



Statens
Planteavlsforsøg

Beretning nr. S 1911

Nedmuldning af halm

Red.
Bent Tolstrup Christensen
Statens Forsøgsstation
Askov

Per Schjønning
Statens Forsøgsstation
Højer

Tidsskrift for Planteavls Specialserie

København 1987



Statens
Planteavlsvforsøg

Beretning nr. S 1911

Nedmuldning af halm

Red.
Bent Tolstrup Christensen
Statens Forsøgsstation
Askov

Per Schjønning
Statens Forsøgsstation
Højer

Tidsskrift for Planteavlsv Specialserie

København 1987

INDHOLD

	Side
FORORD	6
FORFATTERADRESSER	8
1. INDLEDNING (Bent T. Christensen)	9
1.1 Halmproduktion	11
1.1.1 Halm/kerne forhold	12
1.2 Halmforbrug og halmoverskud	15
1.3 Halmens sammensætning	17
1.3.1 Fordeling på knæ, stængel og blad	18
1.3.2 Indhold af plantenæringsstoffer	19
1.3.3 Organisk-kemisk sammensætning	19
1.3.4 Silicium i halm	20
2. NEDMULDNINGSTEKNIK (Jens J. Høy)	22
2.1 Snitning	22
2.1.1 Mejetærskermonteret snitter	22
2.1.2 Traktormonteret snitter	25
2.2 Nedmuldning	27
2.2.1 Plov	27
2.2.2 Stubharve	27
2.2.3 Tallerkenredskaber	29
2.2.4 Spaderulleharve	30
2.2.5 Fræser	32
2.2.6 Rotorharve	32
2.3 Arbejdsbehov, kapacitet og brændstofforbrug	34
3. JORDENS FYSISKE EGENSKABER (Per Schjønning)	35
3.1 Aggregater	36
3.1.1 Vinderosion	38
3.1.2 Vandstabile aggregater	40
3.2 Porøsitetsforhold	41
3.2.1 Porøsitet	42
3.2.2 Porestørrelsesfordeling	42
3.2.3 Vandholdende evne	44
3.2.4 Porekontinuitet	46

3.3	Vandledningsevne	46
3.3.1	Laboratoriemålinger	46
3.3.2	Markmålinger	47
3.4	Luftskiftebetingelser	48
3.5	Mekaniske egenskaber	50
3.5.1	Konsistens	50
3.5.2	Pakningsmodtagelighed	51
3.5.3	Forskydningsstyrke	53
3.6	Jordtemperatur	54
4.	OMSÆTNING AF HALM (Bent T. Christensen)	56
4.1	Halmens nedbrydningsforløb	56
4.1.1	Halmens udvaskbare fraktion	56
4.1.2	Halm på jordoverfladen	60
4.1.3	Nedmuldet halm	62
4.1.4	Nedmuldningsdybde	68
4.1.5	Halmens kvælstof indhold på nedmuldningstidspunktet .	69
4.1.6	Jordtype	71
4.1.7	Pesticider og halmnedbrydning	72
4.1.8	Dannelse af spiringshæmmende stoffer	75
4.1.9	Halmens snitningsgrad	75
4.2	Jordens indhold af organisk stof (humus)	76
4.2.1	Halmnedmuldning og jordens indhold af kulstof	77
4.2.2	Model for udviklingen i jordens organiske stofindhold	82
4.3	Jordens mikrobielle biomasse og fauna	86
4.3.1	Mikrobiel biomasse og aktivitet	86
4.3.2	Regnormebestand	88
4.3.3	Mesofauna	92
5.	NÆRINGSSTOFBALANCE (Bent T. Christensen)	95
5.1	Kvælstof	95
5.1.1	Planteoptagelse af halmens kvælstof-indhold	95
5.1.2	Kvælstof-nedvaskning	96
5.1.3	Ændringer i jordens kvælstof-pulje	99
5.2	Fosfor og kalium	101
6.	PLANTEVÆKST OG KERNEUDBYTTE (Per Schjønning)	104
6.1	Vårsæd	104
6.1.1	Udbytteeffekt på forskellige jordtyper	104

6.1.2 Kvælstofgødskning om efteråret	106
6.1.3 Kvælstofgødskning om foråret	107
6.1.4 Engangs- og gentagen nedmuldning	110
6.1.5 Snitning og nedbringning	111
6.1.6 Gylle og store halmmængder	114
6.1.7 Fodsygdomme	116
6.1.8 Nedmuldning forud for ikke-stråafgrøder	116
6.2 Vintersæd	117
6.2.1 Jordtyper og jordbearbejdning	117
6.2.2 Kvælstofgødskning	119
6.3 Halmnedmuldning og reduceret jordbearbejdning	120
6.4 Dyrkningssikkerhed	121
7. STORE HALMMÆNGDER TIL JORDFORBEDRING PÅ GROVSANDSJORD (Ruth Olsen Grant).....	123
7.1 Store mængder halm på hedesandsjord	123
7.1.1 Forsøgsbetingelser	123
7.1.2 Høstudbytter	125
7.1.3 Jordens struktur, kemi og vandholdende egenskaber ...	126
7.1.4 Halmens omsætning	128
7.1.5 Næringsstofbalance	128
7.2 Store mængder halm på tidligere grusgravsareal	128
7.2.1 Forsøgsbetingelser	128
7.2.2 Høstudbytter	129
7.2.3 Jordens struktur, kemi og vandholdende egenskaber ...	131
7.2.4 Halmens omsætning	133
7.2.5 Næringsstofbalance	135
8. SAMMENDRAG	138
9. SUMMARY	144
10. REFERENCER	149

FORORD

Omkring midten af 1970'erne blev der af en årlig halmproduktion på 6-7 mio. t skønsmæssigt afbrændt 2 mio. t halm på marken efter høst. Mængden af overskudshalm havde da i en årrække været stigende og årsagerne hertil flere.

Stigningen i kornarealet siden 1950'erne spillede en væsentlig rolle, ligesom en stigning i udbredelsen af mejetærskning betød, at halmen ikke længere automatisk blev fjernet fra markerne og anvendt i bedriften. Udbredelsen af mejetærskning havde forbindelse med strukturudviklingen i landbruget. Stigende specialisering, samling af husdyrholdet på færre og større bedrifter, og indførelse af moderne staldtyper, med ringe krav til strøelse, havde, og har stadig, stor betydning for halmoverskuddets størrelse.

Bortskaffelse af overskudshalm ved afbrænding på marken har traditionelt været dominerende, mens nedmuldning har haft lille arealmæssig betydning. Der foreligger ikke skøn for omfanget af halmnedmuldning i Danmark, men nedmuldning er anvendt enten til bortskaffelse af halm, der ikke kunne bjærges eller afbrændes, eller fordi halmen forventedes at have en jordforbedrende virkning. Selvom afbrænding af overskydende halm på marken umiddelbart synes at være en for den enkelte producent attraktiv fremgangsmåde, er halmafbrænding ud fra et ressourcemæssigt og miljømæssigt synspunkt mindre attraktiv.

På denne baggrund, og for at intensivere den allerede igangværende halmforskning i Danmark, iværksatte Landbrugets Samråd for forskning og forsøg i 1980 det 5-årige program "Halmforskning 80-84". Programmets hensigt var at finde praktiske og privatøkonomisk interessante alternativer til halmafbrænding på marken, samt generelt at belyse mulighederne for en mere økonomisk og miljøvenlig udnyttelse af den samlede halmproduktion. Programmet omfattede i alt 49 enkeltprojekter fordelt på følgende 7 hovedområder:

- halm til jordforbedring
- bjærgningsteknik og halmhåndtering
- halm som strøelse
- halm som foder
- halm til industriel forarbejdning
- halm til fyringsformål
- økonomiske vurderinger

På området vedrørende halm til jordforbedring iværksattes tre projekter:

1. Snitning og fordeling af halm før nedmuldning samt undersøgelser over forskellige redskabers nedmuldningseffekt. Projektudførelse: Statens jordbrugstekniske Forsøg.
2. Nedmuldning af halm. Projektudførelse: Statens Planteavlsforsøg ved Askov, Højer, Jyndevad og Rønhave forsøgsstationer samt Statens Planteavls-Laboratorium.
3. Jordforbedring med halm på ekstremt humusfattige sandjorder med henblik på at forøge mulddybden. Projektudførelse: Det danske Hedeselskab, Forsøgs-virksomheden.

Til disse tre projekter blev der over den 5-årige projektperiode afsat i alt ca. 4,2 mio. kr. (1980 kr).

På et møde mellem repræsentanter for de projektudførende enheder, afholdt d. 15. maj 1985, besluttedes det at udarbejde en sammenfattende rapport for de tre projekter. Til at forestå dette arbejde blev udpeget Bent T. Christensen, Ruth Olsen Grant, Jens J. Høy og Per Schjønning.

Den foreliggende rapport søger at formidle den opnåede viden til brugerne på en rimeligt detaljeret men dog overskuelig måde. Brugere opfattes i denne sammenhæng som offentligheden i almindelighed, herunder landmænd, konsulenter, fabrikanter, offentlige myndigheder og politikere. Med hensyn til en mere detaljeret beskrivelse af de i projekterne opnåede forsøgsresultater henvises til publikationer i institutionernes almindelige publikationsserier og i internationale fagtidsskrifter. De fleste af disse publikationer kan ud fra henvisninger i rapportens tekst findes i kap. 10: Litteratur.

Forfattere til de enkelte kapitler fremgår af indholdsfortegnelsen. Bent T. Christensen og Per Schjønning har varetaget redigeringen af rapporten. Tekstbehandling og opsætning er forestået af Ulla Trentemøller.

Juli 1987

A. Dam Kofoed, Askov forsøgsstation
 Lorens Hansen, Højer forsøgsstation

FORFATTERADRESSER

Bent T. Christensen
 Statens Planteavlsforsøg
 Askov forsøgsstation
 Vejenvej 55
 6600 Vejen
 tlf. 05 36 02 77

Ruth Olsen Grant
 Det Danske Hedeselskab
 Forsøgsvirksomheden
 Klostermarken
 Postboks 110
 8800 Viborg
 tlf. 06 62 61 11

Jens J. Høy*)
 Statens jordbrugstekniske Forsøg
 Bygholm
 8700 Horsens
 tlf. 05 62 31 99

Per Schjønning
 Statens Planteavlsforsøg
 Højer forsøgsstation
 Siltoftvej 2
 6280 Højer
 tlf. 04 74 21 04

*) nuværende adresse:

Landskontoret for Bygninger og Maskiner
 Kongsgårdsvej 28
 8260 Viby J.
 tlf. 06 11 08 88

1. INDLEDNING

Bent T. Christensen, Statens Planteavlsvforsøg

Nedmuldning af overskudshalm er et nærliggende alternativ til den udbredte afbrænding af halm på marken, selvom det for den enkelte landmand kan kræve en ekstra indsats (arbejdsræssigt og/eller økonomisk). Denne ekstra indsats må opvejes mod de miljømæssige fordele ved nedmuldning samt halmens jordforbedrende virkning. Sidstnævnte forhold har fået fornyet aktualitet, idet den ændrede struktur indenfor landbruget har medført, at en stor del af det dyrkede areal har fået reduceret tilgangen af organisk materiale til jorden.

På de husdyrløse brug produceres ikke organisk gødning, hvorfor der ikke på denne måde tilføres jorden organisk materiale. Det samlede areal med græs og grøntfoder er reduceret betydeligt i perioden 1950-1984 (fig. 1). Da disse afgrøder kan efterlade en betydelig mængde organisk materiale i form af rødder, rodexudater og bladmateriale, må udviklingen i afgrødefordelingen også formodes at have medvirket til en mindsket tilbageføring af organisk materiale til jorden. På længere sigt kan disse forhold have en negativ indflydelse på indholdet og omsætningen af jordens organiske stof (humus), og dermed formodentlig også på en række af de faktorer, der betinger, at jorden fungerer som et godt grundlag for planteproduktion. Da det samtidig er på de husdyrløse brug, at en stor del af overskudshalmen produceres, er det nærliggende at søge halmen nedmuldet i stedet for afbrændt for derved at øge tilførselen af organisk materiale til jorden.

Endeligt må det anføres, at i lyset af et generelt landsdækkende forbud mod afbrænding af halm på marken fra 1990 (Folketingsbeslutning af 31. maj 1985), vil nedmuldning af halm, som alternativ til afbrænding, være uundgåelig for bortskaffelsen af en betydelig del af halmoverskuddet. Selv med maksimal udnyttelse af de i dag kendte alternative anvendelser af overskudshalmen (strøelse, foder, industriel forarbejdning og fyringsformål) vil en stor del blive efterladt på marken. Eventuelt nye anvendelser af overskudshalmen som råstof (f. eks. ved stivelse og ethanol fremstilling) eller energikilde (f. eks. flere regionale halmvarmeværker) vil på grund af nødvendigheden af en vis leveringsikkerhed være baseret på halmproduktionen i år med halmudbytter, der er mindre end normalproduktionen.

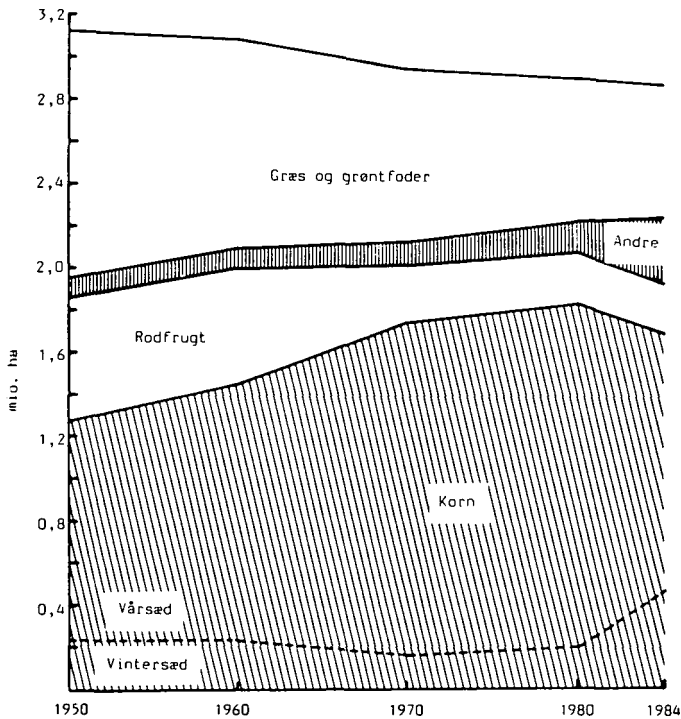


Fig. 1. Landbrugets arealanvendelse. Gruppen "Andre" er eksklusiv gartneri-produkter og brakjord (efter Kyed & Thomsen, 1985).

Det er beregnet (Fodgaard, 1985), at det bjærgbare halmoverskud ved en normal høst er ca. 2,1 mio. t. Ved en høst, der ligger 30% under normalen, er halmoverskuddet kun 1,0 mio. t, mens der ved en høst på 30% over normalen vil findes et halmoverskud på 4,0 mio. t. Det fremgår således, at der i de fleste år vil skulle nedmulses betydelige mængder halm, selv ved en "fuld udnyttelse" af landbrugets halmproduktion.

1.1 Halmproduktionen

Som led i halmforsknings-programmets gennemførelse har Statens Jordbrugsøkonomiske Institut to gange beregnet skøn over landets halmproduktion og halmoverskud (Fodgaard, 1982, 1985). Tabel 1 viser det seneste skøn for den producerede bjærgbare halmmængde. Det er i forbindelse med halmproduktion og halmoverskud vigtigt at skelne mellem den *bjærgbare halmmængde* (som er relevant, hvis halmen skal fjernes fra marken) og den *totale halmmængde* (som er interessant i forbindelse med halmnedmuldning). Fodgaard (1982) angiver ved beregningerne over den bjærgbare halmmængde, at den totalt producerede mængde halm i gennemsnit må forventes at være 37% højere end den beregnede bjærgbare halmmængde.

Tabel 1. Den skønnede bjærgbare halmproduktion for 1984/85 under forudsætning af et normalt kerneudbyttelniveau (efter Fodgaard, 1985).

	mio. t
Korn: vårbyg	2,56
vinterbyg	0,74
hvede	1,18
rug	0,38
havre + blandsæd	0,11
i alt, korn	4,97
Andet: vårrips + industrifrø	0,39
vinterraps	0,05
frøgræsser	0,11
i alt, andet	0,55
I alt	5,52

Det fremgår af tabel 1, at den totale bjærgbare halmproduktion i 1984/85 skønnes at udgøre 5,5 mio. t, hvoraf kornafgrøderne tegner sig for næsten 5 mio. t (byg alene 2,6 mio. t).

1.1.1 Halm/kerne forhold

Beregninger over halmproduktionens størrelse vil ofte bygge på en omregning af kerneudbytter til halmudbytter, idet kerneudbyttet i modsætning til halmudbyttet kendes relativt nøjagtigt. Ved omregningen benyttes halm/kerne forhold opgjort fra forsøgsarealer.

Dette gælder også for opgørelsen over halmudbyttet i Landbrugsstatistik 1984 (Danmarks Statistik, 1985), hvor halmudbyttet for hvede, rug, vinterbyg, vårbyg og havre er sat til henholdsvis 69, 80, 54, 64 og 80% af kerneudbyttet. Opgjort på den måde bliver halmudbyttet for 1984/85 6,1 mio. t, hvoraf 2,3 mio. t er afbrændt på marken eller nedmuldet (Danmarks Statistik, 1985).

Forholdet mellem halm- og kerneudbytte er ikke konstant, men varierer med en række dyrkningsmæssige forhold. Fig. 2 viser udviklingen i halm/kerne forholdet i de langvarige gødningsforsøg ved Askov forsøgsstation (anlagt 1894).

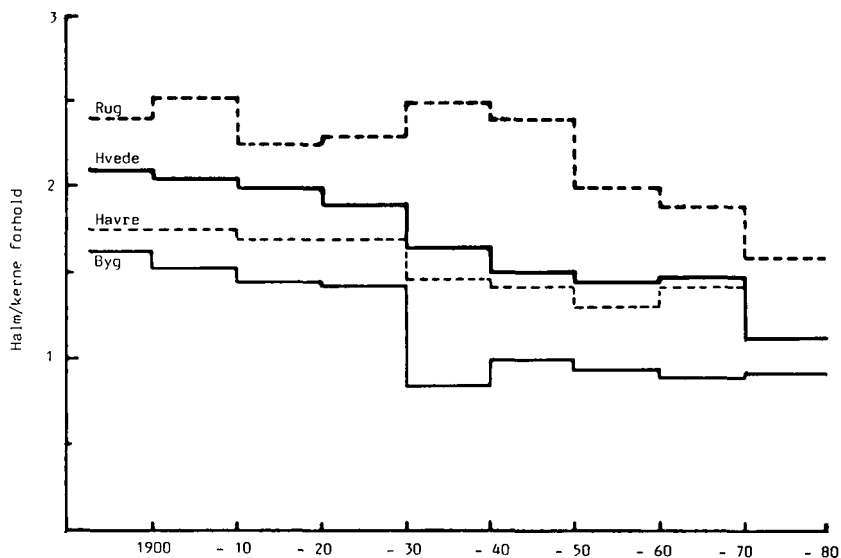


Fig. 2. Udviklingen i forholdet mellem halm- og kerneudbytte i de langvarige gødningsforsøg ved Askov. Værdier angivet som gennemsnit af 10 års perioder for leddene ugødet, husdyrgødet og handelsgødet. Byg og hvede er dyrket på lermarken (JB3), mens havre og rug er dyrket på sandmarken (JB1) (upubliceret talmateriale, Askov forsøgsstation).

Det fremgår, at halm/kerne forholdet er størst for rug, mindre for hvede og mindst for byg. For alle kornsorter er der sket et fald i halm/kerne forholdet med årene. Faldet tilskrives hovedsageligt et ændret sortsvalg. For bygs vedkommende ses et betydeligt fald i halm/kerne forholdet ved begyndelsen af perioden 1930-40, hvilket tilskrives overgangen fra "Binder"-byg til "Maja"-byg. Halm/kerne forholdet for disse sorter er i en senere forsøgsserie fundet at være henholdsvis 1,45 og 1,09 (Kofoed & Klausen 1971). Siden da har halm/kerne forholdet for byg stort set været uændret.

Tabel 2. Indflydelse af kvælstofgødskning på forholdet mellem halm og kerne udbytte i vårbyg dyrket på grovsandet jord (Lundgård) og grov lerblandet sandjord (Askov). Gennemsnit af 3 forsøgssår (1979-81), i alt 6 forsøg på hver jordtype (efter Kofoed & Klausen, 1983).

kg N/ha					Gns.	
	0	40	80	120	Gns.	kerneudbytte hkg/ha
Halm/kerne forhold						
Lundgård (JB1)	0,67	0,79	0,88	0,97	0,83	35,7
Askov (JB3)	0,74	0,89	0,96	1,03	0,91	32,3
Gns.	0,71	0,84	0,92	1,00	0,87	34,0

Kvælstofgødskningens indflydelse på halm/kerne forholdet i vårbyg er vist i tabel 2. Der var kun mindre forskelle mellem jordtyperne, medens en øget kvælstoftildeling gav et stigende halm/kerne forhold. Ved anvendelse af 120 kg N pr. ha var forholdet 1,00, mens det for den ugødede afdeling var 0,71.

Et tilsvarende øget halm/kerne forhold ved øget kvælstofgødskning blev ikke fundet for vinterhvedesorten "Kraka" (tabel 3). Derimod sås en betydelig forskel i halm/kerne forholdet mellem de forskellige forsøgssår. Medens forholdet i 1985 var 0,97, var det i 1983 på 1,80, selvom kerneudbyttet de to forsøgssår ikke afveg væsentligt. Tilsvarende årsvariation er også fundet for vårbyg (Kofoed & Klausen, 1971).

Tabel 3. Indflydelse af kvælstofgødskning og årsvariationen i forholdet mellem halm og kerneudbytte i "Kraka" vinterhvede dyrket på fin ler-blandet sandjord (Roskilde JB4) (upubliceret talmateriale, Askov forsøgsstation).

kg N/ha	60	90	120	150	Gns.	Gns.
						kerneudbytte
						hkg/ha
Halm/kerne forhold						
1982	1,27	1,31	1,35	1,38	1,33	66,1
1983	1,84	1,81	1,77	1,76	1,80	47,8
1984	1,48	1,46	1,40	1,32	1,42	60,8
1985	0,97	1,04	0,94	0,91	0,97	50,8
Gns.	1,39	1,41	1,37	1,34	1,38	56,4

Ved anvendelse af vækstreguleringsmidler ("stråforkortere") tilsigtes et kortere og kraftigere strå, der ved større tildeling af kvælstofgødning kan modvirke lejesød og derved medvirke til opnåelse af et større høstudbytte. Indflydelsen af vækstreguleringsmidlet chlormequat (Cycocel, CCC) på halm/kerne forholdet i tre hvedesorter er vist i tabel 4. Anvendelsen af chlormequat gav anledning til et mindre fald i halm/kerne forholdet, mest udpræget for sorterne "Helge" og "Solid". Anvendelsen af 200 kg N pr. ha gav et væsentlig højere halm/kerne forhold end 100 kg N pr. ha, men der sås en stor forskel på forholdet mellem sorten "Brigand" (1,04) og de to andre afprøvede sorter (1,41 og 1,52).

Det kan konkluderes, at sortsvalg og klimaforhold (vækstbetingelser) øver en afgørende indflydelse på halm/kerne forholdet, og dermed også på den producerede halmmængde og beregningen af denne ud fra kendskab til kerneudbyttet. Anvendelse af vækstreguleringsmiddel kan for hvede reducere halm /kerne forholdet med 5-10%, mens en stigende kvælstoftildeling kan øge halm/kerne forholdet, specielt for vårbyg. Effekten af de to sidstnævnte faktorer afhænger af sortsvalget.

Tabel 4. Indflydelsen af vækstreguleringsmidlet ("stråforkorter") chlomequat (Cycocel, CCC) på forholdet mellem halm og kerneudbytte i tre vinterhvedesorter dyrket ved 100 og 200 kg N/ha. Gennemsnit af 3 forsøgsår på fin lerblandet sandjord (Roskilde JB4) (upubliceret tal-materiale, Askov forsøgsstation).

	100 kg N/ha		200 kg N/ha		Gns.
	- CCC	+ CCC	- CCC	+ CCC	
	Halm/kerne forhold				
Helge	1,45	1,35	1,71	1,55	1,52
Solid	1,37	1,29	1,58	1,39	1,41
Brigand	0,97	0,90	1,16	1,12	1,04
Gns.	1,26	1,18	1,48	1,35	1,32

1.2 Halmforbrug og halmoverskud

Fodgaard (1985) har beregnet halmforbruget for 1984/85 til 3,4 mio. t (fig. 3). Ved et normalt udbyttelniveau vil der således være produceret et bjærgbart halmoverskud på 2,1 mio. t. Det samlede halmoverskud kan skønnes til ca. 2,9 mio. t (37% højere end den bjærgede halmmængde; Fodgaard, 1982).

Den største post i halmforbruget er foder (1,28 mio. t), mens der til strøelse og fyring anvendes henholdsvis 1,10 og 0,67 mio. t. Anvendelse af halm til industriel forarbejdning udgør 0,08 mio. t.

Den overskydende halmmængde er ikke regionalt jævnt fordelt (fig. 4), men følger i vidt omfang fordelingen af kreaturholdet, der tegner sig for den største del af halmforbruget til foder og strøelse (fig. 3). Den øgede interesse for halm til fyringsformål (specielt regionale halmvarmeværker) kan påvirke en ændring i fordelingen af halmoverskuddet. Generelt må det dog antages, at anvendelsen af halm til foder og strøelse er mere fleksibel med hensyn til leveringssikkerhed end f. eks. anvendelsen af halm til regionale varmeværker. Sidstnævnte må af rentabilitetsårsager forudsætte en betydelig leverings-sikkerhed med hensyn til halmmængder, hvilket kan begrænse den samlede udnyttelsesgrad af overskudshalm i en region. Såfremt halm anvendes i kombinerede

affalds- og halmfyringsanlæg vil der formodentlig kunne opnås en større udnyttelsesgrad.

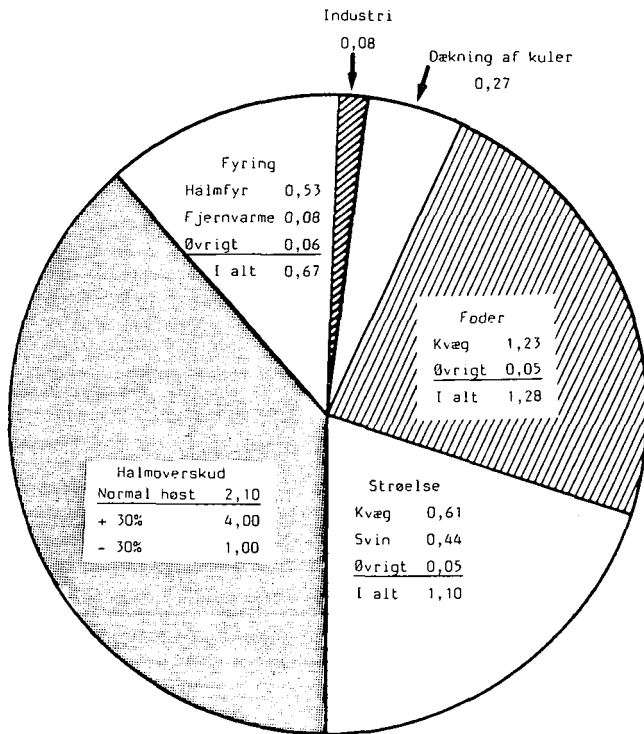


Fig. 3. Skøn for fordelingen af halmforbrug og halmoverskud (i mio. t) for 1984/85 ved normalt udbyttensniveau. Halmoverskud ved $\pm 30\%$ af normalt udbyttensniveau er også vist (efter Fodgaard, 1985).

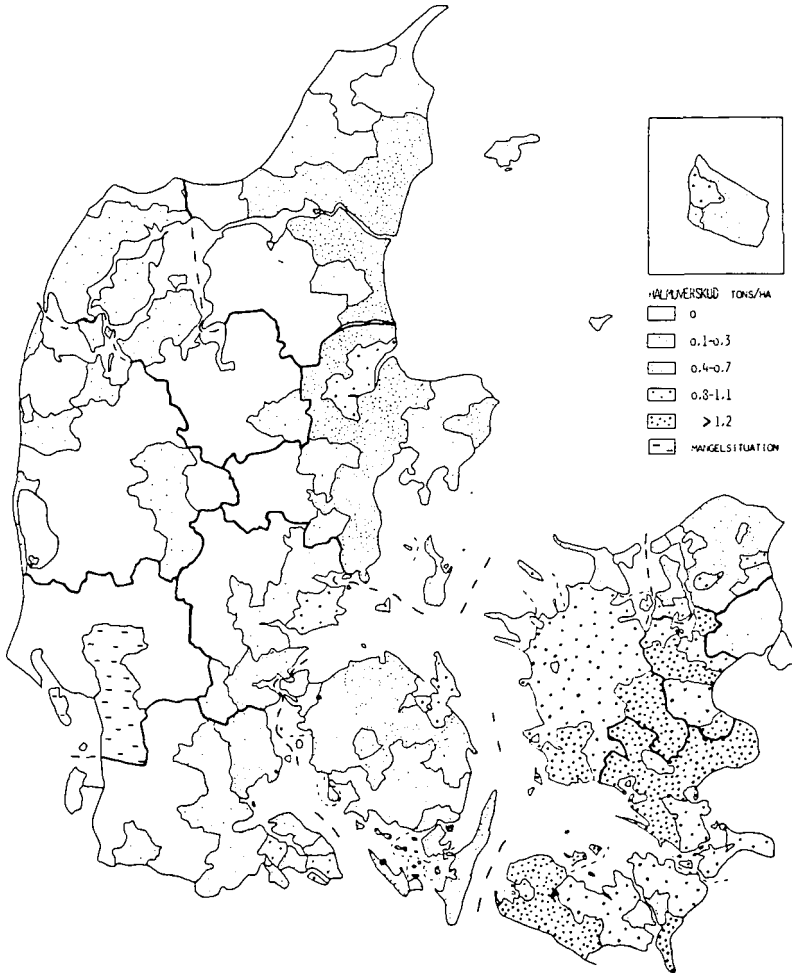


Fig. 4. Overskud af bjærgbar halm ved normal høst udtrykt som t pr. ha samlet areal for kommunen (Fodgaard, 1982).

1.3 Halmens sammensætning

Halm er betegnelsen for de overjordiske plantedele af især kornarterne (men også f. eks. raps og frøgræsser), der resterer efter at kerner eller frø er tærsket fra. Ved mejetærskning og den senere håndtering af halmen vil avner og en del blade ofte blive tabt, hvorfor halm i praksis vil bestå af stængler, knæ og blade.

1.3.1 Fordeling på knæ, stængel og blad

Tabel 5 viser fordelingen af halmvægt og indhold af kulstof og plantenæringsstoffer på de tre vigtigste plantedele (knæ, stængel og blad) for fire kornarter. Den anvendte halm blev afklippet med kort stub ved modenhed. Det ses, at knæ udgør 6-8% af halmvægten. For byg, havre og hvede udgør stængler 59-63% af vægten, og blade resten (31-34%). For rughalm udgør stængler en større relativ del af vægten (75%), mens blade udgør 18%. Der er kun små forskelle i halmdeles indhold af kulstof. Knæ udviser generelt det højeste indhold af kalium, magnesium og aske, medens stængelfractionen har det laveste indhold af kvælstof (undtagen hvede) og calcium.

Tabel 5. Indhold af kulstof og plantenæringsstoffer i forskellige halmdele.
Halmprøver udtaget umiddelbart før høst 1982 (upubliceret talmateriale, Askov forsøgsstation).

		% af hel	% af tørstof**						
		halm*	C	N	P	K	Ca	Mg	Aske
Byg:	knæ	8	41,5	0,63	0,13	2,37	0,26	0,046	6,2
	stængel	61	42,8	0,32	0,07	1,50	0,13	0,014	4,1
	blad	31	43,2	0,60	0,08	0,92	0,49	0,037	4,5
Havre:	knæ	7	41,4	0,30	0,15	2,66	0,14	0,050	7,6
	stængel	59	42,7	0,17	0,15	1,24	0,09	0,024	5,7
	blad	34	42,7	0,55	0,14	0,87	0,64	0,103	5,4
Hvede:	knæ	6	41,4	0,93	0,13	2,72	0,34	0,108	9,4
	stængel	63	42,1	0,95	0,17	1,35	0,19	0,024	7,1
	blad	31	42,8	1,55	0,15	0,83	0,82	0,117	7,5
Rug:	knæ	7	42,1	0,65	0,09	3,02	0,38	0,103	8,2
	stængel	75	42,1	0,41	0,07	1,66	0,24	0,023	5,4
	blad	18	42,5	0,78	0,12	1,17	0,70	0,056	5,7

* % af tørstof i hel halm

** % af tørstof i halmdelen

1.3.2 Indhold af plantenæringsstoffer

I tabel 6 er angivet værdier for typiske indhold af plantenæringsstoffer og træstof i halm fra kornarterne. Det ses, at forskellen mellem de forskellige halmarter i indhold af plantenæringsstoffer er lille sammenholdt med variationen indenfor den enkelte halmart.

Ved en halmproduktion på 5 t pr. ha kan halmen ved høst indeholde 20-45 kg N, 1,5-7,5 kg P og 15-120 kg K. En betydelig del af halmens indhold af plantenæringsstoffer er imidlertid letopløselig i vand, og kan, såfremt halmen henligger på stubben efter høst og udsættes for kraftig nedbør, vaskes fra halmen og til den underliggende jord (se afsnit 4.1.1).

Tabel 6. Indhold af plantenæringsstoffer og træstof i halm ved høst
(Mineralstofftabel, Landbrugets informationskontor 1974).

	% af tørstof					
	N	P	K	Ca	Mg	Træstof
Vårbyg	0,45-0,93	0,05-0,15	0,27-1,37	0,17-0,45	0,04-0,08	39-50
Havre	0,38-0,70	0,08-0,10	0,81-2,45	0,22-0,51	0,05-0,10	42-50
Vinterhvede	0,45-0,77	0,04-0,08	0,50-1,07	0,14-0,34	0,04-0,09	44-49
Rug	0,40-0,53	0,03-0,12	0,30-1,00	0,13-0,39	0,02-0,06	44-51

1.3.3 Organisk-kemisk sammensætning

Halmens organisk-kemiske sammensætning er af betydning for halmens nedbrydelighed i jorden. Medens der i løbet af det første års nedbrydning i jorden omsættes ca. 90% af halmens indhold af cellulose og pentosaner (hemicellulose), omsættes kun 5-20% af halmens indhold af lignin (Harper & Lynch, 1981a). Tabel 7 viser resultater fra en række undersøgelser af halmarternes organisk-kemisk sammensætning. Generelt findes der kun små forskelle i sammensætningen mellem de fire kornarter. Indholdet af lignin er ca. 15-18%, og indholdet af holocellulose (rå-cellulose) er ca. 49-54%. Udover de i tabellen nævnte stoffer, indholder halmen protein (1-5%), sukker og voks (1-2%) (Staniforth, 1979).

Tabel 7. Den organisk-kemiske sammensætning af halm ved høst (beregnet efter Rexen, 1970)

	% af tørstof		
	Lignin	Holo-cellulose	Pentosaner (hemicellulose)
Vårbyg	16,6	51,6	29,0
Vårhvede	18,0	53,5	29,8
Havre	15,3	49,4	27,0
Vinterhvede	17,1	54,4	30,0
Rug	17,0	53,9	27,7

1.3.4 Silicium i halm

En betydelig del af halmens askeindhold udgøres af silikater. Typisk indeholder halm ved høst ca. 0,5-1% silicium, men indholdet er særdeles variabelt og kan udgøre fra 0,05 til 2,75% af halmtørstoffet, svarende til et silikatindhold (SiO_2) på mellem 0,1 og 6% (tabel 8). Siliciums planteernæringsmæssige rolle er ikke afklaret, men et højt silikatindhold kan øge slid på knive i halmsnitte, nedsætte fordøjeligheden af halmen, indvirke på halmens egnethed til industriel forarbejdning og vanskeliggøre forbrændingen i halmfyr (Staniforth, 1979). Derimod øver silikatindholdet næppe nogen indflydelse på halmens omsætning i jorden.

Tabel 8. Indhold og variation i silicium (Si) og silikat (SiO_2) i halm ved høst (fra Futterwert-tabellen der DLG, Mineralstoffe. Arbeiten der DLG, Band 62. DLG-Verlag-GmbH, Frankfurt am Main).

	% af tørstof	
	Si*	SiO_2 *
Vårbyg	0,64 (0,13-1,11)	1,37 (0,28-2,37)
Vinterbyg	0,87 (0,31-1,43)	1,86 (0,66-3,06)
Havre	0,81 (0,16-1,75)	1,73 (0,34-3,74)
Rug	0,43 (0,05-0,91)	0,92 (0,11-1,95)
Vinterhvede	1,73 (0,45-2,75)	3,70 (0,96-5,88)
Vårhvede	0,65 (0,28-1,39)	1,39 (0,60-2,97)
Gennemsnit	0,86	1,84

* gennemsnitsværdien og variationsbredde i parentes

2. NEDMULDNINGSTEKNIK

Jens J. Høy, Statens jordbrugstekniske Forsøg

Det tekniske udstyr til nedmuldning af halm består i reglen af et udstyr til findeling og spredning af halmen på marken, samt et eller flere jordbehandlingsredskaber, der foretager opblandingen af halm og jord.

2.1 Snitning

Formålet med snitning af halmen er primært at findele og fordele halmen på en sådan måde, at den efterfølgende jordbehandling kan ske uden stop som følge af slæbning. Kravene til snitningsgraden og fordelingen afhænger blandt andet af de redskaber, der anvendes til nedmuldning samt af tidsrummet fra høst til jorden skal behandles.

Snitningen kan ske enten med snitter monteret på mejetærskeren eller med en traktormonteret snitter anvendt efter høst.

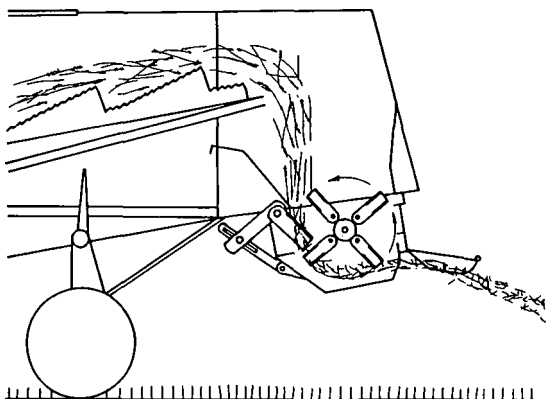


Fig. 5. Mejetærskermonteret snitter.

2.1.1 Mejetærskermonteret snitter

Mejetærskermonterede snittere af typen "Biso-Express". og "Record Clipper" (fig. 5) er opbygget på en ramme af profilstål beregnet for ophængning under bagenden af mejetærskerens rysterhus. Snitteorganet består af en aksel med 4

rækker bevægeligt ophængte og skarptslebne slagler. Slaglerne er slebet således, at de kan vendes. Slaglerne er kantstillet med en indbyrdes afstand på 25 mm. De arbejder mod et fast eller et stilbart modskær af slebne knive. Akselen roterer med ca. 50 omdr. pr. sekund, hvilket giver en periferihastighed på ca. 75 m pr. sekund. Akselen drives med kileremtræk fra mejetærskerens over en til- og frakoblingsanordning, der betjenes fra mejetærskerens førerplads.

Den snittede halm kastes ud på en fordelerplade med stilbare ledeplader, der tilsigter en fordeling af halmen over en bredde svarende til mejetærskerens skærebredde. På enkelte nyere typer af snittere kan ledepladernes retning indstilles fra førersædet ved hjælp af hydraulik. Dette kan reducere risikoen for, at halmen ved kørsel i sidevind blæses ind i det utærskede korn.

Resultater af prøver med mejetærskermonterede snittere viser, at snitterens effektbehov afhænger af halmmængde, fugtighed og afgrødens vækstvilkår.

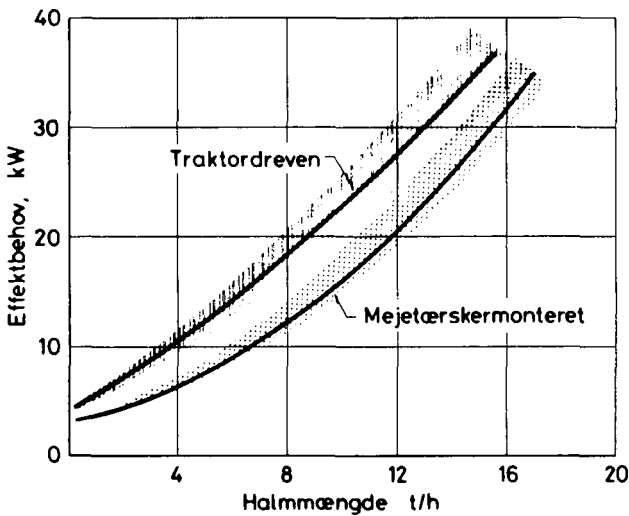


Fig. 6. Effektbehovet til drift af forskellige snittertyper.

Fig. 6 viser effektbehovet ved snitning af normal tør halm. Hvis mejetærskerens motorkraft i forvejen er fuldt udnyttet, vil snitterens effektbehov reducere mejetærskerkapaciteten tilsvarende. Ved en kapacitet på 120 hkg pr. time kan kapaciteten reduceres med op til 30 hkg pr. time eller op til 25%. Ved

en halmmængde på ca. 4 t pr. ha vil brændstofforbruget til snitningen være ca. 2,2 liter pr. ha.

Fordelingen af den snittede halm afhænger af ledepladernes indstilling samt vindhastighed og vindretning. Det er muligt under vindstille forhold at fordele halmen så jævnt over skårbredder op til 6 m, at variationskoefficienten ikke overstiger 15%, hvilket kan betegnes som tilfredsstillende. Under blæsende forhold kan fordelingen blive meget ujævn. Det gælder især ved kørsel med eller mod vindretningen, fordi det da er vanskeligt, at få halmen kastet ud i hele skærebordets bredde.

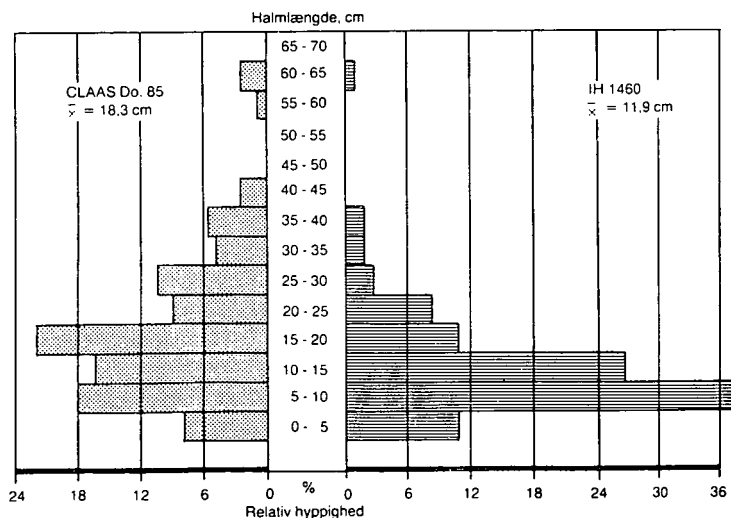


Fig. 7. Fordelingen af halmen ved henholdsvis almindelig mejetærsker (CLAAS) og Axial-flow mejetærsker (IH) (vandindhold i halmen 21%) (Kutzbach, 1983).

Snitningsgraden kan variere fra år til år afhængig af vækstvilkårene og halmens vandindhold. Under tørre forhold blev ca. 80% af halmen således snittet kortere end 10 cm, hvorimod ca. 70% blev snittet kortere end ca. 10 cm under fugtige høstforhold.

Mejetærskere uden rystere behandler gennemgående halmen hårdere end konventionelle mejetærskere. Fig. 7 viser resultatet af en sammenlignende undersøgelse af to forskellige tærskprincippers indflydelse på halmens findeling. På "Axial flow" mejetærskerne kan monteres en eller to roterende skiver med gummiudkastere til spredning af halmen. Halmen er dog generelt ikke findelt tilstrækkeligt til at kunne nedmuldes med harver o.l., hvorimod anvendelse af fræser oftest kan klare nedmuldningen.

Fordele ved snitter på mejetærskeren:

- Der spares en ekstra arbejds gang.
- Halmen er normalt så tør, at den er let at snitte.
- Der er ikke kørt i halmen før snitning.
- Der er mindre slitage på knivene på grund af mindre kontakt med jord og sten.

Ulemper ved snitter på mejetærskeren:

- Effektbehovet er ofte så stort, at mejetærskerens kapacitet reduceres.
- Efterladt lejesæd snittes ikke.
- Halmen kan blæse ind i uhøstet korn.

2.1.2 Traktormonteret snitter

Traktormonterede snittere (fig. 8) arbejder efter samme princip som de mejetærskermonterede snittere. Der er dog ofte 2 sæt modskær. Snitteakselen roterer kun med 23-27 omdr. pr. sekund, svarende til en periferihastighed på ca. 45 m. pr. sekund. Snitteren drives fra traktorens kraftudtag gennem et vinkelgear og kileremtræk.

Nettoeffektbehovet ved brug af traktormonteret snitter er lidt større end ved brug af mejetærskermonteret snitter (fig. 6), hvilket bl.a. skyldes energitab i transmissionen. Bruttoenergiforbruget til snitning af halm vil dog være væsentligt større på grund af, at traktoren til drift af snitteren også skal trække sig selv. Ved en halmmængde på 4 t pr. ha vil det samlede energiforbrug til traktor og snitter være ca. 14 kwh pr. ha, hvilket svarer til et dieselolieforbrug på ca. 5 liter pr. ha, eller mere end dobbelt så stort som ved snitning direkte på mejetærskeren.

Arbejdsbehovet ved snitning med traktormonteret snitter er ca. 30 mandminutter pr. ha, når halmen er nogenlunde tør. De traktormonterede snittere kan også snitte fugtig halm, men kapaciteten reduceres kraftigt.

Snitningsgraden og fordelingen af halmen svarer til det, der er opnået ved brug af mejetærskermonteret snitter.

Fordele ved brug af traktormonteret snitter:

- Mejetærskeren kan arbejde med fuld kapacitet.
- Eventuel lang stub og lejesædsrester kan snittes, hvor maskinen kører.

Ulemper ved brug af traktormonteret snitter:

- Der kræves en ekstra arbejdsgang.
- Brændstofforbruget er væsentlig større.
- Større slid på knivene på grund af jord og sten.

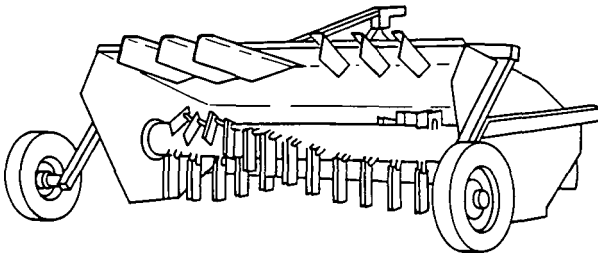


Fig. 8. Traktordreven halm-
snitter.

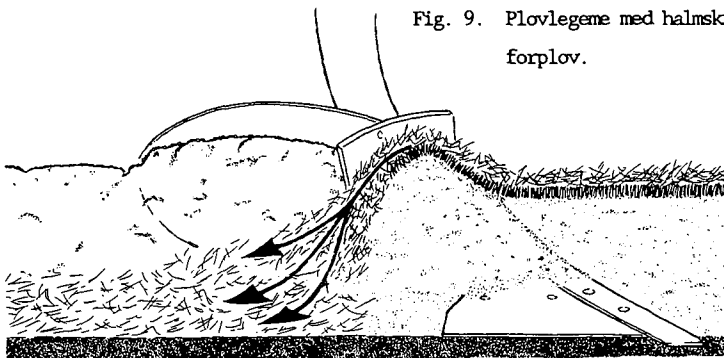


Fig. 9. Plovlegeme med halmskræller-
forplov.

2.2 Nedmuldning

Kravene til nedmuldning af halmen er at skabe god kontakt mellem jord og halm- samt at efterlade jorden så halmrester ikke generer såning og vækst af den følgende afgrøde. Teknikken skal endvidere kunne udføre nedmuldningen uden u-nødvendige driftsstop som følge af sammenslæbt halm.

2.2.1 Plov

Ploven er det mest udbredte og bedst egnede redskab til at fjerne halmen fra jordoverfladen, men det er ofte nødvendigt at anvende andre redskaber forud for pløjningen. Det skyldes, at der kræves en finere snitning end der normalt opnås med de førnævnte snittertyper for ikke at slæbe halmen sammen. Halmen bliver let koncentreret i striber, som kan have en uheldig indflydelse på væksten af den følgende afgrøde (se afsnit 6.1.5 og 6.1.6).

Hvor marken først skal pløjes i november-december, og halmen er jævnt fordelt samt snittet til under 10 cm, er der sjældent praktiske problemer med at nedpløje halm uden forudgående jordbearbejdning.

Det kan være fordelagtigt at anvende specielle halmskrællerforplove (fig. 9) eller roterende tallerkenforplove, idet disse kan modvirke sammenslæbning af eventuelle halmtotter.

Arbejdsbehovet ved nedpløjning med henholdsvis 3- og 4-furet plov er 2,0 og 1,5 mandtimer pr. ha, og brændstofforbruget er henholdsvis 20 og 19 liter pr. ha.

2.2.2 Stubharve

Stubharven er et velegnet redskab til nedmuldning af halm, når der er god indbyrdes afstand mellem de enkelte tænder. Det vil derfor være fordelagtigt, at tænderne er monteret på 3 buller, hvilket giver en indbyrdes afstand mellem de enkelte tænder på 0,75 m.

Hvis halmen er dårligt spredt, er det en fordel at køre på tværs af høstretningen ved første behandling, hvorefter der harves på langs. To behandlinger med stubharve umiddelbart efter hinanden vil normalt give en god blanding af halm og jord. For at skabe en yderligere blanding kan stubharven forsynes med en spaderulleefterharve, (fig. 10), som tillige efterlader marken så jævn, at kørsel på tværs af tandsporene ved behandling nr. 2 er mindre ubehagelig for traktorføreren (fig. 11).



Fig. 10. Stubharve med spaderulle.



Fig. 11. Til venstre stubharvning med spaderulle.
Til højre stubharvning uden spaderulle.

Stubharven vil dog altid have en vis tilbøjelighed til at slæbe halmen sammen i mindre totter, som bevirker, at jorden efterlades med en noget ujævn overflade.

Arbejdsbehovet ved 2 gange stubharvning med 4 m arbejdsbredde er målt til 0,64 mandtimer pr. ha og brændstofforbruget til ca. 8 liter pr. ha ved ca. 7 cm arbejdsdybde.

2.2.3 Tallerkenredskaber

Tallerkenredskaber slæber ikke halmen sammen, og medfører derfor ikke drifts-stop. Ved nedmuldning af dårligt spredt halm fandtes kun den svære tallerkenharve (fig. 12) at være i stand til at skære sig igennem halmlaget. Den svære tallerkenharve efterlader jorden med en ret ujævn overflade. Den almindelige tallerkenharve egner sig bedst i kombination med en stubharve eller lignende til at løsne jorden og sprede større halmklumper.



Fig. 12. Tallerkenharve, svær model.

For at sikre en god sammenblanding af jord og halm fandtes det nødvendigt med 2 behandlinger umiddelbart efter hinanden.

Arbejdsbehovet ved 2 behandlinger med svær tallerkenharve med en effektiv arbejdsbredde på 2,2 m og en kørehastighed på 9 km/time var i alt 74 mandminutter pr. ha og brændstofforbruget 13 liter pr. ha.



Fig. 13. Spaderulleharve.

2.2.4 Spaderulleharve

Spaderulleharven (fig. 13) var i den anvendte udførelse forsynet med 3 sæt aksler og en ekstravægt på 350 kg.

Den viste sig at være et velegnet redskab til nedmuldning af halm på lette til middelsvære jorde, hvorimod den ikke var i stand til at arbejde sig ned i tilstrækkelig dybde på tørre lerjorde.

Spaderulleharven havde visse problemer med halmvikling i stub efter lejesød (fig. 14), men var dog i stand til at rengøre sig selv efter kort tids kørsel i kort stub.



Fig. 14. Vikling af usnittet halm efter lejesød.

Ved hastigheder indtil 9 km/time arbejdede harven tilfredsstillende, men ved større hastigheder begyndte harven at slingre, hvorved jorden blev efterladt med ujævn overflade. Ved anden behandling kunne der køres med en hastighed på 14,4 km/time, hvorefter jorden lå med en meget fin overflade (fig. 15).



Fig. 15. Til venstre 2 gange spaderulleharvning.
Til højre 1 gang spaderulleharvning.

Såfremt der opstod problemer med at få harven til at gå i jorden, viste det sig at være en fordel, at stille akslerne vinkelret på kørselsretningen ved første træk, og først ved andet træk at skråstille dem i forhold til kørselsretningen.

Arbejdsbehovet ved 2 behandlinger med spaderulleharven med en effektiv arbejdsbredde på 2,4 m og en kørehastighed på henholdsvis 7,2 og 14,4 km/time var ca. 1 mandtime pr. ha. Brændstofforbruget var 10 liter pr. ha.

2.2.5 Fråser

Fråseren (fig. 16) var et særdeles velegnet redskab til nedmuldning af halm, idet den gav fuld gennemskæring og god blandeeffekt allerede ved én behandling. Ved at sænke bagskjoldet opnåedes den bedste blandingseffekt. Med løftet bagskjold blev der efterladt en forholdsvis stor mængde stub- og halmrester på jordoverfladen.

Såfremt halmen var spredt nogenlunde jævnt, var fråseren det redskab, der stillede mindst krav til snitningsgraden. Den gode sammenblanding vil på de fleste jordtyper give mulighed for nedpløjning af halm forud for såning af vintersæd. Hvor jorden ikke pløjes før såning, bør der fråses to gange med ca. 14 dages mellemrum.

Arbejdsbehovet ved brug af fråser med en effektiv arbejdsbredde på 2,2 m og en kørehastighed på 6,5 km/time var 50 mandminutter pr. ha. Brændstofforbruget var ca. 11 liter pr. ha.

2.2.6 Rotorharve

Rotorharven har været anvendt i to forskellige udførelser. "Howard Rotalabour" i 3 m udførelse svarer i opbygning til den almindelige fråser, men i stedet for vinkelbøjede knive er den forsynet med lige tænder. Den anden type ("Rabewerk type PKE 400", fig. 17) er forsynet med 16 rotoror, der parvis roterer mod hinanden i vandret plan. Hver rotor er forsynet med 2 tænder.

Begge typer var forsynet med tandpakkevalse og var i stand til at foretage en god sammenblanding af jord og halm i én arbejdsgang. Tandpakkevalsen sikrede en god kontakt mellem jord og halm, og marken blev efterladt med en fast og jævn overflade.



Fig. 16. Almindelig fræser med sænket bagskjold.



Fig. 17. Rotorharve med vandret roterende tænder.

Arbejdsbehovet var afhængig af arbejdsbredden. Med en effektiv arbejdsbredde på 2,8 m og en kørehastighed på 7,9 km/time, var behovet 32 mandminutter pr. ha. Med en effektiv arbejdsbredde på 3,8 var behovet 27 mandminutter pr. ha. Brændstofforbruget var ca. 7 liter pr. ha.

2.3 Arbejdsbehov, kapacitet og brændstofforbrug

I tabel 9 er vist arbejdsbehov, kapacitet og brændstofforbrug ved brug af forskellige redskaber. Ved at sammentælle tallene for forskellige redskabskombinationer, kan både arbejdsbehov og brændstofforbrug til snitning og nedmuldning af halm beregnes.

Tabel 9. Arbejdsbehov, kapacitet og brændstofforbrug til snitning og nedmuldning af halm (4 t halm pr. ha).

Maskin anvendelse	Kørehastighed km/t	Effektiv arbejdsbredde, m	Arbejdsbehov mandmin/ha	Kapacitet ha/time	Brændstofforbrug l/ha
<u>Snitning</u>					
Mejetærskemonteret snitter	-	-	-	-	2,2
Traktormonteret snitter	7,2	-	30	2,0	5,0
<u>Nedmuldning</u>					
Plov 3-furet	6,1	1,08	120	0,50	20
Plov 4-furet	6,1	1,20	91	0,66	19
2 x stubharve	7,9	4,0	2 x 32	1,3	8
2 x tallerkenharve	9,0	2,2	2 x 37	0,8	13
2 x spaderulleharve	7,2 og 14,4	2,4	60	1,0	10
Fraser	6,5	2,25	50	1,20	11
Rotorharve I	7,9	3,8	27	2,5	7
Rotorharve II	7,9	2,8	32	1,9	7

3. JORDENS FYSISKE EGENSKABER

Per Schjønning, Statens Planteavlsforsøg

Jordens indhold af organisk stof spiller en vigtig rolle ved dannelse af struktur i jorden. I bredeste forstand kan den indbyrdes, løse lejring af jordens enkeltpartikler i en ekstremt grovkornet jord også kaldes struktur. Med et vist indhold af mikroskopiske mineralbestanddele (lermineraller) samt organiske forbindelser dannes imidlertid bindinger mellem enkeltkornene, hvilket påvirker såvel udformning som stabilitet af strukturen. Disse "broer" mellem partiklerne opbygges primært ved elektrostatiske tiltrækning mellem modsat ladede partikelflader og -kanter. I denne proces indgår de polære grupper i de organiske molekyler.

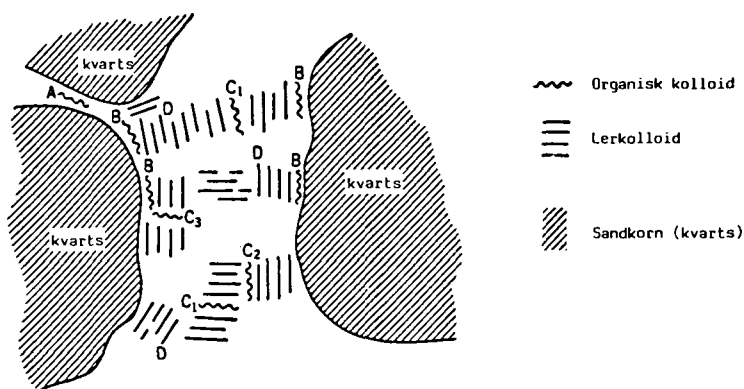


Fig. 18. Schematisk illustration af sekundær strukturdannelse i jord. Bindingstyper: (A) kvarts-organisk kolloid-kvarts; (B) kvarts-organisk kolloid-lerkolloid; (C) lerkolloid-organisk kolloid-lerkolloid; (C1) flade mod flade; (C2) kant mod flade; (C3) kant mod kant; (D) lerkolloid kant-lerkolloid flade (Emerson, 1959, her efter Baver et al., 1972).

Desuden påvirker fordelingen af kationer (de positive ioner, som opvejer den negative ladning på lerkolloidernes overflade) flokkuleringsgraden (graden af sammenkitning) af enkeltpartiklerne.

De således betingede lejringsforhold i jorden benævnes til tider sekundær strukturdannelse.

Med baggrund i ovenstående må det formodes, at tilførsel af organisk stof til jorden ved nedmuldning af halm vil forårsage en øget og stabiliseret strukturdannelse i jorden.

I forbindelse med halmforskningsprogrammet blev der ved Statens Forsøgsstation, Højer gennemført en række undersøgelser til belysning af halmnedmuldningsindflydelse på jordens struktur og fysiske egenskaber i øvrigt.

Der er tale om flere selvstændige måleprogrammer, som hver for sig vil blive omtalt i de følgende afsnit. Alle undersøgelser blev foretaget ved prøveudtagning og måling i danske markforsøg. Tabel 10 viser nogle vigtige kendetegn ved jordene for de i alt 16 forsøg. Det fremgår, at der på tre af forsøgsstederne er analyseret i 2-3 forsøg, hvorved antallet af jordtyper udgør 12.

Forsøgene er gennemført med kontinuerlig dyrkning af vårbyg og omfatter alle forsøgsled med fjernelse og nedmuldning af halm. I nogle forsøg er endvidere undersøgt effekten af halmafbrænding. Mere detaljeret omtale af forsøgsplaner og de fleste måleprogrammer findes i særskilte publikationer, hvor også resultaterne er gennemgået mere detaljeret (Schjønning, 1984, 1985a, b, 1986b, c).

3.1 Aggregater

Mekanisk bearbejdning af overfladen i en jord med sekundær strukturdannelse vil forårsage dannelse af jordknolde (aggregater) af forskellig størrelse, idet jorden brydes i de svageste bindinger. Stabilitet og størrelsesfordeling af disse aggregater har stor betydning for jordens funktion som vækstmedium. Manglende aggregatdannelse kan i forbindelse med stærk blæst over ubeskyttet sandjord give anledning til jordfugning med væsentlige skader på afgrøde og jord til følge. Ligeledes kan ustabile aggregater sønderslås af kraftig regn, hvilket under uheldige omstændigheder kan resultere i skorpedannelse på lerjorde med en deraf skadelig indflydelse på fremspiring og på luftskiftet i jorden under væksten.

Tabel 10. Lokalitet, geologisk jordart, jordtype, forsøgets alder (ved afslutning af måleserien) samt tekstur 0-20 cm for de undersøgte jorde. Opstillet efter stigende lerindhold i jorden.

Lokalitet	Geologisk jordart	Jordtype	JB nr.	Forsøgets alder, år	Org. stof	Tekstur, vægtprocent			
						ler <0,002 mm	silt 0,002-0,02 mm	finsand 0,02-0,2 mm	grovsand 0,2-2,0 mm
Jydevad	Smeltevandssand	Grovsandet jord	1	10	2,3	2,5	5,0	13,7	76,5
Sindal	Yoldiasand	Finsandet jord	2	9	2,0	3,9	4,6	81,3	8,2
Studsgård	Smeltevandssand	Grovsandet jord	1	17	3,7	4,3	8,2	31,9	51,9
Holstebro	Moranesand, Riss	Grovsandet jord	1	9	3,3	4,9	6,1	33,0	52,7
Videbæk	Moranesand, Riss	Fin lerbl. sandjord	4	9	6,9	5,1	9,4	50,1	28,5
Borris	Moranesand, Riss	Fin lerbl. sandjord	4	4	2,9	5,9	9,6	50,4	31,2
Roskilde	Moraneler, Würm	Fin lerbl. sandjord	4	4	2,6	7,7	17,8	45,9	26,0
Askov I	Moraneler, Würm	Grov lerbl. sandjord	3	10	3,0	8,8	11,7	38,6	37,9
Ødum	Moraneler, Würm	Fin lerbl. sandjord	4	17	2,4	9,3	16,2	44,5	27,6
Askov II	Moraneler, Würm	Grov lerbl. sandjord	3	4	3,0	9,4	13,1	38,6	35,9
Horsens	Moraneler, Würm	Fin sandbl. lerjord	6	9	2,8	11,3	12,2	44,2	29,5
Rønhave I	Moraneler, Würm	Fin sandbl. lerjord	6	4	2,4	11,6	18,4	44,6	23,0
Højer I	Marsk	Fin sandbl. lerjord	6	9	3,2	12,8	18,2	64,8	1,0
Rønhave II	Moraneler, Würm	Grov sandbl. lerjord	5	17	2,0	13,4	18,6	38,6	27,4
Rønhave III	Moraneler, Würm	Lerjord	7	10	2,3	17,4	17,6	47,9	14,8
Højer II	Marsk	Lerjord	7	10	3,0	17,4	15,6	60,2	3,8

3.1.1 Vinderosion

Graden af strukturdannelse i en jord kan udtrykkes ved mængden af enkeltpartikler (primærpartikler), der er bundet i aggregater (sekundærpartikler). Et sådan indeks kan beregnes som (Madsen, 1975):

$$VE < 0,5 = \frac{A - B}{A} \times 100$$

hvor A = vægtprocent af primærpartikler mindre end 0,5 mm,

B = vægtprocent af partikler mindre end 0,5 mm i forekommende prøve.

En jord med ringe tendens til vinderosion vil have en indekssværdi nær 100, idet mange primærpartikler mindre end 0,5 mm (som er en kritisk grænse for jordfygning) vil være bundet i aggregater større end 0,5 mm. Omvendt vil en værdi på 0 udtrykke fuldstændig enkeltkornlejrning.

I tabel 11 er vinderosionsindekset $VE < 0,5$ vist for forsøgsled med og uden halmnedmuldning. Ved Studsgård er nedmuldning sammenlignet med afbrænding. Tabellen viser de forventede jordtypeforskelle med langt større aggregeringsgrad, og dermed resistens mod vinderosion, på de lerholdige end på sandede jorde. Desuden fremgår det, at der de fleste steder er fundet lidt større grad af aggregering efter nedmuldning end efter fjernelse af halmen. Forskellene er dog ganske små og i de fleste tilfælde ikke statistisk sikre (Schjønning, 1984).

I tabel 11 (højre halvdel) er også vist værdien, k_t/k_0 , som udtrykker procent stabile aggregater i størrelsen 0,5-1,0 mm efter 2 minutters tørsigtning. For alle jordtyper ses halmhåndteringen kun at øve en minimal effekt. Tendensen er for de fleste jordtyper den samme som med hensyn til aggregeringsgraden. For Videbæk er der således fundet en svagt øget samling af primærpartikler i aggregater (tabel 11, venstre halvdel), såvel som en bedre stabilitet af disse aggregater (tabel 11, højre halvdel) efter nedmuldning af halm.

Tabel 11. Vinderosionsindeks, $VE < 0,5$, %, samt aggregatsstabilitet, k_t/k_o , %, i relation til halmhåndtering.
Opstillet efter stigende lerindhold i jorden (Schjønning, 1984).

Lokalitet	JB nr.	antal år	VE < 0,5		k_t/k_o	
			* fjernet halm	nedmøldet	* fjernet halm	nedmøldet
Studsgård	1	3	27,9	+1,2	40,6	+2,2
Holstebro	1	1	15,3	+0,8	40,1	-0,7
Sindal	2	3	3,2	-0,5	32,4	+2,1
Videbæk	4	3	39,3	+2,9	38,7	+2,2
Borris	4	3	40,8	+0,7	44,7	+1,1
Roskilde	4	1	59,0	+1,0	73,5	+0,6
Askov II	3	2	69,2	+1,7	81,5	+0,4
Horsens	6	1	65,0	-0,5	79,3	-1,7
Højer I	6	1	82,9	+2,6	88,9	0

* For Studsgård: Halm afbrændt

Som tidligere nævnt er de små halmeffekter, der kommer til udtryk i tabel 11, oftest ikke statistisk sikre for hver enkelt jordtype. Tendensen til forbedret stabilitet efter nedmuldning af halm sandsynliggøres dog ved, at der for forsøgssteder med analyser fra flere år kun er 2 ud af 14 observationer, som afviger fra gennemsnitstendensen. Det drejer sig om Borris og Sindal i 1983, hvor der blev fundet en lidt lavere stabilitet af aggregater efter halmnedmuldning.

Der må konkluderes, at der er en tendens til øget og stabiliseret aggregatdannelse ved nedmuldning af halm. Effekten er dog så beskeden, at den praktiske betydning er lille.

3.1.2 Vandstabile aggregater

I 5 af de fastliggende forsøg med gentagen halmnedmuldning blev der gennem flere år bestemt stabilitet af jordens aggregater ved vådsigtsningsmetode i laboratoriet. I tabel 12 er gennemsnitsresultater fra disse undersøgelser vist i form af den procentandel aggregater med størrelse mellem 2 og 8 mm, der ved sigteproceduren ikke blev sønderslået til under 1 mm.

I alle 5 forsøg er der registreret en stabilisering af jordens aggregater ved nedmuldning af halm. Den her målte effekt af halmen er tydeligere end forskellene ved vinderosionsundersøgelserne (3.1.1) og i modsætning til disse klart statistisk sikre (Schjønning, 1984).

Tabel 12. Stabile aggregater (%) ved vådsigtning i relation til halmhåndtering. Gennemsnit af 2-5 års prøveudtagninger. Opstillet efter stigende lerindhold (Schjønning, 1984).

	JB nr.	Halm	
		fjernet	nedmuldet
Askov	3	54,4	+3,6
Ørum	4	54,6	+6,2
Rønhave II	5	49,4	+5,8
Rønhave III	7	57,9	+2,9
Højer II	7	69,3	+3,0

Halmeffekten er mest markant i de to ældste forsøg (se tabel 10), hvilket antyder, at der selv efter 10-15 års gentagen nedmuldning muligvis stadig vil ske en forbedring af aggregatstabiliteten ved fortsat halmnedmuldning.

Sammenfattende kan det konkluderes, at nedmuldning i forhold til fjernelse af halm giver en stabilisering af jordens aggregater under våde forhold. Den praktiske betydning af halmeffekten er imidlertid vanskelig at vurdere, idet der ikke kendes grænseværdier ved hvilke aggregatstabiliteten bliver kritisk. På meget langt sigt må det dog formodes, at virkningen vil give sig udtryk ved en øget dyrkningssikkerhed.

I denne forbindelse kan nævnes en spørgeskemaundersøgelse (Eriksen, 1987), ifølge hvilken jordbrugere mener at have iagttaget bedre aggregatstabilitet og større "medgørlighed" af svær lerjord efter halmnedmuldning.

I udenlandske undersøgelser (Chepil, 1955; Chepil & Woodruff, 1963) er der målt tilsvarende aggregatstabiliserende effekt af halmnedmuldning. Denne effekt forsvandt og blev endog vendt til en reduceret stabilitet nogle år efter ophør af den gentagne nedmuldning. Disse resultater antyder, at der efter nedbrydning af de letomsættelige stoffer i det nydannede organiske stof kan forventes en negativ effekt af en tidligere foretaget halmnedmuldning. Hvorvidt dette forhold også gælder for danske jorde, kan kun afklares gennem måling af eftervirkning i forsøgene.

3.2 Porositetsforhold

Selv ved den stærkest tænkelige pakning af jordens enkeltpartikler vil der være hulrum (porer) mellem det faste materiale. Med den naturlige strukturdannelse vil overfladelagene i landbrugsjord oftest indeholde 40-50 volumenprocent porer. Størrelsen samt fordelingen af porerumfanget på forskellige størrelsesklasser af porer, er i høj grad bestemt af jordens indhold af ler, silt og sand (Schjønning, 1985a). Porositetsforholdene er bestemmende for en række faktorer af betydning for plantevæksten, f.eks. mængden af tilgængeligt vand og transportbetingelser for luft, vand samt næringssalte.

Strukturen og dermed porerne i jorden påvirkes af driftsform. I dette afsnit fremlægges resultater fra et flerårigt måleprogram, hvor halmnedmuldnings effekt på jordens porositetsforhold blev undersøgt.

3.2.1 Porøsitet

Forskelle i en given jords totale porevolumen kan i høj grad tilskrives et forskelligt volumen af de store porer (Schjønning, 1985a). Netop grovporerne vil være påvirket af strukturforskelle i jorden, og jordens porøsitet er derfor et anvendeligt og i øvrigt let måleligt udtryk for strukturen.

Tabel 13. Halmhåndteringens indflydelse på porøsitet, vol.%, i pløjelaget.
Gennemsnit af 4-5 års målinger. Opstillet efter stigende lerindhold
i jorden (Schjønning, 1985b).

	JB nr.	Halm		
		fjernet	afbrændt	nedmuldet
Jyndeved	1	42,2		+0,3
Studsgård	1	46,8	-0,3	+1,6
Askov I	3	41,7		+0,6
Ødum	4	46,1	-0,6	+0,5
Rønhave II	5	39,1	-0,1	+0,7
Rønhave III	7	39,7		+1,7
Højer II	7	47,1		+0,5

Gennem en femårig periode (1980-84) blev der i 7 markforsøg foretaget prøveudtagning til bestemmelse af pløjelagets porøsitet (tabel 13). På alle 7 lokaliteter er der gennemsnitligt målt lidt højere porøsitet i jorden ved nedmuldning i forhold til fjernelse af halm. Afbrænding har i 3 forsøg givet praktisk taget uændret eller svagt reduceret porevolumen. Kun i 2 forsøg, Studsgård og Rønhave III, har halmeffekten en sådan størrelse, 1,6-1,7%-enheder eller relativt 3-4%, at den er afdækket med statistisk sikkerhed (Schjønning 1985b). Det omfattende måleprogram påpeger dog den samme tendens på alle jordtyper.

3.2.2 Porestørrelsesfordeling

Af fig. 19 fremgår, hvorledes porositetsforøgelsen i pløjelaget på en enkelt jordtype netop er fremkommen ved et øget volumen af porer over ca. 0,03 mm, jævnfør det tidligere fremførte.

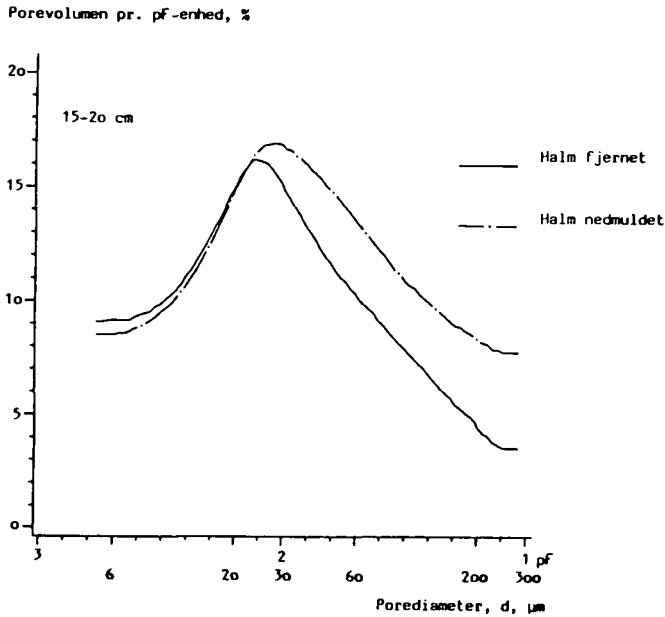


Fig. 19. Halmnedmuldningens indflydelse på porestørrelsesfordelingen i pløjelaget for en fin lerblandet sandjord (Schjønning, 1985b).

Ved analyse af jordprøver fra dybden 25-30 cm på to jordtyper er der fundet det modsatte billede (fig. 20). Rumfanget af de største porer er under pløjelaget for begge jorde mindst i forsøgsleddet med mangeårig nedmuldning af halm. Samtidig forøges volumen af porer med diameter omkring $0,6 \mu\text{m}$. Halmafbindingen indtager en mellemposition for begge jorde.

Forklaringen på den negative effekt af halmnedmuldningen på jorden i 25-30 cm dybde skal muligvis søges i tilknytning til jordbearbejdningen. Ved pløjningen til 20 cm dybde i december kan jord med et "halmtæppe" over sig formodes at have et højere vandindhold end jord uden halm. Samtidig kræves en større trækraft ved pløjningen, hvilket muligvis kan give en større pakning i furebunden. Fænomenet er i givet fald analogt til halms effekt på grovporer under fræseren i 15-20 cm dybde, hvor der ligeledes fandtes reduceret grovporevolumen i forbindelse med halmnedmuldning (Schjønning, 1985b).

Porevolumen pr. pF-enhed, %

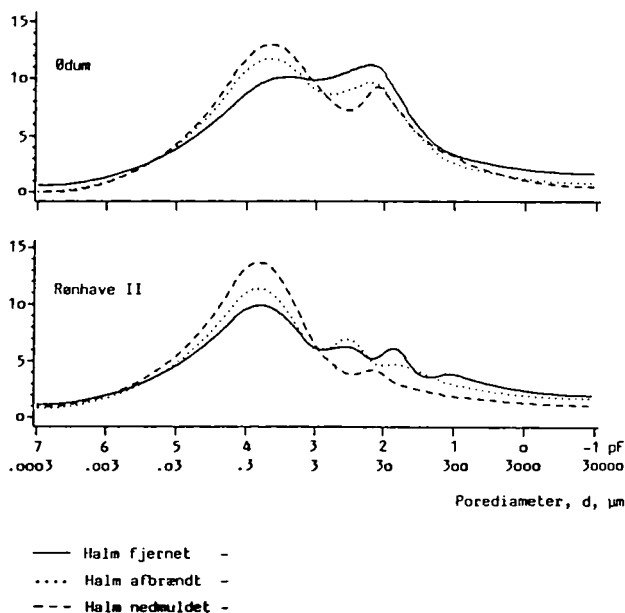


Fig. 20. Indflydelsen af afbrænding og nedmuldning af halm på porestørrelsesfordeling i 25-30 cm dybde (Schjønning, 1985b).

3.2.3 Vandholdende evne

På sandjorde er planternes vandforsyning ofte den begrænsende vækstfaktor. Det har derfor stor interesse at få afklaret, hvorvidt nedmuldning af halm vil forøge jordens indhold af plantetilgængeligt vand.

I tabel 14 er pløjelagets pulje af plantetilgængeligt vand beregnet fra volumen af porer mellem 30 og $0,2 \mu\text{m}$. Denne gruppe af porer kan frigive vand ved planternes vandoptagelse mellem forårets vandstatus (markkapacitet) og total udtørring af jorden (visnegrænsen). Det fremgår af tabellen, at effekten af halmnedmuldning er varierende fra jordtype til jordtype og i øvrigt ikke statistisk sikker for nogen af enkeltforsøgene (Schjønning, 1985b). Ved et måleprogram vedrørende jordens permeabilitet (se afsnit 3.3) blev der dog i Rønhave II-forsøget registreret en sikker forøgelse i rumfang af porer mindre end $30 \mu\text{m}$ som følge af halmnedmuldning (Schjønning 1986c). Den i forhold til de øvrige jordtyper forholdsvis store effekt på 3,4 mm vand i Rønhave II-for-

søget (tabel 14) er derfor sandsynliggjort som en reel halmeffekt. Selvom 3,4 mm vand udgør næsten 10% af den plantetilgængelige vandmængde i pløjelaget, svarer det kun til ca. 1 døgn's potentiel fordampning i vækstsæsonen.

Tabel 14. Halmhåndteringens indflydelse på plantetilgængeligt vand (mm) i pløjelaget (20 cm). Opstillet efter stigende lerindhold i jorden (Schjønning, 1985b).

JB nr.		Halm		
		fjernet	afbrændt	nedmuldet
Jyndeved	1	23,0		+1,8
Studsgård	1	36,6	+0,2	+1,6
Borris	4	46,8		-2,4
Askov I	3	33,8		-1,0
Ødum	4	34,2	-0,2	+0,6
Højer I	6	50,8		-0,6
Rønhave II	5	36,6	+1,6	+3,4
Rønhave III	7	40,6		+0,4
Højer II	7	46,6		+2,2

Generelt må det fra resultaterne i tabel 14 konkluderes, at nedmuldning og afbrænding af halm ikke øver indflydelse på jordens indhold af plantetilgængeligt vand. Den manglende indflydelse på jordens vandholdende evne fremgår også af tabel 15, som viser jordens vandindhold om foråret umiddelbart før første jordbearbejdning.

Tabel 15. Halmhåndteringens indflydelse på jordens vandindhold (vol.%) ved markkapacitet. Ubehandlet jord, 5-10 cm dybde, ca. 1. april. Gennemsnit af 4 års målinger. Opstillet efter stigende lerindhold i jorden (Schjønning, 1985b).

JB nr.		Halm		
		fjernet	afbrændt	nedmuldet
Studsgård	1	22,8	+0,7	+0,6
Ødum	4	26,3	-0,2	-0,5
Rønhave II	7	25,6	0	+0,7

3.2.4 Porekontinuitet

I forbindelse med halmforskningsprojektet gennemførtes specialmålinger til belysning af udformningen af jordens poresystem, herunder porernes kontinuitet (Schjønning, 1985a, b). Gennem måling af ilt diffusion samt luftpermeabilitet blev der beregnet parametre for relativ porelængde, gennemsnitlig porediameter og porekontinuitet. Undersøgelserne viste, at nedmuldning af halm generelt ikke har nogen sikker indflydelse på disse parametre, hvorfor de ikke vil blive nærmere omtalt her.

3.3 Vandledningsevne

Hurtig afledning af overskudsvand fra en jord har betydning dels om foråret forud for den første jordbearbejdning samt til tider under vækstsæsonen ved kraftig nedbør. Der tænkes i denne forbindelse oftest på lerjord, men på sandjord kan en ringe infiltrationskapacitet være begrænsende for vandingsintensitet i nogle tilfælde.

Især de store porer i jorden er bestemmende for vandledningsevnen. Da der i forbindelse med porositetsundersøgelserne (afsnit 3.2) blev fundet en tendens til øget volumen af store porer ved nedmuldning af halm, må der forventes en bedre ledningsevne ved denne dyrkningspraksis.

3.3.1 Laboratoriemålinger

I perioden 1981-84 blev der i 3 af de ældste markforsøg med afbrænding og nedmuldning af halm hvert år efter høst udtaget prøver til bestemmelse af jordens vandledningsevne.

I overensstemmelse med den tidligere omtalte måleserie (tabel 13) er der i den grovsandede jord ved Studsgård fundet en forøget porøsitet efter nedmuldning af halm, mens der på de to lerholdige jorde ved Ødum og Rønhave ikke er nogen sikker effekt af halmen (tabel 16). Endvidere fremgår det, at vandledningsevnen er nøje korreleret til porositeten. Undersøgelserne påviste ledningsevnenes stærke afhængighed af grovporevolumen, som netop er den porestørrelsesklasse, der påvirkes af halmnedmuldningen. I overensstemmelse med dette er det kun ved Studsgård, der er en tendens til bedre ledningsevne ved halmnedmuldning. Den negative effekt ved Ødum såvel som den omtalte tendens ved Studsgård er dog ikke statistisk sikker (Schjønning, 1986c).

Tabel 16. Porøsitet og vandledningsevne (k) i relation til halmhåndtering.
 k-værdien angiver geometrisk gennemsnit. Gennemsnit 1981-84
 (Schjønning, 1986c).

JB nr.	Parameter	Halm		
		fjernet	afbrændt	nedmuldet
Studsgård 1	Porøsitet, vol.%	44,9	+0,4	+1,9
	k, mm/time	69,8	+22,6	+38,6
Ødm 4	Porøsitet, vol.%	46,9	-0,7	-0,7
	k, mm/time	98,0	-36,2	-29,5
Rørhave II 5	Porøsitet, vol.%	38,7	-0,6	+0,7
	k, mm/time	16,2	-2,2	-0,8

3.3.2 Markmålinger

Fig. 21 viser resultater fra tre års målinger af vandinfiltration i marken. Der er tale om de samme forsøgssteder som omtalt ovenfor.

Målingerne blev foretaget på ubehandlet plovfure i det tidlige forår, umiddelbart før jorden var "moden" til den første opharvning. Figuren viser samhørende værdier for infiltrationskapacitet i jord uden og med halmnedmuldning. Det vil sige, at der i marken er målt i tætliggende parceller med de to behandlinger. Det fremgår, at der i 18 ud af de i alt 23 samhørende målinger er registreret større infiltrationskapacitet, hvor halmen er nedmuldet, end hvor den er fjernet (punkterne over 1:1-linien). Statistiske analyser (Schjønning, 1986c) viste dog, at halmeffekten kun er statistisk sikker ved Studsgård med gennemsnitligt 3,5 gange større infiltration efter nedmuldning end efter fjernelse af halm. Det her fundne er i overensstemmelse med laboratoriemålingerne (3.3.1).

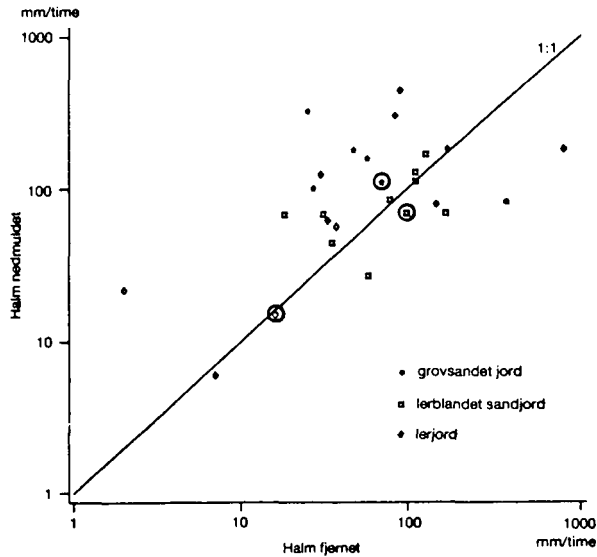


Fig. 21. Samhørende værdier for infiltrationskapacitet ved feltmålinger i jord med og uden halmnedmuldning samt gennemsnit af 4 års laboratoriemålinger (indcirklede signaturer) (efter Schjøning, 1986c).

3.4 Luftskiftebetingelser

Af afsnit 3.2 fremgår, at nedmuldning af halm generelt giver en lille forøgelse af jordens porøsitet i form af lidt flere grovporer. Dette skulle teoretisk give anledning til et bedre luftskifte i jorden, idet luftfornyelsen sker gennem de største, luftfyldte porer. I forsommeren 1983 blev der på 3 lokaliteter udtaget jordprøver i pløjelaget i forsøgsled med fjernelse og nedmuldning af halm. I laboratoriet bestemtes luftfyldt porevolumen samt relativ diffusivitet, som angiver luftskiftebetingelserne i jorden i forhold til en uhæmmet lufttransport i fri luft. Undersøgelsen udførtes 2 gange på hver lokalitet i den meget regnrige periode maj/juni 1983.

Af fig. 22 fremgår, at der er meget store forskelle mellem jordtyperne. Den sandede jord ved Borris har, selv under disse meget våde forhold, 17-23 volumenprocent luftfyldte porer i jorden og tilsvarende høje værdier for relativ diffusivitet. Derimod fremviser begge de lerholdige jorde luftskifteforhold, der ligger omkring eller under en til tider anvendt kritisk grænse for plante-

vækst ($D_s/D_a = 5$ o/oo; Stepniewski, 1981).

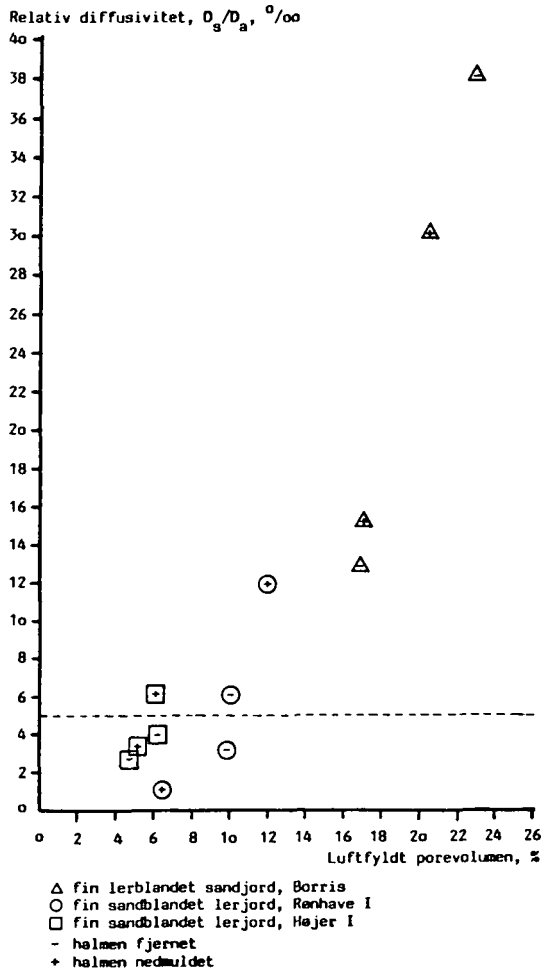


Fig. 22. Luftskiftebetænelser i jord med naturligt vandindhold på 2 tidspunkter i maj 1983 (upubliceret talmateriale, Højer forsøgsstation).

På ingen af jordtyperne har nedmuldning af halm medført en væsentlig ændring i luftfyldt porevolumen, i relativ diffusivitet eller i det generelle billede af sammenhængen mellem luftindhold og lufttransport.

3.5 Mekaniske egenskaber

Indholdet af organisk stof har stor betydning for jordens mekaniske egenskaber (dvs. dens opførsel som homogen masse under påvirkning af tryk og forskydningskræfter), hvilket bestemmer reaktionen ved færdsel og jordbearbejdning (Baver et al., 1972).

Gentagen nedmuldning af halm øger jordens indhold af organisk stof (se afsnit 4.2), hvorfor der teoretisk må forventes en påvirkning af de mekaniske egenskaber.

3.5.1 Konsistens

Laboratoriemålinger har vist (Guerif, 1979), at iblanding af halm påvirker jordens konsistensgrænser (fig. 23). Ved behandling af jord med forskelligt vandindhold med en dynamisk pakningsmetode (Proctor-test) fremkommer to karakteristiske vandindhold, LPL (nedre plasticitetsgrænse, eng: Lower Plasticity Limit) med mindst pakningsmodtagelighed og UPL (øvre plasticitetsgrænse, eng: Upper Plasticity Limit) med størst pakningsmodtagelighed. Af særlig interesse er den nedre plasticitetsgrænse (LPL), som angiver overgangen mellem plastisk (formbar) jord og "sprød" jord, ideel for jordbearbejdning. Af fig. 23 fremgår, at en prøve af ren mineralsk beskaftenhed (15% ler, 85% sand) iblandet 2% frisk halm har en højere plasticitetsgrænse og dermed lader sig bearbejde uden "æltning" ved et højere vandindhold end "jord" uden halm.

Ovennævnte er i overensstemmelse med generelle undersøgelser over indflydelsen af jordens organiske stofindhold (Baver et al., 1972). Ved blanding af en mineralsk prøve og frisk, uomsat halm kan den påviste effekt dog tænkes at hidrøre fra halmens egenskab som selvstændigt materiale snarere end som en effekt af halmen på jordens organiske stof.

En halmkoncentration på 2% (fig. 23) er ret høj for praktiske forhold og opnås ved indblanding (f. eks. fræsning) af en normal halmmængde i de øverste ca. 2-3 cm jordlag, hvilket er på grænsen af noget praktisk gennemførligt. Det skal dog anføres, at der ved en sådan jord/halmblanding må forventes en "sprød" jord til et højere vandindhold end i jord uden halm.

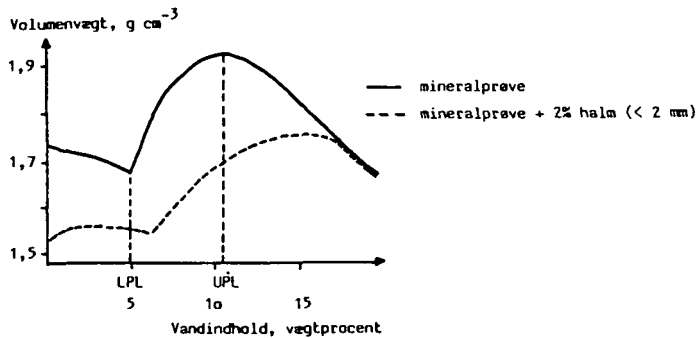


Fig. 23. Konsistensgrænse bestemt med Proctor-test i ler/sand-prøve uden og med halmindblanding. LPL = nedre plasticitetsgrænse, UPL = øvre plasticitetsgrænse (Guerif, 1979).

3.5.2 Pakningsmodtagelighed

En jord er i særlig grad følsom for pakning i den plastiske tilstand, d.v.s. ved vandindhold over den nedre plasticitetsgrænse (fig. 23). For jorde med mindre end ca. 10% ler kan der vanskeligt tales om plasticitetsgrænser i gængs forstand. Undersøgelser har dog vist, at også egentlige sandjorde har et kritisk vandindhold ved hvilket jorden ændrer reaktionsmønster ved trykpåvirkning (Lehfeldt & Kullmann, 1982).

For at undersøge, hvorvidt mange års gentagen nedmuldning af halm kan spores i jordens pakningsmodtagelighed ved kritiske vandindhold, blev der udtaget jordprøver i markforsøg med fjernelse og nedmuldning af halm. I laboratoriet blev prøverne opfugtet og afdrænet til 5 forskellige vandindhold omkring markkapacitet, som er jordens naturlige vandindhold om foråret.

Dernæst udsattes prøverne for gradvis stigende belastning med samtidig måling af deformation i en mekanisk presse.

Fig. 24 viser resultater fra måling ved 3 vandindhold på en lerjord. Det fremgår, at luftfyldt porevolumen i ubelastet jord (tryk = 0) naturligt er højest i den stærkest afdrænedes jord. Forskellen i luftfyldt porevolumen ved vandpotentialet - 50 cm v.s. mellem jord med og uden halmnedmuldning var ikke statistisk sikker. Ved ingen af de 3 vandindhold fandtes nogen forskel i kurveforløbet mellem fjernelse og nedmuldning af halm. Det betyder, at der ikke m.h.t. pakningsmodtagelighed kan spores nogen effekt af den halmforårsagede

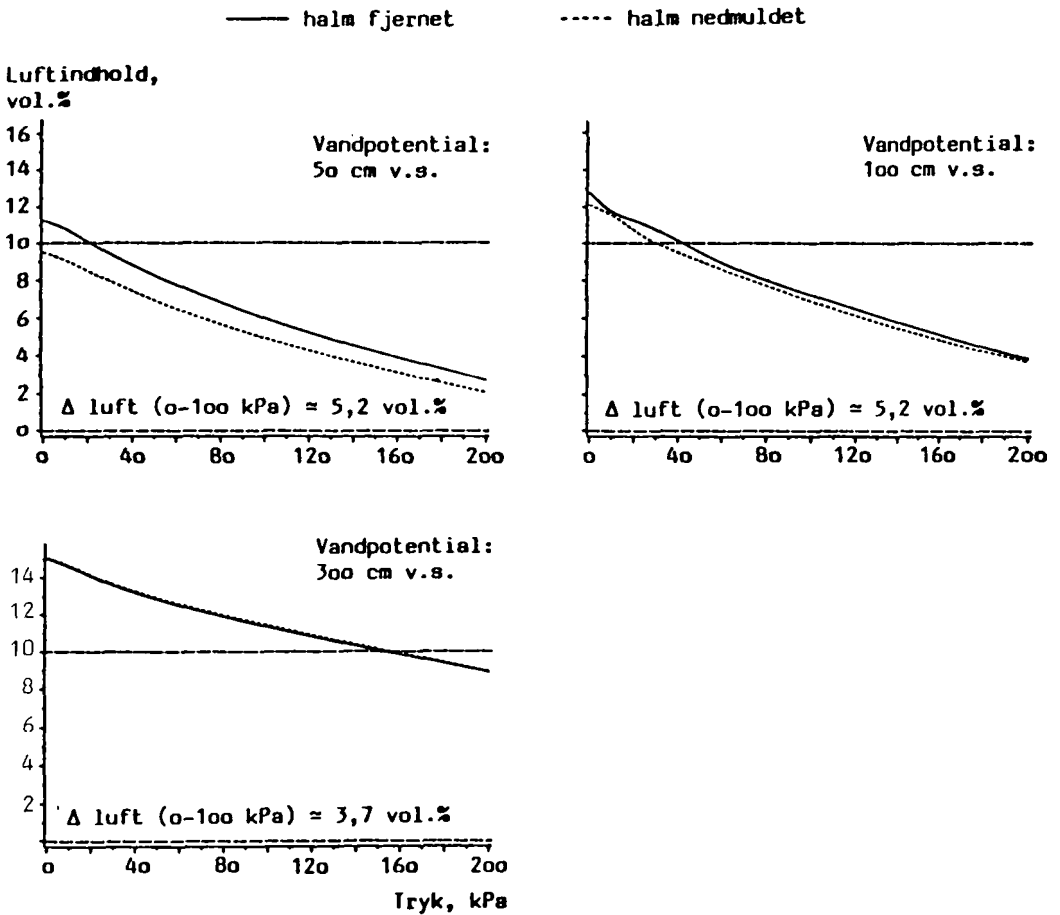


Fig. 24. Jordens pakningsmodtagelighed ved 3 vandpotentialer udtrykt som jordens luftindhold ved stigende belastning (Rønhave III, JB7) (upubliceret talmateriale, Højer forsøgsstation).

relative stigning i C-indhold, som i dette forsøg var på 7,5% (tabel 20, afsnit 4.2.1).

3.5.3 Forskydningsstyrke

Jordens forskydningsstyrke er et udtryk for de kræfter, der binder jordens partikler sammen. Undersøgelser i langvarige gødningsforsøg har vist, at gødningsmængde og -art er i stand til at ændre disse kræfter (Fountain et al., 1956; Schjønning, 1986f).

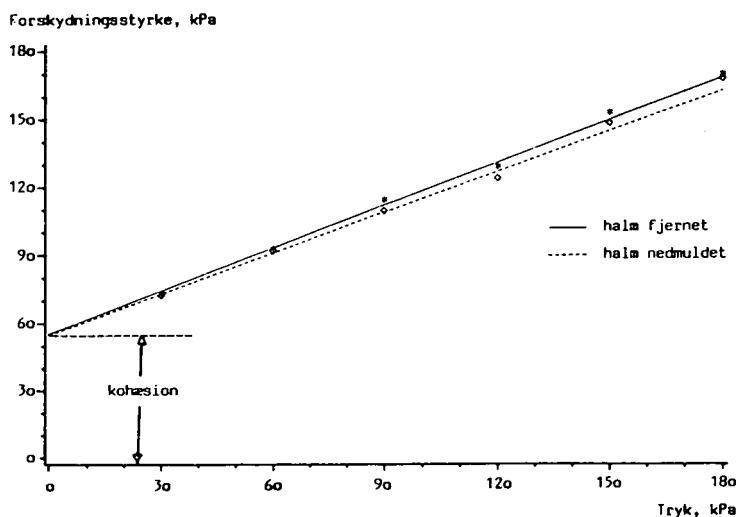


Fig. 25. Jordens forskydningsstyrke ved stigende belastning (Rønhave III, JB7) (upubliceret talmateriale, Højer forsøgsstation).

I fig. 25 er vist resultater fra en måleserie på den tidligere omtalte forsøgsjord (fig. 24). Forskydningsstyrken er målt på jordprøver afdrænet til -100 cm v.s., hvilket omtrent svarer til jordens naturlige vandindhold om foråret. Der er målt ved 6 forskellige belastninger af jorden, hvilket muliggør bestemmelse af den ovennævnte kohæsion i jorden ud fra liniernes skæring med ordinataksen. Metoden er nærmere beskrevet i tilknytning til målinger i en

række forskellige forsøg (Schjønning, 1986e). Det fremgår, at halmnedmuldningen ikke har haft nævneværdig indflydelse på forskydningsstyrken i hverken ubelastet eller belastet jord.

3.6 Jordtemperatur

Et halmforårsaget højere indhold af organisk stof vil teoretisk kunne påvirke varmekapaciteten i jorden. Et højt humusindhold øger varmekapaciteten og reducerer varmeledningsevnen (Wijk & de Vries, 1963). Også indirekte gennem en effekt på jordstruktur og vandforhold kan halmnedmuldning tænkes at påvirke temperaturforholdene i marken (se afsnit 3.1.-3.3.).

Tre års registreringer i markforsøg med nedmuldning af halm ved vårbygdyrning viser imidlertid, at der ikke fås nogen målelig effekt (fig. 26). I planternes etablerings- og strækningsfase er temperaturen i pløjelaget alle 3 forsøgsår praktisk taget identisk i jord med og uden nedmuldet halm. I 1981 på lerjord og i 1983 på sandjord er der en tendens til lidt lavere temperatur i jord med nedmuldet halm i kernefyldnings- og modningsperioden. Dette kunne teoretisk henføres til en i denne periode bedre udviklet plantebestand med opretholdelse af et højt fordampningsniveau. Undersøgelser af afgrødens vandforbrug peger dog ikke på noget sådant (Djurhuus, 1985). Sammenfattende må det derfor konkluderes, at nedmuldning af halm ikke synes at påvirke jordens varmekapacitet væsentligt.

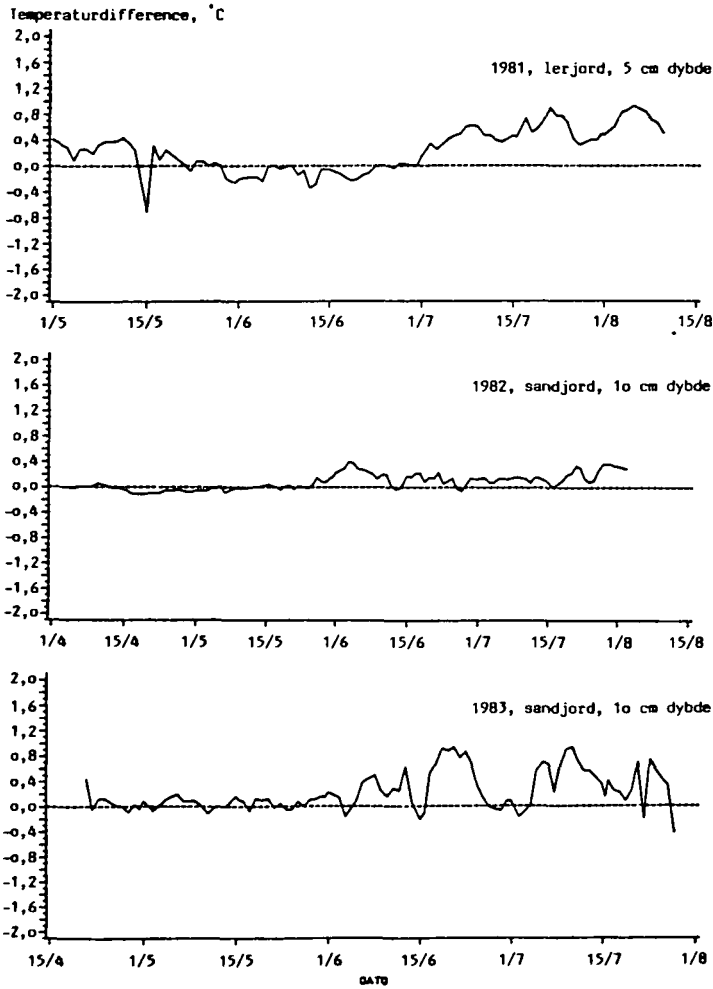


Fig. 26. Halmnedmulningens indflydelse på jordtemperaturen i vækstsæsonen. Kurverne viser temperaturdifferencen jord uden halm - jord med halm. Vårbyg. Jordtyper (se tabel 10): 1981, Højer I JB6; 1982 og 1983, Borris JB4 (upubliceret talmateriale, Højer forsøgsstation).

4. OMSÆTNING AF HALM

Bent T. Christensen, Statens Planteavlfsforsøg

Interessen for halms omsætning er ikke af ny dato, og halm har været anvendt i en lang række undersøgelser af grundlæggende træk ved nedbrydningsprocesserne i jord. De fleste forsøg har fundet sted under laboratorieforhold, hvorimod forsøg under markforhold har været mere fåtallige.

Omsætningen af halm under markforhold er imidlertid resultatet af et komplekst samspil mellem en lang række indbyrdes afhængige faktorer, hvilket vanskeliggør udnyttelsen af resultater fra laboratorie forsøg i en marksituation.

Det følgende vil omtale resultater fra danske forsøg med det formål, at belyse nogle væsentlige faktorerers indflydelse på halmens omsætning under markforhold, og desuden ved hjælp af udenlandske resultater belyse forhold, der ikke direkte har indgået i danske forsøg.

Omsætningen af halm er opdelt i afsnit 4.1 Halmens nedbrydningsforløb (dækkende ca. det første års nedbrydning), afsnit 4.2 Halmens indflydelse på jordens indhold af organisk stof (humus), og afsnit 4.3 Halmens indflydelse på jordbundens mikrobielle biomasse og jordbundsfauna. De to sidstnævnte afsnit afspejler de mere langsigtede virkninger af halmnedmuldningen.

4.1 Halmens nedbrydningsforløb

4.1.1 Halmens udvaskbare fraktion

Den første fase i halms nedbrydningsforløb karakteriseres ofte af et indledende brat tab af tørvægt og næringssalte. Det indledende vægttab tilskrives såvel udvaskning som mikrobiel omsætning af letnedbrydelige organiske forbindelser i halmen. Tabet af næringssalte, hidrørende fra udvaskning, følger ofte samme mønster med størst tab af Na og K, hvorefter følger Mg, Ca og S. Mindre og mere variable tab findes for N og P.

Såfremt halm henligger på stubben efter høst vil en del af halmens indholdsstoffer således kunne udvaskes i forbindelse med nedbør. Halmen vil være udsat for en gentagen udvaskning og udtørring, samt en begyndende nedbrydning, der kan påvirke udvaskningen, og dermed også transporten af næringssalte fra halmen til den underliggende jord. En udvaskning af halmen vil desuden kunne indvirke på halmens efterfølgende omsætning.

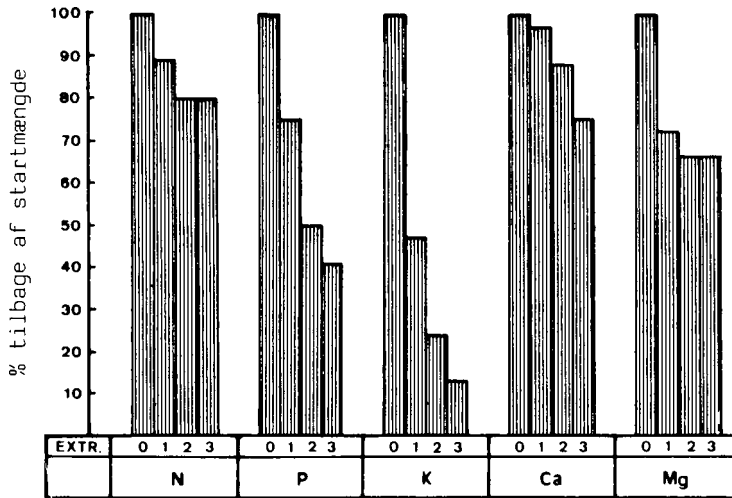


Fig. 27. Indhold af næringssalte i byghalm (snitlængde, 5 cm) efter udvaskning med vand (0, 1, 2 og 3 angiver henholdsvis ubehandlet, en, to og tre udvaskninger). Ved gentagen udvaskning tørredes prøven mellem hver udvaskning (Christensen, 1983).

Fig. 27 viser byghalms indhold af næringssalte efter en, to eller tre gentagne udvaskninger med koldt vand. Tabet efter tre udvaskninger af halmen var 87% K, 59% P, 34% Mg, 25% Ca og 20% N. Tabel 17 viser det akkumulerede tab af tørstof, aske og organisk stof. Den udvaskbare tørstoffraktion var 9% efter tre udvaskninger og tabet af aske svarede til 56% af halmens askeindhold. Størstedelen af asketabet hidrører fra udvaskning af næringssalte.

Tabel 17. Tab af tørstof, aske og organisk stof efter gentagne udvaskninger af bygalm (% af halmvægt ved start). Tab af askefrit tørstof er beregnet som difference mellem tørstofftab og asketab. Ved gentagne udvaskninger tørredes halmen mellem hver udvaskning (Christensen, 1983).

Antal udvaskninger	% tab		
	1	2	3
Tørstof	5,7	7,2	8,7
Aske	1,5	2,1	2,6
Askefrit tørstof	4,2	5,1	6,1

En begyndende nedbrydning af halmen gav ikke anledning til forskelle i tab af aske, K, P, Mg eller Ca. Derimod fandtes for N et øget udvaskningstab, når halmen forud for udvaskningen blev udsat for en begyndende nedbrydning (tabel 18). Tabet af N steg med stigende inkubationstemperatur, og var for halm, der blev inkuberet ved 15°C og udvasket tre gange, på 43% af halmens N indhold ved start.

Tabel 18. Halmens indhold af total-N efter gentagne udvaskninger med og uden forudgående inkubation ved 5°C og 15°C (mg total-N pr. prøve) (Christensen, 1983)

Antal udvaskninger	mg total-N pr. prøve			
	0	1	2	3
Uden inkubation	22,5	19,3	17,9	17,9
5°C inkubation	-	-	16,4	14,4
15°C inkubation	-	-	14,5	12,8

C/N forholdet i den udvaskbare fraktion var mellem 14 og 21. Såfremt halmen blev udsat for en begyndende nedbrydning mellem de enkelte udvaskninger, var C/N forholdet i den udvaskbare fraktion mellem 8 og 11. I forhold til ubehandlet halm var C/N forholdet i den udvaskbare fraktion altså meget lavt.

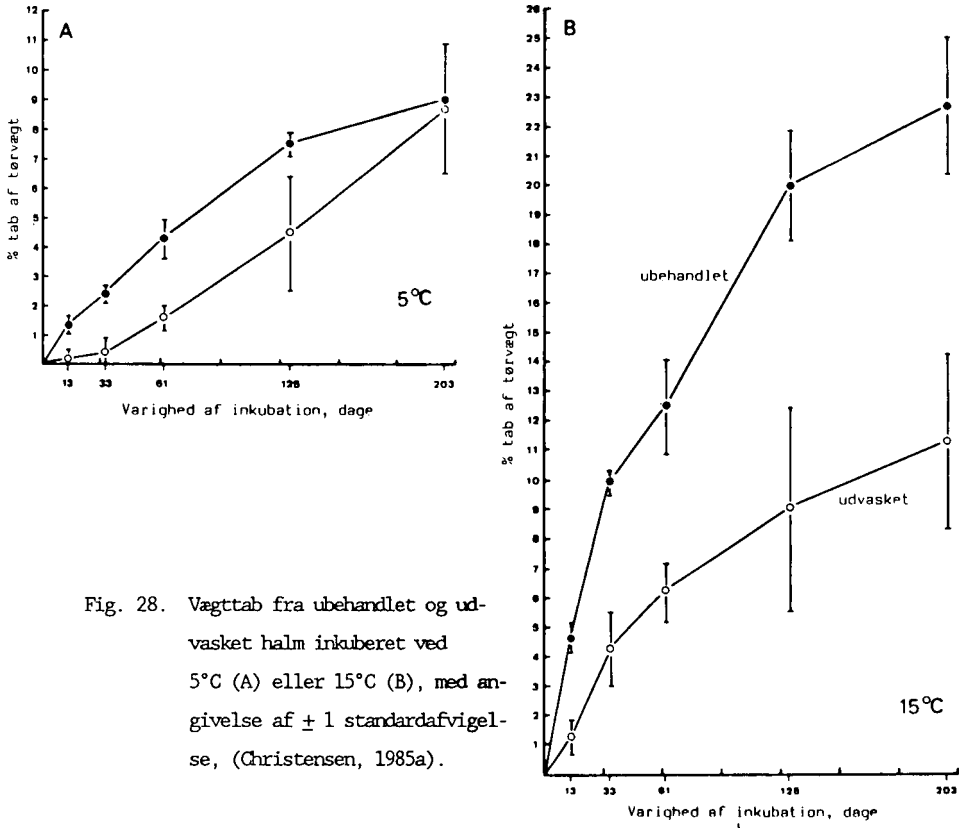


Fig. 28. Vægttab fra ubehandlet og udvasket halm inkuberet ved 5°C (A) eller 15°C (B), med angivelse af ± 1 standardafvigelse, (Christensen, 1985a).

Fig. 28 viser vægttabet fra ubehandlet halm og fra halm der blev udvasket en gang med vand og derefter inkuberet ved 5 eller 15°C. Det ses, at nedbrydningen forløb væsentlig hurtigere ved 15°C end ved 5°C. Både ved 5 og 15°C bevirkede en udvaskning af halmen før inkubationen en reduktion på ca. 50% i respirationstabet efter 61 dages forløb. Denne reduktion skyldes udvaskning af letnedbrydelige organiske forbindelser og lettilgængeligt N. Den manglende forskel i respirationstabet efter 203 dage mellem udvasket og ubehandlet halm inkuberet ved 5°C skyldes formentlig, at nedbrydningen ved denne relativt lave temperatur er temperaturbegrænset, og at hverken tilgængeligheden af de organiske forbindelser i halmen eller N derfor på længere sigt bliver begrænsende for nedbrydningsprocessen.

Det ved ovennævnte udvaskningsforsøg anvendte forhold mellem halm og vand svarer til ca. 10 mm nedbør, såfremt der i en marksituation er en halmmængde på 5 t halm pr. ha. Det mulige tab af næringssalte fra halmen i dette forsøg udgjorde 55 kg K, 4,5 kg N, 1,7 kg P, 0,5 kg Mg og 3,3 kg Ca pr. ha (5 t halm pr. ha). Et sådant tab af næringssalte fra halmen til den underliggende jord har ikke alene en gødsningsmæssig betydning, men kan også påvirke halmens foderværdi og askedannelsen i halmfyr.

4.1.2 Halm på jordoverfladen

Nedbrydningen af halm efterladt på jordoverfladen har interesse i forbindelse med reduceret jordbehandling og direkte såning. Fjernes afgrøderesterne ikke fra marken vil størstedelen af halmproduktionen blive efterladt på jordoverfladen eller i de allerøverste jordlag. Desuden anvendes jorddækning med halm-tæppe i et vist omfang indenfor gartneri. Endelig kan en række arbejdsmæssige, dyrkningstekniske og vejrmæssige forhold betinge en sen nedmuldning af halm.

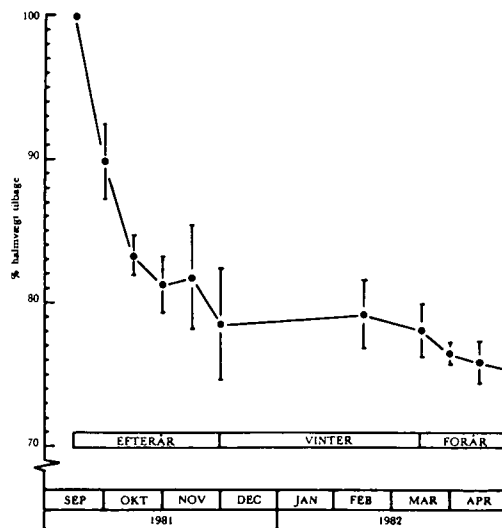


Fig. 29. Vægttab af bygghalm placeret på jordoverfladen med angivelse af ± 1 standardafvigelse (Christensen, 1984a).

Fig. 29 viser vægttabet fra byghalm placeret på jordoverfalden. I løbet af efterårsperioden omsattes godt 20% af halmen, mens omsætningen i vinterperioden er ubetydelig. Ved forårsperiodens begyndelse ses en svag stigning i nedbrydningshastigheden, og ved slutningen af april måned udviste halmen et vægttab på 25%.

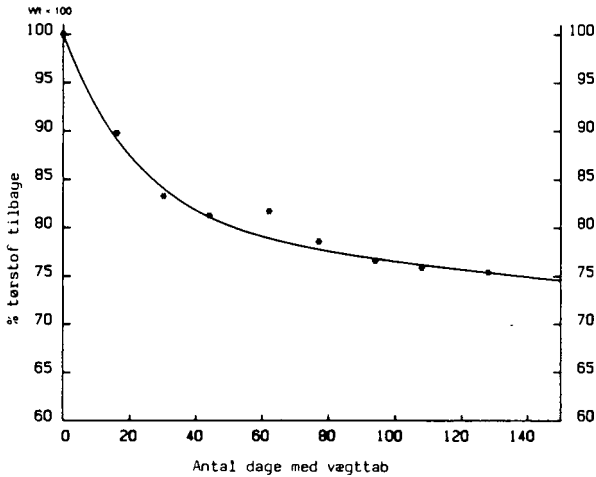


Fig. 30. Model for vægttabet fra byghalm anbragt på jordoverfladen. Den resterende halmængde er vist som funktion af antal nedbrydningsdage (vinterperioden 1. december - 15. marts med lufttemperaturer i nærheden af 0°C og uden vægttab er udeladt). Kurve angiver modelberegning, * angiver målte værdier (Christensen, 1984a).

Vægttabet fra byghalm placeret på jordoverfladen kan beskrives ved hjælp af et modeludtryk af typen $W_t = W_1 e^{-k_1 t} + W_2 e^{-k_2 t}$. Ved denne model betragtes halmen som bestående af to fraktioner W_1 og W_2 , hvis nedbrydningskonstanter er henholdsvis k_1 og k_2 , og hvor t er antallet af nedbrydningsdage. Fig. 30 viser denne model anvendt på resultaterne fra fig. 29.

Den lettere nedbrydelige halmfraktion W_1 udgør 20% af halmen og nedbrydes med 4,5% pr. dag. W_2 udgør 80% af halmen og nedbrydes betydeligt langsommere (0,05% pr. dag).

I overensstemmelse med resultater fra udvaskningsforsøgene (afsnit 4.1.1)

fandtes også en betydelig udvaskning af K fra halm placeret på jordoverfladen (fig. 31). I løbet af den første måned efter halmens udlægning reduceredes halmens K indhold med mere end 90%, svarende til et tab på 12 kg K pr. t halm, eller 60 kg K pr. ha (5 t halm pr. ha).

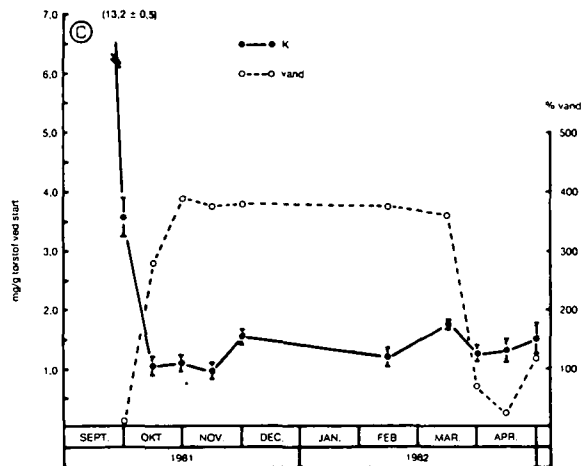


Fig. 31. Indholdet af K og vand i bygghalm placeret på jordoverfladen. For K er angivet ± 1 standardafvigelse (Christensen, 1984a).

4.1.3 Nedmuldet halm

Nedbrydningen af byg- og hvedehalm placeret i 10 cm's dybde på grovsandet jord (Lundgård JB1) og fin sandblandet lerjord (Rønhave JB6) er vist i fig. 32. Forsøget indeholdt dels en afdeling, hvor jorden blev holdt ubevokset, dels en afdeling hvor jorden var plantedækket fra maj til november året efter nedmuldningen.

Uafhængigt af jordtype udviste begge halmarter i løbet af den første måned efter nedmuldningen et indledende vægttab på ca. 30%. Herefter forløb nedbrydningen med næsten konstant hastighed, og i foråret var vægttabet på sandjorden 45% og på lerjorden 50%. Efter et års forløb resterede der i den ubevoksede afdeling på lerjord ca. 15% af halmten, mens der på sandjord resterede godt 25%. I den bevoksede afdeling fandtes på dette tidspunkt en lidt større halm-

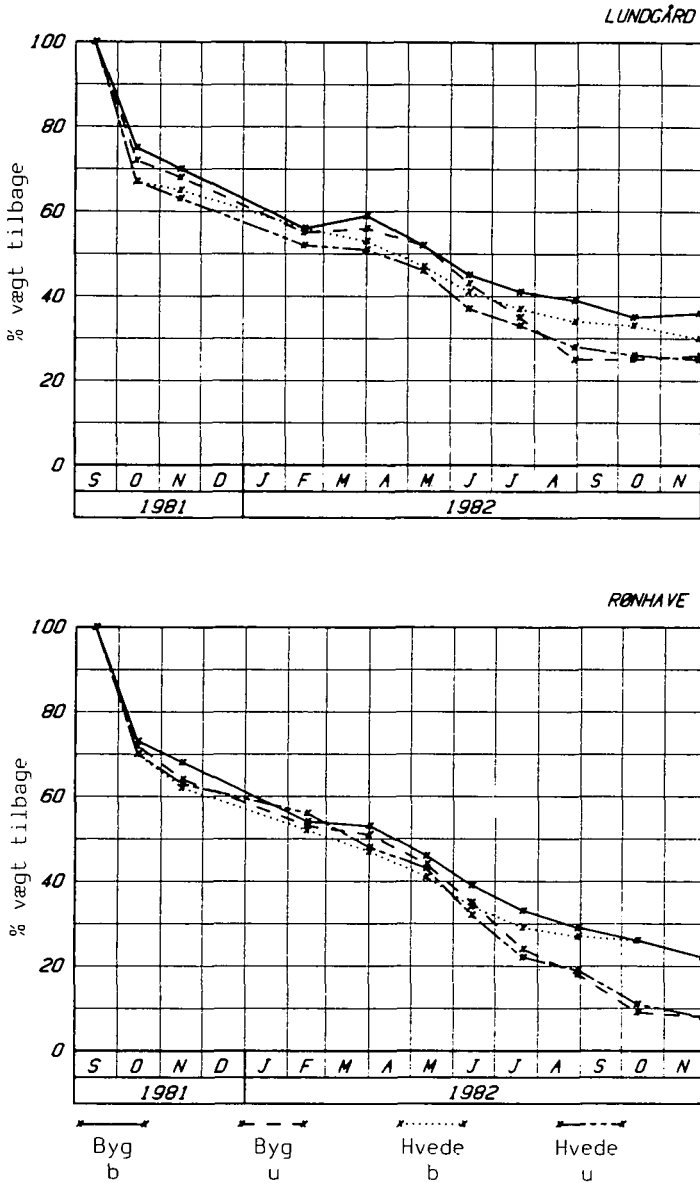


Fig. 32. Vægttab fra byg- og hvedehalm placeret i 10 cm dybde på grovsandet-jord (Lundgård JB1) og fin sandblandet lerjord (Rønhave JB6). Jorden var enten ubevokset (u) eller bevokset (b) i perioden maj-november 1982 (Christensen, 1985b).

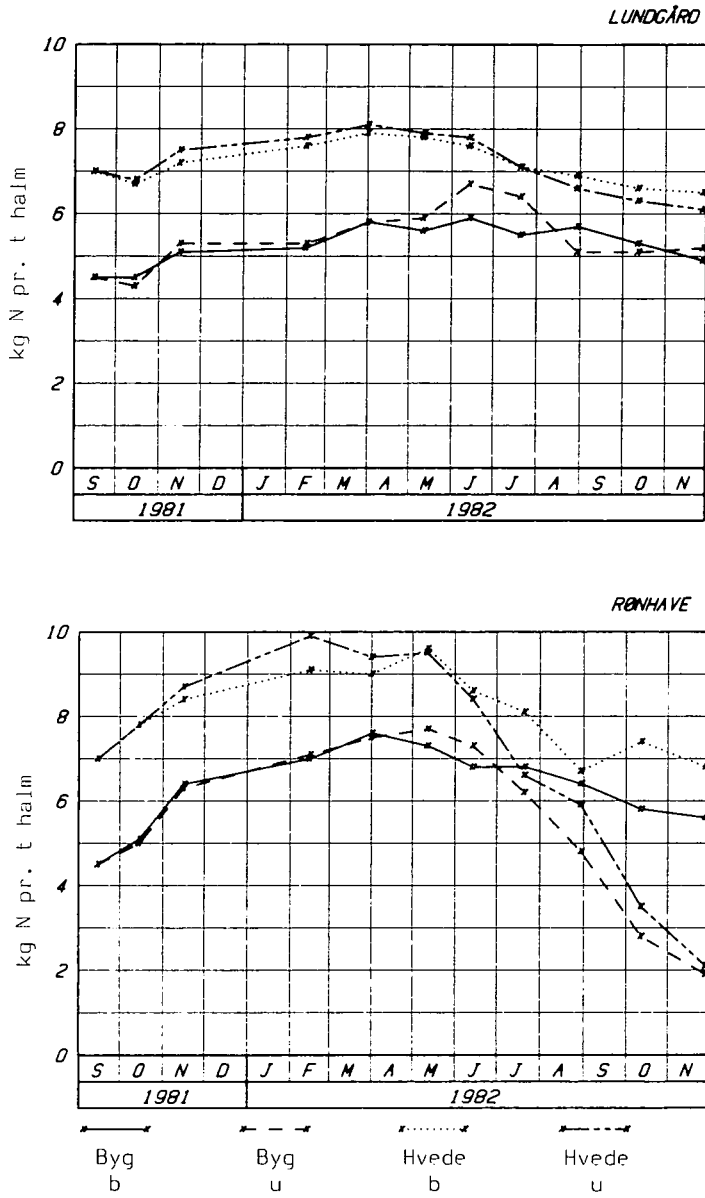


Fig. 33. Kvælstofindholdet i byg- og hvedehalm placeret i 10 cm dybde på grovsandet jord (Lundgård JB1) og fin sandblandet lerjord (Rønhave JB6). Jorden var enten ubevokset (u) eller bevokset (b) i perioden maj-november 1982 (Christensen, 1985b).

rest. Der blev kun observeret udbetydelige forskelle i forløbet af vægttabet fra de to halmarter. Halmresten efter et års nedbrydning var så omsat, at der ved gentagen halmnedmuldning ikke vil ske en ophobning af halm i jorden, der kan være til gene for jordbearbejdningen.

Fig. 33 viser N indholdet i halmen under nedbrydningsforløbet. Halmens N indhold steg efter nedmuldningen og nåede et maksimum i forårsperioden. Ved en halmtilførsel på 5 t pr. ha har såvel byg- som hvedehalm i foråret fastlagt ca. 16 kg N pr. ha på lerjord. På sandjorden blev der fastlagt 6-11 kg N pr. ha. En tilsvarende fastlæggelse er fundet for havrehalm (Christensen, 1984b). Fastlæggelsen af N i halmen var uafhængig af halmens N indhold ved nedmuldningen (byghalm 0,45% N, hvedehalm 0,70% N, havrehalm 0,52% N), men afhang af jordtypen.

Fra forårsperioden og fremefter skete der en frigørelse af N fra halmen. Frigørelsen af N forløb langsommere, når lerjorden var bevokset i sommer- og efterårsperioden. På sandjorden var frigørelsen af N mindre uanset om jorden var plantedækket eller ej.

Fig. 34 viser K indholdet i halmen under nedbrydningen. Det ses, at størstedelen af halmens K indhold blev frigjort i løbet af den første måned efter nedmuldningen, hvorefter K indholdet var næsten konstant i resten af nedbrydningsperioden. Tilsvarende er fundet for havrehalm (Christensen, 1984b). Frigørelsen af K fra halmen må tilskrives udvaskning (se afsnit 4.1.1).

C/N forholdet i halmen under nedbrydningen er vist i fig. 35. I løbet af efterårsperioden faldt halmens C/N forhold betydeligt, og det største fald fandtes for halm nedmuldet i lerjorden. Efter et års omsætning var C/N forholdet omkring 20 for såvel byg- som hvedehalm, uanset den betydelige forskel i de to halmarters C/N forhold ved nedmuldningen. Frigørelsen af N begyndte, når halmens C/N forhold var mellem 28 og 36.

Indholdet af P, Ca og Mg under halmens nedbrydning synes i høj grad at være bestemt af jordens indhold af de pågældende næringssalte, idet halmens og jordens indhold synes at indstille sig i en ligevægt efter den første måneds nedbrydning (Christensen, 1984b).

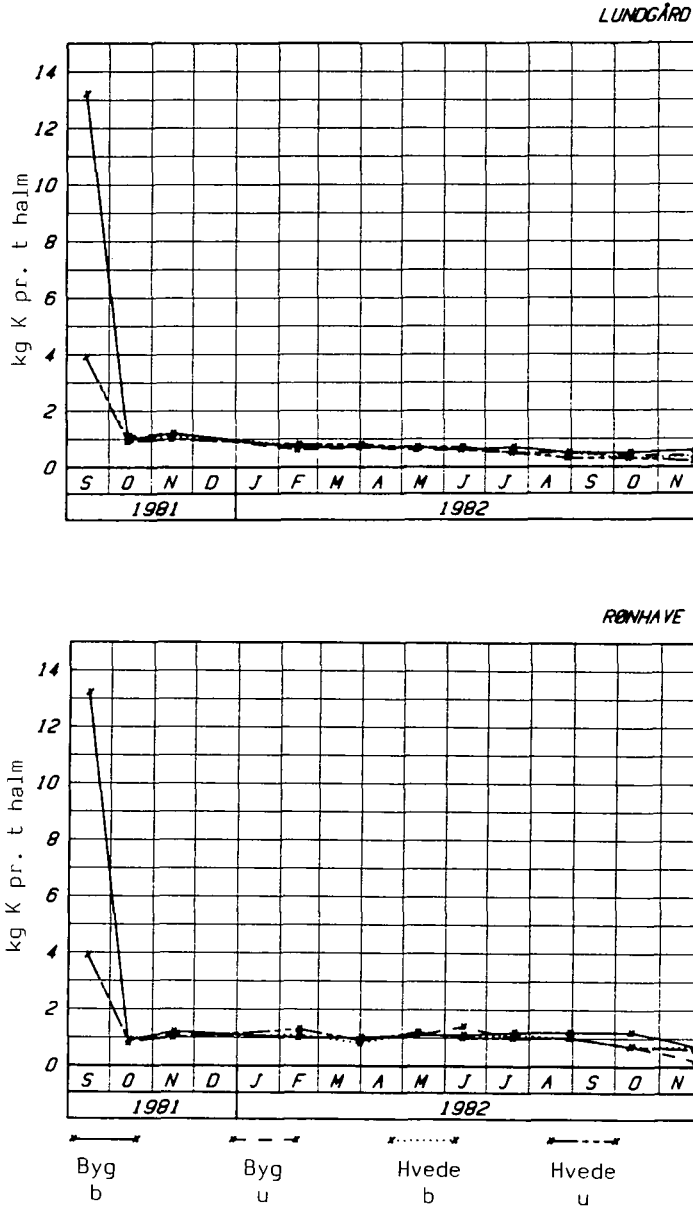


Fig. 34. Kaliumindholdet i byg- og hvedehalm placeret i 10 cm dybde på grovsandet jord (Lundgård JB1) og fin sandblandet lerjord (Rønhave JB6). Jorden var enten ubevokset (u) eller bevokset (b) i perioden maj-november 1982 (Christensen, 1985b).

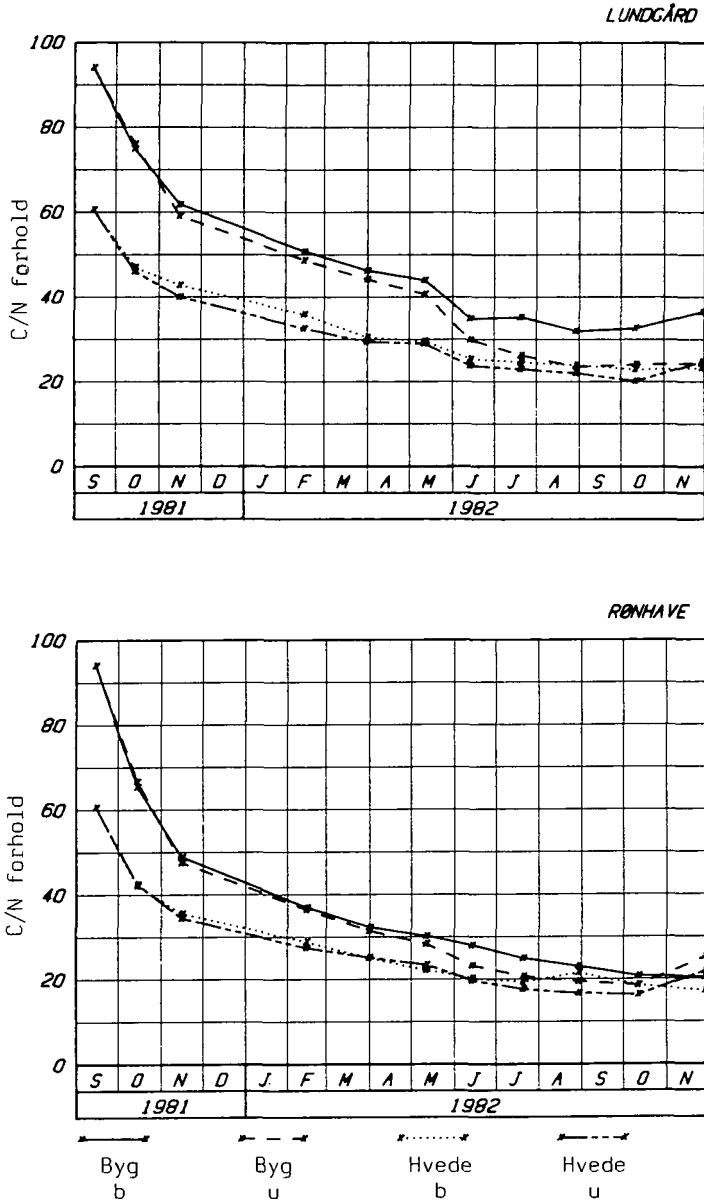


Fig. 35. C/N forholdet i byg- og hvedehalm placeret i 10 cm dybde på grovsandet jord (Lundgård JB1) og fin sandblandet lerjord (Rønhave JB6). Jorden var enten ubevokset (u) eller bevokset (b) i perioden maj-november 1982 (Christensen, 1985b).

4.1.4 Nedmuldningsdybde

Ved at sammenligne fig. 29 og 32 ses det, at halm på jordoverfladen nedbrydes betydeligt langsommere end nedmuldet halm. Omkring midten af forårsperioden var vægttabet fra halm på jordoverfladen ca. 25%, mens den nedmuldede halm på dette tidspunkt udviste et vægttab på 45-50%.

Nedmuldningsdybdens indflydelse på vægttabet og N indholdet i byghalm er undersøgt i et forsøg på grov sandblandet lerjord (Askov, JB5). Der undersøges 5 forskellige halmplaceringer, som blev valgt for at efterligne halmens omsætning ved anvendelse af forskellige nedmuldningsteknikker.

I overensstemmelse med resultater fra de tidligere nævnte forsøg omsættes halm placeret 45 cm over eller på jordoverfladen betydeligt langsommere end

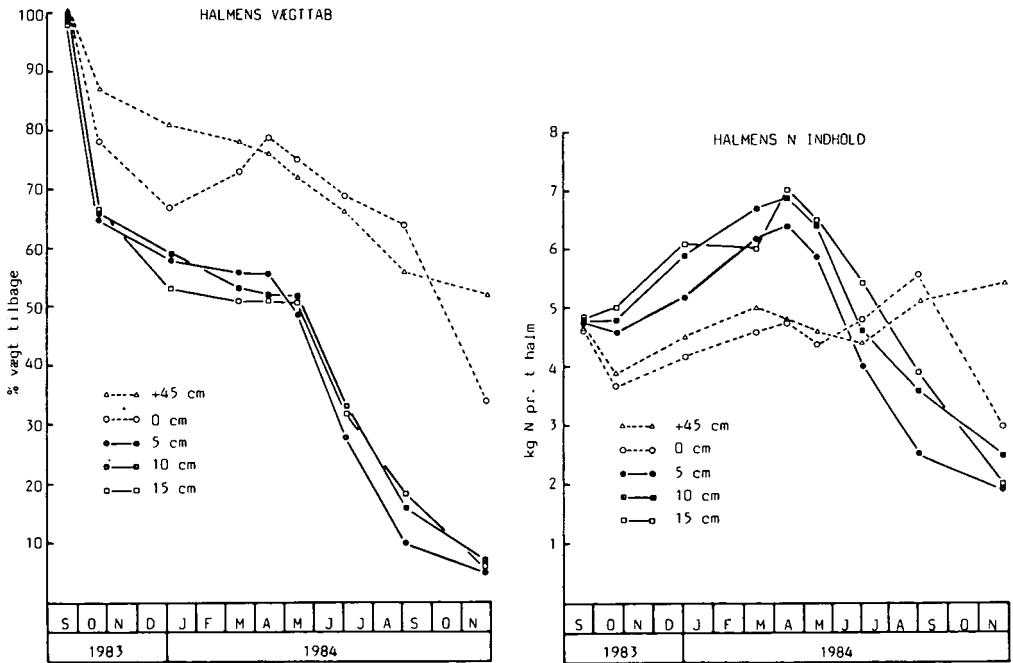


Fig. 36. Vægttab og N indhold i byghalm ved forskellige nedmuldningsdybder (grov sandblandet lerjord; Askov, JB5). +45 cm angiver halm ophængt 45 cm over jordoverfladen, 0 cm angiver halm placeret på jordoverfladen og 5, 10 og 15 cm angiver halm placeret i henholdsvis 5, 10 og 15 cm's dybde (Christensen, 1986b).

nedmuldet halm (fig. 36). Omsætningen af den nedmuldede halm var stor set ens, hvad enten halmen var nedmuldet i 5, 10 eller 15 cm's dybde. Generelt var nedbrydningsforløbet af den nedmuldede halm det samme som fundet i det tidligere forsøg med halm nedmuldet på lerjord (fig. 32).

Forløbet af N fastlæggelsen var forskelligt for halm placeret over eller på jordoverfladen, og for nedmuldet halm (fig. 36). For den nedmuldede halm fandtes et maksimum i N indholdet omkring midten af forårsperioden. Ved en halmproduktion på 5 t halm pr. ha svarer N fastlæggelsen til 9-11 kg N pr. ha.

Halm placeret over eller på jordoverfladen udviste i løbet af den første måned efter udlægningen et fald i N indholdet på ca. 20%. Dette tab må tilskrives udvaskning, og tabets størrelse er i overensstemmelse med resultater fra udvaskningsforsøget (afsnit 4.1.1). Herefter steg N indholdet i halmen anbragt over eller på jordoverfladen langsomt. Ved efterårsperiodens begyndelse faldt N indholdet i halmen placeret på jordoverfladen, mens indholdet af N i halmen placeret over jordoverfladen fortsat viste en stigende tendens. Generelt var N fastlæggelse i halm placeret over eller på jordoverfladen beskeden i forhold til N fastlæggelsen i nedmuldet halm. For nedmuldet halm synes N fastlæggelse at være større jo dybere halmen er placeret.

4.1.5 Halmens kvælstof indhold på nedmuldningstidspunktet

Som det fremgår af afsnit 4.1.3 er halmens vægttab og halmens N fastlæggelse fundet at være stort set uafhængig af halmens N indhold på nedmuldningstidspunktet. Dette spørgsmål er undersøgt nærmere i et forsøg på grovsandet jord (Lundgård, JB1) ved anvendelse af bygalm med forskelligt N indhold (0,41, 0,57 og 0,92% N).

Bortset fra et større indledende vægttab fra halmen med det højeste N indhold, havde N indholdet på nedmuldningstidspunktet kun ringe indflydelse på det generelle forløb af nedbrydningen (fig. 37).

Halmen med det højeste N indhold udviste i løbet af den første måned et fald i N indholdet på 40%. Mindre indledende tab af N blev også fundet for halm med lavere N indhold og for halm nedmuldet i sandjord (fig. 33 og 37). De indledende tab af N tilskrives udvaskning (afsnit 4.1.1). Efter det indledende fald var halmens N indhold nogenlunde konstant indtil forårsperioden, hvorefter indholdet faldt til et lidt lavere niveau. På dette tidspunkt var N indholdet i de tre typer halm stort set ens.

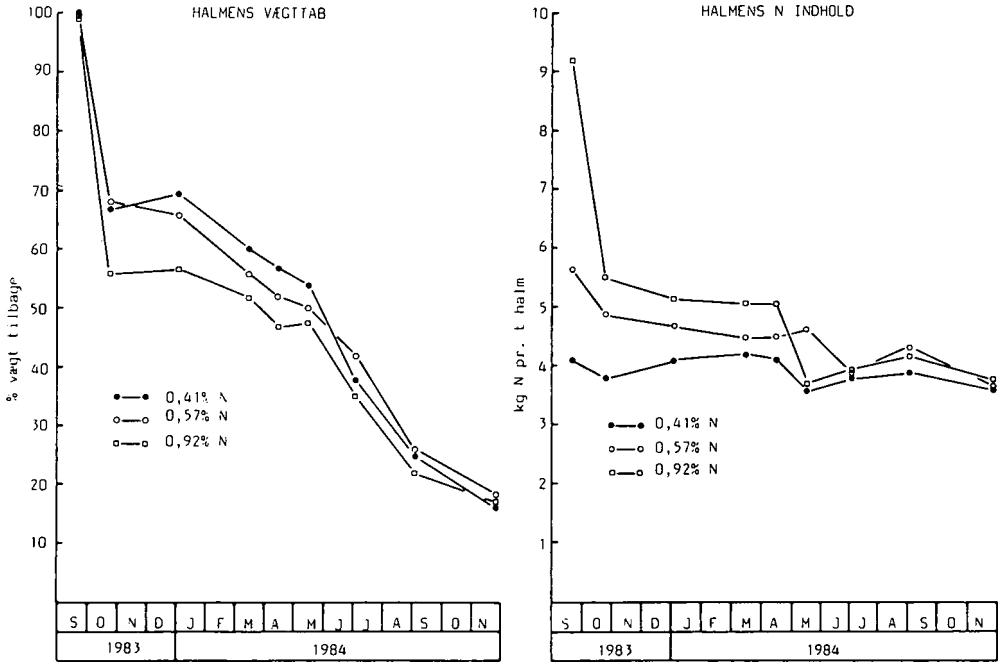


Fig. 37. Vægttab og N indhold i byghalm placeret i 10 cm's dybde på grovsandet jord (Lundgård, JB1). Halmens N indhold på nedmuldnings-tidspunktet var henholdsvis 0,41%, 0,57% og 0,92% (Christensen, 1986b).

I dette forsøg blev der ikke fundet en N fastlæggelse i halm nedmuldet på sandjord. Forud for forsøget var sandjorden ikke blevet tilført N gødning i en periode på tre år, hvorfor sandjordens N mineraliseringsevne under forsøget var meget lille. Dette var tilsigtet, idet forsøget søgte at belyse betydningen af halmens eget N indhold på nedbrydningsprocessen. I praksis vil der dog oftest være en større N mineraliseringskapacitet i den jord som halmen nedmuldes i, hvorfor N fastlæggelsen på sandjord må formodes generelt at være mere i overensstemmelsen med forløbet, som er vist i fig. 33.

Det kan altså konkluderes fra det her omtalte forsøg, at halmens N indhold på nedmuldnings-tidspunktet synes at være uden større betydning for halmens omsætning i jorden, idet halm med et højt N indhold dog i løbet af den første måned efter nedmuldningen udviser et større vægttab og et større tab af N.

4.1.6 Jordtype

Ud fra forsøgene, der er omtalt i afsnittene 4.1.3 til 4.1.5, kan det konkluderes, at halmens omsætning kun påvirkes lidt af halmarten og af halmens N indhold på nedmuldningstidspunktet.

Derimod ses det, at halmens vægttab, halmens N fastlæggelse og den efterfølgende frigørelse af N fra halmen påvirkes af jordtypen (fig. 32, 33, 36 og 37). Såfremt jorden blev holdt ubevokset i hele forsøgsperioden, var vægttab, den maksimale N fastlæggelse og den senere N frigørelse fra halmen mindre på sandjord end på lerjord. Når lerjorden var plantedækket i sommer- og efterårsperioden efter halmnedmuldningen, forløb nedbrydningen langsommere i denne periode, mens plantedækket på sandjorden ikke påvirkede nedbrydningsforløbet væsentligt. Forløbet af halmens vægttab var således næsten ens for ler- og sandjord, såfremt jorden var plantedækket. Samme resultat fandtes for hvede og havrehalm nedmuldet i fire forskellige jorder (Christensen, 1984b).

Idet halmens N indhold ved nedmuldningen ikke påvirkede halmens vægttab og halmens N fastlæggelse væsentligt, må det antages, at omfanget og det tidsmæssige forløb af N fastlæggelsen i høj grad afhænger af jordens indhold af lettilgængeligt N. Da lerjord på nedmuldningstidspunktet (efterår) og i perioden derefter normalt vil kunne forventes at indeholde mere lettilgængeligt N end sandjord, kan halmens N fastlæggelse forventes at være større på lerjord end på sandjord. Dette støttes af den manglende N fastlæggelse i halm, som var nedmuldet i sandjord, hvortil der ikke var blevet tilført gødning i de forudgående tre år (fig. 37).

Det synes at fremgå af figur 36, at halm nedmuldet i 5 cm's dybde gav anledning til en mindre N fastlæggelse end halm nedmuldet i 10 og 15 cm's dybde. Kvælstof som fastlægges i halmen, må primært hidrøre fra jordlaget over halmen, og må forventes at blive transporteret til halmen med det nedadsivende vand. Det kan derfor antages, at jo dybere halmen er placeret i pløjelaget desto større en N fastlæggelse vil der kunne finde sted, medmindre der sker et N tab ved denitrifikation.

4.1.7 Pesticider og halmnedbrydning

Restkoncentrationer af sprøjtemidler i halm har i enkelte udenlandske forsøg vist en svag hæmning af halmens omsætning i jorden. Den hæmmende virkning var af beskeden størrelse og kun kortvarig. I nogle tilfælde var der endog tale om en stimulering af halmomsætningen (Malkomes & Pestemer, 1981; Olvång, 1977; Schröder, 1975).

Fra disse undersøgelser kan det udledes, at restkoncentrationer af sprøjtemidler i halm er uden større betydning for halmens omsætning i jorden. De i disse undersøgelser anvendte sprøjtemidler var MCPA, benomyl, Cercobin M (thiophanat-methyl), CCC, Tribunil (methabenzthiazuron), Dicuran (chlortoluron), Derosal (carbendazim), Bayleton (triadimefon), Meta-Systox (oxydemeton-methyl), Calixin (tridemorph) og Perfekthion (dimethoat). Midlerne blev anvendt i normale doseringer til de pågældende afgrøder.

Der har desuden været udført forsøg, hvor pesticider er blevet anvendt efter at halmen er høstet og under det efterfølgende nedbrydningsforløb. Det følgende vil kort omtale resultater fra nogle af disse undersøgelser.

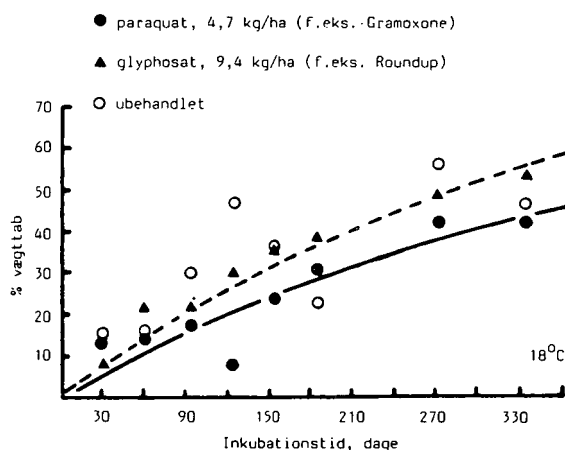


Fig. 38. To herbiciders indflydelse på nedbrydning af bygalm inkuberet på jordoverfladen ved 18°C. Herbiciderne blev påsprøjtet halmen direkte inden inkubationen. Mængder angivet i kg aktivt stof pr. ha. Fuldt optrukken kurve angiver nedbrydningen af paraquat behandlet halm, og stiptet kurve angiver ubehandlet og glyphosat behandlet halm (efter Grossbard & Harris, 1981).

Fig. 38 viser nedbrydningsforløbet af bygghalm placeret på jordoverfladen i inkubationskamre ved 18°C. Halmen blev før udlægningen påsprøjtet herbiciderne paraquat eller glyphosat i mængder svarende til 6-9 gange den under markforhold normalt anvendte koncentration (Grossbard & Harris, 1981). Det fremgår, at glyphosat ikke påvirkede nedbrydningshastigheden i forhold til ubehandlet halm, mens paraquat tilsyneladende udviste en svagt hæmmende virkning. Tilsvarende resultater er fundet i forsøg med halm placeret i 2,5 cm's dybde i jorden og inkuberet ved 23°C (Grossbard & Cooper, 1974). I sidstnævnte forsøg anvendtes midlerne i to gange den under markforhold normalt anvendte koncentration.

Indflydelsen af aminotriazol (påsprøjtet hvedehalm direkte og inkuberet ved 18°C) på halmens nedbrydning er vist i fig. 39. I dette forsøg blev halmen enten placeret på jordoverfladen eller i 2 cm's dybde (Grossbard & Harris 1979). Det ses, at behandlingen med aminotriazol i en koncentration svarende til den under markforhold normalt anvendte, ikke påvirkede nedbrydningen af halmen væsentligt, hvad enten halmen var placeret på jordoverfladen eller var nedmuldet. Kun forskellen i vægttabet efter 5 ugers inkubation var statistisk sikker.

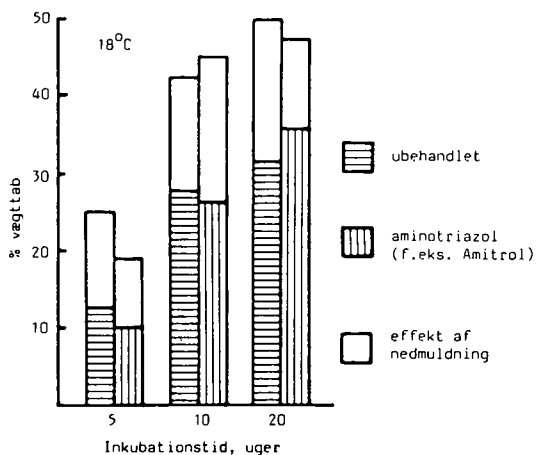


Fig. 39. Aminotriazols (4,5 kg aktivt stof pr. ha) indflydelse på nedbrydning af hvedehalm inkuberet ved 18°C på jordoverfladen eller nedmuldet i jorden. Herbicidet blev påsprøjtet halmen direkte inden inkubationen (efter Grossbard & Harris, 1979).

Fig. 40 viser effekten af en række herbicider på hvedehalms nedbrydning. I dette forsøg blev midlerne enten påført halmen direkte eller tilført de allerøverste jordlag. Halmen var nedmuldet i 5 cm's dybde og inkuberet i væksthush ved ca. 18°C i 2 måneder (Malkomes, 1980). Såfremt herbicidet blev tilført jorden påvirkede det ikke halmens nedbrydning. Blev midlet påsprøjtet halmen direkte, udviste pyrazon, pendimetalin og cycloat en hæmmende virkning sammenholdt med den ubehandlede halms nedbrydning (forskellen i nedbrydningen ved anvendelse af lenacil eller metabenzthiazuron var ikke fundet at være statistisk sikker).

Fra de ovenfor refererede undersøgelser kan det konkluderes, at generelt har anvendelse af de omtalte midler kun ringe indflydelse på halmens nedbrydning udtrykt ved halmens vægttab. For enkelte midlers vedkommende er der fundet en hæmmende virkning såfremt midlerne blev påsprøjtet halmen direkte (fig. 40).

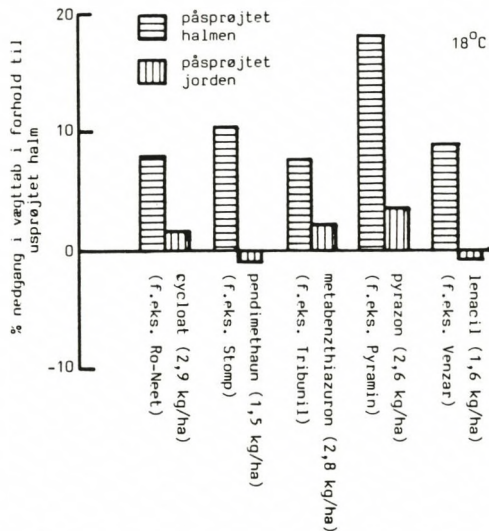


Fig. 40. Herbiciders indflydelse på nedbrydning af hvedehalm nedmuldet i 5 cm's dybde og inkuberet ved 18°C i 2 måneder. Herbiciderne blev enten påsprøjtet halmen direkte eller udsprøjtet på jorden. Mængder angivet i kg aktivt stof pr. ha (efter Malkomes, 1980).

4.1.8 Dannelse af spiringshæmmende stoffer

En række udenlandske undersøgelser har beskæftiget sig med spørgsmålet om dannelse af spiringshæmmende stoffer i forbindelse med omsætningen af nedmuldet halm (Elliott & Lynch, 1984; Elliott et al., 1981; Harper & Lynch, 1981a, 1981b; Lynch, 1978; Wallace & Elliott, 1979). Den spirings- eller væksthæmmende effekt tilskrives dels fenoler tilstede i halmen på nedmuldningstidspunktet, dels dannelse af eddikesyre, smørsyre og propionsyre i forbindelse med halmens omsætning.

Sidstnævnte stoffer kan dannes såfremt omsætningen sker under iltfattige eller iltfri betingelser ved en forgæring, men dannelsen er formodentlig begrænset til perioden fra halmen nedmuldes og 3-5 uger frem. Forgæringsprodukterne (de organiske syrer) med den spirings- og væksthæmmende effekt er imidlertid letomsættelige, såfremt der er ilt tilstede. Det betyder, at stofferne kan dannes i iltfri områder i jorden og omsættes inden de kommer i kontakt med udsæd eller planterødder.

Under praktiske forhold vil dannelse af organiske syrer (i koncentrationer, der kan virke spirings- eller væksthæmmende) eventuelt kunne forekomme på våde og meget svære lerjorde, hvor der samtidigt er nedmuldet store halmmængder, med ringe opblanding af halm og jord og opnået en tæt kontakt mellem halm og udsæd. Idet dannelse af de organiske syrer er begrænset til den første måneds tid efter nedmuldningen, vil der ikke kunne opstå problemer med forårssæede afgrøder.

Spørgsmålet om hæmmende stoffer hidrørende fra selve halmen (f. eks. vandopløselige fenoler) er ikke afklaret, og det er ikke muligt at konkludere noget endeligt på dette punkt.

4.1.9 Halmens snitningsgrad

Snitlængdens indflydelse på halmens omsætning er belyst i undersøgelser udført af Sain og Broadbent (1977) og Puig-Gimenez og Chase (1984). Det blev samstemmende fundet, at snitlængden var uden større betydning. Puig-Gimenez og Chase (1984) sammenlignede snitlængderne 2-5 mm, 1-2 cm og 4-5 cm i forsøg under laboratorieforhold, mens der i Sain og Broadbents (1977) markforsøg blev anvendt rishalm i størrelsen 1-4 cm og 15-20 cm. Såfremt der sker en formaling af halmen (materiale mindre end 1 mm) kan omsætningen forløbe hurtigere, end hvis halmen er snittet.

Under praktiske forhold vil en snitning ofte være nødvendig for at undgå en sammenslæbning af halmen ved jordbearbejdning og såning (direkte såning eller såning ved reduceret jordbearbejdning). Selve snitlængden af halmen er altså uden større betydning for halmens omsætning. Andre forhold kan imidlertid spille ind. Som det fremgår af afsnit 6.1.5 giver nedmuldning af snittet halm et merudbytte i forhold til hel halm.

Den brydning af stråets struktur, der finder sted ved mejetærskningen er formodentlig af større betydning for halmens omsætning end snitningen. En knusning af strået vil blandt andet give en større og mere lettilgængelig angrebsflade for nedbryderorganismerne, øge halmens vandbindende evne, samt skabe mulighed for en tættere kontakt mellem halm og jord.

4.2 Jordens indhold af organisk stof (humus)

Når halm nedbrydes af jordens mikrobielle biomasse og jordbundsfaunaen vil en del af halmens C og N blive indbygget i jordens pulje af organisk stof (humus). Ved gentagen halmtilførsel vil jordens indhold af organisk stof derfor stige, indtil der er opnået en ny ligevægtstilstand, hvor opbygning og nedbrydning af den organiske stofpulje atter er i ligevægt. Stigningen i jordens indhold af organisk stof som følge af gentagen halmnedmuldning, vil under de givne klimatiske forhold afhænge af den enkelte halmtildelings størrelse og af egenskaber ved jorden hvori halmen nedmuldes (forudsat at afgrødevalg og jordbearbejdningssystem er uændret).

Ved omsætningen af halm i jorden dannes en række nedbrydningsprodukter. Disse kan enten hidrøre direkte fra mikroorganismerne selv, eller de kan udgøres af mere eller mindre omsatte organiske forbindelser fra selve halmen. Stabiliseringen af nedbrydningsprodukterne i jorden er af stor betydning for den stigning i jordens organiske stofindhold, der kan opnås ved halmnedmuldning.

Jordens evne til at stabilisere nedbrydningsprodukterne er i vid udstrækning knyttet til jordens indhold af ler og silt. Omfanget af den stabilisering, der finder sted, er af betydning for den efterfølgende nedbrydelighed af det nydannede organiske stof i jorden, og er dermed også af betydning for mineraliseringen af f.eks. organisk bundet N. Fra en række undersøgelser kan det udledes, at nedbrydeligheden af organisk stof knyttet til ler er større end nedbrydeligheden af organisk stof knyttet til silt (Christensen, 1987a, 1987b).

Virkningen af et øget indhold af organisk stof i jorden afhænger af mængden og omsætteligheden af det nydannede organiske stof, men i høj grad også af de øvrige påvirkninger som jorden udsættes for ved f.eks. jordbearbejdning, gødsning, vanding/afvanding og afgrødevalg. På grund af disse øvrige påvirkninger af den dyrkede jord vil en mindre stigning i jordens indhold af organisk stof, og en deraf afledt positiv indvirkning på jordbunds faktorerne, ikke altid give sig udslag i en målelig effekt. Ofte vil den positive virkning så at sige "drukne" i de øvrige påvirkninger, som jorden udsættes for.

Det følgende afsnit 4.2.1 beskrive halmnedmuldnings effekten på jordens indhold af C og dets fordeling på jordens forskellige partikelfraktioner. Afsnit 4.2.2 omtaler en matematisk model til beskrivelse af udviklingen i jordens indhold af organisk stof som følge af gentagen halmnedmuldning.

4.2.1 Halmnedmuldning og jordens indhold af kulstof

Tabel 19 viser den mængde halm-C, der refterer til forskellige tidspunkter efter en enkelt tilførsel af halm til jord. I forsøgene blev anvendt ^{14}C markeret bygghalm, som blev inkuberet i laboratoriet ved 20°C og 50% af markkapacitet. Efter et års forløb refterede godt 30% af halmens C indhold stadig i jorden, hvilket er i overensstemmelse med resultater opnået under markforhold (afsnit 4.1.3).

Den efter 2-3 års nedbrydning refterende halm-C må betragtes som fuldstændig omsat. Den mængde halm-C, der refterer på dette tidspunkt (20-25%), må derfor antages at være indbygget i jordens pulje af organisk stof og i den mikrobielle biomasse. Efter 18 års nedbrydning indeholder jorden stadigvæk 9% af den C, der blev tilført med halmen. Tabellen antyder, at der det første år efter halmtilførslen refterer en større mængde halm-C på sandjord end på lerjord (se også afsnit 4.1.3), men at den efterfølgende stabilisering af det udfra halmen dannede organiske stof er mindre i sandjord end i lerjord. En mere detaljeret fremstilling af resultater fra et 20 årigt incubationsforsøg er givet af Sørensen (1987).

Tabel 19. Resterende halm-C i jordprøver tilsat ^{14}C -mærket bygghalm (efter Christensen & Sørensen, 1985; Sørensen, 1974, 1983).

		% af tilsat halm-C tilbage i jorden efter								
		10	1	3	1	2	3	6	8	18
JB nr.	dage	--	mdr.	--	----- år -----					
Askov sand*	3	74	71	57	32	22	18	15		
Ll. Valby**	4								16	9
Højer*	7	63	51	39	32	27	24	22		
Ribe*	9	67	56	45	32	29	25	23		
Gennemsnit		68	61	49	32	26	22	20	16	9

* laboratorie inkubation ved 20°C og 50% WHC

** udendørs inkubation

Fig. 41 viser fordelingen på jordens partikelstørrelsesfraktioner af det med halmen tilførte C og af jordens oprindelige C. Det ses, at mindre end 10% af jordens C indhold er knyttet til sandfraktionen, mens silt- og lerfraktionens indhold af C udgør henholdsvis 23-37% og 60-76% af hele jordens oprindelige C pulje.

For de 3 jorde, der var inkuberet med halm i 6 år, var fordelingen af det udfra halmen dannede organiske stof (halm-C) og af jordens oprindelige organiske stof (jord-C) forskellig. Lerfraktionen indeholdt relativt mere og siltfraktionen relativt mindre halm-C, sammenholdt med fordelingen af jord-C. Derimod var den relative fordeling af halm-C og jord-C den samme for jorden, der havde været inkuberet med halm i 18 år. Heraf kan udledes, at selv efter 6 års nedbrydning er det udfra halmen dannede organiske stof mere nedbrydeligt end jordens oprindelige organiske stof. Først efter en endnu længere nedbrydningsperiode vil nedbrydeligheden af det halmafløede organiske stof og jordens oprindelige organiske stof være den samme (Christensen & Sørensen, 1985).

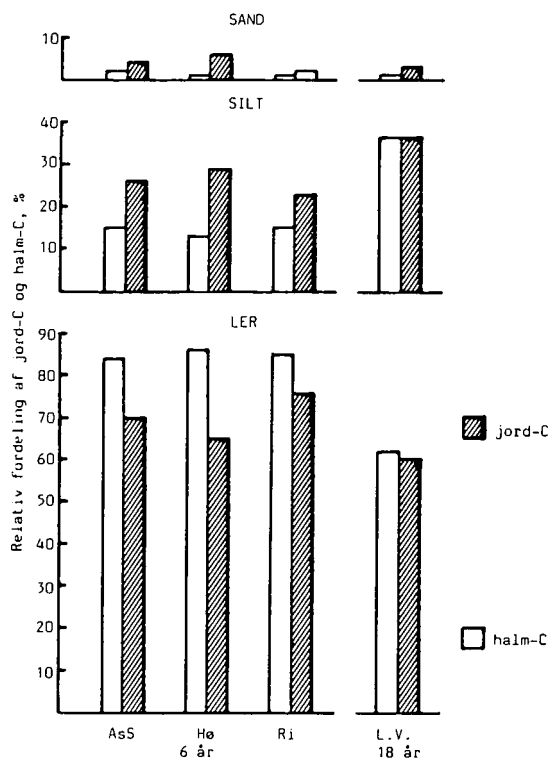


Fig. 41. Den relative fordeling af jordens oprindelige C (jord-C) og C tilsat som ^{14}C -mærket bygghalm (halm-C) på ler-, silt- og sandfraktion efter henholdsvis 6 og 18 års nedbrydning. Ved forsøget blev anvendt jord fra AsS = Askov sandmark (JB3), Hø = Højer (JB7), Ri = Ribe (JB9) og L.V. = Ll. Valby (JB4) (efter Christensen & Sørensen, 1985).

Tabel 20 og 21 viser resultater fra markforsøg, hvor halmnedmuldnings indflydelse på jordens indhold af C er bestemt efter henholdsvis 10 og 18 års gentagen halmnedmuldning til vårbyg. Den ene undersøgelse (tabel 20) sammenlignede halm nedmuldet med halm fjernet, mens den anden undersøgelse (tabel 21) sammenlignede halmafbrydning med halmnedmuldning. I begge tilfælde var den årligt nedmuldede halmmængde 4-5 t halm pr. ha.

Tabel 20. Halmnedmuldningens indflydelse på indholdet af C i pløjelaget (0-20 cm) efter 10 års gentagen behandling (Schjønning, 1986b).

	JB nr.	Halmen		% stigning ved nedmuldning
		fjernet %C	nedmuldet %C	
Jyndevad	1	1,53	1,58	3,3
Askov	3	1,18	1,24	5,1
Rønhave	7	1,33	1,43	7,5
Højer	7	1,56	1,71	9,6

Begge undersøgelser viser relativt beskedne stigninger i jordens indhold af C som følge af gentagen halmnedmuldning(3-10%). Udfra tabel 20 synes det at fremgå, at stigningen i jordens C indhold er større på mere lerrige end på mere sandede jorde. En nøjagtig bestemmelse af relativt små stigninger i jordens indhold af organisk stof er imidlertid særdeles vanskelig på grund af jordens baggrundsvariation, og kun få af de i tabel 20 og 21 viste stigninger er statistisk sikre (Schjønning, 1986a; Powlson et al., 1987).

Tabel 21. Halmnedmuldningens indflydelse på indholdet af C i pløjelaget (0-25 cm) efter 18 års gentagen behandling (Powlson et al., 1987).

	JB nr.	Halmen		% stigning ved nedmuldning
		afbrændt %C	nedmuldet %C	
Studsgård	1	2,46	2,57	4,5
Rønhave	5	1,16	1,22	5,2

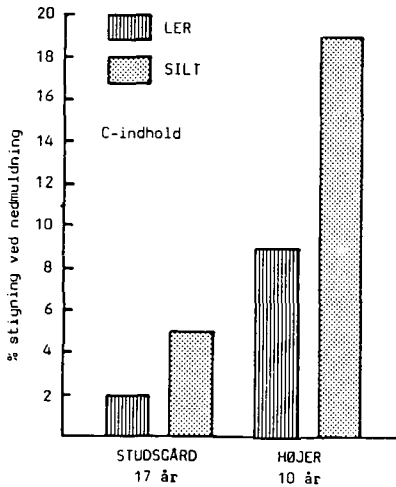


Fig. 42. Den relative stigning

i C indholdet i ler- og siltfraktion, som følge af gentagen nedmulning af vårbyghalm. Studsgård (JB1): 17 års behandling med halm nedmuldet eller afbrændt; Højer (JB7): 10 års behandling med halm nedmuldet eller fjernet (efter Christensen, 1986a).

Fig. 42 viser gentagen halmnedmuldnings indflydelse på indholdet af C i jordens ler- og siltfraktion. Undersøgelsen anvendte jordprøver fra to markforsøg, hvor nedmulning blev sammenlignet med henholdsvis halm fjernet og halm afbrændt. Det ses, at halmnedmulning giver anledning til en stigning i både ler- og siltfraktionens C indhold. Den relative stigning i siltens C indhold er imidlertid ca. dobbelt så stor som stigningen i lerfraktionens C indhold. Sammenholdt med fig. 41 giver dette anledning til følgende overvejelse omkring halmnedmuldnings indflydelse på det organiske stof i jorden (se også diskussion og referencer i Christensen 1985c, 1986a, 1987a, 1987b; Christensen & Sørensen, 1985, 1986).

Når halmen tilføres jord og udsættes for nedbrydning vil de derved dannede nedbrydningsprodukter blive fordelt mellem ler og silt partikler. Herved stabiliseres en del af nedbrydningsprodukterne, og ler og silt partiklerne bliver beriget med de udfra halmen dannede nedbrydningsprodukter. Sammenholdt med siltfraktionen sker den største relative berigelse i lerfraktionen (fig. 41), men samtidigt er lerfraktionens organiske stof mere nedbrydeligt end det organiske stof, der er knyttet til silt (Christensen, 1987b). Med tiden vil siltfraktionen derfor komme til at indeholde en relativt større del af det nydannede organiske stof, mens lerfraktionens del falder. Ved gentagen nedmulning

af halm vil siltfraktionen derfor akkumulere en relativt stor del af det udfra halmen dannede organiske stof (fig. 42). Det til silten knyttede organiske stof er relativt stabilt, og vil formodentligt spille en væsentlig rolle for halmnedmuldningens længerevarende effekt på størrelsen og omsætteligheden af jordens samlede pulje af organisk stof.

4.2.2 Model for udviklingen i jordens organiske stofindhold

Ved gentagen tilførsel af halm vil jordens indhold af organisk stof med tiden indstille sig på et nyt ligevægtsniveau, hvor den gennemsnitlige tilførsel og nedbrydning af organisk stof er lige stor. Størrelsen af den nye ligevægtsværdi vil, som tidligere nævnt, blandt andet afhænge af mængden af nedmuldet halm og af jordtypen. Det vil sædvanligvis tage mange års gentagen halmnedmuldning før det nye ligevægtsniveau er nået, og samtidigt vil størrelsen og tidsrummet for opnåelse af den nye ligevægt variere med jordtypen.

En direkte eksperimentel bestemmelse af halmnedmuldningens langtidseffekt på jordens indhold af organisk stof kræver derfor langvarige forsøg. Ved hjælp af modeller kan udviklingen i jordens organiske stofindhold imidlertid simuleres, og udfra modeller kan størrelsen af den nye ligevægtsværdi samt tidsrummet for opnåelsen af ligevægt beregnes. Det følgende vil beskrive en sådan model anvendt på 4 jorde med 10 års gentagen halmnedmuldning (Schjønning, 1986b).

Ved anvendelse af ^{14}C mærket halm fandt Sauerbeck og Gonzalez (1977), at omsætningen af nedmuldet halm efter det første års forløb kunne beskrives ved en 1. ordens reaktion:

$$W_t = W_0 e^{-kt}$$

hvor W er mængden af halm, t er tiden, og k er nedbrydningens hastighedskonstant. Ved årligt gentagne nedmuldninger kan den på et givent tidspunkt tilbageværende mængde af tilført organisk stof derfor beregnes ved

$$W_n = W_0 \sum_{x=0}^{x=n-1} e^{-kx}$$

hvor n er tiden i år siden første nedmuldning. Ved hjælp af denne ligning og analyser af indholdet af organisk stof i forsøg med 10 års gentagen halmnedmuldning (tabel 20) kan nedbrydningens hastighedskonstant, k , beregnes for hver jordtype. Ved denne beregning er $n = 10$, W_n = mængden af nydannet organisk stof i jorden efter 10 års halmnedmuldning (Schjønning, 1986b), og W_0 = den efter et års nedbrydning resterende halmmængde (det første års nedbrydning er sat til 70-75%, se afsnit 4.1.3).

Resultater fra modelberegningen er angivet i tabel 22. Det fremgår, at nedbrydningens hastighedskonstant er størst på de mere sandede jorder (Jyndevad og Askov). For den grovsandede jord vil det af halmnedmuldningen forårsagede nye ligevægtsniveau i jordens organiske stofindhold været nået efter 15 års gentagen halmnedmuldning, mens det på Højer jorden først vil være nået efter 56 års gentagen halmnedmuldning. Den stigning i jordens organiske stofindhold, der vil være opnået ved ligevægtsniveauet, svarer på Jyndevad jorden til 0,9 gange den årlige halmtildeling, mens niveauet på Højer jorden svarer til 3,2 gange den årlige halmtildeling. Det nye niveau vil på de to jordtyper være henholdsvis 3,3 og 15,6% højere end niveauet i jorden, hvor halmen er blevet fjernet.

De i tabel 22 viste parametre for halmens omsætning og halmens effekt på jordens indhold af organisk stof er i god overensstemmelse med de af Sauerbeck og Gonzalez (1977) opnåede værdier for 7 forskellige vesteuropæiske jorder. Halveringstiden ($T_{1/2}$, beregnet som $\ln 2/k$) var i deres forsøg 4,7 og 5,4 år, mens der i de her omtalte forsøg beregnedes halveringstider på 1,6 til 8,7 år (gennemsnit for alle jorde, 4,5 år).

På grundlag af det her omtalte forløb af halmens omsætning kan det konkluderes, at der ved nedmuldning af halm sker en større omsætning af halmen det første år i lerholdige end i sandede jorde (afsnit 4.1.3 og tabel 19), mens den efterfølgende årelange omsætning dels forløber væsentligt langsommere end omsætningen i det første år, dels forløber hurtigere på sandjorde end på lerjorde (tabel 19 og 22). Den langsommere omsætning på de mere lerholdige jorder kan tilskrives en større grad af stabilisering af de udfra halmen dannede nedbrydningsprodukter (Christensen, 1985c; Sørensen 1967, 1972, 1981).

Tabel 22. Hastighedskonstant, (k) og halveringstid, ($T_{1/2}$) for omsætning af halmafledt organisk stof i jord 1 år efter tilførsel, samt skøn for parametre til beskrivelse af ligevægtstilstand for akkumuleret organisk stof (Schjønning, 1986b).

	JB nr.	Hastigheds- konstant, k, år ⁻¹	Halverings- tid, T _{1/2} år	Ved ligevægt			
				Tid, år	X tons	Y %	Z %
Jynde vad	1	0,432	1,6	15	2,7	85	3,3
Askov	3	0,268	2,6	22	3,4	106	5,1
Rørhave	7	0,096	7,2	49	8,6	270	11,0
Højer	7	0,080	8,7	56	12,8	321	15,6
Alle jordtyper		0,154	4,5	34	5,9	174	7,6

X = akkumuleret mængde, tons.

Y = akkumuleret mængde i % af den årligt tilført mængde.

Z = akkumuleret mængde i % af niveau i ikke-halmtilført jord.

Fig. 43 viser udviklingen i jordens indhold af nydannet organisk stof, som følge af gentagen halmnedmuldning, beregnet ved hjælp af den omtalte matematiske model. Figurens takkede kurve viser ændringerne som følge af de årlige halmtildelinger, mens kurven W_t viser nedbrydningsresten efter den første halmtildeling. Kurven W_n under takkerne viser den akkumulerede værdi for den stabiliserede rest af halmafledt organisk stof (humus). På figuren er y aksens værdier angivet som stigningen i jordens organiske stof i % af den årlige halmtildeling. Parametrene anvendt ved konstruktionen af figuren er angivet i tabel 22.

Halmaflødt

organisk stof (% af årlig halmtilførsel)

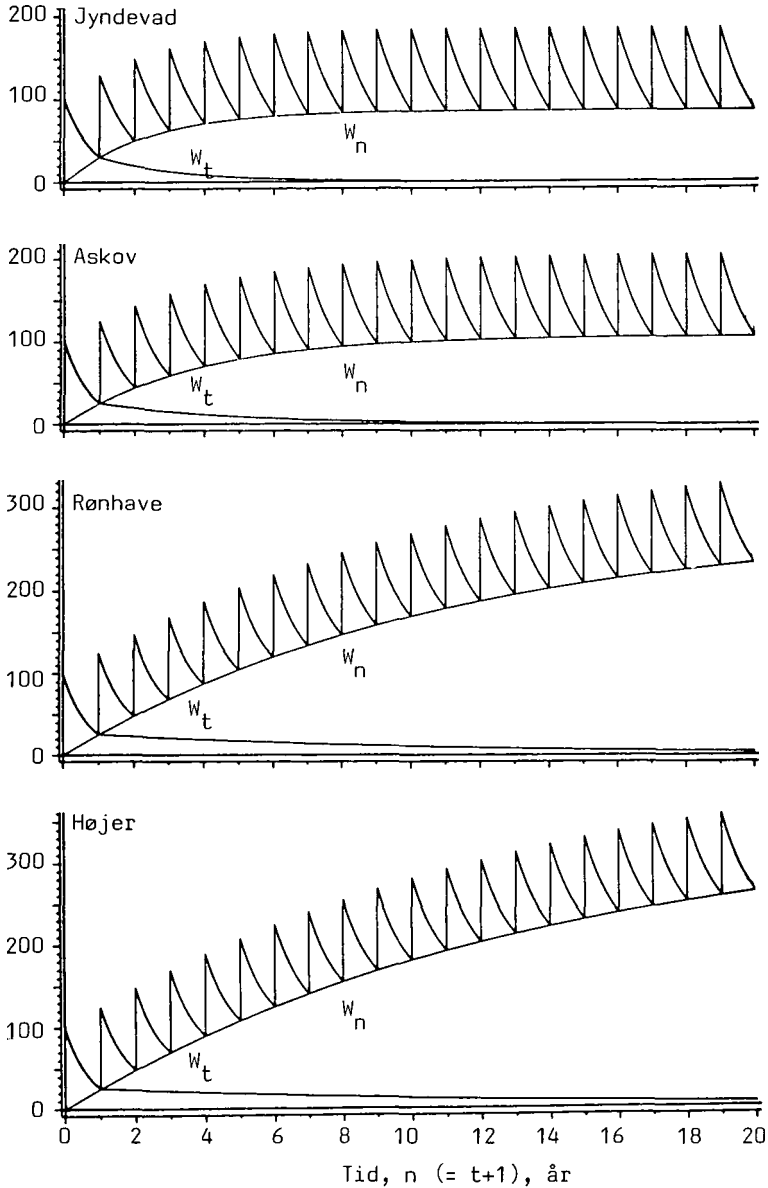


Fig. 43. Beregnet udviklingsforløb for jordens indhold af halmaflødt organisk stof ved gentagen årlig nedmuldning udtrykt som procentdel af årlig tilførsel. W_t : forløbet af den første halmtilførsel. N_n : akkumuleret halmaflødt organisk stof ved gentagen årlig nedmuldning (Schjørring, 1986b).

4.3 Jordens mikrobielle biomasse og fauna

Når halm nedmuldes i jorden øges den for jordbundens mikroorganismer og fauna tilrådighed værende fødemængde. Halmnedmuldning kan derfor give anledning til en større mikrobiel biomasse i jorden og en større faunapopulation. Men på grund af det samspil, der findes mellem de forskellige mikroorganismer og faunakomponenter, vil ikke alle organismegrupper i jorden blive favoriseret ved halmnedmuldning. En favorisering af nogle grupper vil kunne betyde en ændret konkurrencesituation, hvorfor en stigning i nogle grupper af jordbundsorganismer kan ske samtidigt med en nedgang af andre grupper.

Det følgende giver en oversigt over nogle resultater for halmnedmuldnings effekt på den mikrobielle biomasse (afsnit 4.3.1) og på regnormebestanden (afsnit 4.3.2). Desuden vises resultater fra nogle undersøgelser over jordbundens mesofauna (afsnit 4.3.3).

4.3.1 Mikrobiel biomasse og aktivitet

Størrelse af jordens mikrobielle biomasse blev bestemt i fastliggende markforsøg, hvor halmen enten blev nedmuldet eller afbrændt hvert år i en periode på 18 år (Powlson et al., 1987). Halmnedmuldnings indflydelse på jordens organiske stofindhold i dette forsøg er tidligere vist (tabel 21). Jordbundens mikrobielle biomasse er angivet i tabel 23 sammen med resultater fra en bestemmelse af jordens kvælstofmineraliserende evne.

Halmnedmuldningen gav i sammenligning med halmafbrænding anledning til en betydelig stigning i indholdet af C, N og P i jordens mikrobielle biomasse. Jordens kvælstofmineraliserende evne steg som følge af halmnedmuldningen med mellem 41 og 55%. Den mikrobielle omsætning af organisk stof (målt som CO₂ produktion ved inkubering i 50 dage ved 25°C) steg med 55 til 79% i forhold til jord, hvor halmen blev afbrændt (Powlson et al., 1987). I forhold til afbrænding gav halmnedmuldning således anledning til væsentlige stigninger i jordens mikrobielle biomasse og aktivitet. Svenske undersøgelser i et forsøg med gentagen halmnedmuldning viser tilsvarende resultater (Schnürer et al., 1985).

Den mikrobielle aktivitet målt ved CO₂ udvikling på jordprøver inkuberet i laboratoriet er også blevet målt i et markforsøg, hvor halmen enten blev nedmuldet eller fjernet. I modsætning til ovennævnte forsøg (Powlson et al.,

Tabel 23. Jordens mikrobielle biomasse udtrykt ved dens indhold af C, N og P (kg/ha) og jordens kvælstof mineraliserende evne efter 18 års gentagen afbrænding og nedmuldning af byghalm (Powlson et al., 1987).

	Jordens mikrobielle biomasse			Jordens N-mineralise- ringsevne*
	kg C/ha	kg N/ha	kg P/ha	mg N/kg jord
Studsgaard JBl				
Halm afbrændt	132	25	20	17.7
Halm nedmuldet	192	40	35	27.4
Stigning	45%	50%	73%	55%
Rønhave JB5				
Halm afbrændt	273	46	23	20.8
Halm nedmuldet	374	68	42	29.3
Stigning	37%	46%	88%	41%

*) $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$ dannet efter 50 dages inkubation ved 25°C.

1987) blev CO_2 udviklingen (eller respirationen) i dette forsøg bestemt ved 10°C over en periode på 2 uger. Resultater fra forsøget er angivet i tabel 24.

Tabel 24. Mikrobiel aktivitet (respiration målt som CO_2 udvikling) i jordprøver fra markforsøg (Højer JB7) med 4 års gentagen halmnedmuldning eller fjernelse af halm. CO_2 udvikling blev målt ved 10°C over 2 uger (upubliceret talmateriale, Statens Planteavls-Laboratorium).

Prøveudtagningstidsp.	mg CO_2 -C pr. kg jord		% stigning ved halmnedmuldning
	Halm Fjernet	Nedmuldet	
10. maj	61	76	25%
23. maj	101	103	2%
4. juli	107	128	20%
22. august	98	107	9%
30. oktober	103	120	17%
Gennemsnit	94	107	14%

Stigningen i respirationen som følge af halmnedmuldningen var ved disse forsøgsbetingelser mindre end målt i Powlson et al.'s (1987) undersøgelser. Der blev desuden fundet en betydelig forskel mellem de forskellige prøveudtagningsdatoer. I gennemsnit forøgede halmnedmuldningen jordens CO_2 udvikling med 14%.

Halm kan fungere som substrat for kvælstofbindende bakterier (Lynch et al., 1984). Ved inkubation af halm ved 25°C i 8 uger er der vist, at der kan opnås en N_2 -binding svarende til 11.5 mg N pr. g omsat halm (Lynch & Harper, 1983). En udvaskning af halmen før den tilføres jorden øger N_2 -bindingen (Rice, 1979). Betydningen af halm som substrat for N_2 -bindende bakterier under markforhold og N_2 -bindingens størrelse er ikke afklaret tilfredstillende.

Tilsætning af halm til jord er vist at kunne øge denitrifikationen under vandmættede betingelser, såfremt der er nitrat tilstede (Bremner & Shaw, 1958; Myrold & Tiedje, 1985; Nömmik, 1956). I Bremner og Shaw's (1958) forsøg fandtes et stigende denitrifikationstab i løbet af de første 4 dage ved stigende halmtilsætning til jorden. Herefter noteredes der en kvælstofbinding, især ved tilsætning af større halmmønder. En større denitrifikation ved halmnedmuldning er også påvist i markforsøg (Aulakh et al., 1984), hvor der om foråret blev nedmuldet halm og udbragt N i handelsgødning. Størst effekt af halmen fandtes ved direkte såning, hvor halmen blev efterladt på jordoverfladen.

Samspillet mellem halm og kvælstofomsætning i jorden er således komplekst, idet halmnedmuldning kan føre til øget N_2 -binding, øget denitrifikation og til fastlæggelse af mineralsk kvælstof i jorden (se. afsnit 4.1). Disse processer kan forløbe samtidigt, hvorfor bidraget fra den enkelte proces er vanskelig at bestemme i en marksituation.

4.3.2 Regnormebestand

Størrelsen og sammensætningen af regnormebestanden er blevet undersøgt i 4 fastliggende markforsøg med gentagen halmnedmuldning (Jensen, 1985). Fig. 44 og tabel 24, 25 og 26 viser resultater fra disse undersøgelser.

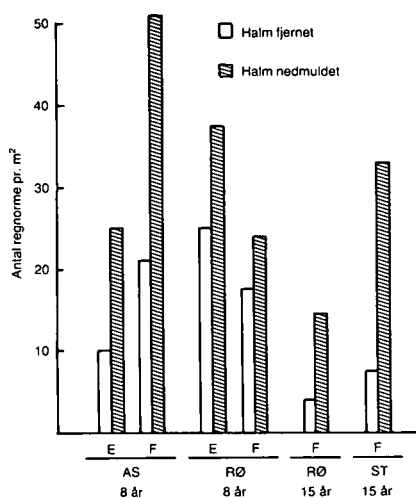


Fig. 44. Antal af regnorme ved gentagen fjernelse eller nedmuldning af halm. Regnorme blev indsamlet efterår 1981 (E) og forår 1982 (F) i forsøg på Askov (AS, 8 forsøgsår JB3), Rønhave (RØ, 8 og 15 forsøgsår JB5 og 7) og Studsgård (ST, 15 forsøgsår JBl), (Jensen, 1985).

Nedmuldning af halm resulterer i en betydelig forøgelse af bestanden af regnorme i jorden. Halmtildelingen påvirkede ikke artssammensætningen og aldersstrukturen af regnormebestanden, men øgede både antallet og den samlede vægt af regnorme.

Tabel 25. Artssammensætning af regnormebestanden i forsøg ved gentagen halm-nedmuldning. Den enkelte art er udtrykt som procent af den samlede regnormebestand ved hver indsamlingsdato (Jensen, 1985).

			Regnormebestand***						
JB nr.	Indsaml.	Halm	A.	A.	A.	A.	L.	A.	
		dato	t/ha	cal.	longa	rosea	chlor.	terr.	tub.
Askov*	3	23.11.81	0	17	31	15	31	6	-
			4	14	30	27	19	9	-
		24.04.82	0	52	25	14	8	2	-
			4	57	19	17	5	2	-
Rønhave*	7	04.11.81	0	47	18	18	11	7	-
			4	52	13	16	14	5	-
		29.04.82	0	67	5	23	5	1	-
			4	55	8	24	6	7	-
Rønhave**	5	17.05.82	0	21	6	47	-	26	-
			4	51	3	32	-	14	-
Studsgård**	1	10.05.82	0	-	-	-	-	-	100
			4	-	-	-	-	-	100

* 8 forsøgsår

** 15 forsøgsår

*** *L. terr.* = *Lumbricus terrestris* (LINNÉ, 1758)

A. longa. = *Aporrectodea longa* (UDE, 1885)

A. tub. = *Aporrectodea tuberculata* (EISEN, 1874)

A. cal. = *Aporrectodea caliginosa* (SAVIGNY, 1826)

A. rosea = *Aporrectodea rosea* (SAVIGNY, 1826)

A. chlor. = *Allolobophora chlorotica* (SAVIGNY, 1826)

Tabel 26. Alderstrukturen af regnormebestanden i fastliggende markforsøg med halmnedmuldning. Voksne (A), små voksne (SA), unge (J), og små unge (SJ) regnorme udtrykt som procent af totalt antal af orme (Jensen, 1985).

JB nr.			Efterår 1981		Forår 1982		Gns.	
			-	+	-	+	-	+
			halm		halm		halm	
Askov*	3	A	29	35	29	22	29	26
		SA	23	15	12	13	15	14
		J	38	35	44	43	42	40
		SJ	10	15	15	22	13	20
Rønhave*	7	A	27	31	26	20	27	27
		SA	10	15	7	9	9	12
		J	57	46	55	50	56	47
		SJ	7	8	12	22	9	14
Rønhave**	5	A			20	25		
		SA			7	14		
		J			33	35		
		SJ			40	26		
Studsgård**	1	A			14	29		
		SA			21	13		
		J			66	50		
		SJ				8		

* 8 års forsøg

** 15 års forsøg

Den samlede størrelse af regnormebestanden varierede med forsøgssted og indsamlingstidspunkt, men det største antal orme blev altid fundet efter halmnedmuldning. Gentagen halmnedmuldning igennem 8 år øgede regnormeantallet på Askov jorden med 150% og på Rønhave jorden med 50%. Den største stigning i an-

tallet af orme som følge af halmnedmuldning blev observeret på Rønhave og Studsgård efter 15 års gentagen halmnedmuldning, hvor halmen øgede antallet med mere end 300%.

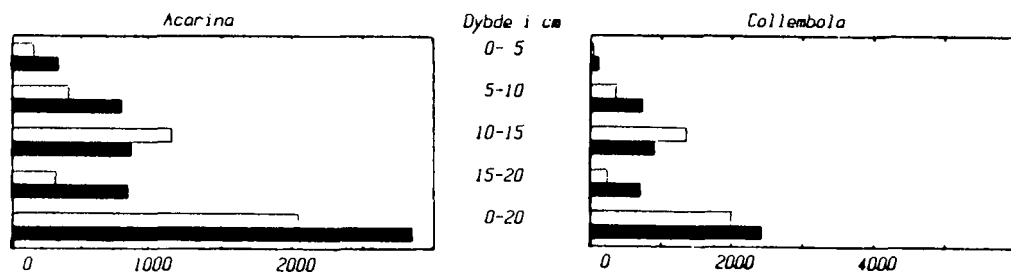
Regnormepopulationen ved Askov og Rønhave (8 årigt forsøg) bestod af arterne: *Aporrectodea caliginosa*, *Aporrectodea longa*, *Aporrectodea rosea*, *Allolobophora chlorotica* og *Lumbricus terrestris* (tabel 25). De samme arter blev fundet i det 15 årige forsøg på Rønhave undtagen *A. chlorotica*. Det 15 årige forsøg på Studsgård havde kun en regnormeart, *Aporrectodea tuberculata*. Halmnedmuldningen havde ingen effekt på artssammensætningen af regnormebestanden de forskellige forsøgssteder. Det samme gør sig gældende for regnormebestandens aldersstruktur.

4.3.3 Mesofauna

Halmnedmuldningens indflydelse på jordens bestand af mider (*Acarina*) og collemboler blev undersøgt i to 16 årige forsøg med årlig halmnedmuldning. Ved undersøgelserne blev bestanden af dyr bestemt i 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm og 15-20 cm lagene (fig. 45).

Antallet af mider var væsentligt lavere på lerjorden (Rønhave) end på den mere sandede jord (Studsgård), hvor der fandtes op til 3.000 mider pr. m². Bestanden af collemboler var stort set ens i de to jorde (omkring 2.000 pr. m²).

STUDSGÅRD



RØNHAVE II

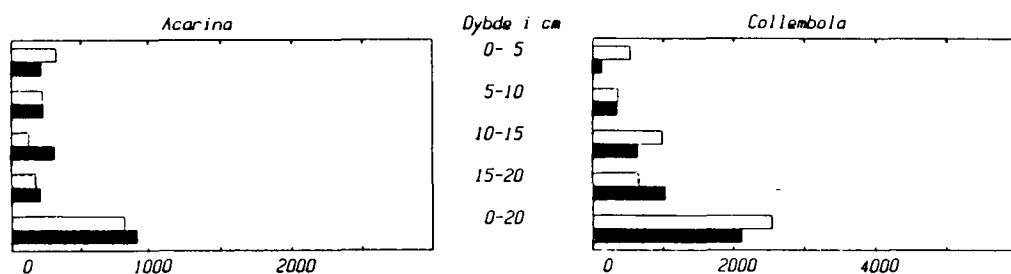


Fig. 45. Bestand af mider (*Acarina*) og collemboler (*Collembola*, springhaler) i jordprøver indsamlet forår i fastliggende markforsøg (Studsgård JB1 og Rønhave JB5) med årlig gentage halmnedmuldning (16 års forsøg). Søjlen angiver antal dyr pr. m² i led med halm fjernet (åbne søjler) eller halm nedmuldet (lukkede søjler) (Christensen et al., 1987).

Der blev kun fundet mindre forskelle mellem de forskellige jordlag i antallet af dyr, og halmnedmuldningen øvede kun beskeden indflydelse på faunabestandens størrelse. Resultaterne i fig. 45 er baseret på uddrivning af dyrene ved gradvis opvarmning og udtørring af jordprøver indsamlet i naturlig lejring. Jordprøverne blev udtaget om foråret 1983.

I et andet forsøg med årlig halmnedmuldning over en periode på 9 år anlagt på grovsandet jord (Jyndevad) blev de ovennævnte faunakomponenter bestemt i jordprøver udtaget henholdsvis forår og efterår (fig. 46). Der fremgår, at be-

standen af mider og collemboler var væsentlig større om efteråret end om foråret. Ved efterårsindsamlingen fandtes en betydelig del af den samlede faunabestand i jordlagene 0-5 cm og 5-10 cm, mens der i lagene 10-15 cm og 15-20 cm var væsentlig færre dyr. I modsætning hertil synes fordelingen af dyrene ved forårsindsamlingen at vise flere dyr i de to nederste lag af pløjelaget.

Halmnedmuldning havde en positiv effekt på antallet af *Acarina* ved efterårsindsamlingen, men generelt var effekten af halmnedmuldning lille.

Halmens indflydelse på andre mikroarthropoder er omtalt af Christensen et al. (1987).

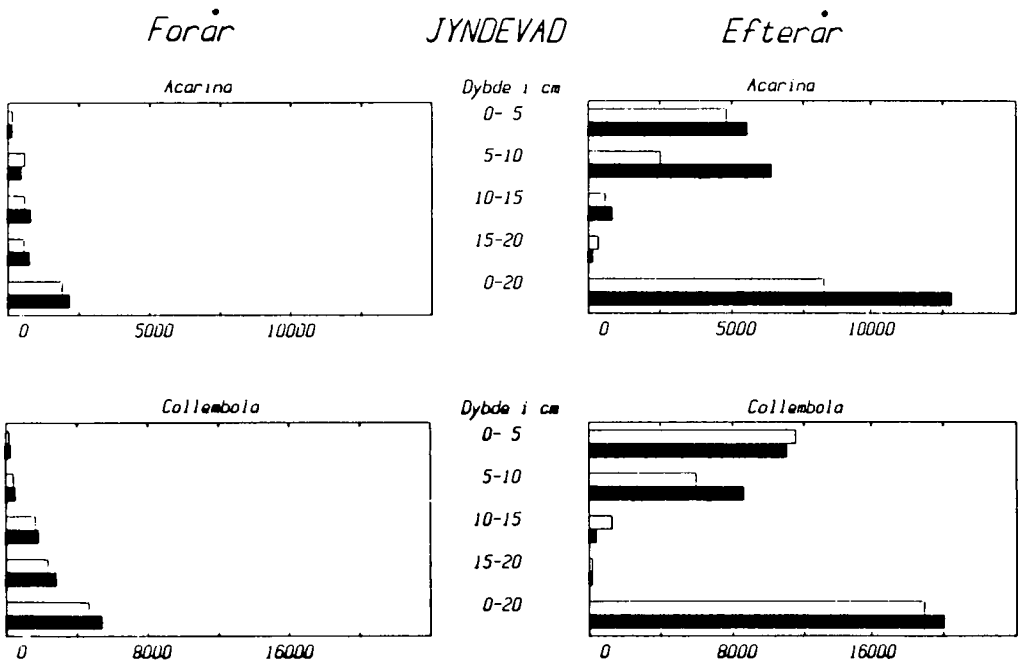


Fig. 46. Bestand (antal dyr pr. m^2), af mider (*Acarina*) og collemboler (*Collembola*, springhaler) i jordprøver indsamlet forår og efterår i fastliggende markforsøg (Jyndeved JB1) med årlig gentagen halmnedmuldning (9 års forsøg). Åbne søjler = halm fjernet, lukkede søjler = halm nedmuldet, (Christensen et al., 1987).

5. NÆRINGSSTOFBALANCE

Bent T. Christensen, Statens Planteavlsvforsøg

5.1 Kvælstof5.1.1 Planteoptagelse af halmens kvælstof-indhold

De efter halmnedmuldningen følgende afgrøders optagelse af halmens oprindelige N-indhold og af det under halmens omsætning fastlagte N er i en række udenlandske forsøg blevet undersøgt ved anvendelse af ^{15}N mærket halm og ^{15}N mærket handelsgødning i kombination med henholdsvis umærket gødning og umærket halm (Fredrickson et al., 1982; Myers & Paul, 1971; Powlson et al., 1985; Seligman et al., 1986; Waggoner et al., 1985).

Sammenfattende viste ovennævnte undersøgelser, at af halmens N-indhold på nedmuldningstidspunktet (efterår) blev generelt mellem 6 og 15% optaget i den efterfølgende afgrøde. Mellem 70 og 90% af halmens oprindelige N-indhold kunne genfindes efter høst af den første afgrøde, enten i afgrøden eller i jorden. Der blev således i løbet af det første år efter halmnedmuldningen tabt mellem 10 og 30% af halmens oprindelige N-indhold ved enten udvaskning eller denitrifikation.

Det følgende vil som eksempel give en kort oversigt over resultater fra et engelsk forsøg med nedmuldning af halm (3 t halm pr. ha) forud for vinterhvede (Powlson et al., 1985). Halmtildelingen blev kombineret med efterårsudbragt N i handelsgødning (48 kg N pr. ha). Forsøget blev færdiggødet om foråret med 150 kg umærket N pr. ha. Ved høst blev såvel afgrøde som jord analyseret for N-indhold (mærket og umærket N).

Fordelingen ved høst af halmens oprindelige N-indhold og den efterårstil-delte handelsgødning på posterne optaget i afgrøden, efterladt i jorden og N-tab er vist i tabel 27. Når der ikke nedmuldes halm (forsøgsled A) blev 34% af den efterårstildelte N genfundet i afgrøden (kerne + halm + stub), 4% blev fundet i jorden og 62% blev tabt ved udvaskning og denitrifikation. Når der blev nedmuldet halm og givet efterårs N blev 40% af gødningen fundet i afgrøden og tabet af N reduceredes til 47% af den udbragte mængde (forsøgsled B). Nedmuldning af halm reducerede således N-tabet fra 62 til 47%. Af halmens oprindelige N-indhold ved nedmuldningen blev ved høst kun 12% fundet i den følgende afgrøde. Derimod kunne 78% af halmens N findes i jorden. Det ses således, at der i løbet af det første år efter halmnedmuldningen kun er tabt 10% af halmens N-indhold (forsøgsled C).

Tabel 27. Fordeling af mærket N ved høst af vinterhvede efter forudgående nedmuldning af halm kombineret med efterårsudbragt N-gødning (Powlson et al., 1985).

Forsøgsled	% af mærket N		
	afgrøde	jord	tabt
A. Ingen halm, mærket gødning	34	4	62
B. Umærket halm, mærket gødning	40	13	47
C. Mærket halm, umærket gødning	12	78	10

Wagge et al. (1985) studerede mineraliseringen af N fra halm og målte samtidigt optagelsen i vinterhvede af den fra halmen mineraliserede N. Det blev fundet, at omkring 80% af den mineraliserede N blev optaget i planterne. På denne baggrund blev det konkluderet, at den største del af mineraliseringen af N fra halmen under disse betingelser forekom i perioden, hvor planternes behov for N var størst.

En væsentlig virkning af halmnedmuldningen er altså at reducere N-tabet fra jord/plante systemet. Halmens oprindelige N-indhold er kun lidt tilgængeligt for den følgende afgrøde, mens langt hovedparten indgår i jordens mere stabile N-pulje. Endelig vil halmnedmuldning bevirke en større tilbageholdelse af plantetilgængeligt N i jorden.

5.1.2 Kvælstof-nedvaskning

Som omtalt i afsnit 4.1.3 og 4.1.4 er nedmuldet halm fundet at være i stand til at fastlægge op til 16 kg N pr. ha. En sådan fastlæggelse i løbet af efterårs- og vinterperioden vil kunne medvirke til at reducere N-nedvaskningen fra dyrkningslaget.

Fig. 47 viser halmnedmuldningens indflydelse på udvaskningen af N fra en grovsandet jord dyrket med vårbyg (Kjellerup, 1986). Forsøget blev udført i lysimeteranlæg med årlig tilførsel af en halmmængde svarende til 4 t halm pr. ha, med og uden anvendelse af efterårsudbragt kvælstof (svarende til 22 kg N pr. ha). Halmen blev enten nedgravet straks efter høst eller opblandet i det

øverste jordlag (svarende til nedfræsning) og derefter nedgravet i november. Ved anvendelse af efterårsudbragt N blev der forårsgødet med 88 kg N pr. ha, mens de øvrige led tilførtes 110 kg N pr. ha på dette tidspunkt.

Halmnedmuldning uden tildeling af kvælstof om efteråret reducerede i alle forsøgsår N-udvaskningen sammenholdt med behandlingen uden halmnedmuldning. Tildeling af handelsgødning N om efteråret gav i de fleste forsøgsår anledning til den største N-udvaskning.

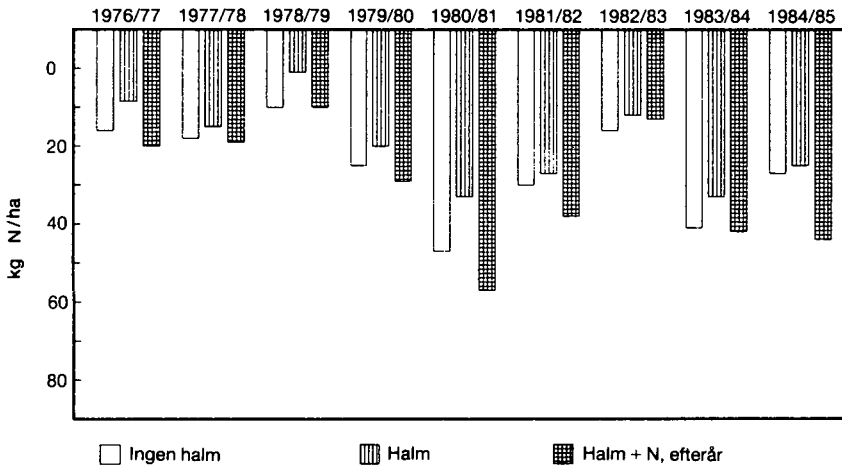


Fig. 47. Indflydelsen af halmnedmuldning (4 t halm/ha) og efterårsudbragt N (22 kg N/ha) på udvaskning af $\text{NO}_3\text{-N}$ fra grovsandet jord. Lysimeterforsøg med ensidig vårbygdyrkning og forårsudbragt handelsgødning (110 kg N/ha for behandlingerne ingen halm og halm, og 88 kg N/ha for halm + N efterår) (Kjellerup, 1986).

Halmnedmuldningen reducerede N-udvaskningen med 11 til 24%, svarende til 4 til 8 kg N pr. ha, og størst virkning blev fundet hvor halmen blev nedgravet straks efter høst (tabel 28). I forhold til leddet uden halmnedmuldning gav anvendelsen af halmnedmuldning + efterårs-N anledning til en stigning i N-udvaskningen på 12 til 17% (svarende til 4 til 6 kg N pr. ha). Der fandtes imidlertid betydelige årsvariationer i størrelsen af udvaskningen og i halmens ef-

fekt på denne.

Tabel 28. Halmnedmuldnings (4 t halm/ha) indflydelse på udvaskning af $\text{NO}_3\text{-N}$ (kg N/ha) fra grovsandet jord med ensidig vårbygdyrkning. Lysimenterforsøg over 9 år; forholdstal angivet i parentes (Kjellerup, 1986).

Jordbehandling	Ingen halm	4 t halm/ha	
	0 N	0 N	22 kg N/ha
	efterår	efterår	efterår
	kg N/ha		
Pløjet efter høst	34 (100)	26 (76)	38 (112)
Fræset efter høst, pløjet november	36 (100)	32 (89)	42 (117)

Tabel 29 viser resultater fra nedvaskningen af $\text{NO}_3\text{-N}$ i markforsøg med halmnedmuldning (Schjønning, 1986d). Undersøgelsen bygger på udtagning af jordvæskeprøver i afstrømningsperioden, som efter analyse for $\text{NO}_3\text{-N}$ indhold omregnedes ved hjælp af en udvaskningsmodel til kg N pr. ha, nedvasket til en dybde større end 80 cm. Det ses, at halmnedmuldning reducerede N-udvaskningen med 12 til 14 kg N pr. ha (gennemsnit af alle år). Der blev også i dette forsøg observeret betydelige årsvariationer i såvel udvaskningens størrelse som i halmnedmuldningens effekt på N-udvaskningen.

Der synes at være en generel overensstemmelse mellem de forskellige undersøgelser af halmnedmuldningens indflydelse på N-udvaskningen fra jord med vårbygdyrkning. Ved nedmuldning af normale halmmængder vil N-nedvaskningen kunne nedsættes med op til 25 kg N pr. ha, idet der dog findes store variationer i virkningen mellem de forskellige forsøgsår. Denne forskel hidrører formodentlig fra forskelle i klima (herunder afstrømningens størrelse) og fra forskelle i pløjelagets indhold af lettilgængeligt N (se afsnit 4.1.6).

Tabel 29. Halmnedmuldnings indflydelse på $\text{NO}_3\text{-N}$ nedvaskning (kg N/ha) til under 80 cm's dybde. Markforsøg med ensidig vårbygdyrkning (Schjøning, 1986d).

Afstørningsperiode	uden halm	N-nedvaskning	
		med halm	effekt af halm
kg N/ha			
Fin lerblandet sandjord, Borris JB4			
1981/82	56	49	7
1982/83	65	54	11
1983/84	102	77	25
Gns. alle år	74	60	14
Gns. 81/82 - 82/83	61	52	9
Fin sandblandet lerjord, Højer JB6			
1978/79	45	26	19
1979/80	20	16	4
1980/81	43	18	25
1981/82	31	22	9
1982/83	28	25	3
Gns. alle år	33	21	12
Gns. 81/82 - 82/83	30	24	6

5.1.3 Ændringer i jordens kvælstof-pulje

Ved halmnedmuldning tilføres jorden N med halmen. Ved en halmproduktion på 5 t halm pr. ha vil halmen ved høst typisk indeholde 20 til 45 kg N pr. ha (se afsnit 1.3.2). Der vil imidlertid være tale om betydelige variationer fra år til år i såvel halmmængde som i halmens N-indhold. Halm efterladt på marken, enten nedmuldet eller placeret på jordoverfladen, kan give anledning til både N-tab ved denitrifikation og N-gevinst ved biologisk N-fiksering (se afsnit 4.3.1). Desuden vil nedmuldet halm medvirke til en N-fastlæggelse i jorden (se afsnit 4.1 og 5.1.2).

Halmens indflydelse på N-omsætningen i jorden er vanskelig at beskrive kvantitativt. Ved målinger af ændringer i jordens N-pulje, som følge af halmnedmuldning, fås et samlet udtryk for resultatet af disse forskellige processer. Sådanne målinger kræver imidlertid langvarige forsøg (se også afsnit 4.2) idet ændringer i jordens N-pulje forårsaget af halmnedmuldning ofte er små i forhold til puljens samlede størrelse.

Tabel 30 og 31 viser ændringer i jordens N-indhold i to forsøgsserier. Den ene forsøgsserie blev gennemført på fire forsøgssteder (Schjønning, 1986a) og omfattede på prøveudtagningstidspunktet 10 års gentagen nedmuldning eller fjernelse af halm (tabel 30). Den observerede stigning i jordens N-indhold var mellem 0 og 9%. Den anden forsøgsserie (tabel 31) omfattede på indsamlingstidspunktet 18 års gentagen halmbehandling, og her fandtes stigninger i jordens N-indhold på 8 til 10%.

Tabel 30. Halmnedmuldningens indflydelse på N-indholdet i pløjelaget (0-20 cm) efter 10 års gentagen behandling (Schjønning, 1986b).

	JB nr.	Halmen		% stigning ved nedmuldning
		fjernet ‰N	nedmuldet ‰N	
Jydevad	1	0,107	0,106	-
Askov	3	0,109	0,114	4,6
Rønhave	7	0,137	0,144	5,1
Højer	7	0,174	0,189	8,6

Tabel 31. Halmnedmuldningens indflydelse på jordens indhold af N (0-25 cm) efter 18 års gentagen behandling (Powlson et al., 1987).

	JB nr.	Halmen		% stigning ved nedmuldning
		afbrændt ‰N	nedmuldet ‰N	
Studsgård	1	0,115	0,127	10,4
Rønhave	5	0,119	0,129	8,4

Fig. 48 viser halmnedmuldningens indflydelse på indholdet af N i jordens ler- og siltfraktion. De undersøgte jordprøver er indsamlet i to markforsøg med henholdsvis 10 og 17 års gentagen nedmuldning af halm. For begge jorders vedkommende gav halmnedmuldning anledning til en relativ stigning i siltens N-indhold der var ca. to gange så stor som den observerede stigning i lerfraktionens N-indhold. Idet N bundet i lerfraktionen er mere mineraliserbart end N bundet i silten (Cameron & Posner, 1979; Chichester, 1969; Lowe & Hinds, 1983), kan det udledes, at når halm tilføres jord over en længere årrække vil en betydelig del af stigningen i jordens N-pulje finde sted i form af relativ stabile N-forbindelser (se afsnit 4.2.1).

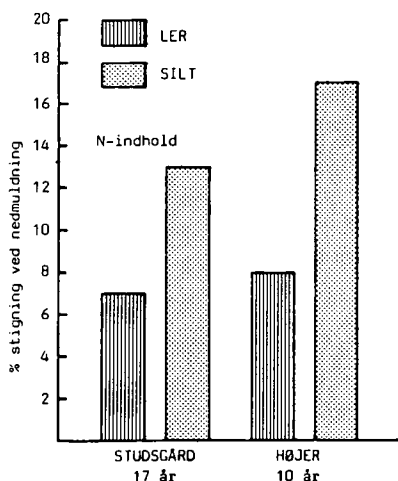


Fig. 48. Den relative stigning i indholdet af N i jordens ler- og siltfraktion ved gentagen nedmuldning af vårbyghalm. Studsgård JBL: 17 års behandling med halm nedmuldet eller afbrændt; Højer JB7: 10 års behandling med halm nedmuldet eller fjernet (efter Christensen, 1986a).

5.2 Fosfor og kalium

Ved halmnedmuldning tilføres jorden såvel P som K. Indholdet af P og K i halmen ved høst kan anslås til 1-8 kg P pr. ha og 15-120 kg K pr. ha (se afsnit 1.3.2). For P's vedkommende er den tilførte mængde relativt beskedent, mens det for K's vedkommende kan dreje sig om mængder svarende til den efterfølgende afgrødes K-behov. Idet op til mere end 90% af halmens K-indhold er letopløseligt i vand (se afsnit 4.1.1), må en betydelig del af den med halmen tilførte K formodes at være plantetilgængelig.

Tabel 32 viser halmnedmuldningens indflydelse på Pt, Ft og Kt i jorden efter 10 års gentagen nedmuldning af halm til vårbyg (Schjønning, 1986b). I tabellen er også medtaget Rt. For såvel Pt som Ft er der kun målt små og ikke statistisk sikre forskelle mellem behandlingerne halm fjernet og halm nedmuldet. Derimod giver halmnedmuldningen anledning til stigninger i Kt, idet der dog kun er fundet statistisk sikre forskelle i forsøgene på Askov og Rønhave.

Hvis det antages, at 1 Kt enhed modsvarer 25 kg K i pløjelaget, svarer de fundne stigninger i Kt til 10, 30, 80 og 68 kg K pr. ha på henholdsvis Jydevad, Askov, Rønhave og Højer. Disse stigninger svarer højst til den årligt tilførte mængde halm-K. Antages den gennemsnitlige tilførsel af K med halmen at udgøre 50 kg K pr. ha, skulle der i løbet af forsøget være tilført jorden ca. 500 kg K pr. ha. Heraf kan altså kun genfindes ca. 10%.

Tabel 32. Halmnedmuldningens indflydelse på pløjelagets (0-20 cm) reaktionstal (Rt), fosfortal (Pt), fosforsyretal (Ft) og kaliumtal (Kt). Analyse-resultater efter 10 års forsøg (Schjønning, 1986b).

	Halm- behandling	Jydevad JB1	Askov JB3	Rønhave JB7	Højer JB7	Gns.
Rt	fjernet	6,3	6,7	7,3	7,7	7,0
	nedmuldet	6,3	6,7	7,3	7,7	7,0
Pt (mg P/100 g)	fjernet	3,4	3,1	4,4	1,4	3,1
	nedmuldet	3,1	3,1	4,5	1,7	3,1
Ft (mg P/33 g)	fjernet	6,7	10,6	7,7	8,1	8,3
	nedmuldet	6,7	10,3	7,6	8,2	8,2
Kt (mg K/100 g)	fjernet	5,2	8,8	11,6	14,6	10,0
	nedmuldet	5,6	10,0	14,8	17,3	12,0

Tabel 33 viser resultater for Rt, Ft, Kt og Mgt fra en forsøgsserie på 9 forsøgssteder, hvor halm enten blev fjernet eller nedmuldet hvert år over en periode på 10 år (afgrøde: byg) (Skriver, 1984). I overensstemmelse med resultaterne fra tabel 32 fandtes kun ubetydelige forskelle i Rt og Ft, mens Kt og

Mgt viste stigninger, som følge af gentagen halmnedmuldning. Stigningen i Kt modsvarer ca. 40 kg K pr. ha. I dette forsøg fandtes også de største stigninger i Kt på lerjorde (gennemsnitlig 2,3 enheder), mens sandjordene kun steg svagt som følge af halmnedmuldning (0,7-1 enhed).

Tabel 33. Halmnedmuldnings indflydelse på reaktionstal og jordens indhold af K, P og Mg. Gennemsnit af 9 forsøg med byg med nedmuldning eller fjernelse af halm over 10 år (Skriver, 1984).

	Jordanalyser		
	Ved anlæg	efter høst 1983	
	1974	halmen fjernet	nedbragt
Rt	6,3	6,2	6,3
Ft	7,3	8,2	8,3
Kt	8,5	7,1	8,5
Mgt	3,5	3,1	3,4

6. PLANTEVÆKST OG KERNEUDBYTTE

Per Schjønning, Statens Planteavlsvforsøg

Nedmuldning af halm efter en kornafgrøde påvirker flere faktorer i jorden af betydning for plantevæksten. Først og fremmest øves indflydelse på jordens N-omsætning (Kap. 4 og 5). Med halmen tilføres jorden desuden forskellige andre plantenæringsstoffer, f. eks. kalium, og halmens tilstedeværelse kan påvirke livsbetingelserne for såvel plantepatogene organismer som organismer af betydning for stofomsætningen i jorden. Endelig har nedbrydningsprodukterne efter halmen betydning for strukturdannelsen i jorden (Kap. 3).

Ovennævnte forhold vil i samspil med klima og jordtype bestemme halmnedmuldningens effekt på planteproduktionen. I dette kapitel gives en oversigt over de seneste års danske forsøgsresultater på området. Der er lagt vægt på at belyse virkningen på udbyttet, og især det eventuelle behov for ændret N-gødskning ved nedmuldning i forhold til fjernelse af halm.

6.1 Vårsæd

6.1.1 Udbytteeffekt på forskellige jordtyper

Gennem de seneste 20 år er der i Danmark gennemført et større antal markforsøg med nedmuldning af halm i ensidig vårbygdyrkning. Forsøgene viser, at nedmuldning lader sig praktisere uden væsentlig indflydelse på den øvrige dyrknings teknik, såfremt halmen snittes og nedarbejdes i jorden.

I fig. 49 er merudbyttet for nedmuldning vist for 24 forsøgssteder. Halmefekten er sat i forhold til jordens indhold af ler. Tallene er hentet fra 6 nyere danske forsøgsserier med 6-18 års resultater fra hvert forsøgssted - i alt 242 enkeltforsøg (Olsen, 1985; Schjønning, 1986a; Skriver, 1984; Jørgensen, 1981; upubliceret talmateriale, Askov og Højer forsøgsstationer).

For sandede jorde med op til 5% ler, er der en tendens til merudbytte for nedmuldning af halm. Det store merudbytte på 4,4 hkg pr. ha (gennemsnit af 8 år) er opnået på en finsandet jord i Vendsyssel. For jord med over 5% ler er billedet noget varierende. De lerblandede sandjorde med 5-10% ler reagerer gennemgående negativt for halmnedmuldningen, medens de egentlige lerjorde placerer sig omkring nulpunktet. Generelt er der dog tale om forholdsvis beskedne udslag på alle jordtyper.

Jordtypeforskellene kan også udtrykkes ved de generelle tal i tabel 34.

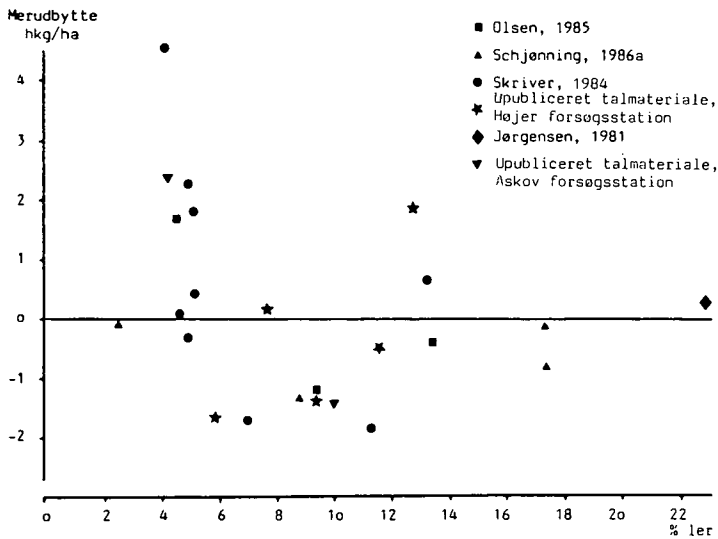


Fig. 49. Merudbytte (hkg pr. ha) for nedmuldning af halm ved ensidig dyrkning af vårbyg ved normalt kvælstofniveau.

Tabel 34. Merudbytte (hkg pr. ha) for nedmuldning af halm ved ensidig dyrkning af vårbyg ved normalt kvælstofniveau (Olsen, 1985; Schjørring, 1986a; Skriver, 1984; Jørgensen, 1981; upubliceret talmateriale, Askov og Højer forsøgsstationer).

% ler	Jordtype	JB nr.	Merudbytte hkg/ha	Antal forsøgssteder	Antal enkeltforsøg
< 5	Grovsandet jord	1	+1,1	7	75
< 5	Finsandet jord	2	+2,4	2	18
5-10	Lerblandet sandjord	3, 4	-1,2	7	67
10-15	Sandblandet lerjord	5, 6	0	5	52
15-25	Lerjord	7	-0,5	2	24
23	Silt-humus jord	10, 11	+0,3	1	6

6.1.2 Kvælstofgødskning om efteråret

Ved begyndende omsætning af halm fastlægges lettilgængeligt kvælstof fra den omgivende jord. Det har derfor fra ældre tid været en nærliggende antagelse, at tilførsel af ekstra kvælstof i forbindelse med nedmuldning af halmen vil fremskynde omsætningen og eventuelt give en større plantetilgængelig kvælstofmængde i jorden i den følgende vækstsæson.

Fig. 32 og 33 (afsnit 4.1.3) viser et hurtigere vægttab og en større N-fastlæggelse ved halmomsætning i lerjord end i sandjord, hvilket tolkes som en effekt netop af en større mængde lettilgængeligt N i ler- end i sandjord. Disse resultater støtter således umiddelbart ovennævnte antagelse om et behov for udbringning af kvælstof i forbindelse med nedmuldningen om efteråret. Imidlertid har en praktisk afprøvning af problemstillingen vist, at efterårstilført kvælstof stort set ikke påvirker halmeffekten (tabel 35).

Det ses, at 40 kg N pr. ha om efteråret på sandjordene har givet en udbyttedgang på 0,5 hkg pr. ha. Talstørrelsen er lille og ikke testet statistisk, men er - på grundlag af de mange forsøgssteder og enkeltforsøg, der ligger bag - et sikkert vidnesbyrd om, at N-tildeling ved halmnedmuldning forud for vår-sæede afgrøder er overflødig på sandjord og måske endda kan reducere udbyttet i den følgende afgrøde.

På de lerholdige jorde fås en gevinst for efterårsudbragt N til halmen. Sammenholdes de gennemsnitlige effekter på 0,6-0,9 hkg med udgiften til 40 kg N, må det konkluderes, at efterårstildeling af N ved halmnedmuldning i vår-sædsdyrkningen er overflødig også på lerjorde (se også 5.1.1 og 5.1.2).

Tabel 35. Merudbytte (hkg pr. ha) for tildeling af 40 kg N pr. ha om efteråret ved nedmuldning af halm i ensidig vårbygdyrkning (efter Olsen, 1985 og Skriver, 1984).

% ler	Jordtype	JB nr.	Merudbytte hkg/ha	Antal forsøgssteder	Antal enkeftforsøg
< 5	sandjord (1)	1	-0,5	7	74
5-10	lerblandet sandjord	3, 4	+0,6	2	27
10-15	sandblandet lerjord	5, 6	+0,9	3	35

6.1.3 Kvælstofgødskning om foråret

I kapitel 4 og 5 er halmnedmuldningens indflydelse på jordens N-husholdning diskuteret i detaljer. Således er det i kapitel 5 påpeget, at kun 6-15% af halmens N-indhold ved nedbringningen bliver optaget i den følgende afgrøde, mens hovedparten indlejres i jordens mere stabile N-pulje. Samtidig peger undersøgelser diskuteret i de to kapitler på en tidsmæssig god synkronisering mellem frigørelsen af det i efterårsperioden fastlagte jord-N og den efterfølgende vækstsæsons N-optagelse.

Ovennævnte forholds nettoeffekt på afgrødens N-forsyning er søgt afdækket ved betragtning af halmnedmuldningens indflydelse på udbyttekurven (fig. 50 og 51). Der er tale om gennemsnitsresultater fra 12 års forsøg på 2 jordtyper, en grovsandet jord (hedeslette) og en lerjord (østjysk moræne).

Af fig. 50 fremgår, at halmeffekten på sandjorden er beskeden i forhold til udslaget på lerjorden, hvor der observeres en udbyttereduktion ved alle 3 N-niveauer. På sandjorden er der et positivt udslag for halmtildeling ved det lave N-niveau, mens dette vendes til udbyttetab ved højere niveauer af kvælstofgødskning. Det omvendte er tilfældet på lerjorden, hvor den negative indflydelse fra halmen dæmpes ved høje N-niveauer.

Det økonomisk optimale N-niveau (ca. 4 kg kerne pr. kg N) for jord uden halmnedmuldning forekommer ved 123 kg N pr. ha på sandjorden og ved 98 kg N pr. ha på lerjorden (fig. 50). Ved dette N-niveau forårsager halmnedmuldningen et udbyttetab på ca. 0,2 og 0,7 hkg pr. ha på henholdsvis sand- og lerjorden, hvilket er i overensstemmelse med det tidligere anførte.

De to kurvers forløb omkring det optimale N-niveau viser dels, at øget N-gødskning på begge jordtyper ikke er i stand til at kompensere for det halmforårsagede udbyttetab, dels, at det økonomisk optimale gødningsniveau kun forrykkes 2-3 kg N pr. ha ved nedmuldning. Det må på dette grundlag fastslås, at der ved nedmuldning af halm i vårsædsdyrkingen ikke er basis for væsentlig ændret N-gødningsstrategi.

De ovenfor diskuterede forhold er udtryk for, at det ved optimale N-niveauer er andre vækstfaktorer end kvælstof, der forårsager det observerede svage udbyttetab ved halmnedmuldning. Halmens direkte effekt på afgrødens N-forsyning kan til gengæld afdækkes ved at betragte den stejle del af udbyttekurven, hvor kvælstof er begrænsende for udbyttet. Ved disse N-niveauer forløber de to udbyttekurver (med og uden halmnedmuldning) på lerjorden parallelt og kan bringes til at dække hinanden ved en forskydning på ca. -6 kg N pr. ha

(fig. 50 og 51). Denne N-mængde kan tages som et udtryk for den direkte nettoeffekt af halmnedmuldning specielt på N-forsyningen, - altså en reduceret pulje af lettilgængeligt jord-N af denne størrelsesorden i lerjorden.

Ved en tilsvarende forskydning med +3 kg N på sandjorden overlejrer kurverne uden og med halmnedmuldning også her hinanden ved lavt N-niveau, men dog med ringere sandsynliggørelse af ensartet hældning på et længere stykke af kurven. På sandjorden er der således tale om en netto positiv N-effekt af halmnedmuldning.

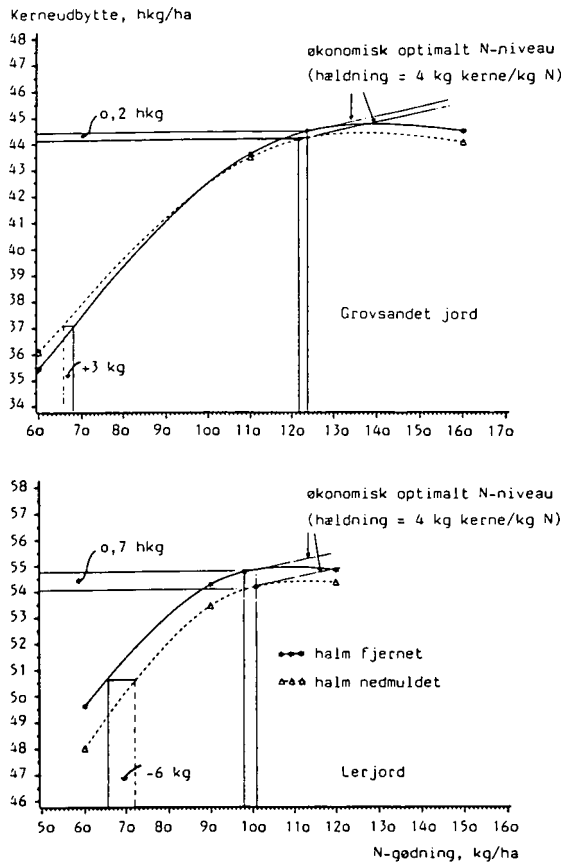


Fig. 50. Halmnedmuldningens indflydelse på udbyttekurven ved forårstildeling af kvælstof. Gennemsnit 1974-85 (efter Schjøning, 1986a).

Fig. 51 viser, at halmeffekten "rænset" for N-problematikken (kvælstof ikke i minimum) kan skønnes at være ca. -0,3 og ca. -0,6 hkg pr. ha for henholdsvis sand- og lerjorden.

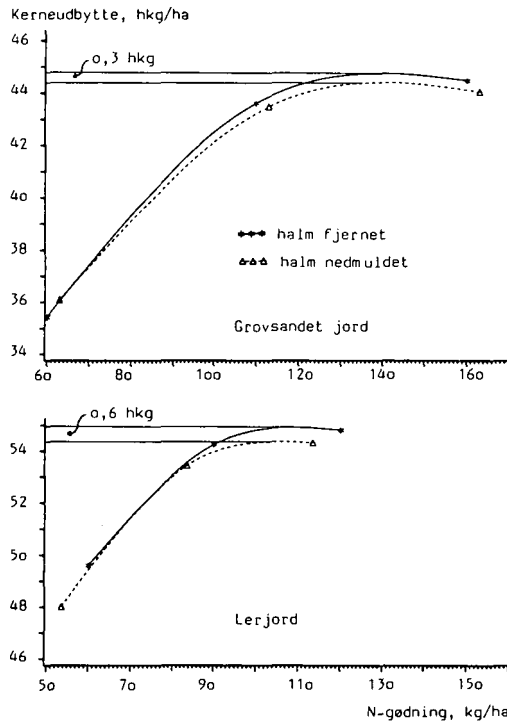


Fig. 51. Udbyttekurverne fra fig. 50 med "halmkurven" forskudt +3 kg N/ha for sandjorden og -6 kg N/ha for lerjorden svarende til en antagelse om halmens direkte N-effekt af denne størrelsesorden (efter Schjøning, 1986a).

6.1.4 Engangs- og gentagen nedmuldning

Det er fremført, at N-problematikken er forskellig ved engangsnedmuldning i forhold til flere års gentagen tildeling af halm til jorden. De tilfældige, klimaforårsagede årsforskelle gør det vanskeligt at afklare spørgsmålet, idet disse årsvariationer i et enkelt fastliggende forsøg overlejrer en eventuel systematisk udvikling. I fig. 52 er dette søgt imødegået ved at medtage 5 forskellige forsøgsserier med start i 4 forskellige kalenderår og med forsøgslokaliteter (20 i alt) fordelt over hele Danmark.

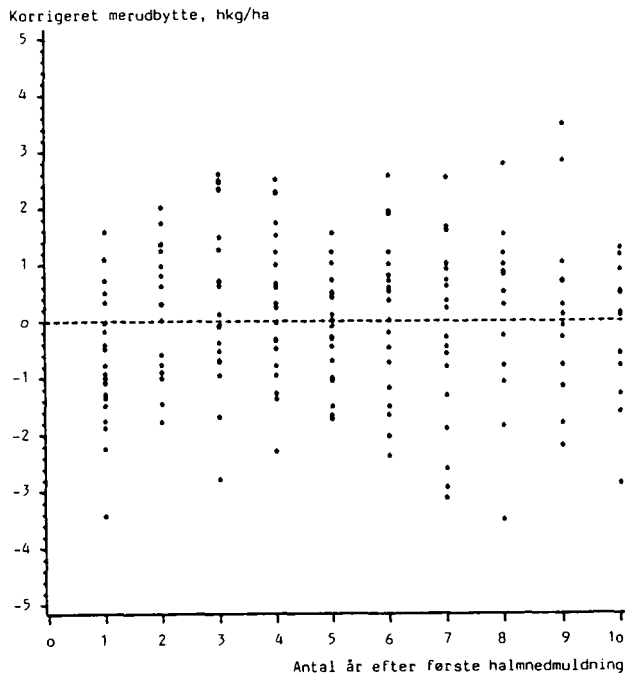


Fig. 52. Merudbytte for halmnedmuldning korrigeret til gennemsnitligt merudbytte gennem forsøgsperioden på 0 (nul). I alt 20 lokaliteter fra 5 forsøgsserier med første forsøgsår i 4 forskellige kalenderår (Olsen, 1985; Schjørring, 1986a; Skriver, 1984; upubliceret talmateriale, Askov og Højer forsøgsstationer).

Endvidere er jordtypens indflydelse på effekt af nedmuldning udeladt, idet merudbyttet for halm i det enkelte forsøgsår er fratrasket forsøgslokalitetens gennemsnitlige merudbytte for hele forsøgsperioden. Det således omregnede, store datamateriale viser, at der ikke er nogen tydelig tidsmæssig udvikling i merudbytte for halm. Der synes at være en tendens til stigende merudbytte for halm fra første til tredje nedmuldning, men de øvrige års resultater viser, at dette vanskeligt kan adskilles fra den tilfældige årsvariation.

Tyske forsøg med forskellig hyppighed af nedmuldning (0, 1, 2 eller 3 gange) i et 4-årigt sædskifte med korn og sukkerroer (tabel 36) påviste en stigende positiv effekt af halmnedmuldning med øget tildelingshyppighed på sandjord, mens antal nedmuldninger kun havde en lille og usikker indflydelse på halmeffekten på lerjord (Asmus & Völker, 1984).

Tabel 36. Halmnedmuldningens indflydelse på totaltørstofudbyttet i én rotation i et 4-årigt sædskifte med forskellig hyppighed af nedmuldning. Forholdstal (Asmus & Völker, 1984).

Antal nedmuldninger	Jordtype			Gennem- snit
	sandjord	sandblandet lerjord	lerjord	
0	100	100	100	100
1	103	99	102	101
2	107	99	102	102
3	107	98	103	102

Sammenfattende kan anføres, at der kun er fundet ubetydelige forskelle på halmnedmuldningens indflydelse på udbyttet ved engangsnedmuldning i forhold til gentagen årlig tildeling af halm.

6.1.5 Snitning og nedbringning

Teknik ved snitning og mekanisk nedbringning er gennemgået i kapitel 2 og halmsnitningens indflydelse på halmens omsætning er diskuteret i afsnit 4.1.9. Den følgende diskussion vil således alene omfatte findelingens og jordbearbejdningens indflydelse på halmens udbytteeffekt.

I kapitel 2 er refereret undersøgelser, hvis resultater bekræfter den almindelige antagelse, at en findeling af halmen forud for indblanding i jorden er nødvendig for at opnå en god jordbearbejdning. Derimod er der ikke noget, der tyder på, at snitningsgraden af strået i sig selv har stor indflydelse på omsætningen af halmen (se afsnit 4.1.9).

Tabel 37. Udbytte og merudbytte (hkg pr. ha) for snitning af halm på 2 jordtyper. Ensidig vårbyg (upubliceret talmateriale, Askov forsøgsstation).

	Grovsandet jord (JB1)		Sandblandet lerjord (JB3)	
	Halmen		Halmen	
	Hel	Snittet	Hel	Snittet
1. år efter nedmuldning				
1981	42,8	+3,3	37,0	+2,0
1982	24,6	+1,8*	45,2	+0,7
1983	20,2	+1,7	29,5	0
1984	55,1	+2,1	58,2	-0,7
1985	32,4	+3,8*	42,2	+0,1
Gns.	35,0	+2,6**	42,4	+0,4
2. år efter nedmuldning (eftervirkning)				
1982	31,8	+2,5	48,6	+2,6*
1983	19,4	+0,5**	32,6	+0,8
1984	58,7	+1,4	55,6	+0,1
1985	31,3	+1,9*	44,6	+0,9
1986	17,7	+2,8*	47,8	+1,1
Gns.	31,8	+1,8*	45,8	+1,1

* $P > 95\%$

** $P > 99\%$

Gennem en 5-års periode er indflydelsen af halmsnitning på udbytteeffekten undersøgt (tabel 37). På en grovsandet jord er der i alle forsøgsår fundet en positiv effekt af snitning i forhold til hel halm. Merudbyttet for snitningen

er statistisk sikkert og andrager gennemsnitligt 2,6 hkg pr. ha. På den sandblandede lerjord er der derimod intet udslag for snitningsgraden.

Den observerede jordtypeforskel kan muligvis tilskrives de to jordtypers forskellige potential for omsætning af halm (Kap. 4). En mindre god fordeling i jorden efter nedpløjning af hel halm kan tænkes i højere grad at påvirke omsætningsgraden (og dermed puljen af lettilgængeligt kvælstof i den følgende vækstsæson) i sandjorden end i den lerholdige jord.

På begge jordtyper er der alle forsøgsår fundet en positiv eftervirkning af halmsnitningen. Virkningen er statistisk sikker på sandjorden. Udbytteforskellen på sandjorden er på gennemsnitligt 1,8 hkg pr. ha.

På grundlag af de gennemførte markforsøg kan det konkluderes, at en snitning af halmen forud for nedmuldning har betydning for såvel jordbearbejdningens praktiske gennemførelse som for udbytteresultatet.

Resultaterne i fig. 36 viser, at halm efterladt på jordoverfladen omsættes langsommere end halm indblandet i jorden. En forsøgsserie med forskellig jordbearbejdning efter høst har dog samtidig vist (tabel 38), at nedbringningsmetoden ikke har større betydning for halmens effekt på udbyttet (Schjønning, 1986a).

Tabel 38. Kerneudbytte i relation til halm og nedmuldningsmetode. Gennemsnit for 4 jordtyper og 12 forsøgsår (Schjønning, 1986a).

Stubbehandling	Udbytte			
	hkg/ha		Forholdstal	
	-halm	+halm	-halm	+halm
Ubehandlet	45,6	-0,4	100	99
Skrælplojet	45,4	-0,6	100	98
Fråset 4- 7 cm	44,7	-0,6	98	97
Fråset 8-12 cm	44,6	-0,7	98	96

Det fremgår, at der kun er små forskelle i de relative udbytter efter forskellige stubbearbejdninger i jord uden halm og i jord tilført halm. Udbytte-niveauet er ca. 1,5% lavere efter nedmuldning af halm (gennemsnit for halmens virkning, i alt 48 forsøg). Nedmuldningsmetoden - inklusive undladelse af nedmuldning - synes således ikke at påvirke halmens indflydelse på udbyttet.

Gennemsnitstallene dækker naturligvis over års- og stedvariationer, men ud af de 48 enkeltforsøg blev der kun i 3 tilfælde målt en statistisk sikker vekselvirkning mellem halm og nedmuldningsmetode (Schjønning, 1986a).

De her refererede resultater påpeger, at der ved nedmuldning af en normal halmmængde forud for en vårsået afgrøde ikke er noget specielt krav til nedbringningsmetoden. Forudsat at halmen er snittet efter høst, og der ikke er problemer med rodukrudd i marken, kan mekanisk stubbearbejdning/halmedbringning med fordel udelades, således at nedmuldningen af halm alene sker ved pløjning (tabel 38).

6.1.6 Gylle og store halmmængder

Det er fremført, at tilførsel af gylle i forbindelse med nedmuldningen af halm kan fremskynde halmomsætningen og dermed muligvis også påvirke halmens effekt på udbyttet i den følgende afgrøde. Endvidere har kombinationen af halm og gylle også indgået i den løbende debat om N-udvaskning ved anvendelse af husdyrgødning om efteråret.

Fig. 53 viser resultater fra 6 års undersøgelser på to jordtyper. I forsøgsled uden gylletildeling har en normal halmmængde (4 tons pr. ha) givet ca. 2 hkg kerne i merudbytte pr. ha på sandjord og et lille udbyttetab på den lerholdige jord.

Større halmmængder reducerer merudbyttet for halm mere på sand- end på lerjorden. Dette bekræfter resultaterne i afsnit 6.1.5, hvor et dårligere resultat efter nedbringning af hel halm på grovsandet jord blev tolket som effekt af en ringere indblanding (lokalt store halmmængder). Fra fig. 53 kan beregnes, at en meget ujævn fordeling af halmen på sandjorden ($2/3$ af arealet uden halm, svarende til halmstreng med 12 t pr. ha ved en gennemsnitlig halmmængde på 4 t pr. ha) kan give et udbyttetab på op til 3 hkg pr. ha i forhold til en mere jævn fordeling af halmen. På den lerholdige jord betyder fordelingen langt mindre. Udbyttetabet ved 12 t halm pr. ha i forhold til en jævn fordeling af halmen kan beregnes til mindre end 0,5 hkg pr. ha.

Resultaterne i fig. 53 bekræfter den formodede positive vekselvirkning mellem halmedmuldning og gylletildeling, - mest udpræget for sandjorden. Det betyder, at der opnås en bedre effekt af såvel halm som gylle ved kombineret anvendelse, især ved de større halmmængder. Ved en jævn fordeling af en normal halmmængde er der imidlertid kun en lille effekt af samtidig gylleudbring-

ning.

Det skal tilføjes, at gødningsvirkningen af kvælstoffet i gyllen (35 t gylle pr. ha) generelt er lille ved de lave halmmængder. Det blev også undersøgt, hvorvidt udbringningstidspunktet for gylle havde betydning. Gyllens udbytteeffekt på sandjorden var størst ved udbringning i september i forhold til i december måned, mens det omvendte var tilfældet på den sandblandede lerjord. Udbringningstidspunktet påvirkede ikke den diskuterende vekselvirkning med halm.

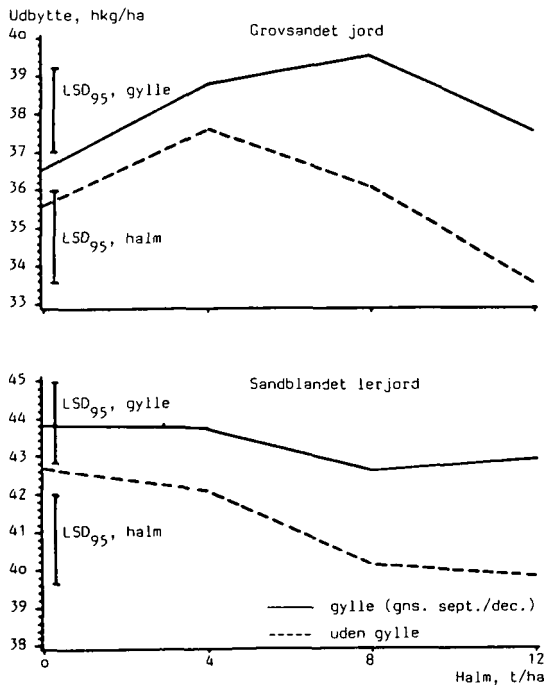


Fig. 53. Udbytteeffekt ved kombineret anvendelse af halm og gylle (35 t gylle pr. ha). Gennemsnit af 6 års forsøg (upubliceret talmateriale, Askov forsøgsstation).

6.1.7 Fodsygdomme

Såvel Statens Planteavlsforsøg som Landboorganisationerne har gennemført langvarige forsøgsrækker. Hverken gold- eller knækkefodsyge opformerer i større omfang ved nedmuldning end ved fjernelse eller afbrænding af halm (tabel 39).

Tabel 39. Goldfodsyge ved forskellig halmbehandling i ensidig vårbygdyrkning (% angrebne planter). Gennemsnit 1967-84 (Olsen, 1985).

Jordtype	JB nr.	Fjernet	Halm	
			Afbrændt	Nedmuldet
Grovsandet jord	1	21	19	22
Sandblandet ler	4	16	15	17
Lerjord	7	17	14	14

6.1.8 Nedmuldning forud for ikke-stråafgrøder

Der er kun udført få undersøgelser af halmnedmuldningens effekt på ikke-stråafgrøder. Asmus og Völker (1984) anfører på grundlag af tyske markforsøg med halmnedmuldning forud for kornafgrøder såvel som sukkerroer, kartofler og lupiner, at alle afgrøder reagerer ens for nedmuldet halm.

Tabel 40. Halmnedmuldningens indflydelse på tørstofudbyttet samt planteantallet i fodersukkerroe på marskjord. Forholdstal (upubliceret talmateriale, Højer forsøgsstation).

Forsøgsår	Tørstofudbytte, rod		Planteantal	
	halm		halm	
	fjernet	nedmuldet	fjernet	nedmuldet
1975	100	97	100	99
1976	100	104	100	102
1977	100	102	100	96
1978	100	90	100	92
1979	100	104	100	101
1980	100	95	100	90
Gns.	100	99	100	96

Under danske forhold er gennemført en forsøgsserie på marskjord, hvori fodersukkerroe (Korsroe Pajbjerg) indgik i sædskiftet: havre - vinterhvede - vårbyg - fodersukkerroe - vårbyg med efterårsnedbringning af halm efter alle stråafgrøder (tabel 40). Som gennemsnit af 6 års forsøg fandtes næsten upåvirket tørstofudbytte i roeafgrøden. Et enkelt år (1978) gav nedmuldningen dog en reduktion på ca. 10% i forhold til traditionel behandling. Plantetællinger i år med tendens til reduceret tørstofudbytte antyder, at effekten kan tilskrives et reduceret plantetal efter halmnedmuldning. Dette tilskrives en direkte effekt af halmen på planternes etableringsbetingelser snarere end en kvælstofeffekt.

Sammenfattende kan anføres, at nedmuldning af halm er en realistisk mulighed også forud for ikke-stråafgrøder.

6.2 Vintersød

Den stigende interesse for dyrkning af vintersød, det bebudede forbud mod afbrænding af halm på marken og miljøhandlingsplanens udspil om "grønne marker" har aktualiseret spørgsmålet omkring nedmuldning af halm forud for såning af vintersød. Problemstillinger omkring halmens indflydelse på plantevækst og udbytte er i høj grad interessante i forbindelse med etablering af en afgrøde få uger efter tilførsel af halm til jorden.

6.2.1 Jordtyper og jordbearbejdning

Siden 1981 har Statens Planteavlsvforsøg gennemført markforsøg på 5 jordtyper (tabel 41). Der er tale om fastliggende forsøg i ensidig vinterhvede (JB3, JB6 og JB7) eller med sædskifte af hvede og vinterbyg (JB1 og JB7). På alle lokaliteter er der konstateret meget store årsvariationer i halmens udbytteeffekt. Gennemsnitligt har halmnedmuldning givet et lille merudbytte på de lerholdige morænejorde (0,6-3 hkg kerne pr. ha). På en grovsandet jord er der fundet omtrent uændret udbytte, mens en marsk-lerjord har vist udbyttenedgang ved halmnedmuldning. På grund af de store årsvariationer er ingen af de anførte forskelle statistisk sikre.

Det samme gælder effekten af nedfræsning af halm straks efter høst set i forhold til ubehandlet stub med et "tæppe" af snittet halm indtil pløjning umiddelbart før såning.

De landøkonomiske foreninger har i gennemsnit af 3 forsøg på lerjord i 1986 fundet et merudbytte (1,9 hkg pr. ha) for halmnedmuldning forud for vinterhvede (Pedersen, 1987).

Tabel 41. Udbytte og merudbytte (hkg pr. ha) for nedmuldning af halm ved ensidig vinterhvededyrkning (se fodnoter) (upubliceret talmateriale, Højer og Askov forsøgsstationer).

	Forsøgsår	fjernet	Halm	
			efterladt ubehandlet til pløjning	fraset efter høst
Grovsandet jord JB1	1982*	27,5	-2,8	-1,0
	1983**	37,7	+9,8	+2,3
	1984**	52,9	+2,3	-1,6
	1985*	42,1	+2,1	-0,2
	1986**	35,8	-3,4	-7,0
	Gns. 5 år	39,2	+1,6	-1,5
Lerblandet sandjord JB3	1981	38,5	+1,2	-0,2
	1982	63,0	-0,5	+6,0
	1983	43,2	+6,2	+6,4
	1984	61,6	-1,2	+1,2
	1985	35,1	+8,5	+6,3
	1986	51,4	-1,1	+2,9
	Gns. 6 år	48,8	+2,2	+3,8
Sandblandet lerjord JB6	1982	67,3		+2,5
	1983	49,3		+14,9
	1984	63,7		-7,2
	1985	55,0		-2,4
	1986	65,0		-4,1
	Gns. 5 år	60,1		+0,6
Lerjord, moræne JB7	1982*	59,9	-0,2	+0,1
	1983**	53,1	+1,9	-1,0
	1984**	56,1	+6,1	+8,6
	1985*	70,9	-1,6	-0,4
	1986**	59,6	+0,9	+1,1
	Gns. 5 år	59,9	+1,4	+1,7
Lerjord, marsk JB7	1982	64,1		-1,0
	1983	69,4		-5,8
	1984	81,5		-0,1
	1985	63,6		+3,3
	1986	82,2		-4,2
	Gns. 5 år	72,1		-1,6

* vinterhvede, ** vinterbyg

6.2.2 Kvælstofgødskning

På 3 af de 5 lokaliteter (se tabel 41) er der gennemført forsøg ved 4 niveauer af forårs-tildelt kvælstof og et niveau af N-tildeling om efteråret. Fig. 54 viser udbyttet for forsøgsled uden og med halmnedmuldning. De anførte værdier er gennemsnit af 5-6 forsøgsår, og dækker over betydelige årsvariationer.

Udbytte, hkg/ha

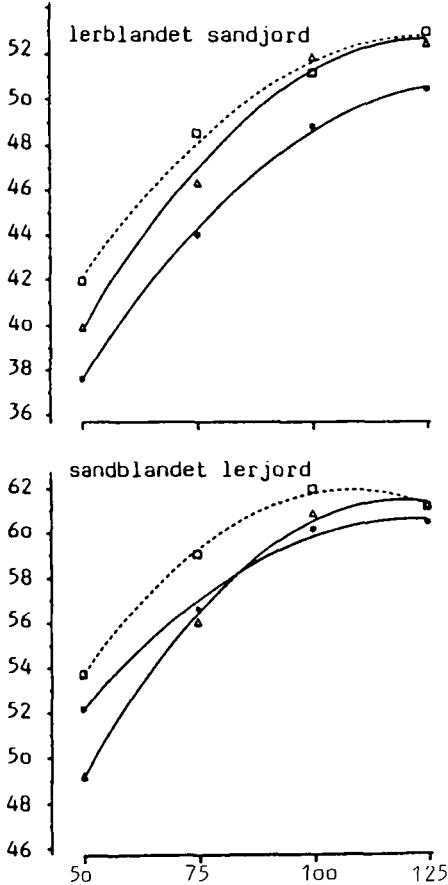
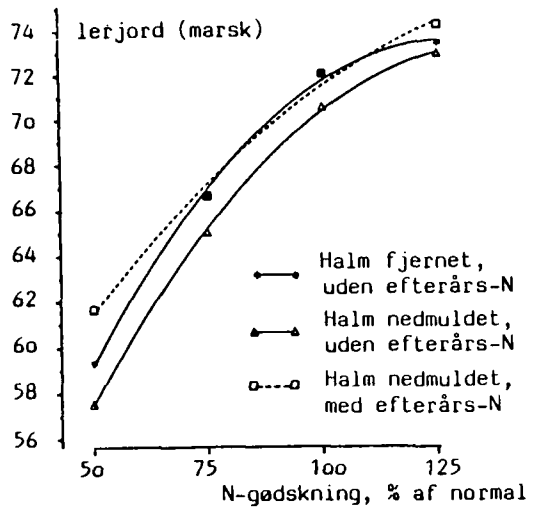


Fig. 54. Halmnedmuldningens indflydelse på udbyttekurven i vinterhvededyrking. Gennemsnit af 5-6 års forsøg (upubliceret talmateriale, Askov forsøgsstation).



På de to morænelerjorde fandtes en vekselvirkning mellem halm og forårs-N-niveau. Som for vårsæden på lerjord (fig. 50 og 51) har halmnedmuldningen givet en stejlere udbyttekurve, hvilket kan tolkes som en negativ N-effekt af halmen. I modsætning til vårsæden ses en positiv rest-effekt af halm ved de høje N-niveauer. Dette bør dog ikke tillægges for stor betydning på grund af de betydelige årsvariationer. Af fig. 54 fremgår endvidere, at tildeling af 35 kg N pr. ha om efteråret reducerer den halmforårsagede stigning i udbyttekurvens hældning. Ved normale niveauer af forårs-N har efterårsgødskningen en meget ringe effekt, hvilket er i overensstemmelse med resultater fra forsøg udført af de landøkonomiske foreninger (Pedersen, 1987).

6.3 Halmnedmuldning og reduceret jordbearbejdning

Nedmuldning af halm kan frygtes at skabe problemer i forbindelse med reduceret jordbearbejdning og direkte såning. En stor koncentration af halm i jorden har således en uheldig indflydelse på plantevæksten i sandjord (afsnit 6.1.6) og kan øge risikoen for dannelse af spirehæmmende stoffer i våde lerjorde (afsnit 4.1.8).

Tabel 42. Udbytte og merudbytte (hkg pr. ha) for nedmuldning af halm ved traditionel og reduceret jordbearbejdning i ensidig vårbygdyrkning.
Gennemsnit 7 år (upubliceret talmateriale, Højer forsøgsstation).

Jordtype	JB nr.	Jordbearbejdning			
		pløjet, 20 cm		fråset, 10 cm	
		-halm	+halm	-halm	+halm
Grov lerblandet sandjord	3	39,6	-1,3	33,0	-0,6
Fin lerblandet sandjord	4	49,9	-1,6	45,8	+0,9
Fin sandblandet lerjord	6	42,0	+0,2	42,1	-0,5
Lerjord, moræne	7	54,5	-0,5	51,9	-1,8
Lerjord, marsk	7	43,7	+1,9	44,3	-1,3

Statens Planteavlsvforsøg har gennemført en 7-årig forsøgsserie i ensidig vårbygdyrkning på 5 jordtyper, hvor halmnedmuldningen skete såvel ved traditionel pløjning til ca. 20 cm dybde som ved fræsning til ca. 10 cm dybde. Det

fremgår af tabel 42, at halmnedmuldning har givet omtrent samme beskedne udslag ved såvel traditionel som ved reduceret jordbearbejdning. Reduceret jordbearbejdning i vårsædsdyrkningen er altså realistisk ved nedmuldning af en normal halmmængde, men den reducerede jordbearbejdning har i sig selv givet et udbyttetab på 2,6 til 6,6 hkg pr. ha på 3 af de 5 undersøgte jordtyper. Dette resultat er i overensstemmelse med tidligere undersøgelser (Rasmussen, 1981), hvor der er fundet et udbyttetab for reduceret bearbejdningsdybde, især ved fræsning, på lerholdige morænejorde.

I to af de fastliggende forsøg med vintersæd, der ligger til grund for tabel 41, er det også undersøgt, hvorledes halmens udbytteeffekt påvirkes af reduceret jordbearbejdning. Tabel 43 viser, at den reducerede bearbejdning i jord uden halm på begge jordtyper har givet merudbytte. Halmtildelingens effekt på udbyttet udviser samme tendens i reduceret som i traditionelt bearbejdet jord. Den i afsnit 6.2 omtalte tendens til merudbytte for halm på lerholdige morænejorde synes således at være endnu tydeligere ved reduceret jordbearbejdning.

Tabel 43. Merudbytte (hkg pr. ha) for halmnedmuldning forud for vintersæd ved traditionel og reduceret jordbearbejdning. 5 års gennemsnit i sædskiftet vinterhvede - vinterbyg - vinterbyg (upubliceret talmateriale, Højer forsøgsstation).

Jordtype	JB nr.	Jordbearbejdning	Halm	
			fjernet	nedmuldet
Grovsandet jord	1	pløjet, 20 cm	40,8	-1,8
		fråset, 7-8 cm	44,1	-3,1
Lerjord	7	pløjet, 20 cm	61,0	+1,0
		fråset, 7-8 cm	62,8	+2,3

6.4 Dyrkningssikkerhed

De forskellige forhold, der er gennemgået i de hidtidige afsnit, giver det gennemsnitlige nettoresultat på afgrøder, som kommer til udtryk f. eks. i fig. 49. Imidlertid kunne en eller flere af de påvirkede dyrkningsfaktorer tænkes

at blive ændret i en retning, der mindsker risikoen for misvækst under dårlige klimatiske etablerings- og vækstforhold.

En undersøgelse på 3 jordtyper gennem 3 år viste, at der i en afgrøde af vårbyg ikke kunne spores effekt af halmnedmuldningen på planternes vandudnyttelse i forskellige dybder i rodzonen (Djurhuus, 1985). Samtidige målinger af rodtæthed under afgrøden viste ligeledes en manglende effekt af halmnedmuldningen (upubliceret talmateriale, Højer forsøgsstation). De tidligere diskuterede udbytteforskelle kan altså ikke forklares ved ændrede rodvækstbetingelser.

Dyrkningssikkerheden på en given jordtype kan udtrykkes ved variationen omkring gennemsnitsudbyttet gennem mange års dyrkning. Denne variation benævnes variationskoefficienten og er i tabel 44 beregnet efter 17 års dyrkning med forskellig halmbehandling. Den store afvigelse mellem jordtyper udtrykker den velkendte forskel i dyrkningssikkerhed mellem sand- og lerjorde, mens halmbehandlingen stort set ikke har påvirket forholdet.

Tabel 44. Dyrkningssikkerheden udtrykt ved variationskoefficienten, pct., for kerneudbytte efter 17 års ensidig dyrkning af vårbyg (beregnet fra Olsen, 1985).

Jordtype	Fjernet	Halm	
		Afbrændt	Nedmuldet
Grovsandet jord	27,5	26,1	26,3
Lerjord	14,3	13,9	14,5

7. STORE HALMMÆNGDER TIL JORDFORBEDRING PÅ GROVSANDSJORD

Grovsandsjord er karakteriseret ved et lerindhold under 5%, mens indholdet af grovsand udgør 50-100%. Det lave indhold af ler medfører, at jordens kapacitet for tilgængeligt vand, og evne til at tilbageholde næringsstoffer er ringe. Under muldlaget vil kapaciteten for tilgængeligt vand ofte være så lav og den mekaniske modstand så stor, at en rodudvikling ikke kan finde sted. På disse jorde vil vandmangel i vækstperioden oftest være den begrænsende faktor for udbyttet. Hedeselskabet har gennemført flere markforsøg med bl.a. dybpløjning og lertilførsel til forbedring af sandjordes dyrkningsværdi (Olsen, 1958; Jensen, 1971; Øvig & Larsen, 1974).

Muligheden for at øge grovsandede jordes dyrkningsværdi ved tilførsel af store mængder halm er undersøgt af Hedeselskabet i to serier af markforsøg. I perioden 1964-72 blev anlagt 3 forsøg på dyrket hedesandsjorde med nedpløjning af store mængder presset halm under normal pløjedybde (Larsen & Øvig, 1979). Endvidere blev der i 1980 anlagt et forsøg i forbindelse med retablering af et tidligere grusgravsareal (Grant & Øvig, 1986). I dette forsøg blev store mængder snittet halm fræset ned dels i pløjelaget, dels under pløjelaget. I alle forsøgene blev halmblandingen udført som en engangstilførsel af store halm-mængder (24-144 t pr. ha).

Formålet med forsøgene var at opnå en forøgelse af disse grovsandede jordes humusindhold samt at øge muldlagets tykkelse. Der er foretaget undersøgelser over halmens effekt på høstudbytterne, jordens struktur og vandholdende egenskaber, halmens nedbrydningsforløb samt næringsstofbalancen.

7.1 Store mængder halm på hedesandsjord

7.1.1 Forsøgsbetingelser

Der blev anlagt 3 forsøg på dyrket hedesandsjorde ved Arnborg syd for Herning. Jordene er stærkt podzolerede. Muldlaget (Ap-horisonten) varierer fra 20-30 cm. Udvaskningslaget (Ae-horisonten) er nu opblandet i muldlaget og i en del af allaget (Bs-horisonten). Allaget fremtræder som et mørkebrunt-sortfarvet lag af vekslende tykkelse. Undergrunden består af rødbrunt grovsand. Jordbundens tekstur fremgår af tabel 45 og forsøgsplan er angivet i tabel 46. En nærmere beskrivelse af forsøget er givet af Larsen og Øvig (1979).

Tabel 45. Teksturanalyse for forsøgsjordene ved Arnborg. Gennemsnit af forsøg 1, 2 og 3.

Horisont	Humus	Vægtprocent			
		Ler	Silt	Finsand	Grovsand
		<0,002 mm	0,002 - 0,02 mm	0,02 - 0,2 mm	0,2 - 2 mm
Muldlag ¹⁾ (Ap)	3,3	3,0	3,2	17,4	72,8
Allag ²⁾ (Bs)	0,9	2,8	2,5	14,6	79,1
Undergrund (C)	0,3	1,8	0,9	26,4	70,6

1) Muldlagets tykkelse i forsøg nr. 1 og 2 ca. 23 cm og i forsøg nr. 3 ca. 31 cm.

2) Allaget i forsøg nr. 3 meget tyndt eller manglende.

Tabel 46. Arnborg. Forsøgsplan med angivelse af pløjedybde og furebredde samt mængder af tilført halm.

Forsøg nr.	Anlagt	Forsøgsled	Pløjning		Halmtilførsel	
			dybde	bredde	lagtykkelse	mængder
			cm		cm	t/ha
1	1964	a	25	30	0	0
		b	70	80	0	0
		c	70	80	26	100
2	1969	d	25	30	0	0
		e	30	55	0	0
		f	30	55	13	72
		g	30	55	26	144
3	1972	h	25	30	0	0
		i	30	55	0	0
		k	30	55	4	24
		l	30	55	8	48
		m	30	55	12	72

7.1.2 Høstudbytter

Resultater af de årlige høstudbytter fremgår af tabel 47.

Tabel 47. Arnborg. Høstudbytter (hkg/ha). Betegnelse for forsøgsled, se tabel 46.

År	Afgrøde	Forsøgsled						
		Forsøg nr. 1			Forsøg nr. 2			
		a	b	c	d	e	f	g
1965	Byg	31,9	32,7	31,6				
1966	Roer	106	97	100				
1967	Byg	34,0	33,0	39,9				
1968	Byg	26,8	18,2	24,8				
1969	Roer	55	55	70				
1970	Byg	31,1	30,2	33,6	23,0	23,9	25,0	25,8
1971	Byg	30,6	31,3	31,2	31,1	32,8	35,3	35,5
1972	Byg	35,4	28,2	31,2	25,5	24,6	31,9	30,8
1973	Byg	13,9	10,8	13,0	11,9	10,9	13,9	15,2
1974	Byg	14,9	11,1	13,2	12,3	12,3	14,9	14,4
1976	Kartofler				233	228	228	285
Gns. byg		27,3	24,4	27,3	20,8	20,9	24,2	24,3

		Forsøg nr. 3				
		h	i	k	l	m
1973	Byg	27,9	29,1	34,0	32,2	34,5
1974	Byg	25,2	26,8	31,3	28,2	30,5
1975	Byg	24,5	26,0	24,2	24,9	29,1
1976	Byg	35,1	32,2	35,7	32,4	36,7
1977	Roer	112	115	122	115	131
1978	Byg	53,5	52,7	55,2	51,2	51,6
1979	Kartofler	440	425	388	386	439
1980	Byg	46,3	48,9	45,6	47,8	46,7
Gns. byg		35,4	36,0	37,7	36,1	38,2

I forsøg nr. 1 blev der i gennemsnit af 8 kornafgrøder fundet en negativ virkning for pløjning til 70 cm dybde uden tilførsel af halm. Årsagen til den negative effekt er sandsynligvis en muldfortynding i det øverste dyrkningslag. Ved tilførsel af halm ophørte dybpløjningens skadelige virkning delvis, men i gennemsnit blev udbyttet dog ikke større end på den ubehandlede jord. Sættes halmens virkning i forsøg nr. 1 i forhold til dybpløjning uden halm, opnåedes et merudbytte på gennemsnitlig 2,9 hkg kerne pr. ha.

I forsøg nr. 2 blev der opnået et merudbytte ved halmnedpløjning på gennemsnitlig 3,5 hkg kerne pr. ha. Der var tendens til, at merudbyttet steg i løbet af de første tre år efter halmtilførsel, hvorefter merudbyttet igen var aftagende. Efter 7 år var der dog stadig en lille positiv effekt på udbyttet.

Da forsøg nr. 3 blev vandet, har variationen i nedbør i de forskellige forsøgsår været uden betydning. Udbytterne i dette forsøg har da også generelt været højere end i forsøg nr. 1 og 2. I forsøg nr. 3 blev der straks fra forsøgets start opnået relativt store merudbytter for tilførsel af halm. I gennemsnit af de to første år udgjorde merudbytterne 3,7 hkg kerne pr. ha. Herefter var merudbytterne aftagende, og efter 3-4 år kunne der ikke længere måles en effekt af halmtilførslen.

I forsøgene 2 og 3 blev der tilført henholdsvis 2 og 3 forskellige halm-mængder. Resultaterne (tabel 47) viser, at halmmængderne tilsyneladende ikke har haft nogen indflydelse på udbyttets størrelse.

7.1.3 Jordens struktur, kemi og vandholdende egenskaber

Jordens indhold af organisk materiale: I 1978 blev der udgravet jordprofiler på tværs af pløjeretningen for at vurdere muldtykkelsen og halmformuldningsen.

I forsøg nr. 1, hvor der 14 år tidligere blev pløjet til ca. 70 cm dybde og nedlagt 26 cm halm, afspejler halmformuldningsen sig tydeligt ned til 70 cm dybde. Da pløjningen blev foretaget med en bred fure, har det ikke været muligt at behandle hele laget til 70 cm. Kun ca. 30% af jordvolumenet blev behandlet, og dette var meget tydeligt humusfarvet. Ved pløjning til 70 cm uden halmtilførsel forøgedes mulddybden fra ca. 22 cm til gennemsnitlig 28 cm, og samtidig aftog indholdet af organisk materiale fra ca. 3,1% til ca. 2,3%. Ved nedpløjning af halm er opnået en stigning i muldlagets indhold af organisk materiale fra ca. 2,3% til ca. 2,6% og en stigning i det behandlede allags indhold af organisk materiale fra 1,4% til 2,2%.

I forsøg nr. 2, hvor pløjedybden kun var ca. 30 cm blev der opnået en mere ensartet behandling. Ved pløjning til ca. 30 cm forøgedes mulddybden fra ca. 24 cm til ca. 29 cm, og samtidig aftog indholdet af organisk materiale fra ca. 3,9% til ca. 3,3%. Ved halmnedpløjningen blev halmen placeret i allaget. Efter 9 års forløb kunne halmens struktur erkendes i et 3-4 cm tykt lag. Dette halmbehandlede allag havde et indhold af organisk materiale på 5-7%, mens det oprindelige allag kun indeholdt 1,4% organisk materiale.

I forsøg nr. 3 blev halm lag af 0, 4, 8 og 12 cm tykkelse placeret i den nedre del af muldlaget, men under normal pløjedybde. 6 år efter forsøgets anlæg kunne halmens struktur praktisk taget ikke genfindes. Ligeledes kunne der ikke måles nogen sikker effekt af halmen på muldlagets tykkelse og indhold af organisk materiale. Det må konkluderes, at der er sket en langt hurtigere omsætning af halmen i dette forsøg end i forsøg nr. 2. Dette kan skyldes, dels at halmen blev nedpløjet i det oprindelige muldlag, hvor den biologiske aktivitet har været væsentlig højere, dels at arealet har været vandet optimalt og således ikke har været udsat for udtørring af betydning for halmens omsætning.

Jordens kationsombytningskapacitet: I 1978 blev der foretaget en analyse af jordlagenes kationsombytningskapacitet (CEC) i forsøg nr. 1 og 2. På de ubehandlede parceller målttes CEC til ca. 11 mækv. pr. 100 g i muldlaget og ca. 7 mækv. pr. 100 g i allaget. Ved tilførsel af 26 cm halm steg CEC i de behandlede allag til ca. 15 mækv. pr. 100 g i forsøg nr. 1 (ca. 30% af allaget) og til ca. 24 mækv. pr. 100 g i forsøg nr. 2 (ca. 3-4 cm allag).

Jordens vandholdende evne: I 1978 blev der endvidere foretaget retentionsanalyser i forsøg nr. 2. Kapaciteten for tilgængeligt vand blev bestemt til 2,0 mm pr. cm dybde i muldlaget og 0,7 mm pr. cm dybde i det oprindelige allag. I det halmbehandlede allag var kapaciteten for tilgængeligt vand steget til 3,1 mm pr. cm dybde. Dette lag var 3-4 cm tykt, og de mængder vand, der ekstra kunne stilles til rådighed for planterne, svarede til 10-12 mm. Denne forøgelse i vandkapaciteten er relativt begrænset, men kan være af betydning i en kortvarig tørkesituation.

7.1.4 Halmens omsætning

På grundlag af jordlagenes tykkelse, indholdet af organisk materiale målt i 1978, og volumenvægten kan halmens rest kulstof (C)-indhold beregnes. I forsøg nr. 1 blev der med 100 t halm pr. ha tilført ca. 40 t C pr. ha; efter 14 års forløb genfandtes ca. 6 t halm-C pr. ha. I forsøg nr. 2 blev der med 72 og 144 t halm pr. ha tilført ca. 30 og 60 t C pr. ha; efter 9 års forløb genfandtes ca. 8 og 16 t halm-C pr. ha. I forsøg nr. 3 kan den resterende halmmængde ikke beregnes.

Hvis det antages, at omsætningen af halm i forsøg nr. 1 og 2 forløber efter en første ordens reaktion, kan halveringstiden beregnes til ca. 4-5 år. Den længere halveringstid skyldes sandsynligvis, at halmen har været placeret under det biologisk aktive og velgødede muldlag.

I forsøg nr. 3 kan halveringstiden ikke beregnes; men den har været væsentlig hurtigere end i forsøg nr. 1 og 2 (se afsnit 7.1.3).

7.1.5 Næringsstofbalance

I de 3 forsøg med nedpløjning af store mængder halm har der ikke været tilført ekstra kvælstof; alligevel er der næppe tale om en negativ kvælstofeffekt.

Dels blev der fundet omtrent samme procentiske N-indhold i afgrøderne fra de ubehandlede og de halmbehandlede parceller, dels har mængden af kvælstof fjernet med afgrøden været størst på de halmbehandlede parceller (Larsen & Øvig, 1979). Årsagen er sandsynligvis, at halmen blev placeret ret dybt i jordprofilen.

7.2 Store mængder halm på tidligere grusgravsareal

7.2.1 Forsøgsbetingelser

Forsøget blev anlagt på et tidligere grusgravsareal ved Ans mellem Viborg og Silkeborg. Jordbunden består af grus og grovkornet sand med ca. 30-40 cm pålagt muld. Teksturen i 0-45 cm dybde fremgår af tabel 48. Muldlaget er stærkt grovsandet, men har dog et lerindhold på 4-6%. Arealet lå udyrket hen inden forsøgets anlæg. I forbindelse med opdyrkningen blev der grundforbedret med kalk, magnesium og kobber til et optimalt niveau for jordtypen. En nærmere beskrivelse af forsøget er givet af Grant og Øvig (1986).

Tabel 48. Tekstur analyse for forsøgsarealet ved Ans.

Dybde	Humus	Vægtprocent			
		Ler	Silt	Finsand	Grovsand
		<0,002 mm	0,002 - 0,02 mm	0,02 - 0,2 mm	0,2 - 2 mm
0-25 cm	2,1	6,1	3,8	12,5	75,5
25-45 cm	1,4	3,5	2,7	6,3	86,4

7.2.2 Høstudbytter

Der blev i alle forsøgsårene dyrket byg. Afgrøden har stået tyndt og variabelt, og udbyttene har været meget afhængig af nedbørsmængden og fordelingen i vækstsæsonen (tabel 49). Der blev på ingen af parcellerne konstateret væsentlige angreb af skadedyr eller sygdomme, derimod har der ofte været tegn på tørkeskader.

Der har i hele forsøgsperioden været større udbytter i forsøgsleddene med jordbehandling i 0-45 cm og 25-45 cm dybde end i forsøgsleddene med jordbehandling i 0-25 cm. Dette kan skyldes variation i muldtykkelsen og at dybdefræsningen har haft en positiv virkning på det pålagte og nogen uensartede muldrag.

Første år efter halmtilførsel blev der observeret en stor udbyttenedgang ved iblanding af de største halmmængder (40 og 80 t pr. ha) i det øverste vækstlag (behandlingsdybden 0-25 cm og 0-45 cm). Derimod var der ingen negativ effekt af halm tilført i større dybde (behandlingsdybden 25-45).

I de følgende fire år blev der målt merudbytter på parcellerne med halm (tabel 48). Der er tendens til, at merudbytterne steg med stigende halmtilførsel. I gennemsnit af denne periode udgjorde merudbyttet 2,7 hkg pr. ha ved anvendelse af de største halmmængder. Det ses, at merudbytterne var steget fra 2. til 3. år, hvorefter de igen var aftagende. Efter 5 år var der ingen sikker effekt af halmtilførsel.

Tabel 49. Ans. Høstudbytter (hkg/ha).

Iblandings- dybde	Halm mængde	Byg, hkg/ha					
	t/ha	1981	1982	1983	1984	1985	1982-85
0-25 cm	0	28,8	16,4	11,6	9,7	18,7	14,1
	20	30,6	19,3	14,0	10,7	21,2	16,3
	40	26,5	18,3	15,9	10,1	18,9	15,8
	80	13,7	19,8	18,6	11,0	19,4	17,2
0-45 cm	0	31,8	21,8	14,2	12,0	22,7	17,7
	20	31,2	23,7	19,0	12,8	23,1	19,7
	40	25,2	22,0	18,8	13,4	21,1	18,8
	80	18,2	22,4	21,6	15,0	21,2	20,1
25-45 cm	0	32,0	18,3	15,5	11,4	22,3	16,9
	20	32,9	20,9	16,1	12,2	22,7	18,0
	40	32,4	22,5	16,3	11,5	23,6	18,5
	80	31,5	23,1	17,3	12,5	25,1	19,5

7.2.3 Jordens struktur, kemi og vandholdende egenskaber

I tabel 50 er angivet nogle jordfysiske parametre for forsøgsleddene med 0 og 80 t halm pr. ha iblandet dybderne 0-25 cm og 25-45 cm. Der er vist jordens indhold af organisk materiale, kationsombytningskapaciteten samt kapaciteten for tilgængeligt vand.

Tabel 50. Ans. Jordens indhold af organisk materiale, kationombytningskapacitet (CEC) samt tilgængeligt vand efter tilførsel af 80 t halm/ ha. Forsøget blev anlagt i september 1980.

Iblandings- dybde	Halm- mængde t/ha	Dybde cm	Organisk materiale			CEC	Tilg. vand
			%			meq/100 g	mm
			nov. 1980	sept. 1981	sept. 1982-85	sept. 1985	1985
0-25 cm	0	0-25	2,0	2,0	1,8	9,7	36
	80	0-25	3,1	2,4	2,1	9,6	34
25-45 cm	0	0-25	2,3	2,3	2,0	13,0	36
		25-45	1,5	1,8	1,9	12,0	25
	80	0-25	2,0	2,2	2,0	12,3	35
		25-45	2,5	2,1	2,0	11,7	23

Jordens indhold af organisk materiale: Ca. 2 måneder efter tilførsel af 80 t halm pr. ha blev der noteret stigninger i jordens indhold af organisk materiale på ca. 1% i de respektive jordlag. Ved iblandingsdybden 0-25 cm steg indholdet fra 2,0 til 3,1%, og ved iblandingsdybden 25-45 cm steg indholdet fra 1,5 til 2,5%. I løbet af de næste par år aftog forøgelsen i organisk materiale hurtigt, og i perioden 2.-5. år efter halmtilførsel var den målte forøgelse lille og noget varierende fra år til år; i gennemsnit máltes en forøgelse på ca. 0,2% organisk materiale. Denne lille rest af organisk materiale kan sandsynligvis henregnes til jordens humusfraktion.

Jordens kationombytningskapacitet: Analyse af jordens kationsombytningskapacitet (CEC) blev udført 5 år efter tilførsel af halm (tabel 50). Det ses, at halmen på dette tidspunkt ikke havde nogen målelig effekt på jordens CEC.

Jordens vandholdende evne: Jordens evne til at stille vand til rådighed for planterne er belyst dels ud fra målinger af den aktuelle evapotranspiration dels ud fra bestemmelse af jordens kapacitet for tilgængeligt vand.

Den aktuelle evapotranspiration blev målt som forskel i årlig nedbør og afstrømning fra parcellerne (tabel 51). Det fremgår, at halmtilførslen ikke har haft nogen entydig effekt på den aktuelle evapotranspiration. Til sammenligning kan nævnes, at Djurhuus (1985) ikke fandt nogen klar effekt på evapotranspirationen efter gentagen halmnedmuldning på en lerblandet sandjord, mens der var en lille ekstra vandfordampning efter halmnedmuldning på en lerjord og en marskjord.

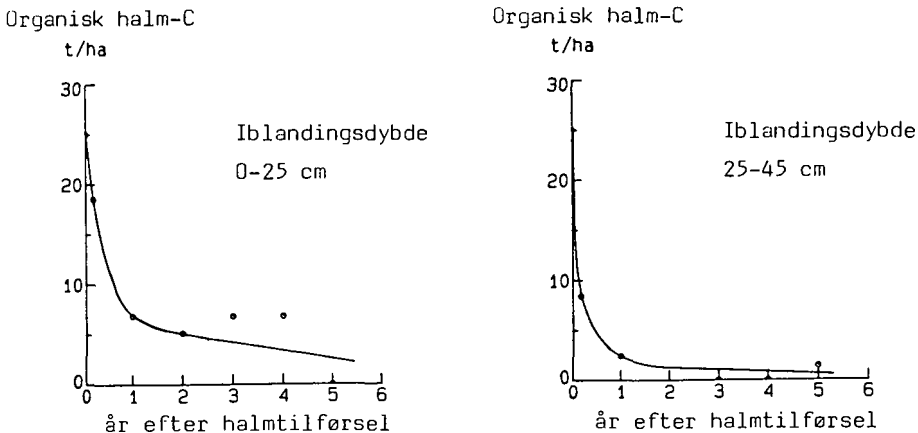
Tabel 51. Ans. Aktuel evapotranspiration.

Iblandingsdybde	Halmængde	mm				
	t/ha	1981	1982	1983	1984	1985
0-25 cm	0	344	266	279	134	343
	80	378	281	255	134	312
25-45 cm	0	417	301	235	168	373
	80	411	274	208	115	361

Bestemmelse af jordens kapacitet for tilgængeligt vand blev udført ca. 5 år efter halmtilførslen (tabel 50). Resultaterne viser, at halmen på dette tidspunkt ikke havde nogen indflydelse på jordens indhold af tilgængeligt vand. Det må konkluderes, at den rest af organisk materiale, der bliver tilbage efter halmomsætningen, ikke har påvirket denne sandjords vandholdende egenskaber.

7.2.4 Halmens omsætning

Med 80 t halm pr. ha blev tilført ca. 25 t C pr. ha. På grundlag af jordens indhold af organisk materiale og jordens volumenvægt er halmens rest C-indhold beregnet og afbildet som funktion af tiden (fig. 55). Fra figuren kan beregnes, at der ved iblanding af denne halmmængde i top laget (0-25 cm) blev mineraliseret ca. 26% af halmens C-indhold i løbet af de første 2 måneder, og efter første år var ca. 73% af halmens C-indhold nedbrudt. Det videre omsætningsforløb er mere usikkert, men det kan skønnes, at der efter 5 år restererede ca. 10% af halmens C-indhold. Ved iblanding af samme halmmængde under top laget (25-45 cm) blev der observeret en hurtigere mineralisering. Efter 2 måneder var der nedbrudt ca. 66% af halmens C-indhold, og efter første år restererede ca. 10%. Efter 5 år var der så godt som ingen målelig halmrest tilbage.



Figur 55. Ans. Halmens restkulstof (C)-indhold i jorden efter nedfræsning af 80 t halm/ha.

Den her beregnede nedbrydningshastighed, når 80 t halm pr. ha iblandes top-jorden, svarer til de nedbrydningshastigheder, der findes for nedmuldning af en normal halmproduktion (afsnit 4.1.3).

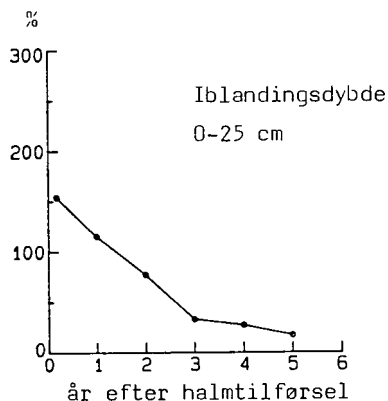
Den hurtigere omsætningshastighed af halmen iblandet det dybere jordlag i

nærværende forsøg må være forårsaget af, at der har været særlig gode betingelser for biologisk aktivitet her. Gennemluftningen på denne grovsandede jord er hurtig, samtidig med at det dybere jordlag ikke udtørres i samme grad som toplaget.

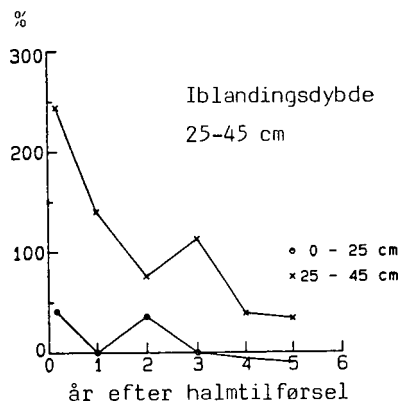
Den biologiske aktivitet i jorden blev bestemt ved CO_2 -udviklingen fra jordprøver, der var inkuberet i laboratoriet. Målingerne blev udført én gang hvert efterår.

Den gennemsnitlige biologiske aktivitet på de ubehandlede parceller målt til 24 mg CO_2 pr. g jord pr. døgn i 0-25 cm dybde og 20 mg CO_2 pr. g jord pr. døgn i 25-45 cm dybde. I figur 56 er vist forøgelsen i biologisk aktivitet som følge af nedfræsning af 80 t halm pr. ha. Ca. 2 måneder efter halmtilførslen udgjorde forøgelsen ca. 150%, når halmen blev iblandet toplaget (0-25 cm), og ca. 250%, når halmen blev iblandet det dybere jordlag (25-45 cm). Den større biologiske aktivitet i det dybere jordlag er i god overensstemmelse med de foran beskrevne nedbrydningshastigheder. I de følgende 3-4 år aftog den biologiske aktivitet nogenlunde jævnt, og efter 4-5 år udgjorde forøgelsen i biologisk aktivitet som følge af halmtilførsel 20-30% ved de to behandlingsdybder. Denne stigning i biologisk aktivitet har betydning for omsætningen af organisk materiale i jorden og kan hermed have betydning for bl.a. planternes kvælstof-forsyning.

Forøgelse i biologisk aktivitet



Forøgelse i biologisk aktivitet



Figur 56. Forøgelse i biologisk aktivitet (CO_2 udvikling ved 10 dages inkubation) efter tilførsel af 80 t halm/ha, Ans.

7.2.5 Næringsstofbalance

Den årlige kvælstofudvaskning og bortførsel med afgrøden er givet i tabel 52 for en 5-årig periode efter halmnedfræsning.

I første fase af halmomsætningen ses en binding af N, mens der i det senere omsætningsforløb sker en frigivelse af N. Dette har medført en reduceret N-udvaskning fra parcellerne med halm igennem de første 1-1½ år, men N-udvaskningen i de følgende år har været størst fra halmparcellerne. Merudvaskningen af N synes at være ophørt det 5. år.

N fastlæggelsen i forbindelse med halmomsætningen har det første år mindsket N-optagelsen i afgrøden hvor halmen blev iblandet topjorden (0-25 cm), mens der ikke blev observeret nogen effekt på afgrødens N-optagelse, når halmen blev iblandet det dybere jordlag (25-45 cm). Den efterfølgende mineralisering af N har derimod medført en øget N-optagelse i afgrøderne, uanset om halmen var iblandet topjorden eller det dybere jordlag. Meroptagelsen af N var stadigvæk målelig i det 5. vækstår.

Tabel 52. Ans. Kvælstofudvaskning og -optagelse med afgrøderne fra parceller uden halm og fra parceller med 80 t halm/ha tilført i 1980.

Iblandings- dybde	Halmængde		kg N/ha				
	t/ha		1981	1982	1983	1984	1985
0-25 cm	0	udvasket	65	35	58	48	45
		optaget	54	39	33	31	53
	80	udvasket	37	55	68	80	45
		optaget	27	46	51	35	58
25-45 cm	0	udvasket	54	62	92	87	51
		optaget	61	42	42	36	63
	80	udvasket	36	81	158	134	54
		optaget	60	52	45	39	71

Med 80 t halm tilførtes ca. 400 kg N pr. ha. I de 5 forsøgsår blev der målt en merudvaskning på i alt ca. 75 kg N pr. ha, samt en merbortførsel med afgrøden på i alt ca. 15 kg N pr. ha. Hvis det antages, at der ikke er sket anden bortførsel af halmkvælstof, vil der stadig være ca. 300 kg N pr. ha tilbage i jorden fra halmen. Det kan beregnes, at denne N mængde svarer til ca. 0,15-0,30% humus, hvilket er nogenlunde i overensstemmelse med den målte forøgelse af organisk materiale i jorden i sidste del af forsøgsperioden.

Tabel 53. Ans. Jordens gødningstilstand 2 måneder (1980) og 5 år (1985) efter halmnedfræsning. Ved nedfræsningsdybden 0-25 cm udtoges kun jordprøver i dette lag, mens der ved nedfræsningsdybden 25-45 cm blev udtaget jordprøver i 0-25 cm og i 25-45 cm dybde.

Nedfræsningsdybde		0-25 cm		25-45 cm			
Prøveudtagningsdybde		0-25 cm		0-25 cm		25-45 cm	
Halmængde, t/ha		0	80	0	80	0	80
Rt	1980	6,4	6,6	6,3	6,0	5,6	5,8
	1985	6,0	6,0	5,9	6,1	5,8	5,7
Ft							
(3 mg P/100 g)	1980	7,6	7,6	7,1	5,9	7,9	9,4
	1985	8,1	8,7	9,3	11,1	9,7	10,1
Pt							
(1 mg P/100 g)	1980	-	-	-	-	-	-
	1985	3,6	3,7	4,0	3,9	4,1	3,9
Kt							
(mg K/100 g)	1980	3,1	11,3	4,1	3,2	2,4	6,8
	1985	11,0	10,4	12,6	12,5	10,8	9,6
Mgt							
(mg Mg/100 g)	1980	1,5	2,1	2,0	1,6	1,2	1,7
	1985	3,4	2,6	4,0	4,4	3,9	3,3

Med 80 t halm tilføres ca. 60 kg P pr. ha. Denne fosformængde har ikke kunnet spores i hverken fosforsyretallene, Ft, eller fosfortallene, Pt (tabel 53). Ligeledes var fosforindholdet i afstrømningsvandet upåvirket af halmtilførslen.

Med 80 t halm tilføres ca. 600 kg K pr. ha, hvoraf omtrent 80% er umiddelbart udvaskeligt (afsnit 4.1.1). Ca. 2 måneder efter nedfræsning af denne halmmængde var kaliumtallene (Kt) steget fra ca. 3 til 11 i topjorden (0-25 cm) og fra ca. 2 til 7 i det dybere jordlag (25-45 cm). Kt på de halmbehandlede parceller forblev omtrent uændret igennem de næste 5 år, mens Kt på de ikke-halmtilførte parceller steg gradvist i denne perioden på grund af gødskning. I de sidste år af forsøgsperioden var der ingen tydelig forskel i Kt ved de forskellige forsøgsbehandlinger (tabel 53). Analyser af afstrømningsvandet har vist, at der igennem hele forsøgsperioden er udvasket mere kalium fra de halmbehandlede parceller end fra de ikke-halmbehandlede parceller. Merudvaskningen i perioden 1980-85 er beregnet til ca. 225 kg K pr. ha.

Med 80 t halm tilføres ca. 40 kg Mg pr. ha. Nedfræsning af denne halmmængde har ikke haft nogen målelig effekt på jordens magnesiumindhold (tabel 53) eller udvaskningen af magnesium.

Resultaterne af de her beskrevne gødningstalanalyser svarer til, hvad der blev fundet ved årlig nedmuldning af en normal halmmængde gennem 10 år (Skriver, 1984, afsnit 5.2).

8. SAMMENDRAG

Kap. 1. INDLEDNING

Den skønnede totale *bjærgbare* halmproduktion udgjorde i 1984/85 ca. 5,5 mio. t, hvoraf kornafgrøder tegnede sig for 5 mio. t (byg alene 2,6 mio. t). Den *totale* halmmængde må forventes at være en trediedel højere end den *bjærgbare* mængde.

Beregninger af halmmængder baseres ofte på kerneudbytter, som omregnes til halmudbytter ved hjælp af forsøgsmæssigt bestemte halm/kerne forhold. Halm-/kerne forholdet varierer med kornart, sort og de dyrkningsmæssige forhold iøvrigt, og udviser betydelig årsvariation. Anvendelse af vækstreguleringsmidler øver kun en mindre indflydelse på halm/kerne forholdet.

Halmforbruget 1984/85 er beregnet til 3,4 mio. t, hvilket ved normale høstbetingelser giver et *bjærgbart* halmoverskud på 2,1 mio. t. De største poster i halmforbruget er foder (1,3 mio. t), strøelse (1,1 mio. t) og fyringsformål (0,7 mio. t). Afhængigt af udbyttensniveauet kan halmoverskuddet beregnes til mellem 1 og 4 mio. t.

Ved en halmproduktion på 5 t pr. ha kan halm ved høst indeholde 20-45 kg N, 1,5-7,5 kg P og 15-120 kg K. Halmens indhold af lignin er typisk 15-20%, mens råcellulose udgør ca. 50% af tørstoffet.

Kap. 2. NEDMULDNINGSTEKNIK

Snitningen af halm kan ske med en mejetærskermonteret snitter eller med en traktormonteret snitter.

Under vindstille forhold kan en mejetærskermonteret snitter fordele halmen jævnt i op til 6 m bredde, men under blæsende forhold (især kørsel mod eller med vindretningen) kan halmen fordeles relativt ujævnt.

Ved anvendelse af mejetærskermonteret snitter snittes halmen i samme arbejdsgang som tærskningen, hvor halmen normalt er tør og let at snitte. Effektbehovet til snitningen kan reducere mejetærskerens tærskkapacitet og den snittede halm kan blæse ind i den utærskede afgrøde.

Arbejdsbehovet ved brug af traktormonteret snitter er ca. ¼ time pr. ha. Det samlede energiforbrug er ca. dobbelt så stort som ved brug af mejetærskermonteret snitter.

Ved brug af traktormonteret snitter kan eventuel lang stub og lejesædsrester snittes. Der må forventes et større slid på knive og andre snitterdele på

grund af sten og jord.

En lang række redskaber er i stand til at udføre en rimelig halmnedmuldning på de fleste jordtyper. Ploven er det mest udbredte og bedst egnede redskab til at fjerne halmen fra jordoverfladen, men det er ofte nødvendigt at anvende andre redskaber inden pløjningen. Stubharven er velegnet til opblanding af halm både på let og svær jord såfremt der er god afstand mellem de enkelte tænder.

Tallerkenredskaber sikrer, at halm ikke slæbes sammen og medfører drift-stop. To behandlinger vil ofte være nødvendigt.

Spaderulleharven kan give problemer med halmvikling ved kørsel i stub efter lejesæd. Iøvrigt er redskabet velegnet til halmiblanding på lette til middelsvære jordtyper. To behandlinger giver det bedste resultat.

Fræseren kan ved én behandling sikre en god opblanding af halm og jord, og den stiller kun små krav til halmens snitningsgrad.

Rotorharver kan foretage en god sammenblanding af halm og jord i én arbejds-gang. Ved brug af tandpakkevalse sikres god kontakt mellem jord og halm, og marken efterlades med en fast og jævn overflade.

Kap. 3. JORDENS FYSISKE EGENSKABER

Gentagen halmnedmuldning forøger kun meget svagt aggregatdannelsen og stabiliteten af tørre aggregater i såbedet. På sandede jorde med risiko for jordfygning vil nedmuldning af halm næppe have praktisk betydning udover en direkte læ-effekt fra halmrester, der er overfladisk nedmuldet.

På lerholdige jorde fandtes en betydelig stabilisering af overfladejordens aggregater under våde forhold. Dette kan tolkes som en positiv indflydelse af halmen på jordens modstand over for tilslemning.

På alle jordtyper fandtes en lille forøgelse af jordens porøsitet efter mange års nedmuldning.

Målinger af porerumfangets fordeling viste, at rumfanget af grovporer større end ca. 0,03 mm forøges ved halmtildelingen. Derimod påvirkede halmen ikke mængden af plantetilgængeligt vand, som tilbageholdes af porerne mellem 0,0002 og 0,03 mm.

Undersøgelser af jordens evne til at bortlede overskudsvand viste en tendens til bedret ledningsevne efter mange års halmnedmuldning. Effekten var dog kun sikker på en sandjord, hvor der fandtes en 3,5 gange større infiltration efter nedmuldning af halm (markmåling).

Der kunne ikke påvises nogen effekt af halmnedmuldning på luftskiftebetingelserne i våd jord.

Halmnedmuldning påvirker ikke overfladejordens temperatur i planternes etablerings- og vækstperiode.

Der fandtes ikke en målelig ændring i jordens mekaniske egenskaber som konsistens, forskydningsstyrke og bæreevne.

Kap. 4. OMSÆTNING AF HALM

Efterlades halm på stubben efter høst kan en betydelig del af halmens næringsstoffer udvaskes til den underliggende jord, idet ca. 90% af K-, 60% af P- og 20% af N-indholdet i halmen kan udvaskes med vand. Udvasket halm omsættes langsommere især ved højere temperaturer (15°C).

Halm på jordoverfladen omsættes betydeligt langsommere end nedmuldet halm, mens omsætningen stort set er den samme for halm placeret i 5, 10 eller 15 cm dybde. For halm nedmuldet i 10 cm dybde er halvdelen af halmen omsat ved forårets begyndelse, og efter et års omsætning resterer 10-20% af halmen på lerjord og 20-35% på sandjord.

Nedmuldet halms N-indhold stiger efter nedmuldningen og når et maksimum i forårsperioden. Ved en halmproduktion på 5 t pr. ha kan halmen fastlægge op til 16 kg N pr. ha. Fastlæggelsens størrelse afhænger af jordens indhold af lettilgængeligt N og er størst på lerjorde. Fastlæggelsen af N i halm på jordoverfladen er betydeligt mindre, mens der kun er små forskelle i N-fastlæggelsen i halm nedmuldet til 5, 10 eller 15 cm dybde.

Halmens N-indhold på nedmuldnings tidspunktet er uden større betydning for omsætningsforløbet, idet halm med højt N-indhold (0,92%) dog viser et større vægttab og et større N-tab i løbet af den første måned efter nedmuldningen.

Pesticidrester i halmen og anvendelse af pesticider efter høst spiller kun en lille rolle for halmens omsætning i jorden.

Dannelse af spirings- og væksthæmmende stoffer i forbindelse med halmens omsætning kan forekomme på meget svære jorde under iltfattige forhold. En hæmmende virkning kan forekomme i de første 3-5 uger efter nedmuldningen, hvis der samtidigt er nedmuldet store halmmængder, opnået en ringe opblanding af halm og jord, og hvis der er en tæt kontakt mellem udsæd og halm.

Halmens snitlængde påvirker ikke halmens omsætning i jorden, med mindre der sker en egentlig formaling af halmen. Den brydning af stråets struktur, der sker ved mejetærskningen, øger formodentlig halmens nedbrydelighed.

Halmnedmuldning øger jordens samlede pulje af organisk stof med 3 til 15% sammenlignet med behandlingerne halm fjernet eller halm afbrændt. Stigningen afhænger af jordtype, størelsen af den enkelte halmtildeling, samt antallet af halmnedmuldninger. Nedmuldning af halm medfører en stigning i jordens mikrobielle biomasse på ca. 50%. Ligeledes bevirker halmnedmuldning en væsentlig stigning i jordens regnormebestand.

Kap. 5. NÆRINGSSTOFBALANCE

Kun en mindre del af halmens kvælstofindhold bliver optaget i den følgende afgrøde, mens hovedparten af kvælstoffet indbygges i jordens organiske kvælstofpulje.

Ved en normal halmproduktion kan halmen nedsætte kvælstofnedvaskningen i den følgende efterårs- og vinterperiode med 5-15 kg pr. ha.

Halmnedmuldning medfører en stigning i jordens K-indhold. Stigningen er dog på længere sigt lille sammenholdt med den med halmen tilførte mængde kalium.

Kap. 6. PLANTEVÆKST OG KERNEUDBYTTE

Markforsøg med nedmuldning af halm i ensidig vårbygdyrkning viser, at nedmuldning lader sig praktisere uden større indflydelse på den øvrige dyrkningsteknik.

Nedmuldning forud for vårbyg resulterer i et lille merudbytte på sandede jorde (ca. 1,3 hkg pr. ha), mens lerblandede sandjorde giver et lille udbyttetab for halm (ca. 1,2 hkg pr. ha). For jorde med over ca. 10% ler er udbyttepåvirkningen beskeden. Der er ikke økonomisk basis for udbringning af kvælstof i forbindelse med halmnedmuldningen.

Det økonomisk optimale N-niveau påvirkes praktisk taget ikke af halmnedmuldningen. Den gennemsnitlige nettoeffekt af halm på afgrødens N-forsyning kan vurderes til ca. +3 kg N pr. ha for en grovsandet jord og til ca. -6 kg N pr. ha for en morænelerjord. En forøgelse af N-tildelingen er dog ikke i stand til at opveje det beskedne udbyttetab. Der er ikke nogen nævneværdig forskel på halmens udbytteeffekt ved engangsnedmuldning (f. eks. i et sædskifte) i forhold til gentagen årlig halmnedmuldning.

Ved nedmuldning af snittet og af hel halm fandtes en jordtypeforskel i udbytteeffekten. En dårlig blanding af jord og halm (ved nedbringning af ikke-snittet halm) har størst betydning i grovsandet jord i forhold til mere lerholdige jorde.

I forhold til jævn fordeling af halm på marken, kan nedmuldning af halmstrengene efter mejetærskeren på en grovsandet jord give udbyttetab på op til 3 hkg kerne pr. ha.

Forsøg med forskellig stubbehandling i jord med og uden et "tæppe" af snittet halm har vist, at nedmuldningsmetoden oftest ikke påvirker halmens effekt på udbyttet.

Tilførsel af gylle samtidig med nedmuldning af halm påvirker ikke halmefekten væsentligt ved en normal halmafgøde. Ved store halmmængder fandtes en positiv vekselvirkning mellem halm og gylle. Gyllens gødningsværdi var oftest beskedent.

Halmnedmuldning påvirker ikke kornets fodsygdomme ved ensidig vårbygdyrking.

Gentagen halmnedmuldning til vintersæd viser et lille merudbytte forud for vinterhvede og vinterbyg (lerholdige morænejorde). Der er ikke fundet sikre forskelle i halmens udbytteeffekt mellem forsøgsled med overfladisk nedarbejdning af halmen efter høst og forsøgsled med ubehandlet "halmtæppe" indtil pløjning før såning. Tildeling af kvælstof om efteråret i forbindelse med halmnedmuldning forud for vintersæd er overflødig.

17 års forsøg med gentagen halmnedmuldning har ikke påvirket dyrkningssikkerheden på hverken sandede eller lerholdige jorde.

Kap. 7. STORE HALMMÆNGDER TIL JORDFORBEDRING PÅ GROVSANDSJORD

Forsøg med engangstilførsel af store halmmængder til grovsandet jord med henblik på at øge muldlagets humusindhold samt dets tykkelse er gennemført dels på hedesandsjord ved Arnborg (24-144 t presset halm pr. ha pløjet ned under normal pløjedybde), dels på et tidligere grusgravsareal ved Ans (20-80 t snittet halm pr. ha fræset ned enten i normal pløjedybde eller under normal pløjedybde).

Det er muligt at øge grovsandede jordes dyrkningssikkerhed i en kortere årække efter engangstilførsel af store mængder halm. Tilføres halmen pløjelaget kan der forventes en negativ kvælstofeffekt på udbyttet det første år. Iblandes halmen under normal pløjedybde er dette næppe tilfældet. Merudbytterne i de følgende år synes at være begrænset til den periode, hvor der sker en aktiv omsætning af halmen. Halmens langtidseffekt i form af en meget lille stigning i jordens humusindhold synes uden betydning, når halmtilførslen foretages én gang som i nærværende forsøg.

De i forsøgene opnåede merudbytter er små i forhold til omkostningerne ved de anvendte nedmuldningsteknikker.

9. SUMMARY

Chap. 1. INTRODUCTION

The amount of straw that was collectable in 1984/85 has been estimated to 5.5 mio. t of which cereals accounted for 5.0 mio. t (spring barley alone, 2.6 mio. t). The total production of straw is taken to be a factor 1.3 higher (7.2 mio. t).

Estimates of straw yields are often based on grain yields, the straw production being calculated from the straw/grain ratio of a limited number test fields. The straw/grain ratio is variable and depends on crop species and variety, and on growing conditions in general. The ratio also show considerable year-to-year variation. Growth regulators show less effect on straw/grain ratios.

The 1984/85 straw consumption estimate was 3.4 mio. t leaving a collectable average straw surplus of 2.1 mio. t. Straw feeding accounted for 1.3 mio. t, bedding for 1.1 mio. t and heating for 0.7 mio. t. Depending on the growing conditions, the annual straw surplus range from 1 to 4 mio. t.

Assuming a straw yield of 5 t per ha, the straw contains 20-45 kg N, 1.5-7.5 kg P and 15-120 kg K. The content of lignin is typically 15-20%, while cellulose make up ca. 50% of straw dry matter.

Chap. 2. CHOPPING AND INCORPORATION TECHNIQUES

Straw choppers may be combine-mounted or tractor-operated.

Under calm conditions, a combine mounted chopper may spread the straw evenly up to a 6 m wide band, but under windy conditions (especially when passing against or along the wind-direction) on uneven spread may result.

A combine-mounted chopper ensures that straw is chopped when dry and less contaminated with soil and stones. The power demand of the straw chopper may reduce the performance of the combine and chopped straw may blow into unharvested crop.

The labour invest of a tractor operated chopper is about 0.5 hour per ha. The total energy consumption is, however, twice that of the combine mounted chopper. Applying a tractor operated chopper eliminates problems with long stubble and residues after crop lodging. Cutter knives may however suffer additional wear due to stone and soil contamination of the straw, especially when straw has been left in the swath for extended periods.

A number of implements may be used to cultivate and incorporate the straw. The plough is the most widely used and the best way of removing straw from the soil surface, but it is often necessary to use other implements before ploughing.

A tine cultivator is suitable for mixing soil and straw on light as well as more heavy soils provided the tines are well spaced.

Disc cultivators ensure that uncut straw, remaining after chopping, will not cause work stops. Two passes will often be necessary.

The spade-disc cultivator may suffer from the winding of uncut straw residues, but is generally efficient for straw/soil mixing on lighter soils. Two passes produce the best result.

The traditional rotavator will in one pass ensure a good mixing of straw and soil, and the chopping length of straw is less critical.

Other powered rotary cultivators also provide a good mixing in one pass, and the use various rollers achieve a good contact between soil and straw, and the field is left with a smooth and firm surface.

Chap. 3. SOIL PHYSICAL CONDITIONS

The effect of straw on the structure and physical conditions of soil was examined in field trials located all over Denmark. Soil was sampled in spring prior to seed-bed preparation and again just after harvest.

Repeated incorporation of straw has only a negligible effect on the stability of dry aggregates in sandy soils subject to wind erosion.

In loamy soils, straw incorporation will cause a considerable stabilization of aggregates under wet conditions.

In all soils, repeated straw application will give rise to a small increase in soil porosity. The larger pore volume is due to an increased volume of coarse pores ($>30\mu\text{m}$), while no effect on plant-available water can be expected.

As an effect of the increased coarse-pore-volume, a slightly better water permeability was seen in field as well as in laboratory measurements.

No effect of straw incorporation on soil air diffusivity, soil strength parameters and soil temperature was observed.

Chap. 4. STRAW DECOMPOSITION

Straw left on the stubble may experience a leaching loss of plant nutrients. Water may leach 90% of the K, 60% of the P and 20% of the N content in mature straw and leached straw decomposes more slowly. Decomposition rates are almost similar for straw placed in 5, 10 and 15 cm depth. Straw placed in 10 cm depth suffers a 50% weight loss during autumn and winter, and after one year 10-20% is left on sandy loam and 20-35% on coarse sand soil.

The N content straw increases after incorporation and reach a maximum in spring. Assuming a straw yield of 5 t per ha, straw may immobilize up to 16 kg N per ha. The amount of N immobilized depends on the content of easy-available N in the soil. Straw on the soil surface immobilize considerably less N, while only minor differences were seen for straw placed in 5, 10 og 15 cm depth.

The straw N content at the time of incorporation has only a slight influence on straw decomposition, although high-N straw shows a higher first-month loss of N and dry weight.

Pesticide residues in the straw and the use of pesticides after harvest do not significantly influence straw decomposition.

Phytotoxins may be produced during the decomposition of straw in heavy clay soils and under anaerobic conditions. The adverse effects seem to be limited to the initial 3-5 weeks after incorporation and are probably confined to situations where large quantities of straw has been incorporated and a poor mixing of straw and soil obtained.

Chopping length do not seem to affect straw decomposition in soil. The breaking-up of straw structure by combine harvesting probably increases straw decomposability.

Repeated straw incorporation increases soil organic matter levels by 3-15%. The observed increases depend on soil type, the amount of straw added annually and the number of straw additions untill a new steady state is reached. Straw increases the soil microbial biomasse by 50% and increases the number of earthworms.

Chap. 5. NUTRIENT BALANCE

Only a small part of the straw N content is taken up by the following crop. The main part of the N is incorporated into the soil organic N pool.

An average straw yield (5 t per ha) may reduce N leaching during autumn and winter by 5-15 kg N per ha.

Straw incorporation increases soil K content, but the long-term increase is small compared to the amount of K added in straw.

Chap. 6. PLANT GROWTH AND GRAIN YIELD

Incorporation of straw can be practised without major changes of soil management.

Straw incorporation prior to spring barley produces a small yield increase (1.3 hkg per ha) on sandy soils (<5% clay), while a small decrease in yield (1.2 hkg per ha) was observed for sandy soils with 5-10% clay. For loamy soils (>10% clay), the influence of straw was negligible. N-application in the autumn is superfluous for all soil types.

Straw incorporation has only minor effects on the economical optimum N level during the growing season. It can be estimated, that repeated incorporation of straw produces net effects of +3 and -6 kg N per ha on a coarse sand and a sandy loam, respectively. However, at optimum N levels, yield depressions on loamy soils cannot be eliminated by additional N application.

Yield responses to straw incorporation do not differ between the first addition and a subsequent one applied after several years of repeated treatment.

On light sandy soils, good chopping and optimum areal distribution of straw are more important than on loamy soils. On coarse sand soils, incorporation of straw in the swaths after a combine may reduce grain yields with 3 hkg per ha.

Chopped straw, requires no special tillage implements for incorporation. Experiments on four soils showed, that zero-tillage and ploughing to 20 cm depth in December gave the highest yield compared to various tillage methods, irrespective of straw application.

Slurry applied at the time of straw incorporation do influence the effect of straw on the yield. When large amounts of straw are incorporated, a positive interaction between slurry and straw was seen.

Straw incorporation has no influence upon the attack of *Gaumannomyces graminis* and *Pseudocercospora herpotricoides*.

Straw incorporation prior to sowing of winter cereals has demonstrated small yield increases in loamy soils and nearly unaffected yields in a coarse sand soil. No significant difference was seen between shallow incorporation just after harvest and a mulch of chopped straw left until the ploughing

prior to sowing of the seed. Application of N in autumn when incorporating straw prior to winter cereals is superfluous.

Chap. 7. LARGE AMOUNTS OF STRAW FOR SOIL IMPROVEMENT ON EXTREMELY COARSE SANDY SOILS

Field trials with large amounts of straw added as a once-only procedure were established on extremely coarse sandy soils in order to increase soil organic matter contents and the depth of the top soil. Straw was placed either in the existing top soil or below the top soil layer.

One site was an extremely coarse-sanded, former heathland soil, the other site an abandoned gravel pit area. The sites were treated with 24-144 and 20-80 t straw per ha, respectively.

It was possible to increase the yield stability for a short period of years after addition of straw. When straw is incorporated in the top soil, a negative N effect on crop yield can be expected the first year after incorporation. This is not expected when straw is placed below the top soil. Excess yields during the following years seem to be confined to the period with active straw decomposition. The long-term effect of straw in terms of a slight increase in organic matter content is not important when straw is applied once only.

The excess yields obtained in these experiments are small compared to the actual costs of the incorporation of these large amounts of straw.

REFERENCER

- Anonym 19xx. Futterwerttabellen der DLG - Mineralstoffe. Arbeiten der DLG bd. 62. DLG-Verlag-GmbH, Frankfurt am Main.
- Asmus, F. & Völker, U. 1984. Einfluss von Strohdüngung auf Ertrag und Bodeneigenschaften in Fruchtfolgen mit unterschiedlichem Getreideanteil. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenk. 28, 411-417.
- Aulakh, M. S., Rennie, D. A. & Paul, E. A. 1984. The influence of plant residues on denitrification rates in conventional and zero tilled soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 48, 790-794.
- Baver, L. D., Gardner, W. H. & Gardner, W. R. 1972. Soil Physics. John Wiley & Sons, 478 pp.
- Bremner, J. M. & Shaw, K. 1958. Denitrification in soil II. Factors affecting denitrification. J. Agric. Sci. (Cambr.) 51, 40-52.
- Cameron, R. S. & Posner, A. M. 1979. Mineralisable organic nitrogen in soil fractionated according to particle size. J. Soil Sci. 30, 565-577.
- Chepil, W. S. 1955. Factors that influence clod structure and erodibility of soil by wind: V. Organic matter at various stages of decomposition. Soil Sci. 80, 413-421.
- Chepil, W. S. & Woodruff, N. P. 1963. The physics of wind erosion and its control. Adv. Agron. 15, 211-302.
- Chichester, F. W. 1969. Nitrogen in soil organo-mineral sedimentation fractions. Soil Sci. 107, 356-363.
- Christensen, B. T. 1983. Nedbrydning af halm. I. Byghalms tab af næringssalte og tørstof som følge af udvaskning med vand. Tidsskr. Planteavl 87, 477-487.
- Christensen, B. T. 1984a. Nedbrydning af halm. II. Vægttab af byghalm placeret på jordoverfladen og ændringer i halmens indhold af plantenæringsstoffer. Tidsskr. Planteavl 88, 37-48.
- Christensen, B. T. 1984b. Nedbrydning af halm. III. Jordtype og plantedækkes indflydelse på nedmuldet havre- og hvedehalms vægttab og indhold af næringssalte. Tidsskr. Planteavl 88, 431-442.
- Christensen, B. T. 1985a. Decomposability of barley straw: effect of cold-water extraction on dry weight and nutrient content. Soil Biol. Biochem. 17, 93-97.

- Christensen, B. T. 1985b. Wheat and barley straw decomposition under field conditions: effect of soil type and plant cover on weight loss, nitrogen and potassium content. *Soil Biol. Biochem.* 17, 691-697.
- Christensen, B. T. 1985c. Carbon and nitrogen in particle size fractions isolated from Danish arable soils by ultrasonic dispersion and gravity-sedimentation. *Acta Agric. Scand.* 35, 175-187.
- Christensen, B. T. 1986a. Straw incorporation and soil organic matter in macro-aggregates and particle size separates. *J. Soil Sci.* 37, 125-135.
- Christensen, B. T. 1986b. Barley straw decomposition under field conditions: effect of placement and initial nitrogen content on weight loss and nitrogen dynamics. *Soil Biol. Biochem.* 18, 523-529.
- Christensen, B. T. 1987a. The use of particle size fractions in soil organic matter studies. *INTECOL Bull.* 15, (i trykken).
- Christensen, B. T. 1987b. Decomposability of organic matter in particle size fractions from field soils with straw incorporation. *Soil Biol. Biochem.* 19, 429-435.
- Christensen, B. T. & Sørensen, L. H. 1985. The distribution of native and labelled carbon between soil particle size fractions isolated from longterm incubation experiments. *J. Soil Sci.* 36, 219-229.
- Christensen, B. T. & Sørensen, L. H. 1986. Nitrogen in particle size fractions of soils incubated for five years with 15-N-ammonium and 14-C-hemicellulose. *J. Soil Sci.* 37, 241-247.
- Christensen, B. T., Jensen, M. B. & Klausen, P. S. 1987. Springhaler og mider (mikroarthropoder) i forskellige jordtyper med ensidig vårbygdyrkning og halmnedmuldning. *Statens Planteavlsforsøg, Beretning nr. 5* (i trykken).
- Danmarks Statistik 1985. *Landbrugsstatistik 1984*, 114-122.
- Djurhuus, J. 1985. Vandforbrug i vårbyg i relation til jordbearbejdning og halmnedmuldning. *Tidsskr. Planteavl* 89, 47-59.
- Elliott, L. F. & Lynch, J. M. 1984. The effect of available carbon and nitrogen in straw on soil and ash aggregation and acetic acid production. *Plant Soil* 78, 335-343.
- Elliott, L. F., Cochran, V. L. & Papendick, R. I. 1981. Wheat residue and nitrogen placement effects on wheat growth in the greenhouse. *Soil Sci.* 131, 48-52.
- Eriksen, S. (red) 1987. *Spørgeundersøgelse vedrørende halmnedmuldning. Meddelelse nr. 1131. Maskintjenesten.*

- Fodgaard, S. 1982. Halmoverskud på lands-, amts- og kommuneniveau. Jordbrugsøkonomisk Institut, Rapport nr. 11. Landhusholdningsselskabets Forlag, København.
- Fodgaard, S. 1985. Økonomien ved bjærgning og lagring af halm. Statens Jordbrugsøkonomiske Institut, Rapport nr. 24, p. 79. Landhusholdningsselskabets Forlag, København.
- Fountaine, E. R., Brown, N. J. & Payne, P. C. J. 1956. The measurement of soil workability. Trans. 6th Int. Cong. Soil Sci. 6, 495-504.
- Fredrickson, J. K., Koehler, F. E. & Cheng, H. H. 1982. Availability of 15-N-labeled nitrogen in fertilizer and in wheat straw to wheat in tilled and no-till soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 46, 1218-1222.
- Grant, R. O. & Øvig, J. K. 1986. Halm til grundforbedring af grovsandet jord. Hedeselskabets forsøgsvirksomhed, Beretning nr. 30, 35 pp.
- Grossbard, E. & Cooper, S. L. 1974. The decay of cereal straw after spraying with paraquat and glyphosate. Proc. 12th British Weed Control Conference 2, 337-344.
- Grossbard, E. & Harris, D. 1979. Effects of herbicides on the decay of straw. I red. E. Grossbard: Straw Decay and its Effect on Disposal and Utilization. John Wiley & Sons Ltd., 167-176.
- Grossbard, E. & Harris, D. 1981. Effects on straw decay of the herbicides paraquat and glyphosate in combination with nitrogen amendments. Ann. appl. Biol. 98, 277-288.
- Guerif, J. 1979. Mechanical properties of straw-effects on the soil. I red. E. Grossbard: Straw Decay, and its Effect on Disposal and Utilization. John Wiley & Sons Ltd., 73-81.
- Harper, S. H. T. & Lynch, J. M. 1981a. The kinetics of straw decomposition in relation to its potential to produce the phytotoxin acetic acid. J. Soil Sci. 32, 627-637.
- Harper, S. H. T. & Lynch, J. M. 1981b. The chemical components and decomposition of wheat straw leaves, internodes and nodes. J. Sci. Food Agric. 32, 1057-1062.
- Harper, S. H. T. & Lynch, J. M. 1982. The role of water-soluble components in phytotoxicity from decomposing straw. Plant Soil 65, 11-17.
- Jensen, M. B. 1985. Interactions between soil invertebrates and straw in arable soil. Pedobiologia 28, 56-69.

- Jensen, N. K. 1971. Dybdebearbejdningsforsøg. Hedeselskabets forøgsvirksomhed, Beretning nr. 12, 152 pp.
- Jørgensen, I. 1981. Ensidig dyrkning af byg og vårhvede: Halmens indflydelse på udbytte, kvalitet og fodsyeangreb. Tidsskr. Planteavl 85, 115-125.
- Kjellerup, V. K. 1986. Halmnedmuldnings indflydelse på kvælstofudvaskning fra sandjord. Lysimeterforsøg. Statens Planteavlsforsøg, Meddelelse nr. 1880.
- Kofoed, A. D. & Klausen, P. S. 1971. Kvælstofvirkning i nogle ældre og nyere bygsorter. Tidsskr. Planteavl 75, 7-26.
- Kofoed, A. D. & Klausen, P. S. 1983. Gødningsvirkning af afgasset og ikke afgasset gylle. Tidsskr. Planteavl 87, 119-128.
- Kutzbach, H. D. 1983. Dresch- und Trennsysteme neuer Mähdrescher, Landtechnik, Heft 6, 1983.
- Kyed, K. & Thomsen, C. 1985. Landbruget i 1984. Tidsskr. Landøkonomi 172, 7-42.
- Landbrugets informationskontor 1974. Mineralstofftabel, p. 10-13.
- Larsen, V. & Øvig, J. K. 1979. Halm til jordforbedring af sandjord. Hedeselskabets forsøgsvirksomhed. Meddelelse nr. 8, 15 pp.
- Lehfeldt, J. & Kullmann, A. 1982. Bestimmung der Konsistenzgrenzen von Böden unter Verwendung eines Penetrometers. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenk., 26, 617-621.
- Lowe, L. E. & Hinds, A. A. 1983. The mineralization of nitrogen and sulphur from particle-size separates of gleysolic soils. Can. J. Soil Sci. 63, 761-766.
- Lynch, J. M. 1978. Production and phytotoxicity of acetic acid in anaerobic soils containing plant residues. Soil Biol. Biochem. 10, 131-135.
- Lynch, J. M. & Harper, S. H. T. 1983. Straw as a substrate for cooperative nitrogen fixation. J. Gen. Microbiol. 129, 251-253.
- Lynch, J. M., Harper, S. H. T., Chapman, S. J. & Veal, D. A. 1984. Biodegradation of lignocelluloses in agricultural wastes. I red. Ferrero, G. L. et al.: Anaerobic Digestion and Carbohydrate Hydrolysis of Waste. Elsevier Applied Science Publ., 136-145.
- Madsen, H. B. 1975. Aggregatstabilitetsanalyse. Geografisk Tidsskr. 74, 70-78.
- Malkomes, H.-P. 1980. Strohrotteversuche zur Erfassung von Herbizid-Nebenwirkungen auf den Strohumsatz im Boden. Pedobiologia 20, 417-427.

- Malkomes, H.-P. & Pestemer, W. 1981. Einfluss von Pflanzenschutzmitteln in Wintergetreide auf biologische Aktivität im Boden. Teil I. Dehydrogenaseaktivität und Strohabbau. Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh. IX, 301-311.
- Myers, R. J. K. & Paul, E. A. 1971. Plant uptake and immobilization of 15-N-labeled ammonium nitrate in a field experiment with wheat. I: Nitrogen-15 in Soil-Plant Studies. IAEA, Vienna, 55-64.
- Myrold, D. D. & Tiedje, J. M. 1985. Establishment of denitrification capacity in soil: effects of carbon, nitrate and moisture. Soil Biol. Biochem. 17., 819-822.
- Nömmik, H. 1956. Investigations on denitrification in soil. Acta Agric. Scand. 6, 195-228.
- Olsen, C. C. 1985. Halmhåndteringens indflydelse på kerneudbytte og goldfodsyge ved ensidig dyrkning af vårbyg. Statens Planteavlsforsøg. Meddelelse nr. 1845.
- Olsen, M. 1958. Orienterende forsøg vedrørende jordens dybdebehandling. Hedselskabets forsøgsvirksomhed, Beretning nr. 3, 41 pp.
- Olvång, H. 1977. Benomyl - restmängder i halm samt inverkan på daggmask och halmnedbrytning. Växtskyddsnotiser 41, 115-120.
- Pedersen, C. Å. 1987. Jordbehandling - Fjernelse, afbrænding eller nedmuldning af vintersædshalm. I red. F. Bennetzen: Oversigt over Landsforsøgene 1986, 61.
- Powlson, D. S., Brookes, P. C. & Christensen, B. T. 1987. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. Soil Biol. Biochem. 19, 159-164.
- Powlson, D. S., Jenkinson, D. S., Pruden, G. & Johnston, A. E. 1985. The effect of straw incorporation on the uptake of nitrogen by winter wheat. J. Sci. Food. Agric. 36, 26-30.
- Puig-Gimenez, M. H. & Chase, F. E. 1984. Laboratory studies of factors affecting microbial degradation of wheat straw residues in soil. Can. J. Soil Sci. 64, 9-19.
- Rasmussen, K. J. 1981. Reduceret jordbearbejdning ved monokultur i byg. Tidsskr. Planteavl 85, 171-183.

- Rexen, F. P. 1970. Undersøgelser over dansk halms kemiske sammensætning. Meddelelser fra Halmafdelingen ved Forskningsinstituttet for Handels- og Industriplanter 6, nr. 1, p. 1-37.
- Rice, W. A. 1979. Influence of the nitrogen content of straw amendments on nitrification activity in waterlogged soil. Soil Biol. Biochem. 11, 187-191.
- Sain, P. & Broadbent, F. E. 1977. Decomposition of rice straw in soils as affected by some management factors. J. Environ. Qual. 6, 96-100.
- Sauerbeck, D. R. & Gonzalez, M. A. 1977. Field decomposition of carbon-14-labelled plant residues in various soils of the Federal Republic of Germany and Costa Rica. I Soil Organic Matter Studies, vol. 1. IAEA, Vienna, p. 159-170.
- Schjønning, P. 1984. Halmnedmuldning og -afbrænding i relation til aggregater i jord. Tidsskr. Planteavl 88, 593-608.
- Schjønning, P. 1985a. Porøsitetsforhold i landbrugsjord. I. Modeller og jordtypeforskelle. Tidsskr. Planteavl 89, 411-423.
- Schjønning, P. 1985b. Porøsitetsforhold i landbrugsjord. II. Effekt af halmnedmuldning og jordbearbejdning. Tidsskr. Planteavl 89, 425-433.
- Schjønning, P. 1986a. Nedmuldning af halm ved ensidig dyrkning af vårbyg. I. Jordtypens, stubbearbejdningens og kvælstofgødsningens betydning for halmens indflydelse på udbyttet. Tidsskr. Planteavl 90, 133-140.
- Schjønning, P. 1986b. Nedmuldning af halm ved ensidig dyrkning af vårbyg II. Indflydelse af halm og stubbearbejdning på jordens indhold af kulstof, kvælstof, kalium og fosfor. Tidsskr. Planteavl 90, 141-149.
- Schjønning, P. 1986c. Jordens permeabilitet for luft og vand i relation til jordtype samt nedmuldning og afbrænding af halm. Tidsskr. Planteavl 90, 227-240.
- Schjønning, P. 1986d. Halmnedmuldning og N-udvaskning. NJF-publikation, Seminar nr. 81 "Plantenæringsstoffer og vandmiljø", 86-95.
- Schjønning, P. 1986e. Shear strength determination in undisturbed soil at controlled water potential. Soil Till. Res., 8, 171-179.
- Schjønning, P. 1986f. Husdyrgødningens indflydelse på jordens fysiske egenskaber. Seminarrapport, NJF-seminar nr. 113, Vestby, Norge.
- Schnürer, J., Clarholm, M. & Rosswall, T. 1985. Microbial biomass and activity in an agricultural soil with different organic matter contents. Soil Biol. Biochem. 17, 611-618.

- Schröder, D. 1975. Der Einfluss agrochemischer Substanzen und der Wasserversorgung auf die Strohverrottung im Boden. Z. Acker- u. Pflanzenbau 141, 240-248.
- Seligman, N. G., Feigenbaum, S., Feinerman, D. & Benjamin, R. W. 1986. Uptake of nitrogen from high C-to-N ratio, 15-N-labeled organic residues by spring wheat grown under semi-arid conditions. Soil Biol. Biochem. 18, 303-307.
- Skriver, K. 1984. Jordbehandling - Forsøg med nedbringning af halm. I red. F. Bennetzen: Oversigt over Landsforsøgene 1983, 50-52.
- Staniforth, A. R. 1979. Cereal Straw. Clarendon Press, Oxford.
- Stepniewski, W. 1981. Oxygen diffusion and strength as related to soil compaction. II. Oxygen diffusion coefficient. Polish J. Soil Sci. 14, 3-13.
- Sørensen, L. H. 1967. Duration of amino acid metabolites formed in soils during decomposition of carbohydrates. Soil Sci. 104, 234-241.
- Sørensen, L. H. 1972. Stabilization of newly formed amino acid metabolites in soil by clay minerals. Soil Sci. 114, 5-11.
- Sørensen, L. H. 1974. Rate of decomposition of organic matter in soil as influenced by repeated air drying-rewetting and repeated additions of organic material. Soil Biol. Biochem. 6, 287-292.
- Sørensen, L. H. 1981. Carbon-nitrogen relationships during the humification of cellulose in soils containing different amounts of clay. Soil Biol. Biochem. 13, 313-321.
- Sørensen, L. H. 1983. Size and persistence of the microbial biomass formed during the humification of glucose, hemicellulose, cellulose, and straw in soils containing different amounts of clay. Plant Soil 75, 121-130.
- Sørensen, L. H. 1987. Organic matter and microbial biomass in a soil incubated in the field for 20 years with ¹⁴C-labelled barley straw. Soil Biol. Biochem. 19, 39-42.
- Waggar, M. G., Kissel, D. E. & Smith, S. J. 1985. Mineralization of nitrogen from nitrogen-15 labeled crop residues under field conditions. Soil Sci. Soc. Amer. J. 49, 1220-1226.
- Wallace, J. M. & Elliott, L. F. 1979. Phytotoxins from anaerobically decomposing wheat straw. Soil Biol. Biochem. 11, 325-330.
- Wijk, W. R. van & Vries, D. A. de. 1963. Periodic temperature variations in a homogeneous soil. I red. Wijk, R. W. van: Physics of plant environment. North-Holland Publ. Co., Amsterdam, 102-143.

Øvig, J. K. & Larsen, V. 1974. Tilførsel af ler til sandjorder. Hedeselskabets forsøgsvirksomhed, Beretning nr. 13, 40 pp.

Institutter m.v. under Statens Planteavlsvforsøg

Sekretariatet

Statens Planteavlskontor, Kongevejen 83, 2800 Lyngby	02 85 50 57
Informationstjenesten, Lottenborgvej 2, 2800 Lyngby	02 87 53 27
Dataanalytisk Laboratorium, Lottenborgvej 24, 2800 Lyngby	02 87 06 31
Sekretariatet for Sortsafrøvning, Tystofte, 4230 Skælskør	03 59 61 41
Statens Bisygdomsnævn, Kongevejen 83, 2800 Lyngby	02 85 62 00
Jordbrugsmeteorologisk Tjeneste, Forsøgsanlæg Foulum, 8833 Ørum Sønderlyng	06 65 25 00

Landbrugscentret

Statens Forsøgsstation, Ledreborg Allé 100, 4000 Roskilde	02 36 18 11
Statens Forsøgsareal, Bornholm, Rønnevej 1, 3720 Åkirkeby	03 97 53 10
Statens Biavlsvforsøg, Ledreborg Allé 100, 4000 Roskilde	02 36 18 11
Statens Forsøgsstation, Rønhave, 6400 Sønderborg	04 42 38 97
Statens Forsøgsstation, Tylstrup, 9380 Vestbjerg	08 26 13 99
Statens Forsøgsstation, Tystofte, 4230 Skælskør	03 59 61 41
Afdeling for Grovfoder, Forsøgsanlæg Foulum, 8833 Ørum Sønderlyng . . .	06 65 25 00
Statens Forsøgsstation, Borris, 6900 Skjern	07 36 62 33
Statens Forsøgsstation, Silstrup, 7700 Thisted	07 92 15 88
Statens Forsøgsstation, Askov, 6600 Vejen	05 36 02 77
Statens Forsøgsstation, Lundgård, 6600 Vejen	05 36 01 33
Statens Forsøgsstation, 6280 Højer	04 74 21 04
Afdeling for Kulturteknik, St. Jyndeved, 6360 Tinglev	04 64 83 16
Statens Planteavls-Laboratorium, Lottenborgvej 24, 2800 Lyngby	02 87 06 31
Centrallaboratoriet, Forsøgsanlæg Foulum, 8833 Ørum Sønderlyng	06 65 25 00

Havebrugscentret

Institut for Grønsager, Kirstinebjergvej 6, 5792 Årslev	09 99 17 66
Institut for Væksthuskulturer, Kirstinebjergvej 10, 5792 Årslev	09 99 17 66
Institut for Frugt og Bær, Kirstinebjergvej 12, 5792 Årslev	09 99 17 66
Institut for Landskabsplanter, Hornum, 9600 Års	08 66 13 33

Planteværnscentret

Institut for Pesticider, Lottenborgvej 2, 2800 Lyngby	02 87 25 10
Institut for Plantepatologi, Lottenborgvej 2, 2800 Lyngby	02 87 25 10
Planteværnsafdelingen i Skejby, Udkærsvej 15, Skejby, 8200 Århus N	06 10 30 88
Institut for Ukrudtsbekæmpelse, Flakkebjerg, 4200 Slagelse	03 58 63 00
Analyselaboratoriet for Pesticider, Flakkebjerg, 4200 Slagelse	03 58 63 00