

464. Beretning fra Statens Husdyrbrugs forsøg

V. Friis Kristensen, Preben E. Andersen, Peter Stigsen, K.
Vestergaard Thomsen, H. Refsgaard Andersen, M. Sørensen,
C. S. Ali og V. C. Mason
Statens Husdyrbrugsforsøg

F. Rexen og M. Israelsen
Bioteknisk Institut

Jens Wolstrup
Afd. for Mikrobiologi og Mikrobiel Økologi,
Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole

Natriumhydroxyd-behandlet halm som foder til kvæg og får

Sodium hydroxide-treated straw as feed for cattle and
sheep

With English summary and subtitles



I kommission hos Landhusholdningsselskabets forlag,
Rolighedsvej 26, 1958 København V.

Trykt i Frederiksberg Bogtrykkeri 1977

Dette projekt er udført i fællesskab med Biotechnisk Institut, Kolding, således som det fremgår af forfattergruppens sammensætning.

Biotechnisk Institut registrerer denne beretning under nr. 77.

Forord

Den øgede korndyrkning i Danmark har medført et uudnyttet overskud af halm. Overskudshalmen udgør en stor potentiel foderreserve til kvæg og andre drøvtyggere, men halmens lave foderværdi har hidtil begrænset en sådan anvendelse. Samtidig har strukturændringerne i landbruget ført til, at halmoverskudet især forekommer i landets østlige egne, mens kvægbestanden er størst i de vestlige egne. Store mængder halm er derfor hvert år blevet destrueret ved brænding eller nedpløjning. Set i global sammenhæng er det uhyre store mængder halm og andre træstofrige plantematerialer, hvis foderværdi ikke udnyttes. Det har været kendt i mange år, at halmens foderværdi kan øges ved kemisk behandling. De anvendte metoder var imidlertid, ud fra flere synsvinkler, uegnede, og først i de allerseneste år er der udviklet metoder, der kan danne grundlag for en ny udvikling på markedet.

Biotechnisk Institut havde i 1972 opbygget et forsøgsanlæg til tørludning af halm. På dette tidspunkt indledtes mellem Biotechnisk Institut og Afd. for forsøg med kvæg ved Statens Husdyrbrugsforsøg et samarbejde om et forskningsprojekt med det formål at videreudvikle og optimere tørludningsmetoder.

Projektet har omfattet undersøgelser til optimering af procestekniske faktorer ved natriumhydroxydbehandling af halm på industrielle anlæg. Disse undersøgelser er udført på Biotechnisk Instituts forsøgsanlæg i Sdr. Stenderup ved Kolding, hvor også halm til de biologiske undersøgelser og fodringsforsøg er fremstillet.

Ved Statens Husdyrbrugsforsøg er der udført fysiologiske og mikrobiologiske undersøgelser samt fordøjelighedsforsøg med køer og får. Et stort antal fodringsforsøg med får, køer og ungtyre er udført på Statens forsøgsgårde Favrholt og Trollesminde, Hillerød, på landbrugsafdelingerne ved statsfængslerne Renbæk og Sdr. Omme, samt på Linderumgård, Sindal. Fra disse forsøg er indsamlet informationer om optagelsen af ludet halm og dennes foderværdi.

Forsøgene har krævet et omfattende analysearbejde, som dels er udført ved Afd. for dyrefysiologi, biokemi og analytisk kemi, dels ved Afd. for forsøg med kvæg og får, dels på Biotechnisk Institut. Nye analysemetoder til vurdering af den behandlede halms foderværdi har måttet udvikles og tages i anvendelse.

Landbohøjskolens Afd. for alm. mikrobiologi og mikrobiel økologi har udført undersøgelser af halmens indflydelse på vommens bakterieflora.

Gennemførelsen af dette store arbejde har indebåret et meget omfattende samarbejde og har ud over beretningens forfattere involveret et stort antal medarbejdere ved de foran nævnte gårde og institutioner. Alle, som har ydet deres bidrag til dette arbejde, bringes hermed en tak.

Beretningen indeholder resultater fra 4 års forsøg og markerer en udvikling, som giver nye perspektiver for udnyttelse af plantemateriale, hvis anvendelse begrænses af en lav foderværdi.

P. Sonne-Frederiksen

A. Neimann-Sørensen

INDHOLDSFORTEGNELSE

Contents

	<i>Side Page</i>
Sammendrag <i>Danish Summary</i>	7
Summary <i>English Summary</i>	18
I. Indledning <i>Introduction</i>	29
A. Halm som potentielt foderemne til kvæg <i>Straw as a potential feed for cattle</i>	29
B. Forbedringen af halmens foderværdi ved behandling med natriumhydroxyd. Litteraturoversigt <i>Improvement of the feeding value of straw by treatment with sodium hydroxide. Literature review</i>	31
C. Forsøgsprojektets formål <i>Purpose of the experimental project</i>	47
II. Forsøgsresultater <i>Experimental results</i>	49
A. Tekniske forsøg og undersøgelser <i>Technical experiments and investigations</i>	49
1. Teknisk opbygning af forsøgsanlægget <i>Technical construction of the experimental plant</i>	49
2. Metoder til vurdering af NaOH-behandlet halms kvalitet <i>Methods for evaluation of the quality of NaOH treated straw</i>	53
3. Optimering af procesbetingelserne <i>Optimization of the processing conditions</i>	68
4. Ludbehandling af forskellige halmarter <i>Lye-treatment of various kinds of straw</i>	83
5. Undersøgelse af ludbehandlet halms lagerstabilitet <i>Investigation of the storing stability of lye-treated straw</i>	85
6. Presning af foderblandinger med ludbehandlet halm i cobs <i>Pelleting of feed compounds with lye-treated straw</i>	87

B. Fodringsforsøg med kvæg og får	108
<i>Feed experiments with cattle and sheep</i>	
1. Fysiologiske undersøgelser	108
<i>Physiological investigations</i>	
2. Mikrobiologiske undersøgelser	130
<i>Microbiological investigations</i>	
3. Fordøjelighedsforsøg med får og køer	132
<i>Digestibility experiments with sheep and cows</i>	
4. Optagelsen af ludbehandlet bygalm hos kvæg	143
<i>Intake of lye-treated barley straw in cattle</i>	
5. Fordøjelighed og optagelse af foderblandinger med ludbehandlet hvedehalm hos får	148
<i>Digestibility and intake of feed compounds containing lye-treated wheat straw in sheep</i>	
6. Produktionsforsøg med malkekøer	165
<i>Production experiments with dairy cows</i>	
7. Produktionsforsøg med ungtyrer	190
<i>Production experiments with young bulls</i>	
8. Energiværdi af NaOH-behandlet halm til kvæg og relationer mellem energiværdi og objektive analyseværdier	201
<i>Energy value of lye-treated straw for cattle and relationships between energy value and objective values of analyses</i>	
Litteraturliste	211
<i>References</i>	

Sammendrag

Indledning

Kornarealet i Danmark er steget stærkt i de senere år. Samtidig er strukturen i landbruget ændret således, at korndyrkningen er dominerende i de østlige egne og kvægbruget i de vestlige. Herved er der fremkommet et overskud af halm, som udgør en stor foderreserve. Hensigtsmæssige tekniske metoder til håndtering af halmen og forbedring af dens foderværdi kan forøge anvendelsesmulighederne.

En sådan forbedring af halmens foderværdi kan opnås ved kemisk behandling. Halmen består næsten udelukkende af cellevægsstoffer (cellulose, hemicellulose og lignin). Selv om cellulosestofferne som sådan kan omsættes af mikroorganismene i vommen hos drøvtyggere og derved tjene som energikilde for disse dyr, er de i almindelig halm så vanskeligt tilgængelige, at der opnås en meget ringe udnyttelsesgrad. I indledningen er der gjort rede for halmens egenskaber, og for hvorledes cellevægsstoffernes tilgængelighed kan forbedres ved behandling med natriumhydroxyd. Desuden diskuteres forskellige behandlingsmetoder. Gennem de senere år er der udviklet flere nye metoder, som har forbedret mulighederne for at gennemføre en behandling af halmen, og interessen herfor er dermed stimuleret.

På denne baggrund har Statens Husdyrbrugsforsøg og Bi teknisk Institut i fællesskab gennemført et forskningsprojekt, som havde til formål samtidig at gennemføre procestekniske undersøgelser vedrørende en ny metode til NaOH-behandling af halm og undersøge halmens foderværdi og anvendelsesmuligheder som foder til kvæg og får.

Teknisk opbygning af forsøgsanlægget

Det tekniske forsøgsarbejde og fremstillingen af forsøgsfoder er foregået på Bi teknisk Instituts forsøgsanlæg i Sdr. Stenderup ved Kolding. Den anvendte behandlingsmetode er en kontinuerlig proces, ved hvilken halmen først skæres i hakkelse. Halmhakkelsen føres til en ludmixer, hvor halmen tilsættes en koncentreret ludopløsning i den ønskede mængde. Luddoseringen styres elektronisk via en båndvægt, der registrerer halmstrømmen. Ludmixeren er konstrueret således, at der foretages en meget effektiv blanding af halmhakkelsen og ludopløsningen. Den ludimprægnerede halm føres direkte til en matricepresse, hvor halmen presses til cobs. I pressen udsættes halmen for et meget højt tryk og en høj temperatur, hvilket accelererer reaktionen mellem natriumhy-

droxyden og halmens cellevægsstoffer. Forinden lagring afkøles cobsene ved luftgennemblæsning.

Til fremstilling af foderblandinger er der anvendt en horisontalblander med et rumindhold på 2500 l. Ved fremstilling af foderblandinger, som indeholdt ludbehandlet halm, er halmcobsene blevet slået op på en slaglemølle før sammenblandingen med andre foderemner. Dette var nødvendigt for at undgå fraktionering. Flydende melasse blev tilsat i fødesneglen til pressen, og fedt er undertiden, for at sikre en tilstrækkelig pillestyrke, blevet sprøjtet udenpå de færdige foderpiller.

Metoder til vurdering af NaOH-behandlet halms kvalitet

Der er gennemført en undersøgelse af, hvilke analysemetoder der kan anvendes som grundlag for en vurdering af kvaliteten af ludbehandlet halm. Disse undersøgelser har omfattet den fuldstændige foderstofanalyse, bestemmelse af indholdet af cellevægsbestanddele, af in vitro fordøjelighed og enzymopløselighed samt af ludoverskud i halmen. Indholdet af cellevægsbestanddele er bestemt efter Van Soest's metode. Enzymopløseligheden er bestemt som den del, der går i opløsning efter inkubation med et enzympræparat, som er isoleret fra cellulolytiske mikroorganismer.

Behandling af halm med stigende mængde NaOH medfører en stigning i halmens askeindhold. Derimod medfører den ikke væsentlige ændringer i sammensætningen af den organiske del af halmen, således som den bestemmes ved hjælp af den almindelige foderstofanalyse. Denne analysemetode kan derfor ikke anvendes til bedømmelse af halmens kvalitet.

Derimod sker der et fald i halmens indhold af cellevægsstoffer (total) med stigende luddosering. Ved behandling med ca. 6% NaOH bliver dette indhold reduceret med 15–18%-enheder, hvoraf de ca. 5%-enheder dog sandsynligvis skyldes et forøget indhold af opløselig aske. Den resterende del af faldet skyldes en forøget opløselighed af cellevægsstoffer, fortrinsvis af lignin og hemicellulose. Denne ændring er imidlertid relativt lille, hvorfor denne analysemetode heller ikke kan anses for at være velanvendelig.

In vitro fordøjeligheden og enzymopløseligheden af halm stiger omtrent retliniet med stigende luddosering op til 5–6% lud. In vitro fordøjeligheden af organisk stof i halmen kan ved ludbehandlingen øges til 70–80%. Der er god sammenhæng mellem enzymopløseligheden og in vitro fordøjeligheden, og in vitro fordøjeligheden kan inden for et nærmere afgrænset interval estimeres med rimelig sikkerhed ud fra enzymopløseligheden ved hjælp af en regressionsligning.

In vivo fordøjeligheden af organisk stof i halmen bestemt i forsøg med får er forøget fra 45–50% til ca. 65% ved behandling med 4–5% NaOH. Yderligere forøgelse af luddoseringen medfører kun en ringe stigning i fordøjeligheden. Der er derfor ikke retliniet sammenhæng mellem in vitro og in vivo fordøjelig-

heden af ludbehandlet halm. Sammenhængen mellem in vitro og in vivo fordøjeligheden af ubehandlet halm med lav fordøjelighed kendes endnu ikke med sikkerhed. Ved behandling med moderate mængder NaOH (2–4%) er der fundet god sammenhæng mellem in vitro og in vivo fordøjeligheden af halmen.

Med stigende luddosering fremkommer der et stigende overskud af lud i halmen. Dette overskud ønskes af hensyn til foderoptagelsen og dyrenes sundhed holdt så lavt som muligt.

Optimering af procesbetingelserne

Effektiviteten af ludbehandling ved tørludningsmetoden vil være afhængig af en række faktorer, hvoraf nogle er indbyrdes afhængige. Der blev under projektet gennemført undersøgelser af virkningerne af den doserede ludmængde, koncentrationen af NaOH i ludopløsningen, reaktionsbetingelserne: tid, temperatur og tryk samt af halmens findelingsgrad. Det skal pointeres, at resultaterne af disse undersøgelser kun kan henføres til den her anvendte behandlingsmetode, mens andre tørludningsmetoder kan give andre resultater.

I det foregående afsnit vistes luddoseringens indflydelse på fordøjeligheden og enzymopløseligheden af organisk stof i halm. Disse resultater er i dette afsnit suppleret med resultater baseret på et betydeligt større antal prøver, hvori enzymopløseligheden dog kun er bestemt som opløseligt tørstof i % af tørstof. Resultaterne viser overensstemmende med det foregående materiale, at in vitro fordøjeligheden og enzymopløseligheden er steget retliniet med stigende luddosering op til 6% NaOH på halmtørstoffet. Ud over dette niveau var der kun få prøver, men de antydede en afbøjning af kurven for in vitro fordøjelighed.

Ludoverskudet i halmen stiger progressivt med stigende luddosering.

Ludopløsningens koncentration har i disse undersøgelser varieret fra 16–46% NaOH, og har ikke haft nogen betydning for behandlingseffekten ved den her anvendte proces. Derimod kunne den tænkes at have betydning ved en mindre effektiv blanding af halm og ludopløsning. Vandindholdet i færdigvaren stiger med stigende fortyndingsgrad af ludopløsningen.

En forøgelse af matricetykkelsen, der medfører øget reaktionstryk og -temperatur, har indtil en vis grænse medført nogen forøgelse af behandlingseffekten.

Stor matricetykkelse giver en høj rumvægt af færdigvaren. Forøgelse af matricetykkelsen og formindskelse af huldiameteren i matricen øger findelingen af halmen betydeligt. Ved høj luddosering kan denne forringelse af strukturen afhjælpes ved en opvarmning af luden og tilsætning af damp i pressen. Denne effekt opnås dels ved at dampen virker smørende, dels ved at halmen gøres blød og sej.

Opvarmning af ludopløsningen og tilsætning af damp i pressen har ikke medført nogen forbedring af behandlingseffekten på ren halm. Det kan måske skyldes, at en eventuel positiv effekt af den temperaturstigning, som disse

foranstaltninger har medført, er blevet modvirket af en nedsættelse af friktionen i pressen.

Resultaterne tyder på, at ludoverskudet i halmen kan reduceres noget ved opvarmning af luden og ved forøgelse af matricetykkelsen.

En stærk findeling af halmen på slaglemølle før behandlingen medførte ikke nogen ændring af behandlingseffekten.

Ludbehandling af forskellige halmarter

En undersøgelse af behandlingseffekten på forskellige halmarter (havre, hvede, rug og rajgræs) viste ingen sikre forskelle på udslaget (forøgelse af in vitro fordøjelighed) ved en given luddosering, og udslagene var af samme størrelse som for byg.

Undersøgelse af ludbehandlet halms lagerstabilitet

I 5 forsøgssiloer blev der oplagret halmcobs behandlet med forskellige mængder NaOH (2,7–5,5%) med forskelligt vandindhold (11,3–20,5%) og med forskellig temperatur ved indlægningen. Under lagring i op til 1 år skete der et fald i ludoverskudet, men ingen ændring i enzymopløseligheden. Der skete ingen skade på den behandlede halm under lagringen. Mikrobiel vækst var stærkt hæmmet ved højt pH.

I praksis er der imidlertid i enkelte tilfælde forekommet selvantændelse i lagre af halmcobs behandlet med NaOH.

Presning af foderblandinger med ludbehandlet halm i cobs

Alle blandinger med ludbehandlet halm, som er anvendt i fodringsforsøgene, er presset i 14 mm cobs på BI's forsøgsanlæg ved den såkaldte 2 trins teknik. Halmen er således først presset i cobs, som er knust før sammenblanding med de øvrige foderkomponenter og presning af denne blanding i cobs. Denne teknik medfører en ret stærk findeling af halmen, men resulterer i et produkt med høj rumvægt og rimelig sammenhængsevne for blandinger med indtil omkring 5% råfedt. For blandinger med højere indhold af animalsk fedt er dette påsprøjtet efter presning.

Gennem tekniske forsøg, analyser og fordøjelighedsforsøg er undersøgt virkningen ved at undlade at presse halmen i cobs før sammenblanding med de øvrige komponenter, den såkaldte 1 trins teknik. Dette medfører lavere fremstillingsomkostninger og et produkt med grovere fysisk struktur, men giver risiko for afsmitning af lud på kraftfodermidlerne med nedsat oplukningseffekt på halmen og ringere sammenhængsevne for de færdige cobs. Når 1. cobspresning ikke blev erstattet af andre foranstaltninger, faldt fordøjelighedskoefficienten for organisk stof i de færdige blandinger indeholdende 40–50 pct. halm, med 3–4 enheder, og rumvægt og sammenhængsevne blev stærkt forringet.

Når cobspresning af den ludpåførte halm blev erstattet af andre foranstalt-

ninger til at sikre fuld absorption af lud i halmen før sammenblanding med kraftfoder og et passende tryk og temperatur under presning af den færdige blanding, var der ikke væsentlig forskel i fordøjelighed, rumvægt og sammenhængsevne i forhold til 2 trins fremstilling. Dette kunne opnås ved opvarmning af lud eller ludpåført halm og ved valsepresning af ludpåført halm i forbindelse med presning af blandingen under tilsætning af damp eller gennem tyk matrice og tilsætning af fedt efter presning.

Fysiologiske undersøgelser

Der er gennemført et forsøg til belysning af neutralisationens og kulhydrat-kildens betydning ved fodring med tørludet halm. Der anvendtes 6 vomfistule-rede goldkøer. Rationerne indeholdt henholdsvis 96,5% halm (1), 50% halm + 46,6% snitfoder (2) og 50% halm + 46,5% byg (3). I hver af de 3 rationer anvendtes henholdsvis unneutraliseret halm (a) og halm neutraliseret med salt-syre (b). Halmen var behandlet med 5% NaOH. Køerne blev fodret på vedlige-holdelsesniveau. Analyser viste, at indholdet af henholdsvis letopløseligt kulhydrat og stivelse i de 3 blandinger var 0,7 og 1,7%; 13,2 og 0,4% og 2,7 og 22,3%.

Både tilsætning af snitfoder og byg og neutralisation af halmen forbedrede køernes ædelyst. Køerne optog kun med besvær de ønskede mængder (ca. 10 kg/dag) af rationen 1a. Køernes vandoptagelse var stærkt påvirket af den øgede saltkoncentration som følge af ludbehandlingen. Hydroxydkoncentrationen påvirkede ikke vandoptagelsen, idet der ikke var forskel på unneutraliserede og neutraliserede rationer.

Vomvæskens pH var ved ration 1a ret høj (7,0–7,5) med ekstreme værdier på over 8. Den neutraliserede halmration (1b) medførte et meget konstant pH på 6,8–7,0. Ved snitfoder- og bygrationerne havde halmen en modererende virkning, så store pH-fald ikke indtraf. pH varierede mellem 6,2 og 6,8. Koncentrationen af flygtige fedtsyrer (FFS) var meget konstant mellem fodringerne ved de rene halmrationer (ca. 100 mmol/l). Ved snitfoderrationerne steg FFS-koncentrationen stærkt umiddelbart efter fodringen, mens den hos bygrationerne steg noget langsommere. Eddikesyre/propionsyreforholdet var ved alle rationer tilfredsstillende højt; lavest ved snitfoderrationerne (ca. 3,5) og højest ved bygrationerne (ca. 5,0). Mælkesyrekoncentrationen var ved alle rationer lav.

Målingen af baseudskillelsen i urinen viste, at maksimalkoncentrationen ved basebelastning ligger ret konstant (250–300 mækv./l), og at baseudskillelsen derfor, når denne koncentration er nået, overvejende reguleres ved ændring af diuresen.

Døgnvariationen for urinmængden var for rationerne 1a og 1b 0-5 l/time. Den daglige urinmængde påvirkedes ikke af hydroxydmængden (ingen forskel ved neutralisation), men bestemtes af foderets elektrolytkoncentration. Hydroxydmængden i de unneutraliserede rationer havde ingen negativ indflydelse på

mineralstofbalancen. Målinger af blodets standardbikarbonat viste, at køerne på ration 1a sandsynligvis havde en svag, kompenseret alkalose. Resultaterne viste, at en eventuel alkalose kan modvirkes ved neutralisation af halmens hydroxydindhold, men neutralisationen skal foretages med en uorganisk syre.

Vomindhold fra køer fodret med ludbehandlet halm blev undersøgt for total antal bakterier og antal cellulolytiske bakterier. Der fandtes ingen hæmmende effekt af det ludbehandlede halm på hverken total antal bakterier eller på antal cellulolytiske bakterier.

Fordøjelighedsforsøg med får og køer

Der er givet en samlet oversigt over resultaterne af de gennemførte fordøjelighedsforsøg med køer og får. Disse resultater viser virkningerne på næringsstoffernes fordøjelighed af NaOH-doseringen og af neutralisation af ludoverskudet. Desuden viser de fordøjeligheden af næringsstofferne i forskellige, pelleterede foderblandinger, som indeholdt ubehandlet eller ludbehandlet halm, og som har været anvendt i produktionsforsøg med malkekøer og ungtyre.

Luddoseringens indflydelse på fordøjeligheden er bestemt i forsøg med får. Indholdet af råprotein og råfedt i halm er så lavt, at fordøjeligheden af disse fraktioner ikke kan bestemmes. Fordøjeligheden af træstof og NFE stiger jævnt med stigende luddosering op til 4–5% NaOH. Yderligere forøgelse af luddoseringen medfører kun en ringe forøgelse af fordøjeligheden af disse fraktioner. Det samme gælder for organisk stof og energi.

I et forsøg med køer og et forsøg med får blev det undersøgt, hvilken virkning en neutralisation af ludoverskudet i halmen havde på fordøjeligheden. Ved tilsætning af saltsyre blev pH i byghalm, som var behandlet med ca. 5% NaOH, sænket til mellem 6 og 8. Neutralisationen medførte i begge forsøg en forøgelse af fordøjeligheden af træstof på 5–6 %-enheder, af NFE på 3–4 %-enheder og af organisk stof og energi på 4–5 %-enheder. Fordøjeligheden af cellulose forøgedes ligeledes som følge af neutraliseringen.

I et forsøg med køer og et forsøg med får undersøgtes forskellige kulhydratkilders indflydelse på fordøjeligheden af ludbehandlet halm. Der blev foretaget en sammenligning af sukkerroeaaffald + melasse og stivelse (byg). Der fandtes ikke nogen sikker forskel mellem disse to kulhydratkilder.

I de fleste tilfælde fandtes en god overensstemmelse mellem den fundne og den forventede fordøjelighed af foderblandinger med forskellig sammensætning. Ved lavt halmindhold (20%) og højt indhold af byg var der imidlertid ingen forskel på fordøjeligheden af blandinger med ubehandlet og ludbehandlet halm. Dette resultat var i overensstemmelse med resultatet af et produktionsforsøg med ungtyre, hvor der heller ikke opnåedes nogen forbedring af tilvæksten som følge af ludbehandlingen, når der kun var 20% halm i rationen.

Optagelse af ludbehandlet halm hos kvæg

Der er gennemført 3 foderoptagelsesforsøg med malkekøer, i hvilke ludbehandlede halmcobs (byghalm) er givet enten som ren halm eller tilsat små mængder (5–10%) melasse. Køerne har i disse forsøg kunnet optage op til 10 kg ludbehandlet halm (8,7 kg tørstof) pr. dag, når halmen ikke var neutraliseret. Når ludoverskudet i halmen er blevet neutraliseret ved tilsætning af saltsyre, er halmoptagelsen forøget med 15–20%.

Halmoptagelsen reduceres, når foderrationen indeholder andet grovfoder som hø og/eller ensilage. I forsøg, hvor der er givet ca. 2 f.e. i disse fodermidler, er der opnået en optagelse af ludbehandlet halm på 5,5–7 kg pr. dag.

Halmen er i de fleste tilfælde blevet behandlet med ca. 5% NaOH. I et forsøg sammenlignedes halm behandlet med henholdsvis 3,5% og 5,5% NaOH. Der var ingen sikker forskel på optagelsen af disse to typer halm. En forøgelse af optagelsen som følge af forøget fordøjelighed kan blive modvirket af en nedsættelse af optagelsen som følge af høj luddosering (5–6%NaOH).

I en række produktionsforsøg med malkekøer er den ludbehandlede halm givet som bestanddel (op til 40%) af en pelleteret foderblanding. Af hensyn til foderrationens struktur har det i disse tilfælde været nødvendigt at give en vis mængde andet grovfoder. Når mængden af disse foderblandinger samtidig er varieret i henhold til køernes ydelse, er der i gennemsnit kun opnået en begrænset optagelse af ludbehandlet halm (3–5 kg pr. dag) med sådanne rationer.

Fordøjelighed og optagelse af foderblandinger med ludbehandlet hvedehalm hos får

Mulighederne for at anvende ludbehandlet hvedehalm i blanding med melasse og sukkerrocaffald til får er undersøgt i 3 forsøg.

I forsøg 1 undersøgte effekten af stigende luddosering på hvedehalm (0, 2,4%, 4,1% og 5,6% NaOH). Halmen blev givet i pelleterede foderblandinger, som indeholdt 70% halm.

I forsøgene 2 og 3 blev stigende mængder af halm successivt erstattet med snitfoder. I hvert forsøg var der 4 pelleterede rationer, som indeholdt henholdsvis 68, 58, 48 og 38% halm og 10, 20, 30 og 40% snitfoder. I forsøg 2 var halmen behandlet med 2% NaOH og i forsøg 3 med 4% NaOH.

Foderet blev i alle forsøgene tildelt efter ædelyst.

I forsøg 1 beregnedes den tilsyneladende fordøjelighed af organisk stof i hvedehalm til 31, 40, 46 og 48% ved behandling med henholdsvis 0, 2,4%, 4,1% og 5,6% NaOH. Der er således kun opnået meget lidt ved at øge ludtilsætningen ud over ca. 4%. Tilsvarende beregninger viste i forsøg 2 og 3 en fordøjelighed på 35 og 46% ved behandling med henholdsvis 2 og 4% NaOH.

Stigningen i den tilsyneladende fordøjelighed af organisk stof med stigende luddosering var mindre end stigningen i fordøjeligheden af cellevægsstofferne (NDF, cellulose, hemicellulose). Denne uoverensstemmelse kan delvis skyl-

des, at bestemmelsen af cellevægstofferne fordøjelighed ikke er korrekt, idet en del af cellevægstofferne ikke bestemmes ved Van Soest analysen, fordi de gøres opløselige ved NaOH-behandlingen. På den anden side kan en del af uoverensstemmelsen muligvis forklares ved den store stigning i vandoptagelsen, der forekommer efter behandling af halmen med stigende mængde NaOH. Det er sandsynligt, at opløselige stoffer og stoffer i små partikler som følge af den øgede vandoptagelse passerer så hurtigt gennem vommen, at deres omsætning formindskes.

I forsøgene 2 og 3 skete der en stigning i rationernes fordøjelighed med stigende indhold af snitfoder. I forsøg 3 var denne stigning imidlertid mindre end ventet. Dette kan skyldes, at fordøjeligheden af snitfoder er forringet som følge af en forøget vandoptagelse. I forsøg 3 (4% NaOH tilsat halmen) drak fårene 9,4–10,5 l vand pr. dyr om dagen, hvilket var 52% mere end i forsøg 2 (2% NaOH).

I forsøg 1 steg foderoptagelsen stærkt med stigende behandlingsintensitet fra 1603 g organisk stof, når halmen var ubehandlet, til 2139 g ved behandling med 4,1% NaOH. Når luddilsætningen forøgedes yderligere til 5,6% NaOH, faldt optagelsen igen til 1792 g organisk stof. En sammenligning af resultaterne i forsøg 2 og 3 viser, at foderoptagelsen var højere i forsøg 3 (4% NaOH) end i forsøg 2 (2% NaOH).

Faldet i foderoptagelsen ved højeste luddosering i forsøg 1 skyldes sandsynligvis, at dyrene har nået en tærskelværdi for optagelse af natrium. For at opretholde homeostasis i organismen reagerede fårene ved at øge urinudskillelsen, at øge koncentrationen af natrium i urinen, og tilsidst at nedsætte foderoptagelsen. Tærskelværdien syntes i dette forsøg at ligge på ca. 2,4 g natrium pr. kg^{0,75} legemsvægt.

Der var ingen kliniske symptomer på forringelse af dyrenes sundhedstilstand.

Produktionsforsøg med malkekøer

Der er gennemført 5 produktionsforsøg med NaOH-behandlet halm til malkekøer. I alle forsøgene anvendtes byghalm behandlet med ca. 5% NaOH på tørstofbasis. Denne halm var i forsøgene indplaceret i foderrationen på forskellige måder, således som det er vist i tabel 56, side 166.

I forsøg M 35 blev et normalhold sammenlignet med 2 forsøgshold, på hvilke kørerne dagligt fik henholdsvis 4 og 5 kg behandlet halm tilsat 5% melasse som erstatning for 2,3 f.e. i roer. Halmen indgik således som fast bestanddel af grundfoderet.

I de øvrige 4 forsøg indgik halmen som bestanddel af pelleterede foderblandinger, der blev tildelt efter ydelse.

I forsøg M 47 blev der foretaget en sammenligning mellem to blandinger, som begge indeholdt 40% ludbehandlet halm, men hvor halmen i den ene blanding

var suppleret med byg og i den anden med sukkerroeaffald og melasse. Disse blandinger blev givet som eneste foder sammen med langt, ubehandlet halm.

I de resterende 3 forsøg blev der givet moderate mængder af roer, ensilage og langt halm som fast grundfoder, og forsøgsblandingerne blev givet som produktionsfoder efter ydelse.

I forsøg M 46 sammenlignedes en blanding med 26% ubehandlet halm med en blanding med 40% ludbehandlet halm. I M 63 sammenlignedes 3 blandinger med henholdsvis 0, 20 og 40% ludbehandlet halm. I M 69 blev en normal foderration med store mængder almindeligt grovfoder suppleret med almindelige kraftfoderblandinger sammenlignet med en forsøgsration med moderate mængder grovfoder suppleret med en foderblanding med 40% ludbehandlet halm.

I forsøg M 47 opstod der alvorlige sundhedsmæssige problemer umiddelbart efter overgangen til forsøgsfoderet. Mange af køerne mistede ædelysten i en periode, og hos nogle køer i det ene forsøgsled tydede de kliniske symptomer og analyser på, at dyrene led af Mg-mangel. Årsagen hertil kendes ikke, men forskellige muligheder diskuteres. På grund af disse problemer kan resultaterne ikke anvendes til en sammenligning af de forskellige kulhydratkilders indflydelse på udnyttelsen af halmen.

I de øvrige forsøg, hvor der blev givet moderate mængder af behandlet halm (gennemsnitlig 3–4 kg og maksimalt 4–6 kg pr. ko pr. dag) sammen med mindre mængder almindeligt grovfoder, var sundhedstilstanden i alle tilfælde god.

Den ludbehandlede halm er tildelt i mængder, der svarer til, at den havde en energiværdi på ca. 0,6 f.e. pr. kg tørstof. I forsøg M 35 havde køerne på de to forsøgshold, som fik halmcobs, en lavere mælkeydelse men en tilsvarende højere tilvækst end køerne på normalholdet. I forsøgene M 46, M 63 og M 69 var der tendens til en højere mælkeydelse i de forsøgsled, hvor der blev givet ludbehandlet halm end ved normalfodring. Produktionsresultaterne viste således, at udnyttelsen af halmen fuldt ud har svaret til den ansatte værdi.

Rationer med ludbehandlet halm ændrede ikke mælakens sammensætning sammenlignet med normale foderrationer.

Den ludbehandlede halm kan kun anvendes i foderrationer med begrænsede mængder af andet grovfoder.

Produktionsforsøg med ungtyre

I årene 1973–74 og 1975–76 er der på Statsfængslet Renbæk udført to produktionsforsøg, K 34 og K 45, hvor værdien af NaOH-behandlet byghalm i kraftfoderblandingen er belyst. Forsøgene er gennemført med ungtyre i vægtintervallet fra 290 til 500 kg i K 34 og fra 230 til 445 i K 45.

I K 34 indgik 2 hold à 6 dyr, der fik henholdsvis 27% ubehandlet og 38% ludbehandlet halm i kraftfoderblandingen (tabel 72). Foruden denne blanding, der er givet efter ædelyst, blev der kun tildelt 0,7 kg hø pr. dyr daglig.

I K 45 indgik 40 dyr fordelt på 4 hold, der i kraftfoderblandingen fik henholdsvis 20 og 40% ubehandlet og 20 og 40% ludbehandlet halm. Hver af disse fire hold var opdelt i 2 grupper à 5 dyr, der fik henholdsvis 100 og 130 g ford. råprotein pr. f.e. (tabel 73). Blandingerne, der ligesom i det første forsøg blev opfodret i form af cobs, er givet efter ædelyst. Derudover er der tildelt maksimalt 1,5 kg. hø pr. dyr daglig samt mineral- og vitamintilskud.

I begge forsøg fik dyrene vand efter drikkelyst (vandkopper).

I det første forsøg, hvor foderblandinger med 27% ubehandlet og 38% ludbehandlet halm er sammenlignet, har foderudnyttelsen været bedst, når der anvendtes ludbehandlet halm, hvilket antyder, at foderenhedsværdien af halm forbedres ved ludning.

Også i det andet forsøg er foderudnyttelsen bedre, når blandingerne indeholder 40% ludbehandlet halm sammenlignet med 40% ubehandlet halm, og tilvæksten er ligeledes forbedret. Ved kun at erstatte 20% ubehandlet halm med 20% ludbehandlet halm i blandingerne er der hverken i fordøjelighedsforsøg (med får) eller i produktionsforsøget påvist nogen positiv effekt af ludbehandlingen.

Resultaterne bekræfter tidligere undersøgelser, der viser, at når man anvender stigende mængder ubehandlet halm i foderblandingen til ungtyre, sker et kraftigt fald i tilvæksten, ligesom slagtekvantiteten forringes.

Ved at øge proteinmængden fra ca. 100 til 130 g ford. råprotein pr. f.e. er hverken tilvækst, foderudnyttelse eller slagtekvantitet forbedret.

Energiværdi af NaOH-behandlet halm til kvæg og relationer mellem energiværdi og objektive analyseværdier

På grundlag af resultaterne fra fordøjelighedsforsøgene samt produktionsforsøgene med malkekøer og ungtyre er der foretaget en beregning af energiværdien af ludbehandlet halm.

Beregninger baseret på 3 produktionsforsøg med malkekøer viste en energiværdi på 0,62 (0,60–0,64) f.e. pr. kg tørstof i byghalm, som var behandlet med ca. 5% NaOH. Fordøjeligheden af det organiske stof i halmen, som anvendtes i disse forsøg, var på 65–68%. I produktionsforsøg med ungtyre blev der ved fodring med to foderblandinger, der indeholdt henholdsvis 38 og 40% halm behandlet med ca. 5% NaOH, fundet energiværdier for halmen på 0,42 og 0,58 f.e. pr. kg tørstof. Med en foderration med 20% ludbehandlet halm opnåedes en meget ringe udnyttelse, og værdien af halmen blev i dette forsøg beregnet til 0,14 f.e. pr. kg tørstof.

Det er konkluderet, at ludbehandlet halm med en fordøjelighed af organisk stof på ca. 65% har en energiværdi på ca. 60 f.e. pr. 100 kg tørstof. I visse foderrationer kan der forventes en betydelig lavere udnyttelse.

Ubehandlet halm med en fordøjelighed af organisk stof på 45–50% har en energiværdi på ca. 30 f.e. pr. 100 kg tørstof. Idet det er antaget, at energiværdi-

en imellem de to punkter stiger retliniet med stigende fordøjelighed, er der opstillet en tabel over energiværdien af ludbehandlet halm med forskellig fordøjelighed (Tabel 83). I tabellen er angivet de tilsvarende fordøjelighedscoefficients for næringsstofferne samt værdital.

Energiværdien af halm kan vurderes på grundlag af indholdet af in vitro fordøjeligt eller enzymopløseligt organisk stof i tørstoffet. Relationerne mellem analyseværdier og energiværdi er vist i tabel 84. Ved høje værdier for in vitro fordøjelighed og enzymopløselighed sker der ingen tilsvarende stigning i nettoenergiværdien.

Der er gennemført indledende undersøgelser over mulighederne for ved hjælp af analyser at vurdere energiværdien af foderblandinger, som indeholder halm med varierende fordøjelighed. Foderets indhold af fordøjelig energi estimeret ved hjælp af in vitro metoden har vist god sammenhæng med den beregnede nettoenergiværdi, men der må gennemføres betydelig mere omfattende undersøgelser, før metodens sikkerhed kendes.

Summary

Introduktion

The area of grain in Denmark has been much increased during the latest decades (Table 1). At the same time a change in the structure of Danish agriculture has occurred, so that certain districts mainly produce grain and other cash crops, while the cattle husbandry is concentrated in other areas. As a result a great surplus of straw has arisen, and this straw is destroyed (Figure 1). It constitutes a great, potential feed resource, which possibly can be utilized, if appropriate methods of handling the straw and increasing its feeding value is developed.

An increase of the feeding value may be obtained by chemical treatment. Straw consists mainly of cellwall constituents (cellulose, hemicellulose and lignin). Although the cellwall constituents may be metabolized by the microorganisms in the rumen, and so can serve as an energy source for ruminants, their accessibility and utilization is very low. In section I. of this report the composition and characteristics of straw is described, and ways of increasing the accessibility of cellwall material by chemical treatment is discussed. During the later years new treatment methods have been developed, which have increased the possibility of carrying such treatments into effect.

On the basis of this a research project has been carried through in a co-operation between the National Institute of Animal Science in Copenhagen and the Biotechnical Institute in Kolding. The purpose of this project was to investigate different technical processes concerning NaOH-treatment of straw according to a new treatment method, and to examine the feeding value and the scope for the utilization of treated straw as a feed for cattle and sheep.

Technical construction of the experimental plant

The technical studies and the production of the experimental feed is carried out on an experimental plant at the Biotechnical Institute in Sdr. Stenderup near Kolding.

The treatment method is a continuous process. An overall scheme of the treatment plant is shown in figure 7, and details are given in figure 8 and 9. The straw is chopped and carried to a lye-mixer, where the desired amount of a concentrated solution (27–34% NaOH) of lye is added. The addition of lye is controlled electronically via a belt weigher, which registers the amount of straw passing (Figure 9). The lye-mixer (Figure 8) is constructed in such a way that it ensures a very intensive mixing of the straw and the lye solution. From the

mixer, the straw is carried directly to a die press. In the press the straw is exposed to a high pressure and temperature, which accelerate the reaction between the sodium hydroxide and the cellwall constituents of the straw. The final product appears in the form of cobs with a dry matter content between 80–85%. Before storing the cobs are cooled by blow-through of atmospheric air.

A horizontal mixer has been used for the preparation of feed compounds. When feed compounds containing NaOH-treated straw were prepared, the straw cobs were desintegrated in a hammermill with a 25 or 40 mm screen, before mixing with other feed components.

Methods for evaluation of the quality of NaOH-treated straw

Investigations have been carried out in order to find analytical methods, which can be used as measures of the quality of NaOH-treated straw. These investigations included the normal Weende feed analysis, estimation of the content of cellwall constituents (Goering and Van Soest, 1970), of the *in vitro* digestibility (Tilley and Terry 1963) and enzyme solubility plus the content of remaining, unreacted NaOH in the straw. The enzyme solubility was measured as the part of the straw, which was dissolved after 24 h incubation with a commercial enzyme preparation (Onozuka SS) isolated from cellulolytic microorganisms.

Treatment of straw with increasing amounts of NaOH results in an increasing ash content in the straw. But the proportions between organic components as determined by the Weende analysis are almost unchanged (Table 9). Therefore, this analysis does not give any information about the quality of treated straw.

The content of cellwall components (NDF) in the dry matter is reduced by treatment with increasing amounts of NaOH (Table 10). At treatment with appr. 6% NaOH this reduction was of the order of 15–18 percentage units, of which appr. 5 percentage units probably were caused by increased content of soluble ash. The remaining 10–12 percentage units reduction is caused by an increased solubility of lignin and hemicellulose. The change in solubility of lignin is not shown by the analysis of Van Soest. The solubility of cellulose probably is not changed by a mild NaOH-treatment of straw for feeding purposes. The change in NDF-content is of a low order and, therefore, not well suited as a measure of the quality of treated straw.

The *in vitro* digestibility and enzyme solubility of straw is raised nearly rectilinear with increasing dosage of lye up to 6% of the straw dry matter (Fig. 11). The *in vitro* digestibility of organic matter in straw may be raised to 70–80% by NaOH-treatment. There is a fairly close connection between enzyme solubility and *in vitro* digestibility (Fig. 12 and table 11). Different commercial enzyme preparations have very different activities (Rexen, 1976b).

The *in vivo* digestibility of organic matter in straw measured in experiments with sheep is increased from 45–50% in untreated barley straw to app. 65% at treatment with 4–5% NaOH. Further increased dosage of NaOH results in only a very limited increase in digestibility (Fig. 13 and 14). Therefore, the relationship between *in vitro* and *in vivo* digestibility of NaOH-treated straw is not rectilinear. At moderate dosage levels (2–4% NaOH) a close connection between *in vitro* and *in vivo* digestibility of straw was found.

Increasing dosage of NaOH results in an increase in the content of remaining, unreacted NaOH in the straw. (Fig. 17). This content of unreacted alkali has to be kept as low as possible out of regard for the feed intake and the health of the animals.

Optimization of the processing conditions

The effect of lye-treatment according to the dry method is dependent on different factors, some of which are interrelated. The following factors have been investigated: Amount of NaOH added, the concentration of NaOH in the lye solution, the reaction conditions time, temperature and pressure, and the degree of comminution of straw before treatment. It should be emphasized that the results may be valid only for the treatment method used in these experiments, and other results will in some cases be obtained using other dry-treatment methods.

The effect of lye-dosing on the digestibility and enzyme solubility of organic matter in straw was shown in the preceding section. The results are in this section supplied with results based on a greater number of analyses, for which the enzyme solubility only is measured as soluble dry matter in % of dry matter. In agreement with the earlier findings, the results show that the *in vitro* digestibility and enzyme solubility is increased linearly with increasing addition of lye up to 6% NaOH of the straw dry matter (Figure 16). There was only a few investigations beyond this level, the results of which suggest that the curve for *in vitro* digestibility is leveling off.

The concentration of the lye solution, which in the experiment was varied from 16–46%, did not influence the effect of treatment in the process used (Figure 19).

The experimental design and data of production for 2 experiments with heating of lye, steam addition in the press and variation in the thickness of the die and the diameter of holes in the die is given in tables 12, 13 and 14. The results illustrated in figure 22 indicate that some increase in the effect of treatment may be obtained by increasing the thickness of the die to a certain level. This parameter does also affect the temperature of reaction as indicated by the results shown in figure 24, the pressure, and the time of reaction.

The bulk density of the treated straw cobs is greatly increased by increasing thickness of the die (Figure 25). Increased die thickness and decreased diame-

ter of holes in the die result in greatly increasing comminution of the treated straw. At high levels of NaOH-addition, this reduction in particle size may be avoided by heating of the lye solution and addition of steam in the press. This effect is possibly attained partly by a lubricating effect of the steam, partly by making the straw smooth.

Heating of the lye solution and/or addition of steam has not improved the effect of treatment of pure straw (Figure 20). A possible positive effect of the increased temperature of reaction may have been counteracted by decreased friction in the press.

An increased comminution of the straw in a hammermill before treatment has not influenced the effect of treatment (Table 15).

The same effect (increase in digestibility *in vitro*) of treatment was found for different kinds of straw (oat, wheat, rye and ryegrass) (Figure 27), and they were of the same magnitude as for barley straw (see regression equations, p. 84).

Investigations of the storing stability of lye-treated straw

Barley straw treated with different amounts of NaOH, having different water contents and different temperatures (table 16) was stored in 5 experimental silos for 1 year. During storing the content of unreacted alkali was reduced, but the enzyme solubility was not changed (Table 17). No damage of the treated straw occurred during storage. Microbial growth was strongly impaired at high pH-values. However, under practical conditions spontaneous combustion in stores of NaOH-treated straw cobs has occurred in a few cases.

Pelleting of feed compounds with lye-treated straw

All compounds with lye-treated straw used in the feeding experiments were pressed into 14 mm cobs at an experimental plant by the »2-step technique« (Figure 29). Thus, the straw was first pressed into cobs, which were crushed before mixing with other components and final pressing of this mixture into cobs. This results in a small particle size of the product, but ensures a high effect of the treatment and a product with a high bulk density and durability of compounds with up to 5% crude fat. Larger quantities of animal fat were sprayed on the cobs after pressing.

The effect of omitting the pressing of the lye-impregnated straw before mixing with concentrates was examined (Figure 32). This results in lower manufacturing costs and a product with a coarser physical structure, but involves a risk of decreased treatment effect on the digestibility of straw and reduced bulk density and durability of cobs. When the first pressing into cobs was omitted and not replaced by other treatments, the digestibility coefficients for O.M. of compounds with 40–50% straw (Tables 18 and 19) decreased by 3–4

units (Table 20 and 23), and the bulk density and durability were considerably reduced (Tables 22 and 24).

When the first cobs pressing was replaced by other means to ensure complete absorption of lye into the straw before addition of concentrates and a suitable pressure and temperature during the final cobs pressing, the difference in digestibility, bulk density and durability was negligible in relation to the 2-step technique. This could be achieved by heating the lye or lye-treated straw and by roller pressing of the lye-treated straw combined with pressing of the compound under addition of steam or through a thick die and addition of fat after pressing (table 21, 22, 23, 24 and 25, and figures 33 and 34).

Physiological investigations

The effect of neutralization of excess base and the influence of source of carbohydrate in feeding of lye-treated straw was investigated. Six non-lactating cows, fitted with ruminal fistula were used. The experimental rations contained respectively 96.5% straw (1), 50% straw + 46.6% dried, molassed beet pulp (2), and 50% straw + 46.5% barley (3). The straw component in each of the 3 rations was either treated, unneutralized straw (a) or treated straw neutralized with hydrochloric acid (b) (Table 26). The straw was treated with 5% sodium hydroxide. The content of watersoluble carbohydrates and starch of the 3 rations was 0.7 and 1.7, 13.2 and 0.4, and 2.7 and 22.3%, respectively (Table 28).

Neutralization as well as admixture of barley or molassed, dried beet pulp improved the palatability of the rations. The cows consumed only with difficulty the given amount (ca. 10 kg per day) of ration 1a. The water intake increased markedly with increased salt concentration (Table 30). Concentration of hydroxide *per se* did not affect water intake, as no difference was observed between unneutralized and neutralized rations.

Ruminal pH was high in cows on ration 1a (7.0–7.5) (Figure 35). Extreme values above 8 were recorded shortly after feeding. The neutralized straw ration (1b) gave a very constant ruminal pH of 6.8–7.0. In the rations with molassed, dried beet pulp and barley, the straw component seemingly had a moderating effect so that a drastic fall in pH did not occur. The pH varied between 6.2 and 6.8. The concentration of volatile fatty acids (VFA) was very constant with the straw rations 1a and 1b (ca. 100 mmol/l) (Figure 36). The VFA concentration increased rapidly immediately after feeding of the rations with molassed beet pulp, whilst the increase was somewhat slower with the barley rations. The acetic acid: propionic acid ratio was high with all rations; lowest with the beet pulp rations (ca. 3.5) and highest with the barley rations (ca. 5.0) (Figure 37). Lactic acid concentration was low with all rations.

Determination of base excretion in the urine showed that the maximal con-

centration of base in connection with a base load is fairly constant (250–300 meqv/l), and that the excretion of base, therefore, in the main is regulated by change of diuresis, when that concentration is reached (Table 32). The diuresis varied from 0 to 5 l per hour through the day for cows on rations 1a and 1b (Table 33). The daily amount of urine was not affected by the amount of hydroxide, but was determined by the total concentration of electrolytes in the feed. The hydroxide in the unneutralized rations did not influence negatively the mineral balance in this experiment (Table 34). Measurements of the standard bicarbonate concentration of blood showed that cows on ration 1a probably had a slight, compensated alkalosis (Tables 35 and 36). The results proved that a possible alkalosis can be prevented by neutralization of the excess base of the treated straw, but the neutralization has to be made with an inorganic (non-metabolizable) acid.

Total counts of bacteria and counts of cellulolytic bacteria were examined in rumen fluid from cows fed sodium hydroxide-treated straw. No negative effect from feeding this type of feed was found neither concerning total counts of bacteria nor counts of cellulolytic bacteria (Table 37).

Digestibility experiments with sheep and cows

The digestibility of straw and of different feed compounds containing untreated and lye-treated straw has been estimated in experiments with sheep and cows.

The influence of increasing NaOH-dosing on the digestibility of straw was determined in 3 experiments with sheep (Table 38). The sheep were fed rations containing 75% straw and 25% soyabean meal at the maintenance level, and the digestibility of the straw was calculated by difference assuming a constant digestibility of soyabean meal. The content of crude protein and crude fat in straw is too low to allow a determination of the digestibility of these components. The digestibility of crude fiber and N-free extracts was increased linearly by increasing lye-dosing up to 4–5% NaOH. Further increase in the amount of NaOH caused a very limited increase in the digestibility of these components. The same was the case for organic matter and energy.

The effect of neutralization of NaOH-treated straw was examined in an experiment with cows and an experiment with sheep. HCl was added to straw treated with appr. 5% NaOH to lower the pH of straw to 6–8 (Table 39). In the experiment with cows the straw was given in 3 different rations, the composition of which is shown in table 26. In both experiments the neutralization increased the digestibility of crude fiber by 5–6 percentage units, of N-free extracts by 3–4 percentage units, and of organic matter and energy by 4–5 percentage units. Also the digestibility of cellulose was increased by neutralization (Table 40).

The effect of a supplement of beet pulp + molasses versus barley on the digestibility of treated straw was examined in experiments with cows and sheep (Table 41). The composition of the rations fed in these experiments is given in table 26 (Mix.no. 2a + b and 3a + b) and in table 57 (Mix.No. 4701 and 4702), respectively. The digestibility of crude fiber was highest in rations with beet pulp + molasses. In the experiments with cows this difference was totally accounted for by the difference in digestibility of crude fiber in beet pulp and barley, but in the sheep experiment the difference was bigger. Thus, these results were not in complete agreement.

In most cases the digestibility of different feed compounds with straw was in good agreement with calculated values. But at a low level of straw in the ration (20%) there was no difference in digestibility between rations with treated and untreated straw (Table 42. Composition of mixture: see table 74). This result was in accordance with the result of a production experiment with young bulls, where treatment of the straw did not increase the live-weight gain at a level of 20% straw in the ration.

Intake of NaOH-treated straw in cattle

In 3 experiments (M 26, M 32 and M54) with dairy cows the intake of NaOH-treated straw cobs (barley straw) given either pure or mixed with small amounts of molasses (5–10%) was measured. The straw was fed twice a day in amounts 10% above expected intake and weighed back once a day.

When no other kinds of roughages were fed, the cows were able to consume up to 10 kg (8.7 kg D.M.) of treated, unneutralized straw per day (Table 44). Neutralization of the remaining NaOH in the straw with HCl increased the intake 15–20%. When the ration contained appr. 3 kg dry matter in hay and/or silage, the intake of straw was between 5.4 and 6.8 kg per cow per day.

The straw was in most cases treated with 5% NaOH on dry matter basis, but in one experiment (M26) a comparison was made between straw treated with 3.5 and 5.5% NaOH. The intake of these two types of straw were not significantly different. An increasing effect on consumption caused by increased digestibility may be counteracted by a decreasing effect of high NaOH-concentration (5–6%).

In a series of production experiments with dairy cows treated straw was given in pelleted feed mixtures containing up to 40% straw. To obtain a proper physical structure of the ration it was necessary to give certain amounts of hay and/or silage in these rations, and at the same time the amounts of the feed mixtures had to be varied according to the milk yield of the cows. As a result the average intake of straw was rather low (3–5 kg per day) in such rations (table 45).

Digestibility and voluntary intake of feed mixtures containing NaOH-treated wheat straw in sheep

The possibility of utilizing NaOH-treated wheat straw mixed with beet pulp molasses as the only feed for sheep was examined in 3 experiments with sheep, particular regard being taken to the influence of high sodium intakes on the voluntary consumption of organic matter and water. The results of these studies are given elsewhere in English (Ali et al., In press).

Production experiments with dairy cows

Five production experiments with NaOH-treated straw to dairy cows have been carried out. In all experiments barley straw treated with appr. 5% NaOH (dry matter basis) has been used. This straw was placed in the ration in different ways, as it is shown in table 56, p. 166.

In experiment M 35 the cows in two experimental groups received 4 and 5 kg per day, respectively, of treated straw containing 5% molasses. These amounts of straw replaced 2.3 Scandinavian feed units (Sc.f.u.) given in fodderbeets in a normal fed group. The straw was given as a constant part of the basic feed.

In the other 4 experiments the straw was given as part of pelleted feed mixtures, the amounts of which were varied according to the milk yield of the cows. The feed composition of these mixtures is shown in table 57. The chemical composition of the straw cobs used in experiment M 35 and of the feed mixtures used in other 4 experiments is given in table 63.

In experiment M 47 two mixtures were compared, both of which contained 40% treated straw. In one of these mixtures the straw was supplemented with barley and in the other with sugarbeet pulp and molasses in order to compare two different sources of carbohydrates given along with the straw. These mixtures were given as the only feed together with long, untreated straw.

In the remaining 3 experiments (M 46, M 63 and M69) the cows were given moderate amounts of fodderbeets, silage and long straw as basic feed supplemented with experimental mixtures. In experiment M 46 a comparison was made between an experimental mixture, which contained 26% untreated straw (chopped) and one containing 40% treated straw. In experiment M 63 3 mixtures containing 0%, 20% and 40% treated straw, respectively, were compared. In experiment M 69 the experimental ration, which included an experimental mixture containing 40% treated straw, was compared to a normal dairy cow ration containing great amounts of roots plus hay and silage.

The cows were fed according to milk yield, though the amounts of feed were always corrected so as to give both or all groups of cows within an experiment the same amount of calculated net energy. The change from week to week in the amount of energy to each cow was restricted to a maximum of 0.4 Sc.f.u. The average feed consumption is shown in table 58, 59, 60, 61 and 62.

In experiment M 47 serious health problems occurred immediately after the change to the experimental feed. Many cows went off feed for a few weeks, and in some cows clinical symptoms and blood analyses were indicative of hypomagnesaemia. The reasons are not known. The feed change may have been too drastic. Also the cows showed a great need for long roughage, as they took up 4–5 kg of lang barley straw per day. Possibly the high amounts of sodium (150–200 g per cow per day in 6–8 kg of treated straw) could have caused disturbances. The amount of Mg in the rations exceeded tabulated requirements by 70–80%. After giving an extra injection of vitamin A and D and a supplement of MgO normal feed intake was reestablished, but a steep drop in milk yield still occurred. Owing to these problems the results cannot be used to compare the influence of different carbohydrates on the utilization of treated straw.

In the other experiments, where moderate amounts of treated straw (average 3–4 kg, and maximum 4–6 kg per cow per day) were given together with small amounts of normal roughages, the health and appetite of the cows was in general good. However, in experiment M 35 some of the cows were not able to consume the amounts of straw cobs with molasses, which were given.

The treated straw has been given in amounts, which correspond to an energy value of 0.6 Sc.f.u. per kg D.M. In experiment M 35 the two experimental groups had a lower milk yield but a correspondingly higher gain than the normal fed group (Table 67). In the experiments M 46, M 63 and M 69 there was a tendency towards a higher milk yield, though not statistically significant ($P > 0.05$), when the treated straw was given, than when the cows were normal fed (Table 68). The live-weight gain was highest on treated straw in experiment M 46, equal on the 3 groups in experiment M 63 and lower on the experimental than on the normal group in experiment M 69. In the last case there was a lower energy allocation to the experimental group than to the normal group. The results indicate that the utilization of the straw fully correspond to the formerly estimated value (0.6 Sc.f.u. per kg D.M.).

The rations with treated straw did not change the composition of the milk compared to normal rations.

NaOH-treated straw can only be used for dairy cows in rations with limited amounts of other roughages. Examples of rations are given in table 71. There may be limits to the amount of NaOH-treated straw, that can be fed to dairy cows in the long term without affecting the health of the cows.

Production experiments with young bulls

During the period 1973 to 1976 two feeding experiments were carried out at the experimental farm Renbæk. The object was to examine the feeding value of NaOH-treated barley straw compared with untreated barley straw in the concentrate mixture for young bulls.

In the first experiment, K 34, two groups of young bulls were compared in the weight interval from 290 to 500 kg:

Group N: 27% untreated straw in a pelleted feed mixture,

Group F: 38% NaOH-treated straw in a pelleted feed mixture.

The detailed composition of the rations is shown in Table 72.

In the second experiment, K 45, forty young bulls in the weight interval from 230 to 445 were used in a 2 x 2 factorial experiment with two kinds of straw (NaOH-treated and untreated straw), two levels of straw (20 and 40%) and two protein levels (100 and 130 g dig. crude protein per Scand.f.u.). The experimental design is shown in table 73 and the composition of the feed mixtures in table 74.

In both experiments the calves were individually fed. The pelleted mixtures were given *ad libitum*, and clovergrass hay was restricted to maximum 0.7 kg per calf a day in experiment K 34 and to 1.5 kg in K 45.

The feed mixtures are produced in two steps. First the straw is chopped, added 5% NaOH and pelleted (14 mm pellets). After that the pellets are milled in a hammer mill with a 25 mm screen, mixed with the other feeding stuffs and pelleted (14 mm). In order to get the same particle size in the mixtures the untreated straw was also chopped, pelleted and milled before added to the mixture.

The results from the experiments show that neither the health of the animals nor the feed intake were affected by replacing untreated with NaOH-treated straw in the concentrate mixture.

By replacing 20% untreated with 20% NaOH-treated straw in the mixture neither the daily gain nor the feed conversion (Scand.f.u./kg carcass gain) is improved. However, by including about 40% treated straw in the ration, the feed conversion was improved, indicating a higher net energy value of treated than of untreated straw. In K 45 the daily gain was also increased by including 40% treated straw compared with 40% untreated straw (table 78).

These results are in agreement with the results from digestibility trials with sheep. The digestibility of organic matter was not improved by replacing 20% untreated straw with 20% treated. On the 40% level the digestibility was improved by 5-6 units by treatment. The utilization of cellwall materials may have been impaired by the high starch content of the first mentioned diet.

The carcass quality assessed subjectively was not affected by treatment.

By increasing the amount of untreated straw in the ration from 20 to 40% the daily gain decreased and the carcass quality was reduced.

By increasing the protein level neither the daily gain, nor the feed conversion or the carcass quality was affected.

Energy value of NaOH-treated straw for cattle and relationships between the energy value and objective values of analysis

The net energy of NaOH-treated straw is estimated on the basis of the digestibility experiments with sheep and the production experiments with dairy cows and young bulls.

From the results of 3 experiments with dairy cows the estimated net energy value was 0.62 (0.60–0.64) Sc.f.u. per kg dry matter in treated barley straw (Table 81). This straw was treated with appr. 5% NaOH and the digestibility (in vivo) of organic matter was 65–68%.

Two production experiments with young bulls fed rations containing 38 and 40% treated straw, respectively, gave values of 0.42 and 0.58 Sc.f.u. per kg dry matter in straw treated with 5% NaOH (Table 82). When a ration containing 20% treated straw was fed, a poor utilization was obtained, and the estimated energy value was 0.14 Sc.f.u. per kg dry matter in straw.

It is concluded that the energy value of treated straw is appr. 0.60 Sc.f.u. per kg dry matter, if the digestibility of the organic matter is appr. 65%. It is at the same level as the energy value of hay with a corresponding digestibility. In certain rations a considerably lower utilization may be expected.

The energy value of untreated straw with a digestibility of organic matter of 45–50% is appr. 0.30 Sc.f.u. per kg dry matter. It is assumed that the energy value between these two points is increased linearly with increasing digestibility. Values for straw with different digestibility coefficients is shown in table 83.

The energy value of pure straw may be estimated on the basis of the content of in vitro digestible or enzyme soluble organic matter in the dry matter. Relations between values of these analyses and energy values are shown in table 84. At values for in vitro digestibility and enzyme solubility higher than those shown in the table, the in vivo digestibility and the energy value is not increased further (see section II.A.2.).

I. Indledning

A. Halm som potentielt foderemne til kvæg

Landbrugets vegetabilske produktion er stadig underkastet ændringer. I de senere år er der således sket en stigning i arealet, som anvendes til dyrkning af korn.

Tabel 1. Samlet landbrugsareal i Danmark samt areal og udbytte af kornafgrøder
Table 1. Total agricultural area, area and yield of grain crops in Denmark

		1950-54	1960-64	1973	1974	1975
Areal - Area						
Landbrugsareal, 1000 ha		3120	3086	2952	2905	2915
<i>Agriculture,</i>						
Korn - <i>Cereals</i> , 1000 ha		1320	1540	1762	1733	1720
Byg - <i>Barley</i> , 1000 ha		563	855	1445	1437	1443
Udbytte af kornafgrøder						
<i>Yield of grain crops</i>						
Kerne - <i>Grains</i> , 1000 tons		3929	5375	6633	7261	6252
Halm - <i>Straw</i> , 1000 tons		5195	5769	6342	6063	5335

Landbrugsstatistik, København 1973-75.

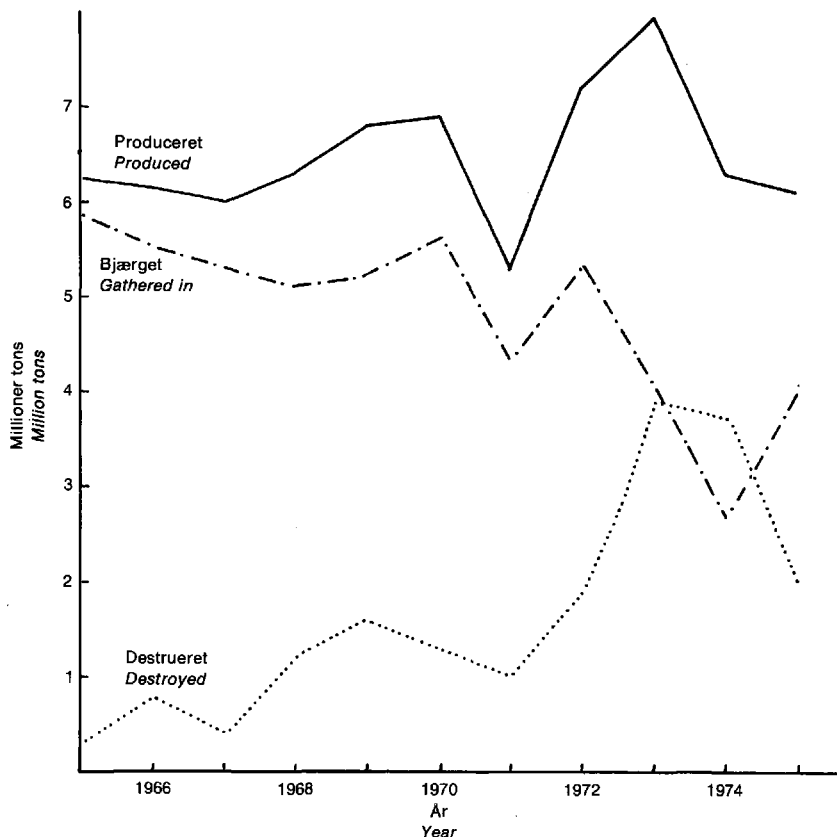
Det samlede kornareal nåede i 70'erne op på 60% af landbrugsarealet i Danmark. Heraf udgjorde arealet med byg godt 80% eller ca. 50% af det samlede landbrugsareal.

Kornhøsten omfatter nu årligt 13-15 mill. tons ialt. Kernens foderværdi svarer til 70 mill. afgrødeenheder, hvorimod foderværdien af halmen kun udgør omkring 1/4 af denne værdi.

Den producerede halmmængde udgør 5-6 kg pr. stk. hornkvæg pr. dag. Heraf anvendes i dag omkring 1/3 til foder. En betydelig part af halmen anvendes til strøelse.

Hovedparten af overskudshalmen høstes på de østlige øer i Danmark, hvorimod kvægbruget er koncentreret med omkring 80% i Jylland. Dette har i de seneste år medført, at omkring 2 mill. tons halm er blevet destrueret, hovedsagelig ved afbrænding (figur 1).

For at opnå fuld udnyttelse af halmen kan der blive tale om at flytte op til 1 mill. tons halm fra de østlige øer til Jylland.



Figur 1. Halm, produktion og udnyttelse. (Landbrugsstatistik, København, 1973-74).

Figure 1. Cereals straw, production and utilization.

En procesteknik, der forudsætter, at halmen presses i cobs eller briketter, har stor indflydelse på transport- og opbevaringsomkostninger.

Anvendelse af halm til foderbrug har hidtil været begrænset. Årsagen hertil er først og fremmest, at kornhalmen er et stærkt fyldende foder med en lav fordøjelighed.

Drøvtyggere har mulighed for at udnytte halmens træstoffraktion. Det er især cellulosen, som kan udnyttes med hjælp af vombakteriernes enzymer. En kemisk behandling, der forbedrer halmens fordøjelighed, vil dog være en forudsætning for en større anvendelse af halm i kvægproduktionen.

Halmen kan således blive en stor potentiel foderreserve, som må tages i betragtning i den fremtidige foderforsyning til drøvtyggere.

B. Forbedring af halmens foderværdi ved behandling med natriumhydroxyd. Litteraturoversigt

1. Indledning

I dette afsnit gives på grundlag af litteraturstudier en oversigt over halmens egenskaber, og over hvorledes halmens udnyttelse som foder kan forbedres ved kemisk behandling. Der findes på disse områder et uhyre stort materiale i litteraturen, og der er ikke med dette afsnit gjort forsøg på at give en dækkende gengivelse af den eksisterende information. Det er hensigten at fremdrage væsentlige oplysninger om halmens fysiske og kemiske egenskaber og om de påvirkninger, den kan underkastes ved kemisk behandling samt at beskrive vigtige led i udviklingen af den kemiske behandling af halm til foderbrug.

2. Halmens opbygning, kemiske sammensætning og fordøjelighed

a. Halmens morfologi

Et halmstrå består af nodier (knæ), internodier (stængel), blade og aks, der har forskellig kemisk sammensætning og dermed forskellig foderværdi. Internodierne samt bladdelene udgør langt den største del af strået, ca. 84%, knæene ca. 6%, mens aks og avner udgør de resterende 10% (Boesen og Kruse, 1952). I bygghalm udgør bladene 20–30%.

Hovedbestanddelen af de mikroskopiske halmfibre er tyndvæggede, langstrakte bastceller, som ligger tæt lejret under et lag tykvæggede, mere eller mindre forkislede overhudsceller. Bastcellerne er regelmæssigt byggede og tilspidsede i enderne. Længden af disse celler varierer med halmarten og vækstbetingelserne.

Inden for bastcellerne findes et stort antal tyndvæggede cylindriske parenchymceller, der som regel har samme længde og bredde. De er ret karakteristiske og kan anvendes til at skelne halmcellulose fra andre cellulosearter. I mindre mængde findes sclerenchymceller fra knæene på strået. De er stærkt forkislede, tykvæggede og korte.

Tabel 2. Cellernes procentiske fordeling og dimensioner. (Boesen og Kruse, 1952)
Table 2. Percentage distribution and dimensions of cells. (Boesen and Kruse, 1952)

	Procent Percent	Længde Length mm	Diameter Diameter μ
Bastceller <i>Fiber cells</i>	52.2	0.5–1.9	10–25
Overhudsceller <i>Epidermal cells</i>	13.7	0.08–0.25	15–20
Parenchymceller <i>Parenchyma cells</i>	28.4	0.06–0.30	20–80
Sclerenchymceller <i>Sclerenchyma cells</i>	5.7		

b. Halmens kemiske sammensætning

Halmens kemiske sammensætning fremgår af følgende oversigt samt af tabel 3.

1. Holocellulose

A. Hemicellulose

a. Pentosaner

Xylose

b. Hexosaner

Mannose

Fructose

Galactose

Glucose

B. Rencellulose

a. Alfa-cellulose

b. Beta-cellulose

c. Gamma-cellulose

2. Lignin

3. Harpiks-fedtstof

4. Protein

5. Aske (hovedsagelig SiO₂)

Holocellulose (Skelet-substans) er betegnelsen for alle tilstedeværende polysaccharider i halmen. Disse kan opdeles i hemicellulose og rencellulose. Hemicellulose er betegnelsen for de polysaccharider, der med hensyn til egenskaber og kemisk konstitution tydeligt afviger fra cellulose. Det kan være både pentosaner, hovedsagelig opbygget af xylosemolekyler, og hexosaner, opbygget af

Tabel 3. Gennemsnitlig kemisk sammensætning af halm, % af tørstof. (Ritman et al., 1948)

Table 3. Average chemical composition of straw, % of dry matter. (Ritman et al., 1948)

Art <i>Species</i>	Holo- cellulose	Cel- lulose	Pento- saner	Lignin	Harpiks- ¹⁾ fedtstof	Protein	Aske ²⁾
Byghalm <i>Barley straw</i>	71	36	26	17	1,2	2,9	4,0
Havrehalm <i>Oat straw</i>	69	35	27	17	1,5	2,3	6,5
Hvedehalm <i>Wheat straw</i>	70	35	27	16	1,0	2,5	3,5
Rughalm <i>Rye straw</i>	75	39	28	18	1,4	3,5	3,0

¹⁾ Resin fat ²⁾ ash

forskellige monosaccharider. Rencellulose er betegnelsen for polysaccharider, der er opbygget af glucose med beta 1,4 bindinger. Rencellulose er det vigtigste konstruktionsmateriale i cellevæggen. Den kan efter polymerisationsgraden opdeles i alfa-, beta- og gammacellulose. Alfacellulose danner de længste kæder.

Lignin findes som bestanddel af de forveddede cellevægge. Det danner en skal om cellulosen og betegnes derfor som »inkrusteringsstof«. Det er kemisk set et højmolekylært stof, brunt eller gult. Man kender ikke den nøjagtige konstitutionsformel. Det procentiske indhold af C, H og O stemmer nogenlunde med formlen $(C_9H_{10}O_3)_n$. Karakteristisk for lignin er et indhold af methoxylgrupper. Det er meget modstandsdygtigt over for mange kemiske påvirkninger og i særdeleshed over for angreb af enzymer og mikroorganismer. Ligninet er formentlig både kemisk og fysisk bundet til cellulosestofferne.

Harpiksen og fedtstoffet er især koncentreret på halmstråets overflade, hvor det danner et beskyttende lag.

Hemicellulosen, rencellulosen og ligninet udgør planternes cellevægsbestanddele og tjener på grund af deres fysisk-kemiske karakter som planternes strukturstoffer. Hos modne planter findes næsten alle celleindholdsstoffer (letopløselige kulhydrater, stivelse, protein og fedt) koncentreret som oplagsnæring i kerner og andre formeringsorganer, mens der i stængel- og bladele næsten kun er cellevæggenes bestanddele tilbage. Halmen består derfor næsten udelukkende af cellevægsstoffer, som udgør 85–90% af halmtørstoffet. Holo-cellulosen udgør ca. 70% og er omtrent ligeligt fordelt mellem cellulose og hemicellulose. Ligninet udgør 16–18% af halmtørstoffet.

c. Drøvtyggenes udnyttelse af cellevægsstoffer i halmen

Planternes celleindholdsstoffer kan direkte udnyttes som næringsstoffer af alle højerestående, planteædende dyr, der besidder de nødvendige enzymer i fordøjelseskanaalen til nedbrydning og omsætning heraf. Derimod producerer ingen af disse dyr enzymer, der kan spalte cellevæggenes bestanddele. Kun mikroorganismer er i stand til at fordøje cellevægsstofferne. Blandt de højerestående dyr kan derfor kun de arter, der har en veludviklet symbiose med mikroorganismer i fordøjelseskanaalen, i væsentligt omfang udnytte cellevæggenes bestanddele. Her indtager drøvtyggerne en fremtrædende plads.

Det var allerede i sidste århundrede kendt, at drøvtyggere i modsætning til enmavede dyr er i stand til at udnytte cellulose, og at udnyttelsen sker på grundlag af gæringsprocesserne i vommen. Kellner viste, at ren cellulose kan have næsten samme energetiske næringsværdi som stivelse. Også hemicellulosen kan nedbrydes af vommens mikroorganismer.

Fordøjeligheden af hemicellulose og cellulose aftager med planternes alder og modenhedsgrad på grund af tiltagende lignificering. Halmen indeholder 70–75% holocellulose i tørstoffet, og kun 45–60% af disse stoffer fordøjes.

Ligninet er praktisk taget ufordøjeligt, og dets negative virkning på fordøjeligheden af de andre cellevægsstoffer skyldes formentlig dels, at ligninet fysisk omlejrer disse, dels, at der findes kemiske bindinger mellem ligninet og cellevæggens kulhydrater, således at deres tilgængelighed for mikroorganismernes fordøjelsesenzymer nedsættes.

De kemiske bindinger til ligninet spiller specielt en rolle for hemicellulosens vedkommende, bl.a. ved kompleksdannelser mellem lignin og uronsyrer og xylan (Sullivan, 1966; Brauns and Brauns, 1960 c.f. Van Soest, 1967). Hemicellulosens betydning i ernæringsmæssig henseende har imidlertid ikke været tilstrækkeligt erkendt, fordi hemicellulosen indbefattes i den konventionelle foderstofanalyses NFE-fraktion, da den er opløselig i fortyndede syrer og baser. NFE skulle være den letfordøjelige kulhydratfraktion, men for hemicellulosens vedkommende har Sullivan (1966) og Beever et al. (1972) vist, at den i virkeligheden kan have en lavere fordøjelighed end cellulose. Mens græsser og bælgeplanter har nogenlunde samme celluloseindhold, indeholder græsser betydeligt mere hemicellulose end bælgeplanter (Van Soest, 1967). Hemicellulosen er derfor en af de vigtigste fraktioner af betydning for fodermidlers – og især græssers – næringsværdi. Det får ikke mindst betydning i forbindelse med kemisk behandling af halm. Denne forskel i indhold af hemicellulose er muligvis forklaringen på, at kemisk behandling af bælgeplante-halm ikke har samme relative effekt på fordøjeligheden, som den har på halm fra kornarterne (Honcamb et al., 1921, c.f. Homb, 1948; Jones og Klopfenstein, 1967; Ololade et al., 1970; Guggolz et al., 1971).

3. Kemisk behandling af halm

a. Ændringer i halmens kemiske og fysiske egenskaber ved behandling med natriumhydroxyd

Ved behandling af halmen med baser sker en række fysiske og kemiske ændringer, som forbedrer tilgængeligheden af halmens cellevægsstoffer. Disse ændringer er af meget kompleks natur og endnu ikke opklaret i detaljer. Omfanget af de kemiske og fysiske forandringer vil være afhængig af de reaktionsbetingelser, hvorunder behandlingen foregår.

I halm, ludbehandlet til foderformål, kan de kemiske ændringer ikke registreres ved den traditionelle foderstofanalyse, der omfatter bestemmelse af træstof, N-frie ekstraktstoffer, råprotein, fedt og aske (Thomsen et al., 1973b, se også side 56). Forskellige undersøgelser viser imidlertid, at cellevægsstoffernes opløselighedsforhold ændres som følge af behandlingen. Analyser udført i forbindelse med projektet viser således, at ved behandling af byg med stigende mængde NaOH falder indholdet af NDF (neutral detergent fiber = totale cellevægsbestanddele) bestemt ved Goering og Van Soest's analysemetode (se side 56). Det betyder, at en større del af cellevægsbestanddelene ved en brydning af kemiske bindinger gøres opløselige i det neutrale opløsningsmiddel, der bruges ved analysen. Tilsvarende resultater er fundet af Ololade et al. (1970).

Lignin

Ligninet er i ubehandlet halm næsten uopløseligt i neutrale opløsningsmidler. At opløseligheden af lignin stiger ved behandling med base er kendt fra celluloseindustrien og fra anvendelsen af den klassiske foderstofanalyse, Weende-metoden. Næsten siden metodens udvikling i midten af sidste århundrede har det været kendt, at der ved basekogningen i forbindelse med træstofbestemmelsen opløses betydelige mængder lignin, som derfor indgår i NFE-fraktionen.

Hvor stor en del af ligninet, der gøres opløseligt ved basebehandling, afhænger af reaktionsbetingelserne og den anvendte halmart, hvilket bl.a. er påvist af Bechmann et al. (1922, c.f. Brauns, 1952). Bechmann et al. behandlede formalet halm og træ med NaOH under stadig kraftigere reaktionsbetingelser. Hver prøve blev først behandlet i 48 timer ved stuetemperatur ved nedsænkning i en 1,5% NaOH-opløsning svarende til den, der bruges ved den såkaldte Bechmann vådludning. Derefter blev prøverne kogt under tilbagesvaling med frisk lud i 6 timer og endelig (igen med frisk lud) kogt i 6 timer ved 3 atm. Efter hvert led i behandlingen målttes mængden af ekstraheret lignin. Resultaterne af det første led er vist i tabel 4.

Resultaterne viser, at efter den milde behandling var 40–50% af ligninet i rug-, havre- og bygthalm opløseligt, mens kun ca. 20% af ligninet i rishalm og 5% af ligninet i nåletræ var opløseligt efter denne behandling. Efter de to yderligere behandlingsled, som er nævnt foran, var hovedparten af ligninet i halmarterne gjort opløseligt, mens ligninet i nåletræ måtte underkastes yderligere behandling i 6 timer ved 6 atm. og 6 timer ved 9 atm., før hovedparten var opløseligt.

Tabel 4. Opløselighed af lignin efter behandling med NaOH (Bechmann et al., 1921, c.f. Brauns, 1952)

Tabel 4. Solubility of lignin after NaOH-treatment (Bechmann et al. 1921, c.f. Brauns, 1952)

	Rughalm <i>Rye straw</i>	Havre- thalm <i>Oat straw</i>	Byghalm <i>Barley straw</i>	Rishalm <i>Rice straw</i>	Nåletræ <i>Conifer wood</i>
Råvare <i>Raw material</i>					
Lignin, %	19,11	18,87	18,29	28,65	29,90
Methyl, % i lignin	12,46	12,66	12,85	5,90	15,77
Aske	2,55	6,00	6,00	16,58	0,06
Ash					
48 timer, stuetemp. <i>48 h, room temp.</i>					
% lignin ekstraheret <i>% lignin extracted</i>	9,83	8,17	8,31	6,63	1,37
Methyl, % i lignin	12,00	13,74	14,26	5,49	10,31

Piatkowski et al. (1973) fandt, at mængden af opløseligt, syrefældbart lignin i halm steg fra 2 til 10% ved behandling med 6% NaOH svarende til henholdsvis 14 og 71% af totalligninindholdet. Behandlingen skete her ved blanding af lige dele halm og ludopløsning på vægtbasis og henstand i 3 dage. Homb (1948) fandt i sine undersøgelser over tabene ved udvaskning af halm ludbehandlet efter Bechmann metoden, at 33% af ligninet blev fjernet ved udvaskningen. De refererede resultater viser, at der sker en betydelig stigning i opløseligheden af ligninet ved behandling af halm til foderbrug.

Resultaterne af forsøget udført af Bechmann et al. (1921) viser, at et givet råmateriales påvirkelighed af alkalibehandlingen afhænger af udgangsmaterialets ligninindhold. Dette resultat bestyrkes af nyere arbejder. F.eks. har Baker et al. (1975) undersøgt, hvilken grad af delignificering, der var nødvendig for at opnå en given in vitro fordøjelighed (60%) ved behandling af forskellige træråvarer med alkali under tryk (Kraft processen) (Tabel 5).

Pulpen, der er udbyttet af den anvendte proces, udgør ikke hele den anvendte råvaremængde, hvorfor de 2 kolonner, der angiver ligninindholdet, ikke direkte kan sammenlignes.

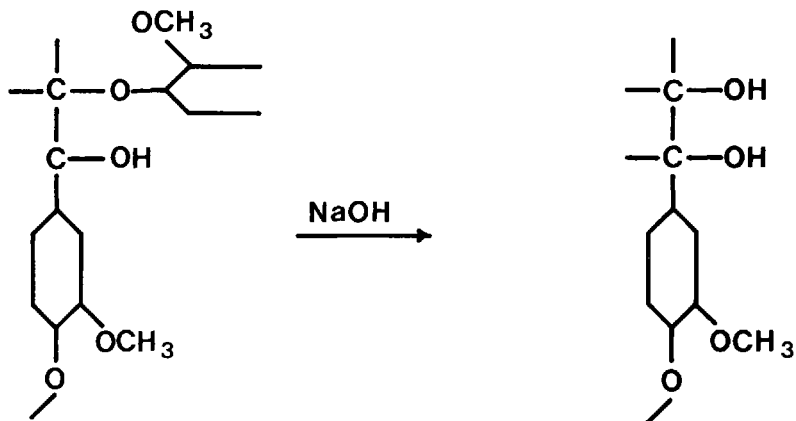
Det fremgår af tallene, at der er stor forskel på forholdet mellem delignificeringsgrad og fordøjelighed af de forskellige råvarer. Forfatterne påpeger, at dette er i overensstemmelse med tidligere iagttagelser (Baker et al., 1973) over væksthastigheden af svampen *Aspergillus fumigatus*. Denne svamp voksede godt på løvtræscellulose med et ligninindhold på 14% eller mindre, mens den kun ville vokse på nåletræscellulose, hvis ligninindholdet var under 3%. Der er således ikke nogen entydig sammenhæng mellem delignificeringsgrad og fordøjelighed.

Den kemiske struktur af lignin er endnu ikke helt klarlagt, ligesom man ikke

Tabel 5. Nødvendig delignificering til opnåelse af 60% in vitro fordøjelighed. (Baker et al., 1975)

Table 5. Necessary delignification to obtain 60% in vitro digestibility. (Baker et al., 1975)

Råvare <i>Raw material</i>	Nødvendig delignificering <i>Necessary delignification</i>	%lignin i råvare % lignin <i>in raw material</i>	%lignin i pulp % lignin in pulp
Birk <i>Birch</i>	25	20	21
Eg <i>Red oak</i>	35	23	20
Fyr <i>Red pine</i>	65	27	14
Gran <i>Douglas</i>	73	32	13

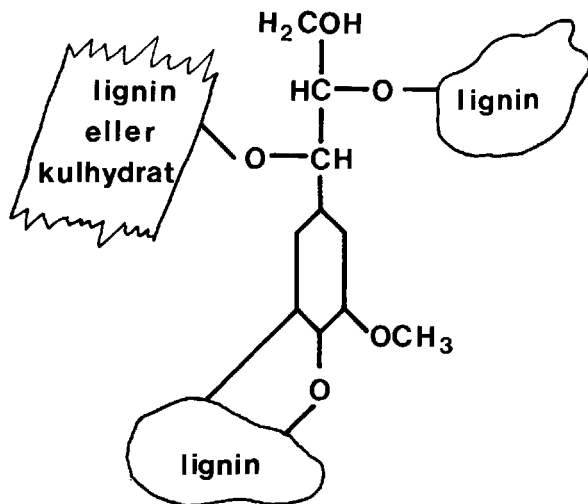


Figur 2. Brydning af æterbindinger i lignin ved behandling med alkali (Gierer og Lenz, 1965).

Figure 2. Breaking of ether bonds in lignin following treatment with alkali (Gierer and Lenz, 1965).

kender i detaljer, hvilke ændringer der sker i ligninets kemiske struktur under alkalibehandlingen.

Gierer og Lenz (1965) har gennemført et omfattende forskningsarbejde til klarlæggelse af disse forhold. De konkluderede ud fra forsøgsresultaterne, at



Figur 3. Ligninets sammenkobling med polysakkarider via et coniferylradikal (Harkin, 1966).

Figure 3. Linking of lignin with polysaccharides via a coniferyl radical (Harkin, 1966).

ligninet gøres opløseligt hovedsagelig på grund af en reduktion i molekylestørrelsen. (Brydning af æter bindinger) (figur 2).

Harkin (1966) anfører samme teori og opstiller den i figur 3 viste model for ligninets sammenkobling med cellulose eller hemicellulose i plantemateriale.

Ved nedbrydning af lignin-cellulose komplekset vil der kunne opstå frie fenolgrupper, som virker hæmmende på væksten af mikroorganismer.

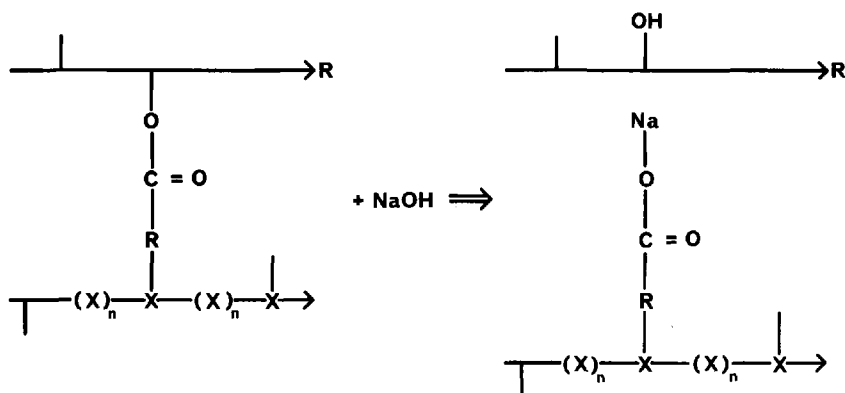
For fuldstændighedens skyld bør anføres, at nyere undersøgelser (Cowling, 1974) antyder, af lignin-cellulose bindinger udelukkende er af fysisk art. Ligninet og den amorf del af cellulosen danner ifølge denne antagelse et »sammenflettet« system af højpolymere molekyler.

Hemicellulose

Alkalibehandlingen af halm medfører også en stigning i opløseligheden af hemicellulose. Det tidligere nævnte fald i halmens indhold af total cellevægsbestanddele (NDF) udgjorde 15–18%-enheder ved behandling med ca. 6% NaOH. Op til 5%-enheder af dette fald skyldes imidlertid en stigning i halmens askeindhold, idet NDF angives i % af tørstoffet. Under forudsætning af, at halmen indeholder ca. 16% lignin, og at 40% af ligninet gøres opløseligt ved NaOH-behandlingen, vil ca. halvdelen af det egentlige fald i cellevægsindholdet på 10–12%-enheder skyldes øget opløselighed af lignin. Den anden halvdel skyldes øget opløselighed af hemicellulose.

Cellulose

Denne antagelse er baseret på, at der ikke sker nogen ændring i cellulosens opløselighed ved alkalibehandling. Foreliggende undersøgelser viser, at hal-



Figur 4. Brydning af esterbindinger mellem cellulosekæder ved behandling med alkali.
Figure 4. Breaking of ester bonds between polymer chains following treatment with alkali.

mens indhold af ADF (acid detergent fiber, som består af cellulose + lignin) næsten ikke ændres ved behandlingen (Ololade et al., 1970; Klopfenstein et al., 1972; Thomsen et al., 1973). Det skal bemærkes, at ligninet ikke opløses i det sure opløsningsmiddel, der anvendes ved denne analyse.

De kemiske ændringer af cellulosen under alkalibehandlingen er minimale. Først ved temperaturer over 150° C sker en mærkbar hydrolyse af glycosidbindingerne. Ved temperaturer under 100° C kan ske en såkaldt »peeling« reaktion (Ullman, 1975). Herved forstås, at cellulosekæden trinvis bliver nedbrudt fra enden. Een monomer bliver fraspaltet ad gangen, og reaktionen ophører, når 50–60 monomer er fraspaltet.

En række brintbindinger mellem cellulose- og hemicellulose-kæderne brydes, og der sker en forsæbning af uronsyre-estre fortrinsvis tilknyttet xylenkæderne. Estrene danner bro mellem polymerkæderne, som derfor ved alkalibehandlingen frigøres i nogen udstrækning (fig. 4).

Fysisk forandring af halmen

Den fysiske forandring af halmen, der opstår som følge af ludbehandling, kan bedst karakteriseres ved øget evne til at optage vand under opkvældning af fibre. Denne forøgede opkvældningsevne er vist i forsøg på Bioteknisk Institut (Rexen, 1975). Kvældningsgraden (oplukningstallet) er målt på et Schopper-Riegler apparat, ved hjælp af hvilket der foretages en bestemmelse af et givet materiales evne til at tilbageholde vand, når det er udbredt i et tyndt lag på en sibund. Der er en retliniet sammenhæng mellem luddoseringen og halmens kvældningsgrad.

Ludbehandling af halm medfører en forøget fordøjelighed både af cellulosen og hemicellulosen (Maeng et al., 1971; Piatkowski et al., 1973; Piatkowski et al., 1974a; Ololade og Mowat, 1975; Rexen og Thomsen, 1976). Den forbedrede tilgængelighed kan dels tænkes direkte at skyldes en spaltning af molekylernes kemiske bindinger, således at de bliver angribelige for enzymer, dels kan den være forårsaget af en forbedret væskeindtrængning ved kvældning, som øger enzymernes adgang til kulhydratkæderne og derved fremmer den hydrolytiske nedbrydning. Tarkov og Feist (1969) har postuleret, at den vigtigste konsekvens af alkalibehandling er forsæbning af intermolekulære esterbindinger (som ovenfor beskrevet), idet dette bevirker en forøgelse af fibrenes evne til at kvælde op i vand. Hos en del cellulolytiske mikroorganismer virker de cellulolytiske enzymer direkte knyttet til mikroorganismernes cellemembran. Når mikroorganismene skal i direkte kontakt med fibre for at nedbryde disse, kan kvældningen formodes at spille en betydelig rolle.

Clanton og Klopfenstein (1965), Pew og Weina (1962) samt Baker et al. (1975) har påvist, at der i lignocelluloseholdigt materiale eksisterer en fysisk barriere, som hindrer den mikrobielle nedbrydning, og som kan brydes ved en kraftig fysisk behandling. Clanton og Klopfenstein (1962) har således ved vådforma-

ling af lucernestængler i en kuglemølle i 72 timer opnået en forøgelse af cellulosefordøjeligheden til op mod det dobbelte. Pew og Weina (1962) fandt nogenlunde samme effekt ved kuglemølleformaling af savsmuld.

Af den givne fremstilling vil det være fremgået, at der hersker meget stor usikkerhed med hensyn til ludbehandlingsens virkemåde og til de faktorer, der påvirker omsætningen af halmens cellevægssubstanter. Det er derfor endnu ikke muligt at sige, hvilke faktorer der spiller den største rolle for tilgængeligheden af halmen.

b. Behandlingsmetoder

Forbedring af halmens fordøjelighed ved kemisk behandling blev vist i 1895 i Tyskland af Lehmann (cit. Homb, 1948). Lehmanns metode bestod i en kogning med NaOH under tryk, hvilket var en ret omstændelig og kostbar fremgangsmåde. Metoden fik en vis udbredelse i Tyskland, især under 1. verdenskrig, ligesom andre lignende metoder vandt frem.

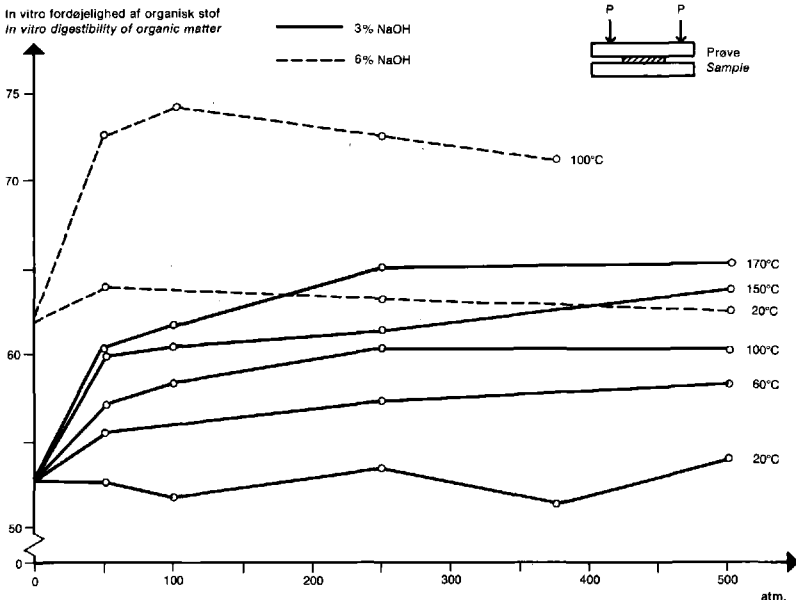
Der blev i tiden frem til årene efter 2. verdenskrig udført et stort antal forsøg med ludbehandling af halm, dels til afprøvning af forskellige tekniske metoder og dels til belysning af forskellige kemikaliers effekt. Homb (1948) har givet en detaljeret oversigt over disse forsøg.

Den eneste af disse metoder, der har fundet større praktisk udbredelse, er en metode, som blev udviklet af tyskeren E. Bechmann under 1. verdenskrig. Denne metode blev taget i anvendelse og videreudviklet i Norge under 2. verdenskrig. Her blev udbredelsen af denne metode stadig øget indtil midten af 1960'erne (Breirem og Homb, 1970), men den er nu stærkt på retur. I andre lande svandt interessen for emnet, sandsynligvis dels som følge af en tilstrækkelig og relativt billigere forsyning med energi fra andre fodermidler, dels på grund af de ulemper, der er forbundet med Bechmann-metoden. Denne metode bygger på udludning af halmen i en stærkt fortyndet, kold ludopløsning i åbne kar (vådludning). Halmen bliver derefter udvasket. Ulemperne ligger især i følgende forhold:

1. Stort vandforbrug, 40–50 l vand pr. kg. halm
2. Stor spildevandsmængde og forureningsfare
3. Forholdsvis stort tørstof-tab, 20–30%
4. Lang behandlingstid, 12–24 timer
5. Stort vandindhold i det færdige produkt, 80–85%
6. Metoden er arbejdskrævende og besværlig

Fra 1940'erne og frem til midten af 1960'erne foreligger der kun meget lidt materiale om ludbehandling af halm. Siden er der i forbindelse med udviklingen af nye metoder forekommet en stærkt stigende interesse for ludbehandlingen, og der udføres forsøg verden over. De nye forsøg er gået ud på at finde metoder, som ikke er behæftet med vådludningens ulemper.

Princippet, som disse metoder bygger på, er, at vandforbruget skal reduceres, og kemikaliemængden må være tilstrækkelig lav til, at en udvaskning kan undgås. Allerede i 1933 beskrev Schwalbe en sådan »tør« metode til oplukning af træ. I nyere tid har Wilson og Pigden (1964) beskrevet en metode, hvor halmen blev tilsat 30% vand med varierende ludindhold. Halmen henstod derefter ved stuetemperatur i 13–21 dage. Fordøjeligheden af tørstoffet i hvedehalm forøgedes herved fra 30–40% til 70–80% med stigende NaOH-mængde. Dette indledende forsøg viste, at det var muligt at opnå en god oplukningseffekt ved anvendelse af små vandmængder og dermed en forholdsvis koncentreret ludopløsning. Tilsvarende simple metoder er anvendt i et stort antal forsøg. Nogle af disse forsøg har vist, at mængden af væske, der tilføres (fortyndingsgraden af ludopløsningen), kan påvirke effekten af behandlingen. Donefer et al. (1969) fandt således, at ved alle niveauer af NaOH op til 16% af halmtørstoffet forøgedes effekten med stigende fortynding op til 120 ml vand pr. 100 g halm. Bolduan og Piatkowski (1972) konkluderede, at forholdet mellem væske (ludopløsning) og halm skulle være mindst 1:1. Denne væskemængde kan opsuges af halmen. Ved de simple metoder, hvor ludopløsningen sprøjtes på halmen, uden at der foretages en effektiv blanding, er væskemængden sandsynligvis af betydning for opnåelse af en god fordeling af ludopløsningen på halmen.

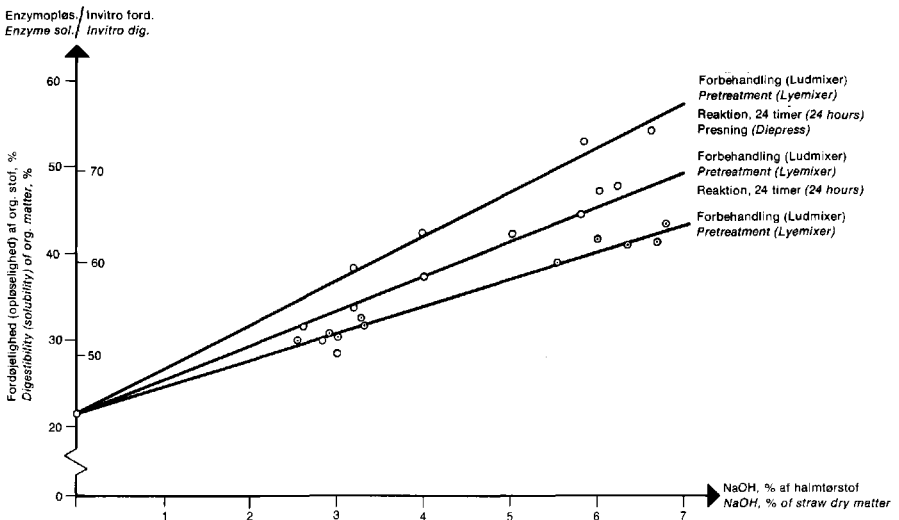


Figur 5. Virkning af temperatur og tryk på behandlingseffekten.
Figure 5. Influence of temperature and pressure on effect of treatment.

Som ved andre kemiske processer er hastigheden af den kemiske reaktion stærkt afhængig af temperatur og tryk. Temperaturen indflydelse på oplukningsgraden af byghalm ved anvendelse af forskellige ludkoncentrationer blev i et omfattende forsøg undersøgt af Ololade et al. (1970). En fordøjeligheds-koefficient for halmtørstoffet på ca. 65% (in vitro) kunne opnås med 4% NaOH ved 130° C i 5 minutter eller 100° C i 45 min. Ved 60° C krævedes mindst 6% NaOH i 45 min. og ved 23° C 6% i 24 timer.

Rexen (1975) har gennemført en række laboratorieforsøg til klarlæggelse af sammenhængen mellem tryk, temperatur og fordøjelighedsforøgelse ved en »tør« alkalibehandling. Resultatet af disse eksperimenter er vist i figur 5. Det fremgår af kurverne, at både temperatur og tryk har indflydelse på effekten. Ved presstryk på over 50 atm. er effekten af forøget tryk mindre udpræget. Reaktionstiden var ved alle forsøgene 1 min., der anvendtes henholdsvis 3 og 6% NaOH (på halmtørstof). Pressen var en hydraulisk spånpladepresse i laboratoriestørrelse.

Når betingelserne for en maksimal effekt af behandlingen er opfyldt, stiger in vitro fordøjeligheden af halmen næsten proportionalt med stigende ludmængde op til 6% NaOH af halmtørstoffet. Ved yderligere forøgelse af ludmængden aftager stigningen i fordøjeligheden, og maksimal effekt nås ved 8–10% NaOH (Wilson og Pigden, 1964; Ololade et al., 1970; Phoenix et al., 1974). I forsøg, hvor stigningen i in vitro fordøjelighed i forhold til mængden af NaOH var



Figur 6. Virkning af forbehandling på halmens fordøjelighed.
Figure 6. Effect of pre-treatment on digestibility of straw.

mindre, er stigningen fortsat op til ca. 16% NaOH (Donefer et al., 1969; Carmona og Greenhalgh, 1972).

Det er af det foregående fremgået, at der er stærke vekselvirkninger mellem mængden af NaOH, tryk og temperatur og reaktionstiden. For opnåelse af en given fordøjelighed kan der ved højt tryk og høj temperatur anvendes mindre ludmængde og kort reaktionstid, mens lavt tryk og lav temperatur kræver en lang reaktionstid. Ved Bechmann processen og de enkle tørludningsmetoder arbejdes der ved lavt tryk (1 atm.) og lave temperaturer, ved sidstnævnte tillige med små ludmængder, hvorfor det er nødvendigt, med en lang reaktionstid for opnåelse af en given oplukningsgrad.

Bi teknisk Instituts arbejde har hovedsagelig været baseret på udviklingen af en industrielt anvendelig proces. I en sådan er det væsentligt, at reaktionstiden er så kort som muligt. Derfor er det nødvendigt at øge trykket og/eller temperaturen, ved hvilken processen foregår. Dette er opnået ved at lade den ludtilførte halm passere en foderpresse (piller, briketter), hvor materialet udsættes for et ekstremt højt tryk, samtidig med at der under presningen opstår friktionsvarme, hvilket medfører en stærk forøgelse af reaktionshastigheden. Metoden er desuden kombineret med et udstyr til effektiv blanding af halm og ludopløsning, hvilket gør det muligt at opnå en god fordeling af luden på halmen, selv om der arbejdes med en meget lille mængde ludopløsning.

Ludindblandingen i halmen er en vigtig faktor (Rexen et al., 1975). Ved en god blanding kan en betydelig reaktion finde sted allerede i mixeren, hvilket fremgår af figur 6. Det ses af kurverne, at ludindblanding alene bevirker nogen forøgelse af fordøjeligheden, mens 24 timers opbevaring i en stak forøger effekten yderligere. En presning af det efterreagerede produkt hæver niveauet endnu mere.

En god effekt af tørludning kan opnås uden presning, når snittet, ludmixet halm opbevares en vis tid i en stak af en sådan størrelse, at varmen fra den kemiske reaktion kan forårsage en betydelig temperaturstigning i stakken. Temperaturstigningen og dermed reaktionshastigheden i en sådan stak afhænger bl.a. af stakkens størrelse og form og dermed dens relative overflade. En sådan metode er vel anvendelig under forhold, hvor en stor reaktionshastighed ikke er nødvendig.

4. Undersøgelser over anvendelse af kemisk behandlet halm til drøvtyggere

a. Tidligere forsøg

I de forsøg med ludbehandling af halm, der er gennemført i tiden frem til årene efter 2. verdenskrig, har de anvendte mål for oplukningsgraden i de fleste tilfælde været den forbedrede fordøjelighed, foderudnyttelse og foderoptagelse. En omfattende oversigt over de gennemførte forsøg og resultaterne herfra er

Tabel 6. Stoftab ved ludning af halm efter Bechmann's metode ($\div$ = tab) (Homb, 1948)
Table 6. Loss of feed components with lye-treatment of straw ($\div$ = loss) after Bechmann's method (Homb, 1948)

Råprotein	$\div 27,3\%$	Ca	+ 49,0%
<i>Crude protein</i>			
Råfedt	$\div 9,3\%$	P	$\div 50,0\%$
<i>Ether extract</i>			
N-frie ekstraktstoffer	$\div 30,0\%$	K	$\div 86,1\%$
<i>N-free extracts</i>			
Træstof	$\div 7,8\%$	Na	+ 280,0%
<i>Crude fiber</i>			
Aske	$\div 39,4\%$	Mg	$\div 2,2\%$
<i>Ash</i>			
Lignin	$\div 33,6\%$	Cl	$\div 93,8\%$
		S	$\div 68,0\%$

som tidligere nævnt givet af Homb (1948). I det følgende skal blot nævnes nogle få hovedpunkter fra disse forsøg.

Alle forsøg i dette tidsrum har været baseret på vådbehandlingsmetoder. Fælles for disse vådbehandlingsmetoder er, at de afsluttes med en omhyggelig udvaskning af overskudsluden. Herved sker der et væsentligt udvaskningstab, som regel 20–30% af tørstoffet, hvilket i nogen grad modvirker den økonomiske gevinst ved forøgelsen af fordøjeligheden. Tabel 6 angiver de gennemsnitsværdier, som Homb (1948) har angivet for udvaskningstab.

Fordøjeligheden af den oplukkede halm varierer en del, men de fleste forsøg har resulteret i fordøjelighedskoefficienter på 65–75% for organisk stof mod 35–45% for organisk stof i ubehandlet halm. I de tilfælde, hvor forsøgene har givet grundlag for beregning af nettoenergiværdien, er det fundet, at denne er steget 2–3 gange i forhold til værdien af den ubehandlede halm. Homb (1948) regner således med ca. 1,4 kg tørstof i ludet halm pr. f.e. mod 3–4 kg tørstof i ubehandlet halm. Watson (1941) angiver, at foderværdien, regnet i stivelsesenheder i procent af tørstof, stiger fra 25 til 51 og fra 20 til 48 ved behandling af henholdsvis havre- og hvedehalm.

b. Nyere forsøg

Et af hovedformålene med udviklingen af de nye ludningsmetoder var at undgå udvaskningen af den behandlede halm og derved hindre det dermed forbundne store tørstoffab. Dette medfører imidlertid, at den anvendte natriumhydroxymængde efter processen stadig findes i foderet. Fodermidlet er følgelig alkalisk og indeholder en forholdsvis stor natriummængde. Den fysiologiske betydning af disse faktorer er endnu ikke tilbundsående undersøgt, og

foreliggende litteratur giver ikke svar på, hvordan f.eks. vomfunktion, syre-balance og mineralstofbalance påvirkes.

Med hensyn til foderets alkaliske reaktion er de fleste forskere uden videre gået ud fra, at en neutralisation med syre er nødvendig (Saxena et al., 1971; Hogan og Weston, 1971; Javed og Donefer, 1970), og der findes ingen direkte sammenligninger mellem neutraliseret og unneutraliseret halm. Klopfenstein et al. (1972) fandt dog, at neutralisation med saltsyre af majsstængler, ensileret med NaOH, havde en gunstig effekt, når der var anvendt 5% NaOH. Bolduan og Piatkowski (1972) beregnede ud fra undersøgelser over forskellige ludningsmetoder, hvor meget syre, der enten ren eller i form af forskellige ensilagetyper skulle anvendes til neutralisation. Som bedste metode valgtes en ludning med 6% NaOH efterfulgt af neutralisation med 3-4% eddikesyre. Alle efterfølgende østtyske forsøg er derfor baseret på anvendelse af eddikesyreneutraliseret halm. Maeng et al. (1971) undersøgte effekten af at blande bygalm, behandlet med 6% NaOH, med lucerneensilage (blanding af de to foderemner blev foretaget umiddelbart før fodring). Nogle af resultaterne fra dette forsøg er vist i tabel 7.

Resultaterne synes at tyde på en forbedret udnyttelse af den ludbehandlede halm, når den blandes med ensilage. Det må dog bemærkes, at de foretagne beregninger over halmandelens fordøjelighed forudsætter uændret fordøjelighed af ensilagen.

Tabel 7. Fordøjeligheden af NaOH-behandlet bygalm alene eller i blanding med lucerneensilage (Maeng et al., 1971)

Table 7. Digestibility of NaOH-treated straw alone or mixed with silage (Maeng et al., 1971)

	Halm <i>Straw</i>	50% halm + 50% ensilage 50% straw + 50% silage	25% halm + 75% ensilage 25% straw + 75% silage	Ensilage <i>Silage</i>
pH i foder <i>pH of feed</i>	9,8	6,9	5,7	5,1
Fordøjelighed, % <i>Digestibility, %</i>				
Tørstof <i>Dry matter</i>	71,0	64,4 (72,6)*	62,0 (79,3)	54,3
ADF <i>ADF</i>	67,3	60,0 (70,9)	56,5 (78,8)	47,0
Cellulose <i>Cellulose</i>	76,4	69,0 (81,4)	65,9 (87,2)	65,3
Energi <i>Energy</i>	66,5	61,7 (69,1)	60,5 (77,9)	53,9

* Tallene i parentes er beregnet fordøjelighed af halmandelen i foderet.

* Figures in parenthesis are calculated digestibility of the straw.

Ensilering af den ludbehandlede halm medfører, at hydroxydresten neutraliseres med de dannede organiske syrer. Specielt når der ved ensileringen tilsættes melasse. Klopfenstein et al. (1972) ensilerede majsstængler med henholdsvis 3 og 5% NaOH og fandt en stigning i *in vivo* fordøjeligheden af organisk stof fra 40,9% til henholdsvis 59,2 og 60,3%. Mowat (1971) ensilerede majsstængler med 6% NaOH og fandt, at en blanding af denne ensilage og majsensilage (50 : 50) havde samme foderværdi som majsensilagen alene. Ensileringen medførte et fald i pH fra 9–10 til 7–7,5. Buchanan-Smith et al. (1972) fandt ved ensilering af majsstængler med henholdsvis 0, 2, 3 og 4% NaOH pH-værdier i ensilagen på henholdsvis 4,65, 5,18, 5,26 og 5,25 og beregnede, at hydroxydtilsætningen havde øget produktionen af flygtige syrer. Schultz og Ralston (1974) ensilerede rajgræshalm med 20% melasse og henholdsvis 0 og 4,5% hydroxyd. pH i de to ensilager var 4,0 og 5,2 og fordøjeligheden af tørstoffet 46,9 og 60,7. Piatkowski et al. (1974b) ensilerede majs under samtidig iblanding af henholdsvis 0, 17 og 34% hydroxydbehandlet (5% NaOH) bygghalm. Alle 3 ensilagetyper var af god kvalitet, som det fremgår af sammendraget af resultaterne i tabel 8.

Erstatning af $\frac{1}{3}$ af majsens med bygghalm har ikke reduceret ensilagens kvalitet eller foderværdi.

Den forøgede saltkoncentration i foderet efter behandling med natriumhydroxyd kan måske have en negativ indvirkning på den mikrobielle omsætning i vommen, men der findes endnu ingen undersøgelser, der belyser dette problem. Bergen (1970) observerede en lavere fordøjelighed af cellulose, når vomvæskens osmotiske tryk blev øget ved infusion af natriumklorid eller natriumacetat. Potter et al. (1972) fandt en mindre mikrobiel population hos får,

Tabel 8. Ensilering af grønmajs sammen med NaOH-behandlet bygghalm (Piatkowski et al., 1974b)

Table 8. Ensiling of maize mixed with NaOH-treated barley straw (Piatkowski et al., 1974b)

Majs: Maize:	NaOH-bygghalm NaOH-straw	100:0	83 : 17	66 : 34
Ensilagens kvalitet:	pH	3,8	4,0	4,25
Quality of silage:	pH			
	Eddikesyre, %	0,55	0,82	0,95
	Acetic acid, %			
	Mælkesyre, %	1,86	2,51	2,84
	Lactic acid, %			
Ensileringsstab, % tørstof		9,1	3,8	5,5
Loss, % dry matter				
Fordøjelighed af org. stof (in vivo)		69,4	68,9	68,3
Digestibility of org. matter (in vivo)				

der drak saltvand. Hogan og Weston (1971) fandt ingen protozoer i vomvæsken fra får, som fik hydroxydbehandlet hvedehalm. Hvidsten og Simonsen (1952) og Hvidsten (1958) angav i en omtale af forsøg med vådludet halm, at højest tilladelige indhold af NaOH i halmen efter udvaskning er 1,5 g/kg (ca. 1% af halmtørstof), idet et højere indhold giver »skadevirkning«. Denne grænse er imidlertid ikke nærmere begrundet, og i danske forsøg med tørludet halm er der ikke observeret toksisk virkning, selv om tørludet halm kan have et højere indhold af restnatriumhydroxyd. Voigt og Piatkowski (1974) fandt heller ikke nogen uheldig virkning af den forøgede Na-koncentration i deres undersøgelser, men antydede, at de med 15,5 g Na/kg tørstof i totalrationen måske var på grænsen af nyrernes kapacitet for udskillelse af Na. Langtidsundersøgelser over hydroxydrestens indflydelse på organismens reguleringsmekanismer, specielt nyrefunktionen, er endnu ikke udført.

De fleste undersøgelser har, som det er fremgået af det foregående, overvejende beskæftiget sig med fordøjelighed og udnyttelse af den kemisk behandlede halm betragtet alene, og kun i enkelte tilfælde er betydningen af arten og mængden af andre foderkomponenter, givet sammen med halmen, belyst. Blanding af halmen med andre fodermidler kan f.eks. påvirke foderoptagelsen og passagehastigheden gennem fordøjelseskanaalen, hvilket igen vil influere på udnyttelsen af cellulosen. Den maksimale, potentielle fordøjelighed af cellulose er således ved langtidsinkubation i vommen ved hjælp af nylonposemetoden fundet at være 80–85% (Wilkins, 1969). Kort tids inkubation, svarende til stor passagehastighed, gav betydeligt lavere værdier. Anvendelse af letforgærbare kulhydrater sammen med træstoffrige fodermidler påvirker også den mikrobielle nedbrydning af træstoffet i vommen. Disse forhold er undersøgt i forbindelse med ubehandlet halm (Chappel et al., 1968; Jahn et al., 1970; Winter et al., 1971; Bolduan et al., 1971), men endnu ikke med kemisk behandlet halm.

C. Forsøgsprojektets formål

I 1972 blev der på Bioteknisk Instituts afdeling i Sdr. Stenderup opbygget et pilotanlæg til ludbehandling af halm. Der var herved skabt grundlag for at fremstille ludbehandlet halm i så store mængder, at der kunne gennemføres fodringsforsøg med dette foder. På dette tidspunkt indledtes et samarbejde mellem Bioteknisk Institut og Statens Husdyrbrugsforsøg om forsøg med kemisk behandling af halm. Der blev til dette formål nedsat en projektgruppe sammensat af medarbejdere fra de to institutioner. Derudover har også Den gvl. Veterinær- og Landbohøjskoles Afd. for Mikrobiologi og mikrobiel Økolo-

gi deltaget i arbejdet. Projektgruppen har gennemført forsøg med følgende hovedformål:

1. at undersøge virkningerne af forskellige procestekniske faktorer.
2. at undersøge virkningerne af ludbehandlet halm på omsætningsprocesserne i vommen samt på dyrenes syre/base regulering og mineralstofomsætning.
3. at undersøge ludbehandlingens indflydelse på foderoptagelsen og foderværdien af halm anvendt i forskelligt sammensatte foderrationer til vækst og mælkeproduktion.
4. at fastlægge analytiske metoder til brug for kontrollering af foderværdien af ludbehandlet halm.

Nærværende beretning indeholder resultaterne af 4 års forsøg. Samtlige undersøgelser, der er omtalt i denne beretning, omhandler behandling af halm med NaOH efter den på Bioteknisk Institut udviklede tørludningsmetode, som er beskrevet nedenfor. Det skal understreges, at en del af resultaterne kun vil gælde ved brug af netop denne metode og ikke uden videre kan overføres til halm, som er behandlet med NaOH efter andre metoder.

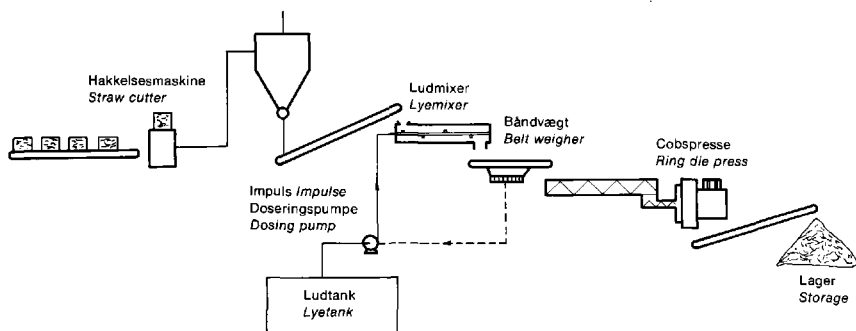
II. Forsøgsresultater

A. Tekniske forsøg og undersøgelser

1. Teknisk opbygning af forsøgsanlægget

Det tekniske forsøgsarbejde og fremstillingen af forsøgsfoder er foregået på Bioteknisk Instituts forsøgsanlæg i Sdr. Stenderup ved Kolding. Procesgangen er følgende:

Halmballerne *skæres i hakkelse* og blæses via en cyklon til et *forlag*, hvorfra halmen videretransporteres til *ludmixeren*, hvor den ønskede ludmængde påsprøjtes. Den ludimprægnerede halm ledes via en *båndvægt*, som registrerer halmmængden og styrer luddoseringen, til *pressen*, hvor den endelige reaktion finder sted. Den ludbehandlede halm forlader pressen i cobsform. Forinden lagringen køles de 70–90° C varme cobs ved luftgennemblæsning i en silo. Kapaciteten er ved normal drift 500–550 kg cobs/time. Ved fremstillingen af blandingsfoder anvendes en *horisontalblender*. En skitse af forsøgsanlægget er vist i figur 7.



Figur 7. Principskitse af forsøgsanlæg.
Figure 7. Sketch plan of the experimental plant.

a. Halmsnitteren

Den anvendte halmsnitter er en Taarup grøntsnitter (type DCE-1500) monteret med en 30 HK motor. Kapaciteten er ca. 1 ton halmballer pr. time. Snitteren er placeret i et separat aflukke for at dæmpe støj og støvgener.

Snitteren har 6 knive, som regelmæssigt må slibes (for hver 30 tons halm). Den fremstillede hakkelse har en middellængde på ca. 3 cm, med en variation fra 0,5 til 20 cm.

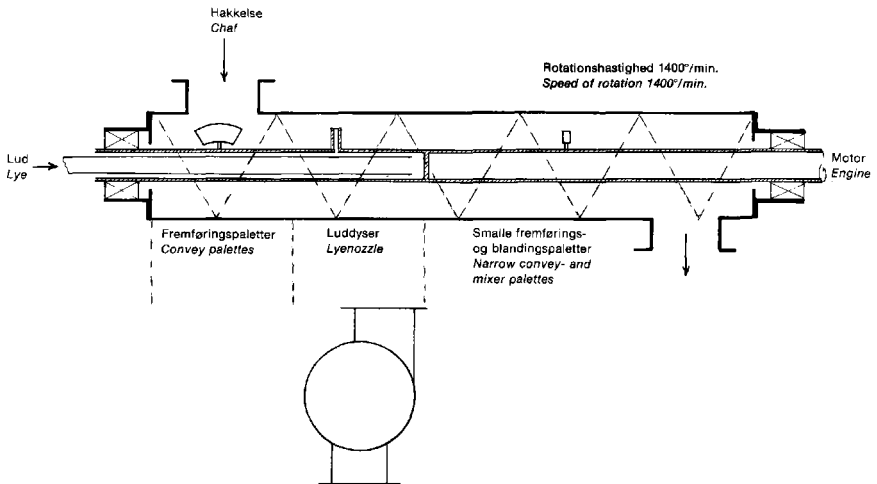
b. Forlag og transportør

Som forlag for den snittede halm anvendes en Taarup-vogn med et rumindhold på 10 m³. Den snittede halm bringes fra Taarup-vognen over i en transportør med påmonteret, stilbar afstrygetromle samt en motor med variabel kile-rem til regulering af fremdriften. Transportørens maksimale kapacitet for fuldstændig jævn dosering er 1.000 kg/time. Endvidere findes der to fremførings-snegle. Den ene fører den snittede halm fra transportøren til ludmixer og båndvægt. Den anden fører den ludpåsprøjtede halm til fødesneglen på pressen.

c. Ludmixer

Ludmixeren er specielt konstrueret til formålet, nemlig at påsprøjte en lille mængde koncentreret ludopløsning på en volumenmæssigt set meget større mængde halm. Ved en luddosering på 4% skal ca. 5 l ludopløsning fordeles jævnt på ca. 1000 l hakkelse, hvilket stiller store krav til blandeudstyret.

Mixeren er konstrueret på basis af erfaringer fra spånpladeindustrien (sam-



Figur 8. Skitse over ludmixer (Blandingssnegl).
Figure 8. Outline of the lye mixer (Mixerscrew).

menblanding af lim og spåner) samt ud fra resultaterne af egne forsøg. Princippet fremgår af figur 8. Den består af en hul aksel omgivet af en rørformet kappe. På akslen er anbragt ledeskovle og dyser. Luden ledes ind gennem den hule aksel og dyserne. Akslens omdrejningshastighed kan varieres, men har ved de i det følgende refererede forsøg været holdt på 700 omdr./min.

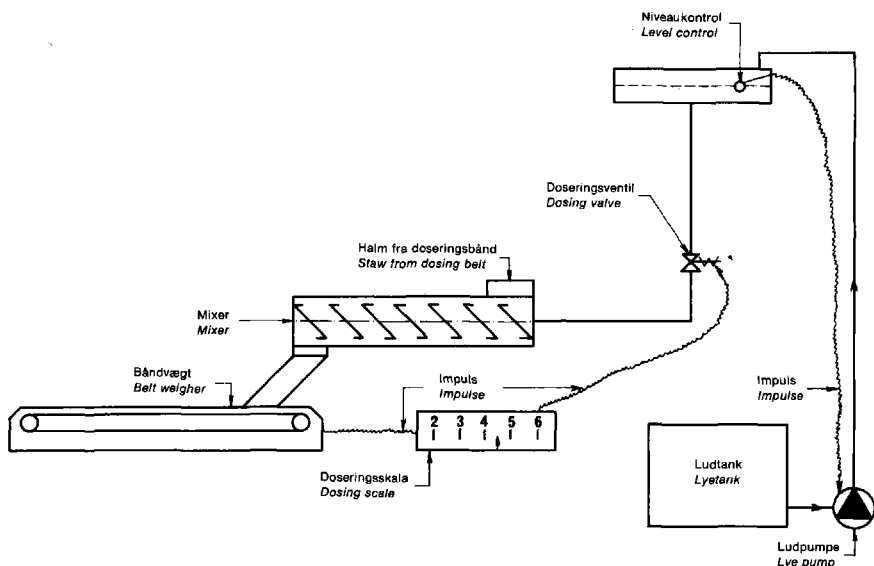
d. Båndvægt – styringssystemet for lud

Båndvægten har til opgave at registrere den kontinuerligt doserede halm-mængde, samt via elektriske impulser at styre luddoseringen. Princippet fremgår af figur 9.

Båndvægten og styringssystemet er specialkonstrueret til formålet af Herning Vægtfabrik.

På forsøgsanlægget er båndvægten placeret efter ludmixeren. Det ville måleteknisk være mere korrekt at placere vægten før mixeren. Vægtens belastning reguleres over en vejecelle, der via en vejecelleforstærker afgiver 0–20 mA. Dette registreres på en skala, der går fra 0–100%. 100% belastning er lig med 1000 kg i timen på denne båndvægt.

På vejecelleforstærkeren gives videre impulser til en converter, der registrerer det antal kg, som har passeret vægten, og videre til et potentiometer, der er en ventilregulering. Denne ventilregulering bliver styret af et voltmeter, der har



Figur 9. System til styring af luddoseringen.
Figure 9. System for control of lye dosing.

et udsving fra 0–3,1 volt. (3,1 volt er lig 100% belastning på vægten). Impulserne går herfra videre til en doseringsventil, der åbner, alt efter hvor mange volt den modtager.

Ventilen afgiver 55 slag pr. minut uanset voltmængden. Ventilens opbygning er næsten lig en stempelpumpe. Dens væskeafgivelse afhænger af stempelslaglængden. Slaglængden bestemmes af de afgivne volt på potentiometret.

e. Presse

Den anvendte presse er en Swiss Combi ringmatricepresse med eet kollerhjul (type 511-X). Der er anvendt matricer med forskellig tykkelse og huldiameter. Pressen er påmonteret en 50 HK motor. Tomgangsampereforbruget er 18 amp., mens det maksimale ampereforbrug er 72 amp.

Ved en produktion på 1200 kg/time (anlæggets maksimale kapacitet) forbruges 45–50 amp. afhængig af ludprocenten. Lav luddosering giver højt ampereforbrug.

Evt. tilsætning af melasse foregår i fødesneglen foran pressen. Melassen indblæses med luft gennem en dyse.

Melasepumpen (Taarup) har en ydeevne på 100 kg/time. Motoren på pumpen må maksimalt forbruge 2,1 ampere, hvilket har bevirket, at det er nødvendigt at varme melassen til over 20° C.

Ved fremstilling af foderblandinger opereres normalt med højere temperatur på melassen (40–60° C). Den højere temperatur bevirker, at melassen bliver mere tyndtflydende og lettere trænger ind i de øvrige foderkomponenter.

f. Horisontalblander

Til fremstilling af foderblandinger anvendes en horisontalblander med et rumindhold på 2500 l.

Blanderen er monteret med en 15 HK motor, maks. ampereforbrug 23.

Til udtagning af blandingen er monteret en doseringssnegl påmonteret et cartergear.

Dette kan dosere fra ganske få kg til 12 tons pr. time. En meget nøjagtig dosering opnås, når vandindholdet er under 15–17%. Blander og doseringssnegl kan magte slagleformalet halm med maks. 15–16% vand.

Almindeligt snittet halm sætter sig fast både i blander og snegl, men hvis halmen sendes gennem pressen i rå tilstand først, er der ingen problemer.

Ved tilsætning af fedt har det været muligt at opvarme dette til 90° C og hælde det flydende i blanderen. Fedtet fordeler sig uden besvær med øvrige foderkomponenter.

Ved sammenblanding af ludedede halmcobs med oliekgager, korn og mineralstoffer opstår tendens til fraktionering. Det har været nødvendigt at slå halmcobsene op på slaglemøllen påmonteret 25 mm eller 40 mm sold.

2. Metoder til vurdering af NaOH-behandlet halms kvalitet

a. Indledning

For at kunne gennemføre det udviklingsprogram, som har været forbundet med dette projekt, var det nødvendigt at finde frem til egnede og enkle laboratoriemetoder til vurdering af ludbehandlet halms fordøjelighed. Sådanne metoder er ligeledes nødvendige for at kontrollere værdien af ludbehandlet halm, som anvendes til fodring i praksis.

b. Metoder

De til undersøgelserne anvendte prøver er alle fremstillet ved den i foregående afsnit beskrevne tørludningsmetode på Biotechnisk Instituts forsøgsanlæg. Følgende undersøgelser er gennemført:

1. Kemiske analyser,
 - a. Fuldstændig foderstofanalyse og energibestemmelse,
 - b. Bestemmelse af indhold af cellevægsstoffer ved Goering og Van Soest's analysemetode,
2. Bestemmelse af in vitro fordøjelighed,
3. Bestemmelse af enzymopløselighed (cellulase),
4. Bestemmelse af ludoverskud.

De kemiske analyser samt bestemmelse af in vitro fordøjelighed er udført ved Statens Husdyrbrugsforsøg, mens bestemmelsen af enzymopløselighed og ludoverskud er udført ved Biotechnisk Institut.

Kemiske analyser

Den fuldstændige foderstofanalyse er udført efter konventionelle metoder (Jakobsen og Weidner, 1973).

Analysesystemet til bestemmelse af cellevægsbestanddele er udviklet i U.S.A. af van Soest (1964) og (1967) samt van Soest og Moore (1965). En fuldstændig beskrivelse af systemet og af analysernes udførelse er angivet af Goering og van Soest (1970).

Med dette analysesystem kan et fodermiddel med tilnærmelse opdeles i celleindholdsstoffer og cellevægsbestanddele. Den sidste fraktion opdeles yderligere i hemicellulose, cellulose og lignin. Der foretages en analytisk bestemmelse af NDF (neutral detergent fiber), som er et mål for totalindholdet af cellevægsstoffer og af AFD (acid detergent fiber), der er et mål for indholdet af cellulose + lignin. Indholdet af hemicellulose kan herefter beregnes som $NDF \div ADF$. Endelig bestemmes lignin som den del, der er uopløselig i 72% svovlsyre. Celluloseindholdet beregnes som $ADF \div \text{lignin}$. Mængden af celleindholdsstoffer fremkommer som den opløste stofmængde ved bestemmelse af NDF.

In vitro fordøjelighed

Metoden til bestemmelse af in vitro fordøjeligt organisk stof er udviklet af Tilley og Terry, 1963. En afvejet mængde af fodermidlet (0,5 g) underkastes forgæring i en stødpudeopløsning (pH 6,8–6,9) tilsat frisk udtaget vomvæske (levende mikroorganismer) i 48 timer ved 39° C. Efter centrifugering behandles det ikke forgærede materiale med pepsin-saltsyreopløsning i 48 timer. Mængden af ikke opløst organisk stof bestemmes, og resultatet udregnes og opgives som in vitro opløseligt (fordøjeligt) organisk stof i % af organisk stof.

Med henblik på at bestemme den hastighed, hvormed halmen nedbrydes in vitro, er der i en undersøgelse med byghalm foretaget en bestemmelse af fordøjeligheden efter forskellig inkubationstid (6, 18, 30, 42 og 48 timer).

Enzymopløselighed

Analysemetoden til bestemmesle af enzymopløselighed er udviklet på Bioteknisk Institut af B. Rexen (1976) på basis af arbejde udført af Guggolz et al. (1971).

Ca. 1 g prøve, formalet til 0,8 mm, afvejes og anbringes i et centrifugeglas. Der tilsættes vand til ialt 15 ml, og pH indstilles til 4,8 med 0,1 n HCl. Efter tilsætning af 5 ml acetatopløsning ($c = 0,1$ og $pH = 4,8$) og 0,75 g cellulase (Onozuka S.S.) fyldes der op til 30 ml med vand. Centrifugeglasset tilproppes og anbringes i termostattyret rystebad ved 40–42° C i 24 timer.

Efter 24 timers inkubation tilsættes ca. 10 ml vand, hvorpå der centrifugeres i ca. 10 min. ved minimum 3000 omdr./min. Væsken dekanteres fra, og bundfaldet rystes med 30 ml vand. Efter endnu en centrifugering dekanteres væsken fra, og der udvaskes endnu engang med 30 ml vand og centrifugeres. Det udvaskede bundfald anbringes på et 2G3 glasfilter og udvaskes på filtret med vand. Efter tørring ved 105° C til konstant vægt, vejes, foraskes, og vejes igen.

I den oprindelige prøve foretages der en bestemmelse af tørstof- og askeindhold.

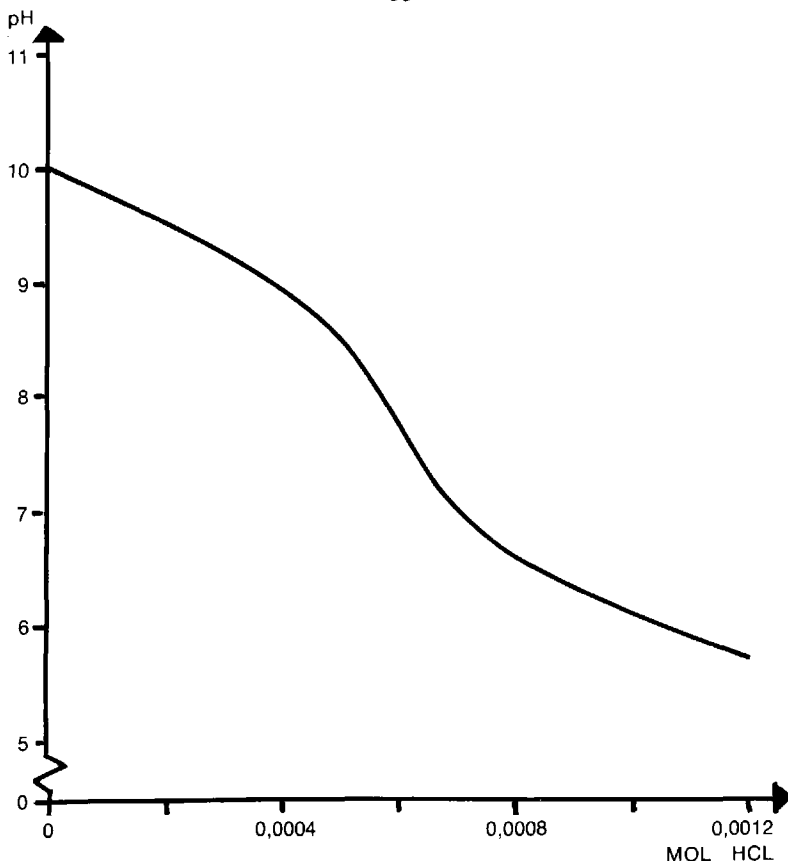
Resultatet kan udregnes og angives som enten 1) enzymopløseligt stof (totalt) i % af tørstof, 2) enzymopløseligt organisk stof i % af tørstof eller 3) enzymopløseligt organisk stof i % af organisk stof.

Ludoverskud

Den alkalibehandlede halm vil efter behandling stadig indeholde en vis procentdel ureageret NaOH. Desuden vil karbonater, bikarbonater samt natriumsalte af organiske syrer være til stede.

Indholdet af ureageret NaOH (ludoverskud) bestemmes ved en potentiometrisk titrering til pH 8 (med 0,1 n HCl), idet det antages, at baseoverskuddet mellem pH 8 og neutralpunktet udgøres af karbonater og organiske natriumsalte. Som det fremgår af fig. 10, er der en udpræget stødpudevirkning omkring pH 8, hvilket indikerer tilstedeværelsen af svage baser.

Resultater af bestemmelser af ludoverskud findes i afsnit II.A.3., side 70.



Figur 10. Titreringskurve for halm behandlet med 5% NaOH.

Figure 10. Titration curve for straw treated with 5% NaOH.

c. Materialer

Den fuldstændige foderstofanalyse er udført på 3 partier med ialt 14 prøver af byghalm, som er tilsat fra 0 til ca. 7% NaOH, og som har været anvendt i fordøjelighedsforsøg med får (se afsnit II.B.3., side 132). Bestemmelsen af cellevægsbestanddele er foretaget i to partier af byghalm med ialt 11 prøver, der blev behandlet med 0 til 6% NaOH.

In vitro fordøjelighed og enzymopløselighed er bestemt på ialt 37 partier af halm. Heraf var 21 byghalm, 4 hvedehalm, 4 havrehalm, 4 rughalm og 4 rajgræshalm. Inden for hver halmart var der 4 prøver fra et parti, som blev behandlet med stigende mængde lud fra 0 til 5–7%. De resterende 17 prøver af byghalm er indgået i andre undersøgelser og er tilført varierende ludmængder nogenlunde jævnt fordelt fra 0 til 6%.

Tabel 9. NaOH-behandlingens indflydelse på den kemiske sammensætning af halm bestemt ved foderstofanalysen

Table 9. The influence of NaOH-treatment on the chemical composition of barley straw as determined by the Weende analysis

Forsøg Exp. No.	NaOH, % af halmgrøst. NaOH, % of D.M.	% tørstof % D.M.	% af tørstof – % of D.M.					Pr. g tørst. Per g D.M.
			Aske Ash	Rå- protein Crude prot.	Fedt (Stoldt) Fat (Stoldt)	Træstof Crude fiber	N-frie ekstraktst. N-free ext.	joule
1	0	94,61	5,32	4,28	1,41	44,18	44,81	18571
1	2,0	89,25	6,38	3,39	1,78	42,43	46,02	18169
1	3,0	88,21	7,75	3,96	1,63	40,78	45,88	17842
1	4,0	86,94	9,37	3,88	1,39	40,94	44,42	17742
1	5,9	84,19	12,19	3,33	1,19	40,33	42,96	17366
2	0	91,83	7,51	3,50	1,73	47,39	39,87	18236
2	2,2	87,11	7,61	2,94	0,65	45,56	43,24	—
2	2,7	86,95	8,98	2,96	1,48	45,21	41,37	17680
2	4,2	84,24	10,45	3,02	1,47	44,48	40,58	17315
2	5,7	84,10	11,12	3,01	1,11	44,44	40,32	17198
2	7,0	82,31	12,91	2,76	1,17	43,25	39,91	17098
3	3,0	90,69	6,67	2,98	1,86	45,64	42,85	17922
3	4,0	89,89	9,23	3,06	2,10	45,14	40,47	17571
3	6,0	81,08	10,63	3,69	2,01	44,10	39,57	17152

d. Resultater

Kemiske analyser

Resultaterne af foderstofanalysen og energibestemmelserne er angivet i tabel 9.

Askeindholdet stiger med stigende tilsætning af NaOH. Som følge heraf er indholdet af organiske stoffer (hovedsagelig træstof og N-frie ekstraktstoffer) samt bruttoenergi faldet. NaOH-behandlingen medfører ingen væsentlige ændringer i sammensætningen af den organiske del, således som den bestemmes ved den almindelige foderstofanalyse. Foderstofanalysen kan således ikke anvendes til bestemmelse af oplukningsgraden. Tabel 10 viser resultaterne af bestemmelserne af halmens indhold af cellevægsbestanddele.

Det bemærkes, at denne analysemetode viser et lavt indhold af lignin. Normalt angives et ligninindhold i halm på 16–18% af tørstoffet (se tabel 3, side 32). Samtidig er celluloseindholdet temmelig højt efter Van Soest analysen, idet dette som nævnt beregnes ved fradrag af lignin.

Resultaterne viser, at der ved behandling med stigende mængde NaOH sker et væsentligt fald i indholdet af totale cellevægsbestanddele (NDF). Ved behandling med ca. 6% NaOH er indholdet af NDF faldet med 15–18%-enheder.

Tabel 10. NaOH-behandlingens indflydelse på indholdet af cellevægsstoffer i bygghalm
Table 10. The influence of NaOH-treatment on the content of cell wall constituents in barley straw

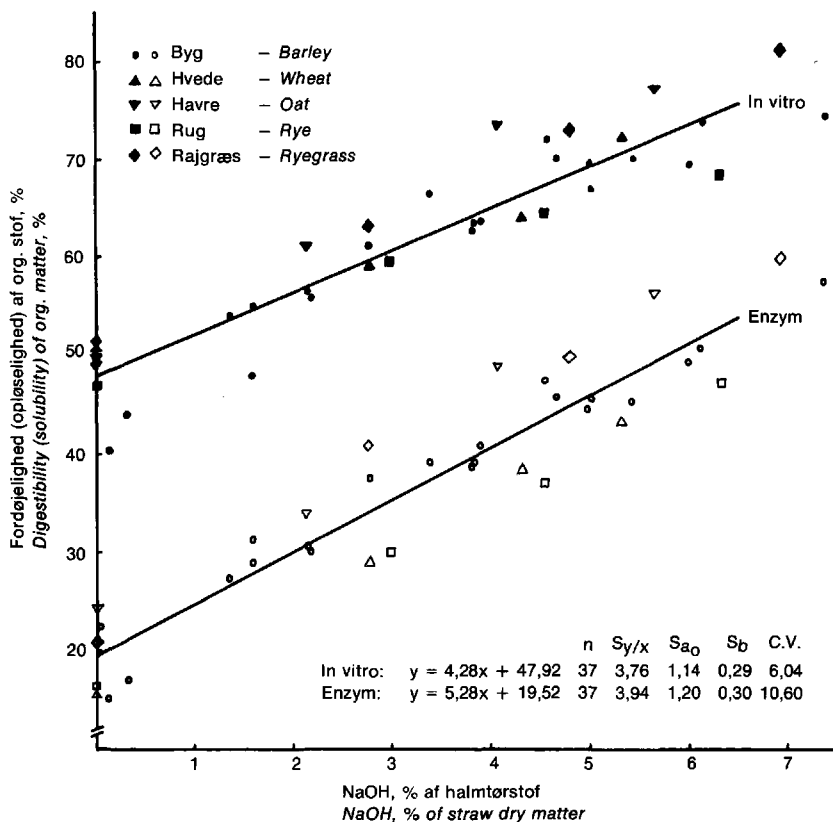
Parti Lot	NaOH, % af halm tørstof NaOH, % of straw D.M.	% af tørstof – % of dry matter			
		NDF	Hemi- cellulose	Cellulose	Detergent lignin
1	0	84,71	33,05	43,63	8,03
1	2,0	80,02	28,68	43,23	8,11
1	3,0	75,37	25,34	41,77	8,26
1	4,0	73,01	22,75	41,82	8,44
1	5,9	66,78	17,37	41,33	8,08
2	0,6	79,78	28,53	43,37	7,88
2	1,1	79,55	27,43	44,21	7,91
2	1,4	77,61	27,26	42,88	7,47
2	3,5	71,05	20,37	42,83	7,85
2	5,5	67,67	16,10	43,39	8,18
2	6,0	64,96	13,97	42,48	8,51

En vis del af dette fald skyldes formentlig en stigning i indholdet af opløselig aske med stigende luddosering, idet NDF-indholdet angives i % af tørstof. Af det anførte fald på 15–18%-enheder kan op til 5%-enheder være forårsaget af stigningen i askeindholdet. Den resterende del af faldet skyldes en forøgelse af cellevægsstofferne opløselighed. Den anvendte analysemetode viser kun meget små ændringer i indholdet af ADF og lignin. Idet mængden af hemicellulose beregnes som difference mellem NDF OG ADF, bliver resultatet, at det tilsyneladende udelukkende er hemicellulosens opløselighed, der er ændret. Fra resultater i litteraturen (se side 35) vides det imidlertid, at ligninets opløselighed i neutrale opløsningsmidler (som bruges ved bestemmelsen af NDF) øges ved behandling med NaOH, hvorimod ligninet udfældes i et surt opløsningsmiddel, som bruges ved bestemmelsen af ADF. Det antages derfor, at faldet i indholdet af NDF skyldes en øget opløselighed af både hemicellulose og lignin.

In vitro fordøjelighed og enzymopløselighed

Af figur 11 fremgår det, at stigende NaOH-dosering medfører stigende værdier for både in vitro fordøjelighed og enzymopløselighed, og at denne stigning for begge måls vedkommende tilsyneladende har været omtrent retliniet inden for området fra 0 til 6–7% NaOH.

Enzymopløseligheden er her målt som enzymopløseligt organisk stof i % af organisk stof, hvilket er det tilsvarende forhold som det, der er brugt ved angivelse af in vitro fordøjelighed. Enzymopløseligheden antager noget lavere værdier end in vitro fordøjeligheden. Stigningen i enzymopløseligheden med



Figur 11. Luddoseringens indflydelse på in vitro fordøjelighed og enzymopløselighed.
 Figure 11. Effect of lye-dosing on in vitro digestibility and enzyme solubility.

stigende luddosering er større end stigningen i in vitro fordøjeligheden, hvilket kommer til udtryk i forskellen på hældningskoefficienterne, der er en enhed større for enzymopløselighed end for in vitro fordøjelighed. Det fremgår endvidere af tallene i figuren, at spredningen relativt har været lidt større på enzymopløseligheden end på in vitro fordøjeligheden. Variationskoefficienten (C.V.) for enzymopløseligheden var 10,60% og for in vitro fordøjeligheden 6,04%. Der indgik imidlertid forskellige halmarter i det anvendte materiale, og som det ses af figuren, har dette forøget spredningen først og fremmest på enzymopløseligheden. Opløseligheden af de anvendte prøver af havre- og rajgræshalm lå gennemgående højere end opløseligheden af byg, mens opløseligheden af rug og hvede var lavere. Regressionsligninger svarende til ligningerne i figur 11, men beregnet på de 21 bygprøver alene, så ud som følger:

	$S_{y \cdot x}$	S_{a_0}	S_b	C.V.
$y_1 = 4,42x + 46,32$	3,47	1,46	0,37	5,66
$y_2 = 5,22x + 19,65$	2,47	1,04	0,26	6,61

hvor y_1 = in vitro fordøjelighed,
 y_2 = enzymopløselighed,
og x = % NaOH

Ligningerne er ikke væsentligt forskellige fra ligningerne, som er baseret på alle halmprøver, men spredningen på enzymopløseligheden er reduceret, så den er af samme størrelsesorden som spredningen på in vitro fordøjeligheden.

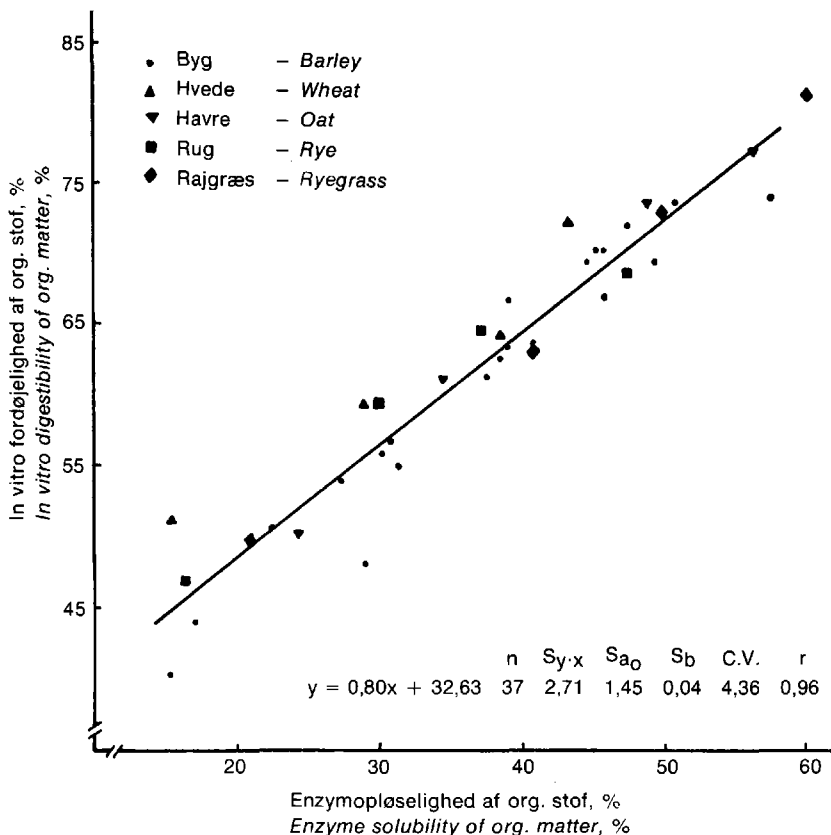
I det foregående er enzymopløseligheden som nævnt angivet som opløseligt organisk stof i % af organisk stof. I tidligere arbejder (Thomsen et al., 1973 og Rexen og Thomsen, 1976) er enzymopløselighed angivet som total enzymopløselighed og beregnet som den opløselige tørstofmængde i % af tørstof. Der blev i de første undersøgelser ikke foretaget askebestemmelse. Da NaOH-behandling medfører et øget askeindhold, vil såvel niveau som hældning af relationen mellem NaOH-dosering og enzymopløselighed være afhængig af den anvendte beregningsmetode.

Enzymopløselighed som mål for kvalitet af ludbehandlet halm er indbefattet i de regler, der for øjeblikket gælder for handel med ludbehandlet halm til indblanding i foderblandinger. Her opgives enzymopløselighed som enzymopløseligt organisk stof i % af tørstof. Nedenstående anføres de fundne regressionsligninger for alle beregningsmetoder for enzymopløselighed.

	n	$S_{y \cdot x}$	S_{a_0}	S_b
$y_1 = 5,61x + 21,96$	37	4,11	1,25	0,31
$y_2 = 4,51x + 18,81$	37	3,49	1,06	0,27
$y_3 = 5,28x + 19,52$	37	3,94	1,20	0,30

hvor y_1 = enzymopløseligt tørstof i % af tørstof,
 y_2 = enzymopløseligt organisk stof i % tørstof,
 y_3 = enzymopløseligt organisk stof i % af organisk stof
og x = NaOH, % af halmtørstof.

Til brug for måling af oplukningseffekten er opløseligheden eller fordøjeligheden af organisk stof i % af organisk stof det bedste mål, idet det er virkningen på det organiske stof i halmen, der er af interesse. Dette mål er uafhængigt af, at der af forskellige årsager (f.eks. brug af forskellige kemikalier) kan være forskelligt askeindhold i produktet. Ønskes derimod målet anvendt til estimering af energiværdien af halmen, er indholdet af fordøjeligt eller opløseligt organisk stof i % af tørstof det bedste mål, idet energiindholdet normalt angives på tørstofbasis (f.e. pr. kg tørstof).



Figur 12. Relation mellem enzymopløselighed og in vitro fordøjelighed.
 Figure 12. Relationship between enzyme solubility and in vitro digestibility.

Figur 12 viser den fundne relation mellem enzymopløselighed og in vitro fordøjelighed. Punkternes beliggenhed i figuren viser, at der inden for et område, der afgrænses af en enzymopløselighed på 30–50% og en tilsvarende in vitro fordøjelighed fra ca. 55 til godt 70% tilsyneladende har været en nogenlunde konstant varians. Ved de lave værdier tyder resultaterne på, at der kan være tale om en noget større spredning. Der er kun meget få værdier over det nævnte interval, hvorfor relationen ved enzymopløselighedstal (målt som opløseligt organisk stof i % af organisk stof) over 50 er usikker.

Punkterne for de forskellige halmarter er, med undtagelse af hvedehalm, spredt ret jævnt omkring regressionslinien. Ved beregningen alene på de 21 prøver af bygalm fås et lidt lavere intercept (29,38) og en lidt højere hældningskoefficient (0,85). Det skyldes imidlertid hovedsagelig placeringen af

Tabel 11. 95% konfidensintervaller for den beregnede in vitro fordøjelighed (individue) ($\hat{Y}$) ved given enzymopløselighed af en halmprøve (X)

Tabel 11. 95% confidence limits for estimated in vitro digestibility (individual) ($\hat{Y}$) at given enzyme solubility of straw (X)

X	$\hat{Y}$	Konfidensinterval Confidence interval
20,9	49,3	43,6–55,0
30,0	56,5	50,9–62,1
40,7	65,0	59,4–70,6
49,8	72,3	66,6–77,9

bygprøver med lave værdier, hvor der er en relativt stor spredning og kun få punkter. Spredningen for bygprøverne alene var af samme størrelsesorden som for alle halmarter under et.

I tabel 11 er vist nogle 95% konfidensgrænser for den ved hjælp af regressionsligningen i figur 12 beregnede in vitro fordøjelighed af en halmprøve med en given enzymopløselighed.

En tilsvarende beregning er foretaget i et tidligere arbejde på andet materiale (Thomsen et al., 1973). I dette arbejde blev enzymopløseligheden beregnet som enzymopløseligt tørstof i % af tørstof. På samme grundlag er der foretaget en beregning på det nye materiale. Resultaterne af disse to beregninger blev følgende:

	n	$S_{y \cdot x}$	S_b	r
Tidligere materiale: $y = 0,74x + 31,78$	54	2,5	0,05	0,94
Nyt materiale: $y = 0,75x + 31,50$	37	2,5	0,03	0,97
hvor: y = in vitro ford. organisk stof, % af organisk stof, x = enzymopløseligt tørstof, % af tørstof.				

Det fremgår heraf, at der var en god overensstemmelse mellem resultaterne af de to undersøgelser, hvilket er et godt indicium for, at den beregnede regressionslinie er temmelig sikkert fastlagt.

Det kan konkluderes, at in vitro fordøjeligheden af en halmprøve med en given enzymopløselighed vil ligge inden for de konfidensgrænser, der svarer til den pågældende enzymopløselighed. Den anvendte beregningsprocedure er af en sådan art, at denne konklusion vil være korrekt i 95 tilfælde ud af 100. Konfidensgrænserne siger ikke noget om, hvor stor en del af fremtidigt bestemte in vitro tal, der vil ligge inden for disse grænser. Det foreliggende materiale tyder imidlertid på, at regressionslinien er godt fastlagt, og at konfidensgrænserne overvejende er bestemt af variationen på y ved given x . Der er derfor

grundlag for at antage, at den virkelige *in vitro* fordøjelighed i det overvejende antal tilfælde vil ligge inden for en afstand af 5–6%-enheder fra den værdi, der beregnes ud fra enzymopløseligheden ved hjælp af regressionsligningen.

Det skal understreges her, at denne ligning kun gælder for halm, og at ligningen kun er bestemt op til en enzymopløselighed, målt som opløseligt organisk stof i % af organisk stof, på 50%. Det skal endvidere påpeges, at forskellige kommercielle cellulosepræparater har meget forskellig aktivitet (Rexen, 1976), og at de her fundne sammenhænge kun gælder, når enzymopløseligheden er bestemt under de forudsætninger (enzymaktivitet og inkuberingsbetingelser m.v.), som er beskrevet i begyndelsen af dette afsnit.

Sammenhæng mellem in vitro og in vivo fordøjelighed

I forbindelse med undersøgelserne af ludbehandlet halms foderværdi er der udført 3 fordøjelighedsforsøg med får, der er omtalt andetsteds (side 133). Her skal kun foretages en sammenligning af fordøjeligheden af organisk stof *in vitro* og *in vivo*. I *in vivo* forsøgene er der anvendt rationer, som var sammensat af 75% byghalm og 25% sojaskrå. Der var 2 får på hver ration.

I det første forsøg indgik ubehandlet halm samt halm behandlet med 4 forskellige NaOH-mængder (2,0%, 3,0%, 4,0% og 5,9%). I det andet forsøg var der ubehandlet halm samt 5 forskellige doseringsprocenter (2,2%, 2,7%, 4,2%, 5,7% og 7,0% NaOH). I det tredje forsøg var der 3 partier af halm behandlet med henholdsvis 3,0%, 4,0% og 6,0% NaOH.

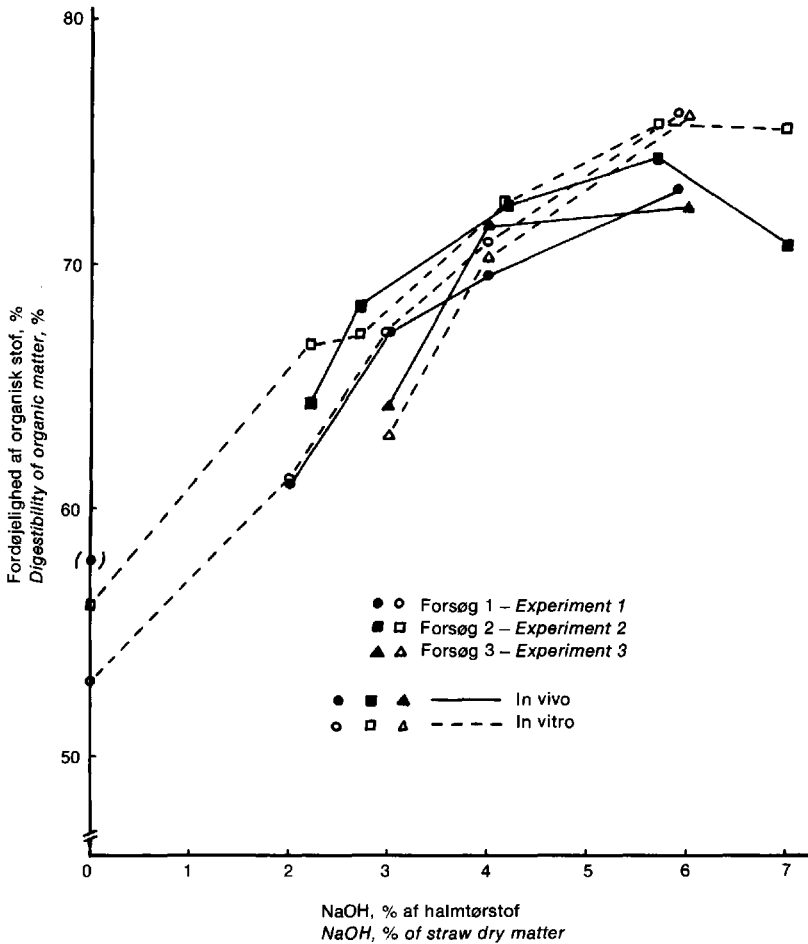
Det var vanskeligt at få fårene til at æde ubehandlet halm i tilstrækkelige mængder. Det var derfor ikke muligt at få bestemt fordøjeligheden af ubehandlet halm med den nødvendige sikkerhed. I det første forsøg er der foretaget en bestemmelse på et dyr. Denne bestemmelse må derfor betragtes som usikker. I det andet forsøg var resultaterne fra de 2 dyr på ubehandlet halm så forskellige, at de har måttet kasseres. Ud af de øvrige 12 rationer var der i de 9 tilfælde forskelle på 0,3–1,7%-enheder og i 3 tilfælde forskelle på 3,2–4,0%-enheder på de to gentagelser.

Ud fra de fundne resultater er der foretaget en beregning af *in vivo* fordøjeligheden af organisk stof i ren halm. Den er fremkommet ved differenceberegninger, idet der er forudsat en fordøjelighed af organisk stof i sojaskrå på 90%.

In vitro fordøjeligheden er bestemt både på blandinger, der svarede til de anvendte rationer og på ren halm. *In vitro* tallene for ren halm er derfor til forskel fra *in vivo* tallene direkte bestemt.

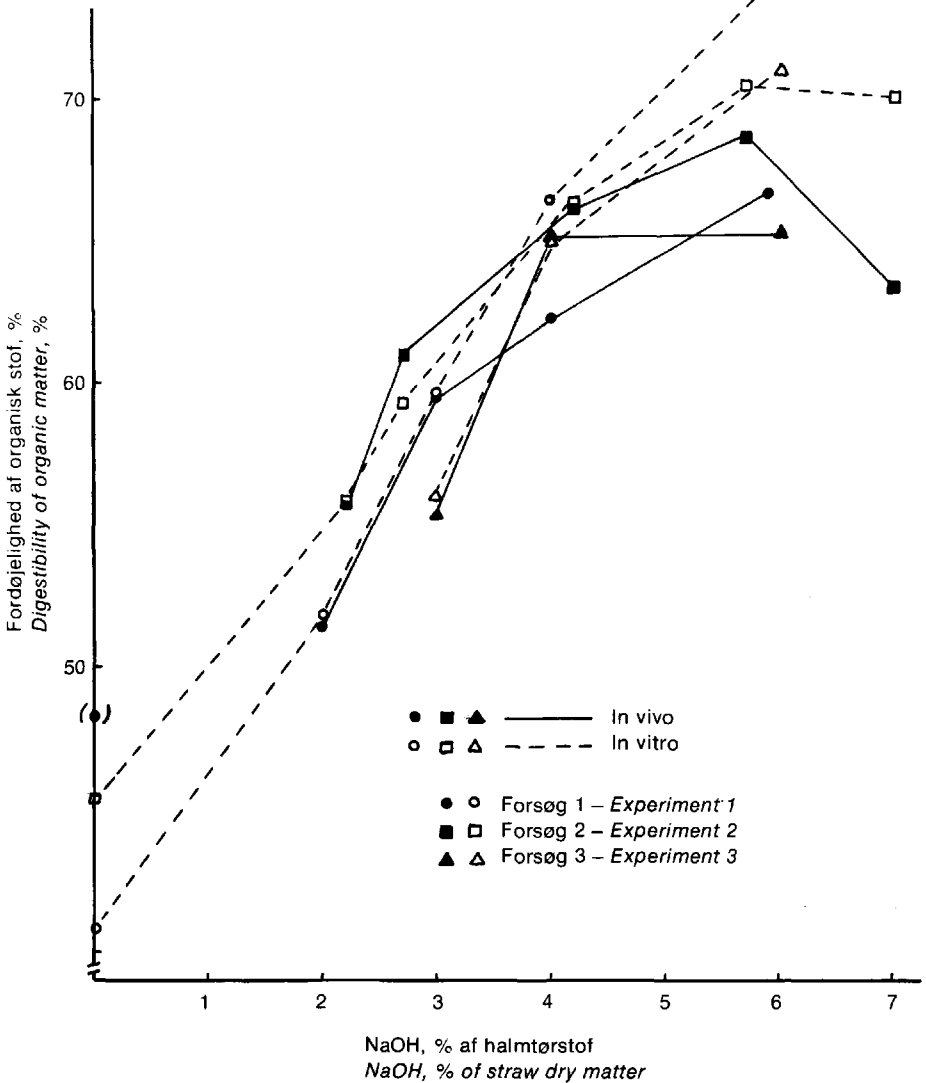
I figur 13 er de fundne *in vivo* og *in vitro* fordøjelighedskoefficienter for organisk stof i rationerne vist grafisk som funktion af NaOH-doseringen, og i figur 14 findes den tilsvarende fremstilling af værdierne for ren halm.

In vivo fordøjeligheden af organisk stof i ubehandlet halm skønnes at have ligget på 45–50%. Den er ved ludbehandling blevet hævet til 65–69% ved en luddosering på 5,5–6,0% af halmtørstoffet.



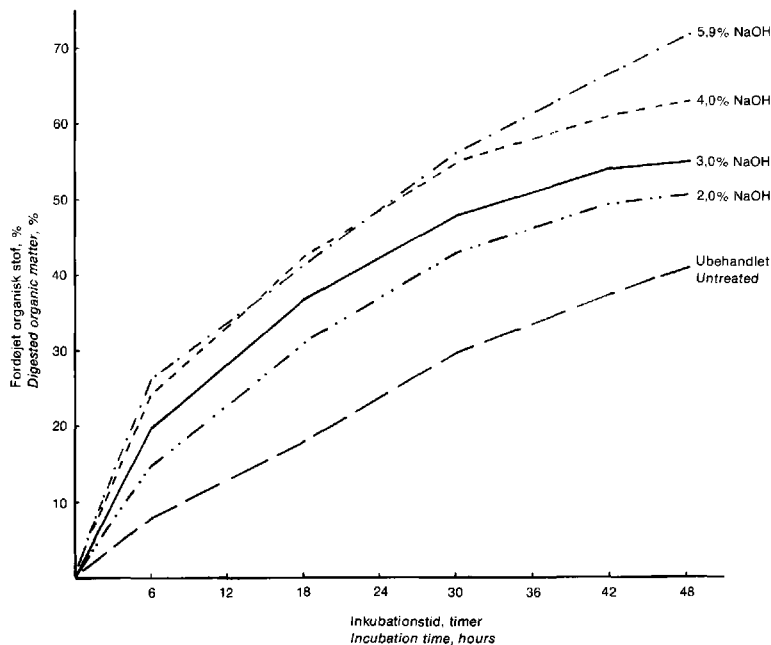
Figur 13. In vivo og in vitro fordøjelighed af rationer.
Figure 13. In vivo and in vitro digestibility of rations.

De to figurer viser, at der i midten af det betragtede område, d.v.s. ved behandling med moderate mængder af NaOH (2-4%) er en god overensstemmelse mellem in vitro og in vivo fordøjeligheden af organisk stof. Resultaterne antyder samtidig, at stigningen i in vivo fordøjeligheden med stigende luddosering er aftagende ved de største luddmængder. Både resultaterne her og resultaterne fra større materialer (side 69) viser, at in vitro fordøjeligheden stiger omtrent retliniet op til en luddosering på 6-7%. Ved en luddosering på mere end 4-5% er in vitro fordøjeligheden derfor højere end in vivo fordøjeligheden.



Figur 14. In vivo og in vitro fordøjelighed af ren halm.
 Figure 14. In vivo and in vitro digestibility of pure straw.

Det må således konkluderes, at der sandsynligvis ikke er nogen retliniet sammenhæng mellem in vitro og in vivo fordøjeligheden af ludbehandlet halm. Det er på det foreliggende grundlag ikke muligt at fastlægge den funktionelle sammenhæng mellem disse to størrelser.



Figur 15. Fordøjelseshastighed in vitro.

Figure 15. Rate of digestion in vitro.

Nedbrydningshastighed in vitro

Udover en forøgelse af den totale fordøjelighed vil den hastighed, hvormed den mikrobielle nedbrydning foregår, være af betydelig interesse i forbindelse med anvendelse af ludbehandlet halm. Nedbrydningshastigheden af stråfoder og ensilage er af flere forfattere fundet at spille en rolle for, hvor store mængder dyrene kan optage. (Barnes et al., 1971; Gill et al., 1969; Müller et al., 1972). En større nedbrydningshastighed betyder en hurtigere passage gennem vommen. I figur 15 er der vist resultater fra en undersøgelse af den mikrobielle nedbrydningshastighed bestemt ved in vitro teknik i ubehandlet og NaOH-behandlet halm. Det fremgår heraf, at in vitro fordøjelsen foregår betydeligt hurtigere i de behandlede halmpartier end i ubehandlet halm. Det her fundne forhold har sandsynligvis indflydelse på den mængde halm, dyrene kan optage, og vil således ud over den øgede totale fordøjelighed være en vigtig faktor ved vurderingen af ludbehandlet halms foderværdi.

d. Diskussion

I indledningen (afsnit I.B.) er det beskrevet, at ændringer i in vitro fordøjeligheden af halm i forhold til NaOH-doseringen vil afhænge af effektiviteten af den procedure, der anvendes ved behandlingen. Ved effektive procedurer stiger in vitro fordøjeligheden næsten proportionalt med ludtilførslen op til omkring 6% NaOH. Derudover aftager stigningstakten, og maksimal effekt nås ved 8–10% NaOH. In vitro fordøjeligheden af organisk stof i halm kan ved behandling med NaOH hæves til omkring 75% (70–80), mens in vivo fordøjeligheden hæves til omkring 65%, maksimalt 65–70%.

Denne forskel på in vitro og in vivo fordøjeligheden forekommer kun ved høj luddosering og høj in vitro fordøjelighed, mens der tilsyneladende kan regnes med en god overensstemmelse mellem de to mål ved moderat luddosering og fordøjelighedstal mellem 50 og 65. Figur 14 viser, at kurverne for in vivo fordøjelighed bøjer tidligere af (ved 4–5% lud og en fordøjelighed på omkring 65%) end in vitro fordøjeligheden. Dette er i overensstemmelse med resultater fundet af Mowat og Ololade (1970), Klopfenstein et al. (1972) og Ololade et al. (1973).

En væsentlig årsag til denne forskel skal sandsynligvis søges i, at en del stof, som gøres vandopløseligt ved NaOH-behandlingen, ikke eller kun i mindre grad kan fordøjes af dyrene. Det gælder f.eks. for lignin. Idet 17–19% af det organiske stof i halm er lignin, kan det antages, at op til 20% af det organiske stof er ufordøjeligt. Antages det endvidere, at den maksimale tilsyneladende fordøjelighed af det resterende organiske stof er 85–90%, må det forventes, at den maksimale fordøjelighed, der kan forventes, er omkring 70%. Den opnåede in vivo fordøjelighed af halmen har således nærmet sig den øverste grænse.

Konsekvensen af denne uoverensstemmelse er, at der, når in vitro fordøjeligheden af NaOH-behandlet halm er over 65, ikke kan regnes med en tilsvarende in vivo fordøjelighed.

Det er ikke lykkedes i det foreliggende materiale at bestemme sammenhængen mellem in vitro og in vivo fordøjelighed af ubehandlet halm. Donefer (1973) nævner muligheden for, at der også her kan være en ringe sammenhæng. Ubehandlet halm fordøjes langsomt (se figur 15), og fordøjelsen in vitro afbrydes på et vilkårligt sted, før maksimal fordøjelighed er nået, når inkubationstiden er forløbet. In vivo vil opholdstiden i vommen derimod variere med fordøjeligheden af halmen.

Ud fra det foreliggende materiale må det konkluderes, at ved en fordøjelighed af organisk stof i halmen på 50–65% kan in vitro fordøjeligheden forventes at være et godt mål for foderværdien af halmen. Ved en in vitro fordøjelighed på over 65% må der forventes en uoverensstemmelse mellem in vitro og in vivo fordøjeligheden, idet sidstnævnte ikke kan forventes at stige væsentligt over 65%. Sammenhængen mellem in vitro og in vivo fordøjeligheden af ubehandlet halm med lav fordøjelighed kendes endnu ikke.

Bestemmelsen af in vitro fordøjeligheden er endnu ikke en kommercielt tilgængelig metode. Derfor har Biotechnisk Institut i forbindelse med halmludningsprojektet søgt en metode til bestemmelse af kvaliteten af ludbehandlet halm, som let kan indføres på almindelige laboratorier. Hertil valgtes et princip, som er undersøgt af bl.a. Guggolz et al. (1971), og som går ud på at inkubere foderprøver med enzymer og bestemme, hvor stor en del af foderet, der herved kan gøres opløseligt. Til brug for bestemmelse af halmens kvalitet er metoden blevet modificeret, bl.a. således at der kun anvendes enzympræparater fra cellulosenedbrydende mikroorganismer, idet cellulose udgør en væsentlig part af halmen, og dennes tilgængelighed kan forventes at være et anvendeligt mål for halmens fordøjelighed.

På det foreliggende materiale er sammenhængen mellem enzymopløselighed og in vitro fordøjelighed bestemt op til en enzymopløselighed af organisk stof i % af organisk stof på ca. 50. I intervallet med en enzymopløselighed på 25–50 kan der forventes en rimelig vurdering af in vitro fordøjeligheden på basis af enzymopløseligheden ved hjælp af den i figur 12 viste regressionsligning. I forsøg med NH_3 -behandlet halm er der ved høje enzymopløselighedstal fundet afvigende sammenhænge mellem enzymopløseligheden og in vitro fordøjeligheden (Waagepetersen og Thomsen, 1976), idet de højeste enzymopløselighedstal ikke følges af en tilsvarende stigning i in vitro fordøjeligheden. Det vides ikke på nuværende tidspunkt, om noget tilsvarende kan gælde ved NaOH -behandling af halm. Imidlertid er en sådan uoverensstemmelse måske af mindre betydning, idet høje in vitro tal som foran nævnt heller ikke følges af tilsvarende høje in vivo fordøjelighedstal.

De cellulolytiske enzympræparater, der anvendes ved bestemmelse af enzymopløselighed, isoleres fra mikroorganismer. De indeholder et kompleks af enzymer, som er nødvendige for at nedbryde cellulose og også kan nedbryde hemicellulose. Som tidligere nævnt er der stor forskel på aktiviteten af forskellige cellulasepræparater. Ved brug af denne analysemetode er det derfor nødvendigt, at der tages hensyn til disse forhold, og at der konstant holdes kontrol med aktiviteten under standardiserede betingelser.

Resultaterne af de kemiske analyser viste, at den almindelige foderstofanalyse ikke kan anvendes til kontrol af behandlingseffekten, idet ludbehandlingen ikke medfører nogen ændring i forholdet mellem de organiske fraktioner, der bestemmes ved denne analysemetode. Derimod sker der et fald i halmens indhold af cellevægssubstanser (NDF) bestemt ved Van Soest analysen, og dette fald synes at være proportionalt med behandlingsintensiteten. Det åbner mulighed for, at denne analysemetode kan anvendes til kontrol af behandlingseffekten. Der er imidlertid kun udført meget få analyser, der ikke giver mulighed for en bedømmelse af metodens sikkerhed. Hvis denne metode skulle anvendes, måtte indholdet af NDF, som det er tilfældet med andre metoder, angives på et andet grundlag, f.eks. på basis af organisk stof. Når indholdet af aske

således ikke får indflydelse på resultatet, vil ændringerne i NDF-indholdet som følge af alkalibehandlingerne blive væsentligt mindre end angivet i tabel 10. Forskellene vil derved blive så små, at de ikke udgør noget godt grundlag for bestemmelse af kvalitetsforskelle.

In vitro fordøjeligheden og enzymopløseligheden kan på det foreliggende grundlag anvendes til bedømmelse af kvaliteten af ludbehandlet halm. Det må påpeges, at de fundne sammenhænge er baseret på et begrænset materiale, som desuden er af meget ensartet beskaffenhed. Det vil være nødvendigt at kontrollere gyldigheden af resultaterne og at undersøge dem i forbindelse med brug af andre behandlingsmetoder.

Det skal endelig pointeres, at ludoverskudet i halmen også er et væsentligt kvalitetskriterium, som indgår i de gældende bestemmelser for handel med ludbehandlet halm. Dette overskud ønskes af hensyn til foderoptagelsen og til dyrenes sundhed holdt så lavt som muligt.

3. Optimering af procesbetingelserne

a. Indledning

Ved ludbehandlingen af halm indgår en række parametre, hvoraf nogle er indbyrdes afhængige, som har indflydelse på behandlingens effektivitet. I nærværende forsøgsarbejde er foretaget en serie undersøgelser til fastlæggelse af følgende variables betydning:

Doseret NaOH-mængde

Ludkoncentration

Reaktionsbetingelserne: Reaktionstid, reaktionstemperatur, reaktionstryk

Halmens findelingsgrad

Til vurdering af behandlingens effektivitet og indflydelse på produktkvaliteten er anvendt følgende analyser:

Bestemmelse af in vitro fordøjelighed og enzymopløselighed (side 54).

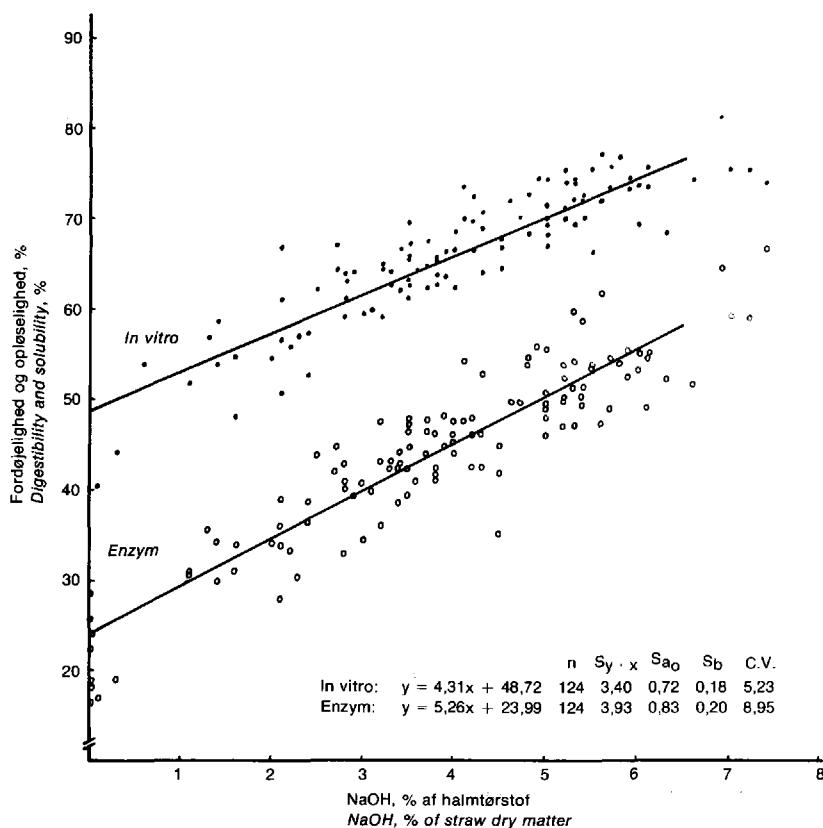
Bestemmelse af ludoverskud (side 54).

Bestemmelse af cobsrumvægt.

b. Doseret ludmængde

Materialer og metoder

De i det følgende angivne resultater er opnået ved forsøg på Biotechnisk Instituts forsøgsanlæg, som er beskrevet side 49. I undersøgelserne er indgået ialt 124 charger à 500–1000 kg halm, som er behandlet med varierende mængder lud, og som er blevet fremstillet til forskellige formål. Hovedparten var byg-halm (88 charger), men materialet omfatter også et mindre antal charger af andre halmarter (10 hvede-, 9 rug-, 9 havre- og 8 rajgræshalm). I de fleste tilfælde er der anvendt sommerlud med 33–35% NaOH, men i en del tilfælde er der anvendt lud med andre koncentrationsgrader (9–28%).



Figur 16. Luddoseringens indflydelse på in vitro fordøjelighed af organisk stof og enzymopløselighed af tørstof i halm.

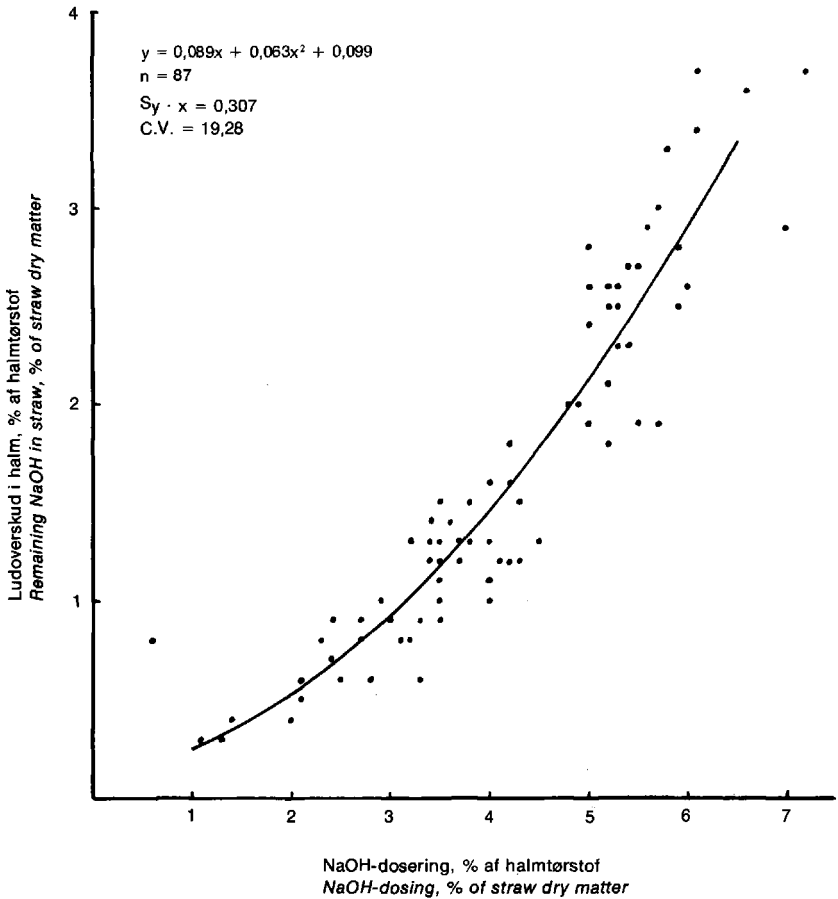
Figure 16. Effect of lye-dosing on in vitro digestibility of organic matter and enzyme solubility of dry matter in straw.

Resultater

In vitro fordøjelighed og enzymopløselighed

Figur 16 viser luddoseringens indflydelse på in vitro fordøjeligheden og enzymopløseligheden. De angivne ligninger er af samme art som dem, der er vist i foregående afsnit. Her indgår blot et betydeligt større antal charger, og i en væsentlig del af dem er enzymopløseligheden ikke bestemt i % af organisk stof. Den er derfor angivet som opløseligt tørstof i % af tørstof.

Figuren viser, at en stigende luddosering op til 6% NaOH (målt i % af halmtørstof) har medført en praktisk taget retlinet stigning i in vitro fordøjeligheden og enzymopløseligheden. Når luddoseringen overstiger 6%, er der måske tendens til en afbøjning af kurven for in vitro fordøjelighed.



Figur 17. Forholdet mellem luddoseringen og indholdet af ludrest i halmen.
 Figure 17. The relationship between NaOH-dosing and the content of remaining NaOH in straw.

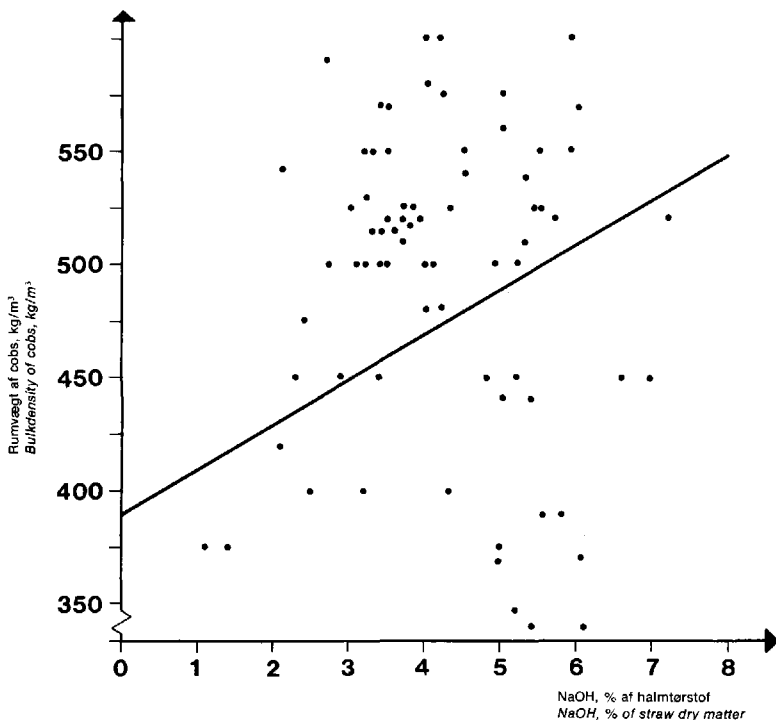
Ludoverskud

Figur 17 viser sammenhængen mellem den tilførte ludmængde og ludresten i færdigvaren. Ludoverskudet er bestemt i 87 af de foran nævnte 124 charger. Heraf var 67 byg, 6 hvede-, 5 rug-, 5 havre- og 4 rajgræshalm.

Der er, som man skulle vente, en positiv sammenhæng mellem de to variable. Forøgelsen af ludoverskudet er større ved høje luddoseringer end ved lave.

Pillerumvægt

Der er foretaget bestemmelse af sammenhængen mellem den doserede ludmængde og rumvægten af de fremstillede piller, hvilket fremgår af figur 18. Der



Figur 18. Luddoseringens indflydelse på cobsrumvægten.
 Figure 18. The effect of lye dosage on the bulk density of straw cobs.

er imidlertid en meget stor spredning på denne sammenhæng, hvilket indikerer, at andre faktorer end ludmængden har indflydelse på rumvægten. Af sådanne faktorer kan nævnes halmens vandindhold, halmarten og halmkvaliteten.

I almindelighed regnes med, at rumvægten skal være mindst 400–500 kg/m³, hvis der skal sikres en tilstrækkelig transportvenlig vare, d.v.s. en tilstrækkelig cobsstyrke.

c. Ludkoncentration.

Materialer og metoder

I de fleste tilfælde er der på forsøgsanlægget anvendt ludopløsninger med en ludkoncentration på 33–35%. I dette afsnit er imidlertid medtaget resultater af fremstilling af 6 charger ved brug af ludopløsninger med 16–19% lud, 5 charger ved en ludkoncentration på 21–23%, 3 ved 26–28% og 2 ved 46%. Der er i alle tilfælde anvendt byghalm, og der er tilført forskellige ludmængder. Behand-

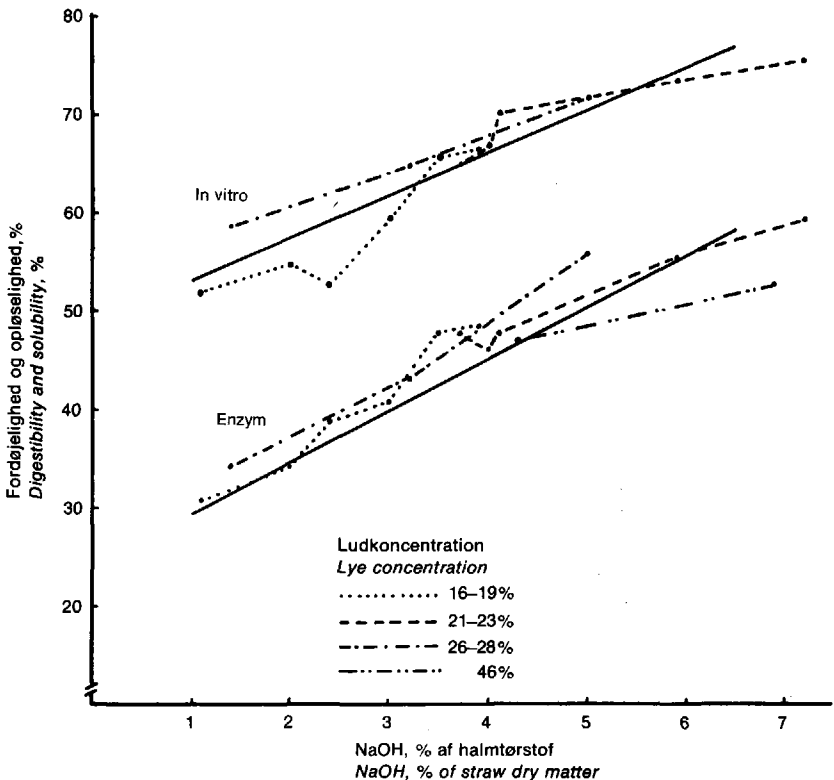
lingseffekten er målt ved in vitro fordøjelighed og enzymopløselighed. Ved 46% lud er dog kun bestemt enzymopløselighed.

Ludopløsninger med et indhold på ca. 27%, 33% og 46% NaOH er almindelige handelsvarer. Ved anvendelse af en 46% opløsning er det nødvendigt at holde luden opvarmet for at undgå udkrystallisation.

Resultater

I figur 19 er behandlingseffekten ved de forskellige ludkoncentrationer illustreret. Samtidig er regressionslinierne for de 124 charger (se figur 16) indtegnet. De opnåede resultater tyder ikke på, at ludkoncentrationen har haft nogen betydning for behandlingseffekten.

Vandindholdet i færdigvaren vil, alt andet lige, forøges med ludopløsningens fortyndingsgrad.



Figur 19. Virkning af behandling med ludopløsninger med forskellig koncentration. Den fuldt optrukne linie repræsenterer regressionsligningen fra figur 16.

Figure 19. Effect of treatment with lye solutions of varying concentration. The solid line represents the regression equation from figure 16.

d. Reaktionstid, -temperatur og -tryk

Som nævnt på side 42 er reaktionsbetingelserne tryk og temperatur af betydning for forløbet af enhver kemisk proces og derfor også for oplukning af halm med base. Også reaktionstiden er af betydning for det færdige resultat.

Ved anvendelse af en ringmatricepresse er muligheden for at variere ovennævnte parametre noget begrænset. Temperaturen skyldes normalt hovedsagelig friktionsvarmen, og den er derfor afhængig af pressetrykket. Dette kan varieres ved anvendelse af matricer af forskellig tykkelse. Temperaturen kan desuden forøges ved indblæsning af damp i pressen samt ved opvarmning af luden, inden denne sprøjtes på halmen. Sidstnævnte vil ikke blot bevirke en forøgelse af reaktionstemperaturen, men også en bedre fordeling på halmen samt måske en bedre indtrængning i strået.

Reaktionstiden kan varieres ved at variere produktionsmængden pr. tidsenhed (kapaciteten).

Følgende muligheder for at ændre reaktionsbetingelsen er afprøvet:

Opvarmning af luden : reaktionstemperatur

Damptilsætning til pressen : reaktionstemperatur

Ændring af pressetrykket

(matricens kompressionsgrad) : reaktionstemperatur,
-tryk og -tid.

Tabel 12. Fremstillingsdata i forsøg med opvarmning af lud og damptilførsel i presse
Table 12. Data of production in experiment with heating of lye and steam addition in press

Charge nr. <i>Lot No.</i>	Matrice* nr. <i>Die*) No.</i>	Lud- temp. <i>Lye temp</i> °C	Damp- i presse <i>Steam in press</i>	Produktion kg/t <i>Produc- tion kg/h</i>	NaOH dosering <i>NaOH dosing</i> %	Vandindhold, % <i>Water content, %</i>	
						Råvare <i>Raw mat.</i>	Færdigvare <i>Treat. mat.</i>
300	—	—	+	—	—	17	—
301	3	10	+	650	1,6	17	13
302	3	10	+	600	2,8	17	16
303	3	10	+	600	5,0	17	16
304	3	90	+	650	1,6	17	13
305	3	90	+	600	3,9	17	16
306	3	90	+	600	7,4	17	20
307	3	10	—	600	2,2	17	15
308	3	10	—	650	3,9	17	17
309	3	10	—	600	5,0	17	19
310	3	90	—	600	1,4	17	14
311	3	90	—	650	3,9	17	15
312	3	90	—	600	6,0	17	18

*) Se tabel 13 – *See table 13*

Tabel 13. Tekniske data for anvendte matricer
Table 13. Technical data of ring dies

Matrice nr. <i>Matrice No.</i>	Matrice- tykkelse (L) <i>Thickness of die (L) mm</i>	Hul- diameter (d) <i>Diameter of holes (d) mm</i>	Hul- volumen <i>Volume of hole cm³</i>	Antal huller <i>No. of holes</i>	Total hul- volumen <i>Total volume of holes</i>	L/d
1	90	10	7,06	800	5652	9,0
2	50	11	6,63	824	5465	4,5
3	70	14	10,77	480	5170	5,0
4	135	14	20,77	492	10219	9,6
5	135	25	66,23	120	7948	5,4

Materialer og metoder

Alle charger er fremstillet på BI's forsøgsanlæg, som er beskrevet på side 49. Til forsøgene er anvendt byghalm. Den anvendte lud var vinterlud med en NaOH-koncentration på 27%.

Der er gennemført 2 forsøg. I det første undersøgtes virkningerne af opvarmning af luden og damptilsætning i pressen. I det andet undersøgtes virkningerne af damptilsætning i pressen kombineret med ændringer i matricens »kompressionsgrad« ved hjælp af forskellig matricetykkelse og huldiameter.

Det første forsøg gennemførtes som et faktorielt forsøg, idet der blev kørt med og uden damptilsætning i pressen sammen med kold eller varm ludopløsning. De 4 kombinationer af disse 2 faktorer blev afprøvet ved 3 forskellige niveauer af luddosering.

Fremstillingsdata for de undersøgte 12 charger er anført i tabel 12, der samtidig viser forsøgsplanen.

I det andet forsøg blev der afprøvet fem forskellige matricer, hvis data fremgår af tabel 13.

Også dette forsøg gennemførtes som et faktorielt forsøg, idet de 5 matricer afprøvedes med og uden damptilsætning ved 3 forskellige niveauer for ludtilsætning. Produktionshastigheden var for alle chargers vedkommende 500 kg/time. Hvor der er anvendt damp, er der tilsat ca. 6% damp ved 2 ato direkte ind i pressekommeret. De øvrige fremstillingsdata er anført i tabel 14, der samtidig viser forsøgsplanen.

Resultater

Opvarmning af lud – damp i presse

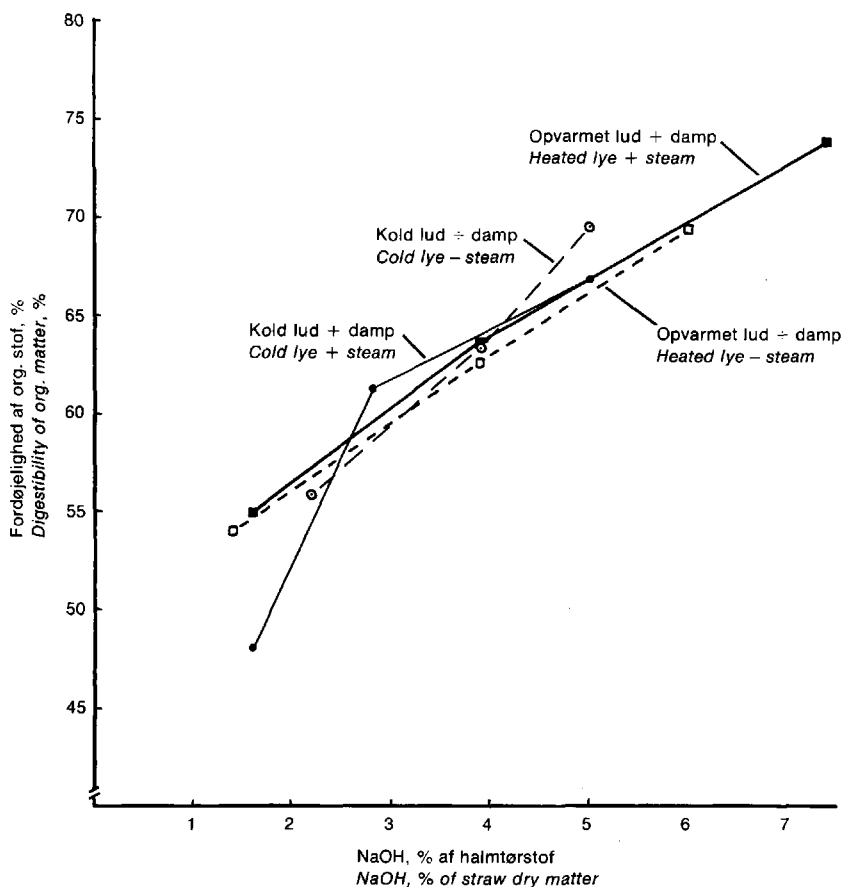
Resultaterne af dette forsøg er anført i figur 20 (in vitro fordøjelighed) og figur 21 (ludoverskud).

Tabel 14. Fremstillingsdata i forsøg med forskellige matricetyper og damptilførsel i pressen
Tabel 14. Data of production in experiment with different types of ring dies and steam addition in press

Charge nr. <i>Lot No.</i>	Matrice ¹⁾ nr. <i>Die¹⁾</i> <i>No.</i>	Damp i presse <i>Steam in</i> <i>press</i>	NaOH- dosering, % <i>NaOH-</i> <i>dosing, %</i>	Vandindhold, % <i>Water content, %</i>	
				Råvare <i>Raw mat.</i>	Færdigvare <i>Treated mat.</i>
	—	—	—	14	—
408	2	—	2,6	14	14
409	2	+	2,5	14	16
410	2	—	4,1	14	16
411	2	+	3,8	14	18
412	2	—	5,4	14	18
413	2	+	5,5	14	20
402	3	—	2,7	14	15
403	3	+	2,8	14	16
404	3	—	4,1	14	15
405	3	+	4,3	14	18
406	3	—	5,8	14	17
407	3	+	5,8	14	22
414	5	—	2,8	14	15
415	5	+	2,8	14	15
416	5	—	4,1	14	15
417	5	+	4,1	14	17
418	5	—	5,9	14	19
419	5	+	5,7	14	20
420	1	—	2,5	14	12
421	1	+	2,5	14	13
422	1	—	4,1	14	14
423	1	+	4,0	14	15
424	1	—	5,5	14	16
425	1	+	6,0	14	18
426	4	—	2,0	14	— ²⁾
427	4	+	1,9	14	10
428	4	—	4,0	14	14
429	4	+	3,6	14	13
430	4	—	5,4	14	17
431	4	+	5,6	14	18

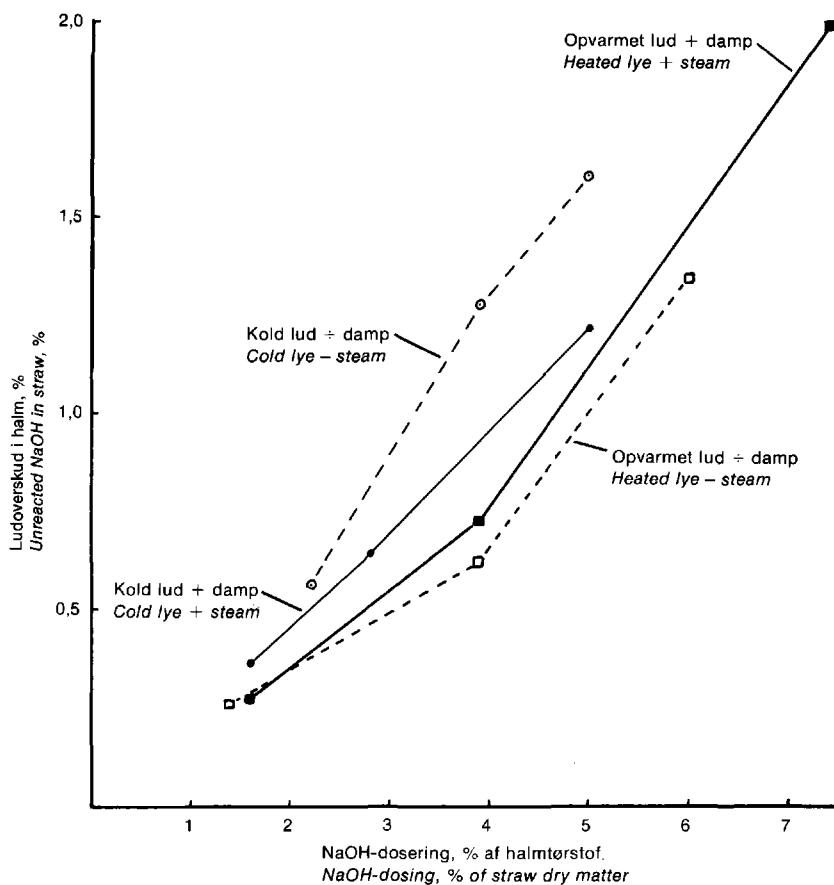
¹⁾ Se table 13 – *See table 13*

²⁾ Stop i presse – *Stop in press*



Figur 20. Effekt af ludopvarmning og damptilsætning på in vitro fordøjelighed af halm.
 Figure 20. Effect of heating of lye and addition of steam on in vitro digestibility of straw.

Som det fremgår af figur 20, har hverken opvarmningen af luden eller damptilsætningen ved den anvendte behandlingsmetode haft nogen virkning på behandlingseffekten målt ved in vitro fordøjeligheden. Derimod tyder resultaterne i figur 21 på, at ludopvarmning eller damptilsætning ved brug af kold lud kan reducere ludoverskudet noget. Som det fremgår af resultaterne af det efterfølgende forsøg, har damptilsætningen dog ikke haft nogen entydig effekt på ludoverskudet.

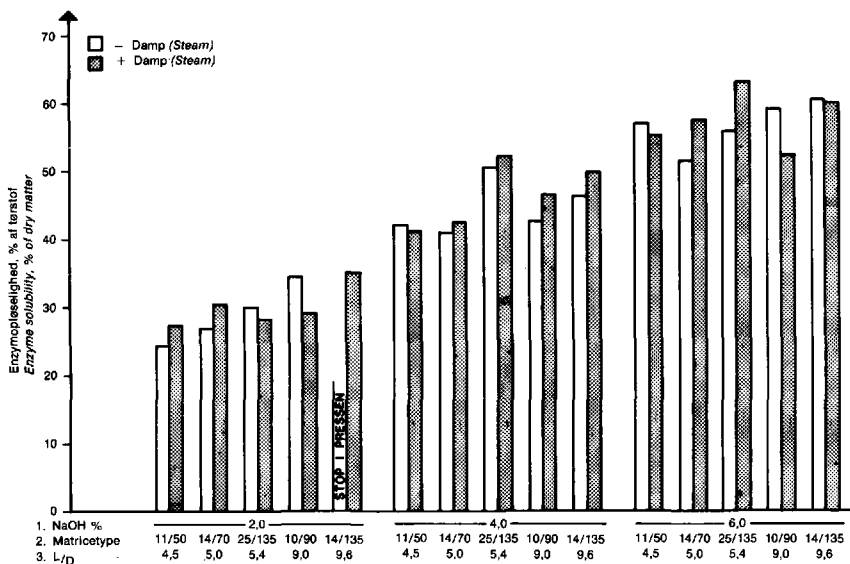


Figur 21. Effekt af ludopvarmning og damptilsætning på ludoverskud i halm.
 Figure 21. Effect of heating lye and addition of steam on the content of unreacted lye in straw.

Damp i presse – forskellige matricetyper

Resultaterne af dette forsøg er angivet i figurerne 22–26.

Idet der har været visse forskelle på luddoseringen, er enzymopløselighedstallene i figur 22 korrigeret til hhv. 2, 4 og 6% dosering ved parallelforskydning langs en fælles regressionslinje, hvilket letter sammenligningen.

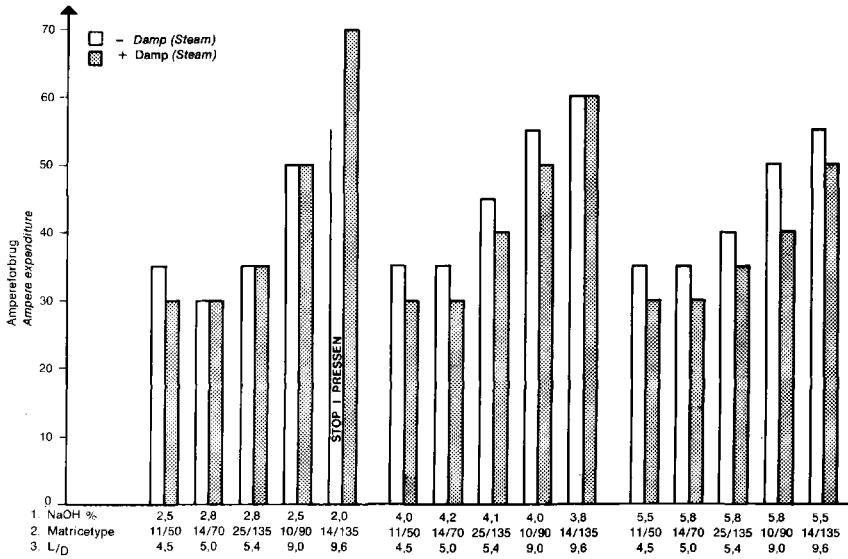


Figur 22. Virkning af matricityper og damptilsætning på behandlingseffekten.
 Figure 22. Influence of type of die and of steam addition on the treatment effect.

Resultaterne i figur 22 tyder på, at matricityperne har betydning for effekten af ludbehandling. Der er sket en vis stigning i enzymopløseligheden, når kompressionsforholdet er øget fra 4,5 til 5,4. Ved at øge kompressionsforholdet yderligere til 9,0 og 9,6 er der ikke sket nogen yderligere forbedring af effekten. Det her anvendte mål, kompressionsforholdet, kan ikke alene beskrive matricitypens betydning for behandlingseffekten.

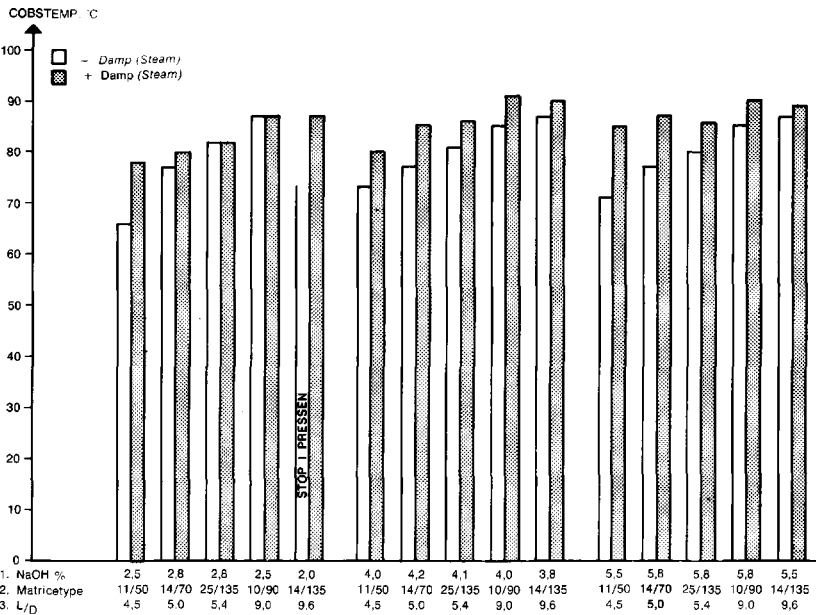
Damptilsætningen har ikke haft nogen entydig virkning på behandlingseffekten, hvilket er i overensstemmelse med resultaterne af det foregående forsøg.

Figur 23 viser, at en forøgelse af kompressionsforholdet medfører en stigning i ampereforbruget, mens damptilsætningen gennemgående har medført et vist fald i ampereforbruget. En stigning i kompressionsforholdet bevirker også en stigning i pilletemperaturen (figur 24), specielt når der ikke er tilført damp. Figur 25 viser, at færdigvarens rumvægt forøges med stigende kompressionsforhold. Resultaterne i figur 26 tyder på en vis reduktion af ludoverskudet med stigende kompressionsforhold. Damptilsætningen har her ikke haft nogen entydig virkning.



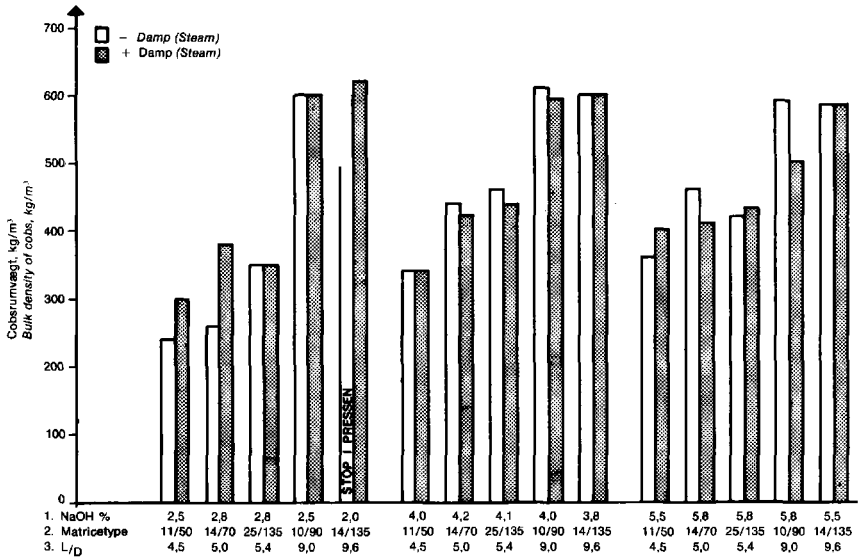
Figur 23. Virkning af matricetype og damptilsætning på ampereforbrug.

Figure 23. Influence of type of die and of steam addition on ampere expenditure.

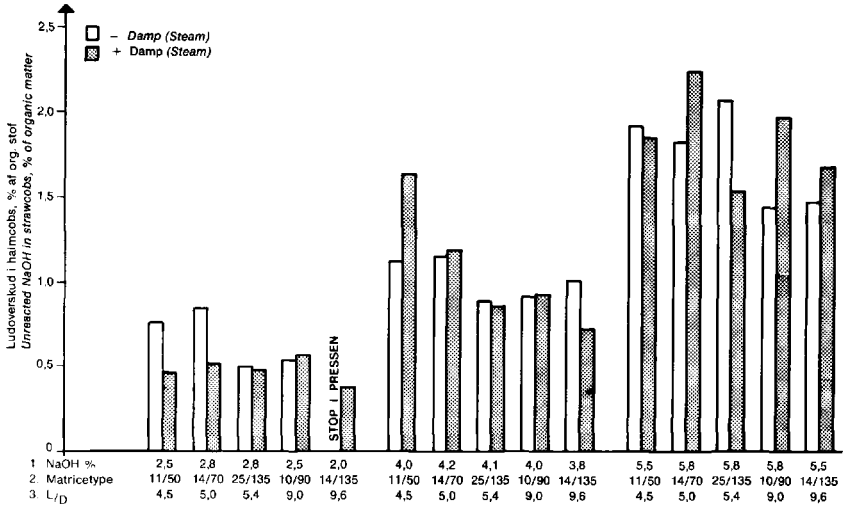


Figur 24. Virkning af matricetype og damptilsætning på cobstemperaturen.

Figure 24. Influence of type of die and of steam addition on temperature of cobs.



Figur 25. Virkning af matricetype og damptilsætning på cobsrumvægt.
 Figure 25. Influence of type of die and of steam addition on bulk density of cobs.



Figur 26. Virkning af matricetype og damptilsætning på ludoverskudet i halmcobs.
 Figure 26. Influence of type of die and of steam addition on the unreacted NaOH in straw cobs.

e. Halmens findelingsgrad

Hovedparten af forsøgsfoderfremstillingen er udført med hakkelse af en længde på 1–10 cm. De enkelte hakkelsesstykker er mere eller mindre presset flade, således at den påsprøjtede lud først og fremmest vil ramme halmens vokselagte overflade, der erfaringsmæssigt er vanskeligt gennemtrængelig for luden.

Man kunne forestille sig, at en findeling (neddeling) af hakkelsen med deraf følgende forøgelse af overfladen ville give flere angrebepunkter for luden og dermed en bedre oplukning.

Til belysning af dette er gennemført en række forsøg men halm af forskellig findelingsgrad.

Materialer og metoder

Behandlingen blev foretaget på Bioteknisk Instituts forsøgsanlæg.

Halmen findeltes på en slaglemølle (Champion mølle) til 3 forskellige findelingsgrader (25 mm, 12 mm og 3,8 mm sold). Af den første og den sidste fremstillede 4 charger, af den mellemste 1. Med i undersøgelsen var desuden 1 charge uformalet halm. Til alle charger er anvendt bygghalm af høsten 1973. Den anvendte lud var vinterlud indeholdende 27% NaOH.

Tabel 15. Oplukningseffekten på slagleformalet halm.

Table 15. Effect of treatment on ground straw.

Charge No.	Sold- størrelse	NaOH	Lud- overskud	Pille- rumvægt	Enzymop- ¹⁾ løselighed
Lot No.	Screen mm	NaOH %	Remaining NaOH %	Bulk density kg/m ³	Enzyme ¹⁾ solubility %
177, 178, 181, 184	25	4,2	1,61	495	48,2
Omregnet		4	1,54	470	46
Corrected ²⁾					
185	12	3,9	1,54	460	44,5
Omregnet		4	1,58	520	46
Corrected					
179, 180, 186, 216	3,8	4,3	1,70	508	48,5
Omregnet		4	1,58	470	45
Corrected					
182	uformalet	4,8	1,55	—	53,2
Omregnet	not ground	4	1,30		44
Corrected					

¹⁾ Opløseligt tørstof, % af tørstof

Soluble dry matter, % of dry matter

²⁾ Corrected to 4% lye-dosing.

Forsøgsresultater

De opnåede forsøgsdata er anført i tabel 15. Tallene for halm formalet på 25 mm og 3,8 mm sold er gennemsnitstal. For at lette sammenligningen er tallene omregnet til 4% NaOH. Det ses, at formalingsgraden synes at have meget ringe effekt både på fordøjelighed og ludoverskud. Heller ikke rumvægten synes at være påvirket af formalingsgraden, hvilket måske forekommer mere overraskende.

Den slagleformalede halm var vanskelig at arbejde med på anlægget. Støvge-
nerne var store, og det var vanskeligt at opnå en ensartet fordeling af luden. Sidstnævnte var måske årsagen til, at der ikke kunne konstateres en bedre effekt af luden på den formalede halm.

f. Diskussion og konklusion.

En stigning i luddoseringen op til ca. 6% NaOH beregnet på grundlag af halmtørstof har medført en retliniet stigning i in vitro fordøjeligheden og enzymopløseligheden af halm. Ludoverskudet i halmen forøges progressivt med stigende luddosering. En forøgelse af luddoseringen medfører ligeledes en stigning i færdigvarens rumvægt.

Koncentrationen af ludopløsningen synes ikke at have nogen betydning for behandlingseffekten ved den her anvendte proces.

Undersøgelserne har vist, at en forøgelse af matricetykkelsen, alt andet lige, bevirker højere ampereforbrug samt højere pressetryk og dermed pressetemperatur. Denne skærpelse af reaktionsbetingelserne har indtil en vis grænse medført nogen forøgelse af fordøjeligheden, hvilket svarer til tidligere resultater opnået i laboratoriet (Rexen et al., 1975). Matricetykkelsen synes at have stor betydning for pillerumvægten og halmens struktur.

Strukturen forringes betydeligt ved brug af matricer med relativt lille huldiameter. Dette kan afhjælpes meget ved opvarmning af luden og tilsætning af damp i pressen. Denne virkning er størst ved en høj luddosering og både ludopvarmning og damptilsætning. Ved en lav luddosering (2–3%) har opvarmning af luden + damp ikke samme effekt på strukturen.

En af årsagerne er, at dampen virker smørende sammen med lud, hvilket igen bevirker, at modtrykket falder i pressen. Det ses tydeligt af faldet i ampereforbruget som følge af damptilsætning (figur 23). Herved passerer den ludbehandlede halm lettere gennem matricen, således at der bevares en god struktur.

En anden årsag er den, at halmen bliver varmet op, således at stråene bliver bløde og seje, inden de når koller og matrice, hvorved de vanskeligt lader sig knuse i kollen. Strukturen af de ludbehandlede halmcobs er især af betydning, hvis de senere skal desintegreres og anvendes i et enhedsfoder, idet der ved presning af dette kan ske en betydelig formaling afhængig af presbarheden.

Hverken ludopvarmning eller damptilsætning har ved den her anvendte proces medført nogen forbedring af behandlingseffekten. Dette til trods for, at

damptilsætningen bevirker en temperaturstigning. Det kan måske skyldes, at dampen virker smørende og mindsker friktionen i pressen.

Resultaterne tyder på, at ludoverskudet kan reduceres noget ved opvarmning af luden, og at matricetykkelsen kan have betydning for ludoverskudet. Damptilsætningen har ikke haft nogen entydig effekt på ludoverskudet.

Kold lud er i de tre på markedet værende koncentrationer (27%, 33% og 46%) en tykflydende væske med høj viskositet. Denne falder betydeligt ved opvarmning. 90° C varm lud er tyndtflydende som vand. Varm lud bliver i alle koncentrationer betydeligt mere aggressiv end kold. Den angriber både gummi- og nylonpakninger. Det har været nødvendigt at udskifte disse med teflonpakninger.

4. Ludbehandling af forskellige halmarter.

a. Indledning.

De forskellige halmarter har forskellig foderværdi. Rug- og hvedehalm har lavere værdi end byg-, havre- og rajgræshalm. I hovedparten af de gennemførte forsøg er anvendt bygalm, da denne halmart er langt den almindeligste i Danmark. Der er dog fremstillet et mindre antal partier af de øvrige danske halmarter til belysning af ludbehandlingens effekt på disse.

b. Materialer og metoder.

Behandlingen blev foretaget på Bioteknisk Instituts forsøgsanlæg. Hver charge var på ca. 500 kg. Der er gennemført 2 forsøgsserier. Inden for hver serie er de enkelte halmarter behandlet med stigende mængde NaOH. Nedenstående angiver antallet af charger i hver serie samt intervallet for den anvendte luddosering for hver halmart.

	Antal charger		Interval for NaOH-dosering
	Serie 1	Serie 2	
Rajgræs	4	4	0-6,9
Hvede	6	4	0-5,9
Havre	5	4	0-5,6
Rug	5	4	0-6,3

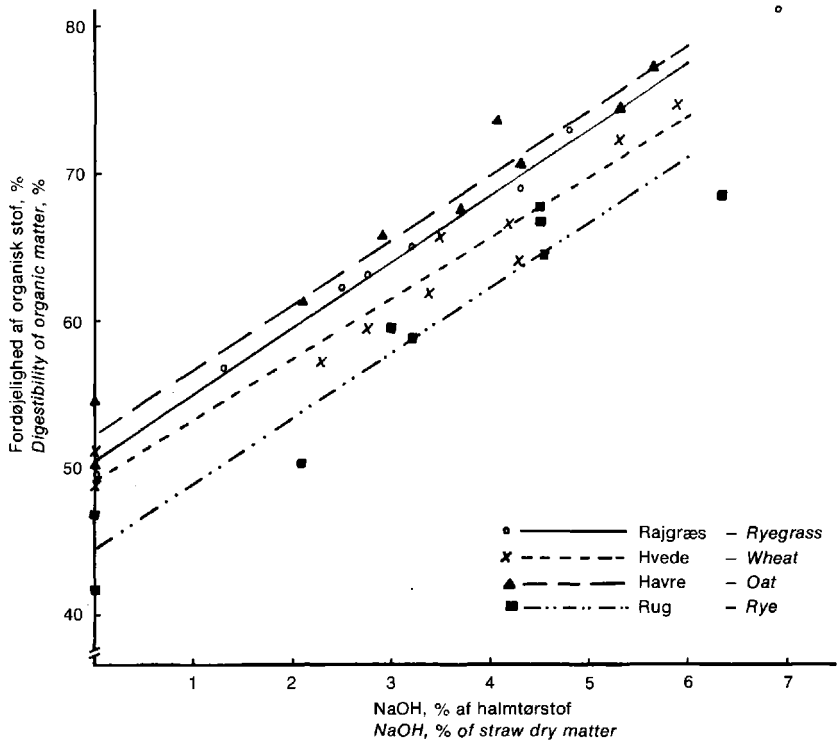
Behandlingseffekten er målt ved bestemmelse af in vitro fordøjelighed (side 54).

c. Resultater og diskussion.

Figur 27 viser in vitro fordøjeligheden af de forskellige halmarter i afhængighed af den anvendte ludmængde. Følgende regressionsligninger er beregnet på materialet, idet ligningen for 88 prøver af byg også er medtaget.

		n	$s_{y \cdot x}$	s_{s_o}	s_b	C.V.
Havre	$y = 4,40x + 52,23$	9	1,85	1,16	0,32	2,80
Hvede	$y = 4,12x + 49,08$	10	1,78	1,10	0,30	2,87
Rug	$y = 4,44x + 44,43$	9	2,91	1,79	0,48	5,00
Rajgræs	$y = 4,52x + 50,40$	8	0,64	0,43	0,11	0,98
Byg	$y = 4,33x + 48,46$	88	3,38	0,97	0,22	5,12

Regressionsliniernes hældningskoefficienter er ikke meget forskellige for de 5 halmarter, hvilket tyder på, at ludeffekten er den samme på alle halmarter. Der skal ikke lægges for stor vægt på liniernes niveau, idet denne undersøgelse kun omfatter få partier af halm, og der kan være væsentlige forskelle på råmaterialets fordøjelighed inden for samme halmart.



Figur 27. Luddoseringens indflydelse på in vitro fordøjeligheden af forskellige halmarter.

Figure 27. Effect of lye-dosing on in vitro digestibility of different kinds of straw.

5. Undersøgelse af ludbehandlet halms lagerstabilitet.

a. Indledning.

Den ludbehandlede halm indeholder som flere gange nævnt et ludoverskud, der bevirker, at pH i cobsene er høj, omkring 9–11. Dette høje pH udgør formentlig en effektiv beskyttelse mod angreb af mikroorganismer, hvilket igen indikerer, at lagerstabiliteten af ludbehandlede cobs skulle være god.

Til undersøgelse af denne teori er gennemført et lagringsforsøg med cobs med varierende vandindhold.

b. Materialer og metoder

Til undersøgelsen anvendtes 5 isolerede siloer, hver med et rumindhold på 3 m³. Siloerne var opbygget af 16 mm spånplader påklæbet 200 mm skumplast. De havde følgende indvendige mål: 130 x 130 x 180 cm.

Hver silo ifyldtes 500 kg cobs. Fremstillingsdata for de til forsøget anvendte cobs er anført i tabel 16.

Tabel 16. Karakteristika for de lagrede cobs

Table 16. Characteristics of stored cobs

Silo	Luddosering <i>Lye dosing</i>	Vandindhold ved ilægning <i>Water content at storing</i>	Temperatur ved ilægning <i>Temperature at storing</i>
1	3,7	11,30	15–20° C
2	5,2	14,42	15–20° C
3	3,5	18,50	15–20° C
4	2,7	20,50	15–20° C
5	5,5	16,64	80° C

Silo 5 er ifyldt varme cobs direkte fra pressen, mens cobsene i de andre siloer er nedkølet til 15–20° C forinden lagringen. Cobsene lagredes i ca. 1 år. Der udtoges prøver ca. hver 3. måned.

c. Resultater og diskussion

Det fremgår af tabel 17, at ludresten bliver mindre under opbevaringen, hvorimod der ikke synes at ske nogen væsentlig ændring af enzymopløseligheden. Der er sket et svagt fald i pH.

I cobsene med de høje vandprocenter synes vandindholdet at falde, hvorimod cobsene i silo 1 (lavt vandindhold) har holdt et konstant vandindhold under hele lagringen.

Temperaturforløbet for de første 140 dage fremgår af figur 28. Det fremgår af kurverne, at temperaturen i nogle siloer steg op til 30–35° C i løbet af den første uge. Derefter er temperaturen faldet til omgivelsernes temperatur. Temperaturen i silo 3 havde et lidt afvigende forløb, men årsagen hertil kendes ikke. I silo 5

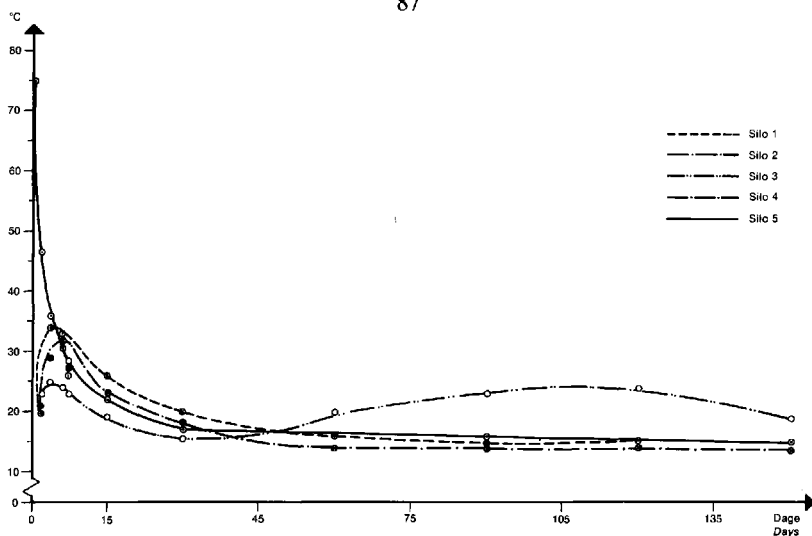
faldt den høje temperatur i løbet af få dage til samme niveau som i de øvrige siloer.

De samlede resultater kunne tyde på, at ludbehandlede cobs er mere lagerstabile end andre planteafgrøder som f.eks. grøncobs og korn. Det må dog påpeges, at forsøgene er udført i forholdsvis lille skala, og at forholdene i store industrilagre kan være anderledes. Andre forhold gør sig gældende for foderblandinger med ludbehandlet halm. Sådanne blandinger vil formentlig ikke have bedre holdbarhed end den lettest fordærlige komponent. Den ludbehandlede halm kan have et så højt vandindhold, at det bringer foderblandingsens

Tabel 17. Resultater af opbevaringsforsøg med ludbehandlet halm
Table 17. Results of storing experiments with NaOH treated straw

Silo	Døgn efter ilægning <i>Days of storage</i>	Vandindhold <i>Water content</i>	pH	NaOH overskud <i>Remaining NaOH</i>	Enzym- opløselighed ¹⁾ <i>Enzyme solubility¹⁾</i>
1	0	11,30	10,48	1,19	43,95
	105	11,55	10,26	0,89	
	158	11,06	10,00	0,93	
	259		9,81	0,65	
	371	11,07	9,75	0,52	39,81
2	0	14,42	10,82	1,94	53,53
	104	14,13	10,51	1,38	
	157	13,23	10,20	1,26	
	258		10,17	1,32	
	370	12,85	10,20	1,09	54,31
3	0	18,50	10,63	1,25	47,58
	98	18,15	10,39	0,92	
	151	17,15	10,10	1,03	
	252		10,01	0,95	
	368	15,05	10,14	0,70	49,28
4	0	20,50	10,39	0,71	44,64
	93	19,32	10,27	0,59	
	146	18,93	9,90	0,62	
	247		10,05	0,62	
	364	16,28	10,14	0,64	45,47
5	0	16,64	10,38	0,98	47,39
	87	12,75	9,88	0,38	
	140	12,80	9,80	0,53	
	241		9,75	0,45	
	358	11,61	9,65	0,30	46,28

¹⁾ Opløselig tørstof, % af tørstof – *Soluble dry matter, % of dry matter.*



Figur 28. Temperaturforløb i lagre af NaOH-behandlede halmcobs.

Figure 28. Temperature in stores of NaOH-treated straw.

tørstofindhold ned på et kritisk niveau, hvis der er et ret højt indhold af halm i blandingen.

Den tilsyneladende gode lagerstabilitet af tørludede halmcobs skyldes formentlig først og fremmest det høje pH. Der er udført et orienterende forsøg med eksponering af et vandigt udtræk af halmcobs på sterilt filterpapir. Cobsene blev forinden eksponeringen lagret med 15–20 pct. vand i 8 måneder.

Forsøget viste, at der kom meget ringe vækst af mikroorganismer i substratet, hvis det oprindelige pH på 10–11 blev bibeholdt, hvorimod en sænkning af pH til 4,8–5 gav en kraftig vækst af forskellige mikroorganismer. Ved pH 7 var væksten moderat.

Praksis har vist, at der under visse omstændigheder under lagring af store mængder cobs i silo eller planlager kan opstå mikrobiel vækst med deraf følgende fare for selvantændelse. Man har således i to tilfælde observeret selvantændelse i halmcobslagre.

De nærmere omstændigheder, temperatur, fugtighed etc., for selvantændelse kendes endnu ikke.

I begge tilfælde skete selvantændelsen mellem 14 dage og 3 uger efter indlægningen.

6. Presning af foderblandinger med ludbehandlet halm i cobs

a. Blandinger med opslåede halmcobs (2-trins fremstilling)

Indledning

Cobs af ludbehandlet halm har i fysisk henseende så stor lighed med andre almindeligt anvendte foderstoffer, at de uden større problem kan indgå i blan-

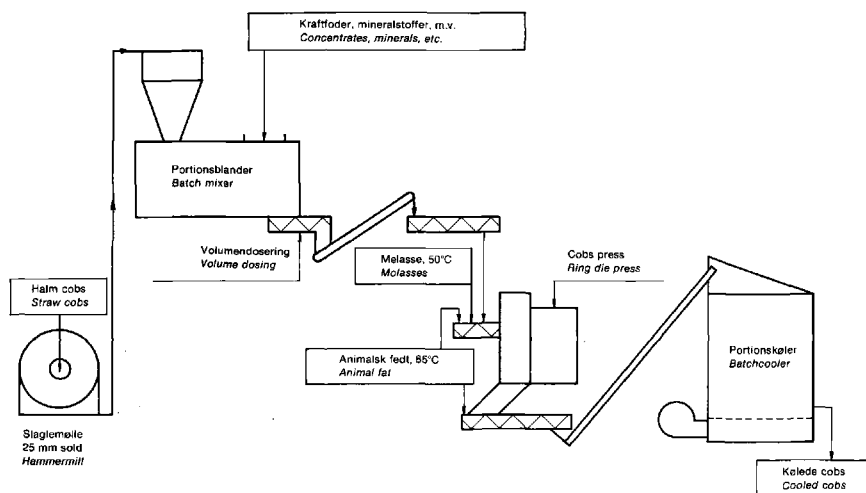
dinger med disse. De færdige blandinger kan også med fordel presses i cobs, og halmen bliver da presset 2 gange i cobs. Denne fremstillingsmåde for blandingscobs indeholdende ludbehandlet halm kaldes ofte for 2-trins metoden. Ved 1-trins metoden, som er omtalt i næste afsnit, presses halmen kun i cobs én gang – efter at halmen med påført lud er blandet med de øvrige råvarer til det færdige foder.

2-trins metoden bevirker en betydelig findeling af halmen, som kan være uheldig, især i fuldfoderblandinger, og som medfører de største fremstillingsomkostninger. Den sikrer til gengæld, at den ludbehandlede halm bliver fuldt oplukket og muliggør en sikker kontrol med blandingerne råvaresammensætning.

Alle blandinger, som er anvendt til de i de efterfølgende afsnit omtalte fodringsforsøg, er fremstillet i 2 trin. I det følgende beskrives den anvendte fremstillingsteknik, de fremstillede blandingers fysiske egenskaber og de generelle problemer ved presning af blandinger med højt indhold af ludbehandlet halm i cobs.

Teknik og metoder

De anvendte maskinkomponenter er beskrevet i afsnit II.A.1. Maskinopstillingen, som er anvendt til fremstilling af foderblandingerne til fodringsforsøg, er skitseret i figur 29.



Figur 29. Maskinopstilling ved fremstilling af foder til produktionsforsøg (2-trins cobspressing).

Figure 29. Set up of machinery for manufacturing of compound cobs for feed experiments.

Halmcobs er knust i en slaglemølle med 25 mm sold og blæst direkte over i portionsblanderen. I enkelte tilfælde er knusningen foretaget med blæserhjulet i en transportblæser. I begge tilfælde medfører knusningen kun ringe findeling af halmen i forhold til selve cobspressningen.

Valset korn, bomuldsfrøkager, mineraler og andre tørre komponenter, der ikke behøver knusning, hældes direkte i portionsblanderen efter afvejning. Efter sammenblanding af kraftfoder og knuste halmcobs føres en jævn strøm heraf gennem en doseringssnegl og transportbånd/snegl til pressens fødesnegl. Her påsprøjtes melasse og fedt, som er opvarmet til henholdsvis 50 og 80–90° C. I blandinger med højt indhold af fedt er tilsætning af animalsk fedt dog foretaget efter presning af hensyn til sammenhængsevnen (se nedenfor).

Pressen er en 1 koller presse, fabrikat Swiss-Combi. Alle blandinger til produktionsforsøg er presset gennem en 70 mm tyk matrice med 14 mm huller. I de fleste partier er presset ca. 1 ton foder pr. time og tilsat et par procent damp for at opnå god sammenhængsevne. De ca. 60° C varme cobs er derefter kølet ved gennemblæsning med luft i en kølekasse før opsækning.

Måling af de fysiske egenskaber af de færdige cobs er foretaget efter samme principper som beskrevet for cobs af tørret grønt (Jensen et al., 1975).

Resultater og diskussion

Tabel 18 viser råvaresammensætning for de største partier af blandinger til fodringsforsøg og hovedresultater fra måling af disses fysiske egenskaber.

For typiske blandinger med 30–50% ludbehandlet halm er middel partikelstørrelsen omkring 1,2–1,6 mm, hvilket er lidt grovere end grøncobs fremstillet på samme presstype (Jensen et al., 1975). Rumvægten er 500–600 kg/m³, hvilket ligger midt imellem halmcobs og cobs af rene kraftfoderblandinger fremstillet på samme presse og matrice. Sammenhængsevnen, dvs. % hele cobs, som er tilbage efter en given mekanisk påvirkning af smuldfri cobs i roterende kasse, er 95–100%, hvilket er højt i forhold til f.eks. græscobs og må anses for tilfredsstillende for praktisk håndtering. Tallene må dog vurderes under hensyn til, at der ikke er anvendt nøjagtig samme teknik til blandinger med forskellig råvaresammensætning, men at tilsætning af damp, melasse og fedt er søgt optimeret efter de øvrige råvarers presseegenskaber.

Blandinger med ubehandlet halm giver generelt løse og usammenhængende cobs, men sammenhængsevnen er rimelig ved forholdsvis høj melassetilsætning. Ludbehandlet halm giver ikke større problemer med sammenhængsevnen, men rumvægten er naturligvis lavere end i rene kraftfoderblandinger.

I forhold til presning af ren, ludbehandlet halm bevirker iblanding af byg (især i valset form) og bomuldsfrøkager en ringere sammenhængsevne og rumvægt. Derimod giver soja- og bomuldsfrøskrå god sammenhængsevne. Generelt giver øget fedtindhold enten fra råvarerne eller tilsat som animalsk fedt forud for presning stærkt forringet sammenhæng. For melasse er den optimale mængde

Tabel 18. Råvaresammensætning og fysiske egenskaber af forsøgsfoderblandinger presset i cobs
Table 18. Composition and physical properties of cobs of experimental feed compounds

Fodringsforsøg og blandings nr.	Råvaresammensætning, % Raw material composition, %									Fysiske egenskaber Physical properties					
	Ubeh. halm	NaOH-halm	Me- lasse	Snit- foder	Byg	Soja- skrå	Bomuldsfrø Cottonseed		Anim. fedt	Urea	Rumvægt kg/m ³	Sammen- hængs- evne, %	Partikel- størrelse mm	pH	Vand- indhold %
Feed experiment and batch No.	Untr. straw	NaOH straw	Molas- ses	Beet pulp	Bar- ley	Soya- meal	skrå meal	kager cakes	Anim. fat	Urea	Bulk density	Dur- ability	Particle size, mm	pH	Moist- ure, %
K 34, Renbæk															
Ch 127	27	—	8	—	58	5	—	—	—	—	485	—	1,4	6,9	13,2
Ch 126	—	38	8	—	45	7	—	—	—	—	550	—	1,7	9,9	12,5
M XX, Trollesm.															
Ch 154	—	50	—	47	—	—	—	—	—	1	628	—	—	9,1	14,6
Ch 156	—	50	—	—	47	—	—	—	—	1	640	—	—	10,1	18,2
M 46 Linderum															
Ch 161	26	—	10	—	33	—	—	26	3	—	596	—	1,0	6,3	11,1
Ch 162	—	40	10	—	15	—	—	30	3	—	560	—	1,2	8,3	12,3
M 47 S. Omme															
Ch 163	—	40	—	—	32	—	—	25	1	—	580	—	1,4	9,0	13,2
Ch 164	—	40	10	21	—	—	—	25	2	—	540	—	1,3	8,1	12,9
M 37 Favrholm															
Ch 168	—	60	10	—	10	—	—	18	—	—	524	—	—	9,8	14,7

M 63, Linderum

6301	-	0	8	-	56	-	-	33	3*	-	692	97	-	6,4	11,7
6302	-	20	8	-	36	-	-	33	3*	-	580	97	-	7,6	11,8
6303	-	40	8	-	17	-	-	33	2*	-	528	94	-	8,8	12,2

Analyseprojekt

X001	-	0	8	-	59	-	33	-	-	-	672	100	-	-	-
X002	-	20	8	-	39	-	33	-	-	-	640	100	-	-	-
X003	-	40	8	-	19	-	33	-	-	-	592	100	-	-	-

K 45, Renbæk

N 20	20	-	8	-	68/58	4/14	-	-	-	-	560	97	1,6	6,7	15,3
N 40	40	-	8	-	48/40	4/12	-	-	-	-	514	97	1,6	6,8	13,7
F 20	-	20	8	-	68/58	4/14	-	-	-	-	570	97	1,3	8,3	16,9
F 40	-	40	8	-	48/40	4/12	-	-	-	-	518	96	-	9,5	16,3

Fåreforsøg

Ch 325	-	68	-	10	-	20	-	-	-	-	640	ca. 100	-	-	-
Ch 325	-	38	-	40	-	20	-	-	-	-	700	ca. 100	-	-	-

Linderum

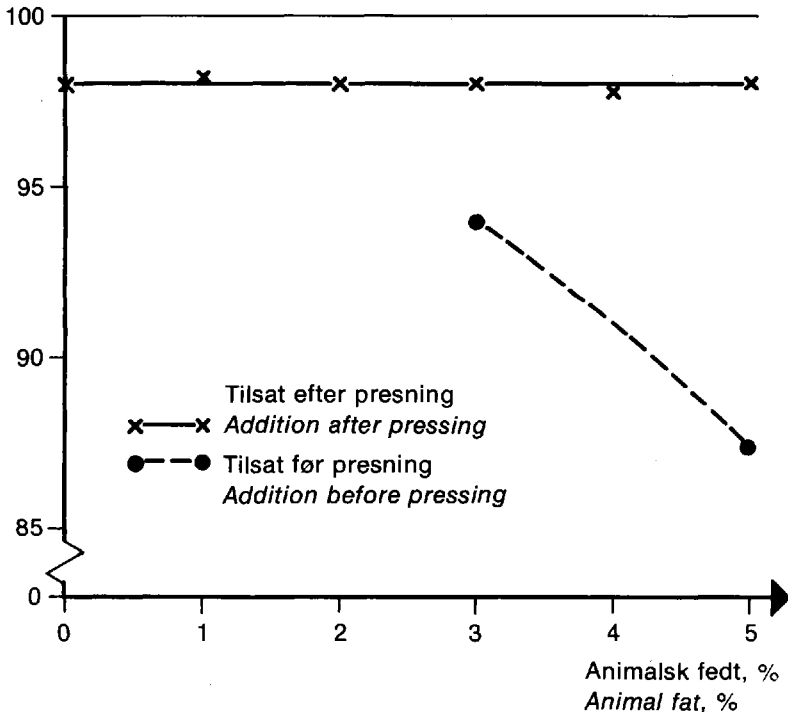
M 69	-	40	8	-	19	33	33	33	33	-	-	-	-	-	-
------	---	----	---	---	----	----	----	----	----	---	---	---	---	---	---

* Fedt tilsat ved coating – *Fat added by coating of cobs.*

med hensyn til presseegenskaberne afhængig af råvaresammensætningen – således ligger optimum tydeligt lavere for blandinger med oplukket end ubehandlet halm. Urea kan i nogle tilfælde forbedre sammenhængsevnen. Tørret roeffald øger generelt rumvægt og sammenhængsevne.

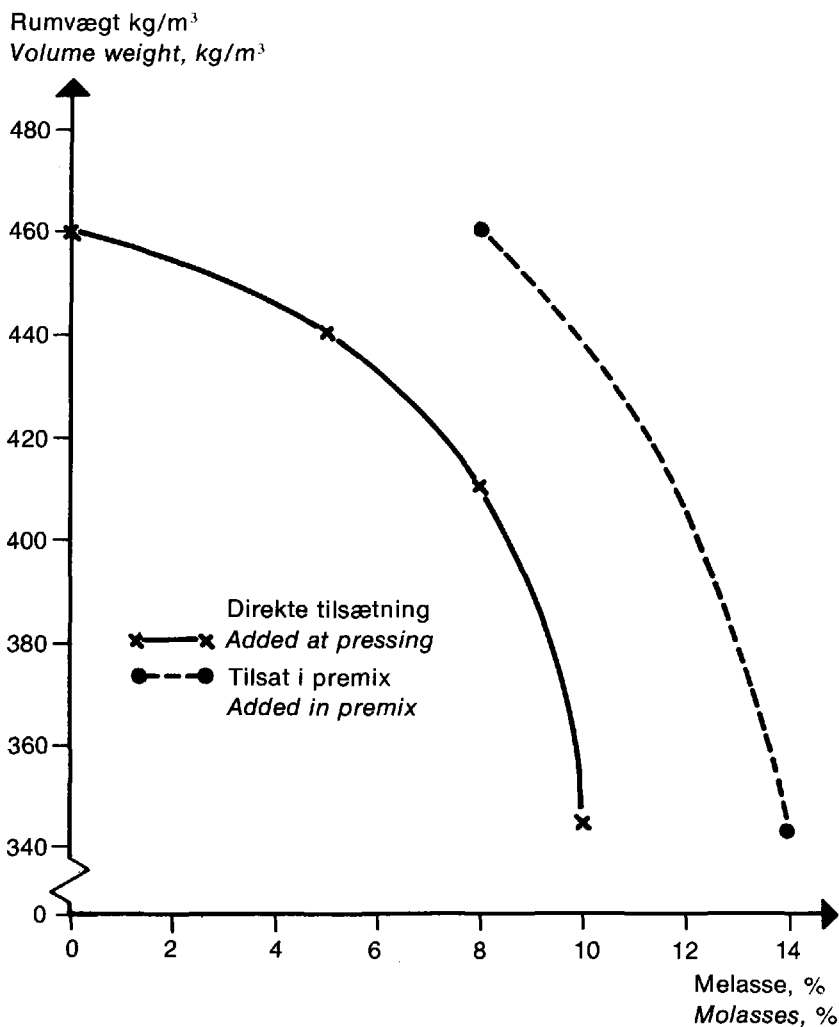
Lang pressetid (lav kapacitet og tyk matrice) og højt modtryk i matricen giver generelt faste cobs, men for højt modtryk kan umuliggøre presningen eller øge materialets findeling under presningen. De enkelte råvarers virkning er derfor ikke alene et spørgsmål om disses bindeevne, men også deres indflydelse på modtrykket i pressen. Optimal matricetykkelse og damptilsætning har derfor nær forbindelse med råvaresammensætningen. Høj kapacitet forkorter presse-

Sammenhængsevne, %
Durability, %



Figur 30. Sammenhængsevne af blandingscobs i forhold til indhold af animalsk fedt tilsat henholdsvis før og efter cobspressning (CH 281: ca. 45% halmcobs, 33% bomuldsfrøkager, 17% valset byg, 2% mineraler).

Figure 30. Durability of compound cobs related to content of animal fat added before and after pressing into cobs (45% cobs from treated straw, 33% cottonseed cakes, 17% rolled barley, 2% minerals).



Figur 31. Rumvægt af blandingscobs i forhold til indhold af melasse tilsat henholdsvis direkte i hele blandingen eller i kraftfoderblandingen (45% halm med lud, 20% valset byg, 13% grønmel, 10% kartoffelpulver, 2% mineraler).

Figure 31. Bulk density of compound cobs related to content of molasses added directly to the whole mixture or to the premix of concentrates (45% straw with lye, 20% rolled barley, 13% green meal, 10% potato feed meal, 2% minerals).

tiden og forringer dermed sammenhængsevnen. Damp kan blødgøre fibre og dermed øge partikelstørrelsen.

I nogle af blandingerne med højt indhold af fedt, er animalsk fedt, som nævnt, tilsat efter presningen. I figur 30 er vist resultater fra et forsøg, som viser nødvendigheden heraf i det givne tilfælde. I blandinger med tilsat fedt kan hårdheden af de fremstillede cobs således påvirkes betydeligt ved at ændre tilsætningen fra før til efter presning, og man kan da undgå at ændre råvare-sammensætning eller matricetype.

Tilsætning af fedt og melasse i kraftfoderblandingen, god opblanding i denne og god sammenblanding af halm/kraftfoder har også betydelig indflydelse på den fysiske kvalitet af cobs. Figur 31 viser således resultater fra forsøg med stigende melassemængder tilsat henholdsvis til kraftfoderet i forblenderen eller direkte i halm-kraftfoderet i pressens fødesnegl.

b. Blandinger fremstillet direkte med ludpåført halm (1-trins fremstilling)

Indledning

Ved at undlade at presse den ludpåførte halm i cobs før blanding med de øvrige foderkomponenter og den endelige presning af de færdige cobs, opnås to store fordele:

1. De færdige blandingscobs får en grovere fysisk struktur og er dermed bedre egnede til at anvendes som hovedfoder til malkekvæg i forhold til cobs fremstillet i 2 trin.
2. En del af de med 1. presning forbundne omkostninger spares.

Hvis den første cobspresning af den ludpåførte halm ikke erstattes med andre foranstaltninger til at hindre afsmitning af lud på kraftfoderkomponenterne, er der imidlertid fare for:

1. Forringet rumvægt og sammenhængsevne.
2. Forringet oplukningseffekt.
3. Eventuel negativ effekt af lud på kraftfoderkomponenter.

Det var derfor nødvendigt at undersøge virkningen af at undlade den første cobspresning og mulighederne for at erstatte denne med en anden behandling som opvarmning eller trykbehandling alene, som er billigere og medfører mindre forringelse af den fysiske struktur. I det følgende er beskrevet 3 forsøg med:

1. Opvarmning af ludpåført halm før blanding.
2. Opvarmning af lud, damptilsætning og teknik for fedttilsætning.
3. Valsepresning af ludpåført halm, matricetykkelse og fedtindhold.

Materialer og metoder

Forsøg I, som blev gennemført i 1974, skulle vise, hvorledes fordøjeligheden af blandingen bliver påvirket ved helt at undlade trykpåvirkning på ludpåført halm

før blanding med kraftfoder, og om alene opvarmning er tilstrækkelig. Forsøget havde derfor 3 led med forskellig forbehandling af ludpåført halm:

1. Presning i cobs og oprivning af disse (2-trin).
2. Opvarmning af ludpåført halm.
3. Ingen behandling (1-trin).

Kvaliteten af de fremstillede blandinger blev undersøgt ved fordøjelighedsforsøg med får.

Forsøg II blev gennemført i 1975. Det skulle primært belyse virkningen af opvarmning af luden og tilsætning af damp under presning af halm-kraftfoderblandingen, idet disse foranstaltninger er lettere at gennemføre end en opvarmning af halmen. Endvidere blev undersøgt virkningen af tilsætning af fedt i kraftfoderblandingen i forhold til påsprøjtning efter presning af blandingen. Ved den sidste teknik opnås et højere modtryk i pressen, idet fedt har en smørende virkning. Til sammenligning gennemførtes et forsøgsled med 2-trins cobspresning af samme råvare, Ch. nr. 330 (tabel 22), uden opvarmning af lud samt på et senere tidspunkt endnu et forsøgsled efter 2-trins presning med opvarmet lud, hvor der blev anvendt et andet parti halm, Ch. nr. 366. Dette forsøgsled er følgelig ikke direkte sammenligneligt med de øvrige.

De forskellige forsøgsbehandlinger med presning i 1 trin blev gennemført som et faktorielt forsøg med 3 faktorer:

1. Opvarmning af lud (10 kontra 90°C).
2. Damptilsætning i presse (0 kontra 6% damp).
3. Fedttilsætning før kontra efter presning (3,5 % an. fedt).

I alle forsøgsled blev registreret elforbrug ved presning af blandingen i cobs og temperaturen i de fremstillede cobs før køling, samt pH og ludoverskud nogle få dage efter presning. Na-indhold blev bestemt som kontrol på luddoseeringens nøjagtighed. Foderets fysiske egenskaber blev karakteriseret ved bestemmelse af rumvægt, sammenhængsevne og middel partikelstørrelse, og forskelle i foderværdi ved enzymopløselighed og in vitro fordøjelighed.

Fordøjelighedsforsøg med får blev kun gennemført i forsøgsleddene med tilsætning af fedt efter presning i 1 trin samt i de to med 2 trins presning. Eventuel forskel på grund af fedttilsætningsmåde er følgelig ikke belyst ved dyreforsøg.

Forsøg III blev gennemført i 1976 med henblik på primært at måle virkningen af forpresning af ludpåført halm i en valsepresse. En valsepresse giver kun ringe findeling af materialet ved moderat valsetryk, og den er billigere i anskaffelse og elforbrug end en cobspresse. Den medfører imidlertid kun ringe opvarmning af materialet, og valsepresning alene giver derfor ikke fuld oplukningseffekt. Det er derfor et spørgsmål, om valser i forbindelse med varm lud og den efterfølgende opvarmning ved presning af blandingen kunne give en tilsvarende oplukningseffekt som forpresning i cobs.

Sammen med valsepresning undersøgtes derfor virkning af ludopvarmning og modtryk under presning af den færdige blanding i 14 mm cobs. Modtrykket blev varieret ved anvendelse af to matricer på henholdsvis 70 og 135 mm tykkelse og tilsætning af 5 forskellige mængder animalsk fedt fra 0 til ca. 4 % samt tilsætning af fedt med olieker i forhold til iblandet animalsk fedt. Endvidere blev for de vigtigste forsøgsspørgsmål anvendt 2 ludmængder på 3,5 kontra 5,5 kg NaOH/100 kg halmtørstof, idet der som følge af maskinopstillingen ikke kunne forventes nøjagtig ens luddosering i alle forsøgsled. Endelig gennemførtes til sammenligning forsøgsled med 2 trins cobspresning og 1 trins cobspresning med opvarmning af lud som eneste forbehandling – ligeledes ved varierende fedttilsætning.

Forsøgsplanen blev følgelig noget uoverskuelig og fik følgende hovedgrupper, hver med 4–5 fedtmængder:

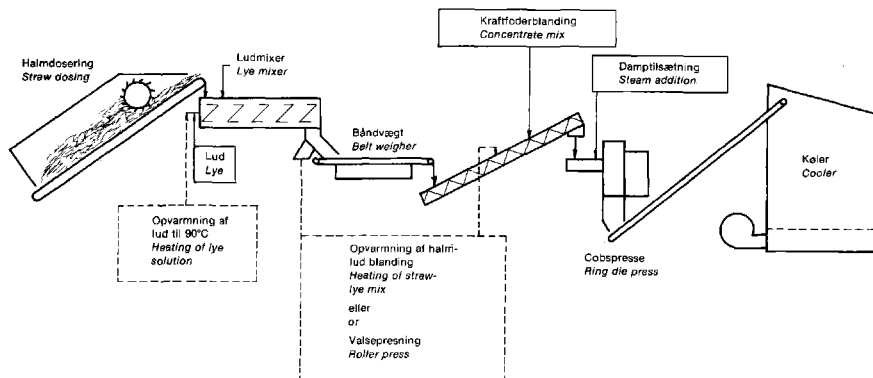
- a. 2 trins cobspresning (135 mm matrice i begge trin, 5% NaOH og lud 15° C).
- b. 1 trins cobspresning (135 mm matrice, 5% NaOH og 90° C varm lud).
- c. Forpresning på valser.
 1. 90° C varm lud og 135 mm matrice, 3,5% NaOH.
 2. 90° C varm lud og 135 mm matrice, 5,5% NaOH.
 3. 30° C varm lud og 135 mm matrice, 3,5% NaOH.
 4. 30° C varm lud og 135 mm matrice, 5,5% NaOH.
 5. 90° C varm lud og 70 mm matrice, 5% NaOH.
 6. 90° C varm lud og 135 mm matrice, 5% NaOH, bomuldsfrøkager erstattet med bomuldsfrøskrå og 2% ekstra animalsk fedt.

I alle forsøgsled måltel elforbrug, cobstemperatur, rumvægt og sammenhængselvne, mens de fleste andre kvalitetskriterier kun blev bestemt i 2 prøver for hver af ovenstående 8 grupper ved henholdsvis lavt og moderat fedtindhold. Her blev foretaget samme analyser som i forsøg II samt bestemmelse af råfedt og træstof som kontrol på henholdsvis fedttilsætning og blandingsforhold mellem halm og kraftfoder. Foderværdien blev vurderet ved laboratorieanalyser, in vitro fordøjelighed og cellulase uopløselig fiber (CIF), som blev bestemt i stedet for enzymopløseligheden, der er mindre egnet til blandinger (se afsnit II. B.8c).

Ved opgørelse af resultaterne er indflydelsen af de mange forskellige variable beregnet og vist ved disses regressionskoefficienter i multiple regressionsligninger.

Til forsøgene blev anvendt blandinger med højt indhold af halm, bomuldsfrøkager/skrå og fedt (tabel 19).

Maskinopstillingen ved presning af blandinger i 1 trin var stort set den samme som ved ludning af halm og presning af blandinger i 2 trin, idet kraftfoderblandingen blev ledt med i halmstrømmen i transportsneglen mellem båndvægt og presse (figur 32).



Figur 32. Maskinopstilling for forsøg med 1-trins presning af blandingscobs med ludpåført halm og forsøg med valsepresning som 1. trin.

Figure 32. Set up of machinery for experiments with 1 step processing of compound cobs with lye-added straw and experiments with use of rolls in the 1st step.

Tabel 19. Sammensætning af blandinger til forsøg med procesteknik

Table 19. Ingredients of the compounds for processing trials

Forsøg, år og teknik	I 1974 Opvarmning af halm-lud	II 1975 Opvarmning af lud og damptilsætning	III 1976 Valsepresning matricetykkelse fedttilsætning
Trial, year and technique	Heating of straw-lye	Heated lye + steam addition	Roller pressing die thickness fat addition
Ludbehandlet halm (5% NaOH), %	50	40	40
Treated straw			
Bomuldsfrøkager	30		
Cottonseed cakes			
Bomuldsfrøskrå		30	32
Cottonseed meal			
Valset byg	10	18½	20
Rolled barley			
Melasse	4	8	8
Molasses			
Animalsk fedt	5	3½	0-6
Animal fat			
Mineraler	1		
Minerals			

Fedt er tilsat på følgende måde:

Forsøg I : I kraftfoderblanding.

Forsøg II : I kraftfoderblanding kontra efter presning.

Forsøg III: I pressens fødesnegl.

Anlægget var ikke forsynet med specielt udstyr for sammenblanding af halm-kraftfoder eller iblanding af fedt og melasse tilsat i transportlinien.

Ved forsøget med opvarmning af halm-ludblandingen blev denne efter ludmixeren udtaget til en kasse med indlagte dampslanger. I forsøget med opvarmet lud og damp blev luden opvarmet, før den blev blandet med halmen, og dampen tilsattes først i pressen efter blanding med kraftfoder.

Valsepresningen blev foretaget med valserne fra et Taarup 801 halmludningsanlæg ved et tryk på 500 kg/cm², idet ludiblandingen blev foretaget i ludmixeren på det stationære anlæg. Halmen blev herfra ført til valsepressen og tilbage til transportsneglen i det stationære anlæg efter båndvægten. I transportsneglen blev kraftfoderet tilledt. Båndvægten blev altså ikke anvendt i dette forsøg, hvilket medførte risiko for variation i luddosering og halm/kraftfoderforhold.

Presning er i alle forsøg foretaget på matrice med 14 mm huller i diameter – i de første forsøg på den »sædvanlige« 70 mm tykke matrice – i forsøget med valserne desuden på 135 mm tyk matrice. En så tyk matrice giver stærkt øget modtryk og temperatur i pressen, og den er følgelig mest egnet til ret fedtholdige blandinger.

Resultater og diskussion

Forsøg I: 1 trin og 1 trin med opvarmning af ludpåført halm kontra 2 trin

På grund af det høje fedtindhold og den tynde matrice blev de færdige cobs i alle tilfælde løse og usammenhængende. Det viste sig desuden meget vanskeligt at varme halmen op ved indirekte dampopvarmning i slanger, og opvarmning blev derfor foretaget ved lavere temperatur og længere tid end planlagt. Opvarmningen tog således 2¼ time, og gennemsnitstemperaturen var 40° C.

Resultaterne i tabel 20 viser en lavere fordøjelighed af blandingen fremstillet i 1 trin end i 2 trin på 3 enheder i organisk stof og 5 i energi. Henregnes hele forskellen til halmen, tyder tallene på, at der kun er opnået 50–70% af den normale ludningseffekt. 1-trins blandingen med opvarmet halm ligger gennemgående mellem de to andre blandinger, hvilket tyder på, at opvarmningen har forbedret oplukningen ved 1-trins fremstilling, men ikke bragt den på højde med 2 trins metoden.

Forsøg II: 1 trin med opvarmning af lud, tilsætning af damp og tilsætning af fedt i kraftfoderblanding eller efter presning kontra 2 trin

Resultaterne af de enkelte analyser er vist i tabel 21, i tabel 22 er vist en oversigt over forsøgsbehandlingernes virkning på de vigtigste fysiske og næringsmæssige egenskaber. Tabel 23 viser resultaterne af fordøjelighedsforsøg med får.

Tallene i tabel 22 og 23 viser således, at presning af blandinger i 1 trin uden

særlige foranstaltninger til at hindre afsmitning og øge ludningseffekten, i forhold til 2 trins presning bevirkede:

- 1) Lav rumvægt.
- 2) Dårlig sammenhængsevne.
- 3) Grovere fysisk struktur og
- 4) Lavere fordøjelighed af organisk stof.

De prøvede forsøgsbehandlinger havde følgende virkning:

Opvarmning af lud:

Uændrede fysiske egenskaber og
øget fordøjelighed.

Tilsætning af damp:

Lavere rumvægt og
øget fordøjelighed.

Tilsætning af fedt efter presning (i forhold til i kraftfoder):

Højere rumvægt og
normal sammenhængsevne.

Ved anvendelse af alle 3 foranstaltninger på én gang bevirkede presning i 1 trin i forhold til 2 trin: Stadig en lav rumvægt, men god sammenhængsevne og grovere fysisk struktur. Der kunne ikke konstateres sikker forskel på fordøjelighed og opløselighed af organisk stof.

Tabel 20. Procesteknik for blandinger. I: Resultater af fordøjelighedsforsøg med får for blandinger fremstillet i 1 trin, 1 trin med opvarmning af halm-lud blanding og 2 trins cobspressning

Table 20. Processing technique for compounds. I: Results of digestibility trials with sheep for compounds manufactured in 1 step, 1 step with preheating of straw-lye mix and in 2 steps cobspressing

Fordøjelighedskoefficienter for:	1 trins presning uden forbehandling	1 trin med opvarmning af halm-lud	2 trins cobspressning
<i>Digestibility coefficient for:</i>	<i>1 step pressing without pretreatment</i>	<i>1 step with preheating of straw-lye</i>	<i>2 steps cobs pressing</i>
Energi	61	64	66
<i>Energy</i>			
Organisk tørstof	63	67	66
<i>Organic DM</i>			
Råprotein	67	64	67
<i>Crude protein</i>			
Fedt (Stoldt)	64	67	78
<i>Crude fat</i>			
Træstof	59	61	64
<i>Crude fiber</i>			
N-fri ekstraktstoffer	65	70	70
<i>N-free extracts</i>			

Tabel 21. Procesteknik for blandinger. II: Produktionsdata og analyseresultater for 2 trins cobspressning kontra 1 trin med/uden ludopvarmning, med/uden damptilsætning og fedttilsætning før/efter presning

Table 21. Processing technique for compounds. II: Production data and analytical results for 2 step cobspressing versus 1 step with/without lyeheating, with/without steam addition and addition of fat before/after pressing

	1 trins proces (uden presning af halm-lud før kraftfoderibl.) 1 step proces (without pressing before concentrate addition)								2 x cobspressing 2 x cobspressing	
Opvarmning af lud	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+ ¹⁾
Heating of lye	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-
Damp tilsat ved presning	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-
Steam added at pressing	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-
Fedt tilsat efter presning	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-
Fat added after pressing	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-
El-forbrug, amp.	20	33	20	25	20	33	20	25	28	29
Power consumption, amp.	20	33	20	25	20	33	20	25	28	29
Temperatur i cobs, °C	53	65	79	83	56	70	81	82	55	62
Temperature of cobs, °C	53	65	79	83	56	70	81	82	55	62
Rumvægt, kg/m ³	384	520	352	432	376	520	356	440	608	660
Bulk density, kg/m ³	384	520	352	432	376	520	356	440	608	660
Sammenhængsevne, %	91	98	93	98	90	99	92	98	98	98
Durability, %	91	98	93	98	90	99	92	98	98	98
Middelpartikelstørrelse, mm	1,7	1,7	1,8	2,1	1,6	1,6	1,8	1,7	1,2	1,1
Average particle size, mm	1,7	1,7	1,8	2,1	1,6	1,6	1,8	1,7	1,2	1,1
pH i cobs	8,6	8,7	8,7	8,7	8,9	8,6	9,2	9,2	8,7	-
pH in cobs	8,6	8,7	8,7	8,7	8,9	8,6	9,2	9,2	8,7	-
NaOH overskud, % af tørstof	0,24	0,18	0,14	0,13	0,18	0,14	0,28	0,24	0,18	0,34
NaOH surplus, % of D.M.	0,24	0,18	0,14	0,13	0,18	0,14	0,28	0,24	0,18	0,34
Na indhold, % af tørstof	1,13	1,10	1,14	0,98	1,08	1,07	1,20	1,18	1,20	1,44
Na content, % of D.M.	1,13	1,10	1,14	0,98	1,08	1,07	1,20	1,18	1,20	1,44
Enzymopl. org. stof, % af ts.	38,1	38,1	37,5	39,9	41,6	42,9	43,0	45,0	46,2	45,6
Enzyme soluble O.M., % of D.M.	38,1	38,1	37,5	39,9	41,6	42,9	43,0	45,0	46,2	45,6
In vitro FK for org. stof	63,7	63,5	63,9	64,2	65,1	62,9	65,2	66,0	66,9	-
In vitro digestibility of O.M.	63,7	63,5	63,9	64,2	65,1	62,9	65,2	66,0	66,9	-

¹⁾ For 2 trin med varm lud var halmen ikke fra samme parti som de øvrige.

At 2 step with heated lye was the straw from a different batch.

Tabel 22. Procesteknik for blandinger II: Oversigt over virkning på håndteringsegenskaber og in vitro fordøjelighed
Tabel 22. Processing technique for compounds. II: Summary of effect on handling properties and in vitro digestibility

	Rumvægt kg/m ³ <i>Bulk density kg/m³</i>	Sammenhængs- evne, % <i>Durability %</i>	Partikel- størrelse middel, mm <i>Particle- size, mm</i>	Enzymopløseligt organisk stof % af tørstof <i>Cellulase soluble organic matter, % of DM</i>	Fordøjelighed organisk stof in vitro <i>Digestibility organic matter in vitro</i>
1 trins cobspressing					
1 step cobspressing					
Normal behandling					
lud: 10 °C, uden damp, fedt iblandet	384	91	1,7	38,1	63,7
Non experimental treatment					
lye: 10 °C, no steam, fat before pressing					
Virkning af forsøgsbehandling, gens. og standardafv. <i>Effect of experimental treatment, average and S.D.</i>					
Opvarmning af lud til 90 °C	+1±7	0±1,0	÷0,1±0,1	+4,7±0,9	+1,0±1,1
Heating of lye till 90 °C					
Tilsætning af 6 % damp i presse	+55±34	+1±1,5	+0,2±0,2	+1,2±1,2	+1,0±1,4
Addition of 6 % steam in press					
Fedt tilsat efter presning	+111±34	+7±1,7	+0,1±0,2	+1,4±1,1	÷0,3±1,3
Fat added after pressing					
Efter alle tre forsøgsbehandlinger	440	98	1,7	45,0	66,0
After all 3 experimental treatments					
2 trins cobspressing					
2 step cobs pressing					
Ch 330 (control)	608	98	1,2	46,2	66,9
Ch 366 (extra)*	(660)	(98)	(1,1)	(45,6)	—

*) For 2 trin med varm lud var halmen ikke fra samme parti som de øvrige.
At 2 step with heated lye was the straw from a different batch.

Tabel 23. Procesteknik for blandinger. II: Resultater af fordøjelighedsforsøg med får
Table 23. Processing technique for compounds. II: Results of digestibility trials with sheep

	1 trins proces (uden presn. af halm-lud før kraftfoderbland.) <i>1 step proces (without pressing before concentrate addition)</i>				2 x cobspressning <i>2 x cobspressing</i>	
Opvarmning af lud	÷	÷	+	+	÷	÷
<i>Heating of lye</i>						
Damptilsætning	÷	+	÷	+	÷	÷
<i>Steam addition</i>						
Na, % af tørstof	1,10	0,98	1,07	1,18	1,20	1,44
<i>Na, % of dry matter</i>						
Middel partikelstørrelse, mm	1,7	2,1	1,6	1,7	1,2	1,1
<i>Average particle size, mm</i>						
Fordøjelighedskoeff.						¹⁾
<i>Digestibility coeff.</i>						
Organisk stof	65,7	63,6	65,2	69,5	70,0	(71,1)
<i>Organic matter</i>						
Råprotein	73,5	69,6	70,1	73,8	68,8	(70,5)
<i>Crude protein</i>						
Råfedt	76,5	77,4	74,6	75,3	77,4	(74,5)
<i>Crude fat</i>						
Træstof	47,8	46,1	48,8	54,8	57,4	(63,3)
<i>Crude fiber</i>						
N-frie ekstraktstoffer	69,6	67,6	70,3	73,9	75,6	(76,0)
<i>N-free extracts</i>						

¹⁾ For 2 trin med varm lud var halmen ikke fra samme parti som de øvrige.
At 2 steps with heated lye was the straw from a different batch.

Ved vurdering af de enkelte forsøgsleds fordøjelighed må tages i betragtning, at Na-indholdet ikke er helt ens i alle forsøgsled og i flere tilfælde lavere i 1 end i 2 trin. Det kan skyldes enten nedsat ludmængde i forhold til halm eller mindre halmmængde i forhold til kraftfoder, hvilket vil have henholdsvis negativ og positiv indflydelse på fordøjeligheden. Ved vurdering af fordøjeligheden til får (tabel 23) må også bemærkes den grovere partikelstørrelse i 1 trins-forsøgsledene, der kan have påvirket fordøjeligheden i positiv retning, især for træstof.

Forsøg III: Forpresning af ludpåført halm på valser ved forskellig fedttilsætning, luddosering, ludtemperatur og matricetykkelse ved cobspressning i forhold til 1 og 2 trins cobspressning

Tabel 24 viser gennemsnitstal af måleresultater for henholdsvis 1 trins pressning med varm lud, forpresning i valser og 2 trins cobspressning. (Resultater fra forsøgsled med tynd matrice og erstatning af bomuldsfrøkager med skrå og animalsk fedt er ikke medregnet i gennemsnittet).

Gennemsnitstallene viser, at valsepresning har medført en bedre sammenhængsevne end i både 1 og 2 trins cobspressning, mens de fleste øvrige tal for valsepresning ligger imellem 1 og 2 trins cobspressning.

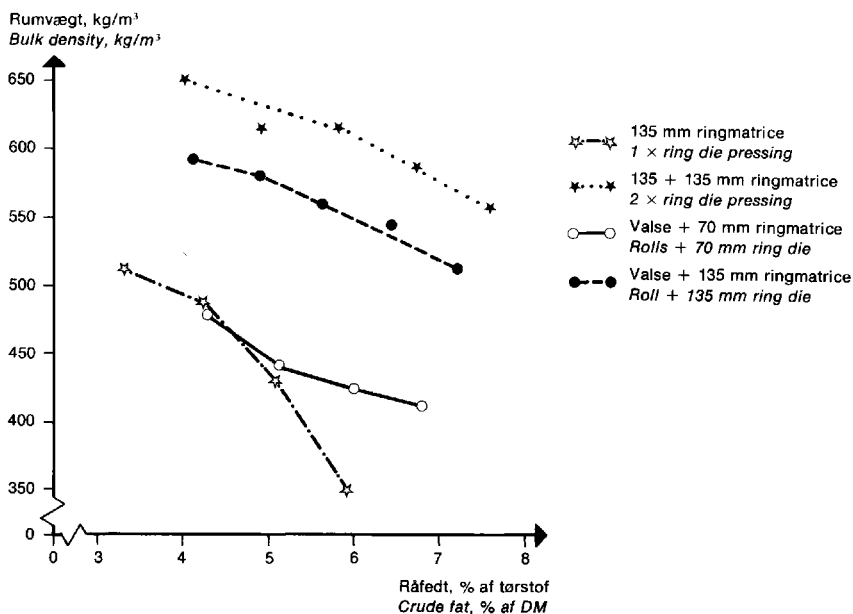
Indholdet af cellulase uopløselig fiber er tilsyneladende ikke forbedret (mindsket) ved valsepresning, men indholdet er meget varierende i de enkelte prøver og stærkt påvirket af fedtindholdet (se nedenfor) samt halm-kraftfoderforholdet.

In vitro fordøjeligheden af den færdige blanding er derimod ved valsepresning på højde med 2 trins cobspressning, til trods for at enzymopløseligheden af halmen umiddelbart efter valsepresningen kun var 36 pct. mod 47 pct. efter cobspressningen.

Tabel 24. Procesteknik for blandinger. III: Produktionsdata og foderkvalitet for 1 trins cobspressning kontra valse + cobspressning eller 2 trins cobspressning

Table 24. Processing technique for compounds. III: Production data and quality of feed for 1 step cobs pressing versus roller + cobs pressing or 2 step cobs pressing

	1 trins cobspressning gns. af 2 prøver <i>1 step cobspressing average of 2 samples</i>	Forpresning i valsepresse gns. af 8 prøver <i>Pre pressing in roller press average of 8 samples</i>	2 trins cobspressning gns. af 2 prøver <i>2 step cobspressing average of 2 samples</i>
Enzymopløseligt organisk stof i forpresset halm, % af tørstof	—	36,0	47,2
<i>Enzyme solubility of org. matter of pressed straw, % of DM</i>			
Elforbrug, amp. (kun 2. cobspressning) ...	37	49	43
<i>Power consumption, amp.</i>			
Cobstemperatur, °C	65	69	50
<i>Cobstemperature, °C</i>			
Rumvægt, kg/m ³	420	568	620
<i>Bulk density, kg/m³</i>			
Sammenhængsevne, %	93,4	97,2	96,5
<i>Durability, %</i>			
Middelpartikelstørrelse, mm	1,54	1,21	1,06
<i>Average particle size, mm</i>			
pH i cobs	9,1	8,6	7,9
<i>pH of cobs</i>			
NaOH-overskud, % af tørstof	0,3	0,1	0
<i>NaOH-surplus, % of DM</i>			
Na, % af tørstof	1,38	1,27	1,24
<i>Na, % of DM</i>			
Råfedt, % af tørstof	5,1	5,5	5,4
<i>Crude fat, % of DM</i>			
Træstof, % af tørstof	21,2	22,1	22,6
<i>Crude fiber, % of DM</i>			
Cellulase uopl. fiber, % af ts.	24,4	24,4	22,1
<i>Cellulase insol. fiber, % of DM</i>			
In vitro fordøjelighed af org. stof	65,9	68,2	68,2
<i>In vitro digestibility of OM</i>			



Figur 33. Rumvægt af cobs i forhold til råfedtindhold ved 1-trins cobspressning, valse- og cobspressning, valse- og cobspressning med tynd matrice og 2-trins cobspressning.

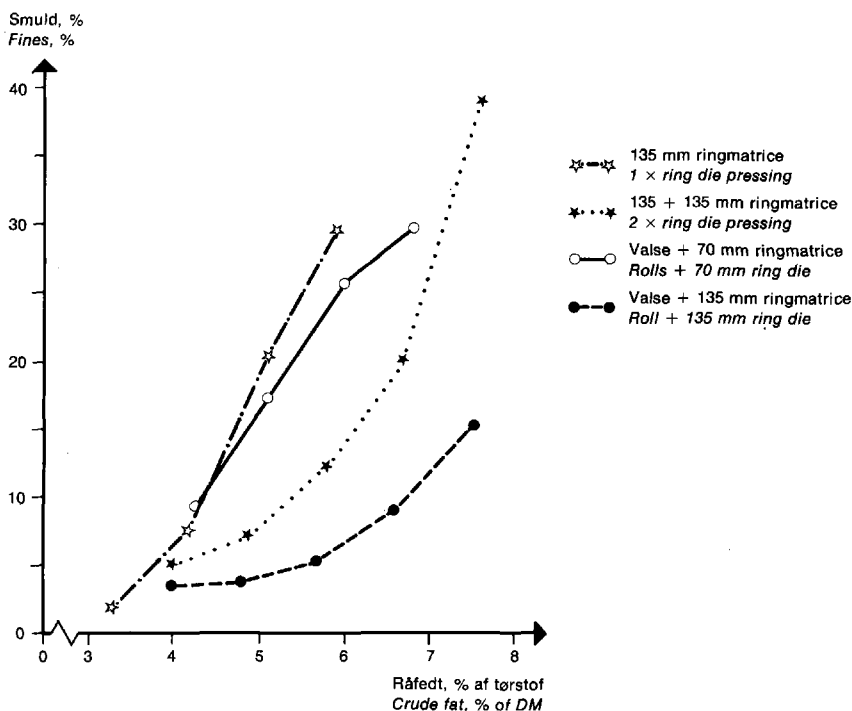
Figure 33. Bulk density of cobs related to content of crude fat for 1-step die pressing, rolls + die pressing, rolls + thin die and 2-step die pressing.

Figur 33 og 34 viser virkningen ved tilsætning af stigende mængder fedt i pressens fødesnegl for de ovenfor omtalte 3 fremstillingsteknikker samt valsepressning i forbindelse med anvendelse af en tyndere matrice ved pressning af den færdige blanding i cobs.

Figur 33 viser en meget lav rumvægt for valsepressning + tynd matrice. Dette gælder også for 1 trin, hvor rumvægten desuden falder stærkt med stigende fedtindhold.

Figur 34 viser indholdet af smuld (oprindeligt + dannet indhold af smuld efter en given mekanisk påvirkning i roterende trådvævs-kasse i 3 min.). Smuldindholdet er stærkt stigende med fedtindholdet – undtagen for valsepressning + tyk cobsmatrice, som giver betydeligt lavere smuldindhold end 2 trins cobspressning.

Tabel 25 viser resultaterne af en multipel regressionsanalyse på tallene fra de enkelte forsøgsled, hvor indflydelse fra indhold af fedt, natrium og græsstof på de fysiske egenskaber og fordøjelighed af organisk stof er undersøgt sammen med virkningen af de forskellige tekniske forsøgsbehandlinger.



Figur 34. Smulldindhold i usigtede cobs efter mekanisk påvirkning i roterende kasse i forhold til råfedtindhold ved 4 forskellige fremstillingsteknikker.

Figure 34. Content of fines in non-sieved cobs after treatment in rotating box related to crude fat content for 4 alternative techniques.

El-forbruget ved en given kapacitet – her 1150 kg pr. time – giver et indtryk af det modtryk, som de forskellige forhold har resulteret i under presningen, og som ventes at påvirke både de fysiske egenskaber og oplukning af endnu ikke fuldt oplukket halm. Modtrykket steg naturligvis ved øget matricetykkelse og halmandel (træstof), men også valsepresning øgede elforbruget i forhold til 1 trins presning. Øget ludmængde (Na-indhold) og fedtindhold mindskede derimod modtrykket. Bemærk nedenfor, hvorledes den målte sammenhængsevne fulgte samme mønster.

Rumvægten af de færdige cobs steg stærkt ved forpresning af ludhalmen og mest ved cobspresning. Matricetykkelsen ved presning af de færdige cobs har ligeledes stor indflydelse på rumvægten – anvendelse af tilstrækkelig tyk matrice kan sikre høj rumvægt. Rumvægten falder med stigende indhold af råfedt (tilsat før presning).

Tabel 25. Procesteknik for blandinger. III: Indflydelse af pressebetingelser og blandingssammensætning på fysiske egenskaber og in vitro fordøjelighed ved beregning af multipel korrelation

Table 25. Processing technique for compounds. III: Effect of pressing conditions and composition of compounds on physical properties and in vitro digestibility at calculation by multiple correlation

Regressionskoefficienter og disses standardafvigelse Regression coefficients and their S.D.								
Afhængig variabel (y) Dependent variable (y)	Konstant (a) Constant (a)	Forpresning af halm Pressing of straw		Matrice- tykkelse pr. 100 mm Die thickness per 100 mm	Na, % af tørstof Na, % of DM	Råfedt % af tørstof Crude fat % of DM	Træstof % af tørstof Crude fiber % of DM	Standard afvigelse på y Standard deviation on y
		cobs (= 2-trin cobs (= 2 step)	valse rolls					
El-forbrug ved presning af blanding, ampere Power consumption for pressing of compound, amp.	2	—	+11 ±2	+28 ±5	÷21 ±6	÷6,7 ±0,6	+2,8 ±0,9	±3
Rumvægt, kg/m ³ Bulk density, kg/m ³	324	+209 ±22	+159 ±17	+182 ±26	—	÷30 ±4	—	±22
Sammenhængsevne, % Durability, %	73,4	—	+1,9 ±0,8	8,0 ±1,9	÷8,2 ±2,8	÷1,1 ±0,3	+1,24 ±0,40	±1,3
Partikelstørrelse, mm Particle size, mm	2,76	÷0,48 ±0,06	÷0,33 ±0,05	÷0,90 ±0,07	—	—	—	±0,06
CIF, % af tørstof CIF, % of dry matter	10,7	÷2,6 ±1,1	—	—	—	+0,61 ±0,28	+0,47 ±0,26	±1,4
Fordøjelighed af organisk stof in vitro, % Digertibility of organic matter in vitro, %	90,0	+4,0 ±1,5	+3,3 ±1,1	—	—	÷1,28 ±0,29	÷0,84 ±0,27	±1,4

Sammenhængsevnen blev ikke sikkert øget ved forpresning af halm i cobs i dette forsøg (i modsætning til erfaringer fra andre forsøg), og valsepresning gav bedre sammenhængsevne end cobspresning.

Tyk matrice til presning af blandingen øgede sammenhængsevnen, og tilsætning af fedt forringede den, som man kunne forvente. Mere uventet var det, at høj luddosering forringede sammenhængsevnen, og højt træstofindhold (halmindhold) forbedrede den.

Middel partikelstørrelse faldt stærkt ved forpresning af halmen, både i cobs og på valser, men blev dog 0,17 mm større for valser end cobs. Tyk matrice, som er nødvendig for høj rumvægt og god sammenhængsevne, forringede desværre den fysiske struktur stærkt.

For indholdet af cellulase uopløselig fiber kunne ikke konstateres sikker indflydelse af valsepresningen – trods korrektion for forskelle i råfedt og træstof. Det kan skyldes fedtets meget forskellige indflydelse ved 2 trin og valse.

In vitro fordøjeligheden af organisk stof blev ikke sikkert påvirket ved opvarmning af lud fra 30 til 90 °C i forbindelse med forpresning på valser.

I forhold til 1 trin steg in vitro fordøjeligheden betydeligt ved forpresning af ludpåført halm i cobs (4,0 enheder) ligesom i de foregående forsøg, men forbedringen var næsten lige så stor ved forpresning på valser (3,3 enheder), således at forskellen mellem de to forpresninger bliver ringe.

Konklusion

I forhold til 2 trins cobspresning bevirker direkte presning i 1 trin uden særlige foranstaltninger en klart bedre fysisk struktur, men et langt ringere produkt med hensyn til rumvægt, sammenhængsevne og fordøjelighed. Den negative virkning øges ved et højt indhold af fedt under presningen og især ved tilsætning af animalsk fedt umiddelbart før pressen.

For at opnå normal oplukningseffekt og et håndterbart produkt kræves tilsyneladende, at luden bliver opsuget i halmen før blanding med kraftfoder og presning i cobs, samt at der opnås tilstrækkeligt tryk og temperatur under cobspresningen til at fuldende ludbehandlingen.

De gennemførte forsøg tyder på, at dette kan opnås ved opvarmning af lud og halm samt ved kold valsepresning af ludpåført halm i forbindelse med anvendelse af passende matricetykkelse i cobspressen og påsprøjtning af animalsk fedt efter presning.

B. Fodringsforsøg med natriumhydroxyd-behandlet halm til kvæg og får

1. Fysiologiske undersøgelser

a. Indledning

Drøvtyggenes udnyttelse af et træstofrigt foder som halm er afhængig af den mikrobielle omsætning i vommen, idet dyrenes egne fordøjelsesenzymer ikke er i stand til at nedbryde og omsætte fiberstofferne hemicellulose, cellulose og lignin. Fodringsmæssig indflydelse på vommiljøet samt på passagehastigheden vil derfor kunne påvirke udnyttelsen af træstofrige foderemner.

Dette forsøg blev udført for dels at undersøge kulhydratkildens betydning for køernes udnyttelse af ludbehandlet halm og dels for at undersøge betydningen af at neutralisere den overskydende basemængde (natriumhydroxyd) med syre før fodringen. Kulhydratkilden kan have indflydelse på vommens mikroflora og dermed på den mikrobielle nedbrydning og omsætning af foderets træstof. To af de vigtigste kulhydratkilder i kvægfodringen i Danmark er fodersukkerroer og korn, og heri findes kulhydratfraktionen overvejende i henholdsvis vandopløselig form og som stivelse. Af forsøgstekniske grunde anvendtes der snitfoder i stedet for roer i dette forsøg.

Den fysiologiske virkning af den overskydende basemængde i den tørludede halm er ikke tidligere undersøgt. Hydroxydresten kan eventuelt have en negativ effekt på foderoptagelsen, vomfunktionen og organismens mineralstof- og syre/base balance, og omvendt måske en positiv effekt ved at hindre et alvorligt pH-fald i vommen ved fodring med store sukkerroe- eller kraftfodermængder.

b. Materialer og metoder

Forsøgsdyr og fodring

Der anvendtes 6 udvoksede, vomfistulerede goldkøer til forsøget. Køernes vægt varierede fra ca. 560 kg til ca. 760 kg. Det tilstræbtes at fodre på eller lige over vedligeholdelsesniveauet, og de daglige fodermængder blev beregnet på grundlag af de enkelte køers vægt. Som beregningsgrundlag for foderrationernes energiindhold anvendtes for halmandelens vedkommende en foderværdi på 0.62 f.e. pr. kg halm-tørstof. Fodringen fandt sted to gange daglig, kl. 8 og kl. 16. Køerne havde fri adgang til vand, men vandoptagelsen blev registreret.

Forsøgsfoder

Forsøgsfoderet blev fremstillet på Biotechnisk Institut, Kolding. Et parti bygghalm blev behandlet med 5% natriumhydroxyd, og halmcobsene blev efter processen brudt op og delt i to lige store portioner, hvoraf den ene blev neutraliseret med saltsyre. Den nødvendige mængde saltsyre (2,5–3%) var bestemt ved titreringsanalyser. Hver af de to halmpartier blev herefter blandet med de øvrige foderkomponenter og til sidst presset i 14 mm »cobs«. Sammensætningen af rationerne fremgår af tabel 26. Det fremgår heraf, at rationernes

energiindhold baseres på henholdsvis ren halm (1a og 1b), halm + snitfoder (2a og 2b) og halm + byg (3a og 3b). Snitfoderet, som består af 50% tørrede roesnitter og 50% melasse, har et højt indhold af vandopløselige kulhydrater, mens byggets kulhydratfraktion i det væsentligste består af stivelse.

Der anvendtes urea som ekstra kvælstofkilde. Begrundelsen herfor var dels ønsket om at få en ration med størst mulig halmmængde, og dels at undgå anvendelse af et proteinfodermiddel, som samtidig ville tilføre blandingerne andre energigivende stoffer. Sidstnævnte forhold var også begrundelse for neutralisation med saltsyre i stedet for med organiske, energigivende syrer som eddike- og propionsyre.

Forsøgsplan

Forsøget blev udført som et periodeforsøg med 4 perioder. I første periode fordeltes køerne tilfældigt på de forskellige foderrationer. Derefter skiftede de

Tabel 26. Sammensætning og beregnet foderværdi af foderrationer med natriumhydroxyd behandlet halm

Table 26. Composition and estimated feeding value of rations containing sodium hydroxide treated straw

Fodermiddel <i>Feed component</i>	Ration <i>Ration</i>					
	1a	1b	2a	2b	3a	3b
	%	%	%	%	%	%
Behandlet halm <i>Treated straw</i>	96,5	—	50,0	—	50,0	—
Behandlet halm neutraliseret med HCl <i>Treated straw, neutralized with HCl</i>	—	96,5	—	50,0	—	50,0
Snitfoder <i>Molassed, dried beet pulp</i>	—	—	46,6	46,6	—	—
Byg, valset <i>Barley, rolled</i>	—	—	—	—	46,5	46,5
Urea <i>Urea</i>	1,7	1,7	1,1	1,1	1,4	1,4
Mineralblanding <i>Mineral mixture</i>	1,8	1,8	2,3	2,3	2,1	2,1
Beregnet foderværdi: <i>Estimated feeding value:</i>						
kg foder/f.e.	2,1	2,1	1,6	1,6	1,4	1,4
kg fodder per feed unit						
Ford.råprot.g/f.e.	104	104	104	104	103	103
Dig.crude protein, g per feed unit						

ration efter en plan, der sikrede, at der skete lige mange skift fra lavt til højt pH-niveau og omvendt, samt at ethvert rationsskifte modsvarede af et recip-rokt.

Hver forsøgsperiode bestod af en forberedelsestid på 14 dage efterfulgt af en opsamlingsperiode på 7 dage.

Opsamling og prøveudtagning

Foder

Foderet blev udvejet i halve dagsrationer til en hel periode ad gangen, og i forbindelse med udvejningen blev der taget en samleprøve, hvoraf en repræsentativ prøve indsendtes til kemisk analyse.

Vand

Køernes vandoptagelse målt daglig i opsamlingsperioden.

Gødning og urin

Gødning og urin blev for hvert døgn i opsamlingsperioden opsamlet kvantitativt. Samleprøver på 10% af gødningen og 50% af urinen blev udtaget og straks nedfrosset. Prøver blev herfra udtaget til kemisk analyse. Urinen blev under opsamlingen gjort sur ved tilsætning af svovlsyre for at undgå tab af ammoniak.

I 3. og 4. periode blev der i opsamlingsperioden udtaget urinprøver af frisk urin i 2 døgn med 2 eller 4 timers mellemrum for bestemmelse af baseudskillelsen. Disse prøver blev tilsat nogle få dråber toluol og straks frosset.

Vomsaft

Vomprøver blev udtaget på dagen efter opsamlingsperiodens afslutning. Prøverne blev udtaget med sonde gennem vomfistelen, og det tilstræbtes – ved at bevæge sonden op og ned – at få en så repræsentativ prøve som muligt. Vomindholdets pH blev bestemt umiddelbart efter prøveudtagningen, mens en prøve på 3–400 ml til senere kemisk analyse blev tilsat toluol og nedfrosset. Der blev udtaget prøver umiddelbart før morgenfodringen og $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, $1\frac{1}{2}$, 2, $2\frac{1}{2}$, 3, 4, 5, 6 og 7 timer efter fodring.

Blodprøver

Der blev en gang i hver periode udtaget blodprøver af halsvenen henholdsvis før fodring og ca. 2 timer efter fodring. En del af blodprøven blev straks centrifugeret, og plasmaet afpippet og frosset for senere analyse af mineralstofkoncentrationen. Den anden del blev nedkølet og samme dag analyseret for standardbikarbonat.

Kemiske analyser

Foder-, gødnings-, urin- og vomprøverne blev analyseret på Statens Husdyrbrugsforsøgs Afd. for dyrefysiologi, biokemi og analytisk kemi. I foder og

gødning bestemtes den kemiske sammensætning efter foderstofanalysen (fedt dog som totallipid efter Stoldt) samt indholdet af energi og mineralstoffer. Foderet blev desuden analyseret for lethydrolyserbare kulhydrater og stivelse. I urinen bestemtes kvælstof, energi og mineralstoffer. Vomindholdet blev analyseret for flygtige fedtsyrer (FFS), mælkesyre og ammoniak.

Ved Statens Husdyrbrugsforsøgs Afd. for forsøg med kvæg og får, Sektionen for fodermiddelvurdering, bestemtes foderets og gødningens indhold af cellevægsbestanddele efter metoden beskrevet af Goering og Van Soest (1970), samt foderets *in vitro* fordøjelighed af organisk stof efter metoden udarbejdet af Tilley og Terry (1963) og modificeret af Frederiksen (1966).

Blodprøvernes standardbikarbonatindhold blev bestemt på Institut for intern medicin, Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole.

I urinprøver blev der analyseret for mængden af titrerbar syre (base) og ammoniak efter principper beskrevet af Jørgensen (1957) og Rasmussen (1966).

c. Resultater

Foder- og vandoptagelse samt foderets fordøjelighed

Foderrationernes kemiske sammensætning

Den kemiske sammensætning af rationerne efter foderstofanalysen samt deres indhold af cellevægsbestanddele efter Van Soest analysen er angivet i tabel 27. De anførte tal er middelværdier af analyserne fra de enkelte perioders samleprøver.

Tabel 28 viser forskellene mellem rationerne med hensyn til de ønskede variationskomponenter, pH og kulhydratfraktionens sammensætning.

Tabel 27. Forsøgsrationernes kemiske sammensætning
Table 27. Chemical composition of the experimental rations

Ration	Tørstof	1 % af tørstof Percentage of Dry Matter							Cellulose	Brutto energi kJ/kg tørstof
		Organisk stof	Råprotein	Råfedt (Stoldt)	Træstof	NFE	ADF	Lignin		
Ration	Dry Matter %	Organic Matter	Crude Protein	Ether Extracts	Crude Fibre	NFE	Acid Detergent Fibre	Lignin	Cellulose	Gross Energy kJ/kg DM
1a	86,4	89,5	8,6	1,8	42,0	37,1	49,6	7,7	41,9	16990
1b	84,3	88,8	8,4	1,9	41,8	36,7	49,7	7,7	42,0	16950
2a	87,5	89,9	11,5	1,6	28,8	48,1	33,4	4,8	28,6	16740
2b	86,3	89,6	11,4	1,6	28,5	48,1	32,1	4,7	27,4	16700
3a	87,5	92,6	12,5	2,2	25,2	52,7	29,3	4,8	24,5	17330
3b	85,2	91,6	12,3	2,3	25,4	52,0	29,3	4,8	24,5	17240

Tabel 28. Forsøgsrationernes pH og indhold af letopløseligt og lethydrolyserbart kulhydrat
Table 28. pH and concentration of water soluble and hydrolizable carbohydrates of experimental rations

	Ration Ration					
	1a	1b	2a	2b	3a	3b
pH	10,5	7,3	8,8	6,2	10,0	6,7
<i>pH</i>						
Letopløseligt kulhydrat	0,6	0,8	13,0	13,4	2,1	2,8
<i>Water soluble carbohydrate</i>						
Let hydrolyserbart kulhydrat	2,3	2,5	13,7	13,5	24,5	25,0
<i>Hydrolizable carbohydrate</i>						
»Stivelse«	1,7	1,7	0,7	0,1	22,4	22,2
<i>»Starch«</i>						

Fodertildeling

Køernes gennemsnitlige tildeling af forsøgsfoderet fremgår af tabel 29. Tildeling af de daglige fodermængder blev beregnet på grundlag af køernes vægt og rationernes anslåede foderværdi, som angivet i tabel 26, således at vedligeholdelsesbehovet blev dækket ifølge dansk fodernorm.

Det fremgår af tabellen, at der er opnået en ret ensartet fodertildeling med ringe variation inden for de 3 foderblandinger; henholdsvis 1,3, 1,1 og 1,0 kg tørstof pr. 100 kg legemsvægt.

Kørne optog under hele forsøget rationerne med snitfoder og byg uden besvær, og de ville utvivlsomt have optaget større mængder, hvis foderet var givet ad lib. Køernes ædelyst til de rene halmblandinger var betydeligt dårligere, og helt specielt gælder dette for den stærkt alkaliske ration (halm, unneutrali-

Tabel 29. Gennemsnitlig daglig foderoptagelse
Table 29. Average daily feed intake

Ration	Optagelse, ialt Intake, total		Optagelse pr. 100 kg legemsvægt Intake per 100 kg body weight	
	Foder Feed kg	Tørstof Dry Matter kg	Foder Feed kg ± s.d.	Tørstof Dry Matter kg ± s.d.
1a	9,7	8,4	1,5 ± 0,13	1,3 ± 0,12
1b	10,0	8,5	1,6 ± 0,17	1,3 ± 0,13
2a	7,9	6,9	1,3 ± 0,07	1,1 ± 0,07
2b	8,3	7,2	1,3 ± 0,08	1,1 ± 0,07
3a	7,4	6,4	1,1 ± 0,06	1,1 ± 0,06
3b	7,3	6,2	1,1 ± 0,04	1,0 ± 0,03

seret). Køerne formåede dog som regel at fortære de udvejede mængder. På denne baggrund må det skønnes, at de optagelser af de rene halmrationer, som er anført i tabel 29, nogenlunde repræsenterer den maksimale optagelse af rent, behandlet halm, når dette er eneste foder.

Observationer over køernes optagelse af foderet viste, at køerne, der fik ration 1a, inden for den første halve time efter fodring åd ca. halvdelen af den tildelte mængde. Resten blev fortæret i småportioner med timers mellemrum. Ration 1b blev som regel ædt helt op i løbet af 30–40 minutter.

Trommesygeproblemer

Samtlige køer udviklede trommesyge ved fodring med bygrationerne. For nogle af køerne var der tale om enkelte, sporadiske tilfælde af akut karakter, som fortog sig efter simpel, symptomatisk behandling (åbning af vomfistelen og delvis udtømmning af vommassen samt kortvarig nedsættelse af fodermængden), men for nogle af køerne antog sygdommen mere kronisk karakter, og problemet var her så alvorligt, at der, for at forsøget kunne gennemføres, måtte foretages konstant, profylaktisk behandling (daglig infusion i vommen af parafinolie + acetyltributylcitrat).

Trommesygen skyldtes en meget kraftig skumdannelse, hvor hele vomindholdet udvikledes til en voluminøs skummasse. Derfor anvendtes der som nævnt acetyltributylcitrat, der nedsætter overfladespændingen, og derved modvirker skumdannelse. Der var ingen bivirkninger på grund af den skummende gæring, og umiddelbart efter nedsættelse af trykket ved åbning af vomfistelen begyndte køerne igen at æde. Der var ingen forskel på den neutraliserede og unneutraliserede ration med hensyn til sygdommens udvikling og frekvens. Ingen køer på de andre rationer havde på noget tidspunkt trommesyge. Det kan ikke udelukkes, at nogle af de anførte vomfysiologiske resultater for rationerne med byg blev påvirket af trommesygen. Til trods for de profylaktiske foranstaltninger var det undertiden vanskeligt helt at undgå tilløb til skumdannelse i vomvæsen.

Vandoptagelse

Køernes gennemsnitlige vandoptagelse er vist i tabel 30. De anførte middeltal er baseret på 3 observationer, idet udstyret til måling af vandoptagelsen ikke var installeret i første forsøgsperiode.

Vandoptagelsen var størst for køerne på de rene halmrationer, hvilket naturligt hænger sammen med det større natriumhydroxydindhold. Køerne på snitfoderrationerne optog mere vand end køerne på bygrationerne, selvom de fik samme mængde halm. Dette skyldes sandsynligvis, at melassen i snitfoderet indeholder relativt mere kalium, hvilket i lighed med natrium øger diuresen og dermed vandoptagelsen. Neutralisationen havde ingen indflydelse på vandop-

Tabel 30. Gennemsnitlig daglig vandoptagelse samt forholdet mellem optaget vand og fodertørstof

Table 30. Average daily water intake, total and in relation to dry matter intake

Ration Ration	Vandoptagelse Water intake	
	Ialt pr. dag, kg Total daily, kg	Pr. kg. fodertørstof, kg Per kg feed dry matter, kg
1a	51±6,1	6,2±0,52
1b	50±4,1	5,9±0,47
2a	36±6,6	5,1±0,65
2b	34±5,0	4,6±0,26
3a	23±1,9	3,5±0,04
3b	25±1,8	4,0±0,48

tagelsen. Det må derfor være den forøgede koncentration af natriumionen, der i sig selv påvirker vandoptagelsen.

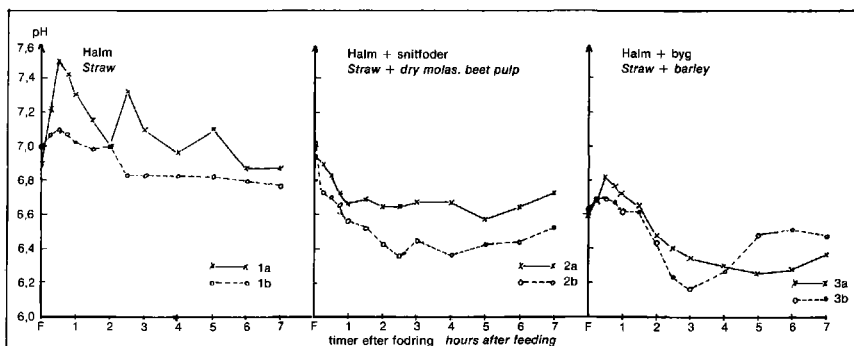
Resultaterne viser iøvrigt, at der var en betydelig variation i vandoptagelsen inden for de enkelte rationer. Det tyder på, at der dels er betydelige individuelle forskelle i vandbehovet, og dels at vandoptagelsen påvirkes i væsentlig grad af andre faktorer end saltkoncentrationen.

Foderrationernes fordøjelighed

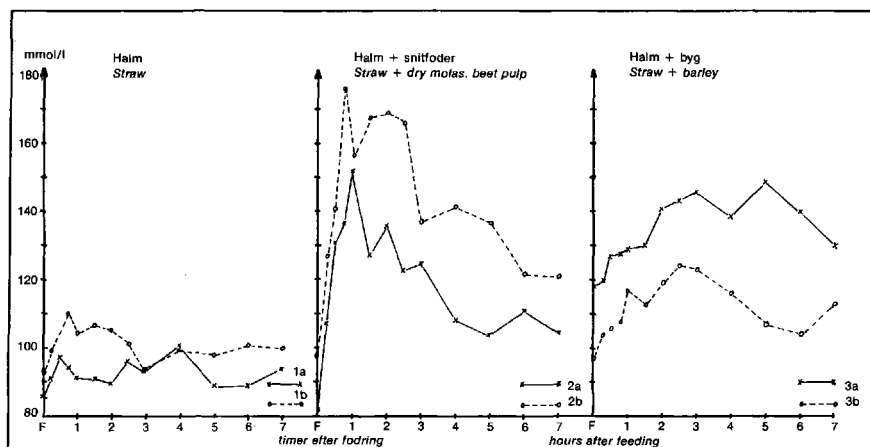
Fordøjeligheden af de anvendte rationer er omtalt under afsnit 3, side 136.

Vomfysiologiske målinger

Vomvæskens pH samt koncentration af flygtige fedtsyrer (FFS) og ammoniak på de forskellige prøveudtagningstidspunkter mellem morgen- og aftenfodringen er angivet grafisk i figurerne 35–39.



Figur 35. Vomvæskens pH.
Figure 35. pH of rumen liquid.



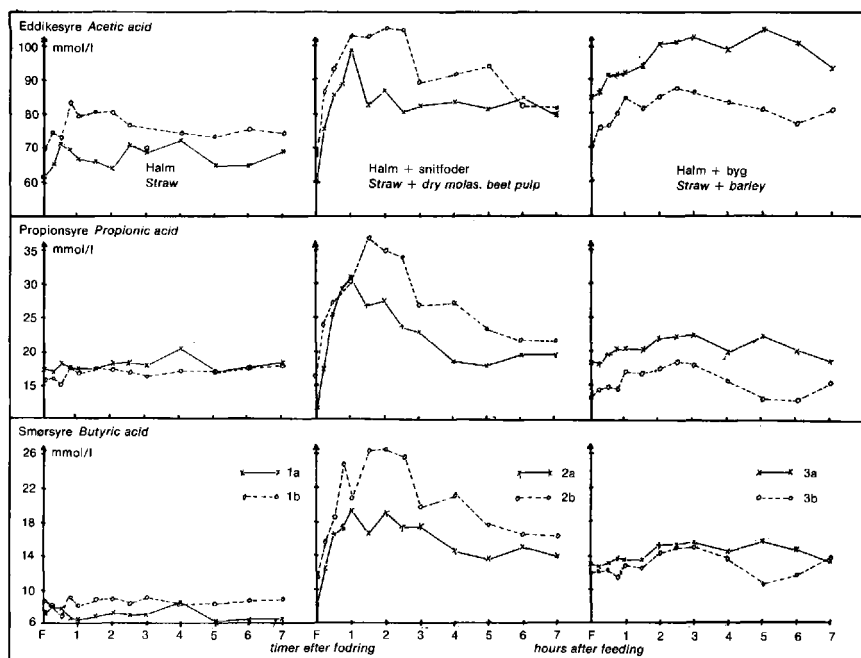
Figur 36. Totalkoncentrationen af flygtige fedtsyrer i vomvæsken.
Figure 36. Concentration of volatile fatty acids in rumen liquid.

Den unneutraliserede halm har, som det kunne ventes, når den anvendes alene, påvirket vommens pH ret kraftigt, og pH nåede en halv time efter fodringen op på 7,5. Stigningen efter 2 timers forløb skyldes det tidligere omtalte ådemønster. Køerne optog på dette tidspunkt igen en del foder. Kurven tyder på, at dette gentog sig ca. 4 timer efter fodringen. Først ca. 5 timer efter fodringen faldt pH under 7, hvilket vil sige, at vommediet i den overvejende del af tiden var basisk. Med neutraliseret halm var pH-niveauet meget konstant omkring 6,8. Rationer med snitfoder medførte, som det fremgår af de følgende figurer, en kraftig syreproduktion hurtigt efter fodringen. Faldet i pH var imidlertid ikke så markant, og det må antages, at halmen i sig selv har haft en modificerende indflydelse på pH-niveauet. Især har den unneutraliserede ration bevirket et konstant og relativt højt pH (ca. 6,7). I forbindelse med byg fodring startede den kraftige syreproduktion noget senere end ved snitfoderet, og i overensstemmelse hermed sætter pH-faldet først ind ca. $\frac{3}{4}$ time efter fodringen. Også her havde den unneutraliserede halm en stærkere modificerende virkning end den neutraliserede, men forskellen var ikke så udtalt som ved snitfoderationerne. Der findes ingen rimelig forklaring på, hvorfor de 2 kurver over pH ved bygrationerne krydser hinanden, men det kan hænge sammen med trossygeproblemerne, som er omtalt tidligere.

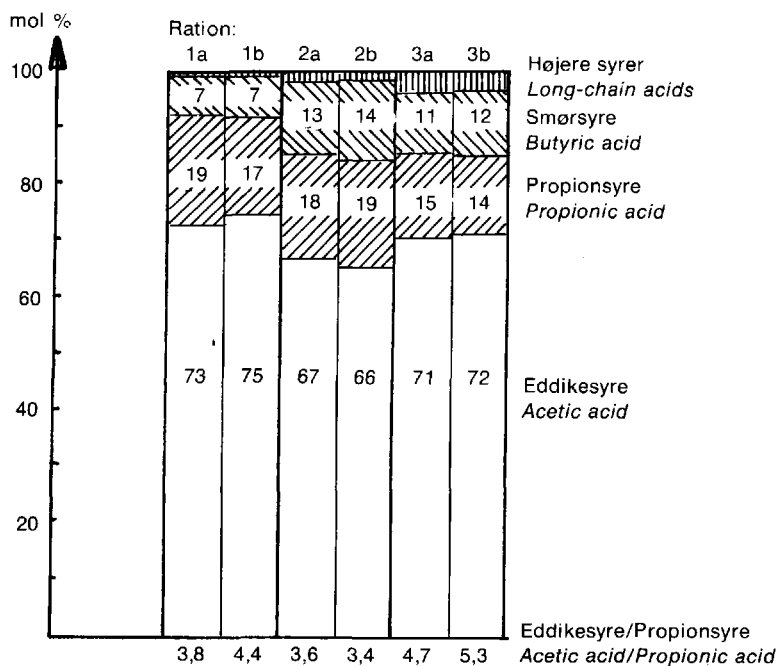
Den totale koncentration af FFS fremgår af figur 36, mens koncentrationerne af eddikesyre, propionsyre og smørsyre er vist i figur 37.

Kurverne viser, at der ved fodring med halm alene forekom en jævn og kontinuerlig forgæring af det træstofrige foder mellem fodringerne. Ved snitfoderrationer medførte indholdet af letopløselige kulhydrater en hurtig og kraftig forgæring straks efter fodringen, således at syreindholdet steg stærkt. Bygstivelsen forgæres noget langsommere, og de højeste syrekonzentrationer opnåedes derfor først efter 2-4 timers forløb. Neutralisationen havde ikke nogen entydig indflydelse på syrekonzentrationerne. For rationerne med rent halm ligger kurverne meget nær hinanden, og forskellen mellem de simple middeltal (henholdsvis 93 og 101) er ikke statistisk sikker. Ved snitfoderrationer fandtes de højeste koncentrationer overalt i forbindelse med den neutraliserede halm, mens det omvendte var tilfældet ved bygrationer. For snitfoderrationer bemærkes især de væsentligt højere koncentrationer af propion- og smørsyre, specielt i forbindelse med neutraliseret halm. Smørsyrekoncentrationen var lavest ved de rene halmrationer.

De relative mængder af eddike-, propion- og smørsyre (i % af totalsyren) er angivet i søjlediagram i figur 38, hvor også forholdet mellem eddikesyre og propionsyre er anført. Tallene er middelværdier af samtlige bestemmelser.



Figur 37. Koncentration af eddikesyre, propionsyre og smørsyre i vomvæsken.
Figure 37. Concentration of acetic acid, propionic acid and butyric acid in rumen liquid.



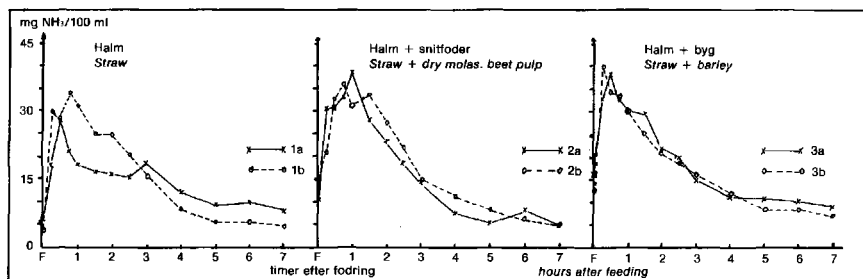
Figur 38. Relative mængder af flygtige fedtsyrer i vomvæsken samt forholdet mellem eddike- og propionsyre.

Figure 38. Relative amounts of volatile fatty acids in rumen liquid and the acetic to propionic acid ratio.

Ved de rene halmrationer udgjorde eddikesyren ca. 75% af hele syremængden, og der fandtes næsten ingen syrer med mere end 4 C-atomer. Snitfoderet medførte et fald i eddikesyreandelen; samtidig steg specielt smørsyreandelen. Bygfordringen gav den laveste relative propionsyrekoncentration, men ved disse rationer udgjorde de højere syrer 3–5% af totalsyrerne. Eddike/propionsyreforholdet var generelt højt, men i overensstemmelse med det foran nævnte, var det højest for bygrationerne og lavest for snitfoderrationerne. For de 2 rene halmrationer var forholdet i hele observationsperioden højest for den neutraliserede ration.

Som kvælstofkilde anvendtes der urea, hvilket ofte medfører en kraftig stigning i ammoniakkoncentrationen i vommen hurtigt efter fodringen. Det målte NH_3 -indhold i vomvæsken er vist i figur 39.

Der er ikke nogen væsentlig forskel i kurveforløbet af NH_3 -koncentrationen for de forskellige rationer. NH_3 -koncentrationen steg inden for den første time til 30–40 mg/100 ml og aftog derefter jævnt til 5–8 mg/100 ml. Det laveste niveau



Figur 39. Ammoniakkoncentrationen i vomvæsken.
 Figure 39. Concentration of ammonia in rumen liquid.

og hurtigste fald forekommer ved den unneutraliserede ration med ren halm, hvilket må forklares ved det høje pH i vommen. Koncentrationskurvernes »usikre« og svingende forløb $\frac{1}{2}$ – $1\frac{1}{2}$ time efter fodringen med snitfoderrationerne hænger sammen med den kraftige mikrobielle aktivitet på dette tidspunkt. Ved bygrationerne var der fra $\frac{1}{2}$ time efter fodringen, hvor toppunktet blev nået, et meget jævnt fald i NH_3 -koncentrationen, svarende til stivelsesforgæringens senere og roligere forløb.

Middeltal samt laveste og højeste værdi for mælkesyrekoncentrationen fremgår af tabel 31.

Ved de rene halmrationer var der ikke nogen væsentlig mælkesyredannelse. Størst har produktionen været ved den unneutraliserede snitfoderration, og de højeste værdier målt $\frac{1}{2}$ – 1 time efter fodringen. Koncentrationen ved den neutraliserede bygration var høj, men den individuelle variation var meget stor (CV ca. 150%).

Tabel 31. Koncentrationen af mælkesyre i vomvæsken
 Table 31. Concentration of lactic acid in rumen liquid

Ration Ration	Mælkesyre Lactic acid mmol/l
1a	0.4 (0.2– 0.9)
1b	0.3 (0.2– 0.5)
2a	7.0 (0.9–15.2)
2b	2.1 (0.6– 6.2)
3a	1.3 (0.3– 4.1)
3b	5.8 (2.1–12.9)

Syre-base udskillelse og mineralstofbalance

Fodring med tørludet halm medfører, at køerne med foderet vil optage en vis mængde natriumhydroxyd. Det er derfor af betydning at vide, hvilken indflydelse en sådan basebelastning har på dyrenes syre-base ligevægt og mineralstofbalance.

Opretholdelse af et konstant pH i vævsvæsken er af afgørende, vital betydning for enhver levende organisme. Neutralitetsreguleringen sker ved hjælp af nyrenes og lungernes funktion, idet der gennem nyrene kan udskilles overskydende mængder af både syrer og baser og gennem lungerne udskilles syre (CO_2). Nyrene er dog i denne forbindelse det vigtigste organ. Midlertidig syre-basebelastning af organismen vil blive absorberet i blodets stødpudesyntemer, hvoraf kulsyre-bikarbonat-systemet er det i kvantativ henseende vigtigste, samt ved organismens evne til hurtigt at ændre blodets indhold af enten kulsyre eller bikarbonat, så det faste forhold, ca. 1:20, opretholdes, hvorved blodets pH holdes konstant. Dette må imidlertid betragtes som en midlertidig foranstaltning, kompenseret acidose eller alkalose ved henholdsvis overskud af syre eller base, og betragtet over et længere tidsrum kan det generelt siges, at der fra organismen skal udskilles samme mængde syre/base ækvivalenter, som der er optaget og produceret i organismen (dog med undtagelse af de mængder, der aflejres i eller frigives fra knoglevævet).

I denne undersøgelse blev der foretaget målinger af baseudskillelsen i urinen og af blodets bikarbonatindhold. Syre/base balancen hænger nøje sammen med organismens elektrolyt- og væskebalance og anvendelse af tørludet halm medfører, at dyrene, uanset om hydroxydresten neutraliseres med syre, optager meget store natriummængder. Denne natrium skal også udskilles med urinen. Der blev derfor også foretaget bestemmelse af balancen for de vigtigste mineralstoffer.

Baseudskillelse

Koncentrationen af syre/base ækvivalenter samt pH i urinen er vist i tabel 32. Det fremgår heraf, at koncentrationen af base er næsten ens for rationerne med unneutraliseret halm, uanset halmmængden. Ved de neutraliserede rationer er basekoncentrationen ved rationerne 1a og 3a af samme størrelsesorden, mens den ved 2a er næsten dobbelt så stor. Urinen er ved alle rationer basisk, og der er ingen væsentlig forskel på pH. Syre-base målingerne er foretaget på urinprøver, udtaget med 2-4 timers mellemrum over 2 døgn i tredje og fjerde periode. Vurderet på denne baggrund er der en forholdsvis lille spredning. D.v.s., at køerne næsten udelukkende regulerer syre-base udskillelsen ved at ændre diuresen.

Urinudskillelsen samt den udskilte mængde af base fremgår af tabel 33. Den gennemsnitlige, daglige urinmængde er størst for de to rene halmrationer, men sættes urinmængden i forhold til optaget fodertørstof, er der ingen forskel

Tabel 32. Koncentration af totalbase, ammoniak, nettobase og pH i urin
Table 32. Concentration of total base, ammonia, net base and pH in the urine

Ration <i>Ration</i>	Antal obs. <i>No. of obs.</i>	Totalbase <i>Total base</i>	NH ₃ <i>NH₃</i>	Nettobase <i>Net base</i>	pH
			mækv/l ($\bar{x} \pm s_x$) meqv/l ($\bar{x} \pm s_x$)		
1a	26	281±18	3±1	278±18	8,4
1b	41	81±17	5±5	76±19	8,0
2a	36	269±46	6±6	263±42	8,2
2b	42	148±41	7±5	141±44	8,1
3a	35	256±80	4±2	251±80	8,3
3b	38	70±41	7±10	63±37	7,9

mellem disse rationer og rationerne med snitfoder. Grunden hertil er snitfoder-rationernes højere indhold af kalium og – til dels – magnesium. Udtrykt i ækvivalenter har kørerne af de tre mineraler, natrium, kalium og magnesium, i gennemsnit ved de 3 rationer optaget henholdsvis 12,6, 10,3 og 5,8 g ækv./dag (jvf. tabel 34), og i urinen er der udskilt henholdsvis 9,0, 7,0 og 3,8 g ækv./dag. Sættes diuresen for rationerne med ren halm til ca. 25 l, skulle den i forhold til den angivne elektrolytoptagelse og -udskillelse for rationerne med snitfoder og byg være henholdsvis 19–20 og 11–12 l/dag, hvilket stemmer ret godt overens med resultaterne i tabel 33. Der er ingen forskel i urinmængden mellem uneutraliseret og neutraliseret foder, hvilket viser, at det ved de anvendte rationer er elektrolytkoncentrationen (saltmængden), der er bestemmende for diuresens omfang.

Udskillelse af nettobase er naturligt størst ved ration 1a, som indeholder mest base. Ved rationerne 2a og 2b er der udskilt mere base, end der var tilsat foderet

Tabel 33. Daglig urinmængde samt udskillelse af base
Table 33. Daily amount of urine and base excretion

Ration <i>Ration</i>	Urin <i>Urine</i>		Nettobase <i>Net base</i>	
	kg/dag <i>kg/day</i>	kg/kg fodertørstof <i>kg/kg feed DM</i>	mækv/dag <i>meqv/day</i>	mækv/kg fodertørstof <i>meqv/kg feed DM</i>
1a	23,5±4,1	2,8±0,5	6530	778
1b	26,4±6,0	3,1±0,7	2010	236
2a	18,7±4,0	2,7±0,6	4920	710
2b	18,8±3,9	2,6±0,5	2650	367
3a	11,5±3,4	1,8±0,5	2890	452
3b	14,5±3,5	2,3±0,7	900	145

i form af natriumhydroxyd, hvilket atter må forklares ved disse rationers relativt høje indhold af kalium og magnesium, og udskillelse af disse elektrolyter har trukket bikarbonationer med i urinen. De udskilte basemængder ved rationerne 1a og 2a udgør henholdsvis ca. 65 og 72% af den tilsatte natriumhydroxymængde.

Mineralstofbalance

Køernes mineralstofbalance er vist i tabel 34, hvor der for de respektive mineraler (Ca, Mg, Na, K og P) er anført optagne mængder (fra foder og drikkevand) samt udskilte mængder i gødning og urin. Herudfra er den tilsyneladende fordøjelighed samt retentionen beregnet. Fordøjeligheden er sat i anførselstegn, da der finder en ret stor udveksling sted mellem mave-tarmindholdet og den ekstracellulære væske, men koefficienten er et udtryk for, hvor meget der nettoabsorberes i forhold til den optagne mængde. Retentionen skulle, da køerne er udvoksede, teoretisk være 0 (behovet dækket) eller negativ (behovet ikke dækket). En større nettoaflejring kan ikke forekomme over en længere periode. For de fleste mineralstoffers vedkommende er dette også tilfældet; kun ved natrium er retentionen for stor, men som den store middelfejl antyder, er der sandsynligvis tale om analyseunøjagtighed. Specielt kan det være vanskeligt at få korrekt måling af indholdet i urin på grund af udfældninger.

De fortærede Ca-mængder ligger betydeligt over normen for vedligeholdelsesbehovet (ca. 20 g/dag), og det samme er tilfældet med Mg ved rationerne 3a og 3b. Køerne har i disse tilfælde udskilt langt den overvejende del med gødningen; fordøjeligheden for Ca er kun 10–16%. Na og K resorberes netto med henholdsvis ca. 80 og 90% af den optagne mængde, og selv ved de meget store Na-mængder (1a og 1b) sker der ingen relativ forøgelse af Na-udskillelsen med gødningen.

Der er udført statistisk analyse for samtlige fordøjelses- og balancetal, men i intet tilfælde var der signifikant udslag for neutralisationen, hvilket vil sige, at der i dette forsøg ikke er bevis for, at hydroxydresten har nogen negativ indflydelse på mineralstofbalancen.

Blodundersøgelser

Koncentrationen af elektrolyter, Na, K, Ca og Mg, i blodplasma henholdsvis før fodring og 2 timer efter fodring er angivet i tabel 35. Tallene er gennemsnit af kun 2 observationer, og der er derfor ikke udført statistisk analyse.

Det fremgår af tabellen, at der 2 timer efter fodringen var en vis, men ikke særlig stor, stigning i Na-koncentrationen. Normalniveauet er 140–150 mækv/l.

K-værdierne lå alle inden for det normale (3,5–5,0), og der var ingen fast tendens i tallene. For Ca og Mg, som i forbindelse med disse rationer har særlig interesse, gælder, at koncentrationerne faldt efter foderoptagelsen. Mg-tallene

Tabel 34. Køernes mineralstofbalance i g/dag
Table 34. Mineral balance of the cows in g per day

	Ration (Ration)					
	1a	1b	2a	2b	3a	3b
Ca:						
Optaget*) (Intake)	65,5	63,8	45,1	47,5	48,6	44,2
I gødning (In faeces)	54,9	53,7	42,4	40,7	42,4	40,7
»Fordøjet«, (Digested)	10,6	10,1	2,7	6,8	6,2	3,5
»Fordøjet«, %**) (Digested)	16±2,0	16±2,2	7±5,9	15±1,5	13±3,2	9±2,3
I urin (In urine)	0,3	0,6	0,2	1,0	0,2	0,8
Retention**) (Retention)	10,3±1,9	9,5±2,2	2,5±3,0	5,8±1,3	6,0±1,9	2,7±1,0
Mg:						
Optaget (Intake)	9,7	9,7	22,8	23,5	9,1	7,4
I gødning (In faeces)	3,9	3,7	15,1	13,5	3,5	3,4
»Fordøjet« (Digested)	5,8	6,0	7,7	10,0	5,6	4,0
»Fordøjet«, % (Digested)	60±5,6	62±5,0	34±1,6	42±3,4	62±5,1	54±3,2
I urin (In urine)	1,6	1,6	3,5	4,1	1,9	1,8
Retention (Retention)	4,2±0,5	4,4±0,3	4,3±0,5	5,9±1,0	3,7±0,5	2,2±0,5

Na:

Optaget (<i>Intake</i>)	233,1	233,6	134,9	144,9	99,0	91,5
I gødning (<i>In faeces</i>)	40,2	39,9	21,2	19,8	24,5	18,9
»Fordøjet« (<i>Digested</i>)	192,9	193,7	113,7	125,1	74,5	72,6
»Fordøjet«, % (<i>Digested</i>)	82±0,7	82±1,1	84±3,0	86±2,0	75±2,8	79±2,7
I urin (<i>In urine</i>)	160,9	175,0	104,9	113,9	61,0	64,7
Retention (<i>Retention</i>)	32,0±9,1	18,7±11,9	8,8±8,9	11,2±9,0	13,5±5,2	7,9±7,3

K:

Optaget (<i>Intake</i>)	69,9	75,4	94,3	97,1	42,1	40,8
I gødning (<i>In faeces</i>)	6,2	5,5	9,5	8,3	5,0	4,3
»Fordøjet« (<i>Digested</i>)	63,7	69,9	84,8	88,8	37,1	36,5
»Fordøjet«, % (<i>Digested</i>)	91±0,9	92±0,6	89±1,2	91±1,0	87±2,4	89±2,5
I urin (<i>In urine</i>)	63,6	61,0	75,1	81,4	34,3	36,4
Retention (<i>Retention</i>)	0,1±4,2	8,9±5,2	9,7±1,2	7,4±1,4	2,8±2,7	0,1±1,1

P:

Optaget (<i>Intake</i>)	37,2	38,0	36,8	40,2	40,2	39,0
I gødning (<i>In faeces</i>)	31,0	29,6	27,8	29,7	30,7	31,0
»Fordøjet« (<i>Digested</i>)	6,2	8,4	9,0	10,5	9,5	8,0
»Fordøjet«, % (<i>Digested</i>)	16±8,4	22±8,1	24±7,7	26±2,4	23±7,0	20±9,4
I urin (<i>In urine</i>)	6,5	5,8	6,4	6,3	3,4	6,2
Retention (<i>Retention</i>)	÷0,3±1,4	2,6±0,8	2,6±0,9	4,2±1,2	6,1±2,7	1,8±0,4

*) Optaget = optaget i foder + drikkevand – (*Intake = Mineral in feed + in drinking water*)

**) Middel ± middelfejl ($\bar{x} \pm \text{S.E.}$) • (*Mean ± standard error*)

lå dog alle inden for det normale (1–3), men for Ca's vedkommende var værdierne 2 timer efter fodringen gennemgående lidt for lave (normalværdi 4,5–5,5). Til trods for at der var rigelig Ca-forsyning i foderet (tabel 34).

Mere omfattende undersøgelser over blodets syre-base status blev ikke foretaget i dette forsøg på grund af vanskeligheder med blodprøveudtagningen. Kun blodets standardbikarbonatindhold blev bestemt, og resultaterne er vist i tabel 36.

Tabel 35. Koncentrationen af natrium, kalium, calcium og magnesium i blodplasmaet
Table 35. Concentration of sodium, potassium, calcium and magnesium in blood plasma

Ration	Na		K		Ca		Mg	
	1*)	2*)	1	2	1	2	1	2
	mækv/l meqv/l							
1a	146	159	4,0	4,3	5,0	4,4	1,6	1,4
1b	132	133	4,2	3,8	5,0	4,5	1,4	1,4
2a	144	146	4,7	4,5	4,9	4,5	1,9	1,8
2b	134	144	3,9	4,4	4,7	4,4	1,7	1,7
3a	136	133	4,2	3,7	4,7	4,3	1,7	1,5
3b	141	—	4,6	4,6	4,6	3,2	1,6	0,9

*) 1: Blodprøve udtaget før fodring.

Blood sample taken before feeding.

2: Blodprøve udtaget ca. 2 timer efter fodring.

Blood sample taken approx. 2 hours after feeding.

Standardbikarbonatindholdet i blodet steg, når køerne fik baseholdigt foder. En forøgelse af standardbikarbonatindholdet til 29–30 mækv/l er dog ikke alvorlig. Der er en tydelig og signifikant forskel mellem de unneutraliserede og neutraliserede rationer, hvilket er udtryk for, at neutralisationen har hindret en alkalotisk tilstand. De forskellige blandinger har haft en signifikant forskellig virkning på blodets standardbikarbonatindhold, hvilket skyldes det forskellige indhold af halm i rationerne. Som det var tilfældet med baseudskillelsen, skulle der ikke forventes nogen forskel mellem rationerne med henholdsvis snitfoder og byg. Forklaringen på den fundne forskel må søges i snitfoderets høje indhold af K og Mg, og når rationen påvirker både baseudskillelsen i urinen (tabel 33) og standardbikarbonatindholdet i blodet, er de to kationer ikke ledsaget af »neutrale« anioner, som f.eks. Cl^- , men af en anion med basekarakter, sandsynligvis CO_3^{--} .

Tabel 36. Standardbikarbonatindholdet i blod udtaget 2 timer efter fodringen
Table 36. Concentration of standard bicarbonate in blood sampled 2 hours after feeding

Ration <i>Ration</i>	Standardbikarbonat, mækv/l <i>Standard bicarbonate, meqv/l</i>	
	$\bar{x}$	S.E.
1a	29,2	0,95
1b	26,0	0,21
2a	26,8	1,11
2b	24,7	1,26
3a	25,4	0,95
3b	23,9	1,30

d. Diskussion

Vommiljø

Problemet inden for kvægfodring med hensyn til fodringsmæssig sikring af optimalt vom-pH (ca. 6 til ca. 7) er normalt at forhindre dannelse af et for surt miljø. Ved fodring med ludbehandlet halm, kan det i modsætning hertil tænkes, at pH bliver for højt. Samtidig foreligger dog også den mulighed, at anvendelse af en sådan halm sammen med store mængder letforgærbart kulhydrat som ved store sukkerroe- eller kraftfodermængder kan modvirke de uheldige, kraftige pH-fald.

Ensidig fodring med unneutraliseret, ludbehandlet halm bevirker – som ventet – en betydelig stigning i pH, uden at der dog er tale om helt ekstreme værdier. Dog bør det anføres, at de angivne pH-værdier er målt i en blandet vomprøve, idet det tilstræbtes at tage omtrent lige meget væske fra 3 forskellige lag. Enkelte prøver udtaget i det øverset lag havde umiddelbart efter fodring pH-værdier på over 8. Resultaterne tyder på, at ædelysten påvirkes negativt: Køerne holder efter kort tids forløb op med at æde, og foderoptagelsen genoptages først, når opblanding af nyt foder og yderligere syreproduktion har sænket det gennemsnitlige pH til ca. 7. Med hensyn til den mikrobielle aktivitet giver resultaterne kun en antydning af en vis hæmning (lavere FFS-koncentration), mens fordøjelighedskoefficienterne, som anført i afsnit II.B.3, tydeligt viser, at halmen udnyttes bedre, når den er neutraliseret med syre. Den neutraliserede halm medfører et meget konstant pH på et niveau, der er ideelt for mikrobiel aktivitet. Et tilsvarende niveau blev også opretholdt ved rationen med snitfoder og unneutraliseret halm. Snitfoder (melasse) vil normalt medføre et kraftigt fald i pH på grund af den kraftige forgæring af sukkeret. Også i dette forsøg finder en sådan kraftig forgæring sted (figur 36), men hydroxydresten i unneutraliseret halm neutraliserer syren, så pH-faldet modvirkes. Den neutraliserede halm har imidlertid nogenlunde samme modererende effekt. pH er lidt lavere (6,4 mod 6,7) end med unneutraliseret halm, men et drastisk fald indtræf-

fer ikke. Forklaringen herpå er dels, at halm generelt virker modererende på vommens pH, blandt andet ved at øge spytsekretionen, og dels at ludbehandlet halm besidder en slags længevirkende stødpudeeffekt. Laboratorieundersøgelser med syretitrering af ludet halm viste, at selvom halmen hurtigt titreres ned til pH = 7,0, vil pH atter gradvis stige, og det varede ca. 1 døgn, før konstant pH kunne fastholdes. Den generelle, gunstige virkning af halm på pH i vommen er almindelig kendt. Et forsøg af Hahn et al. (1970) illustrerer forholdet, idet der blev observeret en stigning i vomvæskens pH fra 5,5 til 6,7, når halmandelen af foderet blev forøget fra 5 til 50%.

Vommens pH, såvel som arten og mængden af letforgærbart kulhydrat, påvirker FFS-produktionen og forholdet mellem de enkelte fedtsyrer. Hungate (1966) anfører, at mikrobiel omsætning af cellulose *in vitro* resulterer i dannelse af relativt meget propionsyre, men *in vivo* øger store grovfodermængder eddikesyreandelen. En sådan virkning af halm er fundet af flere forskere (Chappel og Fontenot, 1968; Jahn et al., 1970). Resultaterne i dette forsøg er i overensstemmelse hermed, idet de rene halmrationer medførte en meget høj eddikesyreandel af totalmængden af FFS. Når halmmængden blev nedsat til 50% af totalrationen, skete der et fald i eddikesyreandelen, og faldet var størst i forbindelse med snitfoder. Dog opretholdtes der med denne halmmængde stadig en rimelig stor eddikesyremængde, idet faldet ved anvendelse af store mængder letforgærbart kulhydrat kan være betydeligt større (Chappell og Fontenot, 1968; Møller, 1968; Jahn et al., 1970; Swan og Karalazos, 1975). Eddikesyre/propionsyre-forholdet falder også ved ensidig kraftfodertildeling, hvilket hos malkekøer kan have en uheldig indflydelse på mælkefedtproduktionen. I dette forsøg er der i alle tilfælde et i fysiologisk henseende tilfredsstillende forhold mellem de to syrer. Betydningen af vommens pH for forholdet mellem de enkelte syrer er belyst i et forsøg af Esdale og Satter (1972). Ved aftagende pH fra 7,0 til 5,5 skete der et fald i eddikesyremængden, men inden for området 6,2 til 6,8 kunne der ikke påvises nogen effekt af pH. I nærværende forsøg har halmen i rationerne bevirket, at pH holdt sig i dette område. Møller (1968) fandt ved fodring med en sukkerroe/kraftfoder ration et stærkt fald i vommens pH, et lavt eddikesyre/propionsyre-forhold og deraf følgende lav fedtprocent i mælken. En neutraliserende virkning af et tilskud af NaHCO_3 eller urea hævede eddikesyre-propionssyreforholdet og mælkens fedtprocent. Den behandlede halm, og især den unneutraliserede halm, har haft en tilsvarende virkning i dette forsøg. Bolduan et al. (1971) fandt i et forsøg med halm tilsat enten sukker, snitfoder, sukkerroe eller byg et vomforgærmønster, der nøje stemmer overens med de her fundne resultater. Den relative eddikesyremængde var med sukker og snitstoffer ca. 65 og med byg ca. 72 mol.%, der var ingen forskel i propionsyremængden, mens smørsyremængden var størst sammen med snitfoder, ca. 15%. Eddikesyre-propionsyreforholdet var lavest ved snitfoderrationen, ca. 2,3, og højest ved bygrationen, 3,9–4,5. Samme forskel er her fundet

mellem rationerne med snitfoder og byg. I et forsøg til sammenligning af ubehandlet og eddikesyreneutraliseret ludbehandlet halm fandt Bolduan et al. (1974) en forøgelse i koncentrationen af total FFS ved anvendelse af behandlet halm, men de fandt ingen forskel på den relative mængde eddikesyre, 74–75%. Derimod fandt de et mindre fald i propionsyreandelen, når der sammen med behandlet halm anvendtes urinstof. Sammen med halmen anvendtes byg, og resultaterne, 15–16% propionsyre, svarer til det, der er fundet i dette forsøg med bygrationerne.

Syre-base udskillelse og mineralstofbalance

Undersøgelser over en basebelastnings betydning for drøvtyggere kompliceres i nogen grad af vommens specielle funktion og af de processer, der her foregår, før der sker nogen absorption, og desuden vil der i den relativt store vommasse ske en fortynding af den tilførte base. En basebelastning vil således ikke have samme akutte og alvorlige følger hos drøvtyggere som den sandsynligvis ville have hos enmavede dyr. Siggård-Andersen (1974) angiver som maksimal belastning for enmavede dyr 10 mækv/kg/dag; ved fodring med 10 kg halm behandlet med 5–6% NaOH optager køerne 12–15 ækv., hvilket for en ko på 600 kg svarer til 20–25 mækv/kg/dag.

Fortynding og neutralisation i vommen og derved uskadeliggørelse af hydroxydet er naturligvis af hensyn til vommediet og de mikrobielle processer særdeles vigtig, men for koens endelige syre/base status er det at betragte som en midlertidig foranstaltning. Neutralisation med kuldioxid vil øge koncentrationen af bikarbonat, som derefter vil absorberes til blodet. Neutralisation med de flygtige fedtsyrer resulterer principielt i det samme forhold, idet overførsel af den negative ion til bikarbonat vil finde sted enten direkte i forbindelse med absorptionen af pågældende fedtsyre, eller når syren indgår i det intermediære stofskifte. Basemængden vil således under alle omstændigheder overføres som bikarbonat i blodet, hvorfra den herefter udskilles gennem nyrerne med urinen.

På denne baggrund er det herefter klart, at hvis man ønsker at modvirke faren for alkalose (baseforgiftning) ved at neutralisere halmen før fodringen, kan dette kun gøres ved at anvende en stærk, uorganisk syre til neutralisation. Neutralisation med organiske syrer som eddike- og propionsyre, eller som de findes i ensilage, modvirker ikke en intermediær basebelastning, idet disse syrer vil omsættes i det intermediære energistofskifte, og derved overføres den negative ion stadig til bikarbonat i blodet. Tilsvarende vil gælde ved neutralisation med CO₂, f.eks. fra forbrændingsgas. Denne overvejelse må ikke forveksles med neutralisationens betydning for vomprocesserne og dermed for udnyttelsen af foderet. I den henseende er neutralisation med organiske syrer lige så effektiv som med uorganiske syrer.

Baseudskillelse i urinen

Baseudskillelsen med urinen, som den fremgår af tabellerne 32 og 33, viser meget tydeligt forskellen mellem de basiske foderrationer og de neutraliserede rationer. Alle rationer bevirker udskillelse af en basisk urin, hvilket tyder på, at de neutraliserede rationer stadig har baseoverskud. Dog må det tages i betragtning, at et indhold af karbonater og fosfater i mineralstofblandingen også vil medvirke til et baseoverskud i foderet. Baseoverskuddet i urinen viste sig at være næsten ens ved de 3 basiske rationer, og endvidere viste det sig, at basekoncentrationen i urinen var meget konstant døgnet rundt, hvilket fremgår af den relativt ringe spredning på enkeltobservationerne. Størst er spredningen ved den unneutraliserede bygration, og det skyldes, at en enkelt ko havde en nettobasekoncentration på godt 200 mækv/l. Ellers tyder resultaterne på, at 250–300 mækv/l er den maksimale koncentration. Udskillelsen reguleres således næsten udelukkende ved variation af urinmængden. I forbindelse med prøveudtagningen blev urinmængden også målt med 2–4 timers mellemrum.

Diuresen varierede fra 0 til godt 3 liter pr. time. Det blev endvidere observeret, at diuresens omfang ikke varierede i et bestemt forhold til fodringstidspunkterne.

Ammoniakkoncentrationen i urinen er ved alle rationer meget lav, hvilket hænger sammen med urinens basiske reaktion. Ammoniakudskillelse i urinen er nøje forbundet med neutralitetsreguleringen, og NH_3 tjener ved ekskretionen i nyrerne som receptor for brintionen. Der er derfor en nøje sammenhæng mellem urinens brintionkoncentration (pH) og ammoniakkoncentrationen. Ved et pH på mellem 8 og 9 nærmer NH_3 -udskillelsen sig til 0 (Hills, 1973).

Den høje baseudskillelse i forbindelse med snitfoderrationer skyldes som tidligere omtalt, at snitfoderet har et stort indhold af kalium og magnesium i forbindelse med en syrerest med basekarakter, sandsynligvis karbonat. Forskellen i baseudskillelsen pr. kg fodertørstof mellem 2a og 2b samt 3a og 3b er imidlertid næsten ens, henholdsvis 343 og 307 mækv. Denne forskel er udtryk for neutralisationen af halmen med saltsyre. Mellem 1a og 1b er forskellen 542 mækv, hvilket er lidt for lavt i forhold til forskellen ved de andre rationer, idet den skulle have været næsten dobbelt så stor (ca. 600).

Blodets standardbikarbonatindhold

Blodets indhold af standardbikarbonat (tabel 36) er ikke foruroligende højt, men der er dog en klar forskel mellem de unneutraliserede og neutraliserede rationer. Det må antages, at køerne på den unneutraliserede ration med ren halm står med en konstant, kompenseret alkalose, men en nøjere bestemmelse af graden af alkalosen kræver mere indgående undersøgelser af blodets syre-base status end de her foretagne.

I en østtysk undersøgelse over mineralstof- og syre-base balancen (Voigt og Piatkowski, 1974) ved fodring med henholdsvis ubehandlet og ludbehandlet

halm fandt man tilsvarende, at kørerne ved ludet halm fik en svag alkalose (standardbikarbonatindhold 31,8 mækv/l mod 28,7 ved ubehandlet halm). Undersøgelsen bekræfter desuden det ovenfor nævnte, at neutralisation med en svag syre ikke forhindrer en alkalose, idet den behandlede halm var neutraliseret med eddikesyre.

Mineralstofbalancen

Resultaterne vedrørende mineralstofbalancen (tabel 34) tyder ikke på, at denne påvirkes alvorligt af hydroxydindholdet i halmen. Dog bør det erindres, at der kun er tale om vedligeholdelsesfodring, og det er muligt, at der ved vækst eller mælkeproduktion kunne opstå mangel på Ca og/eller Mg. I den østtyske undersøgelse (også vedligehold) var Ca og Mg balancen negativ. Koncentrationen af de to elektrolyter i blodplasma var dog normal.

Fodring med tørludet halm medfører, at dyrene optager meget store Na-mængder. Af tabel 34 fremgår det, at 75–80% af den optagne mængde udskilles gennem nyrene. Blodets Na-indhold afviger selv ved optagelse af de største mængder ikke væsentligt fra det normale, hvilket betyder, at nyrene er i stand til at udskille Na-overskuddet i tilstrækkeligt omfang.

Store Na-mængders (salt) fysiologiske betydning er undersøgt af adskillige forskere, men nogen fælles konklusion er det vanskeligt at finde. Egentlig saltforgiftning er det vanskeligt at fremkalde, hvis der er fri adgang til vand (Gyrd-Hansen, 1972), men hos drøvtyggere kan en stor saltkoncentration påvirke vomfunktionen. Bergen (1970 og 1972) fandt, at den mikrobielle aktivitet aftog, og foderoptagelsen faldt ved store saltmængder i foderet. Dog var der i nogle af disse undersøgelser tale om betydeligt større saltmængder end her. Voigt og Piatkowski (1974) fandt ikke nogen stigning i Na-indholdet i serum i forsøget med ludbehandlet halm, men største Na-mængde i foderet var kun 122 g/dag. Dette er i overensstemmelse med resultater af Pierce (1960), hvorimod Weeth og Haverland (1961) fandt en stigning i blodets Na og K indhold hos får, der fik 2% saltvand at drikke. Potter et al. (1972) fandt, at der ved 1,3% salt i drikkevandet skete en adaptation af både vommens mikroorganismer og nyrefunktionen. Ved længere tids saltbelastning fandtes der imidlertid begyndende tegn på vævsskader i nyrene.

Forestiller man sig, at hele den optagne Na-mængde i rationerne med rent halm fandtes som NaCl i de optagne vandmængder, ville dette svare til en saltkoncentration på ca. 1,0%. På baggrund af resultaterne fra de citerede undersøgelser skulle der således ikke være nogen fare for saltforgiftning ved anvendelse af tørludet halm. En absolut forudsætning er det naturligvis, at kørerne altid har fri adgang til drikkevand.

e. Konklusion

Resultaterne fra det gennemførte forsøg tyder på, at en neutralisation med syre af overskudsluden i tørludet halm kan have positiv indflydelse på både

optagelse og udnyttelse af halmen samt på køernes syre-base balance. Køernes ædelyst til halmen, når denne fodres alene, forbedres mærkbart ved neutralisation, og ved en sådan anvendelse af ludbehandlet halm må en neutralisation derfor anbefales. Når halmen kun udgør 50% af en foderblanding, er velsmagende foderemner som snitfoder og byg imidlertid i stand til at dække over ludsmagen. Fordøjeligheden og dermed sandsynligvis energiudnyttelsen forbedres ved neutralisation, både når halmen anvendes alene, og når den blandes med andre foderemner. Syreneutralisation kan måske også give mulighed for at anvende en kraftigere behandlingsteknik, hvilket vil medføre en endnu bedre udnyttelsesgrad af halmen og deraf følgende større økonomisk udbytte af den anvendte proces. Neutralisationen skal for at kunne modvirke en negativ indflydelse af luden på syre-base balancen foretages med en uorganisk syre.

De to kulhydrater, snitfoder og byg, som indeholder henholdsvis letopløseligt kulhydrat og stivelse, har i dette forsøg ikke påvirket fordøjeligheden af halmtørstoffet generelt. Dog er der i resultaterne en antydning af, at snitfoderet kan forbedre celluloseudnyttelsen. Omvendt tyder resultaterne på, at anvendelse af ludet halm kan have en gunstig indflydelse på vommiljøet, når den anvendes sammen med letforgærbart kulhydrat, idet der ikke indtraf noget væsentligt fald i vommens pH efter fodring med snitfoderrationer. Halmen hindrede også det fald i vomvæskens eddikesyre/propionsyreforhold, som ofte ledsager fodring med letforgærbare kulhydrater. Det er derfor muligt, at anvendelse af ludet halm vil være fordelagtig, når der fodres med store sukkerroemængder.

Hydroxydresten i halmen har i dette forsøg ikke haft nogen negativ virkning på mineralstofbalancen.

Fodring med rationer, der kun bestod af halm og byg, gav problemer med trommesyge.

2. Mikrobiologiske undersøgelser

a. Indledning

Med det formål at undersøge, om fodring med store mængder ludbehandlet halm påvirker antallet af bakterier i vommen, herunder specielt de cellulolytiske bakterier, blev der i forbindelse med de i foregående afsnit beskrevne fysiologiske undersøgelser foretaget bestemmelse af såvel det totale antal bakterier som antallet af cellulolytiske bakterier i udtagne prøver af vomindhold.

b. Materialer og metoder

Med hensyn til dyremateriale og foderets sammensætning henvises til foregående afsnit.

Udtagning af vomprøver blev foretaget 2–3 timer efter morgenfodring, og der blev udtaget en prøve fra hver ko. Alle prøver blev udtaget gennem vomfistel.

Med enkelte undtagelser er resultaterne i tabel 37 gennemsnit af prøveudtagninger fra fire køer.

Totaltællinger af bakterier blev udført på passende fortyndinger i et 0,02 mm Thoma tællekammer. Alle prøver blev behandlet som beskrevet af Hungate et al. (1971). Antallet af cellulolytiske bakterier blev bestemt ved hjælp af den af Mann (1968) beskrevne metode, men med den modifikation at cellobiose blev udeladt fra substratet.

Statistiske beregninger er foretaget ved hjælp af en to-faktoriel variansanalyse og ved hjælp af Student's test.

c. Resultater

Resultaterne af de udførte undersøgelser fremgår af tabel 37. Total tællinger af bakterier viste ingen signifikant forskel mellem de forskellige forsøgsled. Der var stor spredning på samtlige resultater, hvilket er normalt for de her anvendte metoder.

Antallet af cellulolytiske bakterier viste signifikant forskel ($P < 0,025$) mellem sidste forsøgsled (halm, neutraliseret + byg) og de to første forsøgsled (halm). Der var ligeledes signifikant forskel mellem halm, neutraliseret og halm neutraliseret + snitfoder ($P < 0,05$).

Tabel 37. Total antal bakterier og antal cellulolytiske bakterier i vommen hos køer fodret med ludbehandlet halm i forskellige foderkombinationer

Table 37. Total counts and counts of cellulolytic bacteria in rumen samples from cows fed different rations with sodium hydroxide-treated straw

	Total antal bakterier x 10^9 /ml vomvæske <i>Total count x 10^9/ml rumen fluid</i>	Antal cellulolytiske bakterier x 10^6 /ml vomvæske <i>Counts of cellulolytic bacteria x 10^6/ml rumen fluid</i>
Halm, unneutraliseret	8,3 ± 1,3*	1,8 ± 1,4
<i>Straw, unneutralized</i>		
Halm, neutraliseret	7,2 ± 0,6	2,9 ± 1,6
<i>Straw, neutralized</i>		
Halm, neut. + snitfoder	10,0 ± 2,3	10,0 ± 8,8
<i>Straw, unneutr. + dried beet pulp</i>		
Halm, neut. + snitfoder	11,0 ± 5,3	18,3 ± 13,5
<i>Straw, neut. + dried beet pulp</i>		
Halm, neut. + byg	** 14,7 ± 13,5	15,9 ± 16,8
<i>Straw, unneutr. + barley</i>		
Halm, neut. + byg	** 20,2 ± 20,3	** 29,3 ± 16,8
<i>Straw, neut. + barley</i>		

* Standard afvigelse (*standard deviation*).

** Gennemsnit af 3 køer (*Average of 3 cows*).

d. Diskussion

Det totale antal bakterier fundet ved direkte tællinger svarer til de værdier, der er fundet i vomindhold fra køer fodret med lignende fodermidler (Maki & Foster, 1975, Bryant & Burkey, 1953). Antallet af cellulolytiske bakterier fundet ved fodring med halm alene lå noget lavere end i de øvrige forsøgsled, men dette må formentlig tilskrives forskellen i fodersammensætningen og ikke en speciel hæmmende effekt af det ludbehandlede halm. Alle resultater fundet ved tælling af de cellulolytiske bakterier lå på samme niveau, som normalt findes i vomindhold (f.eks. Hungate, 1957).

e. Konklusion

Hverken total antal bakterier eller antal cellulolytiske bakterier blev ifølge de foreliggende undersøgelser påvirket af fodring med ludbehandlet halm. De relativt lave tal, som blev fundet i de to første forsøgsled, må formodes at være forårsaget af den ekstreme fodring med halm som eneste energikilde. Ingen af de fundne værdier for antal cellulolytiske bakterier lå dog uden for det »normale« niveau. Med hensyn til effekt af neutralisering kunne resultaterne fra tælling af de cellulolytiske bakterier tyde på, at neutralisering har haft en positiv effekt på antallet. Der er imidlertid ikke signifikant forskel på værdierne, hvorfor disse forskelle må tages med et vist forbehold.

3. Fordøjelighedsforsøg med får og køer

a. Indledning

I den række undersøgelser, som er udført med ludbehandlet halm, indgår også flere fordøjelighedsforsøg med får og køer.

Forsøgsfodermidlerne har været rene halmcobs og cobs, hvor halmen er indgået i blanding med andre fodermidler.

Nogle resultater fra disse fordøjelighedsforsøg har været omtalt tidligere i beretningen (side 62). Formålet var at sætte fordøjeligheden af halmens organiske stof, fastlagt in vivo (får), i relation til de resultater, der opnås med 2 laboratoriemetoder. I den ene bestemmes in vitro fordøjeligt organisk stof og i den anden cellulase enzym opløseligt stof.

I tilknytning til de fysiologiske undersøgelser, der er omtalt i foregående afsnit, er der også udført fordøjelighedsforsøg med køer.

Alle resultaterne er samlet i dette afsnit med det formål at belyse nogle faktorer, der har betydning for fordøjeligheden af halmens næringsstoffer, når denne fodres som rene halmcobs. Desuden findes her resultaterne af bestemmelser af fordøjeligheden af forskellige foderblandinger, som indeholdt ubehandlet eller ludbehandlet halm, og som var fremstillet i en 2-trins proces. Disse blandinger har været anvendt i produktionsforsøg, som er omtalt i senere afsnit.

Resultaterne opdeles efter nedenstående oversigt:

1. Indflydelse på næringsstofferne fordøjelighed af:
 - a. Mængden af NaOH.
 - b. Neutralisation af ludbehandlet halm.
2. Fordøjeligheden af foderblandinger til malkekøer med varieret iblanding af halm, med eller uden ludtilsætning.
3. Fordøjeligheden af foderblandinger til ungtyre med varieret iblanding af halm, med eller uden ludtilsætning.

b. Materiale og metoder

En bestemmelse af de enkelte næringsstoffers fordøjelighed må udføres i in vivo forsøg med får eller køer, når fodermidlet først og fremmest skal benyttes til drøvtyggere.

Det er en almindelig antagelse, at der for de gængse fodermidler ingen sikker forskel er i foderets fordøjelighed fastlagt med får eller kvæg. Fårene anvendes derfor i større udstrækning end kvæg i fordøjelighedsforsøg, da det kræver mindre mængder foder til gennemførelse af forsøgene.

Fåreforsøgene med rene halmcobs er udført som differensforsøg, hvor de ud over halmen også er tildelt sojaskrå. Sammensætningen har været 800 g ludbehandlet halm + 270 g sojaskrå. Når det var ubehandlet halm reduceredes disse mængder til 600 g + 200 g pr. dag. Foderblandingerne er givet i en mængde på 1000 g pr. får pr. dag.

Forsøgene er udført med 2 ugers tilvænningsperiode og en 7 dages periode med total opsamling af gødning.

Beregningerne af fordøjelighedstal for ren halm er udført ved fradrag for sojaskrå baseret på værdier fra fodertabel (Andersen og Just, 1975).

Når halmen er indgået i cobs med flere andre fodermidler, er der ikke foretaget nogen speciel beregning af halmens fordøjelighed.

Fordøjelighedsforsøgene omfatter:

1. 3 forsøg med halmcobs tilsat stigende mængder af NaOH samt 1 forsøg med et halmparti tilsat 5,4% NaOH (får).
2. 1 forsøg med neutralisering af ludbehandlet halm med saltsyre (får).
3. 1 forsøg med neutralisation med saltsyre samt supplerings med forskellige kulhydrater (køer). (Sammensætning af rationer i tabel 26, side 109).
4. Forsøg med 7 foderblandinger anvendt i forsøg med malkekøer (får). (Sammensætning tabel 57, side 167).
5. Forsøg med 8 foderblandinger anvendt i forsøg med ungtyre (får). (Sammensætning tabel 74, side 191).

Tabel 38. Fordøjelighed af byghalm behandlet med stigende mængder NaOH

Table 38. Digestibility of barley straw treated with NaOH

Forsøg nr. Experiment No.	Antal får No. of sheep	% NaOH	Fordøjelighedskoefficienter (In vivo) Digestibility coefficients (In vivo)						In vitro
			råprot. crude prot.	råfedt crude fat	træstof crude fibre	N-frie extr. N-free ex.	organ. stof org. matter	energi energy	Ford. organ. stof Dig. org. M
1	1	0	21,7	49,0	54,1	44,7	48,2	51,5	40,8
2	2	0	19,0	(56,3)	(58,8)	(40,2)	(46,8)	(44,5)	45,3
1	2	2,0	—	49,1	58,0	49,2	51,4	49,4	51,8
2	2	2,2	—	—	67,8	52,1	55,7	—	55,8
2	2	2,7	—	57,3	69,3	61,7	61,0	55,9	59,3
1	2	3,0	—	52,8	67,9	56,7	59,6	56,4	59,6
3	2	3,0	—	41,9	62,1	54,8	55,4	51,0	56,0
3	2	4,0	—	54,3	72,2	64,1	65,1	59,6	65,0
1	2	4,0	—	38,6	71,8	58,5	62,3	59,5	66,4
2	2	4,2	—	56,6	74,3	63,9	66,2	60,1	66,3
M 35	3	5,4	—	—	76,0	62,8	65,6	—	—
2	2	5,7	—	55,4	76,0	67,7	68,7	64,4	70,5
1	2	5,9	—	33,9	70,4	69,1	66,7	64,2	74,0
3	2	6,0	—	53,1	73,3	63,8	65,3	59,2	71,0
2	2	7,0	—	59,7	72,7	62,4	63,4	57,5	70,3
Homb, 1948 (14 forsøg)				38,7	77,4	57,1	65,7	—	—

c. Resultater og diskussion

Mængde af lud tilsat halm

I det principielle oplæg til denne serie af forsøg med tørludning af halm er det naturligt at undersøge virkningen af en stigende tilsætning af NaOH på halmens fordøjelighed.

Resultaterne fra 3 fordøjelighedsforsøg samt forsøg med et parti halmcobs fra et forsøg med malkekøer (M 35) er samlet i dette afsnit til vurdering af natronludens virkning. De må vurderes ud fra, at der er benyttet den procesteknik, som er beskrevet tidligere i beretningen (se side 49), hvor der anvendes begrænsede væskemængder.

I tabel 38 er næringsstoffernes fordøjelighed beregnet på halm alene, ved fradrag for fordøjelighed af den sojaskrå, som indgik i rationerne til fårene. Resultaterne er opstillet efter stigende luddosering. Resultaterne for ubehandlet halm i forsøg 2 er sat i parentes, idet der var meget stor forskel på resultaterne for de to får.

Virkningen af den stigende ludtilsætning er størst på træstof og de N-frie ekstraktstoffer. I den rene halm er det svært at få en reel vurdering af virkningen på råprotein og råfedt. Indholdet af begge er relativt lavt i halmen. Det er derfor vanskeligt at bestemme fordøjeligheden af disse 2 næringsstoffer. For råprotein gælder specielt, at der vil blive trukket for meget fra ved brug af en normal fordøjelighedskoefficient for råprotein i sojaskrå. I de senere beregninger vil blive benyttet fordøjelighedskoefficienter for råprotein på 20 og for råfedt på 50 i halm uanset behandling.

Det kan konstateres, at forøgelsen i fordøjelighedskoefficienterne for træstof og N-frie ekstraktstoffer aftager med stigende NaOH-tilsætning. Det er kun en lille forøgelse, der er opnået ved en tilsætning på mere end 4–5% NaOH. Da de 2 næringsstoffer udgør hovedparten af det organiske stof i halm, gælder de samme relationer for fordøjeligheden af organisk stof og energi.

Sammenhængen mellem in vivo og in vitro fordøjelighed af organisk stof er diskuteret tidligere i beretningen (side 62). Det er konkluderet, at en in vivo fordøjelighed af organisk stof på 65–70% er nær ved den øverste grænse for, hvad der kan opnås for ludbehandlet halm, som ikke udvaskes.

Fordøjelighedskoefficienterne for ludbehandlet halm fra det første produktionsforsøg med malkekøer, M 35, er også medtaget i tabellen, og de passer godt ind i sammenstillingen. Endvidere ses resultaterne fra 14 norske forsøg med får (Homb, 1948), hvor ludbehandling af halm er udført efter vådludningsprincippet (se side 40). Tallene for de danske og de norske forsøg er ret nært sammenfaldende. Forskellen i fordøjeligheden af de kvælstoffrie ekstraktstoffer skyldes måske, at der efter vådludning i de norske forsøg foretages en vaskning af halmen. Der forsvinder på denne måde en del af de letopløselige stoffer i halmen.

Det er her vist, at der ved den anvendte teknik er en ikke-lineær sammenhæng mellem NaOH-tilsætning og in vivo fordøjelighed. Relationen mellem disse to parametre vil helt afhænge af, hvor effektiv en teknik der anvendes ved ludbehandling. Der vil af forskellige årsager kunne være store forskelle, og i praksis bør foderværdien af behandlet halm aldrig bedømmes ud fra NaOH-tilsætningen.

Neutralisation af ludbehandlet halm

Ved behandling af halm med en stærk base som natriumhydroxyd vil pH stige. Der kan ved processens afslutning registreres et pH i halm på mellem 9 og 11, afhængig af hvor stor mængde NaOH, der er tilsat halmen.

Et af hovedformålene med de fysiologiske undersøgelser, som er omtalt i det foregående afsnit, var netop at belyse, hvilken betydning en neutralisation vil have på halmens udnyttelse, når neutralisationen udføres med saltsyre efter ludningsprocessens afslutning.

Resultaterne fra dette forsøg angående bestemmelse af halmens fordøjelighed er medtaget i dette afsnit sammen med resultater fra et fåreforsøg med ludbehandlet halm, hvor en del af halmen også blev neutraliseret med saltsyre inden opfodring. Forsøgsfoderet fra fåreforsøget er endvidere benyttet til hold 1 og 2 i et foderoptagelsesforsøg med malkekøer (M 54), side 144. Halmen er i alle tilfælde behandlet med ca. 5% NaOH.

Indledningsvis skal nævnes, at denne neutralisering kan ske, mere eller mindre, når den ludbehandlede halm tildeles dyrene sammen med et surt foder, som til eksempel kan være ensilage. I en canadisk undersøgelse (Maeng et al., 1971) fandtes en højere fordøjelighed af en blanding af de 2 fodermidler ludbehandlet halm og ensilage. Resultaterne er refereret på side 45 foran i beretningen.

Forsøgene her er udført med en mere direkte neutralisering af de ludbehandlede halmcobs (opsplittet) ved en tilsætning af saltsyre. Denne stærke syre er tilsat i sådanne mængder, at pH i halmen har kunnet sænkes til mellem 6–8.

Resultaterne af disse forsøg er samlet i tabel 39. Det fremgår heraf, at der er opnået en højere fordøjelighed af neutraliseret end af ikke neutraliseret halm. Det fremgår bedst af tallene for ren halm og halm + urea. Forskellen på fordøjelighedskoefficienterne er for træstof 5–6, for N-frie ekstraktstoffer 3–4 og for organisk stof 4–5 enheder. Tilsvarende forskelle gælder for ren halm i de blandede rationer, når fordøjeligheden af halmdelen beregnes ved difference. En neutralisering med saltsyre kan således forbedre fordøjeligheden af ludbehandlet halm.

Ved in vitro metoden kan denne forskel mellem unneutraliseret halm og neutraliseret halm ikke konstateres, hvilket fremgår af kolonnen yderst til højre i tabellen.

Tabel 39. Neutralisering og fordøjelighed af ludbehandlet halm
Table 39. Neutralization and digestibility of NaOH-treated straw

Antal dyr <i>No. of animals</i>	% halm <i>% straw</i>	pH <i>pH</i>	Neutra- lisering*) <i>Neutra- lization</i>	Fordøjelighedskoefficienter, in vivo <i>Digestibility coefficients, in vivo</i>						In vitro
				energi cal. <i>energy cal.</i>	råprot. <i>crude prot.</i>	råfedt <i>crude fat</i>	træstof <i>crude fibre</i>	N-frie extr. <i>N-free ex.</i>	org. stof <i>O.M.</i>	Ford. org. stof <i>Dig. org. M.</i>
Forsøg med køer – <i>Exp. with cows</i>										
Halm + urea – <i>Straw + urea</i>										
4	96	10,5	a	50,0	56,5	26,2	60,3	50,0	55,6	65,3
4	96	7,3	b	54,2	57,5	25,5	65,9	54,1	59,6	65,7
Halm + snitfoder – <i>Straw + beet pulp + molasses</i>										
4	50	8,8	a	64,4	59,7	33,8	66,5	75,0	69,6	76,9
4	50	6,2	b	66,8	60,4	33,6	68,5	77,7	71,9	75,5
Halm + byg – <i>Straw + barley</i>										
4	50	10,0	a	65,4	68,0	37,6	59,6	76,2	69,5	76,0
3	50	6,7	b	66,7	68,9	46,3	62,8	76,9	71,3	75,2
Forsøg med får – <i>Exp. with sheep</i>										
Ren halm – <i>Pure straw</i>										
3	100	11,0	a	52,0	–	40,9	62,3	60,3	57,1	–
3	100	7,8	b	57,0	–	55,3	68,3	63,0	62,1	–
Halm + sojaskrå – <i>Straw + soyabean meal</i>										
3	75		a	60,9	71,2	40,5	63,0	66,7	65,5	–
3	75		b	66,0	75,2	50,4	68,6	69,0	69,4	–

*) a) ikke neutraliseret – a) unneutralized b) neutraliseret med HCl – b) neutralized with HCl.

Tabel 40. Fordøjelighedscoefficenter for halmrationernes cellevægsbestanddele
Table 40. Digestibility coefficients for cell wall constituents of straw rations

% Halm Straw	Ration	Hemicel- lulose	Cellu- lose	Lignin	NDF	ADF
96	1a	97	56	÷ 2	62	47
96	1b	97	67	1	68	57
50	2a	91	68	2	69	58
50	2b	92	70	0	70	60
50	3a	88	62	÷ 1	67	52
50	3b	90	64	1	69	54

Virkningen af en kemisk behandling af halm konstateres i særlig grad på cellevægsbestanddelene. I tabel 40 er informeret om virkningen af ludbehandling og neutralisation på de kemiske fraktioner af cellevæggene. Disse resultater stammer fra forsøget med køer.

Hemicellulosen blev fordøjet næsten fuldstændigt, og neutralisationen havde ingen indflydelse. Derimod var der signifikant forskel mellem blandingerne. For cellulose vedkommende var der signifikant udslag for neutralisationen og for vekselvirkning mellem neutralisation og blanding (størst effekt af neutralisation, når der ikke er tilblandet andre energikilder). Der var forskel på fordøjeligheden af cellulose i de forskellige blandinger. Fordøjeligheden var størst i blanding 2, med snitfoder. Ligninet var ufordøjeligt i alle rationer.

Foderblandinger til malkekøer

Den ludbehandlede halms foderværdi er i de første forsøg med malkekøer registreret til ca. 50 f.e. pr. 100 kg halm, når tilsætningen er 4–5% NaOH. Den må derfor stadig betragtes som et foderemne, hvortil det i de fleste tilfælde vil være nødvendigt at sætte andre emner med en højere energikoncentration. Det vil især være nødvendigt, når det er foderblandinger til malkekøer med en høj mælkeydelse.

Der kan blive tale om at tilsætte byg, melasse eller tørret sukkerroeaaffald, som er meget almindelige energikilder til kvæg. Desuden også oliekgager eller andre proteinkilder, da proteinindholdet er meget lavt.

I de fysiologiske undersøgelser med køer gennemførtes en sammenligning mellem tilsætning af vandopløselige kulhydrater i form af snitfoder eller stivelse i form af byg til kemisk behandlet halm.

Resultaterne af fordøjelighedsbestemmelserne er medtaget i 1. afsnit af tabel 41 sammen med resultater fra et forsøg med får, hvor lignende foderrationer var anvendt fra et produktionsforsøg med malkekøer, M 47.

Tabel 41. Fordøjelighed af foderblandinger med ludbehandlet halm
Table 41. Digestibility of mixtures with sodium hydroxide-treated straw

1. afsnit: Tilskud af melasse (2) eller byg (3) – *Supply of molasses (2) or barley (3)*

Forsøg <i>Experiment</i>	Blanding <i>Mix. No.</i>	Antal dyr <i>No. of animals</i>	% NaOH	Fordøjelighedskoefficienter, in vivo <i>Digestibility coefficients, in vivo</i>						In vitro F.K. <i>In vitro D.O.M.</i>	% halm i bland. <i>% straw in mix.</i>
				energi cal. <i>energy cal.</i>	råprot. <i>crude prot.</i>	råfedt <i>crude fat</i>	træstof <i>crude fibre</i>	N-fri extr. <i>N-free ex.</i>	org. stof <i>O.M.</i>		
Fy.U. (2)	2a+b	8	5,0	65,6	60,1	33,7	67,5	76,3	70,7	76,2	50
Fy.U. (3)	3a+b	7	5,0	66,1	68,4	42,0	61,2	76,5	70,4	75,6	50
M 47 (2)	4702	3	5,1	72,4	69,6	79,6	75,7	77,1	75,5	–	40
M 47 (3)	4701	3	5,1	67,6	63,4	79,4	65,1	74,9	70,8	–	40

Fy.U: Fysiologiske undersøgelser – goldkøer (side 108) – *Physiological experiments – dry cows (page 108)*

2. afsnit: Forsk. mængde halm i blandingerne – *Mixtures with different amounts of straw*

Forsøg M 46	4601	3	0,0	70,4	72,5	85,0	52,0	76,4	71,8	–	26*)
Forsøg M 46	4602	3	5,1	7,0	68,7	83,8	64,5	73,2	71,2	–	40
Forsøg M 63	6303	3	5,0	72,0	76,4	87,4	62,3	76,0	73,6	68,1	40
Forsøg M 63	6302	3	5,0	74,6	76,8	86,5	54,0	81,0	76,1	70,6	20
Forsøg M 63	6301	3	0,0	79,3	78,4	80,1	54,0	86,9	81,4	76,8	0

*) ubehandlet halm – *untreated straw.*

Der var kun ringe forskel på fordøjeligheden af NFE-fraktionen i de to foderblandinger med henholdsvis snitfoder/melasse og byg. Derimod var fordøjeligheden af træstoffet højere i blandingerne med snitfoder end i blandingerne med byg. En tilsvarende forskel gjorde sig gældende for celluloseens vedkommende, således som det fremgår af tabel 40. En del af denne forskel skyldes imidlertid, at træstoffractionen i sukkerroeffald har en meget høj fordøjelighed. Korrigeres der herfor, var der ingen sikker forskel på træstoffordøjeligheden i forsøget med køer, mens der i forsøget med får var en forskel på 5–6 %-enheder til fordel for blandingen med snitfoder + melasse.

Disse resultater viser således ikke entydigt, om de forskellige kulhydratkilder har forskellig indflydelse på halmens fordøjelighed. Bolduan et al. (1971) fandt ingen sikker forskel på fordøjeligheden af ubehandlet halm ved tilskud af sukker og byg. Tilskud af sukrose forøgede ikke fordøjeligheden af ubehandlet eller NaOH-behandlet halm i forsøg udført af Donefer et al. (1969).

Resultaterne af 2 fordøjelighedsforsøg med får, som fik foderblandinger, der blev anvendt i 2 produktionsforsøg med malkekøer, M 46 og M 63, er også vist i tabel 41.

I M 46 anvendtes 2 foderblandinger i form af cobs. I den ene blanding var der 26% ubehandlet halm og i den anden 40% ludbehandlet halm. I fordøjelighedsforsøget konstateredes samme fordøjelighed af det organiske stof i de to blandinger.

I forsøg M 63 blev mængden af ludbehandlet halm varieret i foderblandingerne, 0–20–40% halm. Halmen erstattede tilsvarende mængder af byg. Faldet i fordøjeligheden af det organiske stof var på 0,2%-enheder for hver % halm, der var iblandet som erstatning for byg, hvilket er i god overensstemmelse med forskellen på fordøjeligheden af byg og ludbehandlet halm.

Ved tildeling af de 3 foderblandinger til køerne i M 63 blev der taget hensyn til forskellene i blandingerne fordøjelighed, således at køerne skulle tildeles samme mængde af nettoenergi.

Foderblandinger til ungtyre

Der har også været interesse for at benytte foderblandinger med halm til ungtyre. Dette omfatter formålet ubehandlet halm, hvor der er udført en serie omfattende forsøg af Andersen et al. (1975). Forsøgene er nu suppleret med forsøg med snittet halm, dels ubehandlet og dels ludbehandlet. Varierende mængde halm har været benyttet i disse foderblandinger til ungtyre (side 190).

I forbindelse med et produktionsforsøg, K 45, med ungtyre benyttedes 8 forskellige foderblandinger. Der var 2 niveauer af halm og 2 niveauer af soja-skrå, og der benyttedes ubehandlet og ludbehandlet halm (5% NaOH).

Resultaterne i tabel 42 viser, at for blandinger med 20% halm var der ingen signifikant forskel i fordøjelhedskoefficienterne for blandinger med ubehandlet og ludbehandlet halm. Dette kom først til udtryk, når der blev blandet 40%

Tabel 42. Fordøjelighed af foderblandinger med halm til ungtyr
Table 42. Digestibility of feed mixtures with straw for beef production

Forsøg K 45 <i>Experiment K 45</i>	Antal får <i>No. of sheep</i>	% NaOH <i>% NaOH</i>	Fordøjelighedskoefficienter, in vivo <i>Digestibility coefficients, in vivo</i>						In vitro F.K. <i>In vitro D.O.M.</i>	% halm i bland. <i>% straw in mix.</i>
			energi cal. <i>energy cal.</i>	råprot. <i>crude prot.</i>	råfedt <i>crude fat</i>	træstof <i>crude fibre</i>	N-fri extr. <i>N-free ex.</i>	org. stof <i>O.M.</i>		
Blanding nr. 120-125 <i>Mixture No. 120-125</i>	8	0,0	75,8	73,4	67,6	54,3	85,3	78,8	78,4	20
Blanding nr. 220-225 <i>Mixture No. 220-225</i>	8	5,0	75,6	67,1	60,3	52,2	85,5	78,1	82,8	20
Blanding nr. 140-145 <i>Mixture No. 140-145</i>	8	0,0	66,7	68,8	57,1	53,5	77,9	71,0	70,6	40
Blanding nr. 240-245 <i>Mixture No. 240-245</i>	8	5,0	72,6	65,4	58,1	70,2	81,8	76,6	79,4	40
Blanding med 4% sojaskrå <i>Mixture with 4% soyabean meal</i>	16	(0+5)	72,0	64,5	60,7	57,7	88,8	75,8	77,5	20/40
do. 12%	16	(0+5)	73,3	72,8	60,8	57,4	82,3	76,4	78,1	20/40

halm i blandingerne. For blandinger med 40% ubehandlet halm var koefficienterne signifikant lavere ($P < 0,05$) end for blandinger med 40% ludbehandlet halm.

I forsøget var tilsat 2 forskellige mængder protein i form af 4 og 12% sojaskrå. I fordøjelighedsforsøgene kunne der kun konstateres nogen signifikant virkning heraf på fordøjeligheden af råproteinet. Den tilsyneladende fordøjelighed af protein vil dog altid være afhængig af proteinniveauet i foderrationen.

Relation mellem foderblandingers fordøjelighed og tilvæksten hos ungtyre

En vurdering af et fodermiddel kan i første omgang baseres på forsøg til bestemmelse af foderets fordøjelighed. Dette kan ske ved anvendelse af får for bestemmelse af in vivo fordøjeligheden af de enkelte næringsstoffer, eller in vitro metoden kan anvendes (Tilley og Terry, 1963).

I forsøg K 45 med ungtyre var der et materiale, der kunne give informationer om sammenhængen mellem dyrenes daglige tilvækst i 8 forsøgsgrupper og de fastlagte fordøjelighedstal for organisk stof. Det gælder både for in vivo (får) og for in vitro metoden (tabel 43).

Korrelationen mellem forsøgsblandingerne fordøjelighed, bestemt ved de 2 metoder og ungtyrenes tilvækst, er signifikant, både ved in vivo (får) metoden ($r = 0,91$) og in vitro metoden ($r = 0,71$). Hovedårsagen til den lavere korrelation med in vitro fordøjeligheden er, at den forventede forskel mellem blandinger med ubehandlet og ludbehandlet halm ved 20% halm er registreret ved in vitro metoden, mens behandlingen ikke har givet noget udslag hverken på fordøjeligheden in vivo eller på tilvæksten ved det lave halmniveau.

Tabel 43. Sammenhæng mellem daglig tilvækst og forsøgsblandingerne fordøjelighed
Table 43. Relationship between live-weight gain and digestibility of the experimental compounds

Blanding nr. <i>Mixture No.</i>	120	125	220	225	140	145	240	245
% halm	20	20	20	20	40	40	40	40
% straw								
% NaOH	0	0	5	5	0	0	5	5
% NaOH								
Dgl. tilvækst, g <i>Daily gain, g</i>	1416	1333	1340	1333	1189	1229	1273	1370
In vivo, % org. stof <i>In vivo, % D.O.M.</i>	78,9	78,7	77,8	78,5	71,6	70,6	75,4	77,9
In vitro, % org. stof <i>In vitro, % D.O.M.</i>	77,7	79,2	82,9	82,8	70,3	71,0	79,4	79,5

d. Konklusion

Der er gennemført en række fordøjelighedsforsøg med ludbehandlet halm med får og et forsøg med køer.

Ven anvendelse af NaOH i stigende mængder i en tørludningsproces til bygalm øges fordøjeligheden af halmens næringsstoffer. Det gælder især træstof og N-frie ekstraktstoffer. Derimod var det vanskeligt at konstatere sikre ændringer for råprotein og råfedt, da indholdet af disse er lavt i halm.

Den positive virkning af den stigende mængde NaOH på næringsstoffernes fordøjelighed er aftagende, og ved en tilsætning på mere end 4–5% NaOH er stigningen minimal i in vivo fordøjelighedsforsøg med får.

De halmcobs, der blev benyttet i fodringsforsøgene, blev tilsat ca. 5% NaOH pr. kg halm. En neutralisation med saltsyre efter tørludningsprocessen med NaOH medførte en forbedring af fordøjeligheden af det organiske stof i halmen.

I fodringsforsøgene er de ludbehandlede halmcobs opsplittet og blandet med energirige fodermidler. Et forbedret energiindhold og bedre smagsegenskaber har været nødvendige for en tilstrækkelig foderoptagelse.

Resultatet af fordøjelighedsforsøgene med foderblandinger til malkekøer og ungtyre er benyttet ved vurdering af blandingeres foderværdi i produktionsforsøgene. Resultaterne fra disse fremviser en god overensstemmelse. Således kunne der konstateres en signifikant korrelation mellem tilvæksten hos ungtyre og fordøjeligheden af de benyttede forsøgsblandinger i fedningsforsøg ($r = 0,91$).

4. Optagelsen af natriumhydroxybehandlet halm hos kvæg

a. Indledning

Køernes ædelyst til halm vil altid være stærkt afhængig af den foderration, som køerne får tildelt. Med en roeration på 3–3,5 f.e. kan køerne fortære 6–7 kg bygalm (Nielsen, 1961), og halmen vil der være et nødvendigt strukturfoder. Omvendt er det vanskeligt i en stor grovfoderration på 6–8 f.e. græsensilage at få plads til halm (Skovborg og Andersen, 1973). Køerne æder intet eller kun minimale mængder halm, når grovfodertildelingen er på 10 kg tørstof eller mere daglig.

En fysisk behandling af halmen i form af formalning eller pelletering kan forøge foderoptagelsen i nogen grad. Foderværdien af halm ændres derimod ikke ved en sådan behandling (Andersen, 1975).

Til malkekøer, og da især køer med en høj mælkeydelse, vil foderrationens energikoncentration således være af afgørende betydning for, hvor stor foderoptagelsen vil blive. I et foderoptagelsesforsøg (Skovborg og Andersen, 1976) åd køerne pr. 100 kg legemsvægt:

2,79 kg tørstof med 0,78 f.e. pr. kg. tørstof,

2,96 kg tørstof med 0,85 f.e. pr. kg tørstof,

3,18 kg tørstof med 0,92 f.e. pr. kg tørstof.

Foderremner med et lavt indhold af f.e. vil virke nedsættende på køernes ædelyst. En kemisk behandling af halm kan forøge halmens foderværdi og dermed forbedre foderoptagelsen. For at få et kendskab til de faktorer, som har betydning for køernes ædelyst til dette foder, er foderoptagelsen registreret i forsøg med ludbehandlet halm til malkekøer.

b. Materiale

I denne sammenfatning over køernes foderoptagelse af ludet halm er medtaget resultater fra de forsøg, som er gennemført med malkekøer ved afdelingen i de seneste år.

Det omfatter 4 egentlige foderoptagelsesforsøg, hvor køerne fik halmcobs tildelt ad libitum. De fik ludbehandlede halmcobs 2 gange daglig, og der blev foretaget tilbagevejning 1 gang daglig. Tildelingen af halmcobs var ca. 10% mere end den forventede foderoptagelse.

Antal dyr, forsøgsperiodens længde og de optagne foder mængder er sammenstillet i tabel 44. De omfatter forsøgene M 26, M 32, M 49 og M 54. Forsøgene M 32 og M 49 havde karakter af en prøvefodring med en enkelt forsøgsperiode.

Forsøg M 26 og M 54 udførtes som overkrydsningsforsøg; således fik alle forsøgskøer tildelt de i forsøgene anvendte forsøgsfodermidler.

Samtidig er der også medtaget resultater fra 5 produktionsforsøg med malkekøer. I disse 5 forsøg er det halmens foderværdi, som er hovedspørgsmålet, vurderet på grundlag af køernes mælkeproduktion. En vigtig faktor af betydning i den forbindelse vil også være køernes optagelse af den ludbehandlede halm, enten i form af rene halmcobs, som det er tilfældet i forsøg M 35, eller som en bestanddel af foderblandinger, iblandet halm og fremstillet som cobs i 2 trins processen. Det omfatter produktionsforsøgene M 46, M 47, M 63 og M 69, og resultaterne er vist i tabel 45.

c. Resultater og diskussion

I de fysiologiske undersøgelser på malkekøer (side 108) kunne køerne optage halm svarende til deres vedligeholdelsesbehov, 9–10 kg pr. ko daglig. Forudsætningen var sikkert, at halmcobsene var det eneset foder, de fik.

I forsøgene M 26 og M 35 blev der anvendt ret store halmcobs med en diameter på 25 mm. Disse cobs var desuden meget hårde. Det var sandsynligvis årsagen til, at køerne ikke gerne åd den behandlede halm i disse forsøg, hvilket gav sig udtryk i en relativ lille foderoptagelse og specielt for cobsene behandlet med 5,5% NaOH i forsøg M 26 en meget stor individuel variation (fra 2,6–8,4 kg daglig). I forsøg M 54, hvor der blev brugt cobs med en diameter på 14 mm, var optagelsen betydeligt større.

De 2 mængder af NaOH i halmcobsene, 3,5 og 5,5%, påvirkede kun i mindre grad foderoptagelsen i M 26. Det er derimod i andre forsøg indiceret, at

Tabel 44. Foderoptagelse af NaOH-behandlet halm i foderoptagelsesforsøg med malkekøer
Table 44. Feed intake of NaOH-treated straw in feed intake experiments with dairy cows – ad lib.

Forsøg nr. <i>Exp. No.</i>	Uger i forsøg <i>Exp. weeks</i>	Antal køer <i>No. of cows</i>	Andet foder, f.e. <i>Non Exp. feed, f.u.</i>				Forsøgsfoder, kg <i>Exp. feed, kg</i>			Halm i cobs <i>Straw in cobs</i>		NaOH	Kg 4% mælk	Nr.
			Roer	Hø eller ensilage <i>Hay or silage</i>	Halm	Kraft- foder	min.	max.	gns.					
			<i>Roots</i>		<i>Straw</i>	<i>Conc.</i>	<i>min.</i>	<i>max.</i>	<i>av.</i>	%	kg	%	<i>F.C.M.</i>	<i>No.</i>
M 26	6	12	1,0	2,0	—	4,9	4,0	7,3	6,0	95	5,7	3,5	19,6	1
M 26	6	12	1,0	2,0	—	4,9	2,6	8,4	5,7	95	5,4	5,5	18,7	2

Forsøg med varierende NaOH-behandling (*different NaOH-treatment*)

M 32	5	2	1,0	1,9	–	5,4	5,5	8,1	6,8	100	6,8	5,0	21,1	3
M 32	5	2	1,0	1,9	–	5,4	4,2	10,1	7,1	90	6,4	5,0	22,2	4
M 32	5	2	1,0	1,9	–	5,8	3,9	9,3	6,6	95	6,3	5,0	23,7	5

3. ingen tilsætn. (*no additiv.*) 4. tilsat 10% melasse (*add. 10% molasses*) 5. tilsat fosforsyre (*add. H_3PO_4*)

M 49	4	6	2,8	1,7	–	0,8	8,0	12,2	9,9	40	4,0	5,1	21,6	6
M 49	4	6	2,8	1,7	–	2,4	8,0	12,6	9,9	40	4,0	5,1	25,9	7

6. 31,5% melasse og snitfoder (*molasses + dry beet pulp*). 7. 32% byg (*barley*)

M 54	6	9	–	–	–	5,2	7,5	12,2	9,9	100	9,9	5,0	14,0	8
M 54	6	9	–	–	–	5,1	8,3	16,5	11,6	100	11,6	5,0	14,3	9
M 54	6	9	–	–	–	5,0	6,0	10,6	7,7	100	7,7	(5,0)	13,5	10

8. ikke neutraliseret (*non neutral.*) 9. neutral. m. saltsyre (*add. HCl*) 10. 2,5% NaOH+2,5% NaHSO₃

Tabel 45. Foderoptagelse af NaOH-behandlet halm i produktionsforsøg med malkekøer
Table 45. Feed intake of NaOH-treated straw in feed evaluation experiments with dairy cows

Forsøg nr. <i>Exp. No.</i>	Uger i forsøg <i>Exp. weeks</i>	Antal køer <i>No. of cows</i>	Andet foder, f.e. <i>Non Exp. feed, f.u.</i>				Forsøgsfoder, kg <i>Exp. feeds, kg</i>			Halm i cobs <i>Straw in cobs</i>		NaOH	Kg 4% mælk <i>F.C.M.</i>	Nr. <i>No.</i>
			Roer	Hø eller ensilage <i>Hay or silage</i>	Halm	Kraft- foder	min.	max.	gns.					
			<i>Roots</i>		<i>Straw</i>	<i>Conc.</i>	<i>min.</i>	<i>max.</i>	<i>av.</i>	%	kg	%		
M 35	8	7	4,5	2,9	—	6,2	—	—	—	—	—	—	22,0	11
M 35	8	7	2,1	2,9	—	6,2	—	—	3,7	95	3,5	5,4	19,6	12
M 35	8	7	2,1	2,9	—	6,2	—	—	4,2	95	4,0	5,4	20,9	13
M 46	6	10	2,9	1,1	0,2	—	5,3	13,1	8,0	26	2,1	0	16,7	14
M 46	6	10	2,9	1,1	0,2	—	5,0	12,5	8,0	40	3,2	5,1	17,0	15
14. ubehandlet (<i>untreated</i>). 15. behandlet (<i>treated</i>)														
M 47	8	16	—	—	1,0	—	10,2	17,2	14,1	40	5,6	5,1	16,6	16
M 47	8	16	—	—	1,0	—	11,6	17,9	13,8	40	5,5	5,1	16,3	17
16. ibland. 31% melasse og snitfoder (+ 31% <i>molasses and dry beetpulp</i>). 17. 32% byg (32% <i>barley</i>)														
M 63	6	21	2,4	2,9	0,3	—	4,0	7,5	5,8	0	—	5,0	18,2	18
M 63	6	21	2,4	2,9	0,3	—	3,9	9,0	6,5	20	1,3	5,0	18,7	19
M 63	6	21	2,4	2,9	0,3	—	5,7	10,1	7,4	40	3,0	5,0	18,7	20
Forskellig mængde ludbeh. halm i foderblandinger (<i>diff. % treated straw in mixtures</i>)														
M 69	11	11	4,3	4,5	0,3	4,2	—	—	—	—	—	—	19,6	21
M 69	11	11	2,2	2,1	0,6	—	6,6	12,5	9,3	40	3,7	5,0	20,3	22
21. normalt grovfoder (<i>roughage feeding</i>). 22. lille grovfoder + halm (<i>low roughages + straw</i>)														

forøgelsen af halmens fordøjelighed også kan forbedre foderoptagelsen. På den anden side kan luddilsætning ud over en vis grænse imidlertid også reducere foderoptagelsen, således som det f.eks. er konstateret i forsøg med får (side 148).

Tilsætning af 10% melasse i M 32 (Nr. 4) medførte kun en mindre stigning i foderoptagelsen på 4–5%. Neutralisering ved en påsprøjtning af fosforsyre på cobsene havde ingen positiv virkning på foderoptagelsen. Muligvis er årsagen, at fosforsyre havde en ringe gennemtrængningskraft i halmcobsene.

I M 54 er neutraliseringen gennemført med saltsyre (HCl) efter en opsplitning af halmcobsene, og halmen blev igen presset i 14 mm cobs. Foderoptagelsen på 11,6 kg var en forøgelse på 15–20% for de neutraliserede halmcobs. En ludning af halm med en blanding af NaOH og NaHSO₃ (2,5 + 2,5%) reducerede foderoptagelsen med 20–25% i forhold til de rene NaOH-behandlede halmcobs anvendt i samme forsøg.

Der opnåedes en relativ høj foderoptagelse i dette forsøg, væsentlig fordi køerne kun tildeltes kraftfoder og dertil halmcobs ad libitum. Foderrationens sammensætning og især mængden af andet grovfoder har stor indflydelse på køernes ædelyst til rene halmcobs.

En opblanding med mere koncentrerede fodermidler, korn, oliekgær, fedt og tørret sukkerroeffald m.v. kan foretages i 2 trins processen, hvor halmcobsene opsplittes og efter iblanding af de andre komponenter igen presses i cobs eller piller. Dette har været tilfældet i produktionsforsøgene M 46, M 47, M 63 og M 69. Indplaceringen af disse foderblandinger i foderrationen har selvfølgelig betydning for, hvor stor foderoptagelsen vil blive af halm. Det vil især være mængden af grovfoder, der får betydning. Den største foderoptagelse, der blev opnået, var i M 47, hvor køerne ud over blandingerne med 40% ludbehandlet halm i cobsform kun havde adgang til løs ubehandlet halm. Fodringen var dog meget ensidig med de store mængder halm (se tabel 45). Disse udgjorde mellem 9 og 11 kg halm pr. ko daglig.

I de 3 andre forsøg var der ingen vanskeligheder med at optage foderblandinger med halm, som tildeltes efter køernes mælkeydelse. En væsentlig forudsætning synes dog at være en reduceret grovfoderration, der som minimum dækker behovet til køernes vedligehold. Specielt når det er nødvendigt at dække foderbehovet for køer med en høj mælkeydelse. Mængderne af ludbehandlet halm var mere begrænsede i disse forsøg. Køerne åd fra 3–5 kg halmcobs pr. ko daglig.

d. Konklusion

Foderoptagelsen af ludbehandlet halm i form af cobs er påvirket af:

1. *Mængde NaOH:* Således at der i første omgang må forventes en forøget optagelse, men at den kan aftage, når NaOH-niveauet når op på 5–6%.
2. *Neutralisering:* En effektiv neutralisering med saltsyre til pH omkring 7 vil forøge foderoptagelsen af ludbehandlede halmcobs.

3. *Mængde af grovfoder:* Fordøjelseskanalets kapacitet sætter grænsen for optagelsen af grovfoder. Når der ikke er givet andet grovfoder, har køerne i gennemsnit kunnet optage op til 10 kg ludbehandlet halm (ikke neutraliseret) pr. dag. Halmoptagelsen reduceres med stigende mængde af andet grovfoder. Hvor halmen er indgået som bestanddel af en pelleteret foderblanding, har det af hensyn til foderstrukturen været nødvendigt at give en vis mængde ensilage og/eller hø. Idet mængden af sådanne foderblandinger samtidig varierer med køernes ydelse, kan der med rationer af denne type kun opnås en ret begrænset gennemsnitlig halmoptagelse.

5. Fordøjelighed og optagelse af foderblandinger med ludbehandlet hvedehalm hos får

a. Indledning

Fodring af drøvtyggere kan ofte være et problem i tørkeperioder, hvor der er sparsomme fodermængder til rådighed, og i mange egne af verden lider dyrene alvorlige tab i vægt og kondition i tørketiden. Ofte er der i de samme områder halm og affaldsprodukter fra sukkerindustrien til rådighed til rimelige priser, men en del af disse produkter har en lav foderværdi på grund af en lav fordøjelighed.

Halmens foderværdi kan forbedres ved behandling med NaOH (Homb, 1948), idet cellevægstofferne fordøjelighed herved hæves (Thomsen et al., 1973). En ulempe ved tørludningsprocessen er, at den behandlede halm har et højt indhold af Na og NaOH. Virkningerne heraf på foder- og vandoptagelsen er kun undersøgt i begrænset omfang.

Formålet med de i dette afsnit beskrevne forsøg var at undersøge dette spørgsmål yderligere samt at undersøge mulighederne for i perioder med knaphed på foder at anvende rationer, hvis hovedbestanddele er ludbehandlet halm og biprodukter fra sukkerindustrien. Forsøgene er beskrevet mere detaljeret af Ali et al. (I trykken).

b. Materialer og metoder

Undersøgelserne har omfattet tre 4 x 4 romersk kvadrat forsøg med får, som vejede $54,2 \pm 4,1$, $67,5 \pm 3,1$ og $76,7 \pm 3,7$ kg i henholdsvis forsøg 1, 2 og 3. I forsøg 1 var dyrene udstyret med vomfistler.

I forsøg 1 og 2 bestod hver periode af en forberedelsestid på 14–16 dage og en opsamlingsperiode på 7 dage. I forsøg 3 var forberedelsestiden udvidet til 3 uger. I begyndelsen af hver periode gik dyrene løse i individuelle bokse, men 1 uge før opsamlingsens begyndelse blev de bundet op i opsamlingsbåse.

Foder og vand blev tildelt ad libitum hver morgen, og de optagne mængder i de foregående 24 timer blev målt på samme tidspunkt. Gødning og urin blev opsamlet 2 gange daglig, og repræsentative prøver blev opbevaret ved $\div 18^{\circ}\text{C}$. I

Tabel 46. Sammensætning af foderblandinger i forsøg 1.
Table 46. Composition of the diets used in experiment 1.

Blanding Diet	A	B	C	D
NaOH, % af halmtørstof	0	2,4	4,1	5,6
<i>NaOH, % of straw dry matter</i>				
Komponenter, % (tørstofbasis)				
<i>Ingredients, % (dry matter basis)</i>				
Hvedehalm	69,8	70	70	70
<i>Wheat straw</i>				
Sojaskrå	19,9	20	20	20
<i>Soyabean meal</i>				
Melasse	8,0	8	8	8
<i>Molasses</i>				
Mineraler og vitaminer*	2,0	2	2	2
<i>Minerals and vitamins</i>				
Ekstra NaCl	0,3			
<i>Extra sodium chloride</i>				
Sammensætning				
<i>Composition</i>				
Tørstof, %	89,7	88,9	87,8	85,9
<i>Dry matter, %</i>				
I tørstof, %				
<i>In dry matter, %</i>				
Natrium	0,64	1,20	1,75	2,36
<i>Sodium</i>				
Aske	8,8	9,1	10,4	11,4
<i>Ash</i>				
Organisk stof	91,2	90,9	89,6	88,6
<i>Organic matter</i>				
Fedt (Stoldt)	1,5	1,4	1,4	1,5
<i>Crude fat (Stoldt)</i>				
Kvælstof	2,1	2,2	2,1	2,2
<i>Nitrogen</i>				
Acid detergent fibre (ADF)	41,3	42,5	39,6	41,2
Neutral detergent fibre (NDF)	61,9	59,5	54,9	55,8
Detergent lignin (ADL)	6,2	6,3	6,0	5,9
Cellulose (ADF-ADL)	35,1	36,2	33,6	35,3
Hemicellulose (NDF-ADF)	20,6	17,0	15,3	14,6
Bruttoenergi (kcal/kg tørst.)	4,28	4,22	4,15	4,11
<i>Gross energy (kcal/g D.M.)</i>				
pH	7,0	8,4	9,1	9,7
Ludoverskud (% af halmtørstof)	0,00	0,08	0,32	0,74
<i>Unreacted NaOH (% of straw D.M.)</i>				

*) *Mineraler og vitaminer*: 55% kalciummonofosfat, 20% østersskaller, 20% natriumklorid, 1,6% ferrisulfat, 1,0% manganoxyd, 0,19% kobbersulfat, 0,10% koboltsulfat, 0,10% zinkoxyd, 0,01% kaliumjodid, 2,0% vitaminbærestof (hvedestrømel).
Vitaminindhold pr. g mineral- og vitaminblanding: 400 i.e. vitamin A, 125 i.e. vitamin D, 100 µg vitamin E.

*) *Minerals and vitamins*: 55% Calcium monophosphate, 20% Oyster shell, 20% Sodium chloride, 1,6% Ferric sulphate, 1,0% Manganese oxide, 0,19% Copper sulphate, 0,10% Cobalt sulphate, 0,10% Zinc oxide, 0,01% Potassium iodide, 2,0% Vitamin carrier (Weatings).
Vitamin content per g of mineral and vitamin mixture: 400 i.u. Vitamin A, 125 i.u. Vitamin D, 100 µg Vitamin E.

Tabel 47. Sammensætning af foderblandinger i forsøgene 2 og 3.
Table 47. Composition of diets used in experiments 2 and 3

Blanding Diet	Forsøg 2 Experiment 2				Forsøg 3 Experiment 3			
	E	F	G	H	I	J	L	K
NaOH, % af halmtørstof <i>NaOH, % of straw dry matter</i>	2	2	2	2	4	4	4	4
Komponenter, % (tørstof-basis) <i>Ingredients, % (D.M. basis)</i>								
Hvedehalm <i>Wheat straw</i>	68	58	48	38	68	58	48	38
Snitfoder <i>Beet pulp-molasses</i> (2 : 1, w : w)	10	20	30	40	10	20	30	40
Sojaskrå <i>Soyabean meal</i>	20	20	20	20	20	20	20	20
Mineraler og vitaminer*) <i>Minerals and vitamins</i>	2	2	2	2	2	2	2	2
Sammensætning <i>Composition</i>								
Tørstof, % <i>Dry matter, %</i>	88,5	89,1	89,2	88,4	88,4	88,3	88,3	89,1
I tørstof, % <i>In dry matter, %</i>								
Natrium <i>Sodium</i>	0,86	0,87	0,78	0,72	1,69	1,66	1,57	1,47
Aske <i>Ash</i>	9,9	9,6	9,8	9,8	10,5	9,8	10,1	10,3
Organisk stof <i>Organic matter</i>	90,1	90,4	90,2	90,2	89,5	90,2	89,9	89,7
Fedt (Stoldt) <i>Crude fat (Stoldt)</i>	2,2	1,9	1,9	1,9	1,3	1,4	1,5	1,7
Kvælstof <i>Nitrogen</i>	2,1	2,2	2,2	2,5	2,1	2,2	2,3	2,5
Acid detergent fibre (ADF)	40,8	38,1	35,3	31,4	37,3	34,1	31,9	29,3
Neutral detergent Fibre (NDF)	60,7	57,1	54,0	48,1	56,0	51,9	48,6	44,6
Detergent lignin (ADL)	6,1	5,5	4,8	4,0	5,0	3,9	3,6	3,5
Cellulose (ADF-ADL) Hemicellulose (NCF-ADF)	34,7	32,6	30,5	27,4	32,3	30,2	28,4	25,8
Bruttoenergi (kcal/g tørstof)	19,9	19,0	18,6	16,7	18,7	17,8	16,7	15,2
Gross energy (kcal/g D.M.)	4,22	4,20	4,18	4,21	4,21	4,21	3,19	4,37
pH	7,5	7,3	6,9	6,8	8,5	8,2	8,0	7,7

*) Som i tabel 46. – As in table 46.

forsøg 1 blev der ved slutningen af hver periode udtaget prøver af vomvæske morgen og aften. Samtidig blev foderoptagelsen registreret hver anden time over en 2-dages periode.

Forsøgsfoderblandingerne blev fremstillet i form af piller (14 mm diameter) ved 2-trins processen på Bioteknisk Instituts forsøgsanlæg. Sammensætningen af foderblandingerne anvendt i forsøg 1 er vist i tabel 46. Det fremgår heraf, at formålet her var at undersøge virkningerne af stigende ludtilsætning til hvedehalmen, som udgjorde 70% af rationerne. Tabel 47 viser sammensætningen af foderblandingerne i forsøgene 2 og 3. I disse forsøg blev stigende mængder af halm successivt erstattet med snitfoder, og den eneste forskel mellem de to sæt blandinger var forskellen i ludtilsætning til halmen (2% hhv. 4% i forsøg 2 og 3).

Analysen af foder og gødning gennemførtes efter standard procedurer, men det skal understreges, at en del af cellevægsbestanddelene som tidligere beskrevet (side 56) gøres opløselige i neutrale opløsningsmidler ved alkalibehandlingen (se NDF i tabel 46), hvorfor de tal, der viser indholdet af cellevægsstoffer, må tages med forbehold.

Ved begyndelsen af 3 periode i forsøg 1 blev et af fårene sygt og holdt op med afæde (blanding B). Det kom sig efter behandling med antibiotica og åd normalt i periode 4, i hvilken det fik blanding C. Det skønnedes, at dette problem ikke skyldtes forsøgsbehandlingen, og de manglende værdier for dette får på blanding B er derfor beregnet i forbindelse med dataanalysen. Alle andre behandlinger i dette og de to andre forsøg gennemførtes uden problemer.

c. Resultaterne

Resultaterne af forsøg 1 er opsummerede i tabellerne 48, 49, 50 og 51 samt figur 40. Tabel 48 viser, at den gennemsnitlige tilsyneladende fordøjelighed af det organiske stof steg fra 49 til 60% som følge af den stigende tilsætning af NaOH til den behandlede halm. Når det antages, at den gennemsnitlige tilsyneladende fordøjelighed af organisk stof i sojaskrå + melasse var 90%, kan det beregnes, at den tilsyneladende fordøjelighed af organisk stof i hvedehalm er forøget fra 31 til 48%.

Ændringerne i fordøjeligheden forekom i hemicellulose- og cellulosefraktionerne i halmen, idet fordøjeligheden af førstnævnte forøgedes fra 54 til 90% ($P < 0,01$) og at sidstnævnte fra 45 til 64% ($P < 0,05$). Tabel 46 viser imidlertid, at en del af hemicellulosen i foderet ikke bliver målt ved den anvendte analysemetode efter NaOH-behandlingen, og da indholdet af NDF i det organiske stof i gødningen var 71, 74, 60 og 51% for henholdsvis blanding A, B, C og D, må det antages, at det samme var tilfældet for gødningsanalyserne.

Bestemmelserne af optagelsen af forskellige stofkomponenter i foderet samt af vand er vist i tabel 49. Optagelsen af organisk stof steg med 536 g fra 1603 til 2139 g som følge af behandling med 4,1% NaOH ($P < 0,01$), men faldt derefter med 347 g fra 2139 til 1792 g, når NaOH-tilsætningen blev øget til 5,6% ($P < 0,05$). Den gennemsnitlige optagelse af fordøjeligt organisk stof forøgedes med 490 g fra blanding A til blanding C ($P < 0,01$), men i dette tilfælde var faldet på 184 g fra blanding C til blanding D kun signifikant, hvis det blev udtrykt i forhold til den fysiologiske legemsvægt ($\text{kg}^{0,75}$) ($P < 0,05$). Den daglige optagelse af fordøjelig cellulose og fordøjelig hemicellulose steg med henholdsvis 196 g ($P < 0,05$) og 70 g ($P < 0,05$) som følge af behandling med 4,1% NaOH. Faldet på 15 g ford. cellulose fra blanding C til blanding D var ikke signifikant.

Tabel 48. Den tilsyneladende fordøjelighed af organisk stof, cellulose, hemicellulose og NDF, %
Table 48. The apparent digestibility of organic matter, cellulose, hemicellulose and neutral detergent fibre, %

Ration	Organisk stof			
<i>Diet</i>	<i>Organic Matter</i>	Cellulose	Hemi- cellulose	NDF
A	48,5	45,1	53,5	46,2
B	55,3	48,6	57,3	48,9
C	59,5	59,2	72,6	60,5
D	60,4	64,4	90,0	68,3
Middelfejl				
<i>S.E. of means</i>				
Ration A, C og D	3,20	3,70	4,32	3,71
<i>Diet A, C and D</i>				
Ration B	4,13	4,77	5,57	4,79
<i>Diet B</i>				
F-værdier for				
<i>F-values for</i>				
Periode	0,07	0,80	0,18	0,40
<i>Period</i>				
Dyr	0,86	1,41	0,81	0,97
<i>Animal</i>				
Behandling	2,87	5,58*)	13,86**)	7,01*)
<i>Treatment</i>				

*) $P < 0,05$ **) $P < 0,01$

Tabel 49. Optagelse af organisk stof, fordøjelig organisk stof, fordøjelig cellulose, fordøjelig hemicellulose, natrium, overskydende NaOH og vand (g/dag)

Table 49. Intakes of organic matter, digestible organic matter, digestible cellulose, digestible hemicellulose, sodium, unreacted sodium hydroxide and water (g/day)

Ration <i>Diet</i>	Organisk stof <i>Organic matter</i>	Fordøjeligt org. stof <i>Digestible organic matter</i>	Fordøjelig cellulose <i>Digestible cellulose</i>	Fordøjelig hemicellulose <i>Digestible hemicellulose</i>	Natrium <i>Sodium</i>	Overskydende NaOH <i>Unreacted NaOH</i>	Vand <i>Water</i>
A	1603	779	279	194	11,3	0,00	4847
B	1952	1075	372	208	25,1	1,25	6488
C	2139	1269	475	264	41,8	5,42	8053
D	1792	1085	460	265	47,7	10,53	8271
Middelfejl <i>S.E. of means</i>							
Ration A, C og D <i>Diet A, C and D</i>	93,9	70,2	27,8	14,50	1,56		541
Ration B <i>Diet B</i>	121,3	90,6	35,9	18,70	2,02		699
F-værdier for <i>F-values for</i>							
Periode <i>Period</i>	0,24	0,18	1,56	0,31	3,12		2,67
Dyr <i>Animal</i>	2,07	2,05	3,39	2,14	0,41		2,65
Behandling <i>Treatment</i>	5,80*)	8,34*)	10,50*)	6,51*)	109,23***)		8,55*)

*) $P < 0,05$ ***) $P < 0,001$

Tabel 50. Behandlingens indflydelse på pH og indholdet af flygtige fedtsyrer (FFS)samt NH₃-N i vomvæske

Table 50. The influence of treatment on various parameters in rumen liquor

Ration <i>Diet</i>	pH	Total FFS Total VFA (m.mol./ 100 ml)	mol. %			NH ₃ -N (mg/100 ml)
			eddike- syre acetic acid	propion- syre propionic acid	smør- syre butyric acid	
A	7,0	9,4	66,3	21,0	9,9	16,5
B	6,9	8,7	66,9	20,9	9,6	14,2
C	6,8	10,8	66,5	19,1	11,5	17,0
D	6,9	9,8	68,1	20,7	9,2	12,1
Middelfejl						
<i>S.E. of means</i>						
Ration A, C og D	0,4	0,6	0,7	0,9	1,0	0,9
<i>Diet A, C and D</i>						
Ration B	0,5	0,7	0,9	1,2	1,3	1,2
<i>Diet B</i>						
F-værdier for						
<i>F-values for</i>						
Periode	1,83	0,77	3,15	3,41	1,58	3,63
<i>Period</i>						
Dyr	0,71	6,33*)	1,26	2,25	1,94	25,79**)
<i>Animal</i>						
Behandling	0,63	1,86	1,16	1,70	1,21	5,81*)

*) P < 0,05 **) P < 0,01

Tabel 51. Daglig urinudskillelse og natriumkoncentration i urin
Table 51. The daily excretion and sodium concentration of urine

Ration <i>Diet</i>	Urin, ml/dag <i>Urine excretion ml/day</i>	% Na i urin <i>% sodium in urine</i>
A	1086	0,37
B	2251	0,70
C	3487	0,82
D	3763	0,97
Middelfejl		
<i>S.E. of means</i>		
Ration A, C og D	247	0,06
<i>Diet A, C and D</i>		
Ration B	412	0,11
<i>Diet B</i>		
F-værdier for		
<i>F-values for</i>		
Periode	0,85	0,81
<i>Period</i>		
Dyr	0,45	2,49
<i>Animal</i>		
Behandling	24,46**)	15,50**)
<i>Treatment</i>		

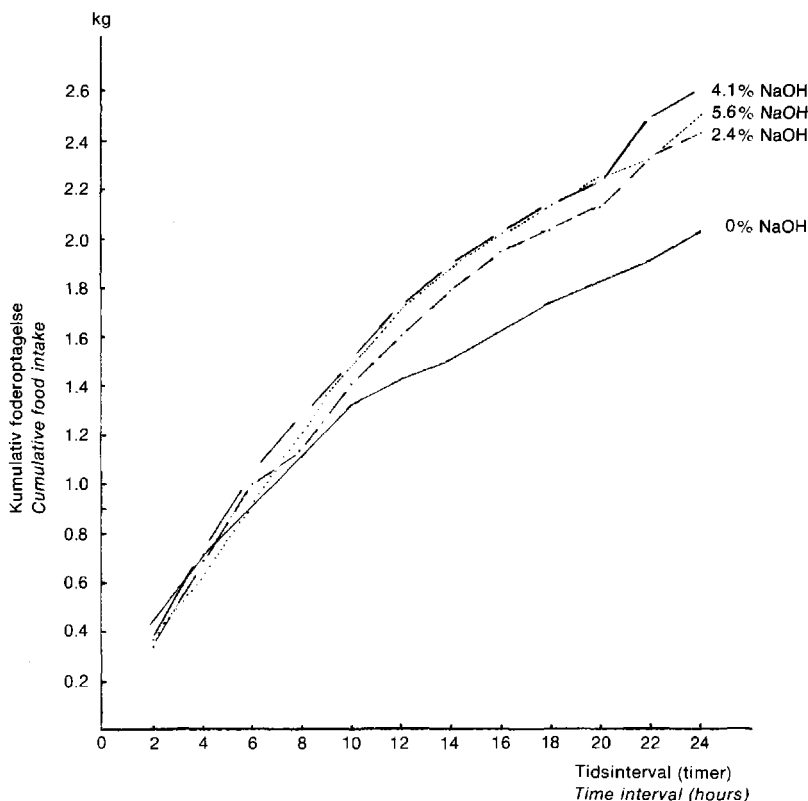
**) P < 0,01

Optagelsen af natrium steg fra 11,3 g på blanding A til 47,7 g ved blanding D. Stigningen på 5,9 g fra blanding C til blanding D var netop signifikant ($P < 0,05$). 2,9%, 7,5% og 12,7% af den totale natriumoptagelse forekom i form af ureageret NaOH i henholdsvis blanding B, C og D. Som ventet steg vandoptagelsen (ml) (Y) signifikant med stigende NaOH-tilsætning ($P < 0,01$), og sammenhængen mellem natriumoptagelsen (g) (x) og vandoptagelsen kan udtrykkes ved ligningen:

$$Y = 3795 + 98,4x; S_{y \cdot x} = 847; r = 0,97$$

Tabel 50 viser resultaterne af analyserne af vomvæske i forsøg 1. Resultaterne fra morgen- og aftenprøverne var omtrent identiske. Der er derfor kun angivet gennemsnitstal i tabellen. Kun koncentrationen af $\text{NH}_3\text{-N}$ blev signifikant påvirket af forsøgsbehandlingerne.

Tallene for den daglige udskillelse af urin og koncentrationen af natrium i urinen er gengivet i tabel 51. Resultaterne viser, at færenes urinudskillelse



Figur 40. Foderoptagelsens døgnforløb.

Figure 40. Pattern of intake of feed.

forøgedes med det stigende indhold af natrium i foderet ($P < 0,01$). Samtidig steg koncentrationen af natrium i urinen ($P < 0,01$). Forskellene mellem blanding C og D for disse parametre var ikke signifikante.

Resultaterne af undersøgelsen af foderoptagelsens døgnforløb er vist i figur 40. Optagelseskurven for ration A var noget fladere end for de resterende rationer, som lå tæt op ad hinanden.

Endelig skal det noteres, at fårenes almene sundhedstilstand med undtagelse af foran nævnte tilfælde var god i forsøg 1. I løbet af den 3 måneders periode, som forsøget varede, var fårenes gennemsnitlige tilvækst $67 \pm 1,9$ g.

Resultaterne af forsøgene 2 og 3 er vist i tabel 52, 53, 54 og 55.

En sammenligning af tabel 52 og 53 viser, at fordøjeligheden af organisk stof i ration E og F i forsøg 2 var betydeligt lavere end fordøjeligheden af organisk stof i ration I og J med tilsvarende sammensætning i forsøg 3. Denne forskel formindskedes stærkt med stigende indhold af snitfoder i rationen, og fordøjeligheden af organisk stof i rationerne H og L var næsten ens. I begge forsøg steg

Tabel 52. Den gennemsnitlige forstøjelighed (%) af organisk stof, NDF, cellulose og hemicellulose samt regressionsanalyser for disse parametre (Y) på % halm i rationen (X) i forsøg 2
Table 52. The mean digestibility (%) of organic matter, neutral detergent fibre, cellulose and hemicellulose, and regression analyses for these parameters (Y) on the percentage of straw in the diet (X) for experiment 2

Ration	Organisk stof	NDF		
Diet	Organic matter	Neutral detergent fibre	Cellulose	Hemicellulose
E	50,3	45,2	44,2	57,0
F	55,5	49,1	46,9	61,6
G	59,6	50,4	50,6	59,3
H	63,6	51,6	49,7	65,6
F-værdier for				
<i>F-values for</i>				
Periode	0,8	1,0	1,0	1,3
<i>Period</i>				
Dyr	2,6	2,6	2,2	5,2
<i>Animal</i>				
Regression (X)	37,3***)	5,4	3,7	7,8*)
<i>Regression (X)</i>				
Afvigelse fra regression	0,1	0,3	0,5	1,8
<i>Deviation from regression</i>				
Regressionskoefficient, b	$\div 0,44$	$\div 0,21$	$\div 0,20$	$\div 0,23$
<i>Regression coefficient, b</i>				
Konstant	80,7	60,0	58,5	73,2
<i>Intercept</i>				
$S_{y \cdot x}$	3,2	3,9	4,7	3,7

*) $P < 0,05$ ***) $P < 0,001$

fordøjeligheden af organisk stof med faldende indhold af hvedehalm, men i forsøg 3 var denne stigning ikke så stor. Idet det antages, at den tilsyneladende fordøjelighed af sojaskrå + snitfoder var 85% i ration E og I, er det beregnet, at den tilsyneladende fordøjelighed af organisk stof i hvedehalm behandlet med 2% og 4% NaOH var henholdsvis 35 og 46%.

I forsøg 2 var der en tendens til, at fordøjeligheden af neutral detergent fibre (NDF) og denne stofgruppes hovedkomponenter, hemicellulose og cellulose, steg med stigende indhold af snitfoder i rationerne. Stigningen var dog ikke signifikant undtagen for hemicellulosen. Fordøjeligheden af både NDF og cellulose var højere i de rationer, som indeholdt halm behandlet med 4% NaOH end i rationer med halm behandlet med 2% NaOH, men det må imidlertid erindres, at tallene kun refererer til cellevægssstoffer, som ikke er opløselige i neutral detergent. Som vist i tabel 47 blev der målt mindre NDF i forsøg 3-rationerne end i forsøg 2-rationerne. Endvidere faldt det procentiske indhold af NDF i organisk stof i gødningen fra 74,2% i ration E til 70,7% i ration H i forsøg 2, mens det i forsøg 3 gik ned fra 70,6% til 60,7% fra ration I til ration L.

Tabel 53. Den gennemsnitlige fordøjelighed (%) af organisk stof, NDF, cellulose og hemicellulose og regressionsanalyse for disse parametre (Y) på %halm i ration (X) i forsøg 3
Table 53. The mean digestibilities (%) of organic matter, neutral detergent fibre, cellulose and hemicellulose, and regression analysis for these parameters (Y) on the percentage of straw in the diet (X) for experiment 3

Ration Diet	Organisk stof Organic matter	NDF Neutral detergent fibre	Cellulose	Hemi-cellulose
I	57,4	53,0	53,9	60,0
J	58,2	50,7	51,7	59,8
K	61,1	54,8	55,3	63,8
L	64,8	53,6	54,3	61,1
F-værdier for F-values for				
Periode Period	4,4	6,4*)	5,7**)	5,0*)
Dyr Animal	3,8	1,5	1,6	2,5
Regression (X) Regression (X)	84,5***)	1,9	1,3	2,0
Afvigelse fra regression Deviation from regression	2,7	3,8	3,3	2,9
Regressionskoefficient, b Regression coefficient, b	÷0,25	÷0,06	÷0,05	÷0,07
Konstant Intercept	73,7	56,2	56,4	65,1
S _{y . x}	1,2	1,9	1,9	2,3

*) P < 0,05 ***) P < 0,001

Tabel 54. Gennemsnitlig daglig optagelse (g) af totalt (T), fordøjeligt (D) og ufordøjeligt (Fe) organisk stof (OM) samt af vand og natrium, og regressionsanalyse for disse parametre (Y) på procent halm i rationen (X) i forsøg 2

Table 54. Daily mean intakes (g) of total (T), digestible (D) and indigestible (Fe) organic matter (OM), water and sodium, and regression analyses for these parameters (Y) on the percentage of straw in the diet (X) for experiment 2

Ration Diet	TOM	DOM	FeOM	Vand Water	Natrium Sodium
E	1833	918	915	6037	17,5
F	2014	1117	898	6849	19,4
G	1988	1185	804	6713	17,2
H	2020	1290	731	6844	16,1
F-værdier for F-values for					
Periode Period	1,2	1,2	0,6	2,8	1,0
Dyr Animal	7,1*)	6,2*)	3,1	6,7*)	7,0*)
Regression (x) Regression (x)	1,7	16,7**)	5,6	1,4	3,0
Regression (x ²) Regression (x ²)	—	—	—	—	—
Afvigelse fra regression Deviation from regression	0,5	0,4	0,8	0,5	2,7
Regression koefficient, b ₁ Regression coefficient, b ₁	-5,37	-11,83	6,46	-22,87	0,06
Regression koefficient, b ₂ Regression coefficient, b ₂	—	—	—	—	—
Konstant Intercept	2249	1754	494	7823	14,2
S _{y . x}	187	130	122	862	1,63

*) P < 0,05 **) P < 0,01

Tabel 55. Gennemsnitlig daglig optagelse (g) af totalt (T), fordøjeligt (D) og ufordøjeligt (Fe) organisk stof (OM) samt af vand og natrium, og regressionsanalyse for disse parametre (Y) på procent halm i ration (X) i forsøg 3

Table 55. Daily mean intakes (g) of total (T), digestible (D) and indigestible (Fe) organic matter (OM), water and sodium, and regression analyses for these parameters (Y) on the percentage of straw in the diet (X) for experiment 3

Ration Diet	TOM	DOM	FeOM	Vand Water	Natrium Sodium
I	2270	1297	973	9905	42,8
J	2564	1491	1073	10454	47,2
K	2649	1619	1030	10495	46,3
L	2410	1560	850	9418	39,5
F-værdier for <i>F-values for</i>					
Periode <i>Period</i>	1,4	2,2	1,3	0,9	1,2
Dyr <i>Animal</i>	21,1**)	20,7**)	15,6**)	9,8*)	19,7**)
Regression (x) <i>Regression (x)</i>	1,9	17,9**)	4,5	0,3	2,5
Regression (x ₂) <i>Regression (x₂)</i>	10,3*)	6,9*)	10,3*)	–	12,7*)
Afvigelse fra regression <i>Deviation from regression</i>	0,1	0,3	0,0	1,0	0,0
Regressionskoefficient (b ₁) <i>Regression coefficient (b₁)</i>	135,8	58,3	77,5	14,2	3,05
Regressionskoefficient (b ₂) <i>Regression coefficient (b₂)</i>	–1,33	–0,64	–0,69	–	–0,03
Konstant <i>Intercept</i>	–826	270	–1095	9315	–36,4
S _{y .x}	166	97	87	1199	3,1

*) P < 0,05 **) P < 0,01

Tabellerne 54 og 55 viser resultaterne vedrørende optagelse af organisk stof i forsøg 2 og 3 sammen med bestemmelserne af optagelsen af vand og natrium. Det fremgår heraf tydeligt, at optagelsen af både organisk stof, fordøjeligt organisk stof, vand og natrium var højere i forsøg 3 end i forsøg 2. Mængden af ufordøjeligt organisk stof viste også tendens til at være højere i forsøg 3 end i forsøg 2. I forsøg 2 (2% NaOH) steg optagelsen af fordøjeligt organisk stof lineært med stigende fordøjelighed af det organiske stof, mens den tilsvarende stigning i optagelsen i forsøg 3 (4% NaOH) var kurvelineær. Udskillelsen af ufordøjet organisk stof og NDF i gødningen formindskedes med faldende andel af halm i rationen.

Ændringerne i forholdet mellem halm og snitfoder i forsøg 2 og 3 havde kun ringe indflydelse på den optagne natriummængde inden for hvert forsøg, hvilket også kan ses på vandoptagelsen. Den højere natriumkoncentration i rationerne i forsøg 3 medførte imidlertid en forøgelse af vandoptagelsen på 52% i forhold til optagelsen i forsøg 2.

Fårenes sundhedstilstand var god i begge forsøg, og dyrene gennemførte alle behandlinger i forsøgsrækken. Dette er opmuntrende i betragtning af, at dyrene i de 16 uger i forsøg 3 dagligt optog 40 g natrium eller derover og over 9,4 liter vand. I disse forsøg havde dyrene en gennemsnitlig daglig tilvækst på $140 \pm 2,5$ g og $149 \pm 2,4$ g henholdsvis i forsøg 2 og forsøg 3.

d. Diskussion

Fordøjelighed

Som det er beskrevet i tidligere afsnit af beretningen, kan in vitro fordøjeligheden af halm forøges lineært ved behandling med stigende mængde NaOH fra 0 til 6% af tørstoffet, og maksimal effekt opnås ved 8–10% NaOH (Wilson & Pigden, 1964; Ololade et al., 1970; Chandra & Jackson, 1971; Singh & Jackson, 1971; Thomsen et al., 1973). In vivo fordøjeligheden bøjer af ved et lavere niveau af NaOH (4–5%) (Mowat et al., 1970; Klopfenstein et al., 1972; Ololade et al., 1973; Thomsen et al., 1973). I forsøg 1 blev der beregnet en tilsyneladende fordøjelighed af organisk stof i hvedehalm på 31, 40, 46 og 48% ved behandling med henholdsvis 0%, 2,4%, 4,1% og 5,6% NaOH. Disse resultater underbygger således den tidligere dragne konklusion, at der kun opnås lidt ved at øge NaOH-tilsætningen ud over 4%. I forsøg 2 og 3 gav tilsvarende beregninger en fordøjelighed af organisk stof i hvedehalm på 35 og 46% ved behandling med henholdsvis 2 og 4% NaOH.

Resultaterne af nærværende forsøg kan ikke umiddelbart sammenlignes med resultaterne af de fordøjelighedsforsøg, der er beskrevet i tidligere afsnit. I sidstnævnte forsøg blev fårene fodret restriktivt (800–1000 g pr. får dagligt), mens der i nærværende forsøg blev fodret efter ædelyst, hvorved foderoptagelsen er blevet betydeligt højere. Den større foderoptagelse kan have medført en reduktion i fordøjeligheden.

Fordøjeligheden af hemicellulose og cellulose forøgedes henholdsvis fra 54 til 90% og fra 45 til 64% som følge af behandling med 5,6% NaOH i forsøg 1. Den tilsyneladende fordøjelighed af det organiske stof steg ikke så meget, som det skulle forventes på grundlag af forbedringen af cellevægsstofferne fordøjelighed. For eksempel forøgedes fordøjeligheden af cellulose og hemicellulose henholdsvis fra 59 til 64% og fra 73 til 90% som følge af en stigning i NaOH-til sætningen til halmen fra 4,1% (ration C) til 5,6% (ration D), mens den tilsvarende fordøjelighed af organisk stof forblev uændret på 60%.

Van Soest analysen, der er anvendt til bestemmelse af cellevægsindholdet og til fraktionering af cellevægsstofferne, synes imidlertid at være uanvendelig til bestemmelse af fordøjeligheden af cellevægsstoffer i ludbehandlet halm. Som tidligere nævnt bliver en del af cellevægsstofferne som følge af behandlingen gjort opløselige i neutral detergent, hvilket vil sige, at cellevægsstofferne, afhængigt af behandlingsintensiteten, fordeles sig forskelligt i de forskellige stofgrupper, der bestemmes ved analysen. Tidligere forsøg (Rexen og Thomsen, 1976) tyder på, at en endnu større relativ del af de ufordøjede cellevægsstoffer i gødningen kan være opløselige i neutral detergent. I disse forsøg blev der fodret med rationer, som bestod af 75% byghalm og 25% sojaskrå. Der blev her fundet fordøjelighedskoefficienter for hemicellulose på over 100, hvilket skyldes, at indholdet af ADF i gødningen var højere end indholdet af NDF. Idet hemicellulose bestemmes som differencen mellem NDF og ADF, fremkommer de meget høje fordøjelighedskoefficienter ved, at visse cellevægsstoffer er opløselige i det neutrale opløsningsmiddel (neutral detergent), men ikke i et surt (acid detergent). Den høje opløselighed i neutral detergent af cellevægsstoffer i gødningen giver ligeledes høje fordøjelighedskoefficienter for NDF-fraktionen.

Det er sandsynligt, at fordøjeligheden af stoffer, som findes i små partikler i foderet, kan forringes som følge af den store vandoptagelse hos dyrene ved fodring med NaOH-behandlet halm, idet de store væskemængder eventuelt kan forøge de små partiklers passagehastighed gennem vommen. Uoverensstemmelsen mellem stigningerne i den tilsyneladende fordøjelighed af cellevægsstoffer og af det totale organiske stof kan imidlertid for en stor del forklares ved de analytisk bestemte forskydninger mellem stofgrupperne. Det fremgår heraf, at en eksakt bestemmelse af NaOH-behandlingens virkning på fordøjeligheden forudsætter en mere detaljeret analyse af både foder og gødning.

I forsøgene 2 og 3 skete der som ventet en stigning i fordøjeligheden af organisk stof med stigende indhold af snitfoder i rationen. For rationerne med stort halmindhold (68%) fandtes en betydelig højere fordøjelighed i forsøg 3 (ration I, 4% NaOH tilsat halmen) end i forsøg 2 (ration E, 2% NaOH). Stigningen i fordøjeligheden med stigende indhold af snitfoder i forsøg 3 var imidlertid mindre end ventet, hvilket kommer til udtryk i, at fordøjeligheden af ration H (2% NaOH) og ration L (4% NaOH) var næsten ens (henholdsvis 64 og 65%). Disse resultater kunne tyde på, at fordøjeligheden af snitfoderet er blevet

nedsat ved tilsætning af en større mængde NaOH til halmen, hvilket kan skyldes den forøgede vandoptagelse. Foderoptagelsen var også højere i forsøg 3 end i forsøg 2, hvilket til en vis grad kan have reduceret fordøjeligheden. Tolkningen af fordøjelighedskoefficienterne for cellevægsstofferne kompliceres i disse forsøg yderligere af, at roeffald indeholder en del cellevægsstoffer med en meget høj fordøjelighed.

Foderoptagelse

Hos små dyr (får, kalve) er optagelsen af grovfoder ofte stærkt influeret af foderets fysiske form, og formaling og pelletering spiller en særlig vigtig rolle i denne forbindelse (Greenhalgh og Wainman, 1972 ; Greenhalgh og Reid, 1973). Det er også påvist, at foderets fordøjelighed påvirker foderoptagelsen, og modeller, der beskriver dette forhold, er fremstillet af Baumgart (1969 og 1970) og Bines (1971). Disse effekter kan sættes i relation til den hastighed, hvormed det optagne foder fjernes fra vommen (Jarrige et al., 1974). Forholdene blev bekræftet af resultaterne af nærværende forsøg.

I alle forsøgene brugtes ikke-formalet halm, men rationerne var pelleterede, og som følge heraf var foderoptagelsen generelt høj. Selv med ration A (forsøg 1), som indeholdt 70% ubehandlet hvedehalm, kunne fårene optage 779 g fordøjeligt organisk stof pr. dag (40 g pr. $\text{kg}^{0,75}$ legemsvægt).

Der blev også konstateret udslag, som skyldtes fordøjeligheden af organisk stof. I forsøg 1 opnåedes den højeste optagelse med ration C, som havde en fordøjelighed af organisk stof på 60%. På denne ration optog fårene 1269 g fordøjeligt organisk stof (66 g pr. $\text{kg}^{0,75}$), hvilket var 63% mere end på ration A. Denne stigning skyldes udelukkende NaOH-behandlingen af halmen. NaOH-behandlingens indflydelse på optagelsen af fordøjeligt organisk stof ses også ved sammenligning af resultaterne af forsøgene 2 og 3. Ved alle de 4 rationstyper var optagelsen af organisk stof og fordøjeligt organisk stof højest i rationer med halm behandlet med 4% NaOH, også når optagelsen udtrykkes i forhold til dyrenes fysiologiske vægt.

Substitutionen af hvedehalm med snitfoder havde forskellig effekt, afhængig af om halmen var behandlet med 2 eller 4% NaOH. I forsøg 2 (2% NaOH) skete der en lineær stigning i optagelsen af fordøjeligt organisk stof med stigende indhold af snitfoder. Der blev optaget 372 g fordøjeligt organisk stof mere i ration H end i ration E. I forsøg 3 var ændringen i optagelsen af fordøjeligt organisk stof kurvelineær, og den højeste optagelse på 1619 g daglig blev opnået på ration K.

I forsøg 1 blev det demonstreret, at foderoptagelsen kan nedsættes ved tilsætning af en stor mængde NaOH, idet optagelsen blev reduceret stærkt ved en forøgelse af NaOH-tilsætningen fra 4,1 til 5,6%. Faldet i foderoptagelsen skyldes formentlig forstyrrelser forårsaget af de store mængder natrium eller natriumhydroxyd i foderet. Det står dog ikke klart, hvilket led i natriumomsætningen, der kan have fremkaldt denne effekt.

Det høje pH og de relativt store mængder af overskydende NaOH i ration D kunne antages at give denne ration en dårlig appetitlighed, men som vist i figur 40 var foderoptagelsesforløbet for ration D ikke meget forskelligt fra forløbet for ration B og C.

En anden mulighed er, at vomvæskens osmolalitet var for høj ved fodring med ration D, men undersøgelser udført af Baile og Pfander (1966) og Bergen (1972) tyder på, at denne faktor har ringe eller ingen effekt på foderoptagelsen. Bergen (1970) har imidlertid i forsøg med får vist, at cellulosefordøjeligheden og foderoptagelsen kan nedsættes ved infusion af natriumklorid eller natriumacetat i vommen, når dyrene ikke samtidig har fri adgang til vand, og Potter et al. (1972) observerede, at den mikrobielle population i vommen hos får formindskedes, når dyrene drak saltvand. Hogan og Weston (1971) fandt, at der ingen protozer var i vomvæsken hos får, som blev fodret med NaOH-behandlet halm. I forsøg 1 var vommen hos fårene ved fodring med rationerne C og D stærkt udspilet med væske, således at vomfistlerne, der ellers fungerede tilfredsstillende, lakkede. Der blev ikke foretaget nogen undersøgelse af den mikrobielle population i vommen, men pH samt koncentrationen og den relative andel af flygtige fedtsyrer i vomvæsken tydede ikke på, at den mikrobielle aktivitet var væsentligt forstyrret.

En mere sandsynlig forklaring på den reducerede foderoptagelse ved fodring med ration D er, at den store optagelse af NaOH havde nået den øverste grænse for opretholdelse af homeostasis i organismen. Når mængden af natrium udtrykkes i forhold til fårenes fysiologiske vægt, optog fårene ikke signifikant mere natrium med ration D end med ration C. Fårene synes således at have nået en tærskelværdi på ca. 2,4 g natrium pr. kg^{0.75}.

Der blev ikke i disse forsøg foretaget nogen måling af syre-base balancen, men resultaterne af forsøg med goldkøer, som er omtalt i afsnit II.B.1., side 108, tydede på, at basekoncentrationen i urin opretholdes ret konstant på 250–300 milliekvivalenter pr liter, således at baseudskillelsen hovedsagelig reguleres ved ændringer i diuresen. Resultaterne af nærværende forsøg viste, at fårene søgte at opretholde homeostasis ved at udskille mere urin og ved at koncentrere natrium i urinen. Således øgedes den gennemsnitlige urinudskillelse fra 1086 ml på ration A til 3763 ml på ration D, mens den gennemsnitlige natriumkoncentration i urinen steg fra 162 til 422 milliekvivalenter pr. liter. Begge disse parametre synes imidlertid at have nået maksimumsværdier, idet forskellene mellem ration C og D ikke var signifikante.

Resultaterne af forsøgene 2 og 3 tyder på, at der er andre faktorer, som kan have indflydelse på optagelsen af fordøjeligt organisk stof. En sammenligning af disse resultater viser, at optagelsen var lavere med rationer med halm behandlet med 2% NaOH, hvilket tyder på, at det maksimale energibehov hos fårene ikke var dækket på rationerne i forsøg 2. Imidlertid er det ikke sandsynligt, måske med undtagelse af rationerne E og F, at foderoptagelsen blev

begrænset af materialets passagehastighed gennem vommen, idet udskillelsen af organisk stof formindskedes med stigende indhold af snitfoder i rationen. Udskillelsen af organisk stof var således på henholdsvis 38,9, 38,5, 34,1 og 31,0 g pr. $\text{kg}^{0.75}$ for ration E, F, G og H, mens de korresponderende værdier for ration I, J, K og L i forsøg 3 var på henholdsvis 37,4, 41,4, 39,5 og 33,4 g pr. $\text{kg}^{0.75}$. Det er sandsynligt, at en del af forklaringen på disse resultater ligger i, at foderpillerne var hårdere og mere kompakte jo mere snitfoder, de indeholdt. Der kunne eventuelt forekomme en forsinkelse i fordøjelsen af de hårde piller, som kunne resultere i en nedsat passagehastighed gennem vommen. I forsøg 3, hvor der som foran nævnt også forekom et fald i udskillelsen af organisk stof i gødningen ved et stort indhold af snitfoder i rationen, er det ikke muligt at konkludere, om optagelsen af rationerne K og L var begrænset af foderets fysiske egenskaber, eller om disse rationer dækkede det maksimale energibehov hos fårene.

Konklusion

I tørkeperioder med knaphed på foder kan fodring af drøvtyggere være et problem i mange områder, og formålet med nærværende forsøg var at undersøge, om halm og roeaffald samt melasse kunne bruges som hovedbestanddele af foderet i sådanne perioder.

Forsøg 1 viste, at optagelsen af fordøjeligt organisk stof i pelleterede rationer med 70% hvedehalm kunne forøges med 63% ved at behandle halmen med ca. 4% NaOH. Der blev ikke opnået nogen fordel ved at behandle med større ludmængde, idet fårene ikke kunne tolerere mere end ca. 2,4 g natrium pr. $\text{kg}^{0.75}$ legemsvægt, og dyrene opretholdt dette niveau ved at regulere foderoptagelsen. Med disse rationer blev der opnået en maksimal optagelse på 1269 g fordøjeligt organisk stof, hvilket ikke er tilstrækkeligt til at dække fårenes maksimale energibehov (maksimal vækst), men tilstrækkeligt til vedligehold og moderat vækst.

Substitution af hvedehalm med snitfoder i forsøg 2 og 3 gav forskelligt udslag, afhængigt af om halmen var behandlet med 2 eller 4% NaOH. I forsøg 2 blev den maksimale optagelse på 1290 g fordøjeligt organisk stof opnået på rationen, som indeholdt lige mængder af hvedehalm og snitfoder, men i forsøg 3, hvor halmen var behandlet med 4% NaOH, opnåedes den maksimale optagelse på 1619 g, når hvedehalm og snitfoder udgjorde henholdsvis 48 og 30% af rationen.

I alle forsøg resulterede de store natriummængder i stor vandoptagelse, og dette kan muligvis have forringet udnyttelsen af let fordøjelige stoffer. Men til trods for den store optagelse af natrium og overskydende natriumhydroxyd blev der ikke bemærket nogen ugunstig indflydelse på dyrenes sundhedstilstand, end ikke i forsøg 3, hvor fårene optog mere end 40 g natrium og 9,4 liter vand daglig over en periode på 4 måneder.

Ved NaOH-behandling af halm gøres en del af cellevægsstofferne opløselige i det opløsningsmiddel (neutral detergent), som ved Van Soest analysen anvendes til bestemmelse af cellevægsindholdet (NDF). Denne analysemetode er derfor ikke egnet til bestemmelse af fordøjeligheden af cellevægsstoffer i ludbehandlet halm.

6. Produktionsforsøg med malkekøer

a. Indledning

Der er gennemført 5 produktionsforsøg med NaOH-behandlet byghalm med det formål at bestemme denne halms foderværdi til mælkeproduktion samt dens anvendelsesmuligheder i foderrationen til malkekøer. Halmen blev i disse forsøg indplaceret i foderrationen på forskellige måder, således som det er vist i tabel 56, der giver en oversigt over forsøgene.

Forsøgene M 35 og M 47 blev gennemført på landbrugsafdelingen ved Statsfængslet i Sdr. Omme, mens forsøgene M 46, M 63 og M 69 er udført på Linderumgaard ved Sindal.

b. Materialer og metoder

Forsøgsfoderet og dets indplacering i foderrationen

I det første produktionsforsøg med NaOH-behandlet byghalm til malkekøer, forsøg M 35, anvendtes halm behandlet med 5,4% NaOH og tilsat ca. 5% flydende melasse. Halmen blev presset i cobs med en diameter på 25 mm. Melassen blev tilsat ved halmens indføring i pressen under ludbehandlingsprocessen, således som det er beskrevet side 52. Disse halmcobs indgik som fast bestanddel af køernes grundfoder.

I de efterfølgende 4 produktionsforsøg, forsøgene M 46, M 47, M 63 og M 69, blev halmen givet som bestanddel af pelleterede foderblandinger. I alle disse forsøg er der anvendt byghalm behandlet med ca. 5% NaOH. Blandingerne med NaOH-behandlet halm blev i alle tilfælde fremstillet ved to-trins metoden, idet halmen først blev behandlet med NaOH efter metoden beskrevet på side 49, og halmcobsene derefter slået op og sammenblandet med de øvrige foderemner i blandingerne. Foderblandingerne blev presset i piller med en diameter på 14 mm. I forsøg M 46, i hvilket en blanding med ubehandlet halm blev sammenlignet med en blanding med behandlet halm, blev også den ubehandlede halm snittet og ledt gennem kollerpressen før fremstillingen af foderblandingen. Herved tilstræbtes så ensartet en struktur i de to blandinger som muligt.

Tabel 57 viser sammensætningen af de i forsøgene anvendte forsøgsfoderblandinger.

Tabel 56. Fodringsforsøg med NaOH-behandlet halm til malkekøer
Table 56. Feeding experiments with NaOH-treated straw to dairy cows

Forsøgsnr. <i>Exp. No.</i>	Forsøgsmodel <i>Exp. design</i>	Antal køer <i>No. of cows</i>	Forsøgsbehandling <i>Exp. treatment</i>	Halmens plads i fodderationen <i>Incorporation of straw in the ration</i>
M 35	Holdforsøg <i>Continuous</i>	7	1. Normalhold <i>1. Normal group</i>	Halm som bestanddel af grundfoderet – erstatning for roer <i>Straw as part of the basic feed – substitution for fodder beets</i>
		7+7	2. og 3. Beh. halm <i>2. and 3. Treated straw</i>	
M 47	Overkrydsning <i>Change over</i>	16	1. Halm + byg <i>1. Straw + barley</i>	Halm som bestanddel af pilleterede foderblandinger givet som eneste foder sammen med ubehandlet halm <i>Straw as component of pelleted feed compounds given as the only feed together with untreated straw</i>
			2. Halm + affald + melasse <i>2. Straw + beetpulp + molasses</i>	
M 46	Tilbagekrydsning <i>Switch back</i>	20	1. Ubehandlet halm <i>1. Untreated straw</i>	Halm som bestanddel af pilleterede foderblandinger til mælkeproduktion, grundfoder bestående af roer, ensilage og langt halm <i>Straw as component of pelleted feed compounds for milk production, basic feed consisting of silage, beets + long straw</i>
			2. Behandlet halm <i>2. Treated straw</i>	
M 63	Overkrydsning <i>Change over</i>	21	1. 0% halm <i>1. 0% straw</i>	do. do.
			2. 20% halm <i>2. 20% straw</i>	
			3. 40% halm <i>3. 40% straw</i>	
			4. 60% halm <i>4. 60% straw</i>	
M 69	Holdforsøg <i>Continuous</i>	11	1. Normalhold <i>1. Normal group</i>	do. do.
		11	2. Behandlet halm <i>2. Treated straw</i>	

Tabel 57. Sammensætning af forsøgsfoderblandinger anvendt i forsøgene M 46, M 47, M 63 og M 69
Table 57. Composition of experimental feed mixtures used in the experiments M 46, M 47, M 63 and M 69

		M 46		M 47		M 63		M 69	
		4601	4602	4701	4702	6301	6302	6303	6903
Blanding nr. – Mixture No.									
Ubehandlet halm		26,0	–	–	–	–	–	–	–
<i>Untreated straw</i>									
Behandlet halm (5% NaOH)	%	–	40,0	40,0	40,0	–	20,0	40,0	40,0
<i>Treated straw (5% NaOH)</i>									
Bomuldsfrøkager	%	26,5	30,0	25,0	25,0	33,0	33,0	33,0	–
<i>Cottonseed meal</i>									
C-blanding	%	–	–	–	–	–	–	–	33,0
<i>Concentrate mix.</i>									
Byg	%	33,0	15,5	32,0	–	56,0	36,4	16,8	19,0
<i>Barley</i>									
Snitfoder	%	–	–	–	21,0	–	–	–	–
<i>Dry molassed beetpulp</i>									
Melasse	%	10,0	10,0	–	10,5	8,0	8,0	8,0	8,0
<i>Molasses</i>									
Animalsk fedt	%	2,5	2,5	1,0	1,5	3,0	2,6	2,2	–
<i>Animal fat</i>									
Mineraler + vitaminer	%	2,0	2,0	2,0	2,0	–	–	–	–
<i>Minerals + vitamins</i>									

I forsøg M 47 sammenlignedes 2 foderblandinger, som begge indeholdt 40% NaOH-behandlet halm. I den ene (blanding 4701) brugtes byg som supplerende energikilde, og i den anden (blanding 4702) brugtes snitfoder og melasse. Formålet var at undersøge, om forskellige supplerende kulhydrater kunne medføre forskelle på udnyttelsen af NaOH-behandlet halm.

I dette forsøg blev forsøgsfoderblandingerne givet som eneste foder sammen med langt, ubehandlet halm, der blev givet efter ædelyst.

I de resterende 3 forsøg (M 46, M 63 og M 69) blev forsøgskøerne fodret efter ens principper, idet dyrene fik roer, ensilage samt langt, ubehandlet halm som basisfoder i mængder, der var lidt større end svarende til vedligeholdelsesbehovet. Forsøgsfoderblandingerne blev givet som mælkeproduktionsfoder og mængderne varieret efter ydelse.

I forsøg M 46 blev der foretaget en sammenligning mellem en foderblanding med ubehandlet halm og en blanding med behandlet halm. Ud fra den forudsætning, at energiværdien af NaOH-behandlet halm var 0,6 f.e. pr. kg tørstof mod 0,3 f.e. pr. kg tørstof i ubehandlet halm, blev blandingerne sammensat således, at de skulle have samme energiværdi.

I forsøg M 63 anvendtes 3 forsøgsfoderblandinger med henholdsvis 0, 20 og 40% NaOH-behandlet halm. Halmen erstattede byg i disse blandinger.

I forsøg M 69 blev der foretaget en sammenligning mellem et normalhold, som fik en foderration med store mængder almindeligt grovfoder (roer og ensilage) og et forsøgshold, som fik en foderration bestående af moderate grovfodermængder suppleret med forsøgsfoderblandingen (Bl. 6903) som beskrevet foran.

Fodertildeling

Køerne stod i båsestalde og blev fodret individuelt. De havde fri adgang til drikkevand.

I forsøg M 35 var der 3 hold køer. Hold 1 (normalholdet) fik grovfoder i form af fodersukkerroer, kløvergræsensilage og kløvergræshø (Tabel 58). På hold 2 og hold 3 fik køerne de samme mængder af hø og ensilage som køerne på hold 1. Af roer blev der på hold 2 og hold 3 givet 2,3 f.e. mindre end på hold 1, og disse roer blev erstattet med halmcobs. På hold 2 blev der givet 4 kg halmcobs pr. daglig og på hold 3 blev der givet 5 kg daglig. Denne forskel havde sit udgangspunkt i, at der blev regnet med forskellige erstatningstal for ludbehandlet halm til de 2 hold:

Hold 2: 1,5 kg tørstof i ludet halm pr. f.e.

Hold 3: 1,9 kg tørstof i ludet halm pr. f.e.

I disse erstatningstal var foderværdien af melasse ikke indregnet.

Af kraftfoder anvendtes en C-14 blanding og en A-blanding. Mængderne af A-blanding til den enkelte ko blev reguleret en gang om ugen og styret i henhold til koens ydelse, idet der dog blev korrigeret således, at der til enhver tid blev

Tabel 58. Gennemsnitligt foderforbrug pr. ko pr. dag i forsøg M 35
Table 58. Average feed consumption per cow per day in experiment M 35

	Hold 1 Group 1			Hold 2 Group 2			Hold 3 Group 3		
	Foder Feed kg	Tørstof DM kg	F.e. ¹⁾ F.u.	Foder Feed kg	Tørstof DM kg	F.e. F.u.	Foder Feed kg	Tørstof DM kg	F.e. F.u.
C-blanding	2,5	2,28	2,83	2,5	2,28	2,84	2,5	2,28	2,83
Concentrate mix.									
A-blanding	3,5	3,02	3,39	3,5	3,01	3,37	3,5	3,03	3,40
Grain mix.									
Halmcobs	—	—	—	3,7	3,03	1,90	4,2	3,41	2,13
Straw cobs									
Kløvergræshø	1,1	1,03	0,60	1,1	1,03	0,60	1,1	1,03	0,60
Clovergrass hay									
Fodersukkerroer	25,9	5,00	4,48	12,0	2,32	2,08	12,0	2,32	2,08
Fodder beets									
Kløvergræsensilage	11,2	3,54	2,31	11,2	3,54	2,31	11,2	3,54	2,31
Clovergrass silage									
Ialt		14,87	13,61		15,21	13,10		15,61	13,35
Total									
g ford. råprot./kg 4% mælk			58			57			56
g digest. prot./kg 4% FCM									
g ford. råfedt/kg 4% mælk			28			33			31
g digest. ether extr./kg 4% FCM									
% træstof i tørstof			16,0			23,1			23,5
% crude fiber in D.M.									

¹⁾ Scandinavian feed units

givet lige mange kg kraftfoder til hvert hold, uanset om der var forskel på holdenes gennemsnitsydelse. Ændringen i mængden af A-blanding til den enkelte ko fra uge til uge var begrænset til maksimalt 0,4 kg.

Køerne fik et tilskud på 150 g dikalciumfosfat pr. ko pr. dag.

Halmcobs, som ikke blev fortæret, blev hver dag opsamlet, og en gang om ugen blev den opsamlede mængde fra den enkelte ko vejlet, og tørstofindholdet blev bestemt. På grundlag heraf blev det enkelte dyrs optagelse beregnet.

I alle de øvrige forsøg (M 46, M 47, M 63 og M 69) blev forsøgsfoderblandingerne tildelt de enkelte køer i mængder svarende til deres ydelse (0,4 f.e. pr. kg 4% mælk), idet tildelingen var baseret på en forud anslået værdi af foderblandingerne. Denne værdi var udregnet på basis af kemiske analyser og tabelværdier for de kendte foderemner i blandingerne og en energiværdi på 0,6 f.e. pr. kg tørstof i ludet halm. På normalholdet i M 69 blev A-blandingen givet efter ydelse. Fodermængderne blev dog korrigeret således, at begge eller alle hold i forsøget hele tiden fik tildelt lige mange beregnede f.e. i produktionsfoder, uanset om der var forskel på holdenes ydelse. Fodermængderne blev reguleret

Tabel 59. Gennemsnitligt foderforbrug pr. ko pr. dag i forsøg M 46
Table 59. Average feed consumption per cow per day in experiment M 46

	Led 1 Treatm. No. 1			Led 2 Treatm. No. 2		
	Foder Feed kg	Tørstof D.M. kg	F.e. ¹⁾ F.u.	Foder Feed kg	Tørstof D.M. kg	F.e. F.u.
Blanding 4601 (26% ubeh. halm) <i>Mix. No. 4601 (26% untreat. straw)</i>	8,0	6,98	6,53	—	—	—
Blanding 4602 (40% beh. halm) <i>Mix. No. 4602 (40% treat. straw)</i>	—	—	—	8,0	6,83	6,37
Fodersukkerroer <i>Fodder beets</i>	18,5	3,20	2,92	18,5	3,20	2,92
Roetopensilage <i>Beettop silage</i>	7,5	1,55	1,05	7,5	1,55	1,05
Byghalm <i>Barley straw</i>	0,8	0,68	0,20	0,8	0,68	0,20
Ialt <i>Total</i>		12,41	10,70		12,26	10,54
g ford. råprot./kg 4% mælk <i>g digest. prot./kg 4% FCM</i>			58			53
g ford. råfedt/kg 4% mælk <i>g digest ether extr./kg 4% FCM</i>			27			27
% træstof i tørstof <i>% crude fiber in D.M.</i>			15,8			18,1

¹⁾ Scandinavian feed units

Tabel 60. Gennemsnitligt foderforbrug pr. ko pr. dag i forsøg M 47
Table 60. Average feed consumption per cow per day in experiment M 47

	Led 1 <i>Treatm. No. 1</i>			Led 2 <i>Treatm. No. 2</i>		
	Foder <i>Feed</i> kg	Tørstof <i>D.M.</i> kg	F.e. ¹⁾ <i>F.u.</i>	Foder <i>Feed</i> kg	Tørstof <i>D.M.</i> kg	F.e. <i>F.u.</i>
A-blanding	—	—	—	0,1	0,09	0,10
<i>Grain mix</i>						
Blanding 4701 (40% beh. halm + byg)	14,1	12,02	10,77	—	—	—
<i>Mix. No. 4701 (40% treat. straw + barley)</i>						
Blanding 4702 (40% beh. halm + affald og melasse)	—	—	—	13,8	11,83	10,90
<i>Mix. No. 4702 (40% treat. straw + beet pulp + molasses)</i>						
Byghalm	4,0	3,40	1,01	4,0	3,40	1,01
<i>Barley straw</i>						
MgO	0,05	—	—	0,05	—	—
Ialt		15,42	11,78		15,32	12,01
<i>Total</i>						
g ford. råprot./kg 4% mælk			54			74
<i>g digest. prot./kg 4% FCM</i>						
g ford. råfedt/kg 4% mælk			30			33
<i>g digest. ether extr./kg 4% FCM</i>						
% træstof i tørstof			27,8			28,0
<i>% crude fiber in D.M.</i>						

¹⁾ *Scandinavian feed units.*

en gang om ugen, idet foderet til den enkelte ko maksimalt måtte ændres med en mængde, der svarede til en ændring i ydelsen på 1 kg 4% mælk fra uge til uge.

Tabellerne 59, 60, 61 og 62 viser, hvorledes køerne er blevet fodret i de 4 forsøg. I forsøg M 47 opstod der, som det er omtalt under forsøgsresultaterne, betydelige sundhedsmæssige problemer og dermed problemer med foderoptagelsen. 2 køer fik derfor i en enkelt uge i forsøgstiden et tilskud af A-blanding, hvilket er årsagen til, at små mængder A-blanding figurerer i foderopgørelsen (tabel 60).

I M 47 blev det foder, som ikke var fortæret, opsamlet en gang hver dag. En gang om ugen blev det opsamlede foder fra den enkelte ko vejlet, og tørstofindholdet blev bestemt. På dette grundlag blev den optagne mængde af forsøgsfoder beregnet.

I M 46 og M 47 var mineralstoffer blandet i foderblandingerne. I M 63 fik køerne på alle hold 150 g pr. dag, og i M 69 blev der givet 100 g pr. dag til hold 1

Tabel 61. Gennemsnitligt foderforbrug pr. ko pr. dag i forsøg M 63
Table 61. Average feed consumption per cow per day in experiment M 63

	Led 1 Treatm. No. 1			Led 2 Treatm. No. 2			Led 3 Treatm. No. 3		
	Foder Feed kg	Tørstof D.M. kg	F.e. ¹⁾ F.u.	Foder Feed kg	Tørstof D.M. kg	F.e. F.u.	Foder Feed kg	Tørstof D.M. kg	F.e. F.u.
Blanding 6301 (0% beh. halm)	5,8	5,02	5,93	—	—	—	—	—	—
Mix. No. 6301 (0% treat. straw)									
Blanding 6302 (20% beh. halm)	—	—	—	6,5	5,68	5,98	—	—	—
Mix. No. 6302 (20% treat. straw)									
Blanding 6303 (40% beh. halm)	—	—	—	—	—	—	7,4	6,32	6,07
Mix. No. 6303 (40% treat. straw)									
Fodersukkerroer	16,2	2,63	2,37	16,2	2,63	2,37	16,2	2,63	2,37
Fodder beets									
Kløvergræsensilage	19,3	4,29	2,92	19,3	4,29	2,92	19,3	4,29	2,92
Clovergrass silage									
Byghalm	1,0	0,94	0,28	1,0	0,94	0,28	1,0	0,94	0,28
Barley straw									
Ialt		12,88	11,50		13,54	11,55		14,18	11,64
Total									
g ford. råprot./kg 4% mælk			73			71			70
g digest prot./kg 4% FCM									
g ford. råfedt/kg 4% mælk			28			26			28
g digest. ether extr./kg 4% FCM									
% træstof i tørstof			17,3			20,3			23,7
% crude fiber in D.M.									

¹⁾ Scandinavian feed units

Tabel 62. Gennemsnitligt foderforbrug pr. ko pr. dag i M 69
Table 62. Average feed consumption per cow per day in experiment M 69

	Led 1 <i>Treatm. No. 1</i>			Led 2 <i>Treatm. No. 2</i>		
	Foder <i>Feed</i> kg	Tørstof <i>D.M.</i> kg	F.e. ¹⁾ <i>F.u.</i>	Foder <i>Feed</i> kg	Tørstof <i>D.M.</i> kg	F.e. <i>F.u.</i>
C-8 blanding	2,5	2,27	2,67	—	—	—
Concentrate mix						
Byg	1,5	1,30	1,51	—	—	—
Barley						
Blanding 6903 (40% beh. halm)	—	—	—	9,3	8,07	7,53
Mix. No. 6903 (40% treat. straw)						
Fodersukkerroer	29,5	4,73	4,30	14,7	2,37	2,15
Fodder beets						
Roetopensilage	20,0	3,68	2,58	16,0	2,94	2,06
Beettop silage						
Kløvergræshø	3,0	2,73	1,87	—	—	—
Clovergrass hay						
Byghalm	1,0	0,93	0,29	2,0	1,87	0,57
Barley straw						
Ialt		15,66	13,22		15,24	12,32
Total						
g ford. råprot./kg 4% mælk			71			60
g digest. prot./kg 4% FCM						
g ford. råfedt/kg 4% mælk			19			19
g digest. ether extr./kg 4% FCM						
% træstof i tørstof			15,3			21,1
% crude fiber in D.M.						

¹⁾ *Scandinavian feed units.*

og 150 g pr. dag til hold 2. I de 3 førstnævnte forsøg bestod mineralstofblandingen af 78% dikalciumfosfat, 18% salt og 4% mikromineralstoffer. Blandingen i M 69 bestod af 50% dikalciumfosfat, 27,5% magnesiumfosfat, 7,5% monokalciumpfosfat, 5% magnesiumoxyd, 6% salt og 4% mikromineralstoffer.

I tabellerne over fodertildelingen er mængderne af fordøjeligt råprotein og råfedt i forhold til mælkeydelsen samt indholdet af træstof i tørstoffet i totalrationen angivet. Mængderne af fordøjeligt råprotein har varieret noget omkring normalniveauet, fra ca. 55 til godt 70 g pr. kg 4% mælk. Kun i forsøg M 47 var der en væsentlig forskel mellem forsøgsleddene. Det skyldtes dels en vis forskel i proteinindholdet i de to foderblandinger (se tabel 63, side 177), men den væsentligste årsag var den store forskel, der blev fundet på proteinets fordøjelighed i forsøg med får (side 139). Det antages ikke, at proteinmængderne i noget tilfælde har spillet nogen rolle for den efterfølgende vurdering af forsøgsresultaterne.

Mængderne af fordøjeligt råfedt har i de fleste tilfælde ligget på niveauet 25–30 g pr. kg 4% mælk, men i M 69 blev der kun givet 19 g fordøjeligt råfedt pr. kg 4% mælk.

I forsøg M 47, hvor blandingerne med ludbehandlet halm blev givet som eneste foder sammen med langt, ubehandlet halm, var der et meget højt træstofindhold i rationerne, ca. 28% i tørstoffet. I de øvrige forsøg blev der givet moderate mængder af andre grovfodermidler. Når dette grovfoder indbefattede græsmarksprodukter (M 35 og M 63), kom træstofindholdet i rationen op på 23–25%, når der blev givet ialt ca. 4 kg halm. I forsøgene M 46 og M 69, hvor der blev givet roetopensilage i stedet for græsensilage, var træstofindholdet på 15–21%.

Forsøgsdyr

I forsøg M 35 indsattes 21 RDM-køer på 3 hold, hold 1, hold 2 og hold 3. På hvert hold var 2 køer i 1. laktation, 3 i 2. laktation og resten i 3.–5. laktation. Køerne var fra 47 til 142 dage fra kælvning ved forsøgsperiodens begyndelse. På de enkelte hold var den gennemsnitlige afstand fra kælvning 80–85 dage.

I forsøg M 46 indsattes 20 Jersey-køer, som alle gennemførte forsøget. 2 af køerne var i 1. laktation og resten i 2.–10. laktation. Køerne var 49–79 dage (gennemsnit 66) fra kælvning ved 1. forsøgsperiodes begyndelse.

Forsøg M 47 gennemførtes med 16 RDM-køer. 4 køer var i 1. laktation, 8 i 2. og resten i 3., 5. og 6. laktation. Afstanden fra kælvning ved 1. forsøgsperiodes begyndelse var 46–106 dage (gennemsnit 78 dage).

I M 63 indsattes 24 Jersey-køer, men en af køerne blev syg ved starten af 1. forsøgsperiode og måtte udgå. De to andre køer i samme blok er derfor også udeladt, og opgørelserne omfatter 21 køer. Der var kun en af køerne i 2. laktation, mens resten var ældre køer i 3.–10. laktation. Afstanden fra kælvning var ved 1. forsøgsperiodes begyndelse 41–79 dage (gennemsnit 57 dage).

I M 69 blev der indsat 24 Jersey-køer, 12 på hvert hold. Der blev udsat en ko fra hvert hold på grund af pattebeskadigelse og yverbetændelse. De resterende 2 køer i de to blokke, som de udsatte køer tilhørte, dannede imidlertid en ny blok, og forsøget gennemførtes med 22 dyr. 3 af køerne var i 2. laktation, resten i 3.–6. Afstanden fra kælvning ved forsøgsperiodens begyndelse var 54–91 dage (gennemsnit 77 dage).

Forsøgsmodeller

Forsøgsmodellerne, der anvendtes i de 5 forsøg, er angivet i indledningen (tabel 56). Forsøg M 35 var et holdforsøg med en forberedelses- og en efterperiode på hver 4 uger, en forsøgsperiode på 8 uger og 2 overgangsperioder på hver 2 uger.

M 46 gennemførtes som et tilbagekrydsningsforsøg efter følgende plan:

Forsøgsperiode	Hold 1	Hold 2
1	Bl. 4601	Bl. 4602
2	Bl. 4602	Bl. 4601
3	Bl. 4601	Bl. 4602

Der var 6 uger i hver periode. Foderskiftet blev foretaget i løbet af de første 2 uger i hver periode, og kun resultaterne fra de sidste 3 uger er medtaget i opgørelserne.

M 47 og M 63 blev begge gennemført som romersk kvadrat forsøg. I forsøg M 47 var der 2 perioder à 8 uger. De første 3 uger i hver periode blev brugt som overgangsperiode, og opgørelserne er baseret på resultaterne fra de sidste 5 uger i perioderne. I M 63 var der 3 perioder à 6 uger, hvoraf de 2 første i hver periode blev benyttet som overgangsperioder, og kun resultaterne fra de sidste 4 uger er indgået i opgørelserne.

I forsøg M 63 blev der tilfældigt valgt et romersk kvadrat til hver blok af forsøgskøer (3 køer i hver blok). Som eksempel vises kvadratet for blok 1:

Forsøgsperiode	Blok 1		
	Ko nr. 101	Ko nr. 201	Ko nr. 301
1	Bl. 6303	Bl. 6302	Bl. 6301
2	Bl. 6301	Bl. 6303	Bl. 6302
3	Bl. 6302	Bl. 6301	Bl. 6303

Forsøget gennemførtes således med 7 forskellige kvadrater.

I forsøg M 47, hvor der kun var to forsøgshold, anvendtes følgende plan:

Forsøgsperiode	Hold 1	Hold 2
1	Bl. 4701	Bl. 4702
2	Bl. 4702	Bl. 4701

Forsøg M 69 var et holdforsøg med en forberedelsesperiode på 4 uger, 1. overgangsperiode var på 4 uger, forsøgsperioden på 11 uger, 2. overgangstid på 3 uger og efterperioden på 3 uger.

Ydelses- og vægtkontrol

I forsøgene M 35 og M 47 blev mælkemængden bestemt i 2 døgn i hver uge ved vejning. I forsøgene M 46, M 63 og M 69 bestemtes mælkemængden i 1 døgn i hver uge ved brug af et Milko-Scope. I de to førstnævnte forsøg blev mælkens fedtindhold bestemt i de ugentlige mælkeprøver ved hjælp af en Milko-Tester, og i de tre sidstnævnte ved gerberering. I alle forsøgene blev der foretaget en

ugentlig bestemmelse af mælkens proteinindhold ved farvning med amidosort.

I alle forsøgene er der udtaget holdprøver af mælken, som blev analyseret for tørstofindhold og mælkefedtets jodtal. Sådanne prøver er udtaget 2–4 gange i forsøgsperioden i holdforsøgene og 1–2 gange i hver forsøgsperiode i overkrydsningsforsøgene.

I holdforsøget M 35 blev kørerne vejte i 3 på hinanden følgende dage i 2. og 8. uge i forsøgsperioden. I forsøg M 46 blev kørerne vejte i 2 dage i 3. og 6. uge i 1. forsøgsperiode og i 6. uge i 2. og 3. forsøgsperiode. I M 47 blev kørerne vejte i 2 dage i 4. og i 8. uge i hver forsøgsperiode, og i M 63 på tilsvarende måde i 3. og 6. uge i hver forsøgsperiode. I holdforsøget M 69 blev kørerne vejte i 2 dage i 1., 6. og 11. uge i forsøgstiden.

Udtagning af foderprøver

I forsøgsperioderne er der en gang ugentlig udtaget prøver af forsøgsfoderet samt af de anvendte kraftfoderblandinger. I forsøg M 35 blev der ligeledes udtaget prøver af grovfodermidlerne en gang om ugen, mens der i de øvrige 4 forsøg kun blev udtaget grovfoderprøver hver 14. dag. I alle prøver af roer og ensilage bestemtes tørstofindholdet. I alle ensilageprøver bestemtes desuden pH. I nogle af ensilageprøverne bestemtes indhold af flygtige fedtsyrer, mælkesyre og $\text{NH}_3\text{-N}$.

For alle fodermidler, undtagen roer, gælder, at prøverne fra hver enkelt forsøgsperiode blev blandet, og en sådan samleprøve fra hver forsøgsperiode blev analyseret ved den fuldstændige foderstofanalyse.

Fodermidlernes kemiske sammensætning og foderværdi

I tabel 63 vises den kemiske sammensætning og foderværdien af halmcobse-ne fra forsøg M 35 samt af de forsøgsfoderblandinger, der er anvendt i de øvrige 4 forsøg. De angivne foderværdier er de foreløbigt beregnede værdier. Disse værdier er i forsøgene M 46, M 47 og M 63 beregnet på grundlag af den kemiske analyse og resultaterne af fordøjelighedsforsøg med får, idet værditallet er fastlagt ud fra tabelværdien for de kendte fodermidler og en foderværdi på 0,6 f.e. pr. kg tørstof i ludbehandlet halm eller 0,3 f.e. pr. kg tørstof i ubehandlet halm. For blandingen fra M 69 er der anvendt fordøjelighedstal fra tabeller. Den angivne værdi for ludbehandlet halm i M 35 svarer ligeledes til en foderværdi på 0,6 f.e. pr. kg tørstof.

I de efterfølgende 3 tabeller (64, 65 og 66) vises den kemiske sammensætning og beregnede foderværdi af de øvrige fodermidler, der er anvendt i forsøgene M 35, M 46, M 63 og M 69. I M 47 brugtes som tidligere nævnt kun lang halm sammen med forsøgsfoderet, og denne halm blev ikke analyseret.

Kvaliteten af de anvendte grovfodermidler var i de fleste tilfælde tilfredsstillende. Dog var kløvergræsensilagen i forsøg M 63 af meget varierende kvalitet.

Roerne er ikke analyseret ved den fuldstændige foderstofanalyse. Der er i alle tilfælde regnet med en erstatningsværdi på 1,1 kg tørstof i roer pr. f.e.

Tabel 63. Kemisk sammensætning og foderværdi af forsøgsfoder anvendt i forsøgene med malkekøer
Table 63. Chemical composition and feeding value of experimental feeds used in the experiments with dairy cows

	M 35	M 46		M 47		M 63			M 69
Blanding nr. Mixture No.	Halmcobs Straw cobs ¹⁾	4601	4602	4701	4702	6301	6302	6303	6903
Antal analyser Number of analyses	1	4 ²⁾	4 ²⁾	4 ³⁾	4 ³⁾	3	3	3	3
% tørstof % dry matter	81,60	87,22	85,40	85,26	85,91	85,93	86,74	85,44	86,74
% af tørstof % of dry matter									
Råprotein Crude protein	4,11	19,32	19,45	16,80	19,00	24,78	22,15	19,67	18,38
Råfedt Ether extract	1,04	6,99	7,16	4,91	5,34	7,68	6,05	5,92	4,12
Træstof Crude fiber	42,72	18,05	22,26	22,85	23,18	6,31	14,66	22,89	1,38
N-frie ekstraktst. N-free extracts.	41,37	50,00	43,60	48,70	43,74	57,12	51,82	45,11	48,66
Aske Ash	10,76	5,64	7,53	6,74	8,74	4,11	5,32	6,41	7,46
Ca	0,54	0,62	0,77	0,89	0,86	0,13	0,20	0,26	0,35
P	0,10	0,79	0,82	0,73	0,71	0,64	0,56	0,46	0,40
Mg	0,06	0,25	0,26	0,31	0,36	0,29	0,28	0,27	0,22
Na	2,90	0,32	1,15	1,07	1,21	0,16	0,61	1,03	0,90
K	—	1,10	1,22	0,93	1,49	—	—	—	—
F.e. pr. kg Feed units per kg	0,51	0,82	0,80	0,76	0,79	1,02	0,91	0,82	0,81
g ford. råprot. pr. kg g digest. crude prot. per kg	6	123	115	90	114	166	148	128	120
g ford. fedt pr. kg g digest fat per kg	6	52	51	33	37	53	44	44	30

¹⁾ Barley straw treated with 5,4% NaOH and added 5% molasses.

²⁾ 3 for råfedt, Ca, P, Mg og Na, 2 for K. — 3 for ether extract, Ca, P, Mg and Na, 2 for K.

³⁾ 5 for tørstof, 3 for råfedt, Na og K. — 5 for dry matter, 3 for ether extract, Na and K.

Tabel 64. Kemisk sammensætning og beregnet foderværdi af fodermidler anvendt i forsøg M 35

Table 64. Chemical composition and feeding value of feeds used in experiment M 35

	C-blanding <i>Concentrate mix.</i>	A-blanding <i>Grain mix.</i>	Kløvergræs ensilage <i>Clovergrass silage</i>	Kløvergræshø <i>Clovergrass hay</i>
% tørstof <i>% dry matter</i>	89,37	86,50	31,50	92,25
% af tørstof <i>% of dry matter</i>				
Råprotein <i>Crude protein</i>	36,23	20,12	11,44	10,63
Råfedt <i>Ether extract</i>	12,64	6,57	5,73	2,31
Træstof <i>Crude fiber</i>	12,33	10,34	32,68	31,12
N-frie ekstraktst. <i>N-free extracts</i>	32,09	58,96	42,74	48,89
Aske <i>Ash</i>	6,71	4,01	7,41	7,05
Ca	0,41	0,28	0,60	0,38
P	0,90	0,57	0,35	0,25
Mg	0,47	0,25	0,22	0,12
Energiværdi <i>Energy value</i>	1,11 ¹⁾	0,97 ¹⁾	1,54 ²⁾	1,72 ²⁾
g ford. råprotein <i>g digest protein</i>	269 ³⁾	139 ³⁾	74 ⁴⁾	62 ⁴⁾
g ford. råfedt <i>g digest. crude fat</i>	112 ³⁾	54 ³⁾	40 ⁴⁾	16 ⁴⁾

¹⁾ F.e. pr. kg foder – *F.u. per kg feed.*

²⁾ Kg tørstof pr f.e. – *Kg dry matter per f.u.*

³⁾ Pr. kg foder – *Per kg feed.*

⁴⁾ Pr. kg tørstof – *Per kg dry matter.*

Fordøjelighedsforsøg

Fordøjeligheden af halmcobs fra M 35 samt af forsøgsfoderblandingerne fra M 46, M 47 og M 63 er bestemt i forsøg med får. Fårene blev fodret med 800 g halmcobs plus 270 g sojaskrå. Foderblandingerne fra M 46 og M 47 blev givet alene i mængder på 1000 g pr. får pr. dag, mens der af blandingerne fra M 63 blev givet 800 g pr. dag sammen med 200 g hø. Fårene blev fodret med forsøgsfoderet i 3–4 uger, og i den sidste uge blev der foretaget totalopsamling af gødning.

Tabel 65. Kemisk sammensætning og foderværdi af fodermidler anvendt i forsøgene M 46 og M 63

Table 65. Chemical composition and feeding value of feeds used in the experiments M 46 and M 63

Forsøg nr. Experiment No.	M 46	M 63			
	1, 2 og 3 1, 2 and 3 Roetopensilage Beet top silage	1	2	3	1, 2 og 3 1, 2 and 3 Byghalm Barley straw
Antal analyser Number of analyses	3 ¹⁾	1 ²⁾	1 ²⁾	1 ²⁾	1
% tørstof % dry matter	20,7	18,5	24,0	24,3	94,17
% af tørstof % of dry matter					
Råprotein Crude protein	14,94	16,57	17,53	17,38	5,04
Råfedt Ether extract	2,92	5,53	6,41	6,51	2,27
Træstof Crude fiber	13,49	29,73	30,14	34,02	42,79
N-frie ekstraktst. N-free extraxts	41,30	32,38	37,45	33,29	45,24
Aske Ash	27,35	15,79	8,47	8,80	4,66
Ca	2,19	0,89	0,63	0,57	0,46
P	0,19	0,34	0,25	0,29	0,07
Mg	0,49	0,23	0,16	0,16	0,07
Na	0,68	0,33	0,28	0,19	0,13
K	2,26	—	—	—	—
Kg tørstof/f.e.	1,48	1,52	1,40	1,51	3,40
Kg D.M./f.u					
g ford. råprot./kg tørst.	103	122	131	130	10
g digest. prot./kg D.M.					
g ford. råfedt/kg tørst.	23	39	45	44	10
g digest. ether extr./kg D.M.					

1) 8 for tørstof, 2 for K – 8 for dry matter, 2 for K.

2) 3 for tørstof – 3 for dry matter.

c. Forsøgsresultater

Fordøjelighed

Resultaterne af fordøjelighedsforsøgene findes i afsnit II. B.3. (side 132). Fordøjeligheden af organisk stof i halmcobs fra forsøg M 35 var 66,8% (sx: 1,19), hvilket svarer til, at fordøjeligheden af organisk stof i ren ludbehandlet halm, korregeret for indholdet af melasse, var 65,6% (sx: 1,25). Det er i god

Tabel 66. Kemisk sammensætning og foderværdi af fodermidler anvendt i forsøg M 69
Table 66. Chemical composition and feeding value of feeds used in experiment M 69

	C-8 blanding Concentrate mix.	Byg Barley	Roetop- ensilage Beet top silage	Kløvergræs- hø Clovergrass hay	Byghalm Barley straw
Antal analyser <i>Number of analyses</i>	1	1	1 ¹⁾	1	1
% tørstof <i>% dry matter</i>	89,62	86,11	18,39	90,95	93,30
% af tørstof <i>% of dry matter</i>					
Råprotein <i>Crude protein</i>	36,88	13,63	15,19	16,81	3,63
Råfedt <i>Ether extract</i>	8,57	2,41	3,47	2,30	2,29
Træstof <i>Crude fiber</i>	12,13	3,93	14,96	28,17	48,06
N-frie ekstraktst. <i>N-free extracts</i>	34,73	78,09	41,71	46,83	43,77
Aske <i>Ash</i>	7,69	1,94	24,67	5,89	2,25
Ca	0,42	0,08	2,20	0,49	0,49
P	0,96	0,37	0,21	0,31	0,06
Mg	0,50	0,11	0,45	0,16	0,05
Na	0,43	0,03	0,60	0,16	0,06
Energiværdi <i>Energy value</i>	1,06 ²⁾	1,00 ²⁾	1,43 ³⁾	1,46 ³⁾	3,27 ³⁾
g ford. råprot. <i>g digest. prot.</i>	274 ⁴⁾	88 ⁴⁾	105 ⁵⁾	114 ⁵⁾	7 ⁵⁾
g ford. råfedt <i>g digest. ether extr.</i>	74 ⁴⁾	16 ⁴⁾	28 ⁵⁾	17 ⁵⁾	10 ⁵⁾

¹⁾ 4 for tørstof – 4 for dry matter.

²⁾ F.e pr. kg – *Sc.f.u. per kg.*

³⁾ Kg tørstof pr. f.e. – *Kg dry matter per Sc.f.u.*

⁴⁾ Pr. kg foder – *Per kg feed.*

⁵⁾ Pr. kg tørstof – *Per kg dry matter.*

overensstemmelse med, hvad der er fundet i andre fordøjelighedsforsøg ved samme NaOH-niveau (side 135). Fordøjeligheden af organisk stof i foderblandingerne med 40% ludbehandlet halm eller 26% ubehandlet halm varierede mellem 71 og 76% (side 138).

Køernes sundhedstilstand og ædelyst

I forsøg M 35 var der 2 køer på hvert af holdene 1 og 3, som blev behandlet for yverbetændelse. På hold 2 var der 2 køer, som en kort overgang havde diarré og

vomlammelse. Hos en af de sidstnævnte køer samt en anden ko på hold 2 skete der et pludseligt fald i ydelsen.

I forsøgene M 46, M 63 og M 69 var sundhedstilstanden generelt god. Som nævnt under beskrivelsen af forsøgsdyrene blev enkelte dyr udsat af forsøgene. Herudover forekom der i M 46 3 og i M 69 1 tilfælde af yverbetændelse.

I forsøg M 47 forekom der alvorlige problemer med dyrenes sundhedstilstand og ædelyst. Ved afslutningen af overgangen til forsøgsfoderet i første forsøgsperiode, på et tidspunkt hvor alle køerne fik 15 kg forsøgsfoderblanding samt 0–5 kg A-blanding efter ydelse og lang halm efter ædelyst, opstod der akutte problemer med foderoptagelsen, og mælkeydelsen faldt brat. Problemerne var værst hos de køer, som i denne periode blev fodret med blanding 4702 (hold 2). I en enkelt uge blev der vejret foder tilbage fra samtlige dyr på dette hold. I en periode på 2–4 uger var der 4 køer på hvert hold, som havde en nedsat ædelyst. Hos en af køerne på hvert hold varede dette ved i hele første forsøgsperiode.

Hos 3 af køerne på hold 2 observeredes der samtidig med den nedsatte ædelyst kliniske symptomer i form af muskelsitren eller kramper. Symptomerne mindede om Mg-mangel.

På dette tidspunkt blev indholdet af Ca, P og Mg i blodet undersøgt hos 2 tilfældigt udvalgte blokke af forsøgsdyr (2 dyr fra hvert hold) samt fra et af de dyr på hold 2, som havde haft symptomer på forstyrrelser i mineralstofomsætningen (ko nr. 201).

Alle prøverne viste et normalt indhold af Ca og P i blodet (hhv. 9,3–9,9 og 6,3–8,2 mg pr. 100 ml), og hos de 2 køer fra hold 1 var det samme tilfældet for Mg-indholdet (1,92 og 2,01 mg pr. 100 ml). Hos ko nr. 201 var Mg-indholdet derimod udpræget lavt (1,14 mg pr. 100 ml), og hos en af de andre køer på hold 2 var det i underkanten af normalområdet (1,50 mg pr. 100 ml).

Mængden af Mg i foderet var rigeligt høj (45–50 g til dækning af et behov på 25–30 g daglig). De kliniske symptomer samt blodundersøgelserne tyder på, at der kan have været brist i Mg-udnyttelsen på hold 2. Observationerne giver intet holdepunkt for, at det samme har været tilfældet på hold 1. Selv om der skulle være Mg nok i foderet, blev der under resten af forsøget givet yderligere et tilskud på 50 g MgO pr. ko pr. dag.

Nogle af køerne i forsøg M 35 var ikke i stand til at optage de tildelte mængder af halmcobs (hhv. 4 og 5 kg på hold 2 og hold 3). Den gennemsnitlige optagelse blev således kun på 3,7 kg halmcobs på hold 2 og 4,2 kg på hold 3 (tabel 58). På hold 2 var der 2 køer, som kun optog gennemsnitligt 3,0 og 3,3 kg halmcobs pr. dag i forsøgstiden. På hold 3 var der 4 køer, som kun optog henholdsvis 3,2, 3,2, 3,8 og 3,9 kg halmcobs. Alle de nævnte køer blev ved med at levne af forsøgsfoderet hele forsøgsperioden igennem. Den gennemsnitlige tørstofoptagelse er vist i tabel 58. Den højestydende ko på hold 3 (29,6 kg 4% mælk i forsøgsperioden) optog i gennemsnit 19,4 kg tørstof pr. dag (3,36 kg pr. 100 kg legemsvægt).

Table 67. Køernes gennemsnitlige daglige mælkeydelse, vægt og vægtændringer samt ydelsesudslagene i forsøg M 35
Table 67. Average daily milk yield, live-weight and weight change of the cows and deviations¹⁾ in yield in the experimental period in experiment M 35

	Mælk Milk kg	Fedt Fat %	Smørfedt Milkfat g	Protein		4% mælk 4% FCM kg	Vægt Weight kg	Vægtændring Weight change kg
				%	g			
Forberedelsestid								
<i>Pre-experimental period</i>								
Hold ²⁾ 1	22,3	4,50	1006	3,51	785	24,0		
Hold 2	23,7	4,43	1049	3,37	798	25,2		
Hold 3	22,8	4,69	1068	3,46	787	25,1		
Forsøgstid								
<i>Experimental period</i>								
Hold 1	21,1	4,26	901	3,44	727	22,0	582	÷7
Hold 2	19,0	4,20	798	3,38	642	19,6	586	204
Hold 3	20,1	4,24	854	3,44	692	20,9	585	68
S $\bar{x}$	0,92	0,091	38,6	0,049	30,0	0,92		80,3
Eftertid								
<i>Post-experimental period</i>								
Hold 1	17,9	4,48	799	3,89	694	19,1		
Hold 2	15,5	4,36	675	4,06	629	16,3		
Hold 3	17,4	4,45	775	4,02	701	18,6		
Udslag								
<i>Deviations</i>								
Hold 1	1,0	÷0,22	÷ 2	÷0,26	÷12	0,4		
Hold 2	÷0,6	÷0,19	÷64	÷0,33	÷72	÷1,2		
Hold 3	0,0	÷0,33	÷68	÷0,30	÷52	÷1,0		
S $\bar{x}$	0,40	0,045	14,3	0,045	13,4	0,36		
Hold 2 ÷ hold 1	÷1,6	0,04	÷62	÷0,07	÷59	÷1,6		
Hold 3 ÷ hold 1	÷1,0	÷0,11	÷66	÷0,04	÷40	÷1,4		

¹⁾ Deviation from the average of the pre- and post-experimental periods.

²⁾ Group.

Tabel 68. Køernes gennemsnitlige ydelse, vægt og vægtændringer i forsøgene M 46, M 47, M 63 og M 69
Table 68. Average milk yield, live-weight and weight change of the cows in the experiments M 46, M 47, M 63 and M 69

Forsøgsled <i>Treatment No.</i>	Antal køer <i>Number of cows</i>	Mælk <i>Milk</i> kg	Fedt <i>Fat</i> %	Smørfedt <i>Milkfat</i> g	Protein		4% mælk <i>4% FCM</i> kg	Vægt <i>Weight</i> kg	Vægtændring <i>Weight change</i> g
					%	g			
M 46									
4601	20	12,2	6,45	788	4,26	521	16,7	432	(-11)
4602	20	12,3	6,55	805	4,20	516	17,0	431	(154)
M 47									
4701	16	15,5	4,45	691	3,38	525	16,6	565	239
4702	16	15,4	4,42	680	3,30	507	16,4	560	63
S $\bar{x}$		0,34	0,094	17,1	0,026	12,8	0,36		120,2
M 63									
6301	21	14,2	5,86	831	4,00	569	18,2	435	209
6302	21	14,8	5,79	850	4,01	590	18,7	437	177
6303	21	14,5	5,95	858	3,98	575	18,7	439	274
S $\bar{x}$		0,21	0,058	11,9	0,019	8,5	0,25		71,6
M 69									
Hold ¹⁾ 1	11	15,1	5,97	904	4,39	665	19,6	440	355
Hold 2	11	15,6	5,98	935	4,31	673	20,3	440	152
S $\bar{x}$		0,43	0,076	21,4	0,031	19,1	0,48		38,3

¹⁾ Group.

I forsøg M 47 var der som foran beskrevet manglende ædelyst i forbindelse med de sundhedsmæssige problemer i 1. forsøgsperiode.

I de 3 øvrige forsøg (M 46, M 63 og M 69), hvor halmen blev givet i blandinger sammen med et basisfoder bestående af moderate mængder af roer, ensilage og langt halm, var ædelysten i alle tilfælde god, og alt det tildelte foder blev fortæret uden problemer.

Køernes mælkeydelse og vægtændringer

Resultaterne af forsøget med halmcobs, forsøg M 35, er gengivet i tabel 67, der viser den gennemsnitlige mælkeydelse i forberedelsestid, forsøgstid og eftertid, køernes vægt og vægtændringer i forsøgstiden samt ydelsesudslagene i forsøgstiden.

Mælkeydelsen var i forsøgstiden noget lavere hos forsøgsholdene end hos normalholdet, og især havde hold 2 en stærk nedgang. Forskellen på gennemsnitstallene var dog ikke signifikante. Ydelsesudslaget i forsøgstiden, beregnet som differencen mellem ydelsen i forsøgstiden og gennemsnittet af ydelsen i forberedelses- og eftertiden, viser, at ydelsen på begge forsøgshold i forsøgstiden har været påvirket negativt i forhold til ydelsen på normalholdet. Udslagene i mængderne af mælk, smørfedt, mælkeprotein og 4% mælk var signifikant forskellige ($P < 0,05$). Newman-Keuls test (Steel og Torrie, 1960) viste, at udslagene i mængderne af smørfedt og 4% mælk på begge forsøgsholdene var signifikant forskellige fra udslagene på normalholdet ($P < 0,05$). For udslagene i mælk og mælkeprotein var der signifikante forskelle mellem normalholdet og hold 2 ($P < 0,05$). Der var ingen signifikante forskelle mellem de to forsøgshold.

Til gengæld var tilvæksterne højere på forsøgsholdene end på normalholdet, især på hold 2. På grund af den store spredning på disse tal, var disse forskelle dog ikke signifikante ($P < 0,05$).

Der var kun meget små og ikke signifikante forskelle mellem holdene med hensyn til mælkens fedt- og proteinindhold.

Resultaterne fra de øvrige forsøg er samlet i tabel 68, der viser den gennemsnitlige mælkeydelse, vægt og vægtændringer hos køerne i overkrydsningsforsøgene M 46, M 47 og M 63 samt de tilsvarende gennemsnitstal fra forsøgstiden i holdforsøget M 69.

Det fremgår af disse tal, at der med hensyn til mælkemængden og mælkens sammensætning kun har været små forskelle mellem forsøgslæddene i de enkelte forsøg. Ydelsestallene fra forsøg M 47 kan på grund af de sundhedsmæssige problemer ikke anvendes til en sammenligning af de to foderblandingers foder-værdi, idet ydelsesforløbet var helt unormalt. I løbet af en periode på 6 uger i første forsøgsperiode faldt den gennemsnitlige daglige mælkeydelse med 9 kg 4% mælk fra 25 til 16 på hold 2 og med 6 kg fra 25 til 19 på hold 1.

I de 3 øvrige forsøg var der ingen signifikante forskelle på ydelsestallene

($P > 0,05$) undtagen for proteinprocenten i M 46. Sidstnævnte forskel var meget lille (4,26 i led 1 mod 4,20 i led 2) men signifikant ($P < 0,05$).

I M 69 var der heller ingen signifikante forskelle på ydelsesudslagene i forsøgstiden beregnet som differencen mellem ydelsestallene i forsøgstiden og gennemsnittet af ydelsestallene i forberedelses- og eftertiden. Disse tal er ikke medtaget i tabellen.

Tilvæksttallene fra forsøg M 46 er sat i parentes, idet der i dette forsøg kun blev foretaget vejning af forsøgsdyrene ved afslutningen af forsøgsperioderne, således at intervallet mellem vejningerne også omfatter overgangsperioden. Disse tal må derfor tages med forbehold. Tallene tyder på, at der har været en større tilvækst i led 2 med behandlet halm end i led 1 med ubehandlet halm.

I M 63, hvor der blev givet blandinger med 0, 20 og 40% halm, var der ikke signifikant sammenhæng mellem halmindholdet i foderet og tilvæksten ($P > 0,05$). I led 3 registreredes en noget højere gennemsnitlig tilvækst end i led 1 og led 2, men hos en enkelt ko noteredes der en meget høj tilvækst i den periode,

Tabel 69. Tørstofindholdet i mælken og mælkefedtets jodtal
Table 69. Total solids content in milk and the iodine number of milk fat

Forsøgsled <i>Treatm. No.</i>	Antal analyser <i>Number of analyses</i>	Tørstof, % <i>Solids, %</i>	Jodtal <i>Iodine number</i>
M 35			
Hold 1 ¹⁾	3 ²⁾	13,05	34,3
Hold 2	3 ²⁾	12,70	34,7
Hold 3	3 ²⁾	12,97	35,6
M 46			
4601	3	15,97	26,4
4602	3	16,04	27,0
M 47			
4701	4 ³⁾	12,65	33,6
4702	4 ³⁾	12,79	33,5
M 63			
6301	6	15,19	27,6
6302	6	15,13	27,1
6303	6	15,21	27,8
M 69			
Hold 1 ¹⁾	3	15,80	25,1
Hold 2	3	15,70	22,8

¹⁾ Group

²⁾ 2 for jodtal – 2 for iodine number.

³⁾ 3 for jodtal – 3 for iodine number.

hvor koen var i led 3. Udelades denne observation, var den gennemsnitlige tilvækst i led 3 195 g og dermed på samme niveau som i de to andre forsøgsled.

I M 69 var tilvæksten ca. 200 g større på normalholdet end på forsøgsholdet, og denne forskel var signifikant ($P < 0,01$). På grund af, at den foreløbige vurdering af fodermidlernes foderværdi under forsøget har afvejet lidt fra de endeligt beregnede værdier, viser slutberegningerne imidlertid også, at energitildelingen har været højere på hold 1 end på hold 2 (13,2 f.e. mod 12,3) (tabel 62).

Resultaterne af bestemmelserne af mælkenes tørstofindhold og mælkefedtets jodtal er for alle forsøgene vist i tabel 69. I forsøg M 35 var der i forsøgstiden en signifikant forskel mellem holdene med hensyn til mælkenes tørstofindhold ($P < 0,01$). Tørstofindholdet var lavere hos hold 2 end hos de to andre hold. Denne forskel skyldes dog næppe forsøgsbehandlingerne. Hold 2 havde også et lidt lavere tørstofindhold i efterperioden, og både fedt- og proteinindholdet var gennemgående lidt lavere end hos de to andre hold under hele forsøget.

I de øvrige forsøg var der meget små og ikke signifikante forskelle på tørstofindholdet i mælken fra de forskellige forsøgsled.

I de fire første forsøg var der ingen sikre forskelle på mælkefedtets jodtal i de forskellige forsøgsled. I M 69 var jodtallet godt 2 enheder højere på det hold, der blev fodret med et normalt foder end på holdet, der fik en foderblanding med ludbehandlet halm. Denne forskel var signifikant ($P < 0,05$).

Mængderne af råfedt i foderet har i alle forsøgene med Jerseykøer (M 46, M 63 og M 69) været for lave til at sikre et tilfredsstillende jodtal i mælkefedtet.

For at undersøge, om indholdet af mineralstoffer i mælken kan blive påvirket af, at køerne får noget større mængder af Na i foderet end normalt, blev mælkenes indhold af makromineralstoffer bestemt i forsøgene M 46 og M 47. Resultaterne findes i tabel 70. Tallene for indhold af Na i forsøg M 47 er udeladt på grund af en for stor spredning på resultaterne. De forskellige forsøgsbehandlinger medførte ingen forskelle i mælkenes mineralstofindhold.

Tabel 70. Indhold af mineralstoffer i mælken i forsøgene M 46 og M 47, %.
Table 70. Content of minerals in the milk in the experiments M 46 and M 47, %.

	Forsøgsled - Treatment No.			
	4601	4602	4701	4702
Antal analyser	3	3 ¹⁾	4	4
<i>Number of analyses</i>				
Ca	0,15	0,15	0,12	0,12
P	0,12	0,12	0,096	0,095
Mg	0,014	0,014	0,013	0,013
Na	0,089	0,069	—	—
K	0,15	0,14	0,14	0,14

¹⁾ 2 for Na - 2 for Na.

d. Diskussion

I de 5 produktionsforsøg, der er gennemført med malkekøer, er halm blevet indplaceret i foderrationen på forskellige måder. I de 4 af disse forsøg (M 35, M 46, M 63 og M 69) er der givet moderate mængder af ludbehandlet halm, i gennemsnit 3–4 kg pr. ko pr. dag og maksimalt 4–6 kg. I M 47, hvor pelleterede foderblandinger blev givet som eneste foder sammen med lang, ubehandlet bygalm, blev der i gennemsnit givet ca. 5,5 kg ludbehandlet halm pr. ko om dagen. I begyndelsen af 1. forsøgsperiode fik køerne i dette forsøg 15–20 kg foderblanding om dagen, hvilket svarer til, at der er givet 6–8 kg ludbehandlet halm.

Denne fodring gav anledning til alvorlige sundhedsmæssige problemer, og de kliniske symptomer og undersøgelser tydede på, at nogle af køerne bl.a. led af magnesiummangel. Der var på samme tidspunkt tilsvarende problemer hos nogle dyr i den øvrige del af besætningen, så det er muligt, at forsøgsdyrene forud var disponeret herfor.

Det er ikke muligt på det foreliggende grundlag at afgøre, om det anvendte forsøgsfoder generelt kan medføre forøget risiko for forstyrrelser af højtydende dyrs sundhed. Køerne har med dette foder fået betydelige mængder af overkydende NaOH, som belaster dyrenes syre-base regulering (se afsnit II.B.1., side 108). Dyrenes tolerancegrænse kendes imidlertid ikke. Den NaOH-behandlede halm har ligeledes et stort natriumindhold. Ved behandling med 5% NaOH tilføres der til hvert kg halm ca. 25 g natrium, som dyrene skal udskille med urinen. I østtyske undersøgelser er der fundet udskillelse af protein i urinen hos køer ved fodring med NaOH-behandlet halm (122 g natrium i foderet pr. ko pr. dag) (Voigt og Piatkowski, 1974), hvilket tolkes som et muligt udtryk for belastning af nyrerne. Det vides ikke, om disse forhold i forsøg M 47 kan have medvirket til at fremkalde den tilsyneladende forstyrrelse af mineralstofomsætningen og den dermed forbundne magnesiummangel. Køerne fik i begyndelsen af 1. forsøgsperiode 150–200 g natrium om dagen.

Det er sandsynligt, at den stærke foderændring fra store mængder almindeligt grovfoder i forberedelsestiden til store mængder pelleteret foder kan have været belastende og derfor medvirket til problemernes opståen. Der var for lidt strukturfoder i de foderrationer, der blev givet i forsøg M 47, og køerne viste en stærk trang til lang halm, hvoraf de i overgangssugerne optog 4–5 kg pr. ko daglig. Efter at de akutte problemer var overstået, fortsatte ydelsen med at falde for brat, hvilket kan skyldes rationernes karakter. Det er tidligere erfaret, f.eks. i forsøg med kunsttørret foder (Andersen og Christiansen, 1970), at et pelleteret tørfoder givet sammen med halm (halm efter ædelyst) til malkekøer resulterer i en for ringe foderudnyttelse.

I forsøg M 35, hvor ludet halm iblandet 5% melasse blev givet som erstatning for roer og som fast bestanddel af grundfoderet, var mælkeydelsen på de to forsøgshold, som fik ludet halm, noget lavere end på normalholdet. Der var på

de to forsøgshold et negativt ydelsesudslag i forsøgstiden på ca. 1,5 kg 4% mælk i forhold til normalholdet. Den lavere ydelse blev kompenseret af en højere tilvækst. I forsøgene M 46, M 63 og M 69 var der i alle tilfælde tendens til en højere ydelse af smørfedt og 4% mælk i de forsøgsled, hvor der blev givet ludet halm, end i de forsøgsled, der blev sammenlignet med (tabel 68). Ydelsesforskellene har dog i disse 3 forsøg været små og ikke signifikante. Resultaterne i forsøg M 46 tydede på en større tilvækst ved fodring med ludbehandlet halm end med ubehandlet halm, mens der i forsøg M 63 ikke fandtes væsentlige forskelle på tilvæksten. Kun i M 69 var der en signifikant lavere tilvækst ved fodring med ludbehandlet halm end på normalfoderet, men denne forskel var sandsynligvis begrundet i en lavere energitildeling til forsøgsholdet end til normalholdet.

I forsøg M 35 blev den ludede halm tildelt i mængder, der svarede til en energiværdi på henholdsvis 0,67 og 0,53 f.e. pr. kg tørstof på de to forsøgshold. I alle de øvrige forsøg blev halmen tildelt i mængder, der svarede til en energiværdi på 0,60 f.e. pr. kg tørstof. Ud fra disse forudsætninger er det tilstræbt at tildele samme mængde nettoenergi i de forskellige forsøgsled i hvert forsøg, således at der skulle forventes samme produktionsresultat i disse forsøgsled, dersom den forud skønnede energiværdi af forsøgsfoderet var korrekt. Ud fra de opnåede resultater kan det konkluderes, at udnyttelsen af den ludede halm til mælkeproduktion fuldt ud har svaret til den skønnede værdi på 0,60 f.e. pr. kg tørstof.

En mere detaljeret diskussion af energiværdien af ludbehandlet halm er baseret på resultaterne af samtlige gennemførte fodrings- og fordøjelighedsforsøg i afsnit II.B.8., side 201.

I et østtysk forsøg med malkekøer (Piatkowski, 1976) fandtes kun en lille forskel på mælkeydelsen ved fodring med lige store mængder (7 kg pr. ko pr. dag) af to blandinger med ca. 40% ubehandlet henholdsvis NaOH-behandlet hvedehalm (25,5 og 26,6 kg 4% mælk). Forskellen på fordøjeligheden af organisk stof i de to blandinger (72% i blandingen med ubehandlet halm mod 79% i blandingen med behandlet halm) antyder en noget større forskel i energiværdi end den, der er kommet til udtryk ved ydelsesforskellen. Forskellen i energioptagelsen på det anvendte høje foderniveau og i den korte forsøgsperiode (4 uger) kan imidlertid også vanskeligt komme fuldt ud til udtryk i ydelsen. Der må forventes en lavere merydelse for de sidst tilførte f.e.

I 40'erne udførtes der i Norge 3 malkekoforsøg med halm, ludbehandlet efter Beckmann's metode (Homb, 1948). Der blev i disse forsøg givet ca. 3 kg tørstof i ludet halm pr. ko pr. dag. I disse forsøg fandtes det, at ludet halm med en fordøjelighed af organisk stof på ca. 66% havde en energiværdi på 0,74 f.e. pr. kg tørstof.

Et indhold af ludet halm i foderrationen forøger mængden af omsættelig cellulose og hemicellulose, hvilket vil stimulere eddikesyreproduktionen i

Tabel 71. Eksempler på foderplaner med ludbehandlet halm til malkekøer*Table 71. Examples of diets containing treated straw to dairy cows*

Ration	1	2	3	4
Roer/melasse/roeaffald, f.e.	3	3	3	3
<i>Beets/molasses/bee pulp, Sc.f.u.</i>				
Græsensilage, kg tørstof	0	3	6	8
<i>Grass silage, kg dry matter</i>				
Behandlet halm, kg tørstof	6,5	4,0	1,5	—
<i>Treated straw, kg dry matter</i>				
Byg, kg	1,8	2,5	3,2	3,7
<i>Barley, kg</i>				
Oliekager (C-bl.), kg	6,2	5,0	3,8	3,0
<i>Oil cakes, kg</i>				

vommen (se afsnit II.B.1., side 108). En sådan forgæringstype vil stimulere mælkefedtsyntesen i mælkekirtlerne. I de sammenligninger, der er gjort i de gennemførte produktionsforsøg, har der imidlertid ikke været nogen signifikante forskelle på mælkens sammensætning, hverken hvad angår indholdet af fedt, protein eller tørstof. Det kan derfor konkluderes, at anvendelsen af ludet halm i foderrationen ikke ændrer mælkens sammensætning i forhold til den sammensætning, der forekommer ved fodring med en normal, afbalanceret foderration.

Selv om halmens fordøjelighed og foderværdi bliver forøget væsentligt ved ludbehandling, er den stadig et fodermiddel med en relativ lav energiværdi og er derfor et fyldende foder. Ludbehandlet halm vil naturligt indgå i foderrationen som erstatning for andre grovfodermidler, i almindelighed for græsmarksprodukter. Dyrenes optagelse af halm vil være stærkt afhængig af mængden af andre grovfodermidler i rationen. På grundlag af resultaterne af de hidtil gennemførte fodringsforsøg er der i tabel 71 opstillet nogle typer af foderrationer til malkekøer af de store racer i den første del af laktationsperioden.

Som forudsætning for disse planer gælder, at ensilagen er af god kvalitet, og at halmen er effektivt behandlet (fordøjelighed af organisk stof ca. 65%). Med disse rationer vil køer på 550 kg i gennemsnit kunne optage ca. 16 f.e. pr. dag. Når der er tale om NaOH-behandlet halm, må det endnu betragtes som usikkert, om de største mængder halm af hensyn til dyrenes sundhedstilstand vil kunne anvendes uafbrudt over lange perioder. NaOH-tilsætningen til halmen bør ikke væsentligt overstige 4%, idet det vil forøge indholdet af natrium og overskydende NaOH uden at medføre en betydelig yderligere stigning i halmens foderværdi. Af hensyn til foderets fysiske struktur er ration 1 i tabellen ikke acceptabel, hvis der anvendes stærkt findelt, pelleteret halm.

7. Produktionsforsøg med ungtyre

a. Indledning

Der er udført to produktionsforsøg, hvor værdien af NaOH-behandlet byg-halm i foderrationen til ungtyre er belyst. I det første forsøg, K 34, sammenlignes to foderblandinger, der indeholdt henholdsvis ubehandlet og NaOH-behandlet byg-halm, med hensyn til virkningen på foderoptagelse, tilvækst og foderudnyttelse. Der indgik kun 12 dyr i dette forsøg. I det andet forsøg indgik 40 dyr, og værdien af behandlet og ubehandlet halm er sammenlignet på to forskellige niveauer i kraftfoderblandingen. Endvidere er det undersøgt, om dyrenes proteinbehov er højere end normen angiver, når der fodres med ludbe-handlet halm.

b. Materialer og metoder

Begge produktionsforsøg er udført på Statsfængslet Renbæk – K 34 i tidsrummet juni 1973 til marts 1974 og K 45 fra marts 1975 til maj 1976. Forsøgene er gennemført med ungtyre i vægtintervallet mellem henholdsvis ca. 290–500 kg og 230–445 kg. Dyrene fra K 34 blev slagtet på Tulip Slagteriernes afd. i Grindsted, mens slagtingerne i K 45 fandt sted på Sydvestjyske Andelsslagteri-ers afd. i Ansager.

Tabel 72. Foderblandingerne procentiske sammensætning (K 34)

Table 72. Composition of pelleted feed mixtures, per cent (experiment K 34)

	Bl. N (hold N) Mix. N (Group N)	Bl. F (hold F) Mix. F (Group F)
Sojaskrå	5,0	7,0
Soybean meal		
Melasse	8,0	8,0
Molasses		
Byg, valset	58,5	45,5
Barley, rolled		
Byghalm, snittet	27,0	–
Barley straw, chopped		
Byghalm, snittet og ludet	–	38,0
Barley straw, chopped and NaOH-treated		
Kridt	0,4	0,3
CaCO ₃		
Dikalciumfosfat	0,6	0,7
CaHPO ₄ , 2H ₂ O		
Salt	0,2	0,2
NaCl		
Vitamin-mikromineralblanding*)	0,3	0,3
Mix. with vitamins and microminerals		

*) Vitamin-mikromineralblanding indeholder pr. gram: 1500 i.e. A-vitamin, 200 i.e. D₃-vitamin, 2000 mikrogram E-vitamin, 40 mg jernsulfat, 20 mg kobbersulfat, 40 mg zinkoxyd, 30 mg manganoxyd, 0,2 mg koboltsulfat, 0,1 mg kaliumjodid.

I tilknytning til forsøg K 45 er fordøjeligheden af blandingerne undersøgt i fordøjelighedsforsøg med får. Bioteknisk Institut i Kolding foretog strukturanalyser af blandingerne i begge forsøg.

Forsøgsplaner

K 34. Der indgik 12 SDM-ungtyre fordelt på to hold, der fik henholdsvis 27% ubehandlet (hold N) og 38% ludbehandlet halm (hold F) i foderblandingen. De to blandinger, der er vist i tabel 72, skulle ifølge foreløbige beregninger have samme foderenhedsindhold, idet det forudsattes, at foderværdien af halm blev ca. fordoblet ved ludbehandling.

Tabel 73. Forsøgsplan (K 45)
Table 73. Experimental plan (K 45)

Hold Group	Halmbehandling Treatment of straw	% halm i foderbl. Straw in the feed mixture per cent	Proteinniveau Protein level
N 20 n	ubehandlet (untreated)	20	normal (normal)
N 20 h	ubehandlet	20	høj (high)
N 40 n	ubehandlet	40	normal (normal)
N 40 h	ubehandlet	40	høj (high)
F 20 n	ludbehandlet (NaOH-treated)	20	normal (normal)
F 20 h	ludbehandlet	20	høj (high)
F 40 n	ludbehandlet	40	normal (normal)
F 40 h	ludbehandlet	40	høj (high)

Tabel 74. Foderblandingerne procentiske sammensætning (K 45)
Table 74. Composition of the pelleted feed mixtures, per cent (K 45)

	Hold (Group)			
	N 20 n/ F 20 n	N 20 h/ F 20 h	N 40 n/ F 40 n	N 40 h/ F 40 h
Sojaskrå	4	14	4	12
Soybean meal				
Byg	68	58	48	40
Barley				
Melasse	8	8	8	8
Molasses				
Byghalm	20	20	40	40
Barley straw				

Foderblandingerne blev givet efter ædelyst som eneste foder sammen med maksimalt 0,7 kg hø pr. dyr daglig.

K 45. I dette forsøg indgik 40 SDM-ungtyre fordelt på 8 undergrupper à 5 dyr. Som det ses i tabel 73 sammenlignedes værdien af ludbehandlet og ubehandlet halm på to forskellige niveauer, henholdsvis 20 og 40% halm i foderblandingen og ved to forskellige proteinniveauer, svarende til ca. 100 og 130 g ford. råprotein pr. f.e. Det bemærkes, at holdbetegnelsen i tabel 73 direkte refererer til forsøgsbehandlingerne.

Foderblandingernes sammensætning til de 8 hold er vist i tabel 74.

Proteinmængden er hævet fra det laveste niveau ved at øge mængden af sojaskrå i blandingerne, mens halmindholdet er øget fra 20 til 40% på bekostning af tilsvarende mængde byg. Ved samme halmindhold og proteinniveau er blandingerne ens til holdene N og F med undtagelse af, at halmen er ubehandlet til N og ludbehandlet til F.

De pågældende foderblandinger er givet efter ædelyst, og derudover er der kun givet maksimalt 1,5 kg hø pr. dyr daglig samt et mineral- og vitamintilskud. Mineralblandingen, af hvilken der tildeltes 100 g pr. dyr daglig, var granuleret, og den indeholdt pr. kg 240 g kalcium, 83 g fosfor, 55 g natrium, 2000 mg jern, 3100 mg zink, 2000 mg mangan, 400 mg kobber, 40 mg kobolt og 8 mg jod samt 125 i.e. A- og 41 i.e. D₃-vitamin. Til dækning af vitaminbehovet blev der derudover hver 14. dag givet henholdsvis 60 g vitamintilskud indtil dyrene vejede 300 kg og 110 g fra 300 kg til slagtning af en blanding, der indeholdt 2000 i.e. A- og 400 i.e. D₃-vitamin pr. g.

Fodermidler

De anvendte foderblandinger er i begge forsøg fremstillet på Biotechnisk Instituts afdeling i Sdr. Stenderup. Blandingerne med ludbehandlet halm er fremstillet efter den såkaldte to-trins metode. Først er halmen snittet med en Tårup landbrugssnitter, tilsat 5% natrium-hydroxyd (NaOH) og presset i 14 mm cobs. Derefter er cobsene formalet på en slaglemølle med 25 mm sold og blandet med sojaskrå, byg samt – i forsøg K 34 – mineral- og vitaminblanding. Disse blandinger blev påsprøjtet melasse og presset i 14 mm cobs.

For at sikre en ensartet struktur i alle foderblandinger har den snittede, ubehandlede halm også været gennem pressen. Men da denne halm kom ud af pressen i løs form, blev den ikke slaglemølleformalet før sammenblanding med de øvrige fodermidler.

Såvel halmcobs som de færdige cobs er fremstillet på en Swiss-Combi presse med en koller og ringmatrice.

Biotechnisk Institut i Kolding foretog strukturanalyser af alle foderblandinger. Af resultater i afsnit II A 6, side 87, fremgår det, at ludbehandlingen ikke har påvirket cobsenes struktur.

Den kemiske sammensætning og beregnede foderværdi af blandingerne og af høet, der er anvendt i de to forsøg, er vist i tabel 75 og 76.

Tabel 75. Fodermidlernes kemiske sammensætning og foderværdi i K 34*Table 75. Chemical composition and feeding value of the feeds (experiment K 34)*

	Bl. N <i>Mix. N</i>	Bl. F <i>Mix. F</i>	Kløvergræs <i>Clovergrass hay</i>
Antal analyser	2	2	1
<i>Number of analyses</i>			
Tørstof %	86,24	84,73	93,52
<i>Per cent dry matter</i>			
I % af tørstoffet:			
<i>Composition of dry matter, %:</i>			
Råprotein	11,46	11,52	11,49
<i>Crude protein</i>			
Råfedt	1,74	1,38	2,48
<i>Crude fat</i>			
N-fri ekstr.	64,55	59,67	43,22
<i>N.F.E.</i>			
Træstof	16,99	20,07	36,07
<i>Crude fiber</i>			
Aske	5,26	7,36	6,74
<i>Ash</i>			
Indhold pr. kg foder:			
<i>Content per kg feed:</i>			
F.e.	0.770	0,673*)	0,466
<i>Scand. f.u.</i>			
g ford. råprotein	73	72	65
<i>g dig. crude protein</i>			
g calcium	5,1	4,6	3,0
<i>g calcium</i>			
g fosfor	3,6	3,3	2,5
<i>g phosphorus</i>			
g magnesium	0,9	0,9	1,1
<i>g magnesium</i>			

*) Foderenhedsværdien af det ludbehandlede halm er ansat til samme værdi som ubehandlet halm.

*) *Assuming the same value for treated as for untreated barley straw.*

Ved beregning af foderværdien er anvendt fordøjelighedstal fra tabelværk (Andersen et al., 1970). Det bemærkes, at for ludbehandlet halm er der regnet med samme fordøjeligheds- og værdital som for ubehandlet.

Tilsætning af NaOH har bevirket en noget lavere tørstofprocent i blandingerne. Ligeledes er tørstoffets sammensætning som følge af ludbehandling ændret noget i retning af et højere askeindhold og tilsvarende lavere indhold af træstof og råfedt. De nævnte forhold bevirker, at den beregnede foderenhedsværdi er lidt lavere i blandingerne med ludbehandlet halm end i de tilsvarende blandinger med ubehandlet halm. I forsøg K 45 er proteinindholdet lidt højere

Tabel 76. Kemisk sammensætning og foderværdi af foderblandinger i K 45
Table 76. Chemical composition and feeding value of the feeds (experiment K 45)

	Bl. Mix. N 20 n	Bl. Mix. N 20 h	Bl. Mix. N 40 n	Bl. Mix. N 40 h	Bl. Mix. F 20 n	Bl. Mix. F 20 h	Bl. Mix. F 40 n	Bl. Mix. F 40 h	Kløvergræs Clovergrass hay
Antal analyser <i>Number of analyses</i>	5	4	5	5	5	5	4	4	2
Tørstof % <i>Per cent dry matter</i>	85,58	85,55	87,25	87,31	84,82	84,45	85,01	84,85	91,55
I % af tørstoffet: <i>Composition of dry matter, %:</i>									
Råprotein <i>Crude protein</i>	13,09	16,95	11,14	14,24	12,99	17,20	11,03	14,29	11,67
Råfedt <i>Crude fat</i>	2,23	1,96	2,02	1,90	1,84	1,84	1,66	1,62	3,01
N-fri ekstr. <i>N.F.E.</i>	68,27	63,85	62,49	58,74	69,12	63,92	62,15	58,76	46,22
Træstof <i>Crude fiber</i>	12,96	13,38	20,38	20,87	11,93	12,40	19,36	19,32	31,37
Aske <i>Ash</i>	3,45	3,86	3,97	4,25	4,12	4,64	5,80	6,01	7,73
Indhold pr. kg foder: <i>Content per kg feed:</i>									
f.e. <i>Scand. f.u.</i>	0,829	0,858	0,700	0,721	0,816	0,844	0,669	0,690	0,530
g ford. råprotein <i>g dig. crude protein</i>	83	117	68	96	82	118	66	93	65
g kalcium <i>g calcium</i>	1,4	1,8	2,0	2,0	1,2	1,5	1,7	2,0	5,3
g fosfor <i>g phosphorus</i>	2,8	3,0	2,4	2,5	2,9	3,1	2,3	2,6	2,5
g magnesium <i>g magnesium</i>	0,8	1,1	0,7	0,9	0,9	1,0	0,8	1,4	1,4

Foderenhedsværdien af det ludbehandlede halm er ansat til samme værdi som ubehandlet halm.
Assuming the same value for treated as for untreated straw.

end oprindelig beregnet. I blandingerne n ligger det således mellem 97 og 100 g ford. råprotein pr. foderenhed og i blandingerne h mellem 133 og 140 g.

c. Resultater

Ædelyst og sundhedstilstand m.v.

Der har ikke været nogen problemer med at få dyrene til at æde forsøgsfoderet, og deres sundhedstilstand synes heller ikke påvirket af, om der anvendtes ludbehandlet eller ubehandlet halm i foderrationen.

I K 34 fik 2 dyr på hold N og 1 på hold F fra en vægt af ca. 400 kg bemærkninger om dårlige ben, og disse dyr havde alle en relativ lav gns. tilvækst. Som følge heraf blev to af disse dyr – et på hvert hold – slagtet ved en vægt, der lå 25 kg under gennemsnittet for holdene. Resultaterne for disse dyr er dog medregnet ved opgørelsen.

I K 45 forekom der kun ganske få komplikationer. Enkelte dyr vægrede sig dog ved at drikke vand af selvvandingskopperne. Et af disse dyr på hold F 20 havde samtidig en så lav daglig tilvækst som 850 g, hvilket er 486 g under gruppens gennemsnit. Dette dyr er ikke medregnet ved opgørelsen.

Tilvækst og foderforbrug

K 34. Hovedresultaterne for dette forsøg ses i tabel 77.

Selv om F-holdet har optaget næsten samme tørstofmængde pr. dag som N-holdet, har tilvæksten været lavest på F-holdet.

Der er imidlertid stor variation i tilvæksten mellem dyr inden for samme hold, og der er således ingen statistisk sikker forskel mellem forsøgsbehandlingerne ($P > 0,05$).

Ved foderværdiberegningerne er der som nævnt regnet med samme foderenhedsværdi i ludbehandlet og ubehandlet halm. Under disse forudsætninger er den daglige energioptagelse lavere på hold F end på N, og foderudnyttelsen er lidt bedre på holdet, der fik ludbehandlet fremfor ubehandlet halm.

K 45. Hovedresultaterne for tilvækst og foderforbrug for dette forsøg fremgår af tabel 78. Tallene angiver resultaterne for de fire hold, der fik henholdsvis 20 og 40% ubehandlet og 20 og 40% ludbehandlet halm i foderblandingen. Endvidere er angivet gennemsnitsresultaterne for de to proteinniveauer.

Tørstofoptagelsen var ens på holdene, der fik ubehandlet og NaOH-behandlet halm, men optagelsen var 0,7 kg højere på de hold, der fik 40% halm i foderblandingen sammenlignet med dem, der fik 20%.

For såvel tilvækst som foderudnyttelse er der statistisk sikker samspilseffekt (vekselvirkning) mellem halmbehandling og halmniveau ($P < 0,05$), d.v.s. at effekten af ludbehandlingen er forskellig, om der blandes 20% eller 40% halm i blandingen. Ved et halmindhold på 20% har ludbehandlingen således hverken forbedret tilvækst, nettotilvækst eller foderudnyttelse. Derimod var der forskel til gunst for ludbehandling, når der anvendtes 40% halm i blandingen. Tilvæk-

Tabel 77. Tilvækst og foderforbrug i forsøgsperioden (K 34)
Table 77. Daily gain and feed conversion in the experimental period (K 34)

	Hold (Group)			
	N	F		
Antal kalve	6	6		
<i>Number of calves</i>				
Alder ved forsøgets begyndelse, dage	233	241		
<i>Initial age, days</i>				
Alder ved slagtning, dage	433	452		
<i>Age at slaughter, days</i>				
Vægt ved forsøgets begyndelse, kg	291	291		
<i>Initial weight, kg</i>				
Vægt ved slagtning, kg	508	500		
<i>Slaughter weight, kg</i>				
Gns. daglig tilvækst, g	1090±80	1001±51		
<i>Daily liveweight gain, g</i>				
Gns. daglig nettotilvækst, g	701±43	648±31		
<i>Daily carcass gain, g</i>				
Foderforbrug:	kg	f.e.	kg	f.e.
<i>Feed consumption:</i>	(kg)	f.u.	(kg)	f.u.
Foderblanding	1870	1444	1977	1335
<i>Feed mixture</i>				
Kløvergræshø	140	65	148	69
<i>Clovergrass hay</i>				
Ialt f.e.	1509	1404		
<i>Total Scand. f.u.</i>				
Ialt tørstof, kg	1742	1815		
<i>Total dry matter, kg</i>				
Tørstof pr. dag, kg	8,7	8,6		
<i>Dry matter per day, kg</i>				
f.e. pr. dag	7,5	6,7		
<i>Scand. f.u. per day</i>				
f.e. pr. kg tilvækst	7,16	6,78		
<i>Scand. f.u. per kg liveweight gain</i>				
f.e. pr. kg nettotilvækst	11,03	10,46		
<i>Scand. f.u. per kg carcass gain</i>				
g ford. råprotein pr. f.e.	98	109		
<i>g dig. crude protein per Scand. f.u.</i>				
g kalcium pr. dag	49	47		
<i>g calcium per day</i>				
g fosfor pr. dag	35	33		
<i>g phosphorus per day</i>				

Tabel 78. Tilvækst og foderforbrug i forsøgsperioden (K 45)
Table 78. Daily gain and feed conversion in the experimental period (K 45)

	Ubehandlet (Untreated)		Ludbehandlet (NaOH-treated)		Proteinniveau (Level of protein)	
	N 20	Holdene (Groups) N 40	F 20	F 40	Holdene (Groups) n	h
Antal kalve	10	10	9	10	19	20
<i>Number of calves</i>						
Alder v. forsøgets beg., dage	195	193	193	198	196	193
<i>Initial age, days</i>						
Alder ved slagtning, dage	353	369	359	357	363	356
<i>Age at slaughter, days</i>						
Vægt v. forsøgets beg., kg	224	234	222	233	226	231
<i>Initial weight, kg</i>						
Vægt v. slagtning, kg	440	446	443	442	441	444
<i>Slaughter weight, kg</i>						
Gns. daglig tilvækst, g	1374	1209	1336	1322	1303	1316
<i>Daily liveweight gain, g</i>						
Gns. daglig nettotilvækst, g	736	624	707	685	687	688
<i>Daily carcass gain, g</i>						
Foderforbrug:						
<i>Feed consumption:</i>						
Foderblanding, kg	1215	1465	1293	1359	1337	1331
<i>Feed mixture, kg</i>						
Foderblanding, f.e.	1029	1041	1078	924	999	1033
<i>Feed mixture, Scand. f.u.</i>						
Kløvergræshø, kg	203	230	213	203	215	210
<i>Clovergrass hay, kg</i>						
Kløvergræshø, f.e.	97	110	101	98	102	101
<i>Clovergrass hay, Scand. f.u.</i>						
Ialt f.e.	1127	1153	1181	1024	1103	1135
<i>Total Scand. f.u.</i>						
Ialt tørstof, kg	1231	1493	1291	1344	1347	1336
<i>Total dry matter, kg</i>						
Tørstof pr. dag, kg	7,83	8,50	7,79	8,48	8,09	8,22
<i>Dry matter per day, kg</i>						
f.e. pr. dag	7,17	6,57	7,12	6,46	6,65	6,98
<i>Scand. f.u. per day</i>						
f.e. pr. kg tilvækst	5,22	5,48	5,34	4,89	5,14	5,32
<i>Scand. f.u. per kg liveweight gain</i>						
f.e. pr. kg nettotilvækst	9,81	10,65	10,09	9,44	9,76	10,22
<i>Scand. f.u. per kg carcass gain</i>						
g ford. råprotein pr. f.e.	117	115	122	116	100	134
<i>g dig. crude protein per Scand. f.u.</i>						
g kalcium pr. dag	44	50	41	46	44	47
<i>g calcium per day</i>						
g fosfor pr. dag	33	32	35	32	31	34
<i>g phosphorus per day</i>						

sten og nettotilvæksten forbedredes her med henholdsvis 113 og 61 g daglig, mens foderforbruget pr. kg tilvækst og pr. kg nettotilvækst var henholdsvis 0,59 og 1,21 g lavere, når halmen var ludbehandlet, end når den kun var snittet.

Der var ingen sikker effekt af at øge proteinmængden udover 100 g ford. råprotein pr. f.e. i vægtintervallet mellem 230 og 445 kg, men der var dog tendens til, at foderoptagelsen var lidt højere på det højeste proteinniveau. Det kan nævnes, at der ikke for nogen egenskabers vedkommende er vekselvirkning hverken mellem proteinniveau og halmbehandling eller mellem proteinniveau og halmniveau.

Slagteresultater

Efter slagtning er slagtekroppene vejjet kolde uden lever, nyre og nyretalg, og slagteprocenten er beregnet på grundlag af den kolde vægt og levendevægten på gården (gns. af 3 dages vejninger). Slakteriets klassifisør foretog slagtebedømmelsen.

Resultaterne for forsøg K 34 og K 45 ses i henholdsvis tabel 79 og tabel 80.

I det første forsøg, K 34, er der ingen sikker forskel i slagteresultaterne mellem de dyr, der fik henholdsvis 27% ubehandlet halm (N) og 38% ludbehandlet halm (F) i foderrationen. Heller ikke i K 45 er der væsentlige forskelle mellem holdene N og F. Der er dog i begge forsøg tendens til noget bedre klassificering af de dyr, der fik ludbehandlet halm.

Tabel 79. Slagteresultater (K 34)
Table 79. Carcass quality (experiment K 34)

	Hold N (Group N)	Hold F (Group F)
Kold slagtekrop, kg	286	281
<i>Weight of cold carcass, kg</i>		
Slagteprocent	56,2	56,2
<i>Dressing percentage</i>		
Klassificering (1-10) ¹⁾	8,8	9,5
<i>Conformation</i>		
Points for talgdække (1-5) ²⁾	3,8	3,7
<i>Fat covering</i>		
Points for talgfarve (1-5) ³⁾	3,5	3,3
<i>Fat colour</i>		

¹⁾ A1 = 10, A+ = 9, A = 8, A÷ = 7 o.s.v.

A1 = 10, A+ = 9, A = 8, A÷ = 7 etc. (A1 = best quality).

²⁾ 1 = manglende, 3 = passende, 5 = rigelig

1 = absent, 3 = suitable, 5 = too much

³⁾ 1 = gult, 3 = normalt, 5 = ekstra lys

1 = yellow, 3 = normal, 5 = very light

Tabel 80. Slagterresultater (K 45)
Table 80. Carcass quality (experiment K 45)

	Ubehandlet (Untreated)	Holdene (Groups)		Ludbehandlet (NaOH-treated)	Proteinniveau (Level of protein)	
	N 20	N 40	F 20	F 40	Holdene n	(Groups) h
Antal dyr <i>Number of animals</i>	10	10	9	10	19	20
Kold slagtekrop, kg <i>Weight of cold carcass, kg</i>	227	226	228	225	226	227
Slagteprocent <i>Dressing percentage</i>	51,7	50,7	51,5	50,9	51,3	51,1
Klassificering (1-10) ¹⁾ <i>Conformation</i>	7,3	6,8	8,0	7,8	7,6	7,4
Points for talgdække (1-5) ²⁾ <i>Fat covering</i>	3,1	3,1	3,2	3,0	3,2	3,1
Points for talgfarve (1-5) ³⁾ <i>Fat colour</i>	2,8	2,6	2,9	3,0	2,8	2,8

¹⁾ ²⁾ og ³⁾ Som i tabel 79 – *As in table 79.*

Når halmindholdet i foderrationen øges, viser resultaterne et statistisk sikkert fald i slagteprocenten ($P < 0,05$), og denne forskel kommer til udtryk både på holdene N og F. Også klassificeringsresultatet forringes noget med stigende halmindhold i rationen, men denne forskel er ikke statistisk sikker ($P > 0,05$). Forskel i foderets proteinindhold har ikke påvirket slagterresultaterne.

d. Diskussion

Virkningen af at iblande formalet eller snittet halm i foderrationen til ungtyre er undersøgt i tidligere forsøg (Andersen og Sørensen, 1975). Resultaterne af disse og udenlandske undersøgelser viser, at med stigende halmindhold i foderblandingen kan forventes:

- 1) at den daglige tørstofoptagelse stiger indtil et vist halmniveau i rationen (20-40%), men at nettoenergioptagelsen (f.e.) falder,
- 2) at tilvæksten henholdsvis nettotilvæksten hos ungtyre falder med ca. 65 g og 50 g for hver 10%-enheder halm, der indgår i foderrationen,
- 3) at foderforbruget pr. kg nettotilvækst er næsten ens,
- 4) at slagteprocenten falder og klassificeringen forringes.

Disse resultater er af betydning for vurderingen af nærværende undersøgelse, hvor snittet halm netop indgår som kontrolfoder på to niveauer (20 og 40% i blandingen).

Virkning af ludbehandling. I det første forsøg er værdien af to foderblandinger, der indeholdt henholdsvis 27% ubehandlet og 38% ludbehandlet halm,

sammenlignet. Såfremt foderværdien af halm fordobles ved ludning, og dyrene optager lige meget tørstof pr. dag, måtte man forvente ens tilvækster på de to hold. Holdet, der fik ludbehandlet halm (F), havde imidlertid den laveste tilvækst, men forskellen er ikke statistisk sikker ($P > 0.05$). Det laveste foderforbrug pr. kg nettotilvækst på F-holdet antyder imidlertid, at der er sket en vis forbedring af foderværdien.

I forsøg K 45 var tørstofoptagelsen ens på de hold, der fik ubehandlet og NaOH-behandlet halm, og der skete en forbedring i den gennemsnitlige tilvækst. Denne forbedring kom imidlertid kun til udtryk på holdet, der fik 40% halm i foderblandingen og ikke på holdet, der fik 20%. Heller ikke foderudnyttelsen udtrykt som f.e./kg nettotilvækst er forbedret på 20% niveauet. Disse resultater falder helt i tråd med, at der ikke skete nogen forbedring i foderblandingerne fordøjelighed ved at iblande 20% ludbehandlet halm sammenlignet med tilsvarende mængder ubehandlet. På 40% niveauet var fordøjeligheden af organisk stof i blandingen 5-6 enheder højere, når halmen var ludbehandlet (se afsnit II.B.3., side 140).

Den manglende positive effekt af ludbehandlingen, når der kun iblandes 20% halm, virker overraskende, men kan måske skyldes, at den frigivne cellulosemængde ved ludbehandlingen ikke kan udnyttes, når hovedparten af foderrationen er stivelse. Tidligere forsøg med ubehandlet halm har også vist tendens til dårligere udnyttelse af halmen, når denne indgår i foderrationen i mængder på kun 20% sammen med store bygmængder. (Andersen og Sørensen, 1972, 1975).

Den positive effekt af ludbehandlingen, når der indgår 40% halm i foderblandingen er i overensstemmelse med resultater af østtyske forsøg (Flachowsky et al., 1976). Mens tørstofoptagelsen var upåvirket af ludbehandlingen i nærværende undersøgelse, øgedes optagelsen ved behandlingen i de østtyske forsøg, hvilket sandsynligvis skyldes, at halmen udgjorde så meget som 60-75% af foderrationens tørstof i disse forsøg. I et igangværende dansk forsøg med kvier, hvor halmen ligeledes udgør hovedparten af foderrationen, er der også en klar tendens til større tørstofoptagelse på de hold, der får ludbehandlet halm sammenlignet med dem, der får ubehandlet halm (Sejrsen, 1977). En sandsynlig forklaring på at tørstofoptagelsen øges ved ludbehandlingen, når halmindholdet udgør hovedparten af foderrationen er, at ved en lav energikoncentration er det foderets fyldningsgrad, der begrænser dyrenes foderoptagelse (Campling, 1970). En forøgelse af fordøjeligheden vil derfor bevirke en hurtigere nedbrydningshastighed i vommen og dermed en forøget optagelse. Ved en høj energikoncentration i foderrationen er det derimod energien, der begrænser optagelsen, hvorfor en forøgelse af fordøjeligheden ved ludbehandling under disse forhold ikke kan forventes at øge optagelsen. Dette var da heller ikke tilfældet i nærværende forsøg.

Et beregnet skøn over foderværdien af ludbehandlet halm i forhold til ube-

handlet halm (se afsnit II.B.8, side 201) viser, at når der iblandes mindst 40% halm i foderrationen, forøges foderværdien ved ludbehandlingen, men der sker dog næppe en fordobling af værdien i forhold til ubehandlet halm. Samme konklusion må drages på grundlag af de omtalte østtyske forsøg af Flachowsky et al. (1976).

Virkning af forskelligt halmindhold. Ved at øge halmindholdet fra 20 til 40% er tørstofoptagelsen – uanset behandling – øget med 0,7 kg pr. dyr daglig. Men foderoptagelsen udtrykt i foderenheder falder med stigende halmindhold.

Ved at øge mængden af ubehandlet halm fra 20 til 40% er der i tidligere forsøg sket et fald i tilvæksten, men faldet er noget større i nærværende forsøg i betragtning af, at tørstofoptagelsen er øget. Ligeledes forringes slagteprocenten og klassificeringen med øget halmindhold i foderrationen, hvilket også er en bekræftelse af tidligere forsøg.

På holdene, der fik ludbehandlet halm, er nedgangen i tilvæksten og forringelsen af slagtekvantiteten med stigende indhold meget begrænset, hvilket naturligt skyldes den positive effekt af ludbehandlingen, når der var iblandet 40% halm i foderrationen.

Virkning af øget proteinindhold. I gennemsnit er hverken tilvækst, foderforbrug eller slagtekvantitet forbedret ved at øge proteinindholdet i foderblandingen fra ca. 13 til 17% råprotein (i tst.) i blandingerne med 20% halm og fra ca. 11 til 14% i blandingerne med 40%. Dette svarer til, at ford. råprotein pr. f.e. er øget fra 100 til 130 g (når der regnes med samme foderenhedsværdi af det ubehandlede og NaOH-behandlede halm). Der er dog tendens til, at holdet, der fik 40% ludbehandlet halm og højt proteinindhold i blandingen – på grund af en højere foderenhedsoptagelse – har opnået bedre tilvækster end det tilsvarende hold, der fik lavt proteinindhold i blandingen. Det må dog i denne forbindelse bemærkes, at dersom foderenhedsværdien af halmen er fordoblet, har proteintildelingen ikke været 100 g pr. f.e., men kun 88 g, hvilket er i underkanten af proteinbehovet (Sørensen og Kousgaard, 1976).

8. Energiværdi af NaOH-behandlet halm til kvæg og relationer mellem energiværdi og objektive analyseværdier

a. *Energiværdi vurderet på grundlag af produktionsforsøg og fordøjelighedsforsøg*

Indledning

Energiværdien af nye foderemner bør helst fastlægges ved den eller de produktioner, hvortil det pågældende foderemne fortrinsvis anvendes.

Kemisk og fysisk behandlet halm vil ligesom almindelig halm væsentligt blive benyttet som foder til kvæg og får. Halmens værdi må derfor betegnes med det

energimål, som benyttes for disse dyrearter (foderenheder til kvæg). Når det er muligt, skal den baseres på resultater fra produktionsforsøg med disse dyr.

Næringsstoffernes fordøjelighed bestemmes oftest med får (in vivo forsøg). Resultaterne kan derefter danne basis for fastlæggelse af de relationer, der må være mellem energiværdien udtrykt i foderenheder til kvæg og fordøjeligheden af kemisk eller fysisk behandlet halm.

Materiale

Dette omfatter:

1. Sammenstilling af resultater fra de i de to foregående afsnit beskrevne produktionsforsøg, heraf 3 forsøg med malkekøer og 2 forsøg med ungtyre.
2. Resultater fra in vivo fordøjelighedsforsøg med får tildelt halm behandlet med stigende mængder NaOH, ialt 3 forsøg (Afsnit II.B.3.).

I den serie af fodringsforsøg, der er gennemført med malkekøer og ungtyre er der samlet informationer, som her vil blive benyttet til en vurdering af energiindholdet i NaOH-behandlet halm.

Resultater og diskussion

Produktionsforsøg med malkekøer

Resultater fra forsøg med malkekøer, M 35, er blevet publiceret tidligere (Kristensen og Andersen, 1973). Yderligere 4 produktionsforsøg er gennemført med malkekøer. I et forsøg forekom vanskeligheder med sundhedstilstanden hos køerne (M 47), og i et andet (M 69) var der en forskel i foderoptagelsen hos de 2 hold køer, således at energimængden ikke var ens. Begge forhold vil medføre en usikkerhed i beregningen af forsøgsfoderets energiværdi.

Der er derfor kun medtaget resultater fra de 3 forsøg med malkekøer, M 35, M 46 og M 63.

Følgende forudsætninger er benyttet for beregning af forsøgsfoderets energiværdi i de 3 forsøg:

1. Udnyttelse af totalrationens energi til mælk, vedligehold og tilvækst er baseret på udnyttelsen hos køerne på normalholdet (N) i de enkelte forsøg.
2. Nettoenergi til vedligehold (f.e.) beregnes således:

$$\frac{\text{Vægt, kg}}{200} + 1,5$$

3. Ved beregning af energi til tilvækst anvendes 2 f.e. pr. kg tilvækst. Det er konstateret i flere holdforsøg (på 6–10 uger), at der er en god sammenhæng mellem køernes vægtændringer og disses energiværdi ved brug af denne faktor.
4. Nettoenergiindholdet til produktion af 4% mælk (p.f.e.) er fastlagt som differencen mellem ialt f.e. og (vedligehold + tilvækst) for køerne på normalholdet, hvorefter produktionsfoder pr. kg 4% mælk beregnes, og dette

benyttes for beregning af nettoenergien anvendt til mælk på forsøgsholdene*).

5. Energiindholdet i *ikke forsøgsfoder* er det samme pr. kg tørstof indenfor de enkelte forsøg.

*) I forsøg M 46 og M 63 var der ikke signifikant forskel i mælkeproduktionen for holdene indenfor hvert forsøg. Derfor er produktions-f.e. beregnet på en gns. ydelse af 4% mælk i hvert af de 2 forsøg.

Resultaterne fra de 3 forsøg med malkekøer ses i Tabel 81. Byghalmen var behandlet med 5–5,5% NaOH efter tørludningsmetoden. Ialt 5 hold køer tildeltes denne halm i form af cobs i renbestand eller opblandet i foderblanding efter 2-trins metoden.

Tabel 81. Energiværdi af NaOH-behandlet halm til mælkeproduktion

Table 81. Energy value of NaOH-treated straw for milk production

Forsøg nr. – Expt. No.	M 35			M 46		M 63		
Hold (Led) Group (Treatment)	1 N*)	2 F	3 F	4601 N	4602 F	6301 N	6302 F	6303 F
Kg 4% mælk pr. ko Kg F.C.M. per cow	22,0	19,6	20,9	16,9	16,9	18,5	18,5	18,5
F.e. pr. kg 4% mælk F.u. per kg F.C.M.	0,42	0,42	0,42	0,41	0,41	0,40	0,40	0,40
F.e. behov F.u. requirement								
Vedligehold Maintenance	4,4	4,4	4,4	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7
Tilvækst – Gain	0,0	0,4	0,1	0,1	0,1	0,4	0,4	0,4
Mælkeproduktion Milk production	9,2	8,2	8,8	6,9	6,9	7,4	7,4	7,4
F.e. ialt – F.u. total	13,6	13,0	13,3	10,7	10,7	11,5	11,5	11,5
F.e. ikke forsøgsfoder F.u. non exper. feed	–	11,2	11,2	–	9,0	–	10,8	10,0
F.e. i forsøgsfoder F.u. in exper. feed	–	1,8	2,1	–	1,7	–	0,7	1,5
NaOH-beh. halm kg tørstof NaOH-treated straw kg D.M.	–	3,0	3,4	–	2,7	–	1,1	2,5
F.e. i 1 kg tørstof i NaOH-beh. halm F.u. in 1 kg D.M. in NaOH-treated straw	–	0,60	0,62	–	0,63	–	0,64	0,60

*) N = Normalhold (Control group)

F = Forsøgshold (Experimental Group)

På grundlag af de 3 forsøg med malkekøer beregnedes den gennemsnitlige energiværdi for NaOH-behandlet halm til 0,62 f.e. pr. kg tørstof. Variationen var på de 5 bestemmelser fra 0,60 til 0,64 f.e. Fordøjelighedskoefficienten for halmens organiske stof efter behandling med 5–5,5% NaOH kan antages at have været på 65–68 (se afsnittene II.A.2. of II.B.3.).

Produktionsforsøg med ungtyre

På grundlag af forsøg med ungtyre er ligeledes foretaget foderenhedsvurdering af NaOH-behandlet halm (tabel 82). Forudsætningen for denne beregning er, at foderforbruget pr. kg nettotilvækst er ens på kontrol- og de tilsvarende forsøgshold. Denne forudsætning støttes af, at der i tidligere forsøg med stigen- de mængde halm i foderblandingen (fra 0–60%) til ungtyre ingen forskel fandtes i foderforbruget pr. kg nettotilvækst mellem holdene (Andersen og Sørensen, 1975).

På dette grundlag er værdien af NaOH-behandlet halm i K 34 beregnet til 0,42 f.e./kg halmtørstof. I forsøg K 45 er værdien beregnet til 0,14 og 0,58 f.e./kg halm for holdene, der fik henholdsvis 20 og 40% ludbehandlet halm i foderrationen. Grunden til denne lave værdi beregnet på grundlag af holdet, der fik 20% ludbehandlet halm, er, at dette hold på trods af samme foderoptagelse som det tilsvarende kontrolhold ikke havde samme tilvækst. I omtalen af produktionsforsøgene er påpeget, at et stort indhold af stivelse (byg) i foderrationen med halm måske kan reducere udnyttelsen af halmens cellulose.

Tabel 82. Energiværdi af NaOH-behandlet halm til kødproduktion
Table 82. Energy value of NaOH-treated straw for meat production

Forsøg nr. – Exp. No. Hold – Group % halm – % straw	K 34	K 45	
	F 38	F 20 20	F 40 40
Nettotilvækst, kg pr. dyr	135,3	117,3	108,6
<i>Net gain, kg per animal</i>			
Forbedring af f.e./kg nettotilvækst	0,57	–0,28	1,21
<i>Improvement of f.u./kg net gain</i>			
Ialt forbedring, f.e.	77,1	–32,8	131,4
<i>Total improvement, f.u.</i>			
Kg NaOH-behandlet halm pr. dyr	751	259	544
<i>Kg NaOH-treated straw per animal</i>			
F.e. tillæg pr. 1 kg halm	0,10	–0,13	0,24
<i>F.u. add. per 1 kg straw</i>			
F.e. pr. 1 kg NaOH-behandlet halm	0,35	0,12	0,49
<i>F.u. per 1 kg NaOH-treated straw</i>			
F.e. pr. 1 kg tørstof i NaOH-beh. halm	0,42	0,14	0,58
<i>F.u. per 1 kg D.M. in NaOH-treat. straw</i>			

Halmens fordøjelighed og energiværdien

Energiværdien af halm vil være afhængig af halmens fordøjelighed. En påvirkning ved kemisk behandling vil være afhængig af intensiteten af processen.

I produktionsforsøgene med malkekøer blev energiværdien af bygghalm med en fordøjelighed af organisk stof på 65–68% beregnet til godt 60 f.e. pr. 100 kg halmtørstof. I forsøgene med ungtyre er der kun i et enkelt tilfælde fundet en tilsvarende værdi, og disse forsøg viser, at der i visse foderrationer kan forventes en betydelig lavere udnyttelse af den ludbehandlede halm.

Den i forsøgene med malkekøer fundne værdi svarer til energiværdien af hø med tilsvarende fordøjelighed. I det følgende antages det, at halmen kan udnyttes til denne værdi, når den anvendes i en hensigtsmæssig foderration.

Fordøjeligheden af det organiske stof i ubehandlet bygghalm er i gennemsnit på 45–50% og energiværdien ca. 0,3 f.e. pr. kg tørstof. Disse værdier vil imidlertid kunne variere væsentligt afhængigt af sorter og vækstbetingelser, og både lavere og højere værdier vil forekomme.

Ved hjælp af de to foran angivne yderpunkter kan der opstilles en tabel over forholdet mellem fordøjeligheden og energiværdien af halm, idet det antages, at energiværdien imellem de to punkter stiger retliniet med stigende fordøjelighed.

I tabel 83 er angivet kemisk sammensætning og fordøjelighedstal samt energiværdi af halm behandlet med stigende mængde NaOH. Tallene, der angiver sammensætningen og fordøjelighedskoefficienterne er baseret på de kemiske analyser af ludbehandlet halm og på resultaterne af fordøjelighedsforsøgene. På basis heraf er de tilsvarende værdital udregnet og angivet i tabellen. Disse tal kan være vejledende for beregning af energiværdien af halm.

Tabel 83. Energiværdi af NaOH-behandlet halm baseret på fordøjelighedsforsøg (får)
Table 83. Energy value of NaOH-treated straw based on digestion trials (sheep)

Kemisk indhold i tørstof, % Chemical content in dry matter, %					
Aske Ash	Råprot. Crude prot.	Råfedt Crude fat	Træstof Crude fibre	N-fri extr. N-free extr.	Organ. stof Org. matter
5,0	4,0	1,9	45,0	44,1	95,0
6,5	3,9	1,8	44,3	43,5	93,5
8,0	3,7	1,7	43,2	42,8	92,0
10,0	3,5	1,6	42,0	41,9	90,0

Værdital Value No.	Fordøjelighedskoefficienter Digestibility coefficients					f.e. i 100 kg tørstof Scand. f.u. per 100 kg D.M.
45	20	50	57	45	50	29
55	20	50	63	52	56	39
65	20	50	70	58	62	50
75	20	50	75	65	68	62

b. Vejledende analysemetode for bestemmelse af halmens energiværdi

Effekten af en kemisk behandling af halm må vurderes ved hjælp af objektive analysemetoder. I afsnit II.A.2. er det konkluderet, at de almindelige kemiske fodermiddelanalyser ikke kan anvendes til bedømmelse af kvaliteten af ludbehandlet halm. Derimod kan in vitro fordøjeligheden og enzymopløseligheden af organisk stof i halm benyttes.

Formålet må være at kunne udnytte disse analyser til en bedømmelse af halmens energiværdi til kvæg. Forudsætningen herfor er, at der med tilstrækkelig sikkerhed kan opstilles funktionelle relationer mellem de anvendte analyseværdier og fastlagte energiværdier. Sidstnævnte er som foran beskrevet baseret på resultater fra produktionsforsøg og fra in vivo fordøjelighedsforsøg.

I afsnit II.A.2. (side 53) er de indbyrdes relationer mellem in vitro og in vivo fordøjelighed samt enzymopløselighed diskuteret. Det blev her konkluderet, at når fordøjeligheden af organisk stof i halmen ligger mellem 45 og 65%, kan der forventes en ret god overensstemmelse mellem in vitro og in vivo fordøjeligheden af halm. Ved højere in vitro fordøjelighed vil in vivo fordøjeligheden stige langt mindre end in vitro fordøjeligheden, og stigningen i energiværdien vil derfor være minimal. Ligeledes er der fundet en rimelig god sammenhæng mellem enzymopløselighed og in vitro fordøjelighed op til en enzymopløselighed på ca. 50% (opløseligt organisk stof i % af organisk stof) og en dertil svarende in vitro fordøjelighed af organisk stof på godt 70%. Ved stigning til højere enzymopløselighedstal kan stigningen i in vitro fordøjeligheden være minimal (Waagepetersen og Thomsen, 1976).

På grundlag af dette materiale er der opstillet en vejledende tabel (tabel 84) over relationer mellem analyseværdier og energiværdier af halm. In vitro fordøjeligheden og enzymopløseligheden er angivet som fordøjeligt (henholdsvis opløseligt) organisk stof både i % af organisk stof og i % af tørstof. Ved vurdering af energiværdi bør sidstnævnte (% af tørstof) anvendes, idet værdierne da vil være uafhængige af askeindholdet.

Relationerne mellem de forskellige sæt af analyseværdier er udregnet på grundlag af følgende ligninger, der er baseret på analyser af 37 prøver af halm (se side 55):

	$S_{y..x}$	S_{a_0}	S_b	r
$y = 0,80x_1 + 32,63$	2,71	1,45	0,04	0,96
$y = 0,92x_2 + 30,99$	2,96	1,67	0,05	0,96

hvor y = in vitro fordøjelig organisk stof i % af org. stof,
 x_1 = enzymopløseligt organisk stof i % af organisk stof,
og x_2 = enzymopløseligt organisk stof i % af tørstof.

Desuden er forholdet mellem in vitro fordøjeligt organisk stof i % af organisk stof og i % af tørstof beregnet. Sidstnævnte stiger mindre end den første, fordi askeindholdet ved ludbehandling stiger med stigende luddosering.

Tallene i tabel 84 vil kunne revideres, efterhånden som der indsamles flere resultater.

Tabel 84. Vejledende relationer mellem analyseværdier og energiværdier af halm
Table 84. Guide for relations between values of analyses and the energy value of straw

In vitro ford. organisk stof <i>In vitro digest. O.M.</i>		Enzymopløseligt organisk stof <i>Enzyme soluble O.M.</i>		F.e. til kvæg pr. 100 kg tørstof
% af org. stof % of O.M.	% af tørstof % of D.M.	% af org. stof % of O.M.	% af tørstof % of D.M.	<i>f.u. to cattle per 100 kg D.M.</i>
under 45	under 43	under 16	under 15	22
45-49	43-46	16-21	15-20	30
50-54	47-50	22-27	21-25	37
55-59	51-54	28-33	26-30	45
60-64	55-58	34-39	31-36	53
65-69	59-62	40-45	37-41	60
70-	63-	46-	42-	62

*c. Analytiske metoder til vurdering af foderværdien
af foderblandinger med NaOH-behandlet halm*

Indledning

Det er tydeligt fremgået af de tidligere afsnit af beretningen, at det er nødvendigt med specielle laboratoriemetoder, når ludbehandlet halm skal analyseres korrekt.

Problemet med værdibestemmelse og kontrol bliver endnu større, når ludbehandlet halm indgår som bestanddel af foderblandinger, hvis ikke denne bestemmelse kan foretages på råvarerne før sammenblandingen. Problemet, der er særligt udtalt, når ludbehandlet halm indgår i foderblandinger, har iøvrigt også mere generel karakter.

I forbindelse med nærværende projekt er der udført forsøg til belysning af, hvilke analyser der kan benyttes til vurdering af energiværdien af foderblandinger, hvori indgår ludbehandlet halm.

Forsøgene omtales her kun ganske kort, idet resultaterne er publiceret andre steder, dels af Thomsen og Henriksen (1976), dels af Israelsen et al. (1977). Det førstnævnte arbejde er udført af medarbejdere ved Biotechnisk Institut og Afdelingen for forsøg med kvæg og får ved Statens Husdyrbrugsforsøg. Sidstnævnte er udført ved Biotechnisk Institut.

Materialer og Metoder

Den første undersøgelse (Thomsen og Henriksen, 1976) omfatter 8 enkeltfodermidler og 39 foderblandinger fremstillet på basis af disse enkeltfodermidler. Udgangsmaterialet var de 11 forsøgsfoderblandinger, der er benyttet i produk-

tionsforsøgene K 45 og M 63 med henholdsvis ungtyre og malkekøer. I blandingerne indgik op til 60% behandlet halm og op til 40% ubehandlet halm. De øvrige fodermidler var sojaskrå, bomuldsfrøkager, bomuldsfrøskrå, byg, melasse samt animalsk fedt i varierende forhold. Analyser er udført på de 39 foderblandinger samt på 6 af enkeltfodermidlerne, idet melasse og animalsk fedt var undtaget. Foderblandingerens sammensætning er beskrevet af Thomsen og Henriksen (1976).

I den anden undersøgelse blev der foretaget analyser på 30 enkeltfodermidler af meget forskellig karakter. De omfattede ubehandlet og ludbehandlet halm, sukkerroeaffald, melasse, kunsttørret græs og lucerne af forskellige kvaliteter, bomuldsfrøkager med varierende indhold af træstof og fedt, havre, byg, hørfrø, sojaskrå, fiskemel og animalsk fedt. Oplysninger om fodermidler og analysemetoder er givet af Israelsen et al. (1977).

Interessen samler sig mest om metoder, der giver et mål for foderets indhold af fordøjelig energi eller også et negativt udtryk i form af foderets indhold af uudnytteligt stof. Det gælder om at finde sådanne mål, som har en tilstrækkelig sikker og generel sammenhæng med foderets indhold af nettoenergi.

Foderets indhold af fordøjelig energi er estimeret på grundlag af følgende metoder:

1. Bestemmelse af in vitro fordøjelighed, hvor fedtmængden i foderet lægges til ved beregning af fordøjelighedskoefficienten, idet fedt ikke fordøjes i glasset. (In vitro).
2. Isolering af cellevægsstoffer (neutral detergent fibre = NDF) ved hjælp af Van Soest analysen og bestemmelse af disses in vitro fordøjelighed. (C.V. + in vitro).
3. Som 2., men med bestemmelse af cellevægsstoffernes enzym (cellulase)-opløselighed. I den første undersøgelse beregnedes indholdet af opløseligt organisk stof (C.V. + cellulase) og i den anden undersøgelse den reciprokke værdi, cellulase uopløselig fiber (CIF).

Ved 1. foretages en direkte bestemmelse af in vitro fordøjeligt organisk stof. Ved 2. og 3. antages celleindholdsstofferne (totalt organisk stof ÷ organisk NDF) at være 100 % fordøjelige, mens fordøjeligheden eller opløseligheden af NDF-fraktionen bestemmes. I de gennemførte beregninger ved den første undersøgelse er det antaget, at den ufordøjelige rest ved alle metoder har et energiindhold på 5000 kcal/kg organisk stof. Foderets indhold af fordøjelig energi målt i kcal er herefter bestemt som difference mellem et beregnet bruttoenergiindhold og energiindholdet i den uopløste rest.

Resultater og diskussion

Fodermidlerne og foderblandingerne energiværdi målt i f.e./100 kg tørstof (Y) er beregnet på almindelig måde på grundlag af foderstofanalysen. Der er herefter foretaget en analyse af mulighederne for at anvende de foran nævnte

analyseværdier til estimering af denne energiværdi. Analyserne af de 39 foderblandinger og 6 enkeltfodermidler i den første undersøgelse førte til følgende relationer:

	$S_{y \cdot x}$	S_b	r
$y = 39,0x_1 \div 30,4$	3,5	1,2	0,98
$y = 38,8x_2 \div 43,7$	3,7	1,3	0,98
$y = 28,6x_3 + 0,9$	2,0	0,5	0,99

hvor x_1 = in vitro fordøjelig energi (Mcal/kg tørstof),

x_2 = C.V. + in vitro fordøjelig energi (Mcal/kg tørstof)

og x_3 = C.V. + cellulase fordøjelig energi (Mcal/kg tørstof).

I den anden undersøgelse på 30 enkeltfodermidler bestemtes multiple regressionsligninger til estimering af indholdet af f.e. Som uafhængige variable brugtes indholdet af råprotein (P), råfedt (F), træstof (CF), N-frie ekstraktstoffer (NFE), aske (A) samt indholdet af cellulase-uopløselige cellevægsstoffer (CIF) bestemt ved den foran beskrevne analysemetode 3. Der blev fundet følgende relationer:

	$S_{y \cdot x}$	R
$Y = 116,8 + 0,34P + 1,70F \div 1,15A \div 1,52CF$	11,2	0,98
$Y = 113,9 + 0,45P + 1,76F \div 1,18A \div 1,45CIF$	8,4	0,99
$Y = 118,6 + 0,38P + 1,70F \div 1,21A \div 0,54CF \div 1,05CIF$	7,7	0,99
$Y = 2,0 + 1,59P + 2,91F + 1,21NFE + 0,67CF \div 1,05CIF$	7,6	0,99

De gennemførte undersøgelser antyder, at det er muligt at finde frem til egnede analysemetoder, ved hjælp af hvilke energiværdien af fodermidler og foderblandinger kan estimeres direkte, også uden kendskab til råvarernes karakter. I den første undersøgelse blev der fundet ret sikre sammenhænge og små spredninger, men disse resultater må ses i lyset af, at de er baseret på foderblandinger sammensat af ret få forskellige foderemner. Variationer i energiværdien har her hovedsagelig været bestemt af indholdet af halm og dennes behandling. De giver derfor ikke oplysninger om enkeltfodermidlers eventuelle afvigende virkning på sådanne sammenhænge.

Den anden undersøgelse viste, at spredningen på estimatet kunne formindskes ved, foruden oplysninger om de almindelige næringsstoffer (+ evt. aske), at indføre cellulase-uopløselige cellevægsstoffer som estimator. Spredningen ($S_{y \cdot x}$) var dog stadig for stor, selv i den sidste ligning, hvor alle 4 næringsstoffer er med som uafhængige variable. Den 5. variabel (CIF) vil også kunne betragtes som en speciel korrektionsfaktor til en normal foderstofanalyse.

Undersøgelsen omfatter 30 enkeltfodermidler af meget forskellig art. Det må kunne forventes, at spredningen vil blive mindre ved analyse af foderblandinger, hvor de undersøgte fodermidler indgår.

Foderets nettoenergi er meget stærkt afhængig af foderets fordøjelighed. Derfor må de analyser, der tilsigter en bestemmelse af foderets indhold af fordøjelig energi, tiltrække sig stor opmærksomhed. Det må dog samtidig understreges, at nogle undersøgelser (Dijkstra, 1969; den Braver, 1974; Kellner og Kirchgessner 1976; Thomson og Cammell 1977) antyder, at der for forskellige fodermidler er forskellige sammenhænge (regressionsligninger) mellem in vitro og in vivo fordøjelighed og nettoenergi. De faktorer, der forårsager disse forskelle i udnyttelsen af in vitro fordøjelig energi, må belyses. Det vil være nødvendigt at inddrage et stort antal fodermidler og foderblandinger i sådanne undersøgelser for at fastlægge disse faktoreres betydning.

Litteraturliste

- Ali, C. S., V. C. Mason and J. Waagepetersen. The voluntary intake of pelleted diets containing sodium hydroxide-treated wheat straw by sheep. 1. The effect of the alkali concentrations in the straw. 2. The effect of the proportion of beet pulp-molasses in the diet. *Z. Tierphys., Tierernähr. u. Futtermittelkd.* *In press.*
- Andersen, H. Refsgaard og M. Sørensen. 1972: Formalet halm som bestanddel af fuldfoder til fedekalve. Landøkonomisk Forsøgslaboratoriums efterårsmøde, 356-370.
- Andersen, H. Refsgaard og M. Sørensen. 1975: Formalet halm til ungtyre. 19. medd. fra Statens Husdyrbrugsforsøg.
- Andersen, Preben E. og Bjarke Christiansen. 1970: Fortsatte undersøgelser med grønpiller, -cobs og -briketter. Landøkonomisk Forsøgslaboratoriums efterårsmøde, 284-288.
- Andersen, Preben E. og A. Just. 1975: Tabeller over fodermidlers sammensætning m.v. Det Kgl. danske Landhusholdningsselskab, København. 48 s.
- Baile, C.A. and W.H. Pfander. 1966: A possible chemosensitive regulatory mechanism of ovine feed intake. *Amer. J. Physiol.*, 210, 1243.
- Baker, A., M. Millett and L.D. Satter. 1975: Wood and wood based residues in animal feeds. Cellulose technology research. ACS. Symposium Series nr. 10, Washington D.C., 75-105
- Baker, A., A. Mohaupt and D.F. Spino. 1973: Evaluation of wood pulp as feedstuff for ruminants and substrate for *Aspergillus fumigates*. *J. Anim. Sci.*, 37, 179-182.
- Barnes, R.F., D.L. Müller, L.F. Bauman and V.F. Colenbrander. 1971: In vitro dry matter disappearance of brown midrib mutants of maize. *J. Anim. Sci.*, 33, 881-884.
- Baumgardt, B.R. 1969: Voluntary feed intake. In: Animal growth and nutrition. E.S.E. Hafez & I.A.D. Dyer (eds.). Lea & Febiger, Philadelphia, 121-137.
- Baumgardt, B.R. 1970: Control of feed intake in the regulation of energy balance. In: Physiology of digestion and metabolism in the ruminant. A.T. Philipson (ed.). Oriel Press, Newcastle, 235-253.
- Beever, D.E., J.F. Coelho de Silva, J.H.D. Prescott and D.G. Armstrong. 1972: The effect in sheep of physical form and stage of growth on the sites of digestion of a dried grass. 1. Sites of digestion of organic matter, energy and carbohydrate. *Br. J. Nutr.* 28, 347-356.
- Bergen, W.G. 1970: Osmolality and rumen function in sheep. *J. Anim. Sci.*, 31, 236 (Abstr.).

- Bergen, W.G. 1972: Rumen osmolality as a factor in feed intake control of sheep. *J. Anim. Sci.*, *34*, 1054-1060.
- Bines, J.A. 1971: Metabolic and physical control of feed intake in ruminants. *Proc. Nutr. Soc.*, *30*, 116-122.
- Boesen, C.E. og E.F. Kruse. 1952: Halmcellulose og dens anvendelighed som råstof til papirfabrikation. *Svensk Papperstidn.*, *23*, 885-896.
- Bolduan, G., J. Voigt, B. Piatkowski und H. Steger. 1971: Einfluss der Verabreichung leicht hydrolysierbarer Kohlenhydrate auf Verdaulichkeit und Pansenfermentation bei Kühen. *Arch. Tierernährung*, *21*, 141-149.
- Bolduan, G. und B. Piatkowski. 1972: Untersuchungen zum Aufschluss von Getreidestroh. 1. Mitteilung. Behandlung mit Natronlauge und die anschließende Neutralisierung. *Arch. Tierernährung*, *22*, 485-492.
- Bolduan, G., J. Voigt und B. Piatkowski. 1974: Untersuchungen zum Aufschluss von Getreidestroh. 3. Mitteilung. Einfluss der Behandlung mit Natronlauge auf die Pansenfermentation in Versuchen an Kühen. *Arch. Tierernährung*, *24*, 149-157.
- den Braver, E. 1974: Determination of metabolizable energy in straw for ruminants by in vivo and in vitro methods. *Swedish J. Agric. Research*, *4*, 53-59.
- Breirem, K. og T. Homb. 1970: *Formidler og Forkonservering*. Forlag Buskap og Avdrått, Gjøvik, 459 s.
- Brauns, F.E. 1952: Chemistry of lignin, p. 100. Academic Press, New York.
- Bryant, M.P. and L.A. Burkey. 1953: Numbers and some predominant groups of bacteria in the rumen of cows fed different rations. *J. Dairy Sci.*, *36*, 218-224.
- Buchanan-Smith, J.G., Y.T. Yao, S.O. Poluth and D.N. Mowat. 1972: Effect of sodiumhydroxide treatments on silage. *J. Anim. Sci.*, *35*, 226 (Abstr.).
- Campling, R.C. 1970: Physical regulation of voluntary intake. In: *Physiology of digestion and metabolism in ruminants*. A.T. Philipson (ed.). Oriel Press, Newcastle, 226-234.
- Carmona, J. Fernandez and J.F.D. Greenhalgh. 1972: The digestibility and acceptability to sheep of chopped or milled barley straw soaked or sprayed with alkali. *J. Agric. Sci., Camb.*, *78*, 477-485.
- Chandra S., and M.G. Jackson. 1971: A study of various chemical treatments to remove lignin from coarse roughage and increase their digestibility. *J. Agric. Sci., Camb.*, *77*, 11-17.
- Chappel, G.L.M. and J.P. Fontenot. 1968: Effect of level of readily-available carbohydrates in purified sheep rations on cellulose digestibility and nitrogen utilization. *J. Anim. Sci.*, *7*, 1709-1715.
- Clanton, D.C. and T.J. Klopfenstein. 1965: Utilization of alfalfa stem carbohydrates. 9th Tech. Alfalfa Conf. Proc. Agric. Res. Serv. No. 28.

- Cowling, E.B. 1975: Constraints in Cellulose hydrolysis. Cellulose as a chemical and energy resource. Biotechn. and Bioengin. Symposium, 5, Berkeley, 179.
- Dijkstra, N.D. 1969: Evaluation of the nutritive value of grassland products by means of in vivo and in vitro digestibility. Proc. 3, gen. Meet. European Grassland Fed., 267-273.
- Donefer, E., I.O.A. Adeleye and T.A.O.C. Jones. 1969: Effect of urea supplementation on the nutritive value of NaOH-treated oat straw. In: Cellulases and their applications. Adv. in Chem. Series. No. 95, 328-339.
- Donefer, E. 1973: Effect of processing on the nutritive value of roughage. In: Effect of processing on the nutritional value of feeds, Proc. Symp., Gainesville, Florida. National Academy of Sciences, Washington D.C., 211-227.
- Doree, C. 1947: The method of cellulose chemistry. Chapman and Hall, London, 542.
- Esdale, W.J. and L.D. Satter. 1972: Manipulation of ruminal fermentation. IV. Effect of altering ruminal pH on volatile fatty acid production. J. Dairy Sci. 55, 964-970.
- Flachowsky, G., H.J. Löhnert, J. Wolf, B. Müller und E. Krämer. 1976: NaOH-Zusatz bei der Strohpelletierung und Prüfung der Pellets im Tierversuch. Tierzucht 8, 359-362.
- Frederiksen, J.H. 1966: Fordøjelighedsforsøg efter in vitro metoden. Ugeskrift for landmænd, III, 63-67.
- Gierer, J. and B. Lenz. 1965: Reactions of lignin during sulphate cooking. Svensk Papperstidning, 68, 334-338.
- Gill, S.S., H.R. Conrad, and J.W. Hibbs. 1969: Relative rate of in vitro cellulose disappearance as a possible estimator of digestible dry matter intake. J. Dairy Sci. 52, 1687-1690.
- Goering, H.K. and P.J. Van Soest. 1970: Forage fiber analyses (Apparatus, reagents, procedures and some applications). Agric. Handbook No. 379, U.S. Dept. Agric.
- Greenhalgh, J.F.D. and F.W. Wainman. 1972: The nutritive value of processed roughages for fattening cattle and sheep. Proc. Brit. Soc. Anim. Prod., 61-72.
- Greenhalgh, J.F.D. and G.W. Reid. 1973: The effects of pelleting various diets on intake and digestibility in sheep and cattle. Anim. Prod. 16, 223-233.
- Guggolz, J., G.O. Kohler and T.J. Klopfenstein. 1971: Composition and improvement of grass straw for ruminant nutrition. J. Anim. Sci. 33, 151-156.
- Guggolz, J., R.M. Saunders, G.O. Kohler, T.J. Klopfenstein. 1971: Enzymatic evaluation of processes for improving agricultural wastes for ruminant feeds. J. Anim. Sci., 33, 167-170.
- Gyrd-Hansen, N. 1972: Studies on salt poisoning in pigs. Water and electrolyte distribution and renal function. Carl F. Mortensen, København, 62 s.

- Harkin, 1966: Recent development in lignin chemistry. *Fortschr. der chem. Forschung*, 6, 101–158.
- Hart, M.R., R.P. Graham, P.F. Hanni, W.C. Rockwell, M.G. Walker, G.O. Kohler, P.C. Waiss and W.N. Garret. 1975: Processing methods to improve the feed value of rice straw. *Feedstuffs*, 22, 22–23.
- Hills, A. Gorman. 1973: Acid-Base balance. Chemistry, physiology, pathophysiology. The Williams & Wilkins Company, Baltimore, 381 s.
- Hogan, J.P. and R.H. Weston. 1971: The utilization of alkali-treated straw by sheep. *Aust. J. Agric. Res.*, 22, 951–962.
- Homb, Thor. 1948: Fôringsforsøk med lutet halm. Norges Landbrukshøgskole, Fôringsforsøkene. 64. beret. 89 s.
- Hungate, R.E. 1957: Microorganisms in the rumen of cattle fed a constant ration. *Can. J. Microbiol.* 3, 289–310.
- Hungate, R.E., 1966: The rumen and its microbes. Academic Press, New York and London, 533 s.
- Hungate, R.E., J. Reichl and R. Prins. 1971: Parameters of rumen fermentation in a continuously fed sheep: Evidence of a microbial rumination pool. *Appl. Microbiol.*, 22, 1104–1113.
- Hvidsten, H. og H. Simonsen. 1952: Undersøkelser over luting og utvaskning av hel halm. *Tidsskr. for Det norske Landbruk*, 59, 85–93.
- Hvidsten, H. 1958: Undersøkelser over virkningen av lutet halm på ytelse og sunnhetsstilstand hos mjølkekyr. *Meldinger fra Norges Landbrukshøgskole*, 37. 4. 84. beret. fra Fôringsforsøkene. 12 s.
- Israelsen, M., B. Rexen og K. Vestergaard Thomsen. 1977: Cellulase insoluble fiber analysis as a measure for unavailable organic matter in cattle compounds with alkali-treated straw. *Unpublished*.
- Jackson, M.G. 1974: Improved utilization of agricultural waste materials and industrial by-products as livestock feed. Research Progress Report. G.B. Pant, University of Agric. and Techn., Uttar Pradesh, India.
- Jahn, R., P.T. Chandler and C.E. Polan. 1970: Effects of fiber and ratio of starch to sugar on performance of ruminating calves. *J. Dairy Sci.*, 53, 466–474.
- Jakobsen, P.E. og K. Weidner. 1973: Chemistry of feedstuffs and animals. Veterinærfakultetet for FAO-studerende, København.
- Jarrige, R., C. Demarquilly and J.P. Dulphy. 1974: The voluntary intake of forages. *Proc. 5. Gen. Meeting Europ. Grassld. Fed. Växtodling*, 28, 98–106.
- Javed, A.H. and E. Donefer. 1970: Alkali treated straw rations for fattening lambs. *J. Anim. Sci.* 31, 245 (Abstr.).
- Jensen, J., M. Israelsen, M. Møller og C. Clausen. 1975: Briketter og cobs af tørret grønt. Beretning nr. 72 fra Bioteknisk Institut. 53 s.

- Jones, M.J. and T.J. Klopfenstein. 1967: Chemical treatments of poor quality roughages. *J. Anim. Sci.* 26, 1492 (Abstr.).
- Jørgensen, K. 1957: Titrimetric determination of the net excretion of acid/base in urine. *Scand. J. Clin. Lab. Investigation*, 9, 287-291.
- Kellner, R.J. and M. Kirchgessner. 1976: Zur Schätzung der Nettoenergie von Grün- und Rauhfutter mit Hilfe der Rohnährstoffe und der In-vitro-Verdaulichkeit. *Zeitschrift Tierphys., Tiernähr. und Futtermittelkd.* 37, 201-207.
- Klopfenstein, T.J., V.E. Krause, M.J. Jones and W. Woods. 1972: Chemical treatment of low quality roughages. *J. Anim. Sci.* 35, 418-422.
- Kristensen, V. Friis og P.E. Andersen. 1973: Foderværdien af NaOH-behandlet halm. *Landøkonomisk Forsøgslaboratoriums efterårsmøde*, 394-398.
- Maeng, W.J., D.N. Mowat and W.K. Bilanski. 1971: Digestibility of sodium hydroxide treated straw fed alone or in combination with alfalfa silage. *Can. J. Anim. Sci.* 51, 743-747.
- Maki, L.R. and E.M. Foster. 1957: Effect of roughage in the bovine ration and types of bacteria in the rumen. *J. Dairy Sci.* 40, 905-913.
- Mann, S.O. 1968: An improved method for determining cellulolytic activity in anaerobic bacteria. *J. appl. Bact.* 31, 241-244.
- Mellenberger, R.W., L.D. Satter, M.A. Millett and A.J. Baker. 1971: Digestion of aspen, alkali-treated aspen and aspen bark by goats. *J. Anim. Sci.* 32, 756-763.
- Mowat, D.N. and B.G. Ololade. 1970: Effect of level of sodium hydroxide treatment on digestibility and voluntary intake of straw. *Can. Soc. Anim. Prod. Proc.* 35 (Abstr.).
- Mowat, D.N. 1971: NaOH-stover or straw silage in growing rations. *J. Anim. Sci.* 33, 1155 (Abstr.).
- Müller, L.D., V.V. Lechtenberg, L.F. Bauman, R.R. Barnes and C.L. Rhykerd. 1972: In vitro evaluation of a brown midrib mutant of *Zea mays* L. *J. Anim. Sci.*, 35, 883-889.
- Møller, P.D., 1968: Undersøgelser over fodringens indflydelse på vomgæringen og mælkens fedtprocent. *Landøkonomisk Forsøgslaboratoriums Årbog*, 516-533.
- Nielsen, Ejner. 1961: Oversigt over kvægforsøg 1933-1959. 328. beret. fra Forsøgslaboratoriet, 113-116.
- Ololade, B.G., D.N. Mowat and J.E. Winch. 1970: Effect of processing methods on the in vitro digestibility of sodiumhydroxide treated roughages. *Can. J. Anim. Sci.* 50, 657-662.
- Ololade, B.G., D.N. Mowat, Y.T. Yao, G.C. Smith, and G.C. Ashton. 1972: Sodium hydroxide-treated diet and body fluids parameters. *J. Anim. Sci.*, 35, 232-233.

- Ololade, B.G., D.N. Mowat and G.C. Smith. 1973: Digestibility and nitrogen retention of NaOH-treated diet. *J. Anim. Sci.*, *37*, 352 (Abstr.).
- Ololade, B.G. and D.N. Mowat. 1975: Influence of whole-plant barley reconstituted with sodiumhydroxide on digestibility, rumen fluid and plasma metabolism of sheep. *J. Anim. Sci.*, *40*, 351–357.
- Pew, J.C. and Philip Weina. 1962: Fine grinding enzyme digestion and the lignin-cellulose bond in wood. *Tappi*, *45*, 247–256.
- Phoenix, S.L., W.K. Bilanski and D.N. Mowat. 1947: In vitro digestibility of barley straw treated with sodium hydroxide at elevated temperatures. *Transactions of the ASAE*, *17*, 780–782.
- Piatkowski, B., G. Bolduan, P. Zwierz und P. Kauffold. 1973: Untersuchungen zum Aufschluss von Getreidestroh. 2. Mitteilung. Einfluss der Behandlung mit Natronlauge auf Struktur und Verdaulichkeit. *Arch. Tierernährung*, *23*, 435–445.
- Piatkowski, B., G. Bolduan, P. Zwiers und J. v. Lengerken. 1974a: Untersuchungen zum Aufschluss von Getreidestroh mit Natronlauge. 4. Mitteilung. Beziehungen zwischen der NaOH-Konzentration in behandeltem Stroh, dem säurefällbaren Ligninanteil und der Verdaulichkeit in vivo und in vitro. *Arch. Tierernährung*, *24*, 513–522.
- Piatkowski, B., L. Schmidt, F. Weissbach, J. Voigt, G. Peters und R. Prym. 1974b: Untersuchungen zum Aufschluss von Getreidestroh mit Natronlauge. 6. Mitteilung. Die Wirkungen einer gemeinsamen Ensilierung von NaOH-behandeltem Stroh und Grünmais auf die Silagequalität, Pansenfermentation und Verdaulichkeit. *Arch. Tierernährung*, *24*, 701–710.
- Piatkowski, B. 1976: Die Wirkung von kompaktierten Stroh-Konzentrat-Gemischen unter Verwendung von rohem und NaOH-behandeltem Getreidestroh in Versuchen an Milchkühen. 1. Mitt. Verdaulichkeit und Milchproduktion. *Arch. Tierernähr.* *26*, 131–137.
- Potter, B.J., D.J. Walker and W.W. Forrest. 1972: Changes in intraruminal function of sheep when drinking saline water. *Br. J. Nutr.*, *27*, 75–83.
- Rasmussen, J. 1966: Fraktioneret nettosyre: Titrerbar syre og ammonium. Røgshospitalets Centrallaboratorium. Analyseforskrift nr. 112–130.
- Rexen, B. 1976a: Enzymfordøjelighed. En metode til vurdering af foderværdien af alkalibehandlet halm. Bioteknisk Institut, 77. beretn., 11 s.
- Rexen, B. 1976b: Enzyme solubility – a method for evaluating the nutritive value of alkali treated straw. *Anim. Feed Sci. and Techn.* In Press.
- Rexen, F. 1968: Aspekter ved industriel fremstilling af kvægfoder på basis af halm. Meddelelser fra Halmlaboratoriet ved Forskningsinstituttet for Handels- og Industriplanter, 4, nr. 2.
- Rexen, F., P. Stigsen and V. Friis Kristensen. 1975: The effect of a new alkali treatment technique on the nutritive value of straw. 9. Nutr. Conf. Feed Manufact. Univ. of Nottingham, 65–82.

- Rexen, Finn og K. Vestergaard Thomsen. 1976: The effect on digestibility of a new technique for alkali treatment of straw. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 1, 73–83.
- Saxena, S.K., D.E. Otterby, J.D. Donker and A.L. Good. 1971: Effect of feeding alkali treated oat straw supplemented with soyabean meal or NPN on growth of lambs and on certain blood and rumen liquor parameters. *J. Anim. Sci.*, 33, 485–490.
- Schwalbe, C.G. 1933: Futterstoff aus Holz. *Angewandte Chemie*, 45, 707–718.
- Schultz, T.A. and A.T. Ralston. 1974: Effect of various additives on nutritive value of ryegrass straw silage. II. Animal metabolism and performance observations. *J. Anim. Sci.* 39, 926–930.
- Sejrsen, K. 1977: *Personlig meddelelse*.
- Sieber, R. 1951: *Untersuchungsmethoden der Zellstoff- und Papierindustrie*. Springer Verlag, Berlin.
- Siggaard-Andersen, O. 1974: *Personlig meddelelse*.
- Singh, M. and M.G. Jackson. 1971: The effect of different levels of sodium hydroxide spray treatment of wheat straw on consumption and digestibility by cattle. *J. Agric. Sci., Camb.*, 77, 5–10.
- Van Soest, P.J. 1964: New chemical procedures for evaluating forages. *J. Anim. Sci.*, 23, 838.
- Van Soest, P.J. and L.A. Moore. 1965: New chemical methods for analysis of forages for the purpose of predicting nutritive value. *Proc. 9th Int. Grassld. Congr.*, 783.
- Van Soest, P.J. 1967: Development of a comprehensive system of feed analyses and its application to forages. *J. Anim. Sci.*, 26, 119–128.
- Skovborg, E. Bülow og P.E. Andersen. 1973: Konserverede græsmarksafgrøder til malkekøer II. 4. beretn. fra Fællesudvalget for Statens Planteavls- og Husdyrbrugsforsøg, 46 s.
- Skovborg, E. Bülow og P.E. Andersen. 1976: Konserverede græsmarksafgrøder til malkekøer III. 5. beret. fra Fællesudvalget for Statens Planteavls- og Husdyrbrugsudvalg. 49 s.
- Steel, R.G.D. and J.H. Torrie. 1960: *Principles and procedures of statistics*. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 481 p.
- Sullivan, J.T. 1966: Studies of the hemicelluloses of forage plants. *J. Anim. Sci.*, 25, 83–86.
- Swan, H. and A. Karalazos. 1975: Molasses and its by-products. Ninth Nutr. Conf. for Feed Manufacturers. Univ. of Nottingham.
- Sørensen, M. og K. Kousgaard. 1976: Proteinmængdens indflydelse på tilvækst, slagte kvalitet og kødkvalitet hos fedekalve og ungtyre. 437. beretn. Statens Husdyrbrugsforsøg, 26 pp.

- Tarkow, H. and W.C. Feist. 1969: A mechanism for improving digestibility of lignocellulosic materials with dilute alkali and liquid ammonia. In: Cellulases and their applications. Adv. in Chem. Series No. 95, 197-217.
- Terry, R.A., M.C. Spooner and D.F. Osbourn. 1975: The feeding value of mixtures of alkali-treated straw and grass silage. J. Agric. Sci., Camb., 84, 373-376.
- Tilley, J.M.A. and R.A. Terry. 1963: A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. J. Brit. Grassl. Soc., 18, 104-111.
- Thomsen, K. Vestergaard og J. Henriksen. 1976: Laboratoriemetoder til vurdering af fodermidler og foderblandingers energetiske næringsværdi til drøvtyggere. 436. beretn. Statens Husdyrbrugsforsøg, 29 s.
- Thomsen, K. Vestergaard, F. Rexen og V. Friis Kristensen. 1973a: Forsøg med natriumhydroxid-behandling af halm. 1. Behandlingens indflydelse på halmens fordøjelighed. Ugeskrift f. Agron. og horton., 25, 436-440.
- Thomsen, K. Vestergaard, F. Rexen og V. Friis Kristensen. 1973b: Forsøg med natriumhydroxid-behandling af halm. 2. Den kemiske sammensætning af behandlet halm og metoder til måling af oplukningsgraden. Ugeskr. f. agron. og horton., 26, 467-470.
- Thomson, D.J. and S.B. Cammell. 1977: The utilization of the digested nutrients of forage by sheep. Ann. Rep., 1976, Grassland Res. Inst., Hurley, pp. 90-92.
- Ullmann. 1975: Cellulose. Ullmanns Encyclopädie der technischen Chemie, 9, 179-189.
- Watson, S.J. 1941: Increasing the feeding value of cereal straws. J. Roy. Agric. Soc., 101, 37-43.
- Weeth, H.J. and L.H. Haverland. 1961: Tolerance of growing cattle for drinking water containing sodium chloride. J. Anim. Sci., 20, 518-521.
- Wilkins, R.J. 1969: The potential digestibility of cellulose in forage and faeces. J. Agric. Sci., Camb., 73, 57-64.
- Wilson, R.K. and W.J. Pigden. 1964: Effect of a sodium hydroxide treatment on the utilization of wheat straw and poplar wood by rumen microorganisms. Can. J. Anim. Sci. 44, 122-123.
- Winter, K.A. and W.J. Pigden. 1971: Some effects of ruminal infusion of urea and urea-sucrose on utilization of oat straw by cows. Can. J. Anim. Sci., 51, 777-781.
- Voigt, J. und B. Piatkowski. 1974: Untersuchungen zum Aufschluss von Getreidestroh. 5. Mitteilung. Die Wirkung des Natriums im NaOH-behandelten Stroh auf die Zusammensetzung von Blut und Harn sowie auf die Exkretion verschiedener Verbindungen. Arch. Tierernährung, 24, 589-600.
- Waagepetersen, J. og K. Vestergaard Thomsen. 1976: Metoder til NH₃-behandling af halm belyst ved laboratorieforsøg. Ugeskr. f. agron., horton., forstkand. og lic., 121, 714-715.