



Næringsstofomsætningen i mave-tarmkanalen hos køer tildelt forskellige mængder sojaskrå eller urea sammen med bygghelsæd samt modellering af proteinomsætningen i vommen

Nutrient metabolism in the digestive tract of cows fed with different amounts of soya bean meal or urea together with barley whole crop and modelling of the rumen protein metabolism

Martin Riis Weisbjerg¹⁾, Torben Hvelplund¹⁾ og Bo Martin Bibby²⁾

¹⁾ Afd. for Forsøg med Kvæg og Får

²⁾ Afd. for Biometri og Informatik

STATENS HUSDYRBRUGSFORSØG

**Forskningscenter Foulum, Postboks 39, 8830 Tjele
Tlf. 89 99 19 00. Fax 89 99 19 19**

**Forskningscenter Bygholm, Postboks 536, 8700 Horsens
Tlf. 75 60 22 11. Fax 75 62 48 80**

Statens Husdyrbrugsforsøg har til formål at gennemføre forskning samt indsamle og opbygge viden af betydning for erhvervsmæssigt husdyrbrug og jordbrugsteknik i Danmark. I forskningen skal der lægges vægt på ressourceudnyttelse, dyrevelfærd, internt og eksternt miljø, produkternes kvalitet og konkurrenceevne samt en hurtig og sikker formidling af resultaterne til brugerne.

Institutionen er opdelt i fem forskningsafdelinger samt et Centrallaboratorium, en Afdeling for Landbrugsdrift og et Sekretariat. Forskningsafdelingerne omfatter tre dyreartsorienterede afdelinger: Afd. for Forsøg med Kvæg og Får, Afd. for Forsøg med Svin og Afd. for Mindre Husdyr samt to tværdisciplinære afdelinger: Afd. for Dyrefysiologi og Biokemi samt Afd. for Jordbrugsteknik.

Husdyrforskningen finder fortrinsvis sted på Forskningscenter Foulum, mens den jordbrugstekniske forskning udføres på Forskningscenter Bygholm. Herudover har institutionen adgang til en række privat-/organisationsejede forsøgsstationer m.m.

Forskningsresultaterne publiceres i internationale videnskabelige tidsskrifter samt i publikationer udgivet af Statens Husdyrbrugsforsøg. Abonnement på Årsrapporter, Forskningsrapporter, Beretninger og Informationsblad kan tegnes ved direkte henvendelse til ovenstående adresse.

NATIONAL INSTITUTE OF ANIMAL SCIENCE

**Research Centre Foulum, P.O. Box 39, DK-8830 Tjele
Tel. +45 89 99 19 00. Fax +45 89 99 19 19**

**Research Centre Bygholm, P.O. Box 536, DK-8700 Horsens
Tel. +45 75 60 22 11. Fax +45 75 62 48 80**

The aim of the National Institute of Animal Science is to carry out research and accumulate knowledge of importance to animal husbandry and agricultural engineering. In the research great importance is attached to the utilization of resources, environment, animal welfare and to the quality and competitiveness of the agricultural products and a rapid and efficient dissemination of the results to the users.

The institute comprises five research departments: Dept. for Research in Cattle and Sheep, Dept. for Research in Pigs, Dept. for Small Farm Animals, Dept. for Animal Physiology and Biochemistry, and Dept. for Agricultural Engineering. Service departments include a Central Laboratory, a Department for Farm Management and Services, and a Secretariat.

The technical research takes place at Research Centre Bygholm. The research departments for animal sciences together with management and service departments are located at Research Centre Foulum.

Research results are published in international scientific journals and in publications from the National Institute of Animal Science. For subscription to reports and other publications please contact the above address directly.

Forskningsrapport nr. 27
fra Statens Husdyrbrugsforsøg

Report No. 27

from the National Institute of Animal Science, Denmark

Næringsstofomsætningen i mave-tarmkanalen
hos køer tildelt forskellige mængder sojaskrå
eller urea sammen med byghelsæd samt
modellering af proteinomsætningen i vommen

*Nutrient metabolism in the digestive tract of cows fed with
different amounts of soya bean meal or urea together with
barley whole crop and modelling of the rumen protein
metabolism*

With English summary and subtitles

Martin Riis Weisbjerg¹⁾, Torben Hvelplund¹⁾ og Bo Martin Bibby²⁾

¹⁾ *Afd. for Forsøg med Kvæg og Får*

²⁾ *Afd. for Biometri og Informatik*

Indholdsfortegnelse

	Side
Sammendrag	5
English summary	6
1 Indledning	7
2 Materiale og metode	8
3 Resultater og diskussion	9
3.1 Fordøjelighedsforsøg	9
3.1.1 Fordøjeligheder	9
3.1.2 Målinger på vomvæske	10
3.1.3 Nedbrydning af tørstof og protein i nylonpose	13
3.1.4 Duodenumflow af aminosyrer og mikrobiel proteinsyntese	13
4 Modellering af proteinomsætningen i vommen	17
4.1 Formulering af modellen	18
4.2 Statistisk analyse	19
4.3 Resultater	20
5 Generel diskussion	23
Anerkendelser	24
Litteratur	24

Contents

	Page
Danish summary	5
English summary	6
1 Introduction	7
2 Materials and methods	8
3 Results and discussion	9
3.1 Digestibility experiments	9
3.1.1 Digestibilities	9
3.1.2 Measurements on rumen fluid	10
3.1.3 Degradation of dry matter and protein in nylon bags	13
3.1.4 Duodenal flow of amino acids and microbial protein synthesis	13
4 Modelling of protein metabolism in the rumen	17
4.1 The model formulation	18
4.2 Statistical analysis	19
4.3 Results	20
5 General discussion	23
Acknowledgements	24
References	24

Sammendrag

Soyaskrå og urea er sammenlignet som proteintilskud til byghelsæd i fordøjelighedsforsøg med vom, duodenum og ileum fistulerede lakterende køer. Ialt 4 behandlinger (proteintilskud), urea (U), soyaskrå (S), urea + soyaskrå (U+S) og ingen tilskud (mangelbehandling) (M) blev undersøgt i et 4 x 4 romer kvadrat forsøg. Der var stor forskel mellem behandlingerne i vomvæskens indhold af NH_3 . I gennemsnit over døgnet indeholdt vomvæsken 10; 10; 15 og 6 mg $\text{NH}_3/100$ ml for henholdsvis behandling U; S; U+S og M, hvorimod der ingen behandlingseffekt var i koncentrationen af de vigtigste flygtige fedtsyrer. Der var ingen signifikante effekter af proteintilskuddet på fordøjeligheden af cellevægskulhydrater i vommen eller i hele fordøjelseskanaalen, men der var en tendens til at behandling U+S resulterede i højere fordøjeligheder af cellevægskulhydrater end de øvrige 3 behandlinger. Den mikrobielle syntese af aminosyre-N var 24 g pr. kg total fordøjet kulhy-

drat for behandling U, S og U+S, mens den var 21 g pr. kg total fordøjet kulhydrat for behandling M.

Resultaterne fra forsøget dannede grundlag for modelberegninger, hvor der ud fra en model over omsætningen af protein blev foretaget en samtidig tilpasning til ammoniakprofiler målt over døgnet og nedbrydningskurver for protein og kulhydrat. Modelberegningen gav biologisk rimelige værdier for de estimerede parametre, og modelberegninger af denne slags er en mulighed for at opnå estimer for biologiske parametre, som er svære eller umulige at måle in vivo.

Forsøget viste, at det højeste proteinniveau (og PBV niveau) gav den højeste fordøjelighed af cellevægskulhydrater, selv om forskellene ikke var signifikante, og at det lave proteiniveau (M) gav en lavere effektivitet af den mikrobielle proteinsyntese end de øvrige behandlinger.

English summary

Soya bean meal and urea was compared as protein sources to a barley whole crop ration in a digestibility trial using rumen, duodenal and ileal fistulated lactating cows. Four treatments (protein supplements) which were urea (U), soya bean meal (S), urea + soya bean meal (U+S) and no supplement (deficient, M) were examined in a 4 x 4 latin square. A large difference in the content of NH_3 in rumen fluid was observed between treatments, and in mg NH_3 /100 ml the treatment means were 10; 10; 15 and 6 for treatment U, S, U+S and M, respectively. No differences were observed in the concentration of the major VFA's in rumen fluid. No significant differences in fiber digestibility in the rumen or in the total gut were observed, although there was a tendency towards higher fiber digestibility for treatment U+S compared to the other 3 treatments. The microbial synthesis of amino acid-N was 24 g per kg total digested carbohydrates for treatment U, S and

U+S and 21 g per kg total digested carbohydrates for treatment M.

The results from the experiment were used in model calculations based on rumen protein metabolism. A simultaneous fitting of the ammonia concentrations over the day and degradation profiles for protein and carbohydrates was used. The model calculations gave biologically reasonable results for the estimated parameters, and this type of model calculation can be a usefull way to obtain estimates for parameters which are difficult or impossible to obtain in vivo.

The experiment showed, that the highest protein level and highest PBV (protein balance in the rumen) level resulted in the highest fiber digestibilities, although the differences were not significant, and that the low protein level (M) resulted in a reduced efficiency of the microbial protein synthesis compared to the other treatments.

1 Indledning

Helsædsensilage af byg og hvede har vundet stor udbredelse de senere år. Ved fodring med helsædsensilage er det blevet anbefalet at give tilskud af urea til helsædsensilagen i en sådan mængde, at PBV (proteinbalancen i vommen) i helsædsensilagen var omkring 0. Denne anbefaling er begrundet i, at man ellers kunne risikere, at omsætningen af de store mængder stivelse i helsæden ville reducere ammoniakkoncentrationen i vommen så meget, at fordøjeligheden af cellevægskulhydraterne ville blive reduceret. Ureaen kan helt eller delvist erstattes af nedbrydeligt protein fra andre fodermidler afhængig af, hvorledes optagelsen af dette nedbrydelige protein tidsmæssigt er fordelt i forhold til optagelsen af fordøjelige kulhydrater i helsædsensilage.

Imidlertid er der i tidligere forsøg som diskuteret af Aaes (1991) fundet, at tildeling af oliekegprotein som erstatning for urea har givet en højere produktion, også i tilfælde, hvor der burde være tilstrækkelige mængder af fordøjelige kulhydrater til at udnytte ureaen. Dette kan skyldes, at vommikroberne har et vist behov for ned-

brydeligt renprotein (Thomsen, 1985).

Drøvtyggere kan via spyttet recirkulere urea til vommen. Der skulle således kunne tillades et vist underskud af PBV (idet PBV angiver balancen uden hensyntagen til recirkulering) uden nedgang i cellevægfordøjelighed og mikrobiel proteinsyntese, hvilket også fremgår af de danske normer (Strudsholm et al., 1992), der tillader negativ PBV. Det er dog stadig usikkert, hvor stor en evne køer har til at recirkulere urea, og hvorledes recirkuleringen evt. varierer med fodring og over døgnet.

Formålet med dette forsøg er at undersøge, hvorledes et tilskud af 2 forskellige proteinkilder (urea og sojaskrå) til en foderration, hvor grovfoderet består af byghelsæd og fodersukkerroer, påvirker den mikrobielle proteinsyntese og fordøjeligheden af cellevægskulhydrater hos køer. Foruden målinger af mikrobiel proteinsyntese og kulhydratfordøjelse, vil målinger af vomvæskens indhold af ammoniak og flygtige fedtsyrer give et grundlag for at forklare, hvorledes vomomsætningen påvirkes af forskellige proteintilskud.

2 Materiale og metoder

Der blev anvendt 4 vom- og tarmfistulerede lakterende sortbrogede køer. Forsøgsdesignet var et 4x4 romerkvadrat med 4 perioder á 3 uger og 4 proteintildelinger. Foderrationerne fremgår af tabel 1 og enkeltfodermidlerne blev tildelt restriktivt og separat 2 gange dagligt (8⁰⁰ og 16⁰⁰) i 2 separate krybber, en til grovfoder og en til kraftfoder. Det ses af tabel 1, at behandlingerne består af henholdsvis urea (U), sojaskrå (S), urea + sojaskrå (U+S) samt en behandling, som formodes at medføre proteinmangel (M). Ved de behandlinger, hvor urea erstattes med sojaskrå (S og U+S) er bygmængden reduceret tilsvarende for at give ens tørstofoptagelse, hvorimod tildelingen af roer og helsæd er ens for alle behandlinger. Det forventede næringsstof-indhold i rationen ifølge tabelværdier (Strudsholm et al., 1993) er også givet i tabel 1.

De sidste 3 døgn i hver af de 4 3-ugers perioder udtoges prøver fra vom, tarm og gødning med

6 eller 4 timers mellemrum, således at der ialt blev udtaget 12 prøver, der dækkede hver anden time over døgnet. pH i vomvæsken blev målt umiddelbart efter udtagning af vomprøverne. Vom-, tarm- og gødningsprøver blev puljet indenfor ko og behandling. Tarm- og gødningsprøver blev derefter frysetørret før analysering. I opsamlingsperioden blev der udtaget foderprøver til analyse.

Næringsstoffernes fordøjelighed i vommen og i hele fordøjelseskanalen blev målt ved hjælp af ufordøjelige markører, som blev tildelt gennem vomfistlen. Fordøjeligheden af de enkelte næringsstoffer kan derefter beregnes ud fra det gennemsnitlige indhold i tarmsaften og i gødningen af markørerne i forhold til indholdet af næringsstoffer.

Som markører blev anvendt 10 g kromoxid og 40 g Polyethylenglycol (PEG) tildelt 2 gange dagligt.

Tabel 1 Foderrationernes sammensætning samt forventet næringsstofindhold, pr. ko og dag.

U = urea, S = sojaskrå, M = mangel

Composition of feed rations and expected nutrient content per cow and day.

U = urea, S = soya bean meal, M = deficiency

Sammensætning <i>Composition</i>	Ration - Ration							
	U		S		U+S		M	
	Kg ts Kg DM	FE SFU	Kg ts Kg DM	FE SFU	Kg ts Kg DM	FE SFU	Kg ts Kg DM	FE SFU
Byghelsæd - <i>Barley whole crop</i>	7	5,26	7	5,26	7	5,26	7	5,26
Roer - <i>Fodder beets</i>	4	3,88	4	3,88	4	3,88	4	3,88
Byg - <i>Barley</i>	2,5	2,87	1,1	1,26	1,1	1,26	2,5	2,87
Sojaskrå - <i>Soya bean meal</i>	1	1,30	2,4	3,12	2,4	3,12	1	1,30
Urea - <i>Urea</i>	0,14				0,14			
Mineral type I - <i>Mineral mixture</i>	0,2		0,2		0,2		0,2	
Foderoptagelse - <i>Feed intake</i>	14,8	13,3	14,7	13,5	14,8	13,5	14,7	13,3
<u>Forventet næringsstofindhold (g/dag) - Expected nutrient content (g/day)</u>								
Ford. råprotein - <i>Dig. crude protein</i>	1688		1793		2157		1324	
AAT daglig/pr. FE - <i>AAT daily/per SFU</i>	1223 / 91		1341 / 99		1341 / 99		1223 / 91	
PBV - <i>PBV</i>	157		145		548		-246	
Fedtsyrer - <i>Fatty acids</i>	161		161		161		161	

Mælkeydelsen blev registreret de to sidste døgn i perioderne. Tørstof- og proteinnedbrydningen blev i de enkelte fodermidler målt simultant vha. nylonposemetoden (Kristensen et al., 1982).

De kemiske analyser blev foretaget som beskrevet i "Håndbog for rekvirenter af kemiske

analyser" (Anom., 1992).

Den statistiske bearbejdning er foretaget vha. GLM proceduren med behandling, periode og ko som klassevariable (SAS, 1985), og spredningen på målingerne er givet som spredning på Mindste Kvadraters (MK) gennemsnit.

3 Resultater og diskussion

3.1 Fordøjelighedsforsøg

3.1.1 Fordøjeligheder

Optagelsen af næringsstoffer er vist i tabel 2. Det ses, at bortset fra optagelsen af N, stivelse og kulhydrat har optagelsen af næringsstoffer været ret ens på de 4 behandlinger.

Fordøjeligheden af de forskellige næringsstoffer i vommen (foder-duodenum differens) er vist i tabel 3. Bortset fra fordøjeligheden af kvælstof er der ingen af næringsstofferne, der er signifikant påvirkede af behandlingen, dog er der tendens til

at fordøjeligheden af organisk stof og af cellevægskulhydrater (træstof, NDF, ADF) er højere ved behandling U+S og lavere ved behandling M end ved behandling U og S.

Stivelsesfordøjelighederne var generelt lave, og der var stor forskel mellem to køer, som var fistuleret umiddelbart bag pylorus, og to køer, der var fistuleret ca. 1 meter bag pylorus. Således var stivelsesfordøjeligheden over vommen betydelig lavere hos de, der var fistuleret umiddelbart bag pylorus, hvilket sandsynligvis skyldes en over-

Tabel 2 Næringsstofoptagelse (kg pr. døgn)
Nutrient intake (kg per day)

	Behandling - Treatment			
	U	S	U+S	M
Tørstof - <i>Dry matter</i>	14,53	14,45	14,58	14,35
Organisk stof - <i>Organic matter</i>	13,70	13,55	13,68	13,53
Aske - <i>Ash</i>	0,826	0,892	0,891	0,824
Råfedt - <i>Crude fat</i>	0,408	0,406	0,406	0,407
N - <i>N</i>	0,370	0,391	0,454	0,305
Træstof - <i>Crude fibre</i>	2,16	2,21	2,21	2,15
NDF - <i>NDF</i>	4,17	4,18	4,18	4,15
ADF - <i>ADF</i>	2,31	2,39	2,40	2,30
Stivelse - <i>Starch</i>	2,60	1,77	1,77	2,60
Sukker - <i>Sugar</i>	2,65	2,75	2,75	2,65
Kulhydrat - <i>Carbohydrate</i>	10,98	10,70	10,44	11,21
Svovl - <i>Sulphur</i>	0,022	0,026	0,025	0,022

Tabel 3 Tilsyneladende fordøjelighed i vommen af foderets forskellige komponenter (% af optaget)

Apparent digestibilities in the rumen of the different feed fractions (% of intake)

	Behandling - Treatment				Spredning på MK gennemsnit S.E. of LS-means	P - P
	U	S*	U+S	M		
Tørstof - Dry matter	31,3	27,9	35,4	24,1	4,1	0,4
Organisk stof - Organic matter	40,8	36,8	44,8	33,8	3,8	0,3
Aske - Ash	-126	-108	-109	-135	11,2	0,4
Råfedt - Crude fat	-122	-115	-98	-120	6,5	0,2
N - N	-12,1	-18,9	3,1	-40,8	3,3	0,001
Træstof - Crude fibre	38,6	37,4	46,8	35,5	5,6	0,6
NDF - NDF	37,4	34,9	44,8	32,5	6,1	0,6
ADF - ADF	37,1	36,1	44,0	32,7	5,4	0,6
Stivelse - Starch	75,9	67,2	73,1	58,0	4,6	0,1
Sukker - Sugar	93,4	93,1	93,5	93,3	0,2	0,6
Kulhydrat - Carbohydrate	57,8	55,3	61,5	52,1	4,1	0,5

* Spredning på MK gns. er 1,3 gange større p.g.a. mistet duodenum prøve.
S.E. of LS-means is 1.3 times higher due to lost duodenum sample.

Tabel 4 Tilsyneladende fordøjelighed foder-fæces af foderets forskellige komponenter (% af optaget)

Apparent digestibilities feed-faeces of the different feed fractions (% of intake)

	Behandling - Treatment				Spredning på MK gennemsnit S.E. of LS-means	P - P
	U	S	U+S	M		
Tørstof - Dry matter	69,0	69,1	71,4	68,8	1,3	0,5
Organisk stof - Organic matter	70,5	70,9	73,1	70,5	1,3	0,5
Aske - Ash	44,1	41,8	45,5	41,6	2,1	0,5
Råfedt - Crude fat	52,4	51,9	53,4	53,5	1,6	0,9
N - N	68,1	69,1	73,9	62,3	1,0	0,001
Træstof - Crude fibre	39,7	44,5	47,3	41,9	3,1	0,4
NDF - NDF	43,1	45,4	50,0	44,3	3,0	0,4
ADF - ADF	38,6	43,9	47,5	40,7	3,4	0,4
Stivelse - Starch	97,3	96,3	96,6	95,6	0,6	0,4
Kulhydrat - Carbohydrate	71,7	72,0	73,6	72,5	1,4	0,8

repræsentation af stivelse i de prøver, der er udtaget her (Palmquist et al., 1993). Generelt var kulhydratfordøjeligheden lavest på mangelholdet. Fordøjeligheden foder-fæces (tabel 4) viser samme tendens som vomfordøjeligheden. Kun proteinfordøjeligheden er signifikant påvirket af behandlingen, og den tilsyneladende proteinfordøjelighed stiger som forventet med stigende proteinniveau

(Thomsen, 1979). Der er tendens til, at U+S-behandlingen har medført en højere fordøjelighed af organisk stof, træstof, NDF og ADF, hvorimod de øvrige behandlinger ikke afveg fra hinanden.

3.1.2 Målinger på vomvæske

Døgnvariationen i vomvæskens pH er vist i figur 1. Det ses, at pH-niveauet har været ret ens for de

Tabel 8 a, b og c¹⁾ værdier samt effektiv nedbrydning ved 5% passagehastighed for protein i sojaskrå, byg og helsæd
a, b, and c¹⁾ values plus effective degradation at 5% passage rate for protein in soya bean meal, barley, and whole crop

	Behandling - Treatment				Spredning på MK gns.	P
	U	S	U+S	M	S.E. of LS-means	
<u>Sojaskrå - Soya bean meal</u>						
a	0,254	0,251	0,247	0,233	0,013	0,7
b	0,759	0,760	0,771	0,792	0,015	0,4
c	0,093	0,098	0,099	0,085	0,006	0,3
Eft. nedbr. - Effective degradation	0,734	0,747	0,759	0,725	0,007	0,5
<u>Byg - Barley</u>						
a	0,444	0,454	0,427	0,473	0,020	0,5
b	0,548	0,516	0,553	0,524	0,021	0,6
c	0,081	0,157	0,171	0,093	0,025	0,1
Eft. nedbr. - Effective degradation	0,774	0,842	0,846	0,808	0,016	0,06
<u>Helsæd - Whole crop²⁾</u>						
a	0,862	0,840	0,854	0,858	0,007	0,3
b	0,060	0,083	0,068	0,061	0,016	0,8
c	0,041	0,068	0,119	0,044	0,05	0,8
Eft. nedbr. - Effective degradation	0,882	0,882	0,882	0,883	0,003	1

¹⁾ a beskriver den vandopløselige del; b den potentielt nedbrydelige men ikke vandopløselige del og c er hastighedskonstanten (andel pr. time) hvormed b fraktionen nedbrydes (Weisbjerg et al., 1990).

a is the water soluble fraction; b is the potential degradable but not water soluble fraction and c is the rate constant (h^{-1}) for degradation of the b fraction (Weisbjerg et al., 1990).

²⁾ For helsæd mangler der 1 observation for behandling U og behandling U+S.

For whole crop 1 observation is missing for treatments U and U+S.

ningen af vomunedbrudt N og aminosyre-N for sojaskrå og byg anvendt en gennemsnitlig nedbrydningsgrad ved 5% passagehastighed, korrigeret for partikeltab som beskrevet af Weisbjerg et al. (1990). Dette giver en effektivt proteinnedbrydningsgrad på 68,8% for sojaskrå og 70,6 for byg. Da proteinnedbrydningsgraden af roer ikke blev målt, er tabelværdien (Strudsholm et al., 1993) på 82% brugt. Da det er tvivlsomt, hvorvidt partikeltabet ved nylonposemålinger af helsæd er repræsentativt, er der også for helsæd anvendt tabelværdi på 82%. Andelen af aminosyrer i vomunedbrudt protein er sat til værdierne i det nordiske proteinvurderingssystem, nemlig 85% for byg og sojaskrå og 65% for helsæd og roer. Det ses af tabel 10, at forskellen i duodenumflow af aminosyre-N på ca. 20g mellem behandling U og behandlingerne S og U+S kan forklares ved den ekstra optagelse af vomunedbrudt aminosyre-N,

der følger den højere optagelse af sojaskrå.

For mangelbehandlingen ligger den mikrobielle proteinsyntese (kg/dag) lavere end på de tre andre behandlinger, og det afspejles i et tilsvarende lavere duodenumflow af DAPA. Dette skyldes en mindre mængde fordøjet kulhydrat i vommen, idet den mikrobielle syntese pr. kg vomfordøjet kulhydrat er ret konstant, uafhængig af behandling. Imidlertid har der ved mangelbehandlingen været en kompensatorisk fordøjelse af kulhydrat i tynd- og tyktarm, så beregnet på total fordøjet kulhydrat er den mikrobielle proteinsyntese pr. kg fordøjet kulhydrat lavere. Værdierne for den mikrobielle proteinsyntese er alle højere end værdien på 20 g AA-N pr. kg total fordøjet kulhydrat, som bruges i det nordiske proteinvurderingssystem, men ligger tæt på det gennemsnit for 25 kraftfoderrige rationer på 22g AA-N pr. kg total fordøjet kulhydrat, som blev fundet af Hvelplund & Madsen (1985).

Tabel 7 a, b og c¹⁾ værdier samt effektiv nedbrydning ved 5% passagehastighed for tørstof i sojaskrå, byg og helsæd
a, b, and c¹⁾ values plus effective degradation at 5% passage rate for dry matter in soya bean meal, barley, and whole crop

	Behandling - Treatment				Spredning på MK gns.	P
	U	S	U+S	M	S.E. of LS-means	
<u>Sojaskrå - Soya bean meal</u>						
a	0,385	0,382	0,377	0,363	0,006	0,2
b	0,623	0,628	0,624	0,665	0,008	0,03
c	0,0889	0,0933	0,0963	0,0806	0,0033	0,06
Eft. nedbr. - Effective degradation	0,776	0,786	0,799	0,770	0,0057	0,04
<u>Byg - Barley</u>						
a	0,515	0,502	0,510	0,527	0,015	0,7
b	0,406	0,480	0,424	0,395	0,019	0,8
c	0,186	0,374	0,281	0,247	0,039	0,07
Eft. nedbr. - Effective degradation	0,834	0,860	0,862	0,852	0,005	0,02
<u>Helsæd - Whole crop</u>						
a	0,493	0,495	0,501	0,506	0,012	0,9
b	0,404	0,349	0,350	0,423	0,037	0,4
c	0,0185	0,0291	0,0271	0,0246	0,005	0,4
Eft. nedbr. - Effective degradation	0,599	0,621	0,621	0,620	0,008	0,2

¹⁾ a beskriver den vandopløselige del; b den potentielt nedbrydelige men ikke vandopløselige del og c er hastighedskonstanten (andel pr. time) hvormed b fraktionen nedbrydes (Weisbjerg et al., 1990).
a is the water soluble fraction; b is the potential degradable but not water soluble fraction and c is the rate constant (h⁻¹) for degradation of the b fraction (Weisbjerg et al., 1990).

3.1.3 Nedbrydning af tørstof og protein i nylonpose

Nedbrydningsgraden af tørstof og protein i fodermidlerne sojaskrå, byg og helsæd blev målt i nylonpose inkuberet i vommen på de samme køer som anvendtes i fordøjelsesforsøget. Resultaterne for tørstof er vist i tabel 7 og for protein i tabel 8.

Resultaterne er givet som vandopløselig del **a** (den del, der vaskes ud af poserne), potentiel nedbrydelig, men ikke vandopløselig del **b** og hastighedskonstanten for nedbrydning **c**, som beskrevet af Weisbjerg et al. (1990). Det ses af tabel 7, at hastighedskonstanten **c** for tørstofnedbrydning er lidt højere ved de 2 behandlinger, hvor der er tildelt ekstra sojaskrå, og dette bevirker en højere effektiv nedbrydning for både sojaskrå, byg og helsæd. Samme tendens ses for protein i tabel 8 for sojaskrå og byg, men her er effekten ikke signifikant.

3.1.4 Duodenumflow af aminosyrer og mikrobiel proteinsyntese

Aminosyremængden ved duodenum samt de individuelle aminosyrers andel er givet i tabel 9. Mangelbehandlingen gav det laveste aminosyre-flow, behandlingerne med sojaskrå de højeste, og ureabehandlingen lå midt imellem, men forskellene var ikke signifikante. Diaminopimelic acid (DAPA) er en aminosyre, der findes i mikroberne og bruges som mikrobiel markør. Flowet af DAPA var lavest på mangelbehandlingen, men var ikke signifikant forskellig mellem behandlinger, men det indikerer at den mikrobielle aminosyresyntese har været lavere ved behandling M.

Fordelingen mellem de individuelle aminosyrer viste ingen forskelle mellem behandlinger.

Den mikrobielle proteinsyntese er beregnet i tabel 10. Da proteinnedbrydningsgraderne (tabel 8) ikke var signifikant forskellige, er der til bereg-

tabel 5. Ammoniakkurverne i figur 2 afspejler klart de 3 niveauer af tildelt protein, og det ses også, at ved samme proteintildeling i henholdsvis sojaskrå og urea er det som forventet urea, der giver det højeste ammoniakniveau. For samtlige tider, på nær 6³⁰, er der en signifikant effekt af behandling på ammoniakkoncentrationen.

På trods af at behandlingerne havde en stor indflydelse på pH og ammoniakkoncentrationen i vomvæsken, har behandlingerne ikke påvirket koncentrationen og fordelingen af de flygtige fedtsyrer i vomvæsken, som det ses af tabel 6. Kun andelen af isosmørsyre er påvirket af be-

handlingerne, og det skyldes at isosmørsyre overvejende dannes ved nedbrydning og deaminering af renprotein. Derfor er niveauet højest ved de behandlinger, hvor der er tildelt ekstra sojaskrå.

En stor del af forsyningen med svovl til vommen sker via nedbrydning af svovlholdige aminosyrer. Derfor anbefales det normalt at give et svovltilskud sammen med urea, hvis urea erstatter en større del af foderproteinet. I dette forsøg blev der ikke givet tilskud af svovl sammen med urea, men som det ses af tabel 6 har svovlniveauet i vomvæsken ikke været signifikant lavere på de behandlinger, hvor der ikke blev givet sojaskrå.

Tabel 6 Koncentration af flygtige fedtsyrer (VFA) samt svovl og mol fordelingen af flygtige fedtsyrer i vomsaften

Concentration of volatile fatty acids (VFA) and sulphur and molar proportion of volatile fatty acids in the rumen fluid

	Behandling - Treatment				Spredning på MK gns. S.E. of LS-means	P
	U	S	U+S	M		
Total VFA konc.(mmol/100 ml) <i>Total VFA conc. (mmol/100 ml)</i>	11,9	11,6	12,2	12,0	0,9	1,0
Andel af total VFA (mol/100 mol) <i>Part of total VFA (mol/100 mol)</i>						
Eddikesyre <i>Acetic acid</i>	57,6	58,2	58,6	56,8	0,7	0,4
Propionsyre <i>Propionic acid</i>	21,6	20,8	21,0	20,3	0,6	0,5
Isosmørsyre <i>Isobutyric acid</i>	0,51	0,60	0,64	0,53	0,02	0,02
Smørsyre <i>Butyric acid</i>	18,0	18,2	17,4	19,4	0,7	0,3
Isovalerinsyre <i>Isovaleric acid</i>	1,1	1,0	1,1	1,0	0,1	0,9
Valerinsyre <i>Valeric acid</i>	1,3	1,4	1,3	1,9	0,3	0,5
Eddikesyre/propionsyreforhold <i>Acetic acid/propionic acid ratio</i>	2,71	2,81	2,81	2,80	0,07	0,7
Svovl (g/100 ml) <i>Sulphur (g/100 ml)</i>	0,0051	0,0053	0,0053	0,0049	0,0004	0,8

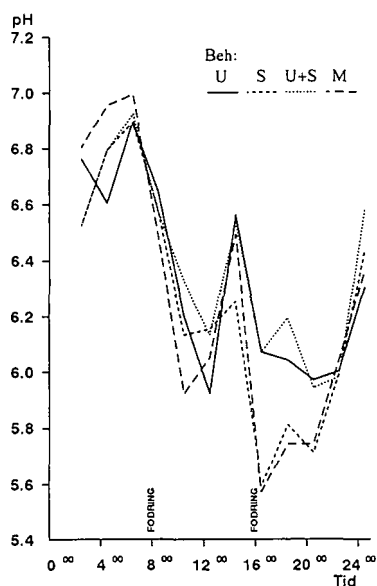


Fig. 1 Døgnvariation i vomvæskens pH
Diurnal variation in rumen fluid pH

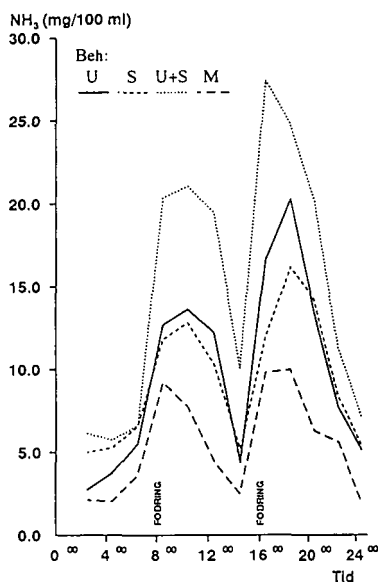


Fig. 2 Døgnvariation i vomvæskens ammoniakkoncentration
Diurnal variation in ammonia concentration in the rumen fluid

Tabel 5 NH_3 koncentration i vomvæsken over døgnet (mg $\text{NH}_3/100$ ml)
Diurnal variation in NH_3 concentration in the rumen fluid (mg $\text{NH}_3/100$ ml)

Behandling Treatment	Tidspunkt - Time												Gns. Mean
	0 ³⁰	2 ³⁰	4 ³⁰	6 ³⁰	8 ³⁰	10 ³⁰	12 ³⁰	14 ³⁰	16 ³⁰	18 ³⁰	20 ³⁰	22 ³⁰	
U	5,1	2,9	3,8	5,5	12,5	13,6	12,2	4,4	16,6	20,3	13,4	7,7	10,0
S	5,4	4,9	5,3	6,6	11,8	12,8	10,3	5,2	12,0	16,2	14,2	8,3	9,6
U+S	7,1	6,3	5,8	6,6	20,4	21,0	19,5	10,1	27,4	24,7	20,1	11,2	15,2
M	2,0	1,9	2,0	3,6	9,2	7,7	4,5	2,5	9,8	10,0	6,3	5,6	5,5
Spredning på MK gns. S.E. of LS means	0,8	0,7	0,5	0,9	2,2	1,4	0,5	0,9	3,4	1,2	1,4	1,2	0,7
P	0,03	0,06	0,006	0,2	0,05	0,003	<0,0001	0,006	0,04	0,0005	0,003	0,09	0,0003

4 behandlinger, bortset fra perioden efter eftermiddagsfodringen, hvor pH-faldet er betydeligt stærkere for de to behandlinger, der ikke får urea, sammenlignet med ureaholdene. Der er signifikant behandlingseffekt for tiderne 16³⁰ (P=0,006) og 18³⁰ (P=0,04). Ved tiden 16³⁰ betyder det, at pH ved behandling U og U+S på begge behandlinger var 6,07, hvor pH ved behandling S og M var henholdsvis 5,59 og 5,57. Fodringen med urea har

således modvirket et pH-fald til under 6, hvor fordøjeligheden af cellevægskulhydrater er meget begrænset (Mould et al., 1993). Også efter morgenfodringen er der tendens til mindre pH-fald ved U+S-behandlingen.

Forklaringen på det lidt højere pH på holdene U og U+S er sandsynligvis det meget højere ammoniakniveau i vomvæsken, der er ved urea-behandlingerne, især U+S, som det ses af figur 2 og

Det tyder således på, at den mikrobielle protein-syntese har været ens uafhængig af om proteinkilden er sojaskrå eller urea. Ved mangelholdet har proteinmanglen bevirket en lavere kulhydratfordøjelighed i vommen, der igen har bevirket en lavere mikrobiel proteinsyntese. I tabel 10 er der også beregnet den opnåede "PBV" som forskellen

mellem optaget "nedbrudt" protein og mikrobielt syntetiseret protein. Det ses, at for behandling U, S og U+S ligger værdierne tæt på de i tabel 1 forventede værdier, mens det for behandling M langt fra har opnået den forventede negative værdi, hvilket skyldes den lavere mikrobielle proteinsyntese på denne behandling.

Tabel 9 Flow af aminosyre-N til duodenum

Flow of amino acid-N to duodenum

	Behandling - Treatment				Spredning på MK gennemsnit S.E. of LS-means	P
	U	S*	U+S	M		
Duodenumflow kg AA-N/døgn						
<i>Duodenal flow kg AA-N/day</i>						
Total - Total	0,272	0,292	0,288	0,252	0,018	0,5
DAPA - DAPA	0,00218	0,00216	0,00200	0,00192	0,00012	0,5
AA sammensætning i duodenumflow (% på N basis)						
<i>AA composition in duodenal flow (% on N basis)</i>						
Alanin - Alanine	7,65	7,61	7,68	7,49		
Arginin - Arginine	10,92	11,34	11,39	10,92		
Asparaginsyre - Aspartic acid	8,30	8,44	8,44	7,98		
Cystin - Cystine	1,38	1,41	1,36	1,38		
DAPA - DAPA	0,79	0,74	0,69	0,76		
Glutaminsyre - Glutamic acid	9,65	9,45	9,35	10,46		
Glycin - Glycine	11,70	11,04	11,10	11,61		
Histidin - Histidine	4,25	4,45	4,42	4,29		
Isoleucin - Isoleucine	4,11	4,16	4,17	4,02		
Leucin - Leucine	5,52	5,69	5,70	5,57		
Lysin - Lysine	10,51	10,36	10,34	9,88		
Methionin - Methionine	1,28	1,29	1,28	1,29		
Ornitin - Ornithine	0,24	0,22	0,29	0,22		
Phenylalanin - Phenylalanine	2,68	2,74	2,75	2,76		
Prolin - Proline	4,05	3,89	3,93	4,62		
Serin - Serine	4,92	5,01	4,97	4,90		
Threonin - Threonine	4,62	4,61	4,62	4,48		
Tyrosin - Tyrosine	2,12	2,18	2,18	2,10		
Valin - Valine	5,30	5,36	5,33	5,26		

* Spredning på MK gns. er 1,3 gange så høj som den viste p.g.a. en manglende observation.
S.E. of LS-means is 1.3 times higher than shown due to one missing observation.

Tabel 10 Kvælstofomsætningen i vommen samt beregnet mikrobiel syntese af aminosyre-kvælstof
Nitrogen metabolism in the rumen and calculated microbial synthesis of amino acid nitrogen

	Behandling - Treatment				Spredning på MK gns. S.E. of LS-means	P
	U	S	U+S	M		
Optaget vomunedbrudt N ¹⁾ , kg/dag						
Intake of rumen undegraded N ¹⁾ , kg/day	0,0724	0,0992	0,0989	0,723	0,0003	<0,0001
Optaget vomunedbrudt AA-N ²⁾ , kg/dag						
Intake of rumen undegraded AA-N ²⁾ , kg/day	0,0555	0,0782	0,0779	0,0553	0,0002	<0,0001
Duodenumflow, AA-N, kg/dag						
Duodenal flow, AA-N, kg/day	0,272	0,292 ³⁾	0,288	0,252	0,018	0,5
Korrigeret duodenumflow ⁴⁾ AA-N, kg/dag						
Corrected duodenal flow ⁴⁾ , AA-N, kg/day	0,245	0,264	0,263	0,223	0,018	0,2
Mikrobielt syntetiseret AA-N, kg/dag ⁵⁾						
Microbial synthesized AA-N, kg/day ⁵⁾	0,190	0,186	0,185	0,167		
Relativ - Relative	100	98	97	89		
Duo. DAPA-N, kg/dag						
Duo. DAPA-N, kg/day	0,00218	0,00216 ³⁾	0,00200	0,00192	0,00012	0,5
Relativ - Relative	100	99	92	88		
Vomfordøjet kulhydrat, kg/dag						
Rumen digested carbohydrate, kg/day	6,39	5,90 ³⁾	6,44	5,78	0,46	0,7
g mikrobielt syntetiseret AA-N pr. kg vomfordøjet kulhydrat						
g microbial synthesized AA-N per kg rumen digested carbohydrate	29,8	31,5	28,7	28,9		
Relativ - Relative	100	106	96	97		
Total fordøjet kulhydrat, kg/dag						
Total digested carbohydrate, kg/day	7,88	7,71	7,68	8,13		
g mikrobielt syntetiseret AA-N pr. kg total fordøjet kulhydrat						
g microbial synthesized AA-N per kg total digested carbohydrate	24,1	24,1	24,1	20,5		
Relativ - Relative	100	100	100	86		
Opnået "PBV" ⁶⁾ (g/dag) - Actual "PBV" ⁶⁾ (g/day)	169	163	569	-32		

¹⁾ Beregnet på grundlag af målt nedbrydningsgrad med nylonposeteknikken - Based on degradability obtained with the nylon bag technique.

²⁾ 85% AA i unedbrudt kraftfoderprotein, 65% i unedbrudt grovfoderprotein - 85% AA in undegraded concentrate protein, 65% in undegraded roughage protein.

³⁾ Spredning på MK gns. er 1,3 gange større pga. mistet duodenumprøve - S.E. of LS-means is 1.3 times higher due to lost duodenal sample.

⁴⁾ Korrigeret med 0,27% endogen aminosyre-N af duodenum tørstof flow (Hvelplund & Madsen, 1985) - Corrected by 0.27% endogenous amino acid-N of duodenal dry matter flow (Hvelplund & Madsen, 1985).

⁵⁾ Korrigeret duodenum flow af AA-N - optaget vomunedbrudt AA-N - Corrected duodenal flow of AA-N - intake of rumen undegraded AA-N.

⁶⁾ Beregnet som 6,25 gange differencen mellem optaget "vomnedbrudt" N og mikrobiel syntese af aminosyre-N gange med 1/0,7, idet der er 70% aminosyre-N i total mikrobiel N - Calculated as 6.25 multiplied with the difference between intake of "rumen degraded" N and microbial synthesis of amino acid-N multiplied with 1/0.7, as amino acid N make up 70% of microbial N.

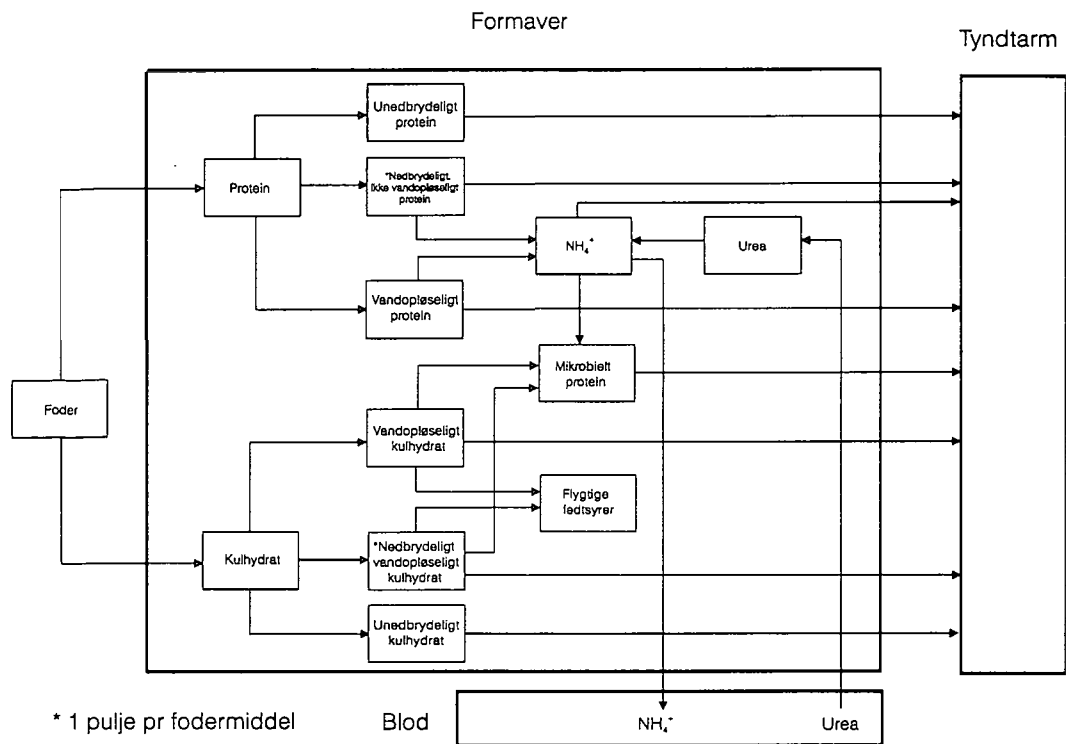
4 Modellering af proteinomsætningen i vommen

Proteinomsætningen i vommen afhænger af en række faktorer såsom nedbrydningshastighed af protein, mængden af fordøjet kulhydrat, passage af partikler og væske og recirkulering af kvælstof. En del af disse faktorer som f.eks. passage af partikler, nedbrydningshastighed af letomsættelige kulhydrater og recirkulering af kvælstof er van-

skelige at estimere forsøgsmæssigt. Modellering frembyder en mulighed for at estimere parametre, der ikke er målt forsøgsmæssigt, og giver samtidig en vis test af, hvorvidt de fysiologiske sammenhænge er, som man forestiller sig ved modelopbygningen.

Tabel 11 Parametre der indgår i modellen
Parameters in the model

<u>Puljer i vommen (kg)</u>	
NH_3-N	= NH_3-N
NH_3-N_0	= Startværdi NH_3-N
N_v	= Vandopløseligt, ikke NH_3-N
N_{dby}	= Nedbrydeligt, ikke vandopløseligt N fra byg
N_{dso}	= Nedbrydeligt, ikke vandopløseligt N fra sojaskrå
N_{den}	= Nedbrydeligt, ikke vandopløseligt N fra byghelsæd
N_{dro}	= Nedbrydeligt, ikke vandopløseligt N fra roer
KU_v	= Vandopløseligt kulhydrat
KU_{dby}	= Ikke vandopløseligt, men nedbrydeligt kulhydrat fra byg
KU_{dso}	= Ikke vandopløseligt, men nedbrydeligt kulhydrat fra sojaskrå
KU_{den}	= Ikke vandopløseligt, men nedbrydeligt kulhydrat fra byghelsæd
KU_{dro}	= Ikke vandopløseligt, men nedbrydeligt kulhydrat fra roer
<u>Hastighedskonstanter for nedbrydning (time⁻¹)</u>	
k_{NV}	= Vandopløseligt N
k_{Naby}	= Ikke vandopløseligt, men nedbrydeligt N fra byg
k_{Nso}	= Ikke vandopløseligt, men nedbrydeligt N fra sojaskrå
k_{Nden}	= Ikke vandopløseligt, men nedbrydeligt N fra byghelsæd
k_{Ndro}	= Ikke vandopløseligt, men nedbrydeligt N fra roer
k_{KUV}	= Vandopløseligt kulhydrat
k_{KUdby}	= Ikke vandopløseligt, men nedbrydeligt kulhydrat fra byg
k_{KUdso}	= Ikke vandopløseligt, men nedbrydeligt kulhydrat fra sojaskrå
k_{KUden}	= Ikke vandopløseligt, men nedbrydeligt kulhydrat fra byghelsæd
k_{KUdro}	= Ikke vandopløseligt, men nedbrydeligt kulhydrat fra roer
<u>Hastighedskonstanter for passage ud af vommen (time⁻¹)</u>	
k_{pv}	= Væske
k_{pd}	= Nedbrydeligt, ikke vandopløseligt stof
<u>Andre konstanter</u>	
k_{mik}	= Mikrobiel proteinsyntese (kg N) pr. kg nedbrudt kulhydrat
k_{spyt}	= Nettoværdi af recirkulering af N og absorption af NH_3-N over vommen (kg N/time)
V_{soby}	= Ædetid for kraftfoder (timer)
V_{entro}	= Ædetid for grovfoder (timer)



Figur 3 Model af proteinomsætningen i vommen - Model of rumen protein metabolism

4.1 Formulering af modellen

Ud fra modellen for proteinomsætning, som er grundlaget for det nordiske proteinvurderings-system (Hvelplund & Madsen, 1990) samt vores viden med hensyn til kulhydraternes forgæring blev følgende model formuleret (figur 3). Parametre, der indgår i modellen, er vist i tabel 11. Kasserne i figur 3 repræsenterer forskellige puljer i vommen, der ikke nødvendigvis er fysisk adskilte, og pilene viser transport af kvælstof (N) og kulhydrat (KU). Modellen bygger på antagelse om 1. ordens kinetik for nedbrydning og passage.

Modellens inddata er den målte foderoptagelse samt den målte kemiske sammensætning af foderet, og ud fra dette laver modellen det bedste fit til de observerede ammoniakkoncentrationer og de observerede nedbrydningsprofiler. Forløbet af foderoptagelse blev ikke registreret i forsøget, derfor antages det, at de enkelte fodermidler blev ædt med en konstant hastighed, der var ens for henholdsvis kraftfoder (byg og sojaskrå) og grovfoder (byghelsæd, roer og urea). Startværdierne

for ædehastighed blev fundet ud fra en antagelse om at tildelt foder ædes over 2 timer. I modellen følges flowet af kvælstof og kulhydrat, og nogle fraktioner følges for hvert fodermiddel. Kulhydrat og kvælstof opdeles i fraktionerne vandopløseligt, ikke vandopløseligt men nedbrydeligt og ikke nedbrydeligt (ufordøjeligt) kulhydrat og kvælstof. Fra hver pulje er der et tab p.g.a. mikrobiel nedbrydning og passage til tyndtarmen, der beskrives ved første ordens kinetik, hvilket betyder at tabet fra en pulje er proportional med puljens størrelse. For den vandopløselige del af henholdsvis kulhydrat og kvælstof regnes der med samme hastighedskonstant for nedbrydning uafhængig af fodermiddel, mens der for de nedbrydelige fraktioner skelnes mellem fodermidler. Den mikrobielle syntese antages at være konstant i forhold til kulhydratforgæringen.

Modellen er opbygget til at beskrive ammoniakpuljen ud fra de målte ammoniakkoncentrationer i vommen over døgnet, samt en antagelse om en væskepulje på 80 kg i vommen. Ammoniakkon-

centrationen beskrives som startværdi plus bidrag fra proteinnedbrydning minus optagelse i mikrobiel protein minus passage ud af vommen plus et konstant indflow via spytet (netto-værdi af recirkulering og absorption af ammoniak over vomvæggen).

$$\begin{aligned} \frac{dNH_3-N}{dt} = & k_{NV} \cdot N_V + (k_{Ndby} \cdot N_{dby} + k_{Ndso} \cdot N_{dso} \\ & + k_{Nden} \cdot N_{den} + k_{Ndro} \cdot N_{dro}) \\ & - k_{mik} (k_{KUdby} \cdot KU_{dby} + k_{KUdso} \cdot KU_{dso} + \\ & k_{KUden} \cdot KU_{den} + k_{KUdro} \cdot KU_{dro} + k_{KUV} \\ & \cdot KU_V) \\ & - k_{pv} \cdot NH_3-N + k_{spyt} \end{aligned}$$

Modellen beskriver desuden nedbrydningsprofiler for N og kulhydrat for de enkelte fodermidler. Beskrivelsen af nedbrydningsprofiler bygger også på første ordens kinetik, som vist i nedenstående model for kulhydrat i byg:

$$\frac{dKU_{by}}{dt} = k_{KUdby} (P_{KUdby} + P_{KUVby} - KU_{by})$$

hvor KU_{by} er den andel af kulhydrat i byg, der er nedbrudt til tiden t , og P_{KUdby} og P_{KUVby} er andelen af nedbrydeligt og vandopløseligt kulhydrat i byg. P_{KUdby} og P_{KUVby} er korrigeret for partikeltab som beskrevet af Weisbjerg et al. (1990). Profilerne for nedbrydning af kulhydrat er beregnet ud fra profilerne for nedbrydning af henholdsvis tørstof og protein, ved at kulhydratresten efter nedbrydning beregnes som tørstofresten minus råproteinresten. Herudfra er beregnet en profil for proteinfri tørstof, der sættes lig kulhydrat. På trods af at forskelle i andelen af råaske og råfedt i resttørstof vil kunne betyde en mindre fejl i denne beregning af kulhydratnedbrydning, vil denne fejl sandsynligvis være ubetydelig for disse fodermidler.

4.2 Statistisk analyse

Simulering af modellen og estimering af parametrene blev udført v.h.a. programpakken SIMUSOLV (Steiner et al., 1990). Som det første blev

der udført en følsomhedsanalyse, hvor hastighedskonstanterne og startværdierne blev ændret en ad gangen, og den procentvise ændring i NH_3 -niveauet relativ til den procentvise ændring i parameteren blev plottet som funktion af tiden, som det ses i figur 4. Som forventet var det konstanten k_{mik} for mikrobiel proteinsyntese pr. kg nedbrudt kulhydrat, der gav den største påvirkning af det beregnede NH_3 -niveau.

Den statistiske analyse blev udført separat for hver ko og hver periode. Vektoren bestående af NH_3 -niveauet og nedbrydningsprofilerne blev i hvert tilfælde betragtet som responsvariabel. Den statistiske model er baseret på antagelsen om at målefejlene er uafhængige og normalfordelte. Mere præcist er antagelsen, at hvis μ_{ij} betegner den sande værdi af mængden af materiale i pulje j til tid i , så antages det at den observerede værdi af mængden af materiale i pulje j til tid i kan skrives som:

$$Y_{ij} = \mu_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

hvor ε_{ij} er uafhængige og normalfordelte med middelværdi 0 og varians $\omega_j \mu_{ij}^{\delta_j}$. Parameteren δ_j kaldes heteroscedasticitetsparameteren for pulje j . Bemærk at hvis $\delta_j = 0$ så er variansen konstant indenfor pulje j . Hvis $\delta_j = 2$ så er standard afvigelsen proportional med middelværdien for pulje j . Alt i alt benyttes en model for målefejlen som spænder vidt.

Lad θ betegne vektoren af alle de parametre, som skal estimeres. Det vil sige de hastighedskonstanter fra tabel 11, som ønskes estimeret samt eventuelle puljestartværdier, som ikke er kendte. Heteroscedasticitetsparameterne δ_j er også indeholdt i vektoren af parametre, som skal estimeres. Estimationsmetoden som benyttes i SIMUSOLV er maximum likelihood estimation. Denne metode går ud på at finde de værdier af indgående parametre, som giver den største sandsynlighed for at observere de data, som rent faktisk er observeret. Mere præcist maksimeres logaritmen til likelihood funktionen, som her er givet ved:

$$l(\theta) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^d \left[n_j (\log 2\pi + 1) + n_j \log \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} \frac{(y_{ij} - \mu_{ij})^2}{\mu_{ij}^{\delta_j}} + \delta_j \sum_{i=1}^{n_j} \log \mu_{ij} \right]$$

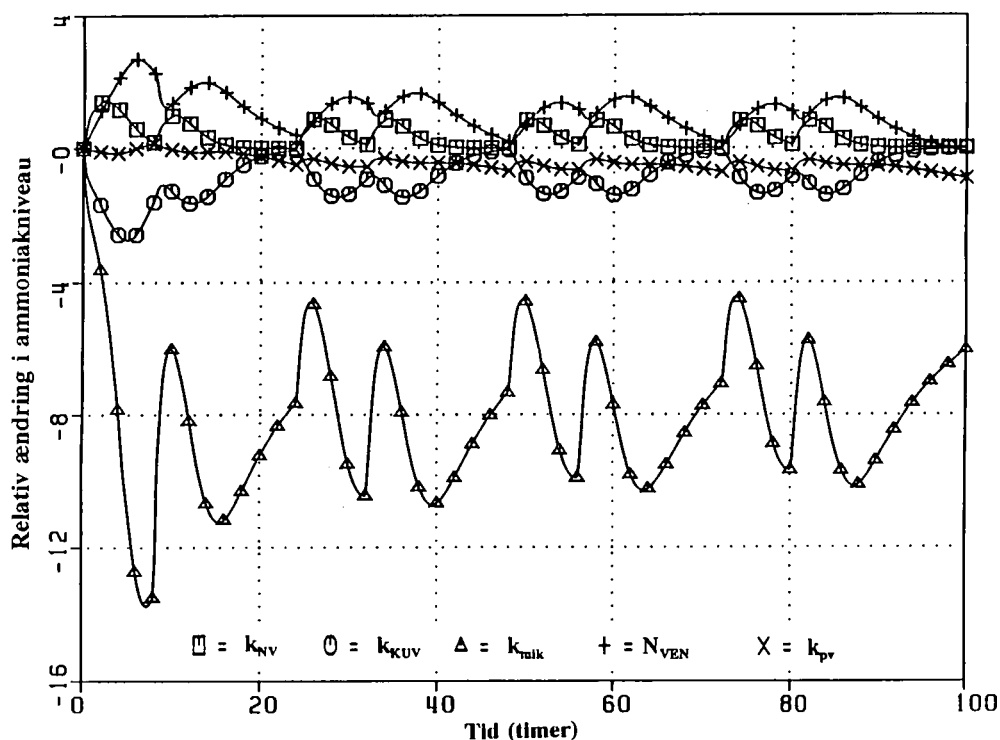
hvor $d=7$ er antallet af målte puljer og n_j er antal målinger af pulje j . Bemærk at parameterne fra tabel 11 kun indgår i udtrykket for $l(\theta)$ gennem den sande værdi af mængden af materiale i puljen μ_{ij} . SIMUSOLV maksimerer $l(\theta)$ numerisk med startværdier af parameterne givet af brugeren. Værdier af μ_{ij} får SIMUSOLV ved numerisk at løse de modelbeskrivende differentialligninger. Heteroscedasticitetsparameterne får kun lov at variere mellem 0 og 2.

4.3 Resultater

På grund af det store antal parametre, der skulle estimeres, var resultatet afhængigt af startværdien. Derfor blev SIMUSOLV kørt to gange på hvert datasæt, og ved anden kørsel blev parameteresti-

materne fra første kørsel anvendt som startværdier, hvilket eliminerede effekten af startværdierne på slutresultatet. To af de fittede NH_3 -kurver er vist i figur 5. I visse situationer fittede modellerne de observerede værdier dårligt. Dette var især tilfældet ved det lave NH_3 -niveau ved mangelbehandling, idet der her var meget små udsving i NH_3 -niveau. I de fleste tilfælde fittede modellen dog de observerede værdier godt.

De estimerede parametre blev analyseret for virkning af behandling, ko og periode på samme måde som forsøgsværdierne i afsnit 3. I tabel 12 er gennemsnittet af de estimerede parametre indenfor behandling givet for de 4 behandlinger. 5 parametre var signifikant afhængige af behandlingen, nemlig k_{pv} , $\text{NH}_3\text{-N}_0$, k_{pd} , k_{mik} og k_{Nds0} .



Figur 4 Følsomhedsanalyse. Procentvis ændring i NH_3 -niveau relativ til procentvis ændring i en parameter plottet som funktion af tiden. N_{VEN} = % vandopløselig N i helsæd, øvrige forkortelser er givet i tabel 11

Sensitivity test. Percent change in NH_3 -level relative to percent change in one parameter plotted against time. N_{VEN} = % water soluble N in whole crop silage, other abbreviations are given in table 11

Tabel 12 Gennemsnit for behandlinger af de estimerede parametre
(Parameterforklaring og enheder i tabel 11, 0 betegner startværdi)
Treatment means for estimated parameters
(Parameters and units are explained in table 11, 0 symbolize starting value)

	Behandling - Treatment			
	U	S	U + S	M
NH ₃ -N ₀	0,009	0,008	0,016	0,005
k _{NV}	0,666	0,612	0,653	0,632
k _{Ndb}	0,107	0,148	0,161	0,114
k _{Ndso}	0,093	0,099	0,098	0,074
k _{Nden}	0,022	0,024	0,015	0,016
k _{Ndro}	0,150	0,161	0,141	0,158
k _{KUdb}	0,267	0,261	0,276	0,272
k _{KUdso}	0,079	0,074	0,085	0,070
k _{KUden}	0,016	0,018	0,016	0,016
k _{KUdro}	0,180	0,162	0,171	0,170
k _{KUV}	0,373	0,304	0,305	0,311
k _{mik}	0,042	0,047	0,055	0,034
k _{pv}	0,106	0,111	0,110	0,161
k _{pd}	0,044	0,042	0,040	0,047
k _{spyt}	0,0010	0,0008	0,0009	0,0009
V _{soby}	3,46	3,49	3,42	3,45
V _{entro}	2,80	2,53	2,43	2,71
KU _{den} -0	2,35	2,07	2,03	2,88

De beregnede parameterestimerer ligger alle indenfor fysiologisk acceptable grænser. Hastighedskonstanterne for nedbrydning (K_N og K_U) ligger tæt på de værdier, der er givet i afsnit 3.1, hvilket også er ventet da det er de samme nedbrydningsprofiler, der ligger til grund, men der kunne være afvigelser, da der ved modelberegningen også er taget hensyn til NH₃-målingerne.

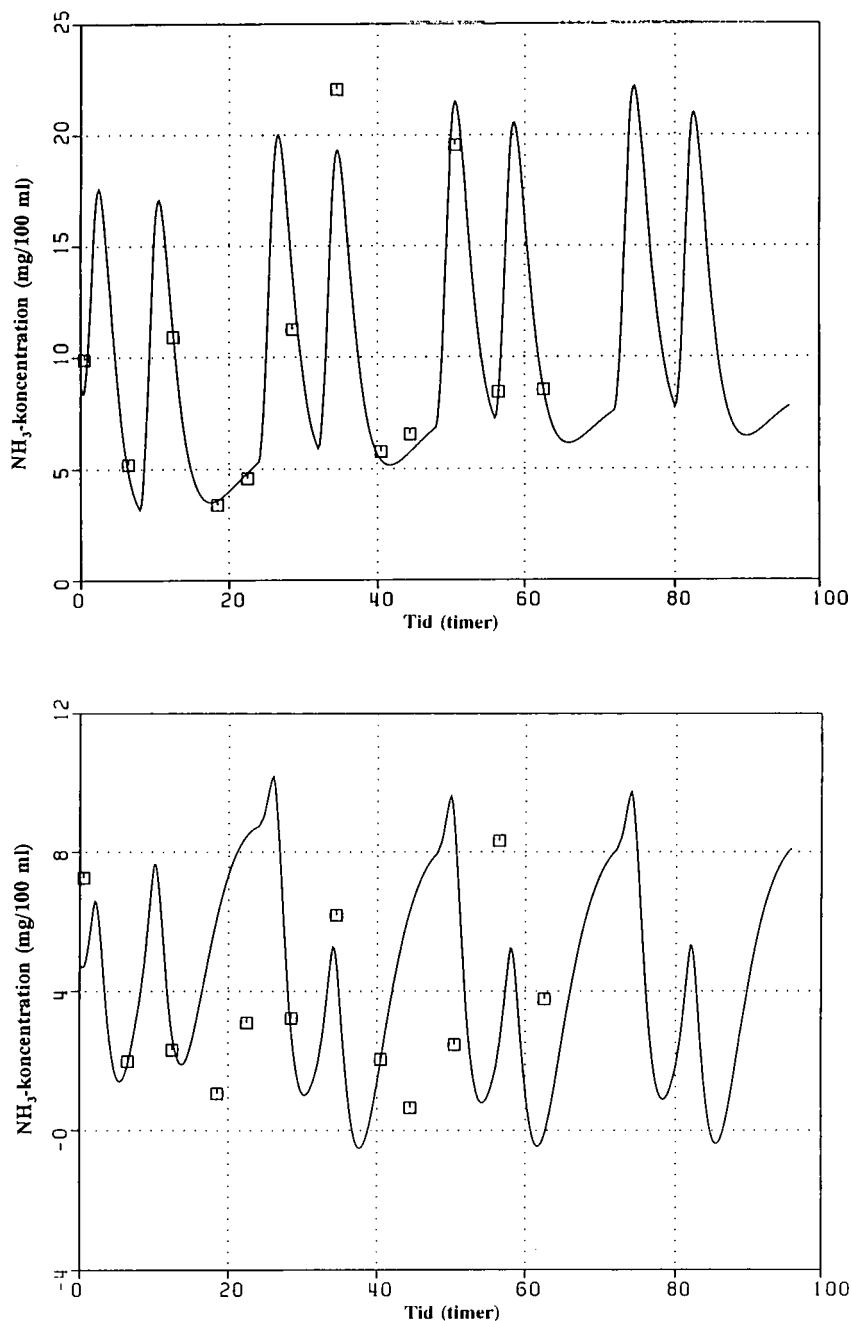
Hastighedskonstanten for nedbrydning af vandopløselig N (K_{NV}) på 60-65% pr. time er vanskelig af verificere, da der er meget få undersøgelser af dette, men in vitro undersøgelser af Christensen (1993) for vandopløselig N fra en række fodermidler tyder på, at den her opnåede hastighedskonstant er overvurderet.

Hastighedskonstanten for nedbrydning (forgæring) af vandopløseligt kulhydrat (K_{KUV}) på 30-37% pr. time er lav i forhold til resultater ved infusion af ren sukker på 100-300% pr. time

(Weisbjerg, Hvelplund, Thomsen, upubliceret), men da vandopløseligt kulhydrat her er en beregnet størrelse, der sandsynligvis indeholder meget andet end sukker, og da det sukker, der kommer med foderet, har en vis fysisk beskyttelse, må værdierne betegnes som rimelige.

Hastighedskonstanterne for passage af væske (K_{pv}) (11-12% pr. time) og partikler (K_{pd}) (4-5% pr. time) er i overensstemmelse med, hvad der er målt i andre forsøg (Weisbjerg et al., 1992). Passagehastigheden af både væske og partikler blev estimeret til at være højest på mangelbehandlingen, hvilket ikke umiddelbart kan forklares.

Konstanten for mikrobiel syntese lå mellem 34 og 55 g N pr. kg forgæret kulhydrat med den højeste værdi for U + S og den laveste for mangelbehandlingen. Niveaue er højere (mikrobiel N konverteres til mikrobielt aminosyre-N ved multi-



Figur 5 Modellens fittede kurver vs de observerede værdier $\square$ for NH_3 -koncentration (mg/100 ml) ved (a) højt proteinniveau (ko 862, periode 3, behandling U+S) og ved (b) lavt proteinniveau (ko 963, periode 4, behandling M)

Curves fitted by the model vs observed values $\square$ for NH_3 -koncentration (mg/100 ml) at (a) high protein level (cow 862, period 3, treatment U+S) and at (b) low protein level (cow 963, period 4, treatment M)

plikation med faktoren 0,7), og variationen mellem behandlinger er meget større end der blev målt i forsøget som det fremgår af tabel 10. Størrelsesordenen ligger indenfor variationsområdet givet af Hvelplund & Madsen (1985) på nær for mangelbehandlingen, der ligger lidt lavere.

Recirkuleringen af N (nettoeffekt af urea tilført med spyt og via vomvæggen samt tabet af ammoniak over vomvæggen) er estimeret til ca. 1 g N pr. time, hvilket svarer til 150 g råprotein pr. døgn, og der var ikke nævneværdig forskel mellem behandlingerne. Dette niveau er forbavsende lavt, især for mangelbehandlingen, idet forskellen pr. døgn mellem optaget råprotein og duodenum flow blev målt til henholdsvis 279 g, 442 g, -88 g og 778 g for behandling U, S, U + S og M.

Endogent N forventes at udgøre 0,27% af tørstofflowet ved duodenum (Van't Klooster & Rogers, 1969). Med et tørstofflow på ca. 10 kg i dette forsøg vil det endogene N udgøre 27 g, hvilket svarer til 169 g råprotein. Den estimerede recirkulering passer således med det målte duodenum - flow ved behandling U og S.

Det er ikke klart hvorfor modellen ikke kunne beskrive den øvrige variation, men for behandling M skyldes det måske den generelt dårlige tilpasning af modellen p.g.a. de små udsving i ammoniakkoncentration. En anden mulighed er, at den endogene udskillelse af N mellem vommen og duodenumfistlen (bladmave, løben og den første del af duodenum) er betydelig større og måske varierer mere end tidligere antaget.

5 Generel diskussion

Forsøgsbehandlingerne bevirkede, at der blev meget store forskelle imellem behandlingerne med hensyn til ammoniak niveau, som det ses af figur 2. Disse forskelle gav imidlertid ikke anledning til en ændret koncentration og fordeling af de flygtige fedtsyrer. Der var tendens til at kulhydratfordøjeligheden i vommen var lidt højere ved U + S behandlingen og lidt lavere ved behandling M, hvorimod der ikke var nævneværdig forskel mellem U og S, d.v.s. i dette forsøg gav tildeling af renprotein i form af sojaskrå ikke anledning til en øget kulhydratfordøjelighed i vommen.

Der var imidlertid en klar tendens til en lavere mikrobiel proteinsyntese på mangelbehandlingen M. Den mikrobielle proteinsyntese målt som forskellen mellem aminosyreflowet ved duodenum korrigeret for endogent aminosyre og tilførslen af unedbrudt foderprotein estimeret ud fra målinger v.h.a. nylonposemetoden viste, at syntesen på behandling M kun var ca. 90% af syntesen ved de andre 3 behandlinger. Effektiviteten af den mikrobielle proteinsyntese (dvs. syntesen pr. kg fordøjet kulhydrat) var klart lavere for behandling M, kun

86% i forhold til de andre 3 behandlinger. Modelberegningen viste også en klar lavere effektivitet af den mikrobielle proteinsyntese ved behandling M. Det tyder således på, at proteinmængde og kilde har større betydning for den mikrobielle syntese og effektiviteten af denne end for fordøjeligheden af kulhydrat.

Dette forsøg har også vist, at ved lave ammoniak niveauer i vommen reagerer omsætningen således, at behovet for ammoniak sænkes. Der synes at være en minimumsgrænse for den reelle "PBV" (dvs. målt PBV ved brug af aktuel mikrobiel proteinsyntese, aktuel proteinnedbrydningsgrad og aktuel kulhydratfordøjelighed) et sted mellem 0 og -150 g/dag. Dette er i overensstemmelse med, hvad der er fundet i et forsøg med stigende ureamængder til en meget proteinfattig ration (Weisbjerg et al., 1994), hvor en ration med et planlagt PBV på -650 g/dag reelt kun fik en PBV på -138 g/dag.

Modelleringen af ammoniakkoncentrationen i vommen og nedbrydningsprofilerne for protein og kulhydrat viste, at det er muligt v.h.a. den her

givne model at beskrive døgnvariationen i vommens ammoniakkoncentration, på trods af at modellen er en meget simpel beskrivelse, idet der ikke tages hensyn til den omsætning og nedbrydning af mikrobielt stof, der foregår i vommen. Modellen gav rimelige estimater for alle parametre, dog var variationen stor for estimatet for mikrobiel syntese og estimaterne for recirkulering var små og dækkede ikke den variation, der målttes in vivo. Dette skyldes sandsynligvis det store antal estimerede parametre og en stor korrelation mellem de estimerede parametre i modellen. En svaghed ved modelberegningen er, at det antages, at de målte X-værdier (tidsaksen) er uden måle-

fejl, og ved de store udsving, der er i ammoniakkoncentration efter fodring, vil selv en lille fejl på tidsaksen give sig udslag i en stor residual, der vil forringe parameterestimationen.

Modelberegninger af denne art kan således være en metode til at estimere parametre, som det er svært eller umuligt at måle in vivo. Det er imidlertid vigtigt at begrænse antallet af parametre, der skal estimeres (evt. ved begrænsning af antal fodermidler i forsøget), idet modellen, der er beskrevet i afsnit 3.2, er på grænsen til hvad programmet SIMUSOLV kan klare m.h.t. kompleksitet.

Anerkendelser

Ledende forsøgstekniker Ejner Serup har medvirket til den praktiske udførelse af forsøget. Laborant Edith Olsen har udført ammoniakbe-

stemmelserne. Teksten er renskrevet af assistent Jette Brixen Hansen.

Litteratur

Anom., 1992. Håndbog for rekvirenter af kemiske analyser. Analyseudvalget, Forskningscenter Foulum, 71 pp.

Christensen, A., 1993. In vitro nedbrydning af vandopløselige foderproteiner. Hovedopgave. Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole, 54 pp.

Hvelplund, T. & Madsen, J., 1985. Amino acid passage to the small intestine in dairy cows compared with estimates of microbial protein and undegraded dietary protein from analysis on the feed. Acta Agric. Scand., Suppl. 25, 21-36.

- Hvelplund, T. & Madsen, J., 1990. A study of the quantitative nitrogen metabolism in the gastrointestinal tract, and the resultant new protein evaluation system for ruminants. The AAT-PBV System. The Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen, 215 pp.
- Kristensen, E.S., Møller, P.D. & Hvelplund T., 1982. Estimation of the effective protein degradability in the rumen of cows using the nylon bag technique combined with the out-flow rate. *Acta Agric. Scand.* 32, 123-127.
- Mould, F.L., Ørskov, E.R. & Mann, S.O., 1983. Associative effects of mixed feeds. I. Effects of type and level of supplementation and the influence of the rumen fluid pH on cellulysis in vivo and dry matter digestion of various roughages. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 10, 15-30.
- Palmquist, D.L., Weisbjerg, M.R. & Hvelplund, T., 1993. Ruminal, intestinal, and total digestibilities of nutrients in cows fed diets high in fat and undegradable protein. *J. Dairy Sci.* 76, 1353-1364.
- SAS, 1985. Statistical Analysis System. SAS Users Guide. Statistics. SAS Institute Inc. Version 5, Cary North Carolina, 956 pp.
- Steiner, E.C., Rey, T.D. & McCroskey, P.S., 1990. Reference Guide for SIMUSOLV Modeling and Simulation Software. The Dow Chemical Company, Midland, MI.
- Strudsholm, F., Nielsen, E.S., Madsen, J., Foldager, J., Hermansen, J.E., Kristensen, V.F., Aaes, O. & Hvelplund, T., 1992. Danske fodernormer til kvæg. Landsudvalget for Kvæg, Rapport nr. 18, 50 pp.
- Strudsholm, F., Nielsen, E.S., Østergård, P., Weisbjerg, M.R., Kristensen, V.F., Andersen, H.R., Hermansen, J.E. & Møller, E., 1993. Fodermiddeltabel 1993. Sammensætning og foder-værdi af fodermidler til kvæg. Rapport nr. 28, Landsudvalget for Kvæg, 54 pp.
- Thomsen, K.V., 1979. Angivelse og beregning af fordøjeligt råprotein til kvæg og får. 269. medd., Statens Husdyrbrugsforsøg, 4 pp.
- Thomsen, K.V. 1985. The specific nitrogen requirements of rumen microorganisms. *Acta Agric. Scand.*, Suppl. 25, 125-131.
- Van't Klooster, A.Th. & Rogers, P.A.M., 1969. The rate of flow of digesta and the net absorption of dry matter, organic matter and water. Medel. Landbouwhogeschool, Wageningen, 69-11, 3-19.
- Weisbjerg, M.R., Bhargava, P.K., Hvelplund, T. & Madsen, J., 1990. Anvendelse af nedbrydningsprofiler i fodermiddelvurderingen. 679. beretning, Statens Husdyrbrugsforsøg, 33 pp.
- Weisbjerg, M.R., Børsting, C.F. & Hvelplund, T., 1992. The influence of tallow on rumen metabolism, microbial biomass synthesis and fatty acid composition of bacteria and protozoa. *Acta Agric. Scand.*, Sect. A., *Animal Sci.* 42, 138-147.
- Weisbjerg, M.R., Hvelplund, T. & Stensig, T., 1994. The effect of protein balance in the rumen on digestion in dairy cows. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.*, 3, 35.
- Aaes, O., 1991. AAT-niveauets indflydelse på mælkeydelsen ved forskellige energiniveauer. 703. beretning, Statens Husdyrbrugsforsøg, 35 pp.

