

Efterårsseminaret: Den danske dyrkningsjords tilstand og kvalitet – konsekvenser af trafik og jordbearbejdning

Af Per Schjøning¹, Lars J. Munkholm¹, Susanne Elmholt¹, Kasia Deboz¹, Gunnar H. Mikkelsen¹ og Andreas Trautner²

¹Afdeling for Plantevækst og Jord, Danmarks JordbrugsForskning, Forskningscenter Foulum

²Avdelning för Jordbearbetning, Institutionen för Markvetenskap, Sveriges Lantbruksuniversitet

Indledning

Agerbruget har eksisteret i adskillige tusinde år. Frem til midten af sidste århundrede 'oplevede' jorden alene de kraftpåvirkninger, som mennesker og trækdyr kunne tilføre direkte. Derfor er den stærke stigning i mekaniseringen af landbrugets operationer i marken siden anden verdenskrig et radikalt brud med afprøvede og kendte rutiner. Vi må betragte nutidens brug af meget tunge maskiner og den markante manipulation af jorden ved (især) pto-drevne bearbejdningsredskaber som et stort eksperiment. Vi ved ikke på forhånd, hvad jorden kan tåle uden at lide kortvarig eller langvarig skade. Spørgsmålet er, hvad der betinger en god jordkvalitet og hvorvidt de moderne maskiner reelt har en negativ indflydelse på jordens funktioner.

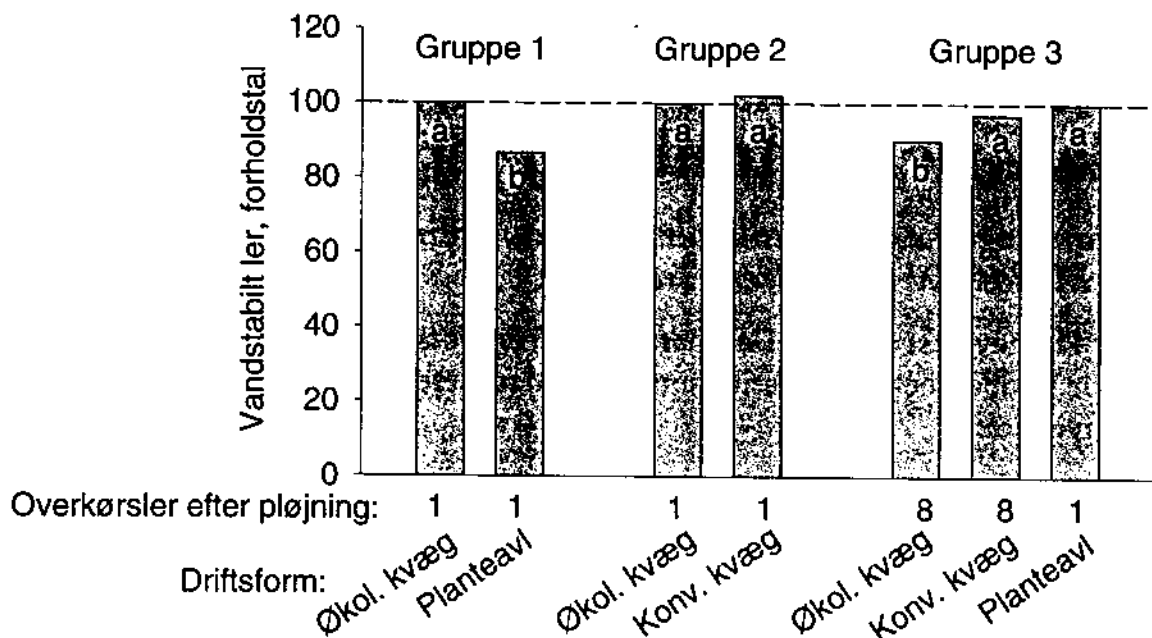
Hvad betinger en god jordkvalitet

I et netop afsluttet projekt under Forskningscentret for Økologisk Jordbrug undersøgte Danmarks JordbrugsForskning i alt syv jorder, fordelt på 3 grupper af naboejendomme (tabel 1). I gruppe 1 sammenlignedes en langvarigt økologisk drevet mark med grovfoder-sædskifte og tilførsel af husdyrgødning med en nabomark, der gennem mindst 20 år havde været dyrket ensidigt med korn og lejlighedsvis raps. Sidstnævnte mark havde i denne periode heller ikke modtaget husdyrgødning og kun en enkelt gang halmen efter en rapsafgrøde. I gruppe 2 sammenlignedes to kvægbrugsejendomme med stort set identiske dyrkningssystemer, idet dog den ene mark ikke havde græs i sædskiftet. Gruppe 3 omfattede tre marker, hvor de to tilhørte

Tabel 1. Udvalgte karakteristika for syv jorder med forskellig dyrkningshistorie. Efter Schjøning et al. (2000).

	Gruppe 1			Gruppe 2		Gruppe 3	
	Økol. kvæg	Planteavl	Økol. kvæg	Konv. kvæg	Økol. kvæg	Konv. kvæg	Planteavl
Omlagt til økologi, år	1958	–	1951	–	1951	–	–
Org. gødning (ton/ha/år)	4.5	0.8	5.6	4.0	4.4	6.6	4.0
Sædskifte ¹	grovf., +g	salgs-afg. ²	grovf., +g	grovf., -g	grovf., +g	grovf., +g	salgs-afg. ³

¹g=græs i sædskiftet; ²ensidigt korn, et enkelt år med raps; kun undtagelsesvis halmnedmuldning. ³korn, raps, ærter; systematisk halmnedmuldning



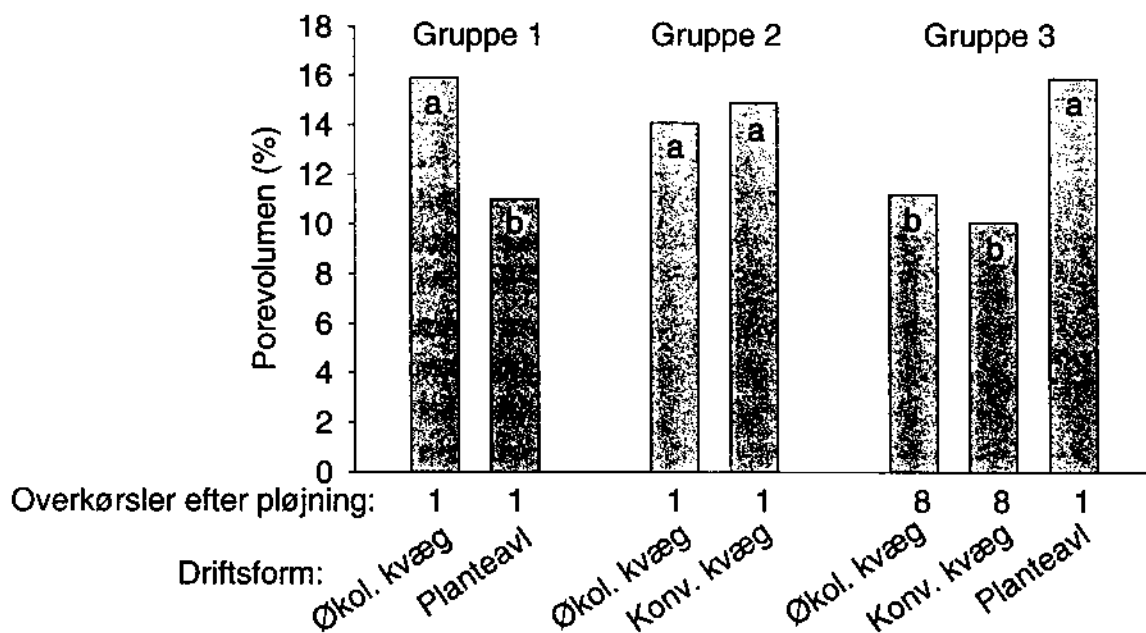
Figur 1. Vandstabil ler (g stabil ler / g ler i alt) ved rystning af en jordprøve i vand for syv danske jorder med forskellig driftsform. Her udtrykt som forholdstal med 'Økol. kvæg' = 100 i gruppe 1 og 2 samt 'Planteavl' = 100 i gruppe 3. Jorder med samme bogstav (indenfor gruppe) er ikke signifikant forskellige. Se tabel 1 for nærmere beskrivelse af driftsformer. Gruppenummereringen er forskellig fra den, der er anvendt i Schjøning et al. (2000), hvorfra data er hentet.

kvægbrug med græs i sædskiftet og den tredje blev dyrket med enårig salgsafgrøder. I modsætning til planteavlsbruget i gruppe 1 blev halmen systematisk nedmuldet i denne mark.

To af de jordegenskaber, der blev målt i de beskrevne marker, var mængden af vandstabil ler samt rumfang af jordens grovporer (>0.03 mm). En stor mængde vandstabil ler er ønskeligt, idet dispergering (frigørelse) af ler fra jordens aggregater i våd tilstand kan give tilslemning og skorpedannelse og endvidere give anledning til nedvaskning af ler i jordprofilen. Ligeledes er en stor mængde grovporer ønskeligt for at sikre bortledning af overskudsnedbør samt transport af luft til rødder og mikroorganismer. I det følgende vurderes driftsformens indflydelse på jordkvaliteten i form af disse to kvalitetsegenskaber (figur 1 og 3).

Resultaterne fra gruppe 1 viser tydeligt, at den ensidige korndyrkning, stort set uden tilførsel af organisk stof til jorden, har givet en markant og statistisk sikker reduktion i mængden af vandstabil ler i forhold til den alsidigt drevne mark fra kvægbruget (figur

1). Omvendt er der målt stort set identiske stabilitetsforhold i markerne fra de to kvægbrug i gruppe 2. I gruppe 3 er der fundet den højeste mængde af vandstabil ler i marken med ensidig planteavl. Selv om forskellen kun er statistisk sikker i forhold til det økologisk drevne kvægbrug, er dette ret overraskende. Imidlertid blev det i forbindelse med undersøgelserne registreret, at jorden i netop disse to kvægbrug var stærkt komprimeret efter ikke mindre end otte gange overkørsel af jorden mellem efterårets pløjning og forårets prøveudtagning i en vintersædsafgrøde. Den megen trafik skyldtes flere gange harvning til såbed, såning af kornafgrøde, tromling, såning af udlæg samt udbringning af ajle. I modsætning hertil står en enkelt overkørsel på planteavlsbruget, idet afgrøden her blev sået med et kombisæt. Resultaterne fra figur 1 viser således tydeligt, at et godt sædskifte og tildeling af organisk stof til jorden er godt for jordkvaliteten (udtrykt ved den her valgte egenskab). Lige så tydeligt indikerer resultaterne fra gruppe 3, at jordbearbejdning og trafik kan virke mindst lige så stærkt i negativ retning.



Figur 2. Jordens volumen af porer >0.03 mm (%) for syv danske jorder med forskellig driftsform. Jorder med samme bogstav (indenfor gruppe) er ikke signifikant forskellige. Se tabel 1 for nærmere beskrivelse af driftsformer. Gruppenummereringen er forskellig fra den, der er anvendt i Schjønning et al. (2000), hvorfra data er hentet.

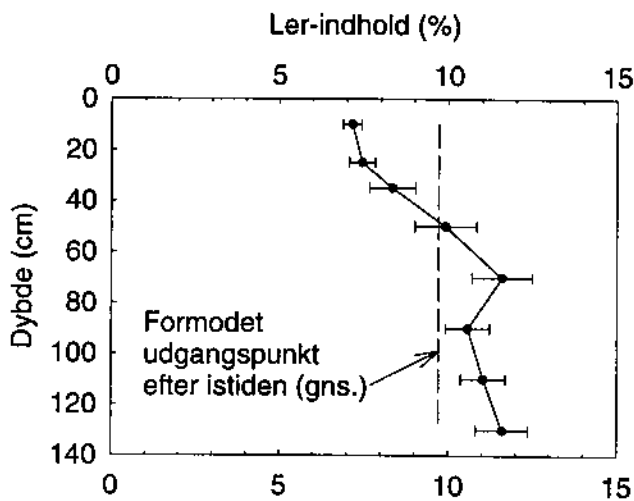
Det netop anførte bekræftes af resultaterne i figur 2, hvor jordens grovporevolumen er afbildet for hver af de syv undersøgte marker. Et alsidigt sædskifte og tildeling af organisk stof kombineret med en minimal trafik i marken for de to jorder i gruppe 2 har givet ens og høje porevolumener i begge jorder. I modsætning hertil står den ensidigt dyrkede jord i gruppe 1, hvor den meget lave værdi i forhold til kvægbrugsmarken må tilskrives en dårlig jordstruktur afledt af det ensidige sædskifte og den manglende tildeling af organisk stof (trafikhyppigheden er ens). I gruppe 3 må de lave værdier for grovporevolumen tilskrives den trafikforårsagede jordpakning. Også for denne jordkvalitetsparameter viser trafik på jorden sig altså at have en markant vekselvirkning med sædskiftet og med tilførsel af organisk stof. Der kan derfor være god grund til at kigge nærmere på jordens reaktion på maskinernes kraftpåvirkning.

Maskinernes effekt på jorden

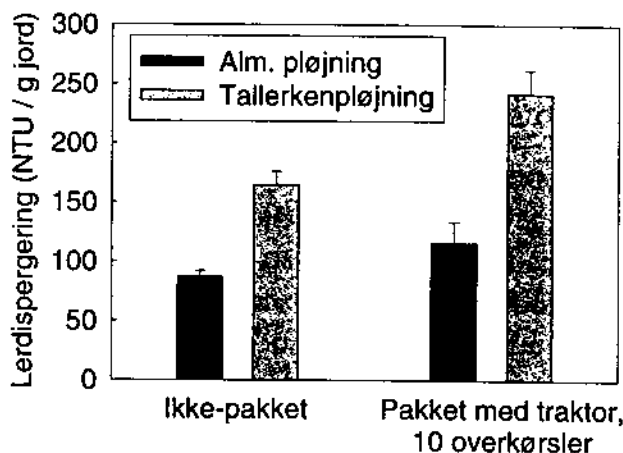
Frigørelse af ler

Siden sidste istid har en vandsøjle på skønsmæssigt ca. 3 km gennemsvivet de danske jorder (ca. 10.000 år med en overskudsnedbør på ca. 300 mm/år). Selv om jorden i hovedparten af denne tidsperiode har ligget urørt af menneskelig forstyrrelse og med naturlig plantevækst, har dette givet anledning til nedvaskning af en del af de øvre jordlags lerindhold til større dybder (figur 3). Tab af ler fra overfladelagene medfører en reduktion af jordens dyrkningsværdi på grund af flere af lerets funktioner (tilbageholdelse af næringsstoffer gennem ionbytningskapacitet, potentiale for strukturobygning mm). Vi har stort set ingen viden om, hvorvidt den stærke stigning i mekanisk energitilførsel til jorden gennem det sidste halve århundrede har accelereret nedvaskningsprocessen. Imidlertid indikerer flere og flere undersøgelser, at trafik og – i endnu højere grad – jordbearbejdning giver anledning til en større frigørelse af jordens lerminerale.

En dansk undersøgelse på i alt 80 marker med vinterhvede viste, at anvendelse af rotor-



Figur 3. Lerindhold i forskellige dybder af en dansk morænejord (Forskningscenter Foulum). Gennemsnit af 15 jordprofiler fordelt over ca. 150 ha. Stregerne angiver standardafvigelse på middelværdien. Beregnet efter data fra Schjønning (1992).



Figur 4. Frigørelse af ler efter forskellig behandling af en rumænsk landbrugsjord (høje NTU-tal er udtryk for stor frigørelse). Efter Watts et al. (1996).

harve i forhold til traditionel tandharve ved etablering af såbed gav signifikant dårligere stabilitet af jordens aggregater (tabel 2). En sådan ringere stabilitet er samtidig udtryk for, at aggregaternes ler frigøres til jordvæsken med risiko for tilslemning af overfladen samt nedvaskning af ler i jordprofilen. Tilsvarende viste en undersøgelse i Rumænien, at både trafik og jordbearbejdning giver anledning til forøget frigørelse af jordens lerindhold (figur 4). På basis af disse resultater er der grund til at advare mod fortsat brug af meget høje energimængder ved trafik og jordbearbejdning.

Pakning af overjorden

Trafikforårsaget pakning af jorden i pløjelaget reducerer mængden af de store porer i jorden, og disse er vigtige for transport af luft til mikroorganismer og rødder (figur 2). En norsk undersøgelse har påvist, at dette kan medføre udbyttetab (Hansen, 1996). Summet over et femårigt sædskifte høstede man 12 procent mindre efter pakning af jorden i et forsøgsled, der var tildelt NPK gødning. Pakningseffekten var langt større (26 procent udbyttetab) i et forsøgsled, hvor gødningen bestod af gylle. Dette må formodes at skyldes netop dårligere betingelser for omsætning af den tilførte husdyrgødning i det pakkede forsøgsled. Også danske forsøg har vist udbyttetab ved pakning af overfladejorden, især under våde vækstbetingelser (Rasmussen, 1976a).

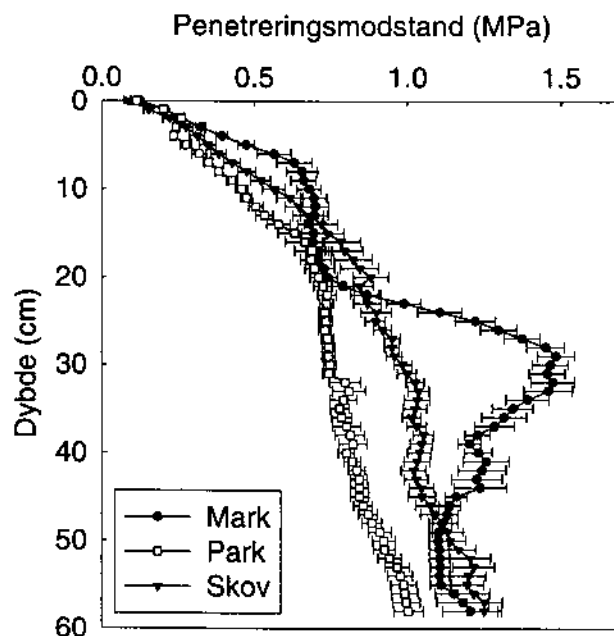
Tabel 2. Stabile aggregater (g / 100g) i størrelsen 2-8 mm, som er stabile mod fragmentering til mindre end 1 mm ved sigtning i vand. Behandlingerne refererer til metode anvendt ved såbedstilberedning i danske vinterhvedemarker i en undersøgelse af forholdene i praksis. Tal med samme bogstav (indenfor år) er ikke signifikant forskellige. Efter Schjønning et al. (1997).

Såbedstilberedning	1993/94	1994/95
Antal marker	44	36
Pløjet, vejret, traditionel tandharvning	79.2 ^a	78.9 ^a
Pløjet, vejret, rotorharvning	73.0 ^b	66.9 ^b
Pløjet og rotorharvet straks	73.9 ^{ab}	68.5 ^b

Pakning af jorden under pløjelaget

Vægten af traktorer, vogne og andre maskiner, der anvendes i dansk landbrug er vokset stærkt gennem de seneste årtier. Ingeniørerne har boltret sig og leveret store og effektive maskiner til et erhverv med et stærkt behov for minimering af produktionsomkostningerne. Selv om der er blevet advaret mod udviklingen gennem mange år (f.eks. Rasmussen, 1976ab, 1977; Schjønning, 1989; Schjønning & Rasmussen, 1990) har vi i dag en situation, hvor tunge vogntog, ofte med en samlet vægt på 20–30 tons, kører på efterårs- og forårsvåde jorder. Ligeledes har den stadigt stigende vægt af traktorer givet anledning til meget store belastninger direkte på underjorden ved pløjning med traktorhjulet i furen. Udenlandske resultater har vist, at op til 80 procent af traktorens vægt under traditionel pløjning ligger på hjulene i furen (F. Tebrugge, personlig meddelelse). Resultatet er, at stort set hele den danske jord i dag er skadeligt pakket under normal bearbejdningsdybde. Figur 5 illustrerer forholdet på en østjysk morænejord, hvor det var muligt at relatere forholdene i marken til en nærliggende skov samt til en helt utrafikeret parkjord. Figurens 'penetreringsmodstand' angiver den modstand et metal spyd møder ved nedpresning i jorden. Målingerne er foretaget ved reference-vandindholdet om foråret og afspejler derfor jordtætheden. I parken, der aldrig har været overkørt med tunge maskiner, er der en lav penetreringsmodstand, der øges svagt med dybden på grund af de naturlige geologiske forhold. I skoven er registreret en lidt højere modstand, der muligvis kan tilskrives de periodevis forekommende kørsler i skoven i forbindelse med skovhugst. I marken ses en markant øget jordtæthed i lagene under pløjedybde.

Den registrerede komprimering af markjorden i figur 5 forekommer mest udpræget i jordlagene lige under pløjedybde og må derfor formodes primært at hidrøre fra pløjning med traktorhjulet i furen, – altså en såkaldt



Figur 5. Penetreringsmodstand (MPa) i en østjysk morænejord for henholdsvis en ikke-trafikeret park, en skov samt en jord i landbrugsmæssig drift. Upublicerede resultater fra Danmarks JordbrugsForskning.

pløjesål. Det er dog vigtigt at understrege, at en mindst lige så skadelig pakning skyldes færdsel med tunge maskiner og vogne på jordoverfladen. Ved akselbelastninger over ca. 6 tons kan jorden pakkes til større dybder, – ofte til 60–80 cm (se f.eks. Schjønning & Rasmussen, 1994).

Pakning af jorden under pløjedybde har en række negative effekter på jordens funktioner. Ved komprimering er det rumfanget af de store porer, der formindskes. Det har betydning for afledning af overskudsnedbør og for tilførsel af luft til rødder og mikroorganismer, som det allerede er omtalt for pløj-jorden. Vi har i Danmarks JordbrugsForskning set eksempler på jorder, der var så hårdt pakkede af færdsel med tunge maskiner (bl.a. selvkørende roeoptagere), at der stod blankt vand på overfladen til ind i maj måned samtidig med, at drænene var tørre. Forsøg med færdsel med tung akselbelastning har vist, at sådanne pakningsskader er stort set permanente og altså ikke afhjælpes via naturlige processer – i hvert fald inden for en tidshorison af de nærmeste årtier. De samme forsøg har vist vedvarende udbyttetab på 3–5%. Selv om dette tal kan forekomme beskedent, bør

det ikke bare indkalkuleres på vanlig vis i landmandens budgetovervejelser, idet selve dyrkningssikkerheden – som illustreret med eksemplet nævnt herover – er i fare, både for nuværende og kommende generationer. Desuden stammer tallet fra forsøg, hvor der kun blev foretaget en enkelt pakning med høj akselbelastning. Det første år efter pakning med tunge maskiner er der målt udbyttetab på typisk 15%. I virkeligheden må derfor regnes med fra 3–15% udbyttetab fordelt over marken; hvortil altså kommer dyrknings-sikkerhedsaspektet.

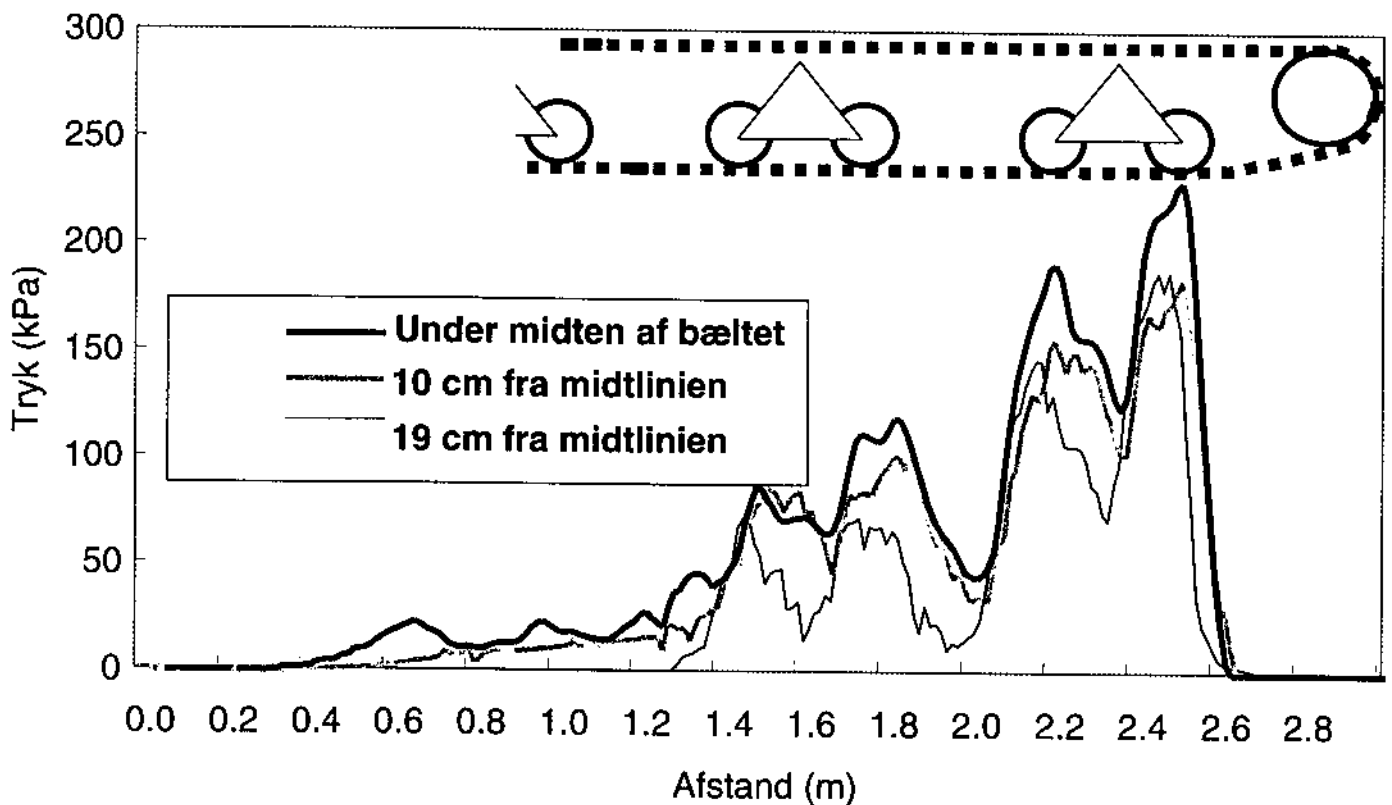
Kan bæltekøretøjer løse pkningsproblemet

Af de maskinforårsagede problemer, der er nævnt i det foregående, må pakningen af jordlagene under normal bearbejdningsdybde betragtes som det alvorligste. Og som det mest påtrængende, fordi det er dokumenteret, at de i dag anvendte maskiner pakker jorden.

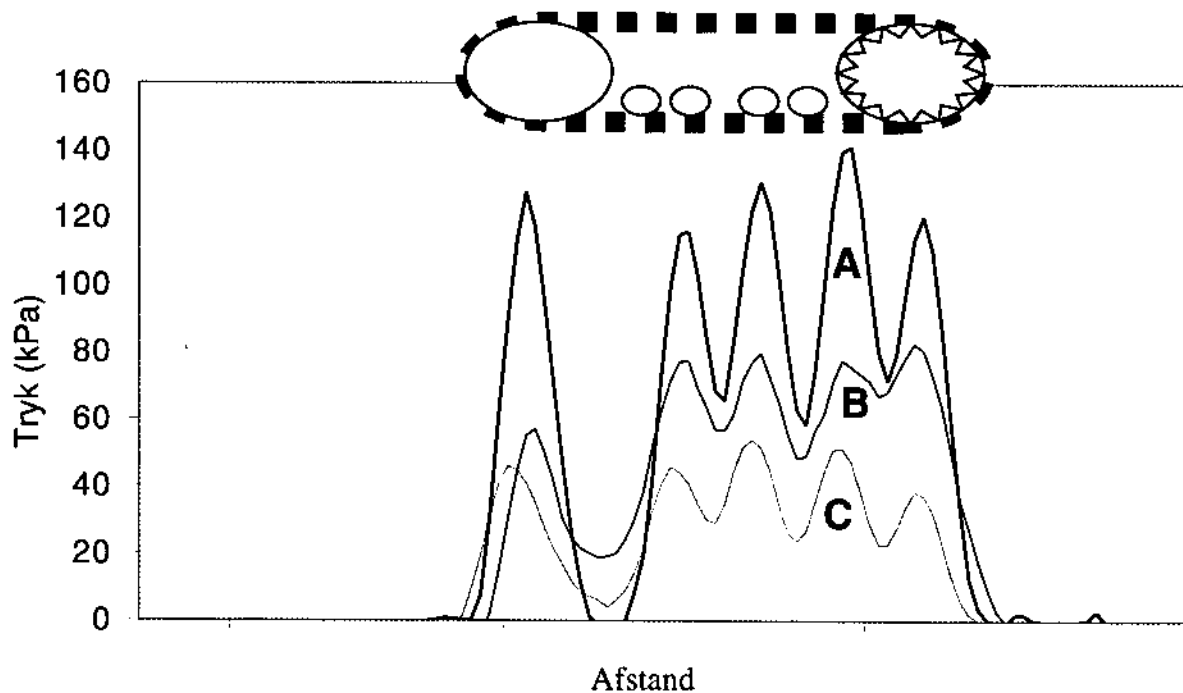
Bæltekøretøjer tilbydes i dag også til jord-

brugsformål. Umiddelbart er dette en meget interessant mulighed, idet marktrykket selv ved tunge køretøjer derved kan bringes ned til ganske lave værdier. Det formodes, at der ved marktryk på under ca. 50 kPa ikke vil ske pakningsskade på flertallet af de danske mineraljorder. Disse spændinger vil ganske vist forplantes til stor dybde på grund af den store jordflade, der belastes. De er dog så lave og vil yderligere aftage med dybden, at der næppe vil ske komprimering. Det bør anføres, at der ikke er foretaget deciderede målinger af den nøjagtige, kritiske værdi for spænding i jorden for ret mange danske jorder.

Desværre viser de få målinger, der indtil nu er foretaget af spændingens fordeling samt pakningen under sådanne bæltekøretøjer, at belastningen langt fra fordeles jævnt under bælteerne. Figur 6 viser eksempelvis resultatet af målinger af trykket (spændingen) i 10 cm's dybde ved overkørsel med en fuldt lastet kalkspreder (26 tons) på bælte. Teoretisk skulle der i dette tilfælde være et marktryk på ca. 58 kPa. På grund af en ujævn



Figur 6. Trykket (kPa) målt i 10 cm dybde under et af bælteerne på et bæltekøretøj med totalvægt ca. 26.5 tons. Figuren viser resultaterne fra den bagerste del af køretøjet. Det teoretisk beregnede, gennemsnitlige marktryk under bælteerne er ca. 58 kPa. Efter Trautner & Arvidsson (2000).



Figur 7. Tryk (kPa) målt i 10 cm dybde under et af bælteerne på et bæltekøretøj, som trækker en bugseret 12-furet plov. A: Tryk direkte under midten på bællet, B: 15 cm fra midten, C: 30 cm fra midten. Det teoretisk beregnede, gennemsnitlige marktryk under bælteerne er ca. 41 kPa (bæltets længde: 3.1 m). Kørehastigheden var 7,6 km/t og køretøjets totalvægt ca. 17,5 tons. Kørselsretningen er fra højre mod venstre. Upublicerede resultater fra Sveriges Lantbruksuniversitet; målinger november 2000 på østdansk morænejord.

fordeling af belastningen samt muligvis på grund af for ringe fleksibilitet af de ruller, der støtter bælteerne, viser marktrykket sig i stedet at komme helt op på 200–250 kPa.

Avdelningen for Jordbearbejning fra Sveriges Lantbruksuniversitet foretog i november 2000 målinger under en bæltetraktor, der foretog pløjning med 12-furet bugseret plov på en morænejord på Lolland, figur 7. Disse

helt nye resultater indikerer, at man her har opnået en bedre fordeling af køretøjets vægt end tilfældet var for kalksprederen i figur 6. Dog når marktrykket (udtrykt som tryk målt i 10 cm dybde) også her betragteligt over den teoretisk beregnede, gennemsnitlige værdi på godt 40 kPa. Dette sker i forbindelse med bærerullernes passage af jorden.

Andre foreløbige målinger melder om større forskydningsspændinger under bælteerne end under hjul (R. Horn, personlig meddelelse), hvilket kan give anledning til pakning ved lavere belastninger end ellers. Der er således et stærkt behov for at få foretaget flere studier af, hvorledes forskelligt udformede bæltekøretøjer belaster jorden samt hvorvidt disse belastninger giver anledning til pakning.

Konklusioner og anbefalinger

Et alsidigt sædskifte og/eller tilførsel af organisk stof til jorden giver en god jordkvalitet

Faktaboks:

Fakta om jordpakning

- Pakning af de øvre jordlag (0 – ca. 35 cm) bestemmes af marktrykket (dæktrykket)
- Pakning i de nedre jordlag (ca. 35 cm og ned) bestemmes af akselbelastningen (maskinernes vægt)
- Anvend derfor gode, brede lavtryksdæk og en maksimal akselbelastning på ca. 6 tons (8–10 tons på boogi-aksel)
- Kun ved meget lave marktryk (< ca. 50 kPa ~ 0.5 bar) vil en høj totalvægt ikke give pakningsskader i dybden

(her defineret som en gunstig jordstruktur). Ensidige driftsformer kan i sig selv give anledning til en dårlig jordkvalitet. Jordpakning via trafik på jorden kan eliminere de gode effekter af et godt sædskifte og tilførsel af organisk stof.

Trafik på jorden og i endnu højere grad intensiv jordbearbejdning øger risikoen for, at jordens lerminerale frigøres til vandfasen. Dette kan give tilslemning og skorpedannelse på jorden og indebærer endvidere en risiko for nedvaskning af de vigtige lerminerale fra dyrkningslaget. Der bør foretages undersøgelser af omfanget af denne proces med de i dag anvendte bearbejdningsteknikker.

Komprimering af jorden under normal bearbejdningsdybde via pløjning med hjulet i furebunden og via kørsel med meget tunge maskiner er i dag en realitet for stort set hele den danske landbrugsjord. Det anbefales stærkt, at landbruget overgår til pløjesystemer med alle fire hjul 'på land' ('on-land' pløjning). Det anbefales ligeledes, at belastningen (vægten) ved kørsel på forårs- og efterårsvåd jord ikke overstiger 6 tons på enkeltaksel og 8–10 tons på boogi-aksel.

Anvendelse af bæltekøretøjer er muligvis en løsning på pakningsproblemet. Det forudsætter dog, at de anvendte maskiner giver anledning til reelt meget lave marktryk (<50 kPa) over hele trædefladen. Der bør gennemføres flere undersøgelser af, hvorvidt de i dag tilgængelige bæltekøretøjer opfylder disse kriterier ved alle arbejdsoperationer.

Litteratur

- Trautner, A. & Arvidsson, J. 2000. Mätning av marktryck under bandfordon. I: Arvidsson, J. (Ed). Jordbearbetningsavdelningens årsrapport 1999. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen nr. 98. Institutionen för Markvetenskap, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Hansen, S. 1996. Effects of manure treatment and soil compaction on plant production of a dairy farm system converting to organic farming practice. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 56, 173–186.
- Rasmussen, K.J. 1976a. Jordpakning ved færdsel om foråret. I. Vækstbetingelser og kerneudbytter af byg. *Tidsskrift for Planteavl* 80, 821–834.
- Rasmussen, K.J. 1976b. Jordpakning ved færdsel om foråret. II. Jordfysiske målinger. *Tidsskrift for Planteavl* 80, 835–856.
- Rasmussen, K.J. 1977. Jordpakningens virkning på struktur og udbytte. *Effektivt landbrug* nr. 3.
- Schjønning, P. 1989. Jordpakning. *Erhvervsjordbruget* 2, 12–15.
- Schjønning, P. 1992. Karakterisering af jordarealer omkring Forskningscenter Foulum. *Tidsskrift for Planteavl* 96, 256. Beretning nr. S2229, 75pp.
- Schjønning, P. & Rasmussen, K.J. 1990. Jordpakning. *Grøn Viden, Landbrug*, 63.
- Schjønning, P. & Rasmussen, K.J. 1994. Danish experiments on subsoil compaction by vehicles with high axle load. *Soil & Tillage Research* 29, 215–227.
- Schjønning, P., Thomsen, H. & Olesen, J.E. 1997. Effects of secondary tillage strategy on soil and crop characteristics. *Proceedings of the 14th Conference of the International Soil Tillage Research Organization. Fragmenta Agronomica* 2B/97, 579–582.
- Schjønning, P., Elmholt, S., Munkholm, L.J. & Deboz, K. 2000. Soil quality aspects of humid sandy loams as influenced by different long-term management. *Agriculture, Ecosystems & Environment* (indsendt).
- Watts, C.W., Dexter, A.R., Dumitru, E. & Canarache, A., 1996. Structural stability of two Romanian soils as influenced by management practices. *Land Degrad. Dev.* 7, 217–238.