

Halmnedmuldning og -afbrænding i relation til aggregater i jord

Incorporation and burning of straw in relation to aggregates in soil

Per Schjønning

Resumé

For 12 danske jorde er det blevet undersøgt, hvorledes nedmuldning af bygghalm ved ensidig korndyrkning påvirker overfladejordens aggregater. Afbrænding af halm blev undersøgt for 3 jorde. Der blev anvendt sigteanalyser på jord i såvel våd som tør tilstand.

For alle undersøgte jorde var jordens primærpartikler i forskellig grad bundet i aggregater. Jordens lerindhold havde stor betydning for aggregatdannelsen, mens forskelle mellem jordtyper mht. aggregeringsgraden ikke kunne korreleres til indhold af organisk stof.

Stabiliteten af aggregater var ligeledes i høj grad bestemt af jordtypen. Lerjorde med 12–13% ler havde 3–5 gange så stor stabilitet af aggregater mellem $\frac{1}{2}$ –1 mm som en grovsandet jord.

Nedmuldning af halm medførte for de fleste jorde, at jordens resistens mod vinderosion øgedes svagt. Ligeledes var der større aggregatstabilitet efter nedmuldning end efter fjernelse af halmen.

På jorde med 9–13% ler gav nedmuldning af halm en sikker bedring af stabiliteten af store aggregater i våd tilstand.

Der kunne ikke registreres sikre udslag for afbrænding i forhold til fjernelse af halm.

Nøgleord: Halmnedmuldning, halmafbrænding, aggregatstabilitet, vinderosion.

Summary

12 Danish soils were examined in regard to the influence of straw incorporation in soil upon the aggregates in the topsoil. Burning of straw was examined for 3 soils.

Wet and dry sieving techniques were applied to soil samples in the laboratory.

For all soils examined, the primary particles were united in aggregates. Degree of aggregation depended on clay content.

When relating topsoils of different texture, differences in aggregation could not be correlated to content of organic matter in soils.

Clay content also determined aggregate stability. Topsoils with 12–13% clay had an aggregate stability that amounted to 3–5 times the value for a coarse sandy soil.

An index was calculated, which expressed the risk of wind erosion. Incorporation of straw increased this index for most of the soils, i.e. reduced risk of erosion, though the effect was small. Aggregate stability, too, increased where straw had been incorporated in soil instead of removed.

For soils with a clay content of 9–13% incorporation of straw was found to give an increase in stability of large wet aggregates in relation to removal of straw.

No significant effects could be detected of burning in relation to removal of straw.

Key words: Incorporation of straw, burning of straw, aggregate stability, wind erosion.

Indledning

Jord i naturlig tilstand er et trefaset system bestående af fast stof, vand og luft, hvor det faste stof udgøres af mineralske partikler og organisk stof. Jordens *primærpartikler* vil for dyrkede jordes pløjelag aldrig forefindes løst lejrede og uafhængige mellem hinanden, idet fysiske, kemiske og biologiske processer medfører en samling af enkeltelementerne i knolde eller aggregater – også kaldet *sekundærpartikler*. Arten og mængden af organisk stof har stor betydning for strukturdannelsen. Endvidere har de forskellige dyrkningsforanstaltninger – først og fremmest jordbearbejdningen – indflydelse på stabilitet og størrelsesfordeling af overfladejordens aggregater.

Nedmuldning af halm medfører et højere indhold af svært omsætteligt organisk stof i jorden i forhold til fjernelse af halmen (*Sauerlandt & Gierke, 1961; Chater & Grasser, 1970; Scheffer & Schachtschabel, 1973; Kolenbrander, 1974; Persson, 1980; Skriver, 1984*).

Det er nærliggende at antage, at halmen di-

rekte eller i form af nedbrydningsprodukter vil kunne påvirke aggregatdannelsen og stabiliteten af aggregater i overfladejorden. Dette er således også fundet i en række undersøgelser (*Harris et al., 1966; Boguslawski & Debruck, 1970*).

Formålet med denne undersøgelse har været at klarlægge, hvorvidt der for danske jordtyper vil være en effekt af halmnedmuldning på overfladejordens aggregater. Også afbrænding af halm på marken er blevet undersøgt. Der er anvendt to forskellige analysemetoder, der begge sigter på en karakterisering af den i marken forekommende tilstand.

Forsøgsplaner og jordtyper

Undersøgelserne er foretaget i fire fastliggende forsøg med ensidig vårbygdyrkning. Halmens behandling efter høst indgår som en central del i forsøgsplanerne.

Herunder er givet en oversigt over de involverede forsøg.

Forsøg nr.	Gennemføres af	Anlagt	Afstuttet	Antal forsøgssteder		Undersøgt halmbehandling		
				i alt	idenne undersøgelse	fjernet	afbrændt	nedmuldet
1	Statens Planteavlsforsøg	1966	–	3	3	+	+	+
2	–do–	1979	–	5	4	+		+
3	Landøkonomiske foreninger	1973	1983	9	4	+		+
4	Statens Planteavlsforsøg	1973	–	4	4	+		+

I alt er der foretaget analyser på 15 forskellige forsøgsarealer. I tabel 1 ses teksturanalyser for de 12 jordtyper, som indgår i undersøgelsen.

Tabel 1. Lokaltet, geologisk jordart, jordtypeklasse og tekstur 0–20 cm for de undersøgte jorde. Forsøg nr. svarer til numrene i oversigten side 594.

Location, geological soil type, soil classification number and texture 0–20 cm for soils in investigation. Trial no. refer to figures in the survey page 594.

Lokaltet	Lokaltet nr.	Forsøg nr.	Geologisk jordart	JB-nr.	Tekstur, vægtprocent – Texture, % by weight				
					org. stof	ler <2 µm	silt 2-20 µm	finsand 20-200 µm	grovsand >200 µm
<i>Location</i>	<i>Location no.</i>	<i>Trial no.</i>	<i>Geological soil type</i>	<i>Soil class no.</i>	<i>org. matter</i>	<i>clay</i>	<i>silt</i>	<i>fine sand</i>	<i>coarse sand</i>
Jyndeved	1	1	Smeltevandssand	1	2,3	2,5	5,0	13,7	76,5
Studsgård	2	1	Smeltevandssand	1	3,7	4,3	8,2	31,9	51,9
Holstebro	3	3	Morænesand, Riss	1	3,3	4,9	6,1	33,0	52,7
Sindal	4	3	Yoldiasand	2	2,0	3,9	4,6	81,3	8,2
Askov	5	2,4	Moræneler, Würm	3	3,0	8,8	11,7	38,6	37,9
Videbæk	6	3	Morænesand, Riss	4	6,9	5,1	9,4	50,1	28,5
Borris	7	2	Morænesand, –	4	2,9	5,9	9,6	50,4	31,2
Roskilde	8	2	Moræneler, Würm	4	2,6	7,7	17,8	45,9	26,0
Ødum	9	1	Moræneler, –	4	2,4	9,3	16,2	44,5	27,6
Rønhave	10	1,4	Moræneler, –	5	2,0	13,4	18,6	38,6	27,4
Horsens	11	3	Moræneler, –	6	2,8	11,3	12,2	44,2	29,5
Højer	12	2,4	Marsk	6	3,2	12,8	18,2	64,8	1,0

Analysemetoder

Der er anvendt to sigtemetoder: en tør- og en vådsigtning. For begge analyser gælder, at der i marken udtages jordprøver, som straks tørres i ventileret ovn ved 30–35°C.

Tørsigtemetoden

Prøverne til tørsigtninger er udtaget i såbedet om foråret i jordlaget fra overfladen til sådybden. I nogle tilfælde er samtidig bestemt størrelsesfordeling af aggregater på stedet ved det aktuelle vandindhold.

Den lufttørrede prøve deles med en specielt konstrueret jordprøvedeler, som sikrer identiske delprøver med hensyn til både jordmængde og partikelstørrelsesfordeling.

På fire delprøver à ca. 200 g foretages følgende analyser. Det anvendte sigteapparat er af typen JEL, som foretager en horisontal sigtning i en rotationsbevægelse.

Prøven tømtes i en sigtestabel med bund og sigterne 0,25 mm, 0,5 mm, 1 mm, 2 mm, 6 mm og 20 mm. Eventuelle sten større end 20 mm fjernes. Knolde større end 20 mm knuses, og den tomme 20 mm sigte fjernes. Sigtestablen rystes et par sekunder i hånden for at få en grovsortering af ma-

terialet. Løse sten i 6 mm sigten fjernes. For at sikre en reel fraktionering af partikler sigtes hver sigte efter tur i 10 sekunder i sigtemaskine alene med bund påsat. Bundens materiale overføres til den underliggende sigte, før denne behandles. På denne måde forhindres, at løst materiale på vej ned gennem sigtestablen henregnes til en forkert størrelsesfraktion. Efter denne procedure vejes hver sigte og bunden, og en partikelstørrelsesfordeling kan optegnes.

To af de fire delprøver rystes dernæst i sigteapparatet i 2 minutter. Efter sigtningen vejes atter bund og sigter.

Af de to resterende delprøver videreføres kun sigten med 0,5 mm hulstørrelse. Denne sigtes i 2 minutter efterfulgt af en vejning (i nogle af forsøgene videreføres sigteprocessen med gentagne vejninger indtil i alt 8 minutters sigtning). Sigtens indhold dispergeres i 0,004 M Na₄P₂O₇ i blender, hvorefter mængden af primærpartikler større end 0,5 mm kan bestemmes. Denne størrelse skal være kendt for at kunne beregne mængden af aggregater i fraktionen 0,5–1 mm.

For hvert forsøgsareal er der desuden bestemt vægtprocent af primærpartikler mindre end 0,5 mm.

Vådsigtmetoden

Den anvendte metode til vådsigtning af aggregater er i hovedtræk som beskrevet af *Hartge* (1971).

Metoden består i en indledende fraktionering af jordens aggregater efterfulgt af nænsom opfugtning og senere sigtning af de våde aggregater i sigtestabel under vand. Analysen kan kun anvendes på jorde med forholdsvis stabile aggregater og giver kun et udtryk for de store aggregaters (2–8 mm) stabilitet.

Prøveudtagning til analyse med denne metode er foretaget i overfladelaget 0–5 cm dybde. Hvis ikke andet er anført, er udtagningstidspunktet umiddelbart efter høst af afgrøden i august–september måned.

Problemanalyse og resultater

Vinderosion

Erosionsprocessen

Vinderosionsprocessen er godt belyst fra såvel feltstudier som vindtunneleksperimenter (*Kuhlman*, 1960; *Chepil & Woodruff*, 1963; *Knottnerus*, 1979). Vinden kan transportere partikler på tre principielt forskellige måder. Når en vis vindhastighed optræder, vil nogle af overfladejordens partikler blive hævet op i luften og hoppe et stykke fremad. Dette fænomen benævnes saltation og er ofte den første proces, der træder i funktion ved begyndende vinderosion. De hoppende partikler kan fremme en anden overfladebunden bevægelse, krybning. Med dette forstås, at (større) partikler »kravler« eller »kryber« afsted uden at hæve sig. Endelig transporterer vinden jordpartikler opslemmet i luftmasserne, suspension. Sidstnævnte proces medfører de velkendte støvskyer i forbindelse med forårets storme, hvor fine partikler kan transporteres over store afstande af vinden.

Kuhlman (1960) beskriver de komplekse lov-mæssigheder for tærskelværdier mht. vindhastighed ved de tre transportmåder. Ved at sammenholde sådanne betragtninger med tabeller over hyppigheden af forskellige vindhastigheder i Danmark i april måned kommer *Kuhlman* til den slutning, at sandsynligheden for, at en bestemt

partikelstørrelse sættes i bevægelse, aftager stærkt, når partikeldiameteren stiger ud over 0,5 mm. Til gengæld er der store chancer for, at partikler mellem 0,1 og 0,3 mm sættes i bevægelse.

Danske jordes følsomhed

I oversigten herunder er 10 af jordene fra denne undersøgelse opstillet efter stigende procentdel primærpartikler mindre end 0,5 mm.

Lokalitet	Vægtprocent tekstur < 0,5 mm
Jydevad	67,9
Holstebro	87,1
Studsgård	89,6
Horsens	90,8
Roskilde	91,5
Askov	91,6
Borris	94,0
Videbæk	94,2
Sindal	98,6
Højer	99,4

Sammenholdes ovenstående med udsagnet om, at det primært er partikler mindre end 0,5 mm, som vil blive påvirket ved vinderosion, kunne umiddelbart drages den konklusion, at hedeslettejorden ved Jydevad er mindre udsat for vinderosion end marskjorden ved Højer! At dette ikke er tilfældet, hænger netop sammen med, at jordens primærpartikler bindes i aggregater.

De danske sandjorde angives ofte at have enkeltkornlejring, altså uden aggregatdannelser. I fig. 1 er vist sumkurver for primærpartikler bestemt efter dispergering af jorden med natrium-pyrofosfat, samt for sekundærpartikler bestemt som forekommende partikler efter lufttørring af jorden. Fuldstændig enkeltkornlejring svarer til, at disse to kurver er sammenfaldende. Dette ses ikke at være tilfældet for de tre sandede jorde afbildet i figuren, omend afstanden mellem kurverne for den finsandede jord ved Sindal er meget lille.

Et indeks, som kan udtrykke jordens resistens mod vinderosion, er (*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 jord.

En jord med ringe tendens til vinderosion vil have en værdi for dette indeks nær 100, idet mange primærpartikler mindre end den kritiske grænse vil være bundet i aggregater større end 0,5 mm. Omvendt vil en værdi på 0 udtrykke fuldstændig enkeltkornlejring.

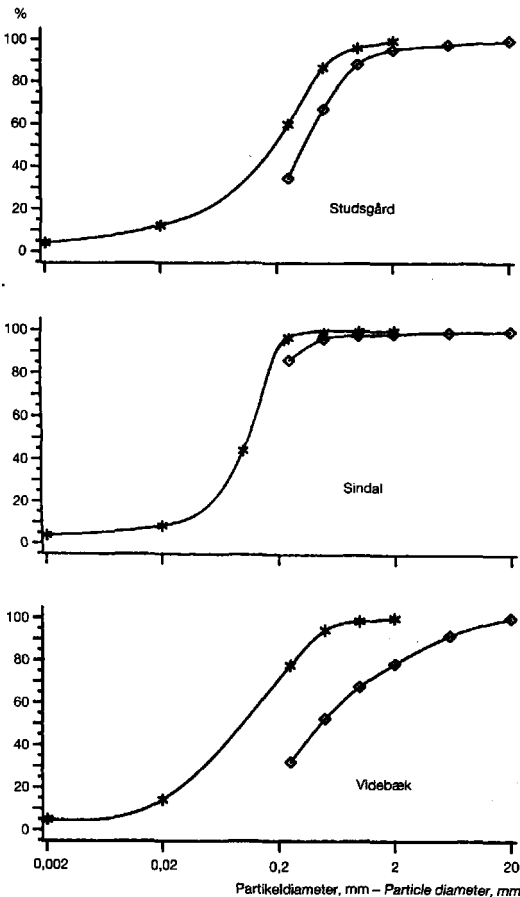


Fig. 1. Sumkurve for primærpartikler * (tekstur) og sekundærpartikler \diamond (aggregatstørrelsesfordeling).
Size distribution of particles
* texture, \diamond aggregates.

I fig. 2 er $VE < 0,5$ afbildet som funktion af lerindhold for forskellige jorde. Bemærk bl.a. den meget lave værdi for det opstillede indeks specielt for yoldiajorden ved Sindal – en jordtype, som også erfaringsmæssigt er meget udsat for sandflugt.

Det fremgår, at aggregeringsgraden udtrykt ved $VE < 0,5$ i høj grad er påvirket af jordens indhold af ler. Dette forhold er velkendt og hænger sammen med, at lerminerale, og i et vist omfang Al- og Fe-forbindelser, med elektrisk ladede overflader i en vekselvirkning med polyvalente kationer og organisk stof forårsager aggregatdannelser (Tisdall & Oades, 1982).

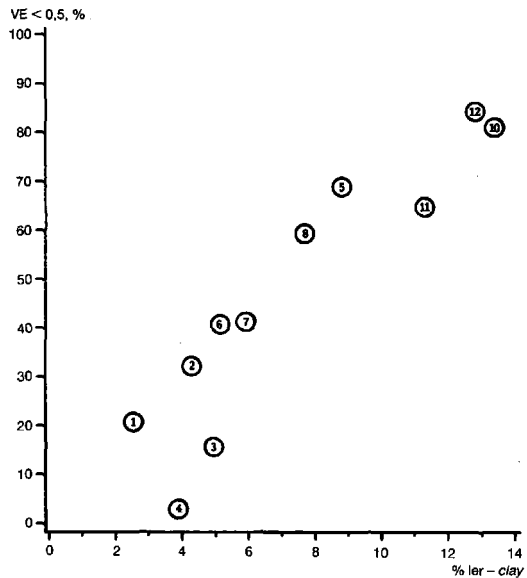


Fig. 2. Vinderosionsindeks, $VE < 0,5$, som funktion af lerindhold for 11 danske jorde. Numrene henviser til lokaliteterne i tabel 1.

Index of wind erosion, $VE < 0,5$, in relation to clay content for 11 Danish soils. Figures refer to locations in table 1.

I fig. 3 er vist, hvorledes aggregater i størrelsen 0,5–1 mm diameter reagerer på sigtning i tør tilstand. Ordinaten angiver procent nedbrudte aggregater.

Det fremgår, at aggregaterne fra sandjorden langt hurtigere nedbrydes, end tilfældet er for lerjordene. Partikler tilhørende den behandlede aggregatfraktion vil i en vis udstrækning kunne blive sat i bevægelse ved vinderosion (krybning og saltation). En stor stabilitet mod mekanisk påvirkning har derfor stor betydning.

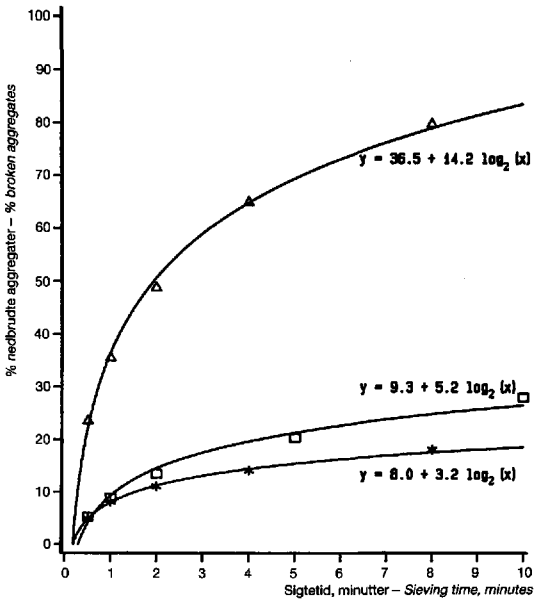


Fig. 3. % nedbrudte aggregater 0,5–1 mm, y , som funktion af sigtetid, x . * = marskjord, Højer; □ = morænelerjord, Rønhave; Δ = grovsandet jord, Studsgård. Broken aggregates 0.5–1 mm, y , percentage of total, as a function of sieving time, x . * = marsh soil, Højer; □ = moraine clay, Rønhave; Δ = coarse sand, Studsgård.

Madsen (1975) foreslår en ligning af typen

$$y = ax^b \quad (1)$$

til beskrivelse af henfaldskurver som i fig. 3. I (1) betegner x sigtetiden, mens y er procent nedbrudte aggregater; a og b er konstanter, som afhænger af jorden.

I nærværende undersøgelse er fundet, at en ligning af typen

$$y = c + d \log_2 x \quad (2)$$

bedre beskriver nedbrydningsforløbet. x og y har samme betydning som i (1), mens c og d er konstanter, som afhænger af jorden. Anvendelse af 2-talslogaritmen giver den fordel, at c og d bliver meningsfyldte og let forståelige parametre til beskrivelse af jordens egenskaber. d er den mængde aggregater, som til enhver tid vil blive nedbrudt ved en fordobling af sigtetiden, mens c betegner procent nedbrudte aggregater efter 1 minuts sigtning.

På figuren er anført de aktuelt fundne modeller af denne type for hver jordtype. Disse er beregnet med mindste kvadraters metode med forklaringsgrader på 98,2–99,7%.

Hvis man tillader sig at sammenligne sigteprocessen i laboratoriet med f.eks. såbedstilberedningen, kan x -værdien i forbindelse med harvningen siges at være antal af træk med harven. d -værdien fra ligning (2) siger i så fald, at en fordobling af antal harvninger for lerjordene resulterer i en destruktion af 3–5% af de oprindelige aggregater i den her undersøgte fraktion, mens tallet for den grovsandede jord er ca. 14% eller 3–5 gange så meget som for lerjordene (fig. 3).

Jordtyperne adskiller sig altså ikke alene med hensyn til aggregeringsgraden, men også med hensyn til stabiliteten af de forekommende aggregater.

Halmens effekt

I tabel 2 er vinderosionsindekset $VE < 0,5$ vist for forsøgsled med og uden halmnedmuldning for en række jordtyper. Ved Studsgård er nedmuldning sammenlignet med afbrænding af halmen.

Et signifikansniveau, P , er angivet for forsøgssteder med flere års analyser. P angiver sandsynligheden for, at de fundne tal er forskellige.

Af tabellen fremgår, at der de fleste steder er fundet lidt større grad af aggregering efter nedmuldning end efter fjernelse af halmen. Forskellene er dog ganske små, især i relation til forskel-

Tabel 2. Vinderosionsindeks, $VE < 0,5$, %, samt aggregatstabilitet, k_i/k_o , %, i relation til halmhåndtering.
Index of wind erosion, $VE < 0.5$, per cent, and aggregate stability, k_i/k_o , per cent, in relation to the treatment of straw.

Lokalitet <i>Location</i>	Undersøgt antal år <i>Years investigated</i>	$VE < 0,5$			k_i/k_o		
		halm fjernet* <i>straw removed*</i>	halm nedmuldet <i>straw incorporated</i>	P** %	halm fjernet* <i>straw removed*</i>	halm nedmuldet <i>straw incorporated</i>	P** %
Studsgård	3	27,9	29,1	< 70	40,6	42,8	70-90
Holstebro	1	15,3	16,1		40,1	39,4	
Sindal	3	3,2	2,7	< 70	32,4	34,5	< 70
Askov	2	69,2	70,9	70-90	81,5	81,9	< 70
Videbæk	3	39,3	42,2	70-90	38,7	40,9	70-90
Borris	3	40,8	41,5	< 70	44,7	45,8	< 70
Roskilde	1	59,0	60,0		73,5	74,1	
Horsens	1	65,0	64,5		79,3	77,6	
Højer	1	82,9	85,5		88,9	88,9	

* For Studsgård: halm afbrændt
 * *Location Studsgård: straw burned*

**P angiver sandsynligheden for, at de fundne værdier er forskellige
 **P denotes the probability, that figures are different

lene mellem jordtyper. Endvidere er der tale om manglende eller kun ganske svag signifikans for de fundne effekter. Alle tre analyseår ved Sindal er den laveste værdi for $VE < 0,5$ fundet i led med halmnedmuldning. Det samme gør sig gældende for det ene år ved Horsens. Denne modsatrettede effekt er dog ikke statistisk sikker.

Gennemsnitstallene for Studsgård viser, at halmafbrændingen har givet en mindre aggregationsgrad end nedmuldningen. Forskellen er dog ikke statistisk sikker og dækker over to år (1982 og 1984) uden effekt samt 1983, hvor der blev registreret en reel differens med svag signifikans.

Overfladejordens relief eller ruhed har betydning for, om sandflugt kommer igang (Kuhlman, 1960; Chepil & Woodruff, 1963). En række foranstaltninger, f.eks. overfladisk indblanding af uomsat organisk stof m.v., medfører en ru overflade, som vanskeligere angribes af vinden. Forekomsten af mange store knolde har samme virkning. Også med hensyn til denne egenskab har jordtypen stor betydning.

Ved bestemmelsen af partikelstørrelsesfordeling i marken ved aktuelt vandindhold fandtes, at den finsandede jord ved Sindal kun havde 10-12 vægtprocent partikler med diameter over 6 mm. For morænelerjordene ved Roskilde og Horsens var tallet 50-60%.

Ud fra sigteanalyserne i laboratoriet blev beregnet den vejede gennemsnitlige diameter,

$$VGD = \frac{\sum(n_i \cdot d_i)}{\sum n_i}, \text{ mm,}$$

hvor d_i er gennemsnitsdiametere på aggregatfraktionen (i) i mm, og n_i er vægten af denne aggregatfraktion.

Den således beregnede værdi viste store jordtyperforskelle, mens effekten af halm også her var begrænset. I tabel 3 er vist VGD for 3 års analyser fra sandjorden ved Videbæk. Den beregnede størrelse er vist både for den foreliggende lufttørre prøve og for prøven efter 2 minutters sigtning.

Prøveudtagning, lufttørring og forbehandling medfører destruktion af nogle af de største knolde, som forekommer i marken. De små tal kan derfor ikke tages som et udtryk for den gennemsnitlige partikelstørrelse i såbedet.

Af tabellen fremgår, at metoden hvert år har afdækket den samme tendens, nemlig lidt højere værdi for den vejede gennemsnitlige diameter efter nedmuldning i forhold til fjernelse af halmen. Kun et enkelt år er effekten statistisk sikker, dog på et ret lavt signifikansniveau. De to første analyseår har den observerede effekt ikke kunnet registreres efter 2 minutters sigtning af prøven,

Tabel 3. Aggregatstørrelse udtrykt som vejte gennemsnitlig diameter (mm) før og efter sigtning. Videbæk.
Aggregate size as weighed average diameter (mm) before and after sieving. Videbæk.

	Før sigtning Before sieving			Efter 2 min. sigtning After sieving, 2 min.		
	halm straw		LSD ₉₀	halm straw		LSD ₉₀
	fjernet removed	nedmuldet incorporated		fjernet removed	nedmuldet incorporated	
1981	1,42	1,52	n.s.	0,42	0,41	n.s.
1982	1,40	1,47	0,03	0,45	0,46	n.s.
1983	2,01	2,31	n.s.	0,53	0,58	0,03
gns. average	1,61	1,77	n.s.	0,47	0,48	n.s.

mens der i 1983 er fundet en større gennemsnitlig partikeldiameter også efter denne radikale behandling.

Størrelserne $VE < 0,5$ og VGD udtrykker begge status for jordens aggregater. Under en begyndende vinderosion udsættes overfladejordens aggregater for mekanisk påvirkning af salterende partikler. Ved forårets jordbearbejdning udsættes jorden ligeledes for slid. Det er derfor vigtigt, at de eksisterende aggregater er stabile.

I tabel 4 er vist resultater fra en sigteproces over 8 minutter, jf. fig. 3 og omtalen af modeller side 598. Der er anvendt prøver af jord, som gennem 10 år (Højer) henholdsvis 17 år (Studsgård) er blevet udsat for forskellig halmhåndtering. Der kan ikke angives sikkerhedsgrænser for de beregnede værdier, idet disse resultater er fremkommet ved sigtninger på blandede jordprøver fra markforsøgets blokke.

Lave værdier af c og d er ensbetydende med

stabile aggregater, jævnfør den tidligere omtale af disse parametre.

Tallene i tabellen viser praktisk taget ens resultater for de to halmbehandlinger på marskjorden, mens nedmuldning af halm på sandjorden gennemsnitligt har givet lidt større stabilitet end halmafbrændingen.

På grundlag af sigteprocessen, som er gennemført til kun 2 minutter, er beregnet størrelsen k_t/k_0 , som udtrykker procent stabile aggregater i størrelsen 0,5–1 mm (tabel 2, højre halvdel).

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 signifikant øget samling af primærpartikler i aggregater (tabel 2, venstre halvdel), såvel som en bedre stabilitet af disse aggregater (tabel 2, højre halvdel) efter nedmuldning i forhold til fjernelse af halmen.

Tabel 4. Konstanterne c og d samt korrelationskoefficient for ligningen $y = c + d \log_2(x)$ ved en sigteproces over 8 minutter. Se tekst for definition af parametre.

Constants c and d , and coefficient of correlation for the equation $y = c + d \log_2(x)$ describing break-down of aggregates during sieving.

	Studsgård		Højer	
	halm afbrændt straw burned	halm nedmuldet straw incorporated	halm fjernet straw removed	halm nedmuldet straw incorporated
c	36,5	33,3	8,0	8,2
d	14,2	13,2	3,2	3,3
R^2	99,7	99,6	99,6	99,4

For den finsandede jord ved Sindal viser de to parametre dog forskellig tendens – færre, men til gengæld mere stabile aggregater efter halmnedmuldning.

Gennemsnitstal over en årrække kan være misvisende for forholdene et enkelt år, såfremt de dækker over modsatrettede virkninger fra år til år. Årsvariationerne for parametrene $VE < 0,5$ og aggregatstabiliteten (tabel 2) består dog overvejende i, at gennemsnitseffekten nogle år er mindre udtalt. Af de i alt 14 observationer for forsøgssteder med analyser fra flere år er der således kun to observationer, som afviger fra gennemsnitstendensen med øget stabilitet efter halmnedmuldning. Det drejer sig om Borris og Sindal i 1983, hvor der blev fundet en lidt lavere stabilitet af aggregater efter halmnedmuldning.

Vandstabile aggregater

Tilslemning af overfladejord

På lerjorde kan der i forbindelse med nedbør foregå en skorpedannelse på jordoverfladen. Denne »slemning« sker ved nedbrydning af overfladejordens aggregater til primærpartikler, som lægger sig i et tæt lag i overfladen.

Processen foregår ved vands indvirkning. Regndråbernes mekaniske slag mod aggregaterne er den første og ofte den vigtigste fase i strukturdelæggelsen (Heinonen, 1982). En anden vigtig proces er »eksplosion« af aggregater efter dannelse af et overtryk ved kapillær indtrængen af vand. Endelig kan langvarig vandmætning svække aggregaterne med slemning til følge.

Skorpedannelsen kan hindre fremspiring og luftskifte. I år med store nedbørsmængder i forårsperioden kan problemet antage et betydeligt omfang. Det er derfor vigtigt, at jordens aggregater har en stor stabilitet mod nedbrydning under våde forhold.

Effekt af halmnedmuldning og jordbearbejdning

I fig. 4 ses resultater af flere års undersøgelser med vådsigtemetoden på 3 jordtyper. Den angivne parameter er procent aggregater i størrelsesfraktionen 2–8 mm, som efter sigteproceduren

ikke er sønder slået til en diameter under 1 mm. Tekstur og geologisk oprindelse for de tre jorde fremgår af tabel 1. Målingerne er foretaget i perioden 1979–83 i forsøg nr. 4 (se oversigten side 594).

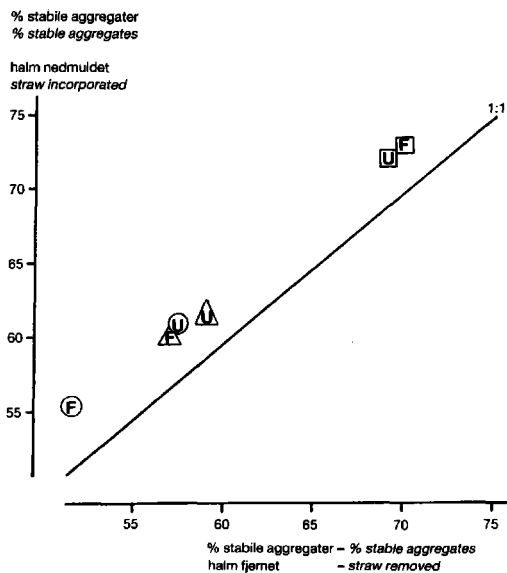


Fig. 4. Aggregatstabilitet ved vådsigtning. Gns. af 5–7 måletidspunkter. O = Askov, Δ = Rønhave, □ = Højer; U = ubehandlet stub, F = jorden fræset efter høst. *Aggregate stability by wet sieving. Average of 5–7 sampling times. O = Askov, Δ = Rønhave, □ = Højer; U = no stubble tillage, F = rotavating the stubble.*

Marskjorden ved Højer ses at have mere stabile aggregater end morænelerjordene ved Askov og Rønhave.

Af figuren fremgår endvidere, at såvel halmnedmuldning som jordbehandlingen efter høst har haft indflydelse på resultaterne. For alle tre jordtyper har halmnedmuldningen øget aggregatstabiliteten, idet alle punkter ligger over 1:1-linien.

Prøveudtagningsstrategien ved de første måletidspunkter tillader ikke variansanalytiske beregninger på hele datamaterialet. Beregninger på resultater fra de øvrige år viser samme tendens, som fremstillet i fig. 4. Halmeffekten er ved disse beregninger for alle jordtyper fundet at være sta-

tistisk sikker; for marskjorden ved Højer er resultatet endog meget sikkert med en P-værdi større end 99,0%.

De to morænejorde viser samstemmende, at stubbehandlingen i form af fræsning giver anledning til en ringere stabilitet af aggregaterne, mest udtalt for Askov-jorden. For Rønhave er forskellen bestemt med et signifikansniveau på 90–95%, mens den tilsvarende P-værdi for Askov ligger mellem 70 og 90%. Gennemsnitstallene for Højer viser, at fræsningen øger stabiliteten en smule. Denne forskel er dog ikke statistisk sikker.

Sigteproceduren forårsager en større grad af destruktion på de store end på de små aggregater. Dette fremgår af tabel 5, som viser procent stabile aggregater i fraktioner med forskellig diameterspændvidde for et enkelt måletidspunkt ved Højer. Tallene under kolonnen »1–8 mm« er beregnet som tidligere angivet for datamaterialet i fig. 4, mens resultaterne fra de øvrige grupper direkte angiver den procentdel af aggregater i fraktionen, som har modstået sigteprocedurens destruerende påvirkning.

Det fremgår af tabellen, at halmens aggregatstabiliserende effekt fremtræder i alle fire aggregatfraktioner. Imidlertid er den fundne forskel mellem behandlinger ved dette enkelte prøveudtagningstidspunkt statistisk sikkert bestemt alene for de store aggregaters vedkommende.

I tabel 6 er vist et indeks, ΔVGD , ændring i vejte gennemsnitlig diameter, som vægter tabet af aggregater efter disses størrelse. Parameteren beregnes således:

$$\Delta VGD = \frac{\sum (n_i \cdot d_i) - \sum (n_j \cdot d_j)}{\sum n_i} \quad (3)$$

hvor n_i og n_j betegner vægt af aggregatfraktion med gennemsnitlig diameter d_i (før sigtning) henholdsvis d_j (efter sigtning). Bemærk, at såvel start- som slutvægtningen sættes i forhold til begyndelsesjordmængden, hvilket svarer til, at jordmængden tabt under 1 mm sigten tildeles aggregatdiametere 0 (nul).

En høj værdi for ΔVGD -parameteren svarer til en lav aggregatstabilitet.

I tabellen er vist resultater fra alle enkeltmåletidspunkter. Som tidligere omtalt tillader prøveudtagningsstrategien for de første år ikke variansanalytiske beregninger, hvilket er begrundelsen for at angive to gennemsnitstal for hvert forsøgssted.

Resultaterne i tabel 6 støtter det tidligere anførte i forbindelse med omtalen af fig. 4. For alle tre forsøgssteder er der en positiv effekt af halmnedmuldning. Effekten, som kommer til udtryk i gennemsnitstallene for samtlige måletidspunkter, genfindes i forskellen registreret de seneste år alene, som for alle forsøgssteder er fundet med statistisk signifikans. Kun i et enkelt ud af i alt 18 måletidspunkter (Rønhave 1979b) er der registreret en lavere aggregatstabilitet i forsøgsled med halm. Forskellen til led uden halm er imidlertid meget lille og kan ikke testes statistisk.

Effekten af jordbehandlingen udviser større årsvariation. På grund af den lille og usikre effekt på marskjorden ved Højer kommer der afvigen-

Tabel 5. Stabilitet af aggregatfraktioner. Marskjord, Højer, efterår 1983. Se nærmere forklaring i tekst.
Stability of aggregates, different fractions. Marsh soil, Højer, autumn 1983.

	Aggregatfraktion, mm Aggregate fraction, mm			
	6–8	4–8	2–8	1–8
Halmen fjernet	29,9	43,7	49,8	64,6
<i>Straw removed</i>				
Halmen nedmuldet	34,7	46,9	52,7	66,8
<i>Straw incorporated</i>				
LSD ₉₅	3,6	1,8	n.s.	n.s.

de, dog små, tendenser til udtryk i de to gennemsnitstal med forskelligt åremål. På den lerblandede sandjord ved Askov er der alle år fundet en destabiliserende effekt af fræsningen. Effekten er dog ikke statistisk sikker. For Rønhaves vedkom-

mende er der de to sidste måletidspunkter fundet en tilsvarende, og her sikker, effekt. Resultaterne fra de to måletidspunkter i 1979 viser dog en modsatrettet tendens.

Tabel 6. Ændring i vejte gennemsnitlig diameter, Δ VGD, ved vådsigtning.
Change in weighed average diameter, Δ VGD, by wet sieving.

	Halm - Straw		P* %	Jordbehandling - Stubble tillage		P* %
	fjernet <i>removed</i>	nedmuldet <i>incorporated</i>		ubehandlet <i>none</i>	fræset <i>rotavated</i>	
<i>Højer:</i>						
1979a	1,64	1,55	+	1,67	1,52	+
1979b	1,82	1,29	+	1,63	1,49	+
1980	1,69	1,63	+	1,68	1,64	+
1981	1,67	1,55	90-95	1,59	1,62	< 70
1982	1,73	1,62	< 70	1,67	1,68	< 70
1983b	2,24	2,10	95-99	2,14	2,20	< 70
1983c	2,49	2,37	70-90	2,38	2,48	70-90
gns. alle tidspkt. <i>average all sampling times</i>	1,90	1,73	+	1,82	1,80	+
gns. 1981-83 <i>average 1981-83</i>	2,03	1,91	99-99,9	1,95	2,00	< 70
<i>Askov:</i>						
1979a	2,28	2,20	+	1,90	2,58	+
1979b	2,41	2,20	+	2,22	2,40	+
1980	2,36	2,15	+	2,11	2,39	+
1981	2,55	2,42	70-90	2,38	2,59	70-90
1982	2,43	2,26	95-99	2,29	2,39	70-90
1983	2,64	2,51	95-99	2,56	2,59	< 70
gns. alle tidspkt. <i>average all sampling times</i>	2,45	2,29	+	2,24	2,49	+
gns. 1981-83 <i>average 1981-83</i>	2,54	2,40	95-99	2,41	2,53	70-90
<i>Rønhave:</i>						
1979a	2,41	2,26	+	2,41	2,27	+
1979b	2,00	2,04	+	2,07	1,97	+
1980	2,36	2,35	+	2,20	2,51	+
1982	2,23	2,03	95-99	2,07	2,19	95-99
1983	2,57	2,43	< 70	2,43	2,57	70-90
gns. alle tidspkt. <i>average all sampling times</i>	2,31	2,22	+	2,24	2,30	+
gns. 1982-83 <i>average 1982-83</i>	2,40	2,23	95-99	2,25	2,38	90-95

+ kan ikke testes
cannot be tested

*P angiver sandsynligheden for, at de fundne værdier er forskellige
denotes the possibility that figures are different

a prøveudtagning forsommer
sampling early summer

b prøveudtagning efter høst (som øvrige år)
sampling after harvest (normal procedure)

c prøveudtagning i november
sampling in November

Halmens korttidseffekt

De hidtil diskuterede resultater er fremkommet ved målinger på jordprøver, der i de fleste tilfælde er udtaget næsten et år efter sidste indblanding af halm i jorden. I fig. 5 er vist procent stabile aggregater i forsøget ved Højer for to måletidspunkter, dels umiddelbart efter høst i september, dels i november måned ca. 6 uger efter tildeling af halm til forsøget.

Det fremgår, at der i november måned findes færre stabile aggregater end umiddelbart efter høst. Forskellen mellem led med og uden halm er imidlertid stort set den samme, uanset at der ved det sene måletidspunkt endnu findes uomsatte rester af halm i jorden eller på jordoverfladen. Søjlerne i figuren repræsenterer gennemsnitstal for led med og uden fræsning. Der var imidlertid ikke forskel på den her diskuterede effekt i de to jordbehandlingsled.

Undersøgelserne, der danner grundlag for fig. 5, er kun foretaget et enkelt år og på den ene jordtype.

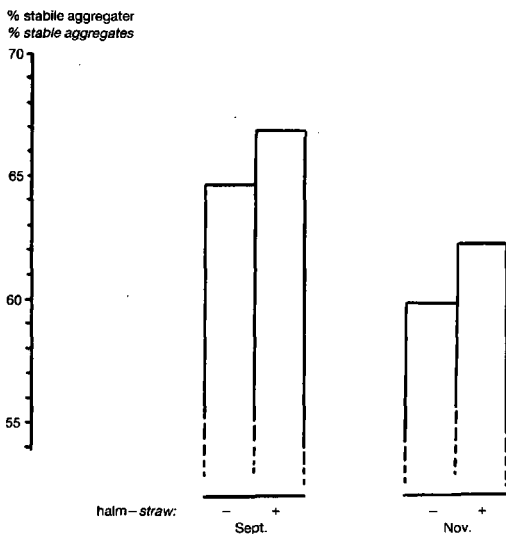


Fig. 5. % stabile aggregater på to tidspunkter for marsk-jorden ved Højer.

Per cent stable aggregates at two sampling times. Marsh soil, Højer.

Afbrænding af halmen

I fig. 6 er vist resultater fra forsøg nr. 1, i hvilket der også indgår afbrænding af halm på marken. I dette forsøg er der målt med vådsigtemetoden i 2 år på de to lerjorde ved Rønhave og Ødum. Det fremgår af figuren, at der begge steder er fundet flest stabile aggregater efter nedmuldning af halmen. Halmafbrænding har tilsyneladende også givet flere stabile aggregater i forhold til fjernelse af halmen. De skitserede effekter genfandt begge steder ved begge udtagninger. For Ødums vedkommende kan kun nedmuldningen adskilles signifikant fra fjernelse af halmen. Ved Rønhave fandtes ved det sidste af de to udtagningstider, at såvel halmafbrænding som -nedmuldning gav signifikant bedre stabilitet i forhold til fjernelse af halmen. Resultaterne det første år i Rønhave kan ikke testes, men virkningerne var som nævnt de samme.

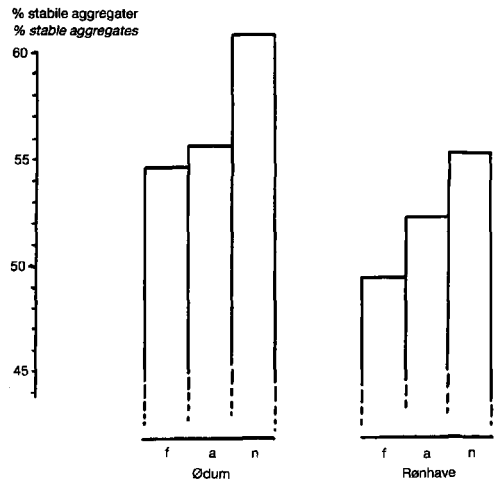


Fig. 6. Aggregatstabilitet ved vådsigtning. Gns. af 2 måletidspunkter hvert sted. Halmbehandling: f = fjernet, a = afbrændt, n = nedmuldet.

Aggregate stability by wet sieving. Average of 2 sampling times. Straw treatment: f = removed, a = incinerated, n = incorporated.

Diskussion

Tisdall og *Oades* (1982) diskuterer mekanismer for aggregatopbygning i jord. Der foreslås en tredeling af det organiske stof mht. effekt på aggregatdannelse og -stabilisering. Inddelingskriteriet er alderen og nedbrydningsgraden af det organiske stof snarere end kemiske kriterier. *Tisdall* og *Oades* opererer med »flygtige«, »midlertidige« og »vedvarende« bindestoffer. Til »flygtige« stoffer henregnes let nedbrydelige organiske molekyler, f.eks. polysaccharider. Forsøg med indblanding af forskellige former for organisk stof i jord har vist, at sådanne stoffer kun bidrager til aggregatstabilisering i få uger (*Chepil & Woodruff*, 1963; *Watson & Stojanovic*, 1965; *Harris et al.*, 1966).

»Midlertidige« bindestoffer defineres som levende rødder og svampehyfer. Ifølge *Tisdall* og *Oades* er det primært denne gruppe, som har betydning for eksistensen af stabile makroaggregater, defineret som aggregater større end 0,25 mm.

»Vedvarende« bindestoffer består af stabile nedbrydningsprodukter (humus) fra omsætningen af organisk stof. Ifølge *Tisdall* og *Oades* bidrager denne stofgruppe ikke til stabiliseringen af store aggregater, men spiller en væsentlig rolle for dannelsen af mikroaggregater.

Der er lavet mange undersøgelser over det organiske stofs betydning for strukturdannelsen i jord (se f.eks. *Harris et al.*, 1966; *Tisdall* og *Oades*, 1982). *Madsen* (1975) undersøgte jord fra såvel pløjelag som undergrund og fandt, at organisk stof har stor betydning for aggregatdannelsen.

Ved sammenligninger alene af jord fra pløjelaget er der fundet en mindre klar sammenhæng mellem aggregatdannelse og indhold af organisk stof. *Heinonen* (1955) fandt for finske jorde, at organisk stof op til ca. 6 vægtprocent havde en stærk indflydelse på aggregatdannelsen på lerjorde med mere end 30% ler. Derimod fandtes ingen korrelation på jorde med 10–30% ler. For 26 engelske jorde med 12–44% ler fandt *Chaney & Swift* (1984) en stærk korrelation mellem organisk stof og aggregeringsgrad.

Ved sammenligning af det på side 596 define-

rede indeks for aggregering med indhold af organisk stof for de 11 jorde, som indgår i denne undersøgelse, fandtes ingen korrelation. Det bør dog bemærkes, at der kun er en lille spredning i indhold af organisk stof, tabel 1. Inddragelse af jorde med afvigende indhold af organisk stof i undersøgelsen ville muligvis afdække en korrelation også for pløjelagsprøver.

Humus har en kationbytningskapacitet ca. 4 gange så stor som de i danske jorde dominerende lerminerale. Såfremt det alene er mængden af kemisk aktive grupper på de organiske molekyler, som bestemmer effekten af det organiske stof på aggregatdannelse og -stabilitet, må det forventes, at den i fig. 2 viste korrelation ville være bedre med CEC-enheden »1 × % ler + 4 × % org. stof« som abscisse. En optegning viste dog generelt lidt ringere sammenhæng mellem abscisse og ordinat; især for Videbæk-jorden med det ret høje humusindhold overvurderedes aggregeringsgraden.

På grundlag af ovenstående må det konkluderes, at forskelle mellem danske jordtyper mht. aggregeringsgraden af primærpartikler i pløjelaget primært kan tilskrives forskelle i lerindhold.

Persson (1980) anfører på grundlag af kemiske analyser af halmtørstof og af jordens organiske stof efter halmnedmuldning, at en stor del af halmens tørstof er forholdsvis letomsætteligt. *Martin* (1942) fandt, at den aggregatstabiliserende effekt af organisk stof var større, jo lettere nedbrydeligt materialet var.

I en laboratorieundersøgelse af halmnedbrydningens mikrobiologi blev der bl.a. observeret vækst af svampehyfer i de indledende faser af halmens omsætning (*Nissen*, 1980).

Sammenholdes ovenstående med *Tisdall* og *Oades'* diskussion af effekten af »flygtige« og »midlertidige« bindestoffer i jorden, må forventes en bedret aggregatstabilitet de første uger efter halmnedmuldningen. Dette er også fundet i en række tilfælde (*Martin & Waksman*, 1941; *Martin*, 1942; *Chepil & Woodruff*, 1963).

Resultaterne i fig. 5 viser imidlertid, at der ikke kan spores nogen korttidseffekt af halmen i den her undersøgte jordtype.

På alle jordtyper, hvor vådsigtninganalysen er anvendt, er der fundet en stabiliserende effekt af halmnedmuldning på jordens aggregater i våd tilstand på længere sigt, fig. 4 og 6. Det samme er observeret i tyske forsøg (*Boguslawski & Debruck*, 1970).

Selv om »procent stabile aggregater« (fig. 4 og 6) kan opfattes som en absolut værdi, kan der dog ikke ud fra nærværende undersøgelse siges noget om den praktiske betydning af de observerede effekter, idet grænseværdier for denne parameter ikke er kendt.

Resultaterne, der er fremstillet i fig. 4 og tabel 6, viser en tendens til, at fræsning anvendt som stubbehandlingsmetode i et dyrkningssystem med traditionel vinterpløjning på morænelerjord reducerer stabiliteten af aggregater i forhold til ubehandlet stub. Effekten af jordbearbejdningen efter høst synes altså at kunne »overleve« den radikale behandling, som vinterpløjningen indebærer.

Resultaterne fra tørsigtningerne viser, at der for næsten alle undersøgte jorde er fundet en svag, positiv effekt af halmen mht. både aggregationsgraden og aggregatstabiliteten. *Chepil* og *Woodruff* (1955) refererer canadiske undersøgelser, som ligeledes viste øget resistens mod vinderosion efter nedmuldning af halm. Denne effekt blev dog modsat, efter at halmen var omsat i jorden.

Chepil (1955) fandt for 9 amerikanske jorde, at tilførsel af organisk materiale øgede mængden af store vandstabile aggregater samt resistensen mod vinderosion bestemt såvel ved vindtunneltest som ved tørsigtninganalyser. Når tilførslen af organisk stof ophørte, forsvandt den opbyggede effekt på jorden gradvis. For de undersøgte jorde skete dette 1–2 år efter den sidste tilførsel af organisk stof. 4 år efter sidste tildeling fandtes, som i de tidligere refererede canadiske undersøgelser, signifikant færre store knolde og tilsvarende ringere resistens mod vinderosion, hvor nedmuldning af organisk stof var foretaget.

Ovennævnte resultater antyder, at der efter nedbrydning af de letomsættelige stoffer i det organiske stof (»flygtige« og »midlertidige« binde-

stoffer, (*Tisdall & Oades*, 1982)), kan forventes en negativ effekt af en tidligere foretaget halmnedmuldning.

Flertallet af vådsigtninganalyser i nærværende undersøgelse er foretaget umiddelbart før den årligt gentagne halmbehandling (fjernelse, afbrænding eller nedmuldning) i august–september måned. Effekten af halmhåndtering, som kommer til udtryk i fig. 4 og 6 samt tabel 6, må derfor vedvare ud over et år. Hvor hurtigt den fundne effekt vil forsvinde, og hvorvidt der vil opstå en situation med ringere aggregationsgrad og aggregatstabilitet efter ophør af den årlige halmtildeling, kan kun afklares gennem måling af eftervirkninger i forsøgene.

Det er bemærkelsesværdigt, at afbrænding af halm har givet samme eller højere aggregatstabilitet i forhold til fjernelse af halmen, som det er registreret 4 gange på lerjord med vådsigtninganalysen, fig. 6. To års resultater fra tørsigtninganalyser på sandjorden ved Studsgård bekræfter, at der ikke kan spores nogen destabiliserende effekt af afbrændingen i forhold til fjernelse af halmen. Tabel 2 og 4 viser dog en tendens til, at afbrænding på sandjord giver ringere stabilitet i forhold til nedmuldning af halmen.

Konklusion

I alle dyrkede, danske jorde findes primærpartiklerne i varierende grad sammenføjede i aggregater. Dette gælder for selv de sandede, jyske hedearealer.

Lerindholdet har afgørende betydning for aggregatdannelsen i jorden. Derimod kan forskelle mellem danske jorde mht. aggregationsgrad af primærpartikler ikke korreleres til mængden af organisk stof.

Nedmuldning af halm medfører en lidt større aggregationsgrad i forhold til fjernelse og afbrænding af halmen efter en kornafgrøde. Effekten er dog lille og minimal i forhold til de jordtypebestemte forskelle.

Aggregater i størrelsesklassen 0,5–1 mm er fundet at være 3–5 gange så stabile for lerjorde med 12–13% ler som for en grovsandet jord med under 5% ler.

Halmnedmuldning virker stabiliserende på aggregater i tør tilstand, men påvirkningen er ubetydelig i forhold til forskellen mellem sand- og lerjorde. Sammenlignet med nedmuldning af halmen vil halmafbrænding give lidt ringere stabilitet af aggregater.

Aggregeringsgraden og stabiliteten af aggregater i tør tilstand har betydning for jordens evne til at modstå vinderosion. Effekten af halmnedmuldning og -afbrænding må betegnes som minimal i relation til dette praktiske aspekt, hvor andre kulturtekniske og dyrkningsmæssige foranstaltninger i højere grad påvirker forholdene.

Nedmuldning af halm øger stabiliteten af våde aggregater på lerjord. Afbrænding af halmen giver uændret eller svagt bedret stabilitet i forhold til fjernelse af halmen.

Stabilitetsforholdene har betydning for tendensen til tilslemning af jordoverfladen under våde forhold. Den praktiske betydning af den fundne effekt kan dog ikke vurderes, idet den »nødvendige« forbedring for at hindre tilslemning ikke er kendt.

Halmens effekt synes ikke at være specielt stærk kort tid (få uger) efter nedmuldning, men er fundet at være persistent i over et år efter nedmuldning.

Der er fundet en tendens til, at stubbehandling i forhold til ubehandlet stub i et ensidigt korn dyrkningssystem på morænelerjorde reducerer stabiliteten af jordens aggregater.

Litteratur

Boguslawski, E. & Debruck, J. (1970): Stroh- und Gründüngung in Getreidebetrieben. Mitt. DLG 33, 1104–1110.

Chaney, K. & Swift, R. S. (1984): The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils. *J. Soil Sci.* 35, 223–230.

Chater, M. & Grasser, J. K. R. (1970): Effects of green manuring, farmyard manure and straw on the organic matter of soil and of green manuring on available nitrogen. *J. Soil Sci.* 21, 127–137.

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. *Advances in Agronomy* 15, 211–302.

Harris, R. F., Chesters, G. & Allen, O. N. (1966): Dynamics of soil aggregation. *Advances in Agronomy* 18, 107–169.

Hartge, K. H. (1971): Die physikalische Untersuchung von Böden. Eine Labor- und Praktikumanweisung. F. Enke Verlag, Stuttgart.

Heinonen, R. (1955): Soil aggregation in relation to texture and organic matter. *Agrogeologia Julkaisu* 64, 1–17.

Heinonen, R. (1982): Jordens igenslamning och förhårdnande. Sveriges Lantbruksuniversitet. Speciella skrifter 12.

Kolenbrander, G. J. (1974): Efficiency of organic manure in increasing soil organic matter content. *Trans. 10th int. Congr. Soil Sci.* 2, 129–136.

Knotnerus, D. J. C. (1979): Wind erosion research by means of a wind tunnel. Measures to control wind erosion of soil and other materials for reasons of economy and health. Institute for Soil Fertility, Haren, Holland.

Kuhlman, H. (1960): Den potentielle jordfygning på danske marker. Teoretiske beregninger vedrørende jordmaterialets vindbevægelighed. *Geografisk Tidsskr.* 59, 241–261.

Madsen, H. (1975): Aggregatstabilitetsanalyse. *Geografisk Tidsskr.* 74, 70–78.

Martin, J. P. (1942): The effect of composts and compost materials upon the aggregation of the silt and clay particles of Collington sandy loam. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 7, 218–222.

Martin, J. P. & Waksman, S. A. (1941): Influence of microorganisms on soil aggregation and erosion: II. *Soil Sci.* 52, 381–394.

Nissen, T. V. (1980): Hvad sker når halmen nedmuldes? *Ugeskr. f. Jordbrug* 125, 801–803.

Persson, J. (1980): Detaljstudium av den organiska substansens omsättning i ett fastliggande ramförsök. Rapport nr. 128 fra Inst. f. markvetenskap.

Sauerlandt, W. & Gierke, K. (1961): Der Einfluss jährlicher Strohgaben auf die Erträge und einige Bodeneigenschaften. *Z. f. Pflanzenernährung, Düngung u. Bodenkunde* 94/95, 104–115.

Scheffer, F. & Schachtschabel, P. (1973): Lehrbuch der Bodenkunde. F. Enke Verlag, Stuttgart.

Skriver, K. (1984): Nedbringning af halm. Oversigt over landsforsøgene 1983, 50–52.

Tisdall, J. M. & Oades, J. M. (1982): Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. of Soil Sci.* 33, 141–163.

Watson, J. H. & Stojanovic, B. J. (1965): Synthesis and bonding of soil aggregates as affected by microflora and its metabolic products. *Soil Sci.* 100, 57–62.

Manuskript modtaget den 17. september 1984.