

## Halm til foder

### II. Tilsætning af natriumhydroxyd på flytbare gårdanlæg

#### *Straw for fodder*

#### *II. Addition of NaOH on semimobile plants*

**Erik Møller, Norman Witt og Hans Z. Thellesen**

#### **Resumé**

I 1976–80 gennemførtes 9 forsøg med byghalm tilsat NaOH på flytbare gårdanlæg. De fleste af forsøgene gennemførtes på Statens jordbrugstekniske Forsøg, Byholm, og fordøjeligheden (får) bestemtes i 38 partier af NaOH-behandlet byghalm på Statens Forsøgsstation, Ødum. Resultaterne fra fordøjelighedsbestemmelserne (får) i den tilsvarende ubehandlede byghalm fremgår af en tidligere beretning (Møller *et al.*, 1984).

Resultaterne fra forsøgene med tilsætning af NaOH er korrigerede for indflydelsen af NaOH-tilsætning på bestemmelsen af tørstof og råaske i halm.

Resultaterne viste, at det gælder om at holde på reaktionsvarmen i den første tid efter tilsætningen af NaOH. Halm lagret i 4 m tykke lag er i stand til at holde på reaktionsvarmen i 1–3 døgn efter NaOH-tilsætningen.

Tilsætningen af NaOH bevirker et fald i halmens indhold af opløselige cellevægge (NDF-ADF), og en ret betydelig stigning i fordøjeligheden af organisk halmstof. Lagring ud over 1 uge efter NaOH-tilsætningen har en ringe, positiv indflydelse på fordøjeligheden af organisk halmstof.

Tilsætningen af NaOH bevirker også et fald på 6–7 enheder i det procentiske indhold af halmtørstof i det indre af halmdyngen og endnu mere i de yderste 20–30 cm af halmdyngen. For at forebygge selvantændelse tilrådes det at fjerne det yderste lag af halmdyngen efter ophold i ludningsarbejdet og inden eventuel dækning af halmen.

**Nøgleord:** Halm, NaOH-tilsætning, sammensætning, fordøjelighed.

#### **Summary**

The report presents results from 9 experiments with NaOH-treated barley straw applied with a semimobile NaOH plant. Most of the experiments were conducted at The National Agricultural Engineering Institute, Byholm, while the digestibility trials (sheep) with 38 lots of treated straw from the experiments were conducted at The Government Research Station, Ødum. The results from the digestibility trials (sheep) with the corresponding untreated straw are published in an earlier report (Møller *et al.*, 1984).

The results from the experiments with addition of NaOH have been corrected for the influence of NaOH-application on the determination of DM and ash in straw.

The results indicated that it is important to hold the heat produced after NaOH-application in the stack during the early stages. Straw stored in a layer of 4 m was able to retain the heat 1–3 days after application.

There is a decrease in the content of NDF-ADF in NaOH-treated straw and a considerable increase in the digestibility (*in vivo*) of organic straw matter. Storage over 1 week has a small but positive influence on the digestibility (*in vivo*) of organic straw matter.

There is a 6–7 unit decrease in the content of straw DM in NaOH-treated straw in the middle of the stack and an even greater reduction in the outer 20–30 cm. To prevent spontaneous ignition it is advisable to remove the outer layer after a stop in the application of NaOH and before a possible covering of the straw.

**Key words:** Straw, NaOH-application, composition, digestibility.

### Indledning

Behandling af halm til foder med natriumhydroxyd (NaOH) har været kendt længe. Allerede omkring århundredskiftet viste resultater fra tyske forsøg (*Lehmann*, 1895 og 1904), at en kogning af havrehalm i en 2% opløsning af NaOH øgede tørstoffets fordøjelighed fra 37 til 63% og forskellige lud- og vandmængder og tryk havde indflydelse på stigningen i fordøjeligheden.

Efter 1. verdenskrig beskrev *Beckmann* (1919 og 1921) en halmludningsmetode (*Beckmann's metode*), hvor halmen behandles med en ca. 2% opløsning af NaOH i 3 døgn. Til slut udvaskes den tiloversblevne NaOH med rindende vand. *Beckmann's metode* fik i modificeret form en betydelig udbredelse i Norge under og efter 2. verdenskrig (*Arnason & Sundstøl*, 1978). Omfanget af vådludning i Norge kulminerede omkring 1965, hvorefter det hurtigt aftog – især fordi udledning af udvaskningsvandet udgør en alvorlig forureningskilde af vandløbene.

I slutningen af 60-erne havde Bioteknisk Institut, Kolding, modificeret *Beckmann's metode* fra en vådludningsmetode til en halvtør metode (*Rexen*, 1978). I begyndelsen af 70-erne videreudviklede Bioteknisk Institut den halvtørre metode til en tør metode, som ikke er vandforbrugende og ikke indebærer tørring af det færdige produkt. Det første industrialanlæg – baseret på tørludningsmetoden – byggedes i 1972. Metoden og resultater fra fodringsforsøg til fastlæggelse af

foderværdi m.m. er beskrevet af *Kristensen et al.* (1978).

De danske landbrugsmaskinfabrikker – JF og Taarup – udviklede omkring midten af 70-erne flytbare gårdanlæg med en kapacitet på 2–4 t pr. time. Disse anlæg bygger også på tørludningsprincippet, således at det ludbehandlede produkt ikke udvaskes, og vandindholdet er så ringe, at produktet er nogenlunde lagerstabil (*Rexen*, 1978). På disse anlæg snittes halmen, inden den imprægneres med koncentreret natronlud. Lud-doseringen styres ved hastighedsregulering af fødebåndet for baller, og den snittede og ludedede halm transporteres på lager ved hjælp af en indbygget halmbløser.

Indtil midten af 70-erne blev NaOH-behandlet halm anset for at være lagerstabil, men i 1976 og 1977 indtraf der adskillige tilfælde af selvopvarmning/brand i lagre med pellets og halm, behandlet på gårdanlæg. *Kristensen* (1978) efterforskede nogle af tilfældene og konkluderede herudfra og fra egne undersøgelser, at risikoen for selvantændelse kan forebygges, når det våde toplag fjernes

Rettelser til *Møller et al.* 1984:  
Side 259, ligning (4)

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_i \quad \text{rettes til} \quad S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F$$

Side 261, tabel 2

% of DM rettes til % of OM

fra alle stakke uanset tykkelsen af laget og råvarens fugtighed.

De i denne beretning omhandlede 9 forsøg tager sigte på at belyse temperaturens og lagringens indflydelse på virkningen af den tilsatte NaOH på fordøjeligheden (*in vivo*) af organisk stof ved behandling på gårданlæg. Forsøgene tager også sigte på at klarlægge risikoen for selvantændelse af NaOH-behandlet halm.

Halmen, der er benyttet i de 9 forsøg (forsøg nr. 1–9), er beskrevet i en tidligere beretning (Møller *et al.*, 1984) om i alt 22 forsøg med 29 forskellige halmpartier.

### Forsøgenes gennemførelse

#### Forsøgsplan- og metodik

I de 9 forsøg behandlede bygghalm med NaOH i 27,7–32,5% opløsning i varierende mængder fra 1,3 til 5,3 kg NaOH pr. 100 kg halm. Forsøgene fordeler sig i 2 serier med henholdsvis 3 forsøg i 1976–77 (serie I) og 6 forsøg i 1978–80 (serie II). I serie I (forsøg 1–3) behandlede halmen på et Taarup-halmludningsanlæg og serie II (forsøg nr. 4–9) behandlede på et JF-halmludningsanlæg.

De 3 forsøg i serie I gennemførtes på henholdsvis Øster Grunnet ved Vejle, Statens Forsøgsstation ved Silstrup og De Landbrugstekniske Undersøgelser ved Ørritslevgaard. Forsøgsplanen for de enkelte forsøg i serie I fremgår af tabel 3. Den behandlede halm opbevaredes i store dynger i laden. I forsøg nr. 3, hvor der tilsattes NaOH i varierende mængder, opbevaredes den behandlede halm i en stor dyng, hvor halmen efter hver NaOH-mængde holdtes adskilt med net.

De 6 forsøg i serie II gennemførtes på Statens jordbrugstekniske Forsøg ved Bygholm, hvor halmen behandlede efter følgende plan:

- A. Ubehandlet halm.
- B. Behandlet halm lagret i 4 m tykke lag.
- C. Som B + afkøling ved gennemblæsning.
- D. Behandlet halm lagret i 0,25 m tykke lag.

Den behandlede halm (B, C og D) opbevaredes i

1. 1 uge
2. 4 uger

Den behandlede halm opbevaredes i lade, og behandling B.1. og B.2. gennemførtes i alle 6 forsøg, medens behandling C.2. gennemførtes i 5 forsøg og behandling C.1., D.1. og D.2. gennemførtes i 4 forsøg.

Lagringen i 4 m tykke lag skete ved at placere den behandlede halm i siloer, som indvendig var foret med plasticfolie. Siloerne opbyggedes af halmballer og brædder, og silobunden bestod af et lag halmballer.

Ved lagringen i 0,25 m tykke lag placeredes den behandlede halm på plasticfolie udbredt oven på et cementgulv.

I de siloer, hvor den opståede reaktionsvarme fjernedes ved ventilation af halmen, indførtes et kornblæserrør oven på silobunden og ind til midten af siloen. Ventilationen gennemførtes ved gennemblæsning med en almindelig kornblæser fra det tidspunkt, hvor temperaturmålinger viste, at reaktionsvarmen begyndte at aftage og indtil halmens temperatur var lig luftens temperatur.

Analyser og fordøjelighedsforsøg (får) med den behandlede halm gennemførtes som beskrevet i en tidligere beretning om ubehandlet halm (Møller *et al.*, 1984).

#### NaOH-tilsætningens indflydelse på bestemmelsen af tørstof og råaske

Tilsætning af NaOH til halm forøger tørstofmængden, men forøgelsen er afhængig af de reaktioner, som sker mellem halm og NaOH. Tilsætning af NaOH forøger naturligvis også askemængden. Stiger tørstofmængden og askemængden ikke lige meget, bliver mængden af organisk stof, som analytisk set er differencen mellem tørstof og aske, også påvirket af NaOH-tilsætningen.

Uanset hvordan Na forekommer i tørstoffet, vil det i asken forekomme som karbonat,  $2\text{NaOH} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ,

således at askemængden stiger med  $\frac{106}{2 \times 40}$

af den tilsatte NaOH's vægt.

Alle resultater fra de forsøg, som indgår i denne beretning, viser, at tilsætning af indtil 6 kg

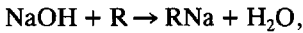
a) Reagerer den tilsatte NaOH ikke med halmen, vil tørstofmængden stige med NaOH's vægt, således at

$$(1) \text{ kg tørstof} = \text{kg halmtørstof} + \text{kg NaOH}$$

og

$$(2) \text{ kg organisk stof} = \text{kg organisk halmstof} + \text{kg NaOH} - \text{kg NaOH} \times \frac{53}{40} \\ = \text{kg organisk halmstof} - \text{kg NaOH} \times \frac{13}{40}$$

b) Reagerer NaOH med syregrupper i halmen



vil tørstofmængden kun stige med  $\frac{40-18}{40}$  af den tilsatte NaOH's vægt,

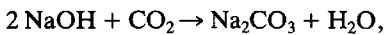
således at

$$(3) \text{ kg tørstof} = \text{kg halmtørstof} + \text{kg NaOH} \times \frac{22}{40}$$

og

$$(4) \text{ kg organisk stof} = \text{kg organisk halmstof} + \text{kg NaOH} \times \frac{22}{40} - \text{kg NaOH} \times \frac{53}{40} \\ = \text{kg organisk halmstof} - \text{kg NaOH} \times \frac{31}{40}$$

(c) Reagerer NaOH med CO<sub>2</sub> fra luften fås



og tørstofmængden vil stige med  $\frac{106}{2 \times 40}$  af den tilsatte NaOH's vægt,

således at

$$(5) \text{ kg tørstof} = \text{kg halmtørstof} + \text{kg NaOH} \times \frac{53}{40}$$

og

$$(6) \text{ kg organisk stof} = \text{kg organisk halmstof} + \text{kg NaOH} \times \frac{53}{40} - \text{kg NaOH} \times \frac{53}{40} \\ = \text{kg organisk halmstof}.$$

NaOH pr. 100 kg halmtørstof bevirkede et ret betydeligt fald i halmens NDF-indhold og en betydelig stigning i halmens indhold af fordøjeligt organisk stof (*in vivo*). Disse ændringer kunne ikke være indtrådt, hvis ikke den tilsatte NaOH i overvejende grad havde reageret med halmens syregrupper. Endvidere ligger korrelationen (r) mellem den behandlede halms indhold af råaske i serie I og II beregnet som  $\text{kg NaOH} \times \frac{53}{40} + \text{kg råaske}$  i ubehandlet halm og fundet direkte ved analyse på 0,865. Den behandlede halms indhold af halmtørstof og organisk halmstof beregnedes derfor ud fra (3) og (4).

De ændringer, som tilsætning af indtil 6 kg NaOH pr. 100 kg halmtørstof, der har reageret

med halmens syregrupper, kan have på bestemmelsen af dels halmens indhold af Na, tørstof, aske og organisk stof i kg pr. 100 kg halmtørstof og dels på halmens indhold af fordøjeligt organisk

**Tabel 1.** Ændring i halmens indhold af Na, tørstof, aske og organisk stof ved tilsætning af NaOH, kg pr. 100 kg halmtørstof.

*Changes in the content of Na, DM, ash and OM in straw with application of NaOH, kg per 100 kg straw DM.*

	NaOH, kg pr. 100 kg halmtørstof NaOH, kg per 100 kg straw DM					
	1	2	3	4	5	6
Na . . . . .	0,57	1,14	1,72	2,29	2,87	3,44
Tørstof (DM) .	0,55	1,10	1,65	2,20	2,75	3,30
Aske (Ash) .	1,32	2,65	3,97	5,30	6,62	7,95
Org. stof (OM)	-0,77	-1,55	-2,32	-3,10	-3,87	-4,65

**Tabel 2.** NaOH-tilsætningens indflydelse på bestemmelse af fordøjeligt organisk stof ved 55, 60 og 65% fordøjelighed af organisk halmstof.

*The influence of NaOH-application on the determination of DOM at 55, 60 and 65% digestibility of organic straw matter.*

	NaOH, kg pr. 100 kg halmtørstof NaOH, kg per 100 kg straw DM					
	1	2	3	4	5	6
55 . . . . .	54,7	54,3	53,9	53,5	53,2	52,7
60 . . . . .	59,6	59,3	59,0	58,6	58,3	57,9
65 . . . . .	64,7	64,4	64,1	63,8	63,5	63,2

stof (*in vivo*) ved en fordøjelighed på 55, 60 og 65% af det organiske halmstof fremgår af tabel 1 og 2.

Tilsætning af 1–6 kg NaOH pr. 100 kg halmtørstof reducerer mængden af organisk stof med 0,7–4,6 kg pr. 100 kg halmtørstof (tabel 1), hvorimod bestemmelsen af fordøjeligt organisk stof kun reduceres med 0,3–2,3 procentenheder (tabel 2).

Grove fejl på bestemmelsen af organisk stof i den NaOH-behandlede halm giver altså relativt beskedne fejl på fordøjeligheden af organisk stof, fordi fejlen optræder i såvel tæller som nævner ved beregningen af fordøjeligheden.

Tilsætning af NaOH til halmen har næppe indflydelse på askebestemmelsen i dyrenes gødning, da drøvtyggerne uanset Na-koncentrationen i foderet udskiller samme mængde Na gennem gødningen, således at overskuddet udskilles med urinen. I overensstemmelse hermed steg fårenes vandforbrug, når de i fordøjelighedsforsøgene fodredes med NaOH-behandlet halm.

### Resultater

#### Serie I (forsøg nr. 1–3)

NaOH-tilsætning i kg pr. 100 kg halmtørstof og % tørstof i halmen efter NaOH-tilsætningen samt dens indhold af Na og råaske i % af tørstof er i de 3 forsøg, der gennemførtes i 1976–77, anført i tabel 3. I tabellen er også anført halmens pH og

**Tabel 3.** NaOH-behandlet byghalm<sup>1)</sup>, 1976–77.  
*NaOH-treated barley straw<sup>1)</sup>, 1976–77.*

NaOH, kg/100 kg halmts.	%	% af tørstof				pH	% af organisk stof			
		Na	rå- aske	total -N	træ stof		FOS <sup>2)</sup>	IVOS <sup>3)</sup>	EOS <sup>4)</sup>	VOS <sup>5)</sup>
NaOH, kg/100 kg straw DM	% DM	Na	ash	total -N	CF	pH	DOM <sup>2)</sup>	IVSOM <sup>3)</sup>	ESOM <sup>4)</sup>	RSOM <sup>5)</sup>
Forsøg nr. 1 <i>Experiment no. 1</i> Øster Grunnet										
4,97 . . . . .	86,4	2,88	11,32	0,592	40,7	7,9	66,1	74,6	56,5	84,0
Forsøg nr. 2 <i>Experiment no. 2</i> Silstrup										
2,12 . . . . .	82,4	1,52	8,73	0,486	42,7	8,3	53,5	57,2	36,0	–
5,42 . . . . .	78,5	3,32	12,12	0,527	41,1	9,6	57,4	–	43,6	–
Forsøg nr. 3 <i>Experiment no. 3</i> Ørritslevgaard										
1,61 . . . . .	82,3	1,48	8,22	0,639	42,7	8,4	56,7	60,3	39,9	73,3
1,71 . . . . .	83,4	1,54	9,39	0,841	41,7	9,0	58,7	61,0	39,8	71,7
1,89 . . . . .	82,4	1,64	9,48	0,865	41,0	9,1	58,6	59,5	43,1	74,5
2,60 . . . . .	81,8	2,03	10,35	0,822	42,4	9,5	56,6	63,0	45,1	75,2
2,91 . . . . .	80,8	2,20	10,08	0,750	41,8	9,4	60,2	–	47,9	75,5
3,86 . . . . .	78,6	2,72	11,14	0,742	43,1	9,8	63,6	–	47,3	80,5

<sup>1)</sup> Ubehandlet byghalm: Se Møller et al. (1984). *Untreated straw: look Møller et al. (1984)*

<sup>2)</sup> Fordøjeligt organisk stof. *Digestible OM*

<sup>3)</sup> *In vitro*-opløseligt organisk stof. *In vitro-soluble OM*

<sup>4)</sup> Enzymopløseligt organisk stof. *Enzyme-soluble OM*

<sup>5)</sup> Vomvæskeopløseligt organisk stof. *Rumen liqueur-soluble OM*

dens indhold af fordøjeligt organisk stof (FOS), *in vitro*-opløseligt organisk stof (IVOS), enzym opløseligt organisk stof (EOS) og vomvæskeopløseligt organisk stof (VOS) i % af organisk stof.

Sammenlignes resultaterne efter NaOH-tilsætningen med resultaterne fra den tilsvarende ubehandlede halm (Møller *et al.*, 1984) ses det, at NaOH-tilsætningen ved alle mængder i alle 3 forsøg ændrede halmens sammensætning, pH og fordøjelighed. Tilsætningen af NaOH i en mængde på indtil 5,4 kg pr. 100 kg halmtørstof reducerede tørstofprocenten og øgede pH-værdien og indholdet af FOS, således at ændringerne øgedes ved stigende NaOH-tilsætning.

Virkingen af NaOH-tilsætningen øgedes, når beregningerne baseredes på det procentiske indhold af halmtørstof og fordøjeligt organisk halmstof (FOHS). Forøgelse svarer stort set til de tidligere omtalte ændringer ved tilsætning af NaOH til halm, der er anført i tabel 1 og 2. Det

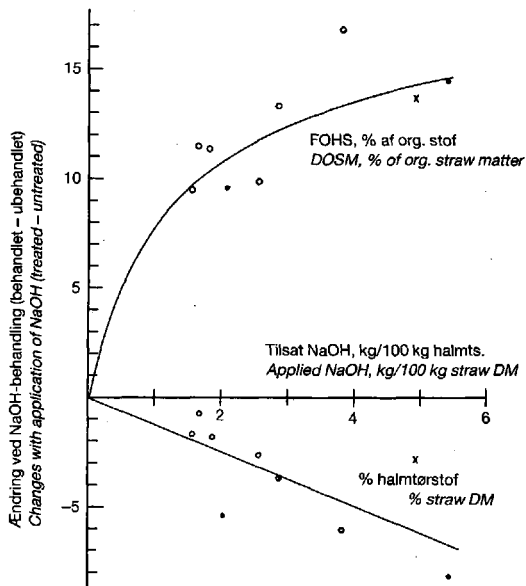


Fig. 1. Ændringer i det procentiske indhold af halmtørstof og i indholdet af FOHS i % af organisk halmstof ved tilsætning af NaOH til byghalm (forsøg nr. 1: x, nr. 2: ● og nr. 3: ○), 1976-77.

*Changes in the percentage content of straw DM and in the content of digestible organic straw matter (DOSM) in % of organic straw matter by application of NaOH to barley straw (exp. no. 1: x, no. 2: ● and no. 3: ○), 1976-77.*

**Tabel 4.** Mængde af NaOH og dato for NaOH-tilsætning samt dato for gennemblæsning af halm. Statens jordbrugstekniske Forsøg, Bygholm 1978-80.

*Amounts of NaOH and day of application and day of ventilation of straw. National Agricultural Engineering Institute, Bygholm 1978-80.*

Behandling Treatment	Forsøg nr. Experiment no.					
	4	5	6	7	8	9
NaOH, kg pr. 100 kg halmtørstof NaOH, kg per 100 kg straw DM						
B-D	6,2	3,9	2,9	4,2	4,7	6,2
Dato for NaOH-tilsætning Day of NaOH-application						
B.1	17/5	13/2	30/4	19/2	19/2	12/5
B.2	17/5	13/2	30/4	19/2	19/2	12/5
C.1	-	13/2	30/4	19/2	-	12/5
C.2	17/5	13/2	30/4	19/2	-	12/5
D.1	17/5	13/2	-	19/2	-	12/5
D.2	17/5	13/2	-	19/2	-	12/5
Dato for gennemblæsning af halm Day of ventilation of straw						
C.1	-	16/2	2/5	21/2	-	14/5
C.2	19/5	16/2	2/5	21/2	-	14/5

**Tabel 5.** Temperaturmålinger ved NaOH-tilsætning til halm. Statens jordbrugstekniske Forsøg, Bygholm 1978-80.

*Measurements of temperature at NaOH-application to straw. National Agricultural Engineering Institute, Bygholm 1978-80.*

Behandling Treatment	Forsøg nr. Experiment no.					
	4	5	6	7	8	9
Lufttemperatur ved NaOH-tilsætning, °C Temperature of air at NaOH-application, °C						
B-D	11	>11	8	1	1	15
Maksimumtemperatur i halm, °C Maximum temperature in straw, °C						
B.1	70	32	29	39	45	70
B.2	76	35	32	44	37	72
C.1	-	33	27	33	-	60
C.2	53	28	31	31	-	63
Maksimumtemperatur i halm, dato Maximum temperature in straw, day						
B.1	18/5	14/2	1/5	21/2	20/2	13/5
B.2	18/5	14/2	1/5	21/2	20/2	13/5
C.1	-	14/2	1/5	20/2	-	13/5
C.2	18/5	14/2	1/5	20/2	-	13/5

fremgår yderligere af resultaterne i fig. 1, at en tilsætning på 4 kg NaOH pr. 100 kg halmtørstof, der er ret almindelig i praksis, reducerer % halmtørstof med 4–5 enheder og øger % FOHS med næsten 14 enheder.

#### Serie II (forsøg nr. 4–9)

De 6 forsøg i serie II gennemførtes på forskellige årstider med lufttemperatur fra 0 til 15° C ved tilsætningen af NaOH (tabel 4 og 5). Som tidligere nævnt (side 583) afkøledes halmen i led C.1. og C.2. på det tidspunkt, hvor reaktionsvarmen begyndte at aftage. Som der fremgår af de målte temperaturer, indtraf tidspunktet 1–3 døgn efter tilsætningen af NaOH. I enkelte tilfælde (forsøg nr. 4 og 9) steg halmens temperatur til >70° C ved NaOH-tilsætningen.

Byghalmens procentiske indhold af tørstof inden NaOH-tilsætning og tørstoffets procentiske indhold af råaske, totalkvælstof, træstof, celleindhold (CI) og opløselige cellevægge (OCV) samt halmens pH og dens indhold af FOS i % af organisk stof er i sammendrag vist i tabel 6. Sammendraget er udarbejdet på grundlag af enkeltresultaterne fra den ubehandlede halm i forsøg nr. 4–9, der er anført i en tidligere beretning (Møller *et al.*, 1984). Tabellen viser fordelings spredning omkring medianen ved angivelse af 1. og 4.

**Tabel 6.** Ubehandlet byghalm. 6 forsøg<sup>1)</sup> ved Statens jordbrugstekniske Forsøg, Bygholm 1978–80. *Untreated barley straw. 6 experiments<sup>1)</sup> at The National Agricultural Engineering Institute, Bygholm 1978–80.*

	1. pentil <i>1st pentile</i>	Median <i>Median</i>	4. pentil <i>4th pentile</i>
% tørstof <i>DM</i> . . . . .	83,6	84,3	87,2
% af tørstof % of <i>DM</i>			
Råaske, <i>ash</i> . . . . .	3,45	4,12	6,05
Total-N . . . . .	0,547	0,625	0,802
Træstof <i>CF</i> . . . . .	42,9	45,0	48,1
CI ( <i>100-NDF</i> ) . . . . .	15,2	16,5	20,1
OCV ( <i>NDF-ADF</i> ) . . . . .	28,2	30,5	31,5
pH . . . . .	5,9	6,6	8,1
% af organisk stof % of <i>OM</i>			
FOS <i>DOM</i> . . . . .	40,9	44,2	46,3

<sup>1)</sup> Forsøg nr. 4–9 *Experiment no. 4–9 (Møller et al., 1984)*

pentil. Nævnte pentiler angiver de 2 værdier, som afskærer henholdsvis den laveste og den højeste femtedel af fordelingen.

Halmens procentiske indhold af tørstof efter NaOH-tilsætningen og dette tørstofs procentiske indhold af Na, råaske, totalkvælstof, træstof, NDF og ADF er anført som enkeltresultater i tabel 7. Halmens pH-værdi efter NaOH-tilsætningen samt dens indhold af FOS, IVOS, EOS og VOS i % af organisk stof er også anført i tabel 7.

Sammenlignes resultaterne efter NaOH-tilsætningen (tabel 7) med resultaterne fra den tilsvarende ubehandlede halm (Møller *et al.*, 1984 og tabel 6), ses det, at halmen inden tilsætning af NaOH var ret tør med et tørstofindhold på 83–87%. Dette indhold reduceredes med indtil 7 enheder ved tilsætningen af NaOH. Indholdet af Na, råaske og totalkvælstof var lavt inden NaOH-tilsætningen, og indholdet af Na og råaske steg ved tilsætningen, medens indholdet af totalkvælstof i de fleste tilfælde reduceredes.

Indholdet af træstof var højt i halmen inden tilsætning af NaOH, og det reduceredes lidt ved tilsætningen. Halmens pH lå på 6–8 og steg til 9–10 ved NaOH-tilsætningen.

Indholdet af FOS varierede omkring 44% af organisk stof inden NaOH-tilsætning, og det steg ret betydeligt ved tilsætningen. Indholdet af IVOS, EOS og VOS steg ligeledes ret betydeligt ved NaOH-tilsætningen.

På grundlag af enkeltresultaterne i tabel 7 og de tidligere omtalte ændringer ved tilsætning af NaOH på bestemmelsen af tørstof og aske (side 583) beregnedes indholdet af halmtørstof og halmaske. Endvidere beregnedes indholdet af totalkvælstof, træstof, CI og OCV i % af halmtørstof og indholdet af FOHS i % af organisk halmstof. Ud fra de således omregnede resultater beregnedes virkningen af den tilsatte NaOH på halmens sammensætning og fordøjelighed som forskellen mellem behandlet og ubehandlet byghalm. Disse forskelle er i sammendrag anført i tabel 8.

Det fremgår af medianværdierne i tabel 8, at NaOH-tilsætningen til byghalm lagret i 1 uge i 4 m tykke lag (B.1.) bevirkede, at halmens procentiske indhold af halmtørstof faldt med 6 enheder.

**Tabel 7.** NaOH-behandlet byghalm lagret i en uge (1) og i 4 uger (2) i 4 m tykke lag uden (B) og med (C) afkøling ved gennemblæsning 1-3 døgn efter tilsætning af NaOH og i 0,25 m tykke lag (D). Statens jordbrugstekniske Forsøg, Bygholm 1978-80.

*NaOH-treated barley straw stored for 1 week (1) and 4 weeks (2) in 4 m layers without (B) and with (C) refrigeration by ventilation 1-3 days after application of NaOH and at 0.25 m layers (D). The National Agricultural Engineering Institute, Bygholm 1978-80.*

Behandling	% tørstof	% af tørstof						% af organisk stof				
		Na	rå- aske	total -N % of DM	træ- stof % of DM	NDF	ADF	pH	FOS	IVOS % of OM	EOS	VOS
Treatment	% DM	Na	ash	total -N	CF	NDF	ADF	pH	DOM	IVSOM	ESOM	RSOM
<b>Forsøg nr. 4 Experiment no. 4</b>												
B.1	84,7	2,49	8,44	0,608	43,4	68,2	50,0	9,6	61,8	78,7	55,6	77,7
B.2	85,7	2,97	10,64	0,658	41,5	63,5	49,4	9,6	67,3	79,4	61,5	81,6
C.2	85,8	2,16	7,71	0,609	42,0	66,3	48,6	9,6	62,1	63,2	46,5	74,4
D.1	81,8	2,76	9,07	0,571	42,3	73,3	49,7	10,1	59,4	69,8	47,6	75,5
D.2	84,2	2,73	9,09	0,592	41,1	71,3	48,0	9,9	63,3	71,8	46,5	79,4
<b>Forsøg nr. 5 Experiment no. 5</b>												
B.1	79,6	2,12	9,08	0,622	42,7	71,1	50,0	9,7	59,3	70,5	43,4	73,1
B.2	79,6	2,22	8,62	0,677	46,3	71,5	49,9	9,9	61,9	66,3	45,1	72,7
C.1	79,9	2,18	8,51	0,621	43,7	72,9	50,0	9,7	59,4	59,9	41,0	73,3
C.2	79,5	2,20	8,69	0,632	44,7	72,5	50,2	9,9	60,0	71,5	41,0	71,3
D.1	80,0	1,64	7,68	0,598	43,4	78,4	49,2	9,6	52,1	66,2	30,7	63,6
D.2	78,6	1,74	7,92	0,597	42,0	78,1	49,9	10,0	55,4	60,4	34,0	64,7
<b>Forsøg nr. 6 Experiment no. 6</b>												
B.1	82,2	1,43	7,47	0,745	42,6	75,9	50,6	9,5	53,3	54,8	37,5	63,1
B.2	85,5	1,44	7,43	0,757	41,8	75,2	50,3	9,5	57,5	52,4	39,2	64,6
C.1	81,6	1,53	7,12	0,763	42,8	76,1	51,8	9,7	55,4	52,8	39,5	63,4
C.2	83,7	1,78	8,39	0,770	42,9	73,3	50,9	9,7	58,8	58,0	43,4	67,4
<b>Forsøg nr. 7 Experiment no. 7</b>												
B.1	79,9	1,98	9,29	0,572	45,3	74,8	52,7	9,6	56,9	63,6	38,1	72,0
B.2	77,7	2,55	10,37	0,595	42,9	68,2	52,2	9,8	56,6	60,9	47,1	76,0
C.1	78,9	2,16	9,29	0,532	45,5	73,4	53,2	9,7	56,1	59,9	41,1	72,2
C.2	77,9	2,13	9,30	0,563	43,7	71,8	54,2	9,6	54,4	62,4	44,2	74,1
D.1	76,9	2,19	9,84	0,570	44,1	72,2	52,0	9,6	52,9	57,1	37,0	71,0
D.2	77,3	2,22	9,75	0,559	43,6	74,0	52,3	9,6	52,2	55,5	37,8	70,1
<b>Forsøg nr. 8 Experiment no. 8</b>												
B.1	80,1	2,25	10,54	0,567	42,4	72,4	53,0	9,6	56,6	55,2	43,4	65,5
B.2	79,6	2,22	10,14	0,552	43,9	70,3	54,1	9,6	56,5	62,0	43,4	66,5
<b>Forsøg nr. 9 Experiment no. 9</b>												
B.1	81,7	2,84	9,53	0,506	46,0	68,4	53,4	9,6	60,5	69,0	48,9	70,7
B.2	81,7	3,24	10,52	0,428	46,5	68,6	53,7	9,8	62,1	71,9	51,7	76,1
C.1	80,6	3,31	9,97	0,413	46,4	68,9	53,7	10,0	61,9	73,3	49,2	72,1
C.2	81,8	2,92	9,82	0,462	46,2	70,5	54,3	9,8	63,4	69,8	50,1	73,4
D.1	80,2	3,23	10,23	0,439	44,7	70,3	52,9	10,3	59,7	63,4	44,3	67,4
D.2	81,4	3,26	10,44	0,453	44,5	70,8	52,8	9,9	60,5	59,5	44,7	67,7



**Tabel 8.** Forskel (b-a) mellem NaOH-behandlet byghalm (b) lagret i 4 m tykke lag uden (B) og med (C) afkøling ved gennemblæsning 1-3 døgn efter tilsætning af NaOH og i 0,25 m tykke lag (D) og ubehandlet byghalm (a). 6 forsøg ved Statens jordbrugstekniske Forsøg, Bygholm 1978-80.

*Difference (b-a) between NaOH-treated barley straw (b) stored in 4 m layers without (B) and with (C) refrigeration by ventilation 1-3 days after application of NaOH and at 0.25 m layers (D) and untreated barley straw (a). 6 experiments at The National Agricultural Engineering Institute, Bygholm 1978-80.*

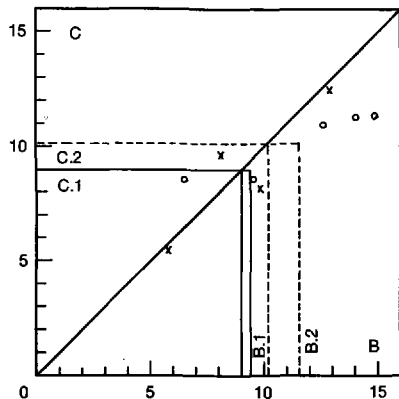
	1. Opbevaret i en uge <i>1. Stored in 1 week</i>			2. Opbevaret i 4 uger <i>2. Stored in 4 weeks</i>		
	1. pentil <i>1st pentile</i>	Median <i>Median</i>	4. pentil <i>4th pentile</i>	1. pentil <i>1st pentile</i>	Median <i>Median</i>	4. pentil <i>4th pentile</i>
<b>% halmtørstof % straw DM</b>						
B .....	-6,75	-6,10	-3,90	-7,55	-6,85	-0,95
C .....	-7,75	-6,50	-4,25	-7,20	-6,75	-2,35
D .....	-8,75	-8,50	-6,25	-8,25	-7,50	-6,25
<b>Halmaske, % af halmtørstof Straw ash, % of straw DM</b>						
B .....	-1,02	-0,35	0,52	-1,30	-0,55	0,30
C .....	-0,37	0,00	0,87	-0,55	0,12	0,70
D .....	-0,62	0,00	0,87	-0,62	-0,25	1,12
<b>Totalkvælstof, % af halmtørstof Total-N, % of straw DM</b>						
B .....	-0,054	-0,018	0,078	-0,027	0,011	0,053
C .....	-0,050	-0,040	-0,012	-0,037	-0,021	0,032
D .....	-0,062	-0,025	0,018	-0,062	-0,018	0,037
<b>Træstof, % af halmtørstof CF, % of straw DM</b>						
B .....	-0,75	0,20	1,05	-1,00	-0,25	3,05
C .....	-0,12	0,45	0,62	-0,60	-0,42	0,37
D .....	-1,85	-0,25	0,15	-2,12	-1,50	-1,40
<b>pH</b>						
B .....	2,0	2,8	4,0	2,0	2,9	4,2
C .....	1,7	2,8	4,5	2,1	2,7	4,3
D .....	1,7	3,2	4,7	2,1	3,0	4,3

Endvidere fremgår det, at yderligere lagring i 3-4 uger (B.2.) samt fjernelse af den opståede reaktionsvarme ved ventilering 1-3 døgn efter tilsætningen af NaOH (C) kun havde ubetydelig indflydelse på virkningen af NaOH-tilsætningen på % halmtørstof. Derimod fremgår det, at opbevaring af halmen i 0,25 m tykke lag (D) efter tilsætning af NaOH bevirkede, at % halmtørstof - især efter 1 uges lagring - faldt med yderligere et par enheder. Dette skyldes, at den opståede reaktionsvarme ved NaOH-tilsætningen hurtigere afgives fra halm lagret i tynde lag med deraf følgende mindre vandfordampning end fra halm lagret i tykkere lag. Indholdet af halmaske, totalkvælstof og træstof ændredes ikke nævneværdigt ved til-

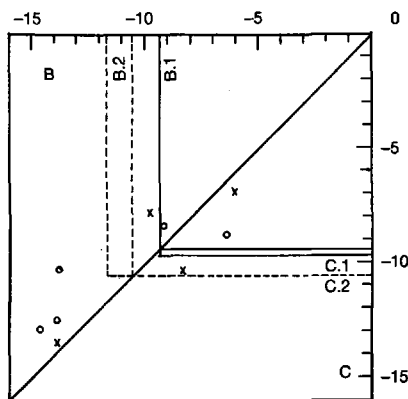
sætningen af NaOH, og pH-værdien steg med ca. 3 enheder.

Forskellene mellem behandlet og ubehandlet halms indhold af CI og OCV i % af halmtørstof og FOHS i % af organisk halmstof er anført i fig. 2. Figuren omfatter 2 delfigurer for hver af de 3 nævnte stofgrupper med behandling B's indhold af den pågældende stofgruppe som absците og henholdsvis behandling C's og D's indhold af samme stofgruppe som ordinat. Punkternes placering i forhold til halveringslinien ( $y = x$ ) illustrerer virkningen af NaOH-tilsætningen i behandling C og D i forhold til virkningen i behandling B. Gennemsnitsværdier for henholdsvis 1 og 4 ugers lagring er tegnet som 2 vinkelrette linier

a. Ændring i CI, % af halmtørstof  
a. Changes in (100-NDF), % of straw DM



b. Ændring i OCV, % af halmtørstof  
b. Changes in (NDF-ADF), % of straw DM



c. Ændring i FOHS, % af org. halmstov  
c. Changes in DOSM, % of org. straw matter

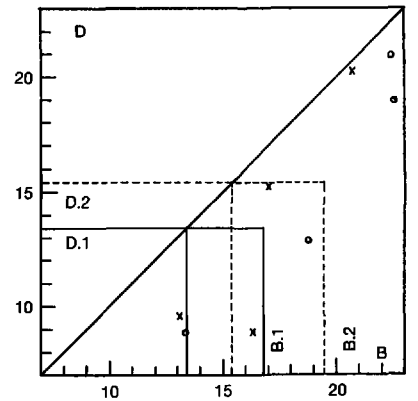
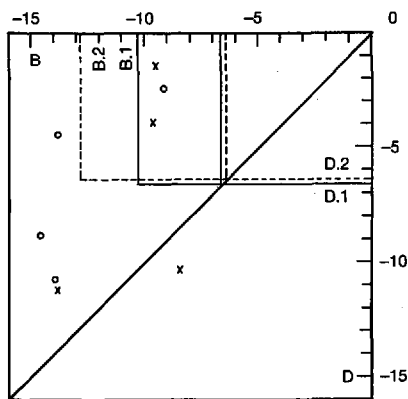
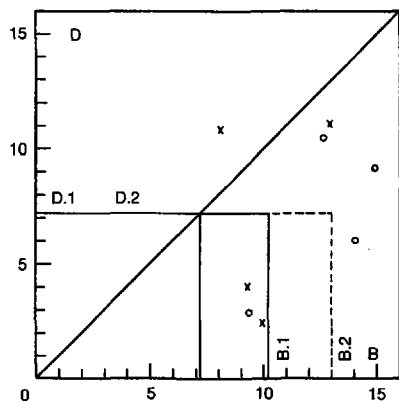
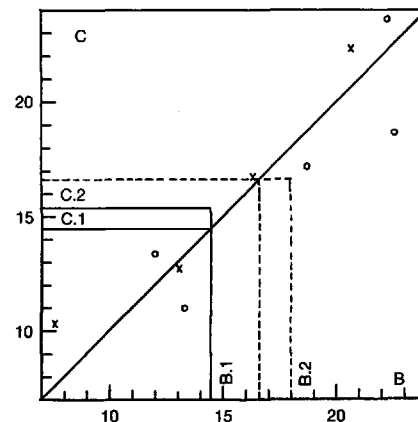


Fig. 2. Forskel mellem NaOH-behandlet byghalm lagret i 1 uge (1) og 4 uger (2) i 4 m tykke lag uden (B) og med (C) afkøling ved gennemblæsning 1-3 døgn efter tilsætning af NaOH og i 0,25 m tykke lag (D) og ubehandlet byghalm (lagring i 1 uge: × og 4 uger: ○). 6 forsøg ved Statens jordbrugstekniske Forsøg, Bygholm 1978-80.

*Difference between NaOH-treated barley straw stored for 1 week (1) and 4 weeks (2) in 4 m layers without (B) and with (C) refrigeration by ventilation 1-3 days after application of NaOH and at 0.25 layers (D) and untreated barley straw (storing for 1 week: × and 4 weeks: ○). 6 experiments at The National Agricultural Engineering Institute, Bygholm 1978-80.*

på abscisse og ordinat, således at afstandene C.1.–B.1. og C.2.–B.2. samt D.1.–B.1. og D.2.–B.2. illustrerer den gennemsnitlige indflydelse af henholdsvis behandling C og D på virkningen af NaOH ved lagring af halmen i 1 uge og 4 uger.

Efter halmens lagring i 1 uge i 4 m tykke lag (B.1.) bevirkede NaOH-tilsætningen, at % NDF reduceredes medens % ADF stort set forblev uændret. Herved aftog % OCV med omkring 10 enheder (fig. 2), hvilket stort set var lige så mange enheder, som % CI tilsyneladende steg. Samtidig hermed steg % FOHS med næsten 15 enheder. Disse ændringer øgedes med 2–3 enheder ved yderligere lagring i 3–4 uger (B.2.).

I forhold til behandling B havde afkøling af halmen ved gennemblæsning 1–3 døgn efter NaOH-tilsætningen (C.1. og C.2.) kun en mindre, men stort set negativ indflydelse på virkningen af den tilsatte NaOH på halmens indhold af CI, OCV og FOHS. Derimod havde en hurtig varmeafgivelse, som ved lagring i 0,25 m tykke lag (D.1. og D.2.), en betydelig negativ indflydelse på virkningen af den tilsatte NaOH, idet ændringerne i halmens

procentiske indhold af CI, OCV og FOHS reduceredes med 3–6 enheder.

Som tidligere nævnt faldt det procentiske indhold af halmtørstof med 6–7 enheder, når byghalmen blev tilsat NaOH og lagret i 4 m tykke lag (tabel 8). Undersøgelser i forbindelse med nærværende forsøg (nr. 4–9) viser (fig. 3), at det procentiske indhold af halmtørstof var betydeligt lavere i de yderste 20–30 cm af halmdyngen end længere inde, fordi den varme luft afgiver vand ved kondensation.

Undersøgelserne viser også, at NaOH-tilsætningen ved behandling B stort set havde samme positive virkning på halmens indhold af EOS i de yderste 20–30 cm som i resten af halmdyngen. I forhold hertil havde afkøling af halmen ved gennemblæsning 1–3 døgn efter NaOH-tilsætningen (C) en negativ indflydelse på indholdet af EOS i de yderste lag af halmdyngen.

### Diskussion

Af resultaterne med tilsætning af NaOH til halm på flytbare gårdanlæg, som afleverer halmen i snittet stand, fremgår det, at det gælder om at udnytte reaktionsvarmen i den første tid efter tilsætningen af NaOH. Det fremgår også af resultaterne, at halm lagret i 4 m tykke lag er i stand til at holde på reaktionsvarmen i de første 1–3 døgn efter NaOH-tilsætningen. I god overensstemmelse hermed fandt *Rexen* (1978), at den kemiske reaktion mellem lud og halm fortsætter under lagringen, og behandlingen drager nytte af dels den kraftige varmeudvikling under reaktionen og dels den gode isolering med snittet halm.

Det fremgår endvidere af resultaterne, at lagring af halmen ud over 1 uge efter NaOH-tilsætningen kun har en ringe positiv indflydelse på fordøjeligheden af organisk stof. Samstemmende hermed fandt *Rexen* (1978), at enzymopløseligheden af organisk stof stiger hurtigt de første 3 døgn efter NaOH-tilsætningen, hvorefter stigningstakten aftager betydeligt.

Det fremgår yderligere af resultaterne, at enzymopløseligheden af organisk stof i de yderste 20–30 cm af en halmbeholdning lagret i 4 m tykke lag efter tilsætning af NaOH er omtrent lige så

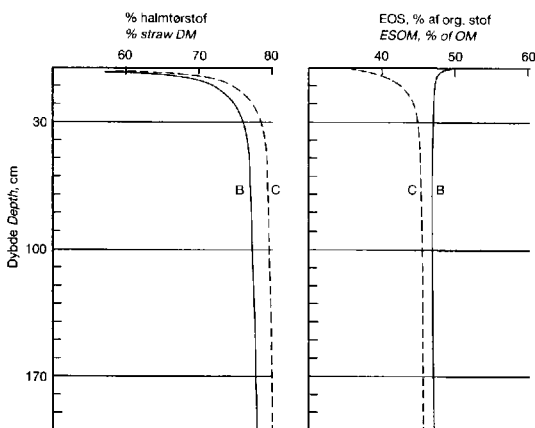


Fig. 3. % halmtørstof og % EOS i NaOH-behandlet byg-halm lagret i 4 m tykke lag uden (B) og med (C) afkøling ved gennemblæsning 1–3 døgn efter tilsætning af NaOH. 6 forsøg ved Statens jordbrugstekniske Forsøg, Bygholm 1978–80.

% straw DM and % ESOM in NaOH-treated barley straw stored in 4 m layers without (B) and with (C) refrigeration by ventilation 1–3 days after application of NaOH. 6 experiments at The National Agricultural Engineering Institute, Bygholm 1978–80.

stor som i resten af beholdningen. I forhold hertil viser resultaterne fra de yderste 20–30 cm af en halmbeholdning afkølet ved gennemblæsning 1–3 døgn efter tilsætning af NaOH og fra halm lagret i 0,25 m tykke lag imidlertid, at virkningen af tilsætning af NaOH på enzymopløseligheden og fordøjeligheden af organisk stof reduceres betydeligt. Dette skyldes antagelig, at halmen i de yderste 20–30 cm af 4 m tykke lag er i stand til at udnytte den forsinkede varmeafgivelse inde fra halmbeholdningen, medens dette ikke er tilfældet med halm, hvorfra reaktionsvarmen ved ludningen hurtigt afgives.

Det procentiske indhold af halmtørstof falder med 6–7 enheder efter NaOH-tilsætningen. Dette fald bliver betydeligt større i de yderste 20–30 cm af halmdyngen end længere inde, fordi den varme luft under sin passage fra det indre af halmdyngen afgiver vand ved kondensation. Samstemmende hermed fandt *Kristensen* (1978), at et ydre lag på 10–15 cm af stakke med NaOH-behandlet halm er fugtigere end de indre lag, og tildækkes et sådant lag med halm, øges risikoen for selvantændelse. *Kristensen* foreslog derfor, at det våde lag fjernes 3–5 døgn og evt. igen 10 døgn efter NaOH-tilsætningen for at forebygge selvantændelse.

### Konklusioner

Af resultaterne fra forsøgene med NaOH-tilsætning til byghalm på flytbare gårdanlæg kan drages følgende konklusioner:

1. Det gælder om at holde på reaktionsvarmen i den første tid efter tilsætningen af NaOH, og halm, som lagres i 4 m tykke lag, er i stand til at holde på varmen i 1–3 døgn efter NaOH-tilsætningen.

2. Tilsætningen af NaOH bevirker, at % opløselige cellevægge i halmen aftager med omkring 10 enheder. Samtidig hermed stiger % fordøjeligt organisk halmstof med næsten 15 enheder.

3. Lagring ud over 1 uge efter NaOH-tilsætningen har en ringe positiv indflydelse på virkningen af NaOH på fordøjeligheden af organisk halmstof.

4. Efter NaOH-tilsætningen falder det procentiske indhold af halmtørstof med 6–7 enheder i det indre af halmdyngen. I de yderste 20–30 cm af halmdyngen falder indholdet af halmtørstof endnu mere på grund af kondensvand. Det tilrådes derfor at fjerne det yderste lag af halmdyngen efter ophold i ludningsarbejdet og inden eventuel dækning af halmen for at forebygge selvantændelse.

### Litteratur

- Arnason, J. & Sundstøl, F.* (1978): Våtluting av halm. NJF-seminar om halm i Middelfart den 28.–31. marts 1978, 18 pp.
- Beckmann, E.* (1919): Beschaffung der Kohlehydrate im Kriege. Reform der Strohaufschliessung. Preussische Akademie der Wissenschaften. Berlin, Sitzungsberichte, 1919.
- Beckmann, E.* (1921): Veredlung von Getreidestroh und Lupinen zu hochwertigen Futtermitteln. Festsch. der Kaiser Wilhelm, Gesellschaft zur Förderung d. Wiss. zu ihren Zehnjährigen Jubiläum, Berlin 1921.
- Kristensen, T. P.* (1978): Undersøgelse over årsagerne til selvantændelse i ludbehandlet halm. Beretning nr. 83 fra Bioteknisk Institut, 1–27, Kolding.
- Kristensen, V. Friis, Andersen, P. E., Stigsen, P., Thomsen, K. Vestergaard, Andersen, H. Refsgaard, Sørensen, M., Ali, C. S., Mason, V. C., Rexen, F., Israelson, M. & Wolstrup, J.* (1978): Natriumhydroxyd-behandlet halm som foder til kvæg og får. Beretning nr. 464 fra Statens Husdyrbrugsforsøg, 1–218. København.
- Lehmann, F.* (1895): Fütterungsversuche. Göttingen. I. Verdauungsversuche. Landwirtschaftliche Jahrbücher. 24. Ergänzungsband I. 112–119.
- Lehmann, F.* (1904): Das Aufschliessen von Stroh. Deutsche landw. Presse 31, 207–209.
- Møller, E., Wüt, N. & Thellessen, H. Z.* (1984): Halm til foder. I. Ubehandlet halm. Tidsskr. Planteavl 88, 257–263.
- Rexen, F.* (1978): Kemisk behandling af halm til foderformål. NJF-seminar om halm i Middelfart den 28.–31. marts 1978, 11 pp.

Manuskript modtaget den 11. september 1984.