daly, K. & Shirazi-Beechey, S. P. (2003). Design and evaluation of group-specific oligonucleotide probes for quantitative analysis of intestinal ecosystems: their application to assessment of equine colonic microflora. *FEMS Microbiology ecology*, 44 (2): 243-252.
- Daly, K., Proudman, C. J., Duncan, S. H., Flint, H. J., Dyer, J. & Shirazi-Beechey, S. P. (2012). Alterations in microbiota and fermentation products in equine large intestine in response to dietary variation and intestinal disease. *British Journal of Nutrition*, 107 (07): 989-995.
- de Fombelle, A., Varloud, M., Goachet, A. G., Jacotot, E., Philippeau, C., Drogoul, C. & Julliand, V. (2003). Characterization of the microbial and biochemical profile of the different segments of the digestive tract in horses given two distinct diets. *Animal Science*, 77: 293-304.
- Dey, P. M. & Harborne, J. B. (1997). *Plant biochemistry*. San Diego, CA: Academic Press.
- Drogoul, C., De Fombelle, A. & Julliand, V. (2001). Feeding and microbial disorders in horses: 2: Effect of three hay:grain ratios on digesta passage rate and digestibility in ponies. *Journal of Equine Veterinary Science*, 21 (10): 487-491.
- Dyer, J., Merediz, E., Salmon, K. S. H., Proudman, C. J., Edwards, G. B. & Shirazi-Beechey, S. P. (2002). Molecular characterisation of carbohydrate digestion and absorption in equine small intestine. *Equine veterinary journal*, 34 (4): 349-358.
- Ellis, A. D. & Hill, J. (2005). *Nutritional physiology of the horse*. Nottingham: Nottingham University Press.
- Felleskjøpet. (2014). *Champion Luserne Ω-3*. Tilgjengelig fra: [http://www.felleskjopet.no/landbruk/Documents/Interne/Kraftfor\\_Plantekultur/Faginformasjon\\_kraftfor\\_og\\_tilskuddsfor/Champion/Luserne%20faktaark.pdf](http://www.felleskjopet.no/landbruk/Documents/Interne/Kraftfor_Plantekultur/Faginformasjon_kraftfor_og_tilskuddsfor/Champion/Luserne%20faktaark.pdf) (lest 10.05.15).
- Ford, E. J. H. & Simmons, H. A. (1985). Gluconeogenesis from cecal propionate in the horse. *British Journal of Nutrition*, 53 (1): 55-60.
- Frank, N., Geor, R. J., Bailey, S. R., Durham, A. E. & Johnson, P. J. (2010). Equine Metabolic Syndrome. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 24 (3): 467-475.
- Frape, D. (2003). *Equine nutrition and feeding*. 3 utg. Oxford, UK.: Blackwell Publishing. 498 s.
- Garcia, M. & Beech, J. (1986). Equine intravenous glucose tolerance test: glucose and insulin responses of healthy horses fed grain or hay and of horses with pituitary adenoma. *American journal of veterinary research*, 47 (3): 570-572.

- Garner, H., Hutcheson, D., Coffman, J., Hahn, A. & Salem, C. (1977). Lactic acidosis: a factor associated with equine laminitis. *Journal of Animal Science*, 45 (5): 1037-1041.
- Geor, R. J. (2009). Pasture-Associated Laminitis. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 25 (1): 39-50.
- Geor, R. J., Harris, P., Coenen, M. & Geor, R. J. (2013). *Equine applied and clinical nutrition: health, welfare and performance*. 1 utg. Edinburgh: Saunders Elsevier. 679 s.
- Gibbs, P. G., Potter, G. D., Schelling, G. T., Kreider, J. L. & Boyd, C. L. (1988). Digestion of hay protein in different segments of the equine digestive tract. *Journal of Animal Science*, 66 (2): 400-406.
- Glade, M. J. (1983). Nitrogen partitioning along the equine digestive tract. *Journal of animal science*, 57 (4): 943-953.
- Goachet, A. G., Philippeau, C., Varloud, M. & Julliand, V. (2009). Adaptations to standard approaches for measuring total tract apparent digestibility and gastro-intestinal retention time in horses in training. *Animal feed science and technology*, 152 (1): 141-151.
- Golden leaf enterprises ltd. (2014). *Apple Pomace Pellet*. . Tilgjengelig fra: [http://feedpellet.trustpass.alibaba.com/product/216384641-103268239/Apple\\_Pomace\\_Pellet.html](http://feedpellet.trustpass.alibaba.com/product/216384641-103268239/Apple_Pomace_Pellet.html) (lest 10.05.15).
- Gunkel, C. D. (2011). *Glycemic responses to carbohydrate sources in the horse*. Manhattan, Kansas: Kansas State University, Department of Animal Sciences and Industry. 124 s.
- Hallebeek, J. M. & Beynen, A. C. (2003). Influence of dietary beetpulp on the plasma level of triacylglycerols in horses. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 87 (5-6): 181-187.
- Han, X. Z. & Hamaker, B. R. (2001). Amylopectin fine structure and rice starch paste breakdown. *Journal of Cereal Science*, 34 (3): 279-284.
- Hansen, N. C. K., Mydland, L. T., Næsset, J. A., Austbø, D., Mage, I. & Rudi, K. (2013). Molecular diversity of the equine caecal microbiota and its correlation to postprandial fermentation metabolites: A preliminary approach. *Acta Agriculturae Scandinavica Section a-Animal Science*, 63 (4): 208-216.
- Harris, P. (2012). Laminitis after 2000 years: Adding bricks to our wall of knowledge. *The Veterinary Journal*, 191 (3): 273-274.
- Harstad, O. M. (2011). *Grovfôr*. Institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap.

- Hintz, H. F., Argenzio, R. A. & Schryver, H. F. (1971a). Digestion coefficients, blood glucose levels and molar percentage of volatile acids in intestinal fluid of ponies fed varying forage-grain ratios. *Journal of Animal Science*, 33 (5): 992-995.
- Hintz, H. F., Hogue, D. E., Walker, E. F., Lowe, J. E. & Schryver, H. F. (1971b). Apparent digestion in various segments of the digestive tract of ponies fed diets with varying roughage-grain ratios. *Journal of Animal Science*, 32 (2): 245-248.
- Hoffman, R., Boston, R., Stefanovski, D., Kronfeld, D. & Harris, P. (2003). Obesity and diet affect glucose dynamics and insulin sensitivity in Thoroughbred geldings. *Journal of Animal Science*, 81 (9): 2333-2342.
- Hoffman, R. M. (2009). Carbohydrate metabolism and metabolic disorders in horses. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38: 270-276.
- Hollis, A. R., Boston, R. C. & Corley, K. T. T. (2007). Blood glucose in horses with acute abdominal disease. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 21 (5): 1099-1103.
- Hudson, J. M., Cohen, N. D., Gibbs, P. G. & Thompson, J. A. (2001). Feeding practices associated with colic in horses. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 219 (10): 1419-1425.
- Jensen, R. B. (2009). *Carbohydrates in Equine Nutrition*. MSc Thesis: University of Copenhagen, Faculty of Life Sciences. 64 s.
- Jensen, R. B., Austbø, D. & Tauson, A.-H. (2012). Feeding forage before or after oats affects caecum pH profiles of the horse. I: b. 132 *Forages and grazing in horse nutrition*, s. 327-330: Wageningen Academic Publishers.
- Jensen, R. B., Austbo, D., Knudsen, K. E. B. & Tauson, A. H. (2014). The effect of dietary carbohydrate composition on apparent total tract digestibility, feed mean retention time, nitrogen and water balance in horses. *Animal*, 8 (11): 1788-1796.
- Johnson, P., Messer, N. & Ganjam, V. (2004). Cushing's syndromes, insulin resistance and endocrinopathic laminitis. *Equine veterinary journal*, 36 (3): 194-198.
- Johnson, P. J. (2002). The equine metabolic syndrome: Peripheral Cushing's syndrome. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 18 (2): 271-293.
- Julliand, V., de Vaux, A., Millet, L. & Fonty, G. (1999). Identification of *Ruminococcus flavefaciens* as the predominant cellulolytic bacterial species of the equine cecum. *Applied and environmental microbiology*, 65 (8): 3738-3741.
- Julliand, V., De Fombelle, A., Drogoul, C. & Jacotot, E. (2001a). Feeding and microbial disorders in horses: Part 3-Effects of three hay:grain ratios on microbial profile and activities. *Journal of Equine Veterinary Science*, 21 (11): 543-546.

- Julliand, V., de Fombelle, A., Drogoul, C. & Jacotot, E. (2001b). Feeding and microbial disorders in horses: Part 3—Effects of three hay: grain ratios on microbial profile and activities. *Journal of Equine Veterinary Science*, 21 (11): 543-546.
- Julliand, V., De Fombelle, A. & Varloud, M. (2006). Starch digestion in horses: The impact of feed processing. *Livestock Science*, 100 (1): 44-52.
- Kahn, C. R. (1978). Insulin resistance, insulin insensitivity, and insulin unresponsiveness: a necessary distinction. *Metabolism*, 27 (12): 1893-1902.
- Katz, L. M. & Bailey, S. R. (2012). A review of recent advances and current hypotheses on the pathogenesis of acute laminitis. *Equine veterinary journal*, 44 (6): 752-761.
- Kern, D. L., Slyter, L. L., Weaver, J. M., Leffel, E. C. & Samuelsons, G. (1973). Pony cecum vs. steer rumen: the effect of oats and hay on the microbial ecosystem. *Journal of animal science*, 37 (2): 463-469.
- Kienzle, E. & Radicke, S. (1993). Effect of diet on maltase, sucrase and lactase in the small intestinal mucosa of the horse. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 70 (1-5): 97-103.
- Kienzle, E., Radicke, S., Landes, E., Kleffken, D., Illenseer, M. & Meyer, H. (1994). Activity of amylase in the gastrointestinal tract of the horse. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 72 (1-5): 234-241.
- Kitchen, D. L., Burrow, J. A., Heartless, C. S. & Merritt, A. M. (2000). Effect of pyloric blockade and infusion of histamine or pentagastrin on gastric secretion in horses. *American journal of veterinary research*, 61 (9): 1133-1139.
- Knudsen, K. E. B. (1997). Carbohydrate and lignin contents of plant materials used in animal feeding. *Animal Feed Science and Technology*, 67 (4): 319-338.
- Kolk, J. H. (1997). Equine Cushing's disease. *Equine Veterinary Education*, 9 (4): 209-214.
- Kronfeld, D., Rodiek, A. & Stull, C. (2004). Glycemic indices, glycemic loads, and glycemic dietetics. *Journal of equine veterinary science*, 24 (9): 399-404.
- Kronfeld, D. S. & Harris, P. A. (2003). Equine grain-associated disorders. *Compendium on Continuing Education for the Practicing Veterinarian*, 25 (12): 974-983.
- Lumsden, J. H., Rowe, R. & Mullen, K. (1980). Hematology and biochemistry reference values for the light horse. *Canadian Journal of Comparative Medicine-Revue Canadienne De Medecine Comparee*, 44 (1): 32-42.
- Lybbert, T., Gibbs, P., Cohen, N., Scott, B., Sigler, D. & Green, E. M. (2007). Feeding alfalfa hay to exercising horses reduces the severity of gastric squamous mucosal ulceration.

- In Proceedings of the 53rd Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners, Orlando, Florida, USA, 1-5 December, 2007: 525-526.*
- MacLeay, J. M., Valberg, S. J., Pagan, J. D., Xue, J. L., De La Corte, F. D. & Roberts, J. (2000). Effect of ration and exercise on plasma creatine kinase activity and lactate concentration in Thoroughbred horses with recurrent exertional rhabdomyolysis. *American journal of veterinary research*, 61 (11): 1390-1395.
- Mathews, C. K., Van Holde, K. E., Appling, D. R. & Anthony-Cahill, S. J. (2013). *Biochemistry*. 3 utg. Toronto: Pearson. 1342 s.
- Mattilsynet. (1996). *Forskrift om forsøk med dyr.*: Landbruks- og matdepartementet. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1996-01-15-23> (lest 02.02.15).
- Mattilsynet. (2009). *Lov om dyrevelferd.*: Landbruks- og matdepartementet. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2009-06-19-97> (lest 02.02.15).
- McCleary, B. V., Solah, V. & Gibson, T. S. (1994). Quantitative measurement of total starch in cereal flours and products. *Journal of Cereal Science*, 20 (1): 51-58.
- McCue, M. E., Valberg, S. J., Jackson, M., Borgia, L., Lucio, M. & Mickelson, J. R. (2009). Polysaccharide storage myopathy phenotype in quarter horse-related breeds is modified by the presence of an RYR1 mutation. *Neuromuscular Disorders*, 19 (1): 37-43.
- McCue, P. M. (2002). Equine Cushing's disease. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 18 (3): 533-543.
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., Morgan, C. A., Sinclair, L. A. & Wilkinson, R. G. (2011). *Animal nutrition*. 7 utg. Harlow: Prentice Hall. 692 s.
- McIntosh, B. (2007). *Circadian and seasonal variation in pasture nonstructural carbohydrates and the physiological response of grazing horses*. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute and State University. 155 s.
- McKenzie, E. C. & Firshman, A. M. (2009). Optimal diet of horses with chronic exertional myopathies. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 25 (1): 121-135.
- McLean, B., Hyslop, J., Longland, A., Cuddeford, D. & Hollands, T. (2000). Physical processing of barley and its effects on intra-caecal fermentation parameters in ponies. *Animal Feed Science and Technology*, 85 (1): 79-87.
- Medina, B., Girard, I. D., Jacotot, E. & Julliand, V. (2002). Effect of a preparation of *Saccharomyces cerevisiae* on microbial profiles and fermentation patterns in the large

- intestine of horses fed a high fiber or a high starch diet. *Journal of Animal Science*, 80 (10): 2600-2609.
- Merritt, A. M., Sanchez, L. C., Burrow, J. A., Church, M. & Ludzia, S. (2003). Effect of GastroGard and three compounded oral omeprazole preparations on 24 h intragastric pH in gastrically cannulated mature horses. *Equine veterinary journal*, 35 (7): 691-695.
- Mertens, D. R., Allen, M., Carmany, J., Clegg, J., Davidowicz, A., Drouches, M., Frank, K., Gambin, D., Garkie, M., Gildemeister, B., et al. (2002). Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: Collaborative study. *Journal of Aoac International*, 85 (6): 1217-1240.
- Meyer, H., Coenen, M. & Gurer, C. (1985). Investigations of saliva production and chewing in horses fed various feeds. *In Equine nutrition and Physiology symposium*, 9: 38.
- Meyer, H., Coenen, M. & Probst, D. (1986). Contributions to digestive physiology of the horse.14. Feed insalivation and passage in the equine upper intestinal-tract. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition-Zeitschrift Fur Tierphysiologie Tierernahrung Und Futtermittelkunde*, 56 (3): 171-183.
- Meyer, H., Radicke, S., Kienzle, E., Wilke, S., Kleffken, D. & Illenseer, M. (1995). Investigations on preileal digestion of starch from grain, potato and manioc in horses. *Journal of Veterinary Medicine (Series A)*, 42 (1-10): 371-381.
- Meyer, H. & Coenen, M. (2002). *Pferdefütterung 4., erweiterte und aktualisierte Auflage*. Berlin: Parey Buchverlag im Blackwell Wissenschafts-Verlag GmbH. 244 s.
- Miraglia, N., Bergero, D., Polidori, M., Peiretti, P. G. & Ladetto, G. (2006). The effects of a new fibre-rich concentrate on the digestibility of horse rations. *Livestock Science*, 100 (1): 10-13.
- Moeller, B. A., McCall, C. A., Silverman, S. J. & McElhenney, W. H. (2008). Estimation of saliva production in crib-biting and normal horses. *Journal of Equine Veterinary Science*, 28 (2): 85-90.
- Nadeau, J. A., Andrews, F. M., Mathew, A. G., Argenzio, R. A., Blackford, J. T., Sohtell, M. & Saxton, A. M. (2000). Evaluation of diet as a cause of gastric ulcers in horses. *American journal of veterinary research*, 61 (7): 784-790.
- Nadeau, J. A., Andrews, F. M., Patton, C. S., Argenzio, R. A., Mathew, A. G. & Saxton, A. M. (2003). Effects of hydrochloric, valeric, and other volatile fatty acids on pathogenesis of ulcers in the nonglandular portion of the stomach of horses. *American journal of veterinary research*, 64 (4): 413-417.

- Nickel, R., Schummer, A. & Seiferle, E. (1979). *The Viscera of Domestic Animals*. 2 utg. New York: Parey. 180-198 s.
- NMBU. (2015). *Metodespesifikasjon: Råttrevler*. Norges miljø- og biovitenskapelige universitet: Institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap Tilgjengelig fra: <http://www.nmbu.no/om/fakulteter/vetbio/institutter/iha/tjenester/node/10055> (lest 08.05.15).
- NRC. (2007). *Nutrient requirements of horses*. 6 utg. Washington D.C.: The National Academies Press. 341 s.
- Orsini, J. (2000). Gastric ulceration in the mature horse: a review. *Equine Veterinary Education*, 12 (1): 24-27.
- Pagan, J. (1997). Gastric ulcers in horses: a widespread but manageable disease. *World Equine Veterinary Review*, 2 (4): 28-30.
- Pagan, J. D., Harris, P., Brewster-Barnes, T., Duren, S. E. & Jackson, S. G. (1998). Exercise affects digestibility and rate of passage of all-forage and mixed diets in thoroughbred horses. *The Journal of nutrition*, 128 (12): 2704-2707.
- Pass, M., Pollitt, S. & Pollitt, C. (1998). Decreased glucose metabolism causes separation of hoof lamellae in vitro: a trigger for laminitis? *Equine Veterinary Journal*, 30 (S26): 133-138.
- Pedersen, J. I., Hjartåker, A., Anderssen, S. & Müller, H. (2012). *Grunnleggende ernæringslære*. 2 utg. Oslo: Gyldendal akademisk. 460 s.
- Ragnarsson, S. & Lindberg, J. E. (2008). Nutritional value of timothy haylage in Icelandic horses. *Livestock Science*, 113 (2-3): 202-208.
- Raynor, K. (2015). *Hestens fordøyelsessystem*, 10.05.15. <http://blog.cheshirehorse.com/2015/04/equine-gastric-ulcer-syndrome-egus/>.
- Ritsema, T. & Smeekens, S. (2003). Fructans: beneficial for plants and humans. *Current Opinion in Plant Biology*, 6 (3): 223-230.
- Roberts, M. C. (1975). Carbohydrate digestion and absorption in the equine small intestine. *Journal of the South African Veterinary Association*, 46 (1): 19-27.
- Rosenfeld, I., Austbø, D. & Volden, H. (2006). Models for estimating digesta passage kinetics in the gastrointestinal tract of the horse. *Journal of animal science*, 84 (12): 3321-3328.
- Rosenfeld, I. & Austbø, D. (2009a). Digestion of cereals in the equine gastrointestinal tract measured by the mobile bag technique on caecally cannulated horses. *Animal Feed Science and Technology*, 150 (3-4): 249-258.

- Rosenfeld, I. & Austbø, D. (2009b). Effect of type of grain and feed processing on gastrointestinal retention times in horses. *Journal of animal science*, 87 (12): 3991-3996.
- Schmidt, S. L. & Hickey, M. S. (2009). Regulation of insulin action by diet and exercise. *Journal of Equine Veterinary Science*, 29 (5): 274-284.
- Schott II, H. C. (2002). Pituitary pars intermedia dysfunction: equine Cushing's disease. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 18 (2): 237-270.
- Secombe, C. J. & Lester, G. D. (2012). The role of diet in the prevention and management of several equine diseases. *Animal Feed Science and Technology*, 173 (1–2): 86-101.
- Shirazi-Beechey, S. P. (2008). Molecular insights into dietary induced colic in the horse. *Equine veterinary journal*, 40 (4): 414-421.
- Simmons, H. A. & Ford, E. J. H. (1991). Gluconeogenesis from propionate produced in the colon of the horse. *British Veterinary Journal*, 147 (4): 340-345.
- Sjaastad, O. V., Sand, O. & Hove, K. (2010). *Physiology of domestic animals*. 2 utg. Oslo: Scandinavian Veterinary Press. 804 s.
- Skog og Landskap. (2015). *Grindstad timotei – frå gardsstamme til hovedsort i Sør-Norge*. . Skog og Landskap. Tilgjengelig fra: [http://www.skogoglandskap.no/Artsbeskrivelser/timotei/default\\_view](http://www.skogoglandskap.no/Artsbeskrivelser/timotei/default_view) (lest 22.02.15).
- Skrede, A. (2000). *Kraftfôr- kompendie*. Ås: Landbruksbokhandelen.
- Sprouse, R. F. & Garner, H. E. (1982). Normal and perturbed microflora of the equine caecum. *In Proc. 1st Equine Colic Research Symp., Athens, Gorgia*: 53-61.
- Steinshamm, H. (2014). *Morforlogiske karakterar og veksemåte hos gras og engbelgvekstar*. Ås. Upublisert manuskript.
- Stevnebø, A., Sahlström, S., Anker, K. N. & Svihus, B. (2005). Egenskaper ved stivelsen i bygg som påvirker tilgjengeligheten. *Husdyrforsøksmøtet*, Kraftfôr: 4.
- Stick, J. A., Robinson, N. E. & Krehbiel, J. D. (1981). Acid-base and electrolyte alterations associated with salivary loss in the pony. *American Journal of Veterinary Research*, 42 (5): 733-737.
- Storlien, L. H., Higgins, J. A., Thomas, T. C., Brown, M. A., Wang, H. Q., Huang, X. F. & Else, P. L. (2000). Diet composition and insulin action in animal models. *British journal of nutrition*, 83 (S1): 85-90.
- Sturite, I. & Lunnan, T. (2013). *Luserne - lovende belgvekst*. Buskap. Tilgjengelig fra: [https://katalogbilder.felleskjopet.no/medias/sys\\_master/celum\\_assets/Luserne\\_faktaark\\_23153\\_pdf-6.pdf?1&\\_ga=1.63612399.1705613974.1422360154](https://katalogbilder.felleskjopet.no/medias/sys_master/celum_assets/Luserne_faktaark_23153_pdf-6.pdf?1&_ga=1.63612399.1705613974.1422360154) (lest 09.04.15).



- Svihus, B., Uhlen, A. K. & Harstad, O. M. (2005). Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 122 (3-4): 303-320.
- Treiber, K. H., Boston, R. C., Kronfeld, D. S., Staniar, W. B. & Harris, P. A. (2005). Insulin resistance and compensation in Thoroughbred weanlings adapted to high-glycemic meals. *Journal of animal science*, 83 (10): 2357-2364.
- Treiber, K. H., Kronfeld, D. S. & Geor, R. J. (2006). Insulin resistance in equids: possible role in laminitis. *The Journal of nutrition*, 136 (7): 2094-2098.
- Udén, P., Rounsaville, T. R., Wiggans, G. R. & Van Soest, P. J. (1982). The measurement of liquid and solid digesta retention in ruminants, equines and rabbits given timothy (*Phleum pratense*) hay. *British Journal of Nutrition*, 48 (02): 329-339.
- Van Soest, P. J. (1987). *Nutritional ecology of ruminant*. 2 utg. Ithaca , New York.: Cornell University. 373 s.
- Varloud, M., Fonty, G., Roussel, A., Guyonvarch, A. & Julliand, V. (2007). Postprandial kinetics of some biotic and abiotic characteristics of the gastric ecosystem of horses fed a pelleted concentrate meal. *Journal of animal science*, 85 (10): 2508-2516.
- Vervuert, I., Bothe, C. & Coenen, M. (2007). Glycaemic and insulinaemic responses to mechanical or thermal processed barley in horses. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 91 (5-6): 263-268.
- Vervuert, I., Voigt, K., Hollands, T., Cuddeford, D. & Coenen, M. (2009a). Effect of feeding increasing quantities of starch on glycaemic and insulinaemic responses in healthy horses. *Veterinary Journal*, 182 (1): 67-72.
- Vervuert, I., Voigt, K., Hollands, T., Cuddeford, D. & Coenen, M. (2009b). The effect of mixing and changing the order of feeding oats and chopped alfalfa to horses on: glycaemic and insulinaemic responses, and breath hydrogen and methane production. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 93 (5): 631-638.
- Vilomix AS. (2014). *Lucerne og Alfa Omega*. Normin. Tilgjengelig fra: <http://www.normin.no/index.dsp?page=841> (lest 10.05.15).
- Warner, A. (1981). *Rate of passage of digesta through the gut of mammals and birds*. Nutr. Abstr. Rev. 789-820 s.
- Widenhouse, T. V., Lester, G. D. & Merritt, A. M. (2002). Effect of hydrochloric acid, pepsin, or taurocholate on bioelectric properties of gastric squamous mucosa in horses. *American journal of veterinary research*, 63 (5): 744-749.

- WikiVet. (2012). *Hestens magesekk og inndeling av de ulike regionene i magesekken*, 10.05.15. [http://en.wikivet.net/Gastric\\_Ulceration\\_-\\_Horse](http://en.wikivet.net/Gastric_Ulceration_-_Horse).
- Willard, J. G., Willard, J. C., Wolfram, S. A. & Baker, J. P. (1977). Effect of diet on cecal pH and feeding behavior of horses. *Journal of animal science*, 45 (1): 87-93.
- Wille, K. H. & Nakov, C. (1999). Functional morphology of the large intestinal mucosa of horses (*Equus przewalskii* f. *caballus*) with special regard to the epithelium. *Anatomia, histologia, embryologia*, 28 (5-6): 355-365.
- Williams, C. A., Kronfeld, D. S., Staniar, W. B. & Harris, P. A. (2001). Plasma glucose and insulin responses of Thoroughbred mares fed a meal high in starch and sugar or fat and fiber. *Journal of animal science*, 79 (8): 2196-2201.
- Wolter, R., Nouwakpo, F. & Durix, A. (1980). Étude comparative de la digestion d'un aliment complet chez le poney et le lapin. *Reproduction Nutrition Développement*, 20 (5B): 1723-1730.
- Zeyner, A. (2008). Energy providing nutrient sources. *Nutrition of the exercising horse. EAAP Publication* (125): 277-294.

## Vedlegg 1: Resultat på serum insulin og blodglukose

**Tabell 4:** Effekt av rasjon på serum insulin og blodglukose og forskjeller mellom rasjonene

	Før fôring				SE	P-verdi	
	Høy	Bygg	Luserne	Eplepulp		Fôr	Hest
	Insulin ( $\mu\text{U/ml}$ )	3,2 <sup>a</sup>	2,6 <sup>a</sup>	2,5 <sup>a</sup>		2,9 <sup>a</sup>	0,32
Glukose (mM)	MV	5,0 <sup>a</sup>	5,0 <sup>a</sup>	5,0 <sup>a</sup>	0,06	0,85	0,0007

<sup>a</sup> Verdier med ulik bokstav innen samme rad er signifikant forskjellige ( $P < 0,05$ )

**Tabell 5:** Effekt av rasjon på serum insulin og blodglukose og forskjeller mellom rasjonene

	1 time etter fôring				SE	P-verdi	
	Høy	Bygg	Luserne	Eplepulp		Fôr	Hest
	Insulin ( $\mu\text{U/ml}$ )	5,3 <sup>a</sup>	13,4 <sup>b</sup>	6,7 <sup>a</sup>		7,7 <sup>a</sup>	0,83
Glukose (mM)	6,5 <sup>a</sup>	5,6 <sup>b</sup>	5,1 <sup>b</sup>	5,4 <sup>b</sup>	0,24	0,01	0,01

<sup>a,b</sup> Verdier med ulik bokstav innen samme rad er signifikant forskjellige ( $P < 0,05$ )

**Tabell 6:** Effekt av rasjon på serum insulin og blodglukose og forskjeller mellom rasjonene

	2 timer etter fôring				SE	P-verdi	
	Høy	Bygg	Luserne	Eplepulp		Fôr	Hest
	Insulin ( $\mu\text{U/ml}$ )	7,3 <sup>a</sup>	12,8 <sup>b</sup>	7,0 <sup>a</sup>		6,5 <sup>a</sup>	1,41
Glukose (mM)	6,8 <sup>a</sup>	5,6 <sup>b</sup>	5,7 <sup>b</sup>	5,6 <sup>b</sup>	0,24	0,02	0,02

<sup>a,b</sup> Verdier med ulik bokstav innen samme rad er signifikant forskjellige ( $P < 0,05$ )

**Tabell 7:** Effekt av rasjon på serum insulin og blodglukose og forskjeller mellom rasjonene

	3 timer etter fôring				SE	P-verdi	
	Høy	Bygg	Luserne	Eplepulp		Fôr	Hest
	Insulin ( $\mu\text{U/ml}$ )	6,6 <sup>a</sup>	10,3 <sup>a</sup>	8,1 <sup>a</sup>		8,6 <sup>a</sup>	1,32
Glukose (mM)	6,8 <sup>a</sup>	5,7 <sup>b</sup>	5,6 <sup>b</sup>	6,1 <sup>b</sup>	0,17	0,003	<0,0001

<sup>a,b</sup> Verdier med ulik bokstav innen samme rad er signifikant forskjellige ( $P < 0,05$ )

**Tabell 8:** Effekt av rasjon på serum insulin og blodglukose og forskjeller mellom rasjonene

	4 timer etter fôring				SE	P-verdi	
	Høy	Bygg	Luserne	Eplepulp		Fôr	Hest
	Insulin ( $\mu\text{U/ml}$ )	5,7 <sup>a</sup>	10,7 <sup>b</sup>	7,9 <sup>ab</sup>		8,8 <sup>ab</sup>	1,12
Glukose (mM)	5,1 <sup>a</sup>	5,6 <sup>a</sup>	5,7 <sup>a</sup>	5,6 <sup>a</sup>	0,31	0,53	0,03

<sup>a,b</sup> Verdier med ulik bokstav innen samme rad er signifikant forskjellige ( $P < 0,05$ )

**Tabell 9:** Effekt av rasjon på serum insulin og blodglukose og forskjeller mellom rasjonene

	5 timer etter fôring				SE	P-verdi	
	Høy	Bygg	Luserne	Eplepulp		Fôr	Hest
	Insulin ( $\mu\text{U/ml}$ )	5,5 <sup>a</sup>	7,9 <sup>a</sup>	7,4 <sup>a</sup>		7,3 <sup>a</sup>	1,28
Glukose (mM)	4,5 <sup>a</sup>	5,5 <sup>b</sup>	5,3 <sup>ab</sup>	5,8 <sup>b</sup>	0,27	0,059	0,004

<sup>a,b</sup> Verdier med ulik bokstav innen samme rad er signifikant forskjellige ( $P < 0,05$ )

**Tabell 10:** Effekt av rasjon på serum insulin og blodglukose og forskjeller mellom rasjonene

	6 timer etter fôring				SE	P-verdi	
	Høy	Bygg	Luserne	Eplepulp		Fôr	Hest
Insulin ( $\mu\text{U/ml}$ )	4,9 <sup>a</sup>	4,9 <sup>a</sup>	6,7 <sup>a</sup>	6,6 <sup>a</sup>	0,94	0,36	0,46
Glukose (mM)	5,0 <sup>a</sup>	5,7 <sup>b</sup>	5,4 <sup>ab</sup>	5,6 <sup>b</sup>	0,12	0,02	0,002

<sup>a,b</sup> Verdier med ulik bokstav innen samme rad er signifikant forskjellige ( $P < 0,05$ )

**Tabell 11:** Effekt av rasjon på serum insulin og blodglukose og forskjeller mellom rasjonene

	7 timer etter fôring				SE	P-verdi	
	Høy	Bygg	Luserne	Eplepulp		Fôr	Hest
Insulin ( $\mu\text{U/ml}$ )	3,7 <sup>a</sup>	5,8 <sup>a</sup>	6,4 <sup>a</sup>	5,7 <sup>a</sup>	0,92	0,25	0,33
Glukose (mM)	5,6 <sup>a</sup>	5,5 <sup>a</sup>	5,4 <sup>a</sup>	5,4 <sup>a</sup>	0,20	0,83	0,20

<sup>a</sup> Verdier med ulik bokstav innen samme rad er signifikant forskjellige ( $P < 0,05$ )

**Tabell 12:** Effekt av rasjon på serum insulin og blodglukose og forskjeller mellom rasjonene

	8 timer etter fôring				SE	P-verdi	
	Høy	Bygg	Luserne	Eplepulp		Fôr	Hest
Insulin ( $\mu\text{U/ml}$ )	3,3 <sup>a</sup>	4,2 <sup>ab</sup>	6,6 <sup>b</sup>	6,6 <sup>b</sup>	1,01	0,11	0,40
Glukose (mM)	5,0 <sup>a</sup>	5,0 <sup>a</sup>	6,4 <sup>b</sup>	5,3 <sup>a</sup>	0,20	0,003	0,058

<sup>a,b</sup> Verdier med ulik bokstav innen samme rad er signifikant forskjellige ( $P < 0,05$ )

## Vedlegg 2: Resultater på pH-verdi og VFA-konsentrasjon i blindtarmen

**Tabell 13:** Effekt av rasjon på pH-verdi og VFA-konsentrasjon og forskjeller mellom rasjonene

	Før fôring				SE	P-verdi	
	Høy	Bygg	Luserne	Eplepulp		Fôr	Hest
pH	6,9 <sup>a</sup>	6,9 <sup>a</sup>	7,0 <sup>a</sup>	6,9 <sup>a</sup>	0,07	0,70	0,12
Sum VFA (mmol/L)	52,2 <sup>a</sup>	41,1 <sup>a</sup>	50,0 <sup>a</sup>	46,7 <sup>a</sup>	8,3	0,80	0,96
Eddiksyre (mmol/L)	39,5 <sup>a</sup>	31,9 <sup>a</sup>	37,9 <sup>a</sup>	35,8 <sup>a</sup>	6,00	0,82	0,97
Propionsyre (mmol/L)	10,3 <sup>a</sup>	7,3 <sup>a</sup>	9,5 <sup>a</sup>	8,6 <sup>a</sup>	1,80	0,68	0,88
Smørsyre (mmol/L)	1,8 <sup>a</sup>	1,5 <sup>a</sup>	2,1 <sup>a</sup>	2,1 <sup>a</sup>	0,40	0,64	0,93
Eddiksyre (molar %)	75,8 <sup>a</sup>	77,9 <sup>a</sup>	76,3 <sup>a</sup>	76,6 <sup>a</sup>	0,81	0,34	0,41
Propionsyre (molar %)	19,8 <sup>a</sup>	17,4 <sup>b</sup>	18,5 <sup>ab</sup>	18,4 <sup>ab</sup>	0,61	0,13	0,32
Smørsyre (molar %)	3,7 <sup>a</sup>	3,5 <sup>ab</sup>	4,3 <sup>ab</sup>	4,4 <sup>a</sup>	0,26	0,09	0,10

<sup>a,b</sup> Verdier med ulik bokstav innen samme rad er signifikant forskjellige (P<0,05)

**Tabell 14:** Effekt av rasjon på pH-verdi og VFA-konsentrasjon og forskjeller mellom rasjonene

	1 time etter fôring				SE	P-verdi	
	Høy	Bygg	Luserne	Eplepulp		Fôr	Hest
pH	6,9 <sup>a</sup>	6,8 <sup>a</sup>	6,9 <sup>a</sup>	7,0 <sup>a</sup>	0,05	0,46	0,64
Sum VFA (mmol/L)	44,0 <sup>a</sup>	37,0 <sup>a</sup>	72,8 <sup>a</sup>	36,1 <sup>a</sup>	12,11	0,18	0,41
Eddiksyre (mmol/L)	33,3 <sup>a</sup>	28,4 <sup>a</sup>	56,4 <sup>a</sup>	28,6 <sup>a</sup>	9,04	0,16	0,43
Propionsyre (mmol/L)	8,6 <sup>a</sup>	6,6 <sup>a</sup>	12,3 <sup>a</sup>	5,9 <sup>a</sup>	2,42	0,30	0,38
Smørsyre (mmol/L)	1,7 <sup>a</sup>	1,5 <sup>ab</sup>	3,3 <sup>ac</sup>	1,4 <sup>ab</sup>	0,57	0,13	0,27
Eddiksyre (molar %)	75,5 <sup>a</sup>	77,0 <sup>ab</sup>	79,2 <sup>b</sup>	79,1 <sup>b</sup>	0,96	0,06	0,14
Propionsyre (molar %)	19,8 <sup>a</sup>	18,0 <sup>ab</sup>	15,3 <sup>b</sup>	16,2 <sup>b</sup>	0,98	0,04	0,32
Smørsyre (molar %)	3,7 <sup>a</sup>	4,0 <sup>ab</sup>	4,3 <sup>b</sup>	4,0 <sup>ab</sup>	0,15	0,11	0,004

<sup>a,b,c</sup> Verdier med ulik bokstav innen samme rad er signifikant forskjellige (P<0,05)

**Tabell 15:** Effekt av rasjon på pH-verdi og VFA-konsentrasjon og forskjeller mellom rasjonene

	2 timer etter fôring				SE	P-verdi	
	Høy	Bygg	Luserne	Eplepulp		Fôr	Hest
pH	6,8 <sup>a</sup>	6,6 <sup>b</sup>	6,8 <sup>a</sup>	6,8 <sup>a</sup>	0,04	0,004	0,01
Sum VFA (mmol/L)	45,0 <sup>a</sup>	67,9 <sup>ab</sup>	47,3 <sup>ab</sup>	40,9 <sup>a</sup>	8,25	0,17	0,44
Eddiksyre (mmol/L)	35,3 <sup>a</sup>	51,5 <sup>ab</sup>	39,1 <sup>ab</sup>	32,7 <sup>a</sup>	5,56	0,15	0,47
Propionsyre (mmol/L)	7,8 <sup>a</sup>	12,8 <sup>a</sup>	5,9 <sup>a</sup>	6,3 <sup>a</sup>	2,22	0,18	0,34
Smørsyre (mmol/L)	1,5 <sup>a</sup>	2,8 <sup>b</sup>	1,9 <sup>ab</sup>	1,7 <sup>a</sup>	0,34	0,08	0,53
Eddiksyre (molar %)	78,5 <sup>a</sup>	77,0 <sup>a</sup>	82,7 <sup>b</sup>	80,3 <sup>ab</sup>	1,21	0,04	0,34
Propionsyre (molar %)	17,3 <sup>a</sup>	17,7 <sup>a</sup>	12,5 <sup>b</sup>	15,0 <sup>ab</sup>	1,13	0,03	0,20
Smørsyre (molar %)	3,3 <sup>a</sup>	4,2 <sup>b</sup>	3,9 <sup>b</sup>	4,2 <sup>b</sup>	0,13	0,002	0,01

<sup>a,b</sup> Verdier med ulik bokstav innen samme rad er signifikant forskjellige (P<0,05)

**Tabell 16:** Effekt av rasjon på pH-verdi og VFA-konsentrasjon og forskjeller mellom rasjonene

	3 timer etter fôring				SE	P-verdi	
	Høy	Bygg	Luserne	Eplepulp		Fôr	Hest
pH	6,8 <sup>a</sup>	6,5 <sup>b</sup>	6,7 <sup>a</sup>	6,8 <sup>a</sup>	0,06	0,005	0,13
Sum VFA (mmol/L)	48,9 <sup>a</sup>	91,7 <sup>a</sup>	61,0 <sup>a</sup>	77,3 <sup>a</sup>	21,2	0,54	0,63
Eddiksyre (mmol/L)	38,6 <sup>a</sup>	70,4 <sup>a</sup>	50,0 <sup>a</sup>	60,1 <sup>a</sup>	15,9	0,56	0,61
Propionsyre (mmol/L)	8,2 <sup>a</sup>	15,8 <sup>a</sup>	8,1 <sup>a</sup>	13,1 <sup>a</sup>	3,87	0,45	0,69
Smørsyre (mmol/L)	1,6 <sup>a</sup>	4,6 <sup>a</sup>	2,5 <sup>a</sup>	3,7 <sup>a</sup>	1,33	0,44	0,59
Eddiksyre (molar %)	79,0 <sup>a</sup>	77,1 <sup>a</sup>	82,0 <sup>b</sup>	78,7 <sup>a</sup>	0,90	0,02	0,50
Propionsyre (molar %)	16,8 <sup>a</sup>	17,5 <sup>a</sup>	13,3 <sup>b</sup>	16,2 <sup>a</sup>	0,68	0,009	0,10
Smørsyre (molar %)	3,3 <sup>a</sup>	4,4 <sup>ab</sup>	4,0 <sup>ab</sup>	4,6 <sup>b</sup>	0,37	0,15	0,24

<sup>a,b</sup> Verdier med ulik bokstav innen samme rad er signifikant forskjellige (P<0,05)

**Tabell 17:** Effekt av rasjon på pH-verdi og VFA-konsentrasjon og forskjeller mellom rasjonene

	4 timer etter fôring				SE	P-verdi	
	Høy	Bygg	Luserne	Eplepulp		Fôr	Hest
pH	6,8 <sup>a</sup>	6,4 <sup>b</sup>	6,6 <sup>c</sup>	6,8 <sup>a</sup>	0,04	<0,0001	0,55
Sum VFA (mmol/L)	108,1 <sup>a</sup>	60,5 <sup>ab</sup>	66,8 <sup>ab</sup>	50,5 <sup>b</sup>	16,9	0,15	0,36
Eddiksyre (mmol/L)	82,6 <sup>a</sup>	47,2 <sup>ab</sup>	54,1 <sup>ab</sup>	40,0 <sup>b</sup>	13,2	0,19	0,39
Propionsyre (mmol/L)	18,9 <sup>a</sup>	10,4 <sup>ab</sup>	9,7 <sup>ab</sup>	8,2 <sup>b</sup>	3,2	0,14	0,29
Smørsyre (mmol/L)	4,4 <sup>a</sup>	2,5 <sup>a</sup>	2,6 <sup>a</sup>	2,1 <sup>a</sup>	0,77	0,23	0,23
Eddiksyre (molar %)	76,2 <sup>a</sup>	78,2 <sup>ab</sup>	81,2 <sup>b</sup>	79,1 <sup>ab</sup>	1,25	0,10	0,84
Propionsyre (molar %)	16,9 <sup>a</sup>	17,1 <sup>a</sup>	14,4 <sup>b</sup>	16,2 <sup>ab</sup>	0,83	0,15	0,13
Smørsyre (molar %)	3,8 <sup>a</sup>	4,0 <sup>a</sup>	3,8 <sup>a</sup>	4,2 <sup>a</sup>	0,22	0,53	0,06

<sup>a,b,c</sup> Verdier med ulik bokstav innen samme rad er signifikant forskjellige (P<0,05)

**Tabell 18:** Effekt av rasjon på pH-verdi og VFA-konsentrasjon og forskjeller mellom rasjonene

	5 timer etter fôring				SE	P-verdi	
	Høy	Bygg	Luserne	Eplepulp		Fôr	Hest
pH	6,7 <sup>a</sup>	6,5 <sup>ab</sup>	6,7 <sup>ab</sup>	6,8 <sup>a</sup>	0,07	0,07	0,21
Sum VFA (mmol/L)	55,4 <sup>a</sup>	61,4 <sup>a</sup>	140,8 <sup>b</sup>	54,3 <sup>a</sup>	23,4	0,08	0,25
Eddiksyre (mmol/L)	44,0 <sup>a</sup>	47,2 <sup>a</sup>	108,5 <sup>b</sup>	42,7 <sup>a</sup>	17,4	0,07	0,24
Propionsyre (mmol/L)	8,8 <sup>a</sup>	11,3 <sup>ab</sup>	24,7 <sup>b</sup>	9,2 <sup>a</sup>	4,7	0,11	0,29
Smørsyre (mmol/L)	2,1 <sup>a</sup>	2,6 <sup>ab</sup>	6,6 <sup>b</sup>	2,1 <sup>a</sup>	1,3	0,10	0,29
Eddiksyre (molar %)	79,4 <sup>a</sup>	77,2 <sup>a</sup>	78,2 <sup>a</sup>	78,5 <sup>a</sup>	1,13	0,63	0,46
Propionsyre (molar %)	16,0 <sup>a</sup>	18,0 <sup>a</sup>	16,8 <sup>a</sup>	17,1 <sup>a</sup>	0,97	0,57	0,50
Smørsyre (molar %)	3,8 <sup>a</sup>	4,2 <sup>a</sup>	4,4 <sup>a</sup>	4,0 <sup>a</sup>	0,26	0,45	0,41

<sup>a,b</sup> Verdier med ulik bokstav innen samme rad er signifikant forskjellige (P<0,05)

**Tabell 19: Effekt av rasjon på pH-verdi og VFA-konsentrasjon og forskjeller mellom rasjonene**

	6 timer etter fôring				SE	P-verdi	
	Høy	Bygg	Luserne	Eplepulp		Fôr	Hest
pH	6,9 <sup>a</sup>	6,6 <sup>b</sup>	6,7 <sup>bc</sup>	6,8 <sup>ac</sup>	0,05	0,03	0,01
Sum VFA (mmol/L)	44,1 <sup>a</sup>	114,0 <sup>b</sup>	68,0 <sup>a</sup>	60,3 <sup>a</sup>	14,5	0,04	0,33
Eddiksyre (mmol/L)	35,0 <sup>a</sup>	81,3 <sup>b</sup>	54,3 <sup>ab</sup>	46,6 <sup>a</sup>	9,87	0,05	0,37
Propionsyre (mmol/L)	7,1 <sup>a</sup>	26,0 <sup>b</sup>	10,7 <sup>a</sup>	11,0 <sup>a</sup>	3,75	0,03	0,26
Smørsyre (mmol/L)	1,6 <sup>a</sup>	5,7 <sup>b</sup>	2,6 <sup>a</sup>	2,4 <sup>a</sup>	0,86	0,04	0,23
Eddiksyre (molar %)	79,6 <sup>a</sup>	72,5 <sup>b</sup>	80,0 <sup>a</sup>	77,5 <sup>a</sup>	0,81	0,0004	0,03
Propionsyre (molar %)	15,9 <sup>a</sup>	22,0 <sup>b</sup>	15,6 <sup>ac</sup>	18,1 <sup>ad</sup>	0,74	0,0006	0,05
Smørsyre (molar %)	3,7 <sup>a</sup>	4,8 <sup>b</sup>	3,8 <sup>a</sup>	3,9 <sup>a</sup>	0,21	0,03	0,07

<sup>a,b,c,d</sup> Verdier med ulik bokstav innen samme rad er signifikant forskjellige (P<0,05)

**Tabell 20: Effekt av rasjon på pH-verdi og VFA-konsentrasjon og forskjeller mellom rasjonene**

	7 timer etter fôring				SE	P-verdi	
	Høy	Bygg	Luserne	Eplepulp		Fôr	Hest
pH	6,8 <sup>a</sup>	6,6 <sup>a</sup>	6,7 <sup>a</sup>	6,7 <sup>a</sup>	0,06	0,34	0,08
Sum VFA (mmol/L)	45,5 <sup>a</sup>	59,9 <sup>a</sup>	70,9 <sup>ab</sup>	118,8 <sup>b</sup>	17,3	0,07	0,25
Eddiksyre (mmol/L)	36,1 <sup>a</sup>	43,7 <sup>a</sup>	56,0 <sup>ab</sup>	87,4 <sup>b</sup>	12,3	0,07	0,26
Propionsyre (mmol/L)	7,2 <sup>a</sup>	13,2 <sup>ab</sup>	11,7 <sup>a</sup>	25,3 <sup>b</sup>	4,09	0,06	0,24
Smørsyre (mmol/L)	1,7 <sup>a</sup>	2,5 <sup>a</sup>	2,8 <sup>ab</sup>	5,6 <sup>b</sup>	0,89	0,06	0,18
Eddiksyre (molar %)	79,5 <sup>a</sup>	73,3 <sup>b</sup>	79,0 <sup>a</sup>	74,8 <sup>b</sup>	0,76	0,0005	0,06
Propionsyre (molar %)	15,9 <sup>a</sup>	21,8 <sup>b</sup>	16,4 <sup>a</sup>	20,3 <sup>b</sup>	0,69	0,0004	0,13
Smørsyre (molar %)	3,8 <sup>a</sup>	4,2 <sup>ab</sup>	4,0 <sup>ab</sup>	4,5 <sup>b</sup>	0,19	0,15	0,03

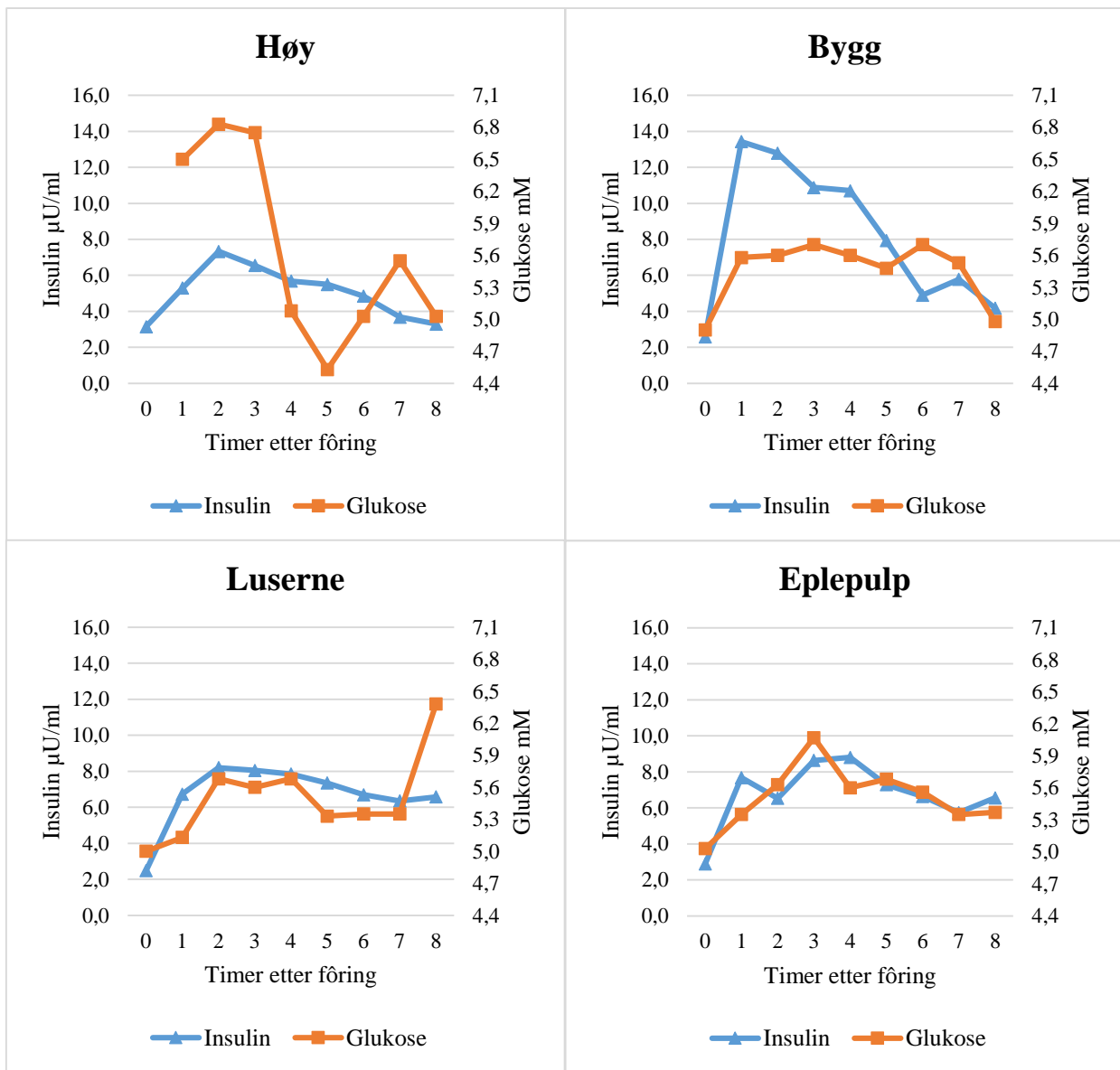
<sup>a,b</sup> Verdier med ulik bokstav innen samme rad er signifikant forskjellige (P<0,05)

**Tabell 21: Effekt av rasjon på pH-verdi og VFA-konsentrasjon og forskjeller mellom rasjonene**

	8 timer etter fôring				SE	P-verdi	
	Høy	Bygg	Luserne	Eplepulp		Fôr	Hest
pH	6,8 <sup>a</sup>	6,6 <sup>a</sup>	6,7 <sup>a</sup>	6,8 <sup>a</sup>	0,09	0,44	0,51
Sum VFA (mmol/L)	43,3 <sup>a</sup>	55,8 <sup>ab</sup>	81,0 <sup>b</sup>	69,3 <sup>b</sup>	8,08	0,04	0,70
Eddiksyre (mmol/L)	34,6 <sup>a</sup>	40,4 <sup>a</sup>	62,2 <sup>b</sup>	52,7 <sup>ab</sup>	5,80	0,03	0,73
Propionsyre (mmol/L)	6,7 <sup>a</sup>	12,7 <sup>ab</sup>	14,8 <sup>b</sup>	13,5 <sup>b</sup>	1,98	0,07	0,66
Smørsyre (mmol/L)	1,6 <sup>a</sup>	2,2 <sup>ab</sup>	3,6 <sup>c</sup>	2,9 <sup>bc</sup>	0,35	0,02	0,45
Eddiksyre (molar %)	80,0 <sup>a</sup>	72,8 <sup>b</sup>	77,1 <sup>c</sup>	76,1 <sup>c</sup>	0,81	0,001	0,56
Propionsyre (molar %)	15,5 <sup>a</sup>	22,5 <sup>b</sup>	18,0 <sup>c</sup>	19,2 <sup>c</sup>	0,80	0,001	0,80
Smørsyre (molar %)	3,7 <sup>a</sup>	4,0 <sup>a</sup>	4,3 <sup>a</sup>	4,2 <sup>a</sup>	0,21	0,24	0,49

<sup>a,b,c</sup> Verdier med ulik bokstav innen samme rad er signifikant forskjellige (P<0,05)

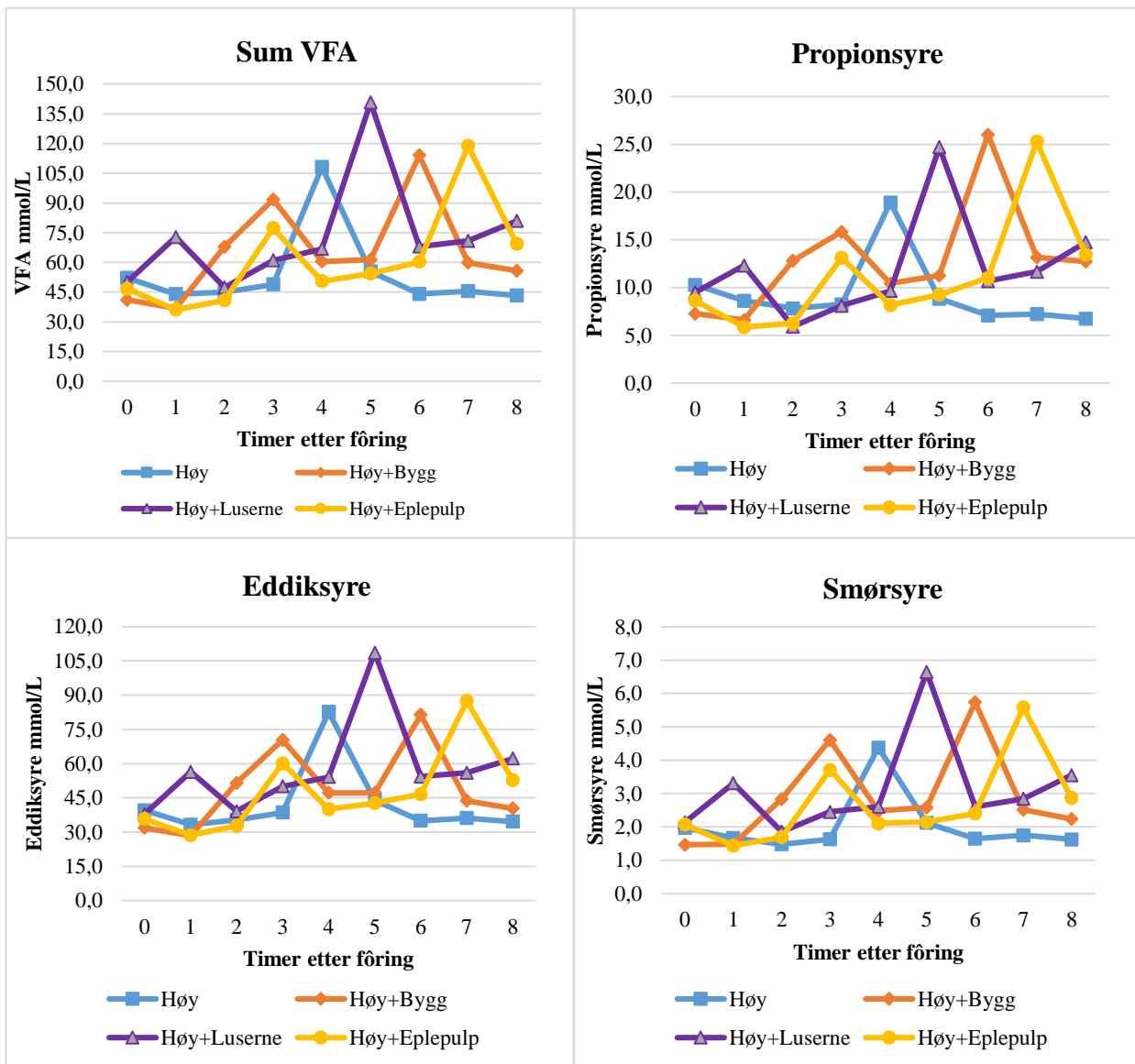
### Vedlegg 3: Resultater på serum insulin og blodglukose



Figur 8: Endring i serum insulin og blodglukose ved ulike rasjoner, inntil 8 timer etter føring.



## Vedlegg 4: VFA-konsentrasjon i blindtarmen inntil 8 timer etter fôring



Figur 9: VFA-konsentrasjon i blindtarmen, inntil 8 timer etter fôring.



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
67 23 00 00  
[www.nmbu.no](http://www.nmbu.no)