

Landbrugscentret

Institut for Grovfoder, Forsøgsanlæg Foulum

8833 Ørum Sønderlyng

Statens jordbrugstekniske Forsøg

Bygholm, 8700 Horsens

Halm til foder

III. Tilsætning af natriumhydroxyd til fugtig halm

Straw for fodder

III. Addition of NaOH to wet straw

Erik Møller, Norman Witt og Hans Z. Thellesen

Resumé

Byghalm af varierende tørhedsgrad blev tilsat NaOH på flytbare gårdanlæg.

Halm med mindst 80% tørstof inden NaOH-tilsætningen er lagerfast i mindst 2 måneder efter tilsætningen af NaOH, medens halm med 72% tørstof eller mindre bliver uegnet som foder på grund af mugdannelse.

Tilsætningen af NaOH bevirker en reduktion i % halmtørstof i halm med mindst 80% tørstof før NaOH-tilsætning og en mindre stigning i % halmtørstof i halm med 72% tørstof eller mindre.

Tilsætningen af NaOH har en meget positiv virkning på fordøjeligheden af organisk halmstof. Denne virkning aftager dog lidt med halmens tørhedsgrad.

Indholdet af fordøjeligt organisk stof (*in vivo*) i halm med og uden NaOH-tilsætning er betydeligt korreleret med indholdet af vomvæskeopløseligt og enzymopløseligt organisk stof og ret betydeligt korreleret med indholdet af *in vitro*-opløseligt organisk stof.

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

Summary

The report presents results from 4 experiments with NaOH-treated barley straw of varying moisture content applied with a semimobile NaOH-plant. The experiments were conducted at The National Agricultural Engineering Institute, Bygholm, while the digestibility trials (sheep) with 22 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 (2).

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 straw with > 80% DM before NaOH-application is stable at least 2 months after NaOH-application, while formations of mould spoil the straw with \leq 72% DM.

The addition of NaOH cause a reduction in % straw DM of straw with > 80% DM before NaOH-application and a smaller rise in % straw DM of straw with \leq 72% DM.

The addition of NaOH has a considerable effect on the digestibility of organic straw matter. This effect is on the decline with increasing level of DM-content in straw.

The content of DOM in straw with and without NaOH-application ($n = 83$) is correlated with the content of rumen liquer-soluble OM (RSOM) ($r = 0.930$), and enzyme-soluble OM (ESOM) ($r = 0.914$) and in vitro-soluble OM (IVSOM) ($r = 0.851$). The following equations illustrate the relationship between soluble and digestible OM:

$$\% \text{DOM}_{(\text{IVSOM})} = 7.04 \times \% \text{IVSOM}^{0.511}$$

$$\% \text{DOM}_{(\text{ESOM})} = 95.2 - 2594.1/(\% \text{ESOM} + 27.2)$$

$$\% \text{DOM}_{(\text{RSOM})} = 3.31 \times \% \text{RSOM}^{0.673}$$

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

Indledning

I 2 tidligere beretninger om halm til foder beskrev Møller *et al.* (2, 3) dels 22 forsøg med 29 partier ubehandlet halm (forsøg nr. 1–22) og dels 9 forsøg med byghalm tilsat NaOH på flytbare gårdanlæg (forsøg nr. 1–9). Gennemførelsen af de 9 forsøg tog især sigte på at belyse temperaturens (reaktionsvarmens) og lagringens indflydelse på fordøjeligheden (*in vivo*) af organisk stof i tør halm efter tilsætning af NaOH.

Resultaterne fra de 9 forsøg med tør halm viste, at det gælder om at holde på reaktionsvarmen i den første tid efter NaOH-tilsætningen, hvilket f.eks. opnås ved at lagre halmen i 4 m tykke lag efter tilsætningen. Halmens tørstof % falder ved NaOH-tilsætningen, og den bliver lavere i de yderste 30 cm af halmstakken end længere inde.

I forbindelse med en undersøgelse over årsagerne til selvantændelse i NaOH-behandlet halm nævnte Kristensen (1), at en sænkning af lager temperaturen fra f.eks. 30°C til 15°C vil medføre en væsentlig forlænget holdbarhed, når et foderstofs vandaktivitet (vandindhold) ligger lige omkring grænsen for skimmelvækst.

De i denne beretning omhandlede forsøg (forsøg nr. 10–13) omfattende 12 partier halm af varierende tørhedsgrad tager sigte på at belyse virkningen af dels tilsætning af NaOH på halmens indhold af fordøjeligt organisk stof (*in vivo*) og dels afkøling ved gennemblæsning på halmens holdbarhed efter NaOH-tilsætningen.

Forsøgenes gennemførelse

Beretningen omfatter 4 forsøg med tilsætning af NaOH til 12 partier af byghalm med varierende tørhedsgrad. Der tilsattes NaOH i 27,7–32,5% opløsning i varierende mængder fra 2,2 til 4,8 kg pr. 100 kg halm på et JF-halmludningsanlæg.

Forsøgene udførtes på Statens jordbrugstekniske Forsøg ved Bygholm i 1978–81 efter følgende plan:

- A. Behandling af lagerfast halm (> 85% tørstof).
- B. Behandling af fugtig halm (78–85% tørstof).
- C. Behandling af våd halm (< 78% tørstof).
 1. Uden afkøling.
 2. Med afkøling ved gennemblæsning når temperaturmålinger i halmen viser, at reaktionsvarmen begynder at aftage.

Efter tilsætning af NaOH lagredes halmen i 2 måneder i 4 m tykke lag. Under lagringen opbevaredes halmen udendørs i siloer tagdækket med presenninger. Siloernes opbygning af halmballer og brædder og fjernelsen af den opståede reaktionsvarme ved gennemblæsning af halmen er beskrevet i en tidligere beretning (3).

Analyser og fordøjelighedsbestemmelser (får) af den behandlede byghalm fulgte samme fremgangsmåde som beskrevet i en tidligere beretning om ubehandlet halm (2). Korrektion for NaOH-tilsætningens indflydelse på bestemmelsen af tørstof og aske foregik som beskrevet i en tidligere beretning om tilsætning af NaOH til halm (3).

Resultater

Ved bjergningen af halmen til forsøg nr. 10–13 varierede % tørstof kun lidt fra forsøg til forsøg i halmen fra led A og B (tabel 1). Derimod varierede % tørstof ret betydeligt i halmen fra led C – især fordi halmen til forsøg nr. 12 var mindre dugvåd end anslået inden bjergningen.

Umiddelbart efter halmbjergningen tilsattes mellem 2,7 og 5,7 kg NaOH pr. 100 kg halmtørstof. Herved øgedes vandindholdet med 1,8–4 kg pr. 100 kg halmtørstof. Lufttemperaturen på tilsætningstidspunktet lå på 12–16°C.

Tabel 1. % tørstof i halm inden tilsætning af NaOH, dato for NaOH-tilsætning og lufttemperatur under NaOH-tilsætningen samt mængde af NaOH. Statens jordbrugstekniske Forsøg, Bygholm 1978–81.

% DM in straw before application of NaOH, date of NaOH-application and air temperature at the application of NaOH and also amount of NaOH. The National Agricultural Engineering Institute, Bygholm 1978–81.

Behandling Treatment	Forsøg nr. Experiment no.			
	10	11	12	13
% tørstof i halm inden NaOH-tilsætning % DM in straw before NaOH-application				
A	86,3	87,2	85,5	85,5
B	84,2	83,6	81,8	82,7
C	68,5	68,7	81,0	72,0
Dato for NaOH-tilsætning Date of NaOH-application				
A-C	12/9	20/9	3/9	19/8
Lufttemperatur under NaOH-tilsætningen, °C Air temperature at the application of NaOH, °C				
A-C	12	13	16	13
NaOH, kg pr. 100 kg halmtørstof NaOH, kg per 100 kg straw DM				
A	4,2	3,9	3,9	3,2
B	5,7	2,7	3,4	3,9
C	4,2	5,7	3,9	3,8

Som tidligere nævnt afkøledes halmen ved gen-nemblæsning i led A.2., B.2. og C.2. på det tids-punkt, hvor reaktionsvarmen begyndte at aftage. Temperaturmålingerne viser, at den temperaturstigning, der opstod på grund af reaktionen mellem halmen og den tilsatte NaOH, aftog 8–48 ti-

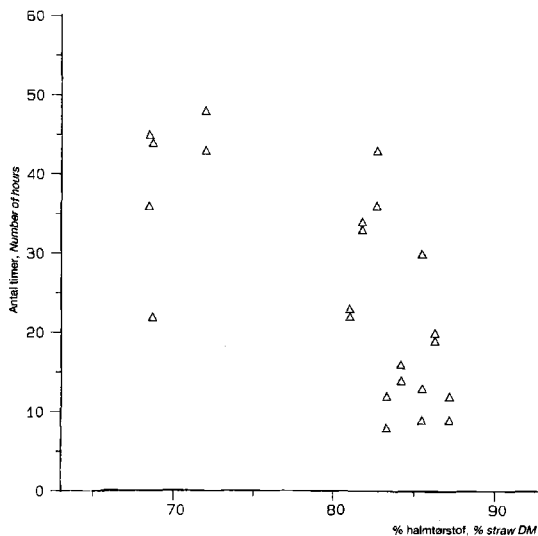


Fig. 1. Relationen mellem % halmtørstof inden NaOH-tilsætning og antal timer fra NaOH-tilsætning og til registrering af maksimumtemperatur i halm efter NaOH-tilsætning. 12 halmpartier (forsøg nr. 10–13) ved Statens Jordbrugstekniske Forsøg, Bygholm, 1978–81.

The relationship between % straw DM before NaOH-application and number of hours from NaOH-application to recording of maximum temperature in straw after NaOH-application. 12 batches of straw (exp. no. 10–13) at the National Agricultural Engineering Institute, Bygholm 1978–81.

mer efter NaOH-tilsætningen (fig. 1). Målinger i praksis viste, at halm i større stakke også opnåede samme temperaturforløb i begyndelsen af behandlingsperioden. Afkølingen af halmen indledtes derfor 1–3 døgn efter tilsætningen af NaOH (tabel 2).

I adskillige tilfælde steg temperaturen mere i halm med > 80% tørstof end i halm med ≤ 72% tørstof (fig. 2), hvor der var en større vandmængde at opvarme. Afkølingen af halmen i led B.2. og C.2. blev i de fleste tilfælde gentaget, fordi temperaturen i den fugtige og våde halm igen begyndte at stige (tabel 2). Den gentagne temperaturstigning skyldtes en større mikrobiel omsætning i den våde halm end i den tørre halm. Allerede efter 2 måneders lagring var halmen med ≤ 72% tørstof mere eller mindre uegnet som foder på grund af betydelige mugdannelse. Såle-

Tabel 2. Dato for gennemblæsning af halm samt mugdannelse i halm 2 måneder efter NaOH-tilsætning. Statens jordbrugstekniske Forsøg, Bygholm 1978-81.

Date of ventilation of straw and also formations of mould in straw 2 months after NaOH-application. The National Agricultural Engineering Institute, Bygholm 1978-81.

Behandling Treatment	Forsøg nr. Experiment no.			
	10	11	12	13
Dato for gennemblæsning af halm Date of ventilation of straw				
A.2	14/9	21/9	5/9	21/8
B.2	14/9	21/9 ¹⁾	5/9 ¹⁾	21/8 ¹⁾
C.2	14/9 ¹⁾	21/9 ¹⁾	5/9 ¹⁾	21/8 ¹⁾
Mugdannelser 2 måneder efter NaOH-tilsætning ²⁾ Formations of mould 2 months after NaOH-application ²⁾				
A.1	-	-	-	-
A.2	-	-	-	-
B.1	-	-	-	-
B.2	-	-	-	-
C.1	+++	+++	-	+
C.2	++	++	-	+

¹⁾ Gentagne gennemblæsninger senere i perioden
Repeated ventilations later in the period

- ²⁾ -: Ingen synlige mugdannelse
No visible formations of mould
+ : Synlige mugdannelse i hele beholdningen
Visible formations of mould in the whole batch
++ : Mange synlige mugdannelse i hele beholdningen
Many visible formations of mould in the whole batch
+++ : Hele beholdningen gennemgroet af mug,
kasseret som foder
*The whole batch totally infected by mould,
discarded as fodder*

des blev halmen fra led C.1. i forsøg nr. 10 og 11 kasseret som foder.

Byghalmens indhold af råaske, totalkvælstof, træstof, celleindhold (CI) og opløselige cellevægge (OCV) i % af tørstof samt halmens pH-værdi og dens indhold af fordøjeligt organisk stof (FOS), in vitro-opløseligt organisk stof (IVOS), enzymopløseligt organisk stof (EOS) og vomvæskeopløseligt organisk stof (VOS) i % af organisk stof inden tilsætning af NaOH er i sammendrag vist i tabel 3. Sammendraget er udarbejdet på grundlag af enkeltresultaterne fra den ubehandlede halm i forsøg nr. 10-13, der er anført i en tidligere beretning (2). Tabellen viser fordelings

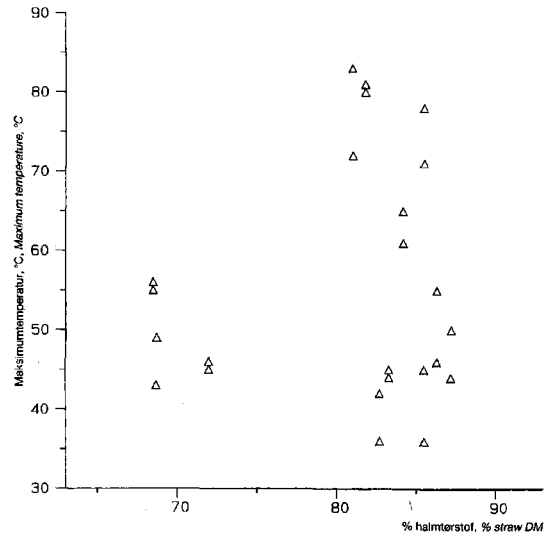


Fig. 2. Relationen mellem % halmtørstof inden NaOH-tilsætning og maksimumtemperatur i halm efter NaOH-tilsætning. 12 halmpartier (forsøg nr. 10-13) ved Statens Jordbrugstekniske Forsøg, Bygholm 1978-81.

The relationship between % straw DM before application of NaOH and maximum temperature in straw after NaOH-application. 12 batches (exp. no. 10-13) at The National Agricultural Engineering Institute, Bygholm 1978-81.

Tabel 3. Ubehandlet byghalm. 4 forsøg¹⁾ med i alt 12 halmpartier ved Statens jordbrugstekniske Forsøg, Bygholm 1978-81.

Untreated barley straw. 4 experiments¹⁾ with a total of 12 batches of straw at The National Agricultural Engineering Institute, Bygholm 1978-81.

	1. pentil 1st pentile	Median Median	4. pentil 4th pentile
% af tørstof, % of DM			
Råaske, Ash	3,80	4,50	6,05
Total-N	0,620	0,750	1,350
Træstof, CF	39,1	44,7	46,9
CI, 100-NDF	15,1	17,2	19,4
OCV, NDF-ADF.	27,1	28,8	30,7
pH	7,0	7,3	7,9
% af organisk stof, % of DM			
FOS, DOM	41,1	45,0	48,7
IVOS, IVSOM	31,0	38,6	41,2
EOS, ESOM	21,5	23,2	26,0
VOS, RSOM	39,1	46,2	51,2

¹⁾ Forsøg nr. 10-13 Experiment no. 10-13 (2).

Tabel 4. NaOH-behandlet lagerfast (A), fugtig (B) og våd (C) byghalm lagret i 2 måneder i 4 m tykke lag uden (1) og med (2) afkøling ved gennemblæsning. Statens jordbrugstekniske Forsøg, Bygholm 1978–81.
NaOH-treated dry (A), humid (B) and wet (C) straw of barley stored for 2 months in 4 m layers without (1) and with (2) refrigeration by ventilation. The National Agricultural Engineering Institute, Bygholm 1978–81.

Behandling	% tørstof	% af tørstof				NDF	ADF	pH	% af organisk stof			
		Na	rå- aske	total -N % of DM	træ- stof				FOS	IVOS	EOS	VOS
Treatment	% DM	Na	ash	total -N	CF	NDF	ADF	pH	DOM	IVSOM	ESOM	RSOM
Forsøg nr. 10 Experiment no. 10												
A.1	82,0	2,44	9,55	0,741	43,4	70,0	50,9	9,8	62,3	53,5	43,6	75,3
A.2	83,3	2,48	10,13	0,677	43,2	70,0	51,1	9,8	61,5	57,1	48,5	75,2
B.1	80,4	2,72	10,18	0,757	42,1	67,5	49,8	9,8	64,3	53,3	48,4	78,8
B.2	78,8	2,80	10,38	0,777	42,2	69,2	49,7	9,8	63,2	64,9	45,0	76,6
C.2	69,9	2,80	12,69	0,844	43,9	64,8	51,7	10,1	65,5	54,0	64,8	75,5
Forsøg nr. 11 Experiment no. 11												
A.1	81,6	1,98	8,58	0,785	44,0	73,6	53,1	9,8	59,3	64,2	44,1	71,3
A.2	79,2	2,20	9,46	0,856	43,9	73,1	52,9	9,9	58,6	64,5	42,9	71,6
B.1	80,3	1,85	8,37	0,772	44,1	76,0	53,9	9,7	55,4	60,0	41,3	68,6
B.2	79,3	1,88	8,16	0,767	43,7	74,2	53,5	9,7	55,7	62,7	39,3	68,8
C.2	72,7	2,48	10,45	1,030	43,5	69,5	53,5	10,0	60,2	66,5	49,5	75,6
Forsøg nr. 12 Experiment no. 12												
A.1	85,2	1,84	7,26	1,336	38,9	75,6	51,2	8,9	50,8	49,5	37,4	59,4
A.2	85,7	2,04	8,08	1,441	37,8	74,0	51,2	9,1	55,3	51,2	39,8	60,4
B.1	79,4	2,34	11,07	1,399	38,4	72,1	54,7	9,6	57,4	65,8	45,6	66,8
B.2	81,0	2,28	10,27	1,373	38,3	72,2	52,5	9,4	57,5	64,2	47,5	65,6
C.1	82,5	2,28	10,09	1,161	39,3	73,7	54,4	9,9	61,8	63,1	49,2	67,6
C.2	80,0	2,13	10,23	1,344	37,2	72,7	52,2	9,4	59,0	57,2	44,4	64,9
Forsøg nr. 13 Experiment no. 13												
A.1	81,4	1,92	9,31	0,524	45,9	75,2	56,3	9,7	62,6	59,5	42,7	70,0
A.2	82,4	1,92	9,07	0,487	46,1	76,2	55,9	9,5	61,3	62,4	42,1	71,4
B.1	77,7	2,37	10,25	0,574	46,7	73,9	57,0	9,8	66,4	63,8	46,6	71,2
B.2	76,7	2,25	10,22	0,615	45,8	74,9	58,6	9,8	66,3	68,9	45,1	74,1
C.1	74,2	2,73	11,07	0,539	47,0	79,7	58,9	10,0	61,9	72,8	53,6	77,4
C.2	74,9	2,34	10,55	0,587	47,8	72,5	59,5	10,0	62,7	68,0	51,3	75,1

spredning omkring medianen ved angivelse af 1. og 4. percentil. Nævnte percentiler 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 4. Halmens pH-værdi og dens indhold af FOS, IVOS, EOS og VOS i % af organisk stof efter NaOH-tilsætningen er også anført i tabel 4.

Sammenlignes resultaterne efter NaOH-tilsætningen (tabel 4) med resultaterne fra den tilsvarende ubehandlede halm (2 og tabel 1 og 3) ses det, at halmens tørstof % reduceredes med indtil 6 og 8 enheder, hvor tørstofindholdet inden NaOH-tilsætningen lå på henholdsvis 81–84% og > 85%. Halmens tørstof % steg imidlertid med indtil 4 enheder, hvor tørstofindholdet lå på ≤ 72% tørstof inden NaOH-tilsætningen.

Indholdet af FOS varierede omkring 45% af organisk stof inden NaOH-tilsætningen, og det

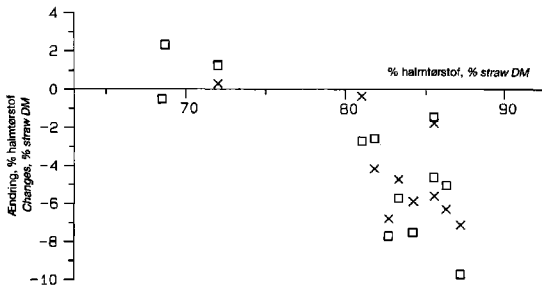


Fig. 3. Relationen mellem % halmtørstof inden NaOH-tilsætning og ændringer i % halmtørstof efter NaOH-tilsætning og lagring af halm uden afkøling (×) og med afkøling ved gennemblæsning (□). 12 halmpartier (forsøg nr. 10–13) ved Statens jordbrugstekniske Forsøg, Bygholm 1978–81.

The relationship between % straw DM before NaOH-application and changes in % straw DM after NaOH-application and storage of straw without refrigeration (×) and with refrigeration by ventilation (□). 12 batches of straw (exp. no. 10–13) at The National Agricultural Engineering Institute, Bygholm 1978–81.

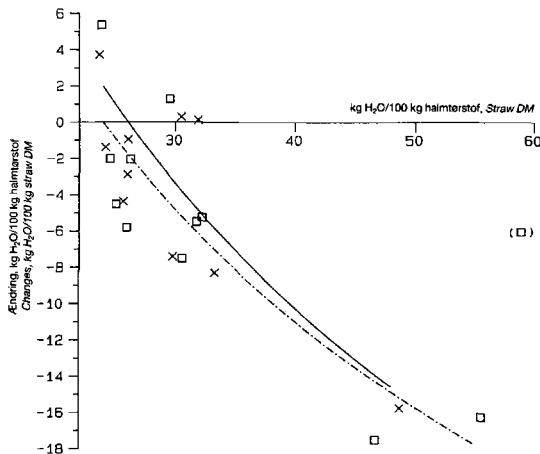


Fig. 4. Relationen mellem vand i halm + vand i NaOH og ændringer i vandindhold efter NaOH-tilsætning og lagring uden afkøling (×—×) og med afkøling ved gennemblæsning (□—□). 12 halmpartier (forsøg nr. 10–13) ved Statens jordbrugstekniske Forsøg, Bygholm 1978–81.

The relationship between H_2O in straw + H_2O in the solution of NaOH and changes in content of H_2O after NaOH-application and storage without refrigeration (×—×) and with refrigeration by ventilation (□—□). 12 batches of straw (exp. no. 10–13) at The National Agricultural Engineering Institute, Bygholm 1978–81.

steg ret betydeligt ved tilsætningen. Indholdet af IVOS, EOS og VOS steg ligeledes ret betydeligt ved NaOH-tilsætningen.

På grundlag af enkeltresultaterne i tabel 4 og de tidligere omtalte ændringer ved tilsætning af NaOH på bestemmelsen af tørstof og aske beregnedes indholdet af halmtørstof og halmaske. Endvidere beregnedes indholdet af totalkvælstof, træstof, CI og OCV i % af halmtørstof samt indholdet af fordøjeligt organisk halmstof (FOHS) i % af organisk halmstof. Ud fra de således korrigerede resultater og resultaterne fra pH-målingerne beregnedes virkningen af den tilsatte NaOH på halmens sammensætning, pH og fordøjelighed som forskellen mellem behandlet og ubehandlet byghalm.

Disse forskelle er anført i fig. 3, 5–8 med % halmtørstof inden NaOH-tilsætning som abscisse og henholdsvis forskellen i % halmtørstof i fig. 3, % halmaske, % totalkvælstof og % træstof i fig. 5, pH i fig. 6, % CI og % OCV i fig. 7 og % FOHS i fig. 8 som ordinater. Der er anført forskellige signaturer for at skelne mellem resultater fra den uafkølede (1) og den ved gennemblæsning afkølede (2) byghalm. Punkternes placering i figurerne viser om halmens tørhedsgrad – udtrykt ved % halmtørstof inden NaOH-tilsætning – havde indflydelse på virkningen af den tilsatte NaOH.

Det fremgår tydeligt af fig. 3, at NaOH-tilsætningen ændrede % halmtørstof. I den våde halm med $\leq 72\%$ halmtørstof var der en lille, positiv virkning, og i den mere tørre halm med $> 80\%$ halmtørstof var der en negativ virkning på % halmtørstof, således at den negative virkning øgedes med halmens tørhedsgrad. Denne forskel i virkningen på % halmtørstof skyldtes antagelig en øget vandfordampning fra den våde halm på grund af den tidligere omtalte fortsatte varmeudvikling.

Vandfordampningen er vist i fig. 4, hvor abscissen angiver summen af vand i halm og vand tilført med NaOH og ordinaten forskellen i vandindhold mellem NaOH-behandlet halm og halm + NaOH. Kurverne illustrerer, at afkølingen ved gennemblæsning af halmstakken kun havde en mindre, positiv indflydelse på vandfordampningen.

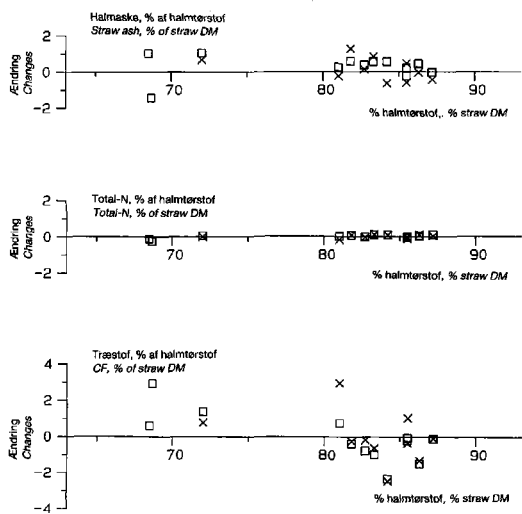


Fig. 5. Relationen mellem % halmtørstof inden NaOH-tilsætning og ændringer i halmens indhold af halmaske, totalkvælstof og træstof efter NaOH-tilsætning og lagring uden afkøling (×) og med afkøling ved gennemblæsning (□). 12 halmpartier (forsøg nr. 10–13) ved Statens jordbrugstekniske Forsøg, Bygholm 1978–81.

The relationship between % straw DM before NaOH-application and changes in the contents of straw ash, total nitrogen and CF in straw after NaOH-application and storage without refrigeration (×) and with refrigeration by ventilation (□). 12 batches of straw (exp. no. 10–13) at The National Agricultural Engineering Institute, Bygholm 1978–81.

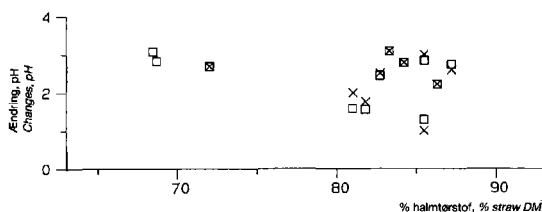


Fig. 6. Relationen mellem % halmtørstof inden NaOH-tilsætning og ændringer i halmens pH efter NaOH-tilsætning og lagring uden afkøling (×) og med afkøling ved gennemblæsning (□). 12 halmpartier (forsøg nr. 10–13) ved Statens jordbrugstekniske Forsøg, Bygholm 1978–81.

The relationship between % straw DM before NaOH-application and changes in pH of straw after NaOH-application and storage without refrigeration (×) and with refrigeration by ventilation (□). 12 batches of straw (exp. no. 10–13) at The National Agricultural Engineering Institute, Bygholm 1978–81.

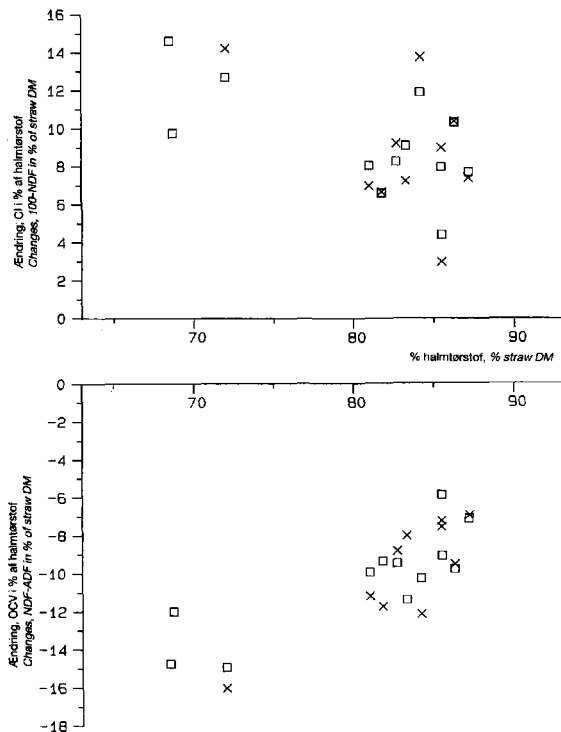


Fig. 7. Relationen mellem % halmtørstof inden NaOH-tilsætning og ændringer i CI og OCV i halm efter NaOH-tilsætning og lagring uden afkøling (×) og med afkøling ved gennemblæsning (□). 12 halmpartier (forsøg nr. 10–13) ved Statens jordbrugstekniske Forsøg, Bygholm 1978–81.

The relationship between % straw DM before NaOH-application and changes in the content of 100-NDF and NDF-ADF in straw after NaOH-application and storage without refrigeration (×) and with refrigeration by ventilation (□). 12 batches of straw (exp. no. 10–13) at The National Agricultural Engineering Institute, Bygholm 1978–81.

Uanset halmens tørhedsgrad havde NaOH-tilsætningen kun en ringe virkning på % halmaske, % totalkvælstof og % træstof (fig. 5). Tilsætningen af NaOH bevirkede, at halmens pH steg med 1–3 enheder (fig. 6).

NaOH-tilsætningen bevirkede, at % OCV aftog med 6–16 enheder, hvilket stort set var lige så mange enheder, som % CI tilsyneladende steg (fig. 7). Samtidig hermed steg % FOHS med 10–23 enheder (fig. 8). Disse ændringer i % OCV og

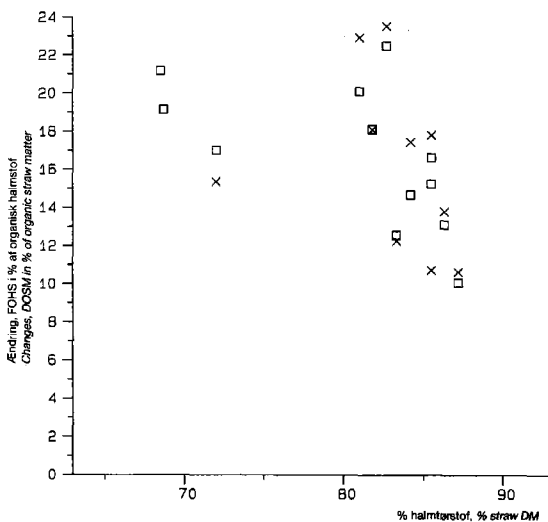


Fig. 8. Relationen mellem % halmtørstof inden NaOH-tilsætning og ændringer i halmens indhold af FOHS efter NaOH-tilsætning og lagring uden afkøling (×) og med afkøling ved gennemblæsning (□). 12 halmpartier (forsøg nr. 10-13) ved Statens jordbrugstekniske Forsøg, Bygholm 1978-81.

The relationship between % straw DM before NaOH-application and changes in the content of DOSM in straw after NaOH-application and storage without refrigeration (×) and with refrigeration by ventilation (□). 12 batches of straw (exp. no. 10-13) at The National Agricultural Engineering Institute, Bygholm 1978-81.

% FOHS aftog tydeligt med halmens tørhedsgrad. Afkøling ved gennemblæsning havde ingen tydelig virkning på % FOHS i halm med > 80% halmtørstof inden NaOH-tilsætningen. På grund af for få bestemmelser uden afkøling af den våde halm med ≤ 72% halmtørstof inden NaOH-tilsætningen kan resultaterne næppe med rimelig sikkerhed danne grundlag for en bedømmelse af afkølingens indflydelse på fordøjeligheden af våd halm.

Halmens kvalitet

På grundlag af resultaterne fra 22 partier (tabel 4) og 34 partier (3) af halm tilsat NaOH og resultaterne fra 27 partier af ubehandlet halm (2) beregnes korrelationskoefficienter, r , mellem % FOS og % IVOS, % EOS og % VOS (tabel 5). Indholdet af FOS var ret betydeligt korreleret

Tabel 5. Korrelationskoefficienter, r , mellem $x = \% \text{ FOS}$ og y .

Correlation coefficients, r , between $x = \% \text{ DOM}$ and y .

y	r	
	NaOH-beh. halm NaOH-treat. straw ($n = 56$)	Ubeh. + NaOH-beh. halm Untreat. + NaOH- treated straw ($n = 83$)
% IVOS, <i>IVSOM</i> . . .	0,457	0,851
% EOS, <i>ESOM</i>	0,756	0,914
% VOS, <i>RSOM</i>	0,683	0,930

med indholdet af EOS og VOS og mindre korreleret med indholdet af IVOS. Korrelationen mellem fordøjelighed og opløselighed forbedredes betydeligt, når beregningerne baseredes på alle 83 partier af halm med og uden tilsætning af NaOH i stedet for de 56 partier af halm tilsat NaOH.

Ud fra de samme resultater foretoges en række regressionsberegninger med henblik på at anskueliggøre sammenhængen mellem halmens indhold af opløseligt organisk stof (IVOS, EOS og VOS) og dens indhold af fordøjeligt organisk stof (FOS). Alt efter om beregningen foretages på grundlag af IVOS, EOS og VOS benævnes resultatet af beregningen for % $\text{FOS}_{(\text{IVOS})}$, % $\text{FOS}_{(\text{EOS})}$, og % $\text{FOS}_{(\text{VOS})}$.

Følgende 3 ligninger (1), (2) og (3), der er beregnet ud fra 56 fordøjelighedsbestemmelser, illustrerer tydeligt sammenhængen mellem opløselighed og fordøjelighed af organisk stof i halm tilsat NaOH (alle angivelser i % af organisk stof):

$$(1) \% \text{FOS}_{(\text{IVOS})} = 22,9 \times \% \text{IVOS}^{0,229}$$

$$(2) \% \text{FOS}_{(\text{EOS})} = 96,1 - 2652,5 / (\% \text{EOS} + 27,5)$$

$$(3) \% \text{FOS}_{(\text{VOS})} = 4,88 \times \% \text{VOS}^{0,584}$$

Tilsvarende illustrerer følgende 3 ligninger (4), (5) og (6), der er beregnet ud fra 83 fordøjelighedsbestemmelser, tydeligst sammenhængen mellem opløselighed og fordøjelighed af organisk stof i halm med og uden NaOH-tilsætning (alle angivelser i % af organisk stof):

$$(4) \% \text{FOS}_{(\text{IVOS})} = 7,04 \times \% \text{IVOS}^{0,511}$$

$$(5) \% \text{FOS}_{(\text{EOS})} = 95,2 - 2595,1 / (\% \text{EOS} + 27,2)$$

$$(6) \% \text{FOS}_{(\text{VOS})} = 3,31 \times \% \text{VOS}^{0,673}$$

Bedømt ud fra spredningen på differencen mellem fundet og beregnet FOS bliver det % EOS og % VOS, der bedst beskriver halmens indhold af FOS. Spredningen på differencen fremgår af følgende oversigt:

(1)	3,48	(4)	4,16
(2)	2,47	(5)	3,06
(3)	2,83	(6)	2,95

Diskussion

Af resultaterne med tilsætning af NaOH til forskellige halmpartier af varierende tørhedsgrad på flytbare gårdanlæg, som afleverer halmen i snitstand, fremgår det, at den tilsatte NaOH har en meget betydelig positiv virkning på fordøjeligheden (*in vivo*) af organisk stof under halmens lagring i 4 m tykke lag efter NaOH-tilsætningen. I god overensstemmelse hermed fandt Møller *et al.* (3), at fordøjeligheden (*in vivo*) af organisk stof stiger ved NaOH-tilsætningen. Imidlertid aftager denne virkning lidt med halmens tørhedsgrad.

Det fremgår endvidere af resultaterne, at afkøling ved gennemblæsning af halmen kun har ringe virkning på fordøjeligheden (*in vivo*) af organisk stof i halm med > 80% tørstof inden NaOH-tilsætningen. Samstemmende hermed fandt Møller *et al.* (3), at afkøling af tør halm ved gennemblæsning 1-3 døgn efter NaOH-tilsætningen har en mindre, men stort set negativ indflydelse på halmens fordøjelighed.

Resultaterne viser også, at halm, som lagres i 4 m tykke lag efter NaOH-tilsætningen, er lagerfast i mindst 2 måneder, når blot halmens tørstof % inden NaOH-tilsætningen er > 80. Uanset afkøling ved gentagne gennemblæsninger efter NaOH-tilsætningen bliver halm med ≤ 72% tørstof derimod mere eller mindre uegnet som foder på grund af betydelige mugdannelse. Den tidligere omtalte holdbarhedsgrænse for foder (1) lig-

ger for NaOH-behandlet halm antagelig nærmere ved 80 end ved 72% tørstof.

Det fremgår yderligere af resultaterne, at NaOH-tilsætning bevirker en mindre stigning i % halmtørstof i den våde halm (≤ 72% tørstof) og en reduktion i % halmtørstof i den mere tørre halm (> 80% tørstof). I god overensstemmelse med denne varierende virkning af NaOH på % halmtørstof – og dermed på vandfordampningen fra halmen under lagringen – viser resultaterne fra temperaturmålingerne, at varmeudviklingen fra reaktionen mellem halm og NaOH samt fra den mikrobielle omsætning fortsætter i længere tid i den våde halm end i den mere tørre halm.

Det fremgår af resultaterne, at der er sammenhæng mellem reduktionen af OCV og stigningen i FOHS ved tilsætning af NaOH til halm. I god overensstemmelse hermed viste andre resultater (3) en lignende sammenhæng mellem OCV og FOHS, medens tidligere skandinaviske resultater (4) viste, at NDF og ADF giver ingen eller ringe information om næringsværdien af halm tilsat NaOH eller NH₃. Denne tilsyneladende uoverensstemmelse kan forklares ud fra danske resultater (2), der viste, at FOS i ubehandlet halm ikke er korreleret med CI (100-NDF) og OCV (NDF-ADF).

Resultaterne fra denne og en tidligere beretning (3) viser, at den NaOH-behandlede halms indhold af FOS er ret betydeligt korreleret med dens indhold af EOS og VOS og mindre korreleret med dens indhold af IVOS. I nogenlunde overensstemmelse hermed viste resultaterne med ubehandlet halm (2), at FOS er ret betydeligt korreleret med VOS, mindre korreleret med IVOS og ringe korreleret med EOS. Imidlertid viser de sammenslåede resultater med både ubehandlet og NaOH-behandlet halm, at FOS er betydeligt korreleret med VOS og EOS og ret betydeligt korreleret med IVOS.

Konklusioner

Af resultaterne fra forsøgene med NaOH-tilsætning til forskellige partier af bygalm med varierende tørhedsgrad på flytbare gårdanlæg kan dra-

ges følgende konklusioner udover tidligere konklusioner (3):

- 1) Halm med mindst 80% tørstof inden NaOH-tilsætningen er lagerfast i mindst 2 måneder efter tilsætningen af NaOH, medens halm med 72% tørstof eller mindre uanset afkøling ved gennemblæsning bliver uegnet som foder på grund af mugdannelse.
- 2) NaOH-tilsætningen bevirker en reduktion i % halmtørstof i halm med mindst 80% tørstof før NaOH-tilsætning og en mindre stigning i % halmtørstof i halm med 72% tørstof eller mindre. Dette skyldes, at varmeudviklingen fra reaktionen mellem halm og NaOH samt fra den mikrobielle omsætning fortsætter i længere tid i våd halm end i tør halm.
- 3) Tilsætningen af NaOH har en meget betydelig positiv virkning på % fordøjeligt organisk halmstof, som stiger med 10–23 enheder under halmens lagring i 2 måneder i 4 m tykke lag efter NaOH-tilsætningen. Virkningen aftager lidt med halmens tørhedsgrad.

- 4) Indholdet af FOS i halm med og uden NaOH-tilsætning er betydeligt korreleret med VOS og EOS og ret betydeligt korreleret med IVOS.

Litteratur

1. *Kristensen, T. P.* (1978): Undersøgelse over årsagerne til selvantændelse i ludbehandlet halm. Beretning nr. 83 fra Bioteknisk Institut, 1–27, Kolding.
2. *Møller, E., Witt, N. & Thellesen, H. Z.* (1984a): Halm til foder. I. Ubehandlet halm. Tidsskr. Planteavl 88, 257–263.
3. *Møller, E., Witt, N. & Thellesen, H. Z.* (1984b): Halm til foder. II. Tilsætning af natriumhydroxyd på flytbare gårdanlæg. Tidsskr. Planteavl 88, 581–592.
4. *Sundstøl, F., Kossila, V. Theander, O. & Thomsen, K. V.* (1978): Evaluation of the feeding value of straw. A comparison of laboratory methods in the Nordic Countries. Acta Agric. Scand. 28, 10–16.

Manuskript modtaget den 19. februar 1985.