



SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET
UPPSALA

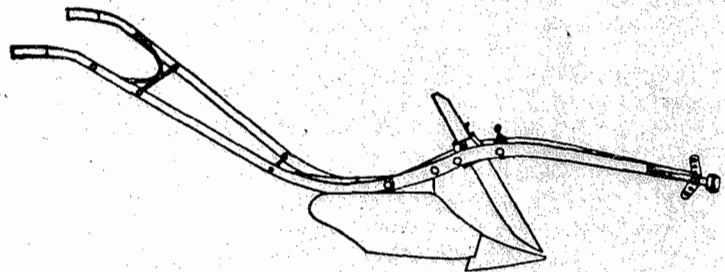
INSTITUTIONEN FÖR MARKVETENSKAP

RAPPORTER FRÅN _____ JORDBEARBETNINGSAVDELNINGEN

Swedish University of Agricultural Sciences,
S-750 07 Uppsala

Department of Soil Sciences

Reports from the Division of Soil Management



Nr 71

1986

JORDBEARBETNING:

SKÖRDEPÅVERKAN - MOTÅTGÄRDER - EKONOMI

Rapport från NJF-seminarium i Sigtuna

28-30 oktober 1986

ISBN 91-576-2875-0

RAPPORTER från JORDBEARBETNINGSAVDELNINGEN

- | Nr | År | Nr | År | | |
|----|------|---|----|------|---|
| 1 | 1968 | Inge Håkansson: Fysikalisk och kemisk beskrivning av markprofiler från 8 platser i Uppland och Västergötland. 128 s. | 33 | 1973 | Inge Håkansson: Tung körning vid skörd av slättervall. Tre försök på Röbbäcksdalen. 1969-72. 20 s.
<i>Effect of heavy machinery when harvesting ley crops. Three field experiments in northern Sweden 1969-72.</i> |
| 2 | 1968 | Inge Håkansson: Några synpunkter på forskning och försöksverksamhet i jordbearbetning. 6 s. | 34 | 1973 | Göran Kritz: Såbäddens utformning på vårsådda fält. Stickprovsundersökning 1969-72. Maskinanvändningen på provplatserna. 76 s. |
| 3 | 1968 | Nils M. Nilsson, Lennart Henriksson: Försök med harvning till vårsåd 1941-1959. 29 s.
<i>Field trials with harrowing to spring-sown cereals 1941-1959.</i> | 35 | 1973 | Lennart Henriksson: Redskap för såbäddsberedning. Undersökningsmetoder och inledande studier. 35 s.
<i>Implements for seedbed preparation. Methods of investigation and preliminary studies.</i> |
| 4 | 1968 | Åke Huhtapalo, Reijo Heinonen: Inledande försök med gödselradmyllning kombinerat med sådd 1964-1966. 37 s. | 36 | 1973 | Inge Håkansson, József von Polgár: Försök åren 1969 och 1970 med en maskin för kombinerad såbäddsberedning och sådd (Svenska Sockerfabriks AB:s vårbrukningsmaskin). 26 s.
<i>Experiments in the years 1969 and 1970 with a machine for combined seedbed preparation and sowing.</i> |
| 5 | 1968 | Lennart Henriksson: Orienterande försök med bearbetning till höstvete. 7 s. | 37 | 1974 | Lennart Engström: Intervjuundersökning om extremt tidig sådd våren 1973. 33 s.
<i>A sampling study into extremely early spring sowing in Sweden in 1973.</i> |
| 6 | 1968 | Lennart Henriksson: Försök med olika såtider. 7 s. | 38 | 1974 | Lennart Henriksson: Studier av några jordbearbetningsredskaps arbetsätt och arbetsresultat. 144 s.
<i>Studies of the mode of working and the working results of some soil tillage implements.</i> |
| 7 | 1968 | Reijo Heinonen: Berättelse över studieresa till Sovjet den 11-26 juli 1967. 13 s. | 39 | 1975 | Thomas Rydberg: Plöjningsfri odling i Sverige. En intervjuundersökning 1974. 21 s. |
| 8 | 1968 | Inge Håkansson: Markfysikaliska studier i ett växtföljdsförsök på Ås den 15-16 juli 1966. 13 s. | 40 | 1975 | Ulf Olsson: Redskap för såbäddsberedning, arbetsätt och arbetsresultat. 55 s.
<i>Implements for seedbed preparation; studies of the mode of working and the working results.</i> |
| 9 | 1968 | Bo Thente: Luftpermeabilitetsmätning som markfysikalisk undersökningsmetod. 41 s. | 41 | 1975 | Inge Håkansson: Rapport över studieresa till USA hösten 1974. 15 s. |
| 10 | 1968 | Reijo Heinonen, Åke Huhtapalo: Besvarade och obesvarade frågor om radmyllning av kvävegödsel. 13 s. | 42 | 1976 | Inge Håkansson: Elva försök med avlucckring och djupplöjning i Syd- och Västsverige 1964-1975. 35 s.
<i>Eleven Swedish field experiments with subsoiling and deep ploughing 1964-1975.</i> |
| 11 | 1968 | Lennart Fergedal: Försök med jordpackning vid olika tidpunkter på våren. År 1967. 9 s. | 43 | 1976 | Peter Edling: Redskap och intensitet vid vårbruk till potatis. Resultat av 11 försök i Norrland 1965-1969. 10 s.
<i>Eleven experiments in northern Sweden with spring tillage for potatoes.</i> |
| 12 | 1968 | Nils M. Nilsson, Lennart Henriksson: Alvluckringsförsök 1937-1963. 32 s. | 44 | 1976 | Göran Kritz: Såbäddens utformning på vårsådda fält III. Stickprovsundersökning 1969-72. Primärdata för 300 provplatser. 76 s.
<i>Seed bed preparation and properties of the seed bed in spring sown fields in Sweden III. Sampling investigation 1969-72. Primary results from 300 investigated places.</i> |
| 13 | 1968 | Reijo Heinonen: Tidig vårsådd. Växtfysiologiska och ekologiska synpunkter på aktuella tendenser i såbäddsberedning och sådd av vårstråsåd. 19 s. | 45 | 1976 | PROCEEDINGS of the 7th Conference of the International Soil Tillage Research Organization, ISTRO. |
| 14 | 1968 | Erik Jakobsson: Plöjningsförsök med olika tiltbredder och vändskiveformer. 10 s. | 46 | 1976 | Inge Håkansson, József von Polgár: Modellförsök med såbäddens funktion. I. Såbädden som skydd mot avdunstning. 52 s.
<i>Model experiments into the function of the seedbed. I. The seedbed as a protective layer against drought.</i> |
| 15 | 1968 | Lennart Henriksson: Försök med grund plöjning. 9 s. | 47 | 1976 | Lars Gunnar Nilsson: Texturanalys och jordartsklassifikation. Rapport från ett NJF-symposium i Uppsala 1976-03-09. 26 s. |
| 16 | 1968 | Stig Ledin: Olika halmnedbrukningsmetoders verkan på kvickrot och på några fröogräs. 21 s. | 48 | 1976 | Inge Håkansson: Olika grödors känslighet för packningsgraden i matjorden. Två försök med vallväxter 1971-74. 17 s.
<i>The sensitivity of different crops to the degree of compactness in the plough layer. Two field experiments with forecrop 1971-74.</i> |
| 17 | 1969 | Inge Håkansson, Börje Gillberg: Lufttrycket i traktordäcken under fältarbeten. En stickprovsundersökning hösten 1968. 32 s.
<i>Investigation into the inflation pressure of the tires of Swedish tractors engaged in field work.</i> | 49 | 1976 | Göran Kritz: Såbäddens utformning på vårsådda fält IV. Stickprovsundersökning 1969-72. En översiktlig studie av några viktiga faktorer. 33 s.
<i>Seed bed preparation and properties of the seed bed in spring sown fields in Sweden IV. Sampling investigation 1969-72. A general survey of some important factors.</i> |
| 18 | 1969 | Göte Bertilsson: Studier över tryckats markpåverkan. 67 s. | 50 | 1977 | Såbäddsberedning och sådd. Uppsatser presenterade vid Lantbrukshögskolans försöksledarmöte 1977. |
| 19 | 1969 | Peter Edling, Nils M. Nilsson, Inge Håkansson: Sju skånska försök med avlucckring och djupplöjning 1964-68. 26 s.
<i>Seven experiments with subsoiling and deep ploughing in Southwestern Sweden 1964-68.</i> | 51 | 1977 | Lennart Henriksson: Stubbearbetningsredskapens arbetsresultat med hänsyn till mark- och halmförhållandena. 32 s.
<i>The results given by implements for stubble cleaning with regard to different soil- and straw conditions.</i> |
| 20 | 1969 | Bengt Reimersson, Gunnar Falk: Försök på Persbo gård 1968 med minskad jordpackning. 8 s.
<i>A field experiment with reduced soil compaction on a clay soil.</i> | | | |
| 21 | 1970 | Lennart Henriksson: Olika redskapstyper för stubbearbetning. Jämförelser av arbetsätt och arbetsresultat. 19 s.
<i>Different types of implements for stubblecultivation. A study of working methods and working results.</i> | | | |
| 22 | 1970 | Inge Håkansson, Lennart Fergedal: Försök med jordpackningens ackumulativa efterverkningar. Preliminär redogörelse. 21 s.
<i>Experiments with the accumulative after-effects of soil compaction. Preliminary report.</i> | | | |
| 23 | 1971 | Göran Kritz, Inge Håkansson: Såbäddens utformning på vårsådda fält. Stickprovsundersökning 1969-70. 43 s.
<i>Investigation into seedbed preparation and properties of the seedbed on spring sown fields in Sweden, 1969-1970.</i> | | | |
| 24 | 1971 | Lennart Henriksson: Tilljämning av plogtiltan på hösten. Försök med höstharvning och tillsatsredskap till plogen. 68 s. | | | |
| 25 | 1971 | Ann Pettersson: Nya redskap för gödselplacering och sådd. 50 s. | | | |
| 26 | 1971 | Lennart Fergedal: Jordpackning med traktor vid olika tider för vårsådd. 140 s. | | | |
| 27 | 1971 | Göran Kritz: Jordbearbetningsforskning i Europa. Rapport från en studieresa. 16 s. | | | |
| 28 | 1972 | Helmut Frese: Zur Frage spezialisierter oder interdisziplinärer Forschung am Boden. 15 s. | | | |
| 29 | 1972 | Inge Håkansson, Sven Alvelid: Två försök i Kalmar län med halmnedplöjning för att minska vinderosionen. 4 s. | | | |
| 30 | 1972 | Ann Pettersson, Sten Wikström: Inledande undersökningar om radmyllning till potatis. 50 s. | | | |
| 31 | 1972 | Peter Edling, Lennart Fergedal: Modellförsök med jordpackning 1968-69. 71 s. | | | |
| 32 | 1973 | Åke Huhtapalo, Ann Wikström, Sten Wikström: Försök med kombisåmaskiner 1971-72. 46 s. | | | |

Sveriges Lantbruksuniversitet
Institutionen för markvetenskap
Avdelningen för jordbearbetning

Rapporter från jordbearbetnings-
avdelningen. Nr 71, 1986
ISBN 91-576-2875-0



NORDISKA JORDBRUKSFORSKARES FÖRENING
Sektion I - Jord och gödsling
Sektion VII - Teknik
Seminarium nr 99
Sigtuna, Sverige, 28-30 oktober 1986

*The Scandinavian Association of Agricultural
Scientists
Seminar in Sigtuna, Sweden, October 28-30, 1986*

JORDPACKNING: SKÖRDEPÅVERKAN - MOTÅTGÄRDER - EKONOMI

SOIL COMPACTION: EFFECTS - COUNTER-MEASURES - ECONOMY.

Redaktörer: Inge Håkansson, József von Polgár, Kersti Rask

ABSTRACT

In October 28-30, 1986, a seminar on machinery induced soil compaction in agriculture was arranged in Sigtuna, Sweden. In more than 30 lectures and posters, the results of most soil compaction research carried out in Denmark, Finland, Norway and Sweden were summed up. Their implications were discussed, as well as the consequences for design and use of farm machinery, and for the economy of different counter-measures. Individual sessions dealt with machinery induced stresses in soils, reactions of the soils to loading, crop yield effects of compaction, possible counter-measures, and economic aspects.

FÖRORD

Den 28-30 oktober 1986 anordnade Nordiska Jordbruksforskarens Förening (NJF) ett seminarium i Sigtuna betitlat "Jordpackning: Skördepåverkan - motåtgärder - ekonomi". Arbetsgruppen för jordbearbetning inom NJF:s Sektion I - Jord och gödsling - svarade för arrangemangen i samarbete med föreningens Sektion VII - Teknik.

I de nordiska länderna har en betydande forskning och försöksverksamhet rörande jordbrukets jordpackningsfrågor genomförts. Vid seminariet kunde större delen av de befintliga forskningsresultaten sammanföras och summeras. De praktiska konsekvenserna av dessa diskuterades liksom valet av nya forskningsuppgifter. De kunskaper som nu föreligger möjliggör att forskningen i fortsättningen allt mera inriktas på åtgärder för att minska packningens skadeverkningar. Forskning med sådan inriktning är betydelsefull, eftersom maskinstorlekarna ökar och därmed också risken för packning i alven. Denna packning har bedömts vara ett av de största hoten mot våra jordars långsiktiga produktionsförmåga.

Seminariet samlade 68 deltagare, varav 7 från Danmark, 14 från Norge, 14 från Finland och 33 från Sverige. Totalt hölls 24 föredrag om påkänningarna på jorden från maskiner och fordon, om jordarnas och grödornas reaktion, om körska-dor i vall, om maskin- och odlingstekniska åtgärder mot packningen samt om packningens ekonomiska effekter. Programmet innefattade dessutom en postersession samt en exkursion till Ultuna.

I föreliggande rapport har vi glädjen att kunna publicera samtliga föredrag, som hölls under seminariet. Härigenom utgör denna rapport en sammanfattning av större delen av den forskning och försöksverksamhet som hittills genomförts i Norden rörande jordbrukets jordpackningsfrågor. I rapporten redovisas dessutom de medverkande i postersessionen och exkursionen samt rubrikerna på deras bidrag. Vidare ingår en kort sammanfattning av diskussionerna.

Inge Håkansson

József von Polgár

<u>Innehållsförteckning:</u>		Sid
ÖVERSIKTSFÖREDRAG		
Sverige:	Inge Håkansson	5
Norge:	Trond Børresen/Arnor Njøs	21
Danmark:	Lorens Hansen	31
Finland:	Paavo Elonen	37
Köksväxtodl.:	Ingemar Bengtsson	45
VILKA PÅKÄNNINGAR UTSÄTTS DEN ODLADE JORDEN FÖR?		
Magnus Elinder	Körintensitet och spår fördelning	49
Hans Jørgen Olsen	Trykfordeling under hjul og baelter	55
HUR PÅVERKAS JORDEN?		
Karl J. Rasmussen	Jordpakningens indflydelse på pløjelaget	65
Janne Eriksson	Packningen och markens odlingsegenskaper	73
HUR REAGERAR GRÖDAN?		
Matti Erjala	Inverkan av bearbetningsmetoder på markstruktur och sockerbetans tillväxt	81
Erkki Kempainen	Körskador vid flytgödselspridning	89
KÖRSKADOR I VALL		
Kristen Myhr	Virkning på avlingen	97
Rolf Celius	Virkning på avlingen	103
Håkon Gihle Raddum	Hva kan vi oppnå med små og lette maskiner i grasberging til ensilering?	109
Knut Lindberg	Noen tiltak for å begrense skadene	113
ÅTGÄRDER MOT PACKNINGEN		
Birger Danfors	Begränsning av axellaster	119
Jukka Ahokas	Däcksutrustningens arbetstekniska egenskaper	127
Gustav Bengtsson	Däck - dragkraft - slirning - arbetsbredd	133
Tarmo Luoma	Tekniska möjligheter att förbättra packade jordars vattengenomsläpplighet	143
Kaj Henriksen	Jordlösning ved dyrkning af frilandsgrønsager	149
Per Schjønning	Jordlösningens indflydelse på jordstrukturen	157
Reijo Heinonen	Självläkning i marken	165
EKONOMISKA BERÄKNINGAR RÖRANDE PACKNINGSFRÅGOR		
Anna-Karin Andersson	Några företagsekonomiska beräknings-exempel av jordpackningens konsekvenser	173
Knut Per Hasund	Naturresursekonomiska konsekvenser av alvpackning	181
POSTERUTSTÄLLARE OCH MEDVERKANDE VID EXKURSION		186
SAMMANFATTNING AV DISKUSSIONERNA		187

Inge Håkansson
Sveriges Lantbruksuniversitet
Institutionen för markvetenskap
Box 7014, 750 07 Uppsala

ÖVERSIKT ÖVER JORDPACKNINGSPROBLEMATIKEN I JORDBRUKET MED UTGANGSPUNKT FRÅN DEN SVENSKA FORSKNINGEN

INLEDNING

Alltsedan jordbrukets fältarbeten började mekaniseras i större omfattning har jordpackningen tilldragit sig intresse hos jordbrukare och jordbruksforskare. I föreliggande uppsats ges en översikt över jordpackningsproblematiken i jordbruket med utgångspunkt från den forskning, som genomförts i Sverige under senare decennier. Liknande översikter har publicerats tidigare (Håkansson & Danfors, 1981, Håkansson, 1984, 1986 a), varför en viss upprepning är ofrånkomlig. Sådana försöksresultat, som redovisats av Håkansson (1984 eller 1986 a) upprepas dock inte.

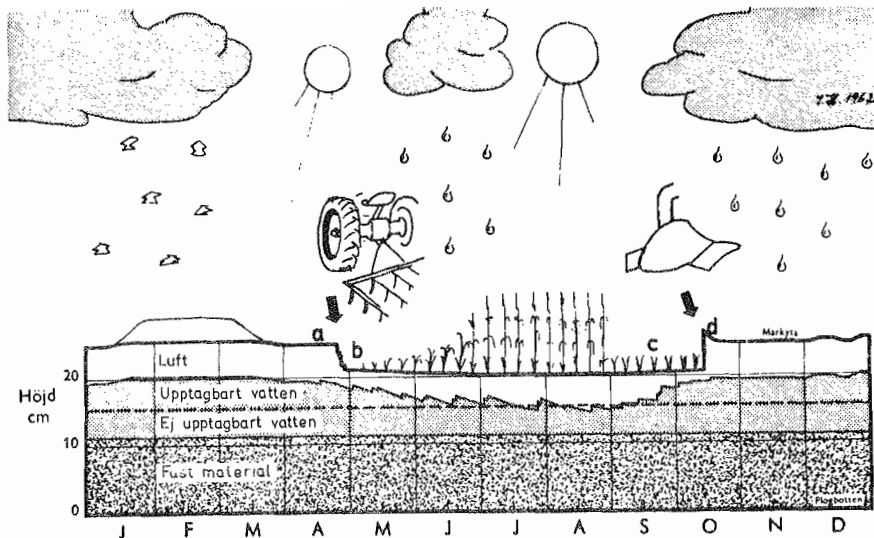
VILKA PAKÄNNINGAR UTSÄTTS DE ODLADE JORDARNA FÖR?

De odlade jordarna utsätts för omfattande påverkan av yttre krafter från jordbruksmaskiner, redskap och transportfordon. På fälten genomförs årligen en sekvens av arbetsoperationer och överfarter, som beror på den tillämpade tekniken och odlingsinriktningen. Vid öppet bruk följs vanligen ett fast schema med plöjning, såbäddsberedning, gödslingar, sprutningar och skördearbeten. Effekterna härav på volymsförhållandena i matjordslagret undersöktes av Andersson & Håkansson (1966). Därvid konstaterades ett årligt cykliskt förlopp med volymökningar och volymminskningar samt däremot svarande strukturförändringar i jorden (Fig. 1, Fig. 2).

Stora volymförändringar observerades vid två tillfällen under året, nämligen vid plöjningen, då jorden luckrades kraftigt (matjordsdjupet ökade), och vid såbäddsberedningen och sådden, då jorden packades av traktorhjul och andra hjul och endast ett tunt ytlager förblev luckert (matjordsdjupet minskade). Samtliga beräkningar visade (Håkansson, 1965), att den sammanlagda spårytan av tungt belastade hjul under ett normalt vårbruk blev ca dubbelt så stor som fältytan och att med då aktuella maskiner större delen av fältytan överfors av hjul. Danfors (1977) genomförde senare liknande beräkningar (Fig. 3).

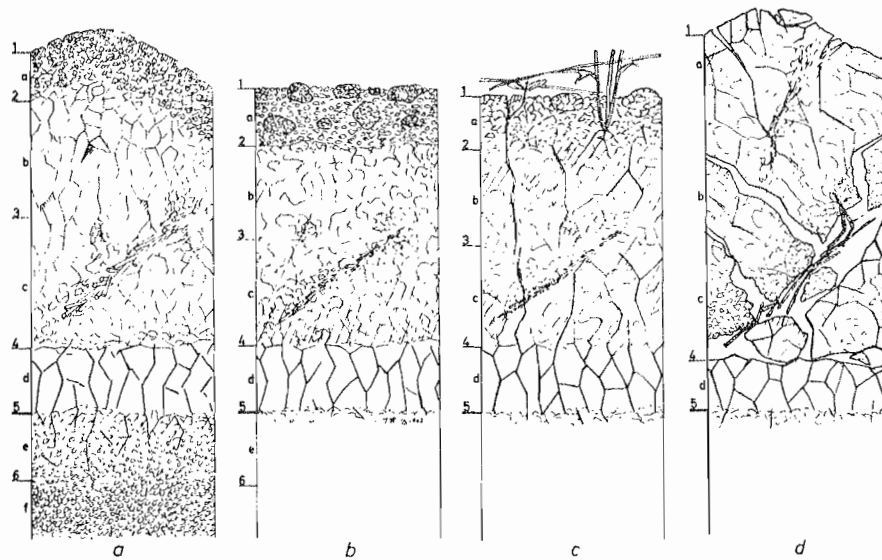
Volym- och strukturförändringarnas storlek beror naturligtvis bl a på jordart, maskinutrustning, körsätt, årsmån och gröda. Man kan anta, att man fortfarande har ett likartat årligt förlopp som för 25 år sedan, förutsatt att plöjning tillämpas. Om jorden inte plöjs, som vid vallodling eller direktsådd, så blir volymförändringarna i matjorden avsevärt mindre (Andersson & Håkansson, 1966).

Den sammanlagda spårytans storlek under en serie arbetsoperationer beror främst av arbetsbredden, hjulbredden och arbetsoperationernas antal. Så länge man har samma typer av däck.



Principdiagram över volymförhållandena i matjorden under en årscykel, ett schematiserat s.k. djup-tidsdiagram. Diagrammet visar matjordens djup och häremot svarande totala volym samt volymerna (resp. djupen) av fast material, av för växterna ej upptagbart vatten, av upptagbart vatten och av luft under ett år med vårsådd och höstplöjning. Vattenförhållandena hänför sig närmast till en mellanlera under ett relativt torrt år.

Fig. 1. Efter Andersson & Håkansson (1966).

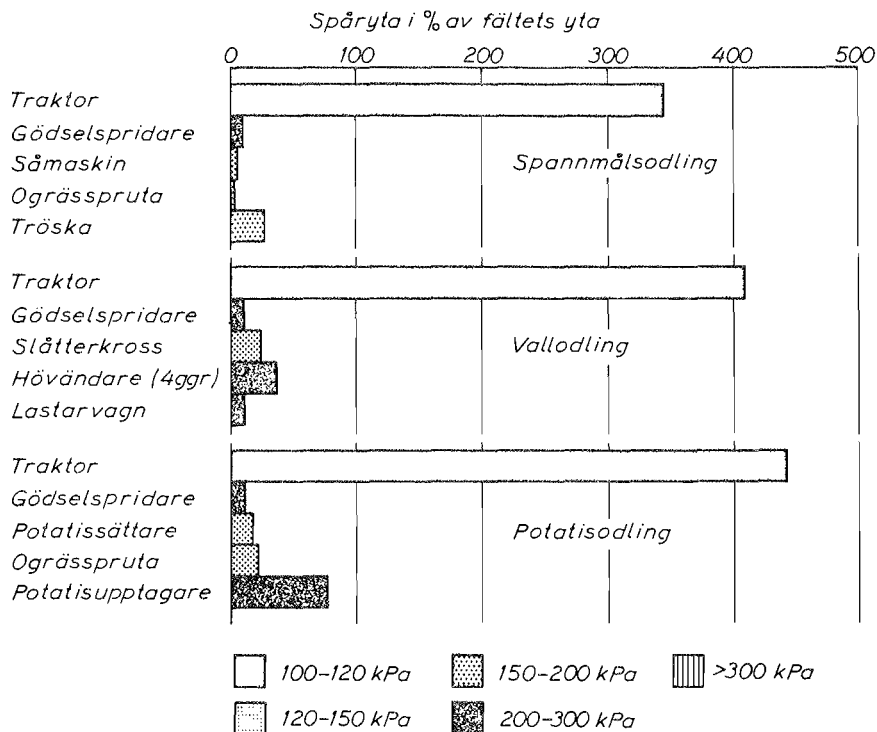


Schematisk bild av matjordens utseende på en och samma plats vid fyra olika karakteristiska tidpunkter under årscykeln. Teckningarna är i första hand gjorda med tanke på en lerjord men gäller principiellt alla jordar under liknande bruk. I teckningarna har vissa allmänna drag i makrostrukturens utbildning mer eller mindre hårt stiliserats. a) höstplöjd tilta före vårbrukets igångsättande, b) efter vårbearbetning och sådd, c) efter skörd (stubbåker) och d) omedelbart efter höstplöjningen.

Siffrorna anger: 1) markyta, 2) gränssyta mellan matjordens ytlager och matjordens centrala del, 3) gränssyta mellan central del och bottenlager, 4) senaste plogbotten (= plöjningsdjup), 5) äldre plogbotten (= största plöjningsdjup) och 6) gränssyta mellan plogsula och alv.

Bokstäverna i bilden anger: a) matjordens ytlager (ytskiktet streckat), b) matjordens centrala del, c) matjordens bottenlager, d) plogsulans matjordsdel och e) dess alvdel samt f) alv.

Fig. 2. Efter Andersson & Håkansson (1966).



Den sammanlagda spårytan under ett år för fordon och maskiner vid tre grödor som kräver olika stor insats av arbete.

Fig. 3. Efter Danfors (1977).

minskar den relativa spårytan något med ökad traktorstorlek genom att arbetsbredden ökar mera än hjulbredden. Övergång till breda lågtrycksdäck eller dubbelmontage ökar naturligtvis spårytan, medan kombination av arbetsmoment minskar den. Fortfarande är den sammanlagda spårytan under ett normalt vårbruk betydligt större än fältytan och totalt under året blir spårytan på en spannmålsgård omkring 4 gånger så stor som fältytan.

Som grund för överslagsmässiga ekonomiska beräkningar har även ett annat mått på körintensiteten använts, nämligen "körmängden" i tonkm/ha (Eriksson et al., 1974; Håkansson, 1985 a), d v s maskinernas tyngd i ton multiplicerad med körsträckan i km/ha. I internationell litteratur har ett liknande mått förekommit, nämligen tontimmar/ha. Då körhastigheten emellertid endast tycks ha en ringa inverkan på maskinernas packningsverkan (Ljungars, 1977), så synes tonkm/ha vara att föredra.

Håkansson (1984) ger också några värden på körmängden i tonkm/ha. Arbeten som ger stora körmängder medför en stor potentiell risk för jordpackning. Plöjning och såbäddsberedning, spridning av stallgödsel samt skörd av sockerbeter, potatis och vall är exempel på arbeten, som ger stor körmängd. Vid jordbearbetningsarbeten blir körmängden ganska oberoende av maskinstorleken och bestäms främst av jordförhållanden och bearbetningsdjup. Vid spridnings- och skördearbeten blir körmängden däremot starkt beroende av tillämpad metodik och använda maskiner. Med gängse teknik varierar körmängden vid spannmålsodling från drygt 100 till drygt 200 tonkm/ha. Vid direktsädd av spannmål får man totalt för året 60 - 120 tonkm/ha vid sädd, gödslingar, sprutningar, skördearbeten m m. Detta är orsaken

till att packningen kan omöjliggöra direktsådd på sådana jordar, som inte luckras genom naturliga processer.

Spårytans storlek eller antalet tonkm/ha är dock dåliga mått på maskinernas verkan på marken och grödan. Sålunda ökar exempelvis spårytan när man förser maskinerna med bredare däck för att skona marken. En tillfredsställande beskrivning av maskinernas packningsverkan kräver mera omfattande beräkningar. Härvid måste först påkänningarna räknas fram med utgångspunkt från spår fördelningen vid de olika arbetsmomenten, trycken i hjulens anliggningsytor och tryckens avklingande med djupet. De erhållna resultaten måste sedan kombineras med uppgifter om markens packningsbenägenhet som funktion av djupet vid resp. körtillfällen, vilken beror av fuktighetstillståndet och av ev. tidigare packning. Packningsbenägenheten hos jordarna undersöktes av Bertilsson (1969, 1971).

Beräkningar av detta slag (datoriserade) vore av stort praktiskt intresse som utgångspunkt för ekonomiska jämförelser mellan exempelvis olika maskinstorlekar, hjulutrustningar eller körsystem. Nu befintligt försöksmaterial rörande packningens effekter på marken och grödan gör dem meningsfulla.

Det ovan sagda har främst gällt matjorden. Även alven utsätts emellertid för betydande påkänningar. Generellt gäller att trycktillskotten från hjulen är störst i eller strax under hjulens anliggningsytor och avtar med djupet (Eriksson, 1976; Olsen, 1986). Vid ökad totalbelastning på ett hjul avklingar trycktillskottet långsammare. Om maskinernas axelbelastning ökar, så kommer skadliga tryck därför att fortplanta sig djupare ner i marken medförande mera djupgående packning. Mätningar av Danfors (1974) visade, att vid en axelbelastning över ca 6 ton (8 à 10 ton på boggie) erhöles bestående packning till djup större än 40 cm. Elastiska rörelser erhöles ända nere på den djupaste mätnivån, som var 120 cm.

I alven är de strukturuppbyggande processerna mindre intensiva än i matjorden. Det sker ingen luckring genom jordbearbetning och frekvensen och intensiteten i upptorkningar och tjälningar är lägre liksom den biologiska aktiviteten. Därför blir packningsverkningar i alven bestående mycket länge (Working Group on Soil Compaction, 1980). I vissa fall tycks de kunna bli permanenta. Detta gäller främst grävre jordar.

I en grupp nu pågående försök studeras efterverkningarna av körning på fuktig mark med fordon med en axelbelastning av 10 ton. Körningen gjordes vid försökens start och upprepas ej. Den visade sig orsaka packning till minst 50 cm djup (Håkansson, 1979). Vid mätningar ca 8 år efter körningen (Håkansson, 1985 b) kvarstod packningen nästan oförändrad på djup större än 35 cm.

Maskiner med axelbelastningar upp till 16 ton har nu tagits i bruk för sockerbetsskörd. Mätningar som genomförts efter körning med en sådan maskin (Henriksson & Håkansson, 1985) visar att packning erhöles till stort djup i alven.

HUR PÅVERKAS MARKENS ODLINGSEGENSKAPER?

När jorden packas är det främst volymen av de grövre porerna som minskar. De finare porerna påverkas allt mindre ju finare de är. Porerna som förblir vattenfyllda vid tensionen 6 m.v.p. påverkas föga av de tryck som vanliga jordbruksmaskiner ger (Eriksson, 1982; Håkansson, 1963). Eriksson (1976) undersökte effekterna på en lerjord av körning med mycket tunga fordon och konstaterade packning till nära 1 m djup. Nästan hela volymminskningen hade träffat porer >0,03 mm, d.v.s. sådana som dräneras vid tensionen 1 m.v.p. Redan vid denna tension är sålunda vattenhalten i viktsprocent och därmed också mängden växttillgängligt vatten i en given jordmängd föga beroende av packningstillståndet. Luftinnehållet och gasutbytet i marken, särskilt vid hög vattenhalt, påverkas däremot i hög grad, liksom genomsläppligheten för vatten.

Penetrationsmotståndet i jorden ökas vanligen starkt, när en jord packas. Eriksson (1982) utförde omfattande mätningar av packningens verkan på jordens egenskaper. Han visade att om jordprover i naturlig lagring utsätts för ett tryck av 200 kPa, så kan penetrationsmotståndet i vissa fall fördubblas. Han anger, att ett tryck av 200 kPa (på en fuktig jord) ofta framstår som ett kritiskt gränsvärde för viktiga markfunktioner såsom vattengenomsläpplighet, gasutbyte och rotframkomlighet.

Även många andra tillväxtfaktorer påverkas av packningen. Direkt eller indirekt torde i själva verket samtliga markfaktorer, fysikaliska likaväl som kemiska och biologiska, påverkas, åtminstone i någon mån (Håkansson, 1983; Håkansson et al., 1985 b). Packningens effekter på grödorna bestäms därför av en lång rad samverkande faktorer.

Normalt är inte det luckraste möjliga tillståndet i en jord det för grödans avkastning bästa. Har jorden luckrats genom plöjning, ökas därför skörden av en måttlig återpackning men den sänks ånyo, om packningen blir för stark. Orsakerna till att avkastningen sjunker om jorden är för lucker eller för packad är många.

I lucker jord är det volymsmässiga innehållet av vatten och växtnäring litet. Efterhand som jorden packas ökas detta, vilket är till fördel så länge inte rötternas tillväxtmöjligheter eller andra faktorer försämras i alltför hög grad. Även den o-mättade ledningsförmågan för vatten är låg i lucker jord, varför vattenupptagningen lätt blir kritisk. I vissa fall torde evaporationen från jorden öka och vatteninnehållet därigenom minska. En lucker jord har lägre värmeledningsförmåga än en mera packad jord. Ibland kan detta vara negativt, exempelvis genom att frostrisken vid markytan ökar.

Såväl ledningsförmågan för vatten som rottillväxten påverkas av packningen, och därigenom också växtnäringens tillgänglighet. De olika växtnäringsämnena kan antas påverkas olika beroende på rörligheten i marken. Därigenom kan balansen i växtnäringsupptagningen ändras, vilket har observerats i amerikanska undersökningar (Lowery, 1984).

När packningsgraden ökar, ökar det mekaniska motståndet mot rötternas tillväxt, vilket kan hämma rottillväxten. Samtidigt minskar luftinnehållet. Är jorden våt kan gasutbytet bli kritiskt lågt. Detta kan leda till syrebrist och därmed till försämrad tillväxt och funktion hos rötterna. I packad jord är vidare genomsläppligheten för vatten låg. Utöver ökad risk för ytvattenbildning kan detta leda till minskad vatteninfiltration och till ökad ytvattenavrinning och jorderosion. Detta är dock betydelsefullare i andra klimatområden än i vårt.

Man kan förvänta många indirekta effekter av jordpackningen på växtnäringsämnen, bl.a. genom den ändrade syretillgången. Sålunda visar sig exempelvis manganbristsymptom ofta endast mellan traktorspåren och inte i dessa. Den ändrade syretillgången kan påverka den biologiska aktiviteten och därigenom bl.a. nedbrytningen av organisk substans, mineraliseringen av växtnäringsämnen, nitrifikationen och denitrifikationen.

Man kan likaså ta för givet att markbundna växtskadegörare påverkas av packningsförhållandena i jorden. Från Kanada rapporterar exempelvis Taylor et al. (1981) ökade angrepp av rotröta på örter med ökande packningsgrad i jorden. Även ogräsen påverkas av packningstillståndet. I de svenska packningsförsöken har det visat sig att kvickroten vanligen är mindre konkurrenskraftig gentemot grödan i packad än i opackad jord (Håkansson, 1983). Detta kan bero på speciella svårigheter för utlöparna att utvecklas i packad jord eller på skador på kvickrotsplantorna under själva packningsprocessen.

Efterverkan av en packning kan bli långvarig även när jorden luckras genom årlig plöjning. Detta diskuteras i nästa avsnitt.

Av det sagda framgår att jordpackningens effekter på grödorna är mycket komplexa. Det är inte möjligt att genom mätningar och analyser så noggrannt beskriva packningens inverkan på alla berörda tillväxtfaktorer att man därav kan beräkna avkastningseffekterna. Dessa kan endast fastställas genom grödornas egen reaktion i fältförsök.

Eftersom jordens strukturtillstånd försämras om en jord packas, så ökar bearbetningsbehovet vid efterföljande såbäddsberedning. Detta har tydligt visat sig i de mångåriga packningsförsöken. ökat antal harvningar har inte alltid kunnat eliminera strukturskillnaderna. Likaså ökar dragkraftsbehovet vid jordbearbetning genom packningen (Edling & Fergedal, 1972).

HUR REAGERAR GRÖDORNA?

Ett stort antal packningsförsök har utförts i Sverige under de senaste 25 åren. En del av dessa är ännu inte publicerade i detalj utan endast redovisade i översiktliga publikationer såsom av Håkansson (1973 b), Eriksson et al. (1974), Håkansson & Danfors (1981) eller Håkansson (1984). Ett stort antal försök är ettåriga och har gällt grödornas reaktion på olika stark packning av plöjd jord vid såbäddsberedningen (Håkansson, 1966, 1973 b; Fergedal, 1971; Edling & Fergedal, 1972, Eriksson et al., 1974). Resultaten visar, att det generellt föreligger ett för grödans avkastning optimalt packningstillstånd i matjorden

och att avkastningen sjunker om jorden är luckrare eller mera packad.

Några exempel på resultat från enskilda försök ges i Fig. 4. I det enskilda försöket kan optimet ibland endast fastställas med låg precision. Så kan vara fallet om optimet legat ovanligt lågt (Fig. 4a) eller ovanligt högt (Fig. 4d), och därför hamnat utanför eller i ytterkanten av det packningsgradsområde som försöket omfattat. I en del fall har packningsgradsskillnaden mellan försöksleden varit för liten (Fig. 4c) eller avkastningskurvan för flack (Fig. 4f) för ett säkert fastställande av optimet.

Som mått på packningstillståndet används i Fig. 4 den packningsgradsskala, som tillämpats i svenska försök av denna typ sedan 1969 och som vid försöksredovisning först användes av Håkansson (1973 b). Packningsgraden enligt den använda skalan bygger på en bestämning av den genomsnittliga volymvikten i matjorden från harvningsbotten till plogbotten. Vid jämförelser mellan olika jordar är emellertid volymvikten ett dåligt jämförelsemått. Vid en och samma volymvikt kan en jord vara mycket lucker, en annan extremt packad. Därför behöver volymviktsvärdena normaliseras. Vi har valt att uttrycka volym-

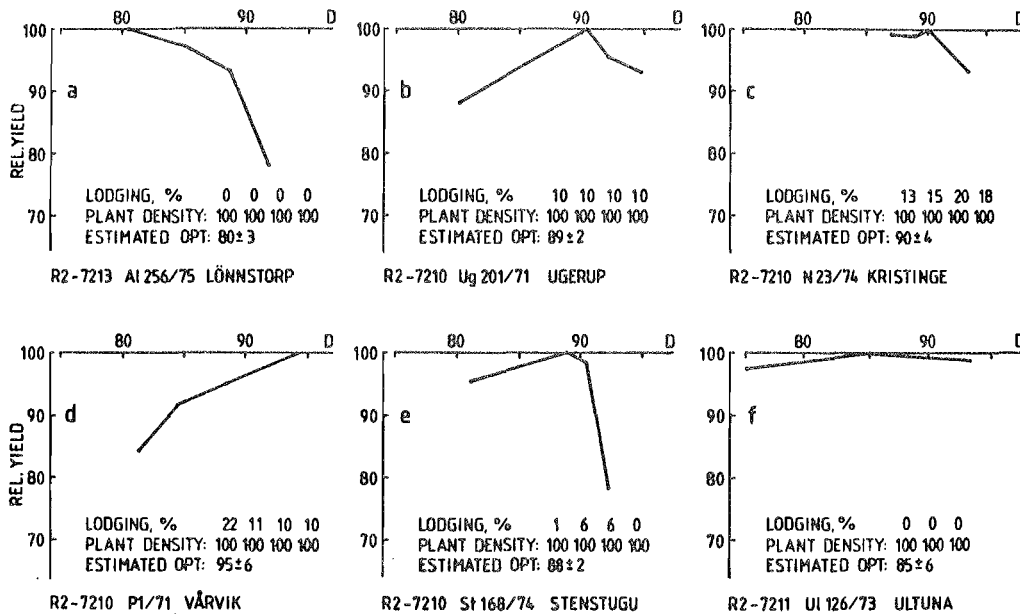


Fig. 4. Några exempel på resultat från enskilda ettåriga jordpackningsförsök i tvåradskorn omfattande 3 eller 4 led med 0 - 4 packningar med traktorhjul på höstplöjda fält före sädens. Kärnskorde i procent av skörden i det högst avkastande försöksledet anges som funktion av packningsgraden i matjorden. Den optimala packningsgraden har skattats. Förutom till skörden har hänsyn då tagits till ev. skillnader i planttäthet (plant density) eller liggsäd (lodging), vilka redovisas för resp. försök.

vikten i fält (ρ_t) i procent av volymvikten ($\rho_{t,p}$) för jorden i fråga i ett referenstillstånd, som utgörs av det mest packade tillstånd som kan erhållas på laboratoriet med en uniaxial belastning av 200 kPa. Packningsgraden (D) definieras sålunda:

$$D = 100 \cdot \rho_t / \rho_{t,p} .$$

Detta sätt att uttrycka packningstillståndet i ett årligen bearbetat jordlager håller på att utvärderas. Därvid utnyttjas resultaten från ett drygt hundratal enskilda försök med tvåradskorn, i vilka den optimala packningsgraden (D_{opt}) kunnat skattas med varierande säkerhet. Vid utvärderingen undersöks om det finns något samband mellan D_{opt} och jordarten. Preliminära resultat (Håkansson, 1986 c) visar att den använda packningsgradsskalan i stort sett eliminerar skillnaden i optimum mellan olika mineraljordar. Mullhaltens inverkan har däremot inte helt kunnat elimineras. På organogena jordar har D_{opt} blivit lägre än på mineraljordar. En viss modifikation av laboratoriepackningen synes behövlig för att anpassa metodiken även till sådana jordar.

På mineraljordar är D_{opt} alltså ganska oberoende av jordarten men påverkas av flera andra faktorer. Sålunda är D_{opt} i regel lägre om vegetationsperioden är våt än om den är torr (Håkansson, 1966; Fergedal, 1971; Edling & Fergedal, 1972). I internationell litteratur redovisas en stor mängd resultat i samma riktning. Motsatsen rapporteras dock av Elonen (1980). Något enkelt samband mellan fuktighetstillstånd och optimal packningsgrad synes således inte föreligga.

I svenska försök har skillnader i D_{opt} mellan några olika grödor studerats (Håkansson, 1973 b, 1983). Den genomsnittliga ordningsföljden från den gröda som haft det högsta till den som haft det lägsta optimum har blivit följande: Vete, tvåradskorn och sockerbetor; råg; sexradskorn, havre och ärter; raps, rybs och åkerbönor; potatis. Optimum har för vete och korn vanligen legat i packningsgradsområdet 86 - 89 och för potatis 5 à 6 enheter lägre. Man kan dock inte förvänta en allmängiltig relation mellan grödorna. Enskilda tillväxtfaktorer kan ha olika stor betydelse för olika växtslag och också påverkas olika i skilda situationer. Dessutom varierar grödornas känslighetsperioder. Det kan likaså finnas sortskillnader. Den angivna ordningsföljden i D_{opt} gäller därför endast det testade sortimentet under normala svenska odlingsförhållanden.

Även mangan- och kvävegödslingen har ingått som bifaktorer i försöken. Vid manganbrist visade sig manganbesprutning av grödan, enligt förväntningarna, förskjuta optimum mot lägre packningsgrad. När manganbrist ej förelåg blev resultaten växlande. I genomsnitt för hela försöksserien blev samspillet packningsgrad - manganbesprutning obetydligt. I en försöksserie med kvävegödslingarnivåerna 60 och 120 kg N/ha till korn blev det ett något högre packningsgradsoptimum vid den högre kvävegivan än vid den lägre (Håkansson, 1983). Från utländsk litteratur kan nämnas, att Voorhees (1980) för majs i Minnesota erhöll ett högre packningsgradsoptimum utan fosforgödsling än med.

När en packad jord plöjs, så upphävs i stort sett verkan av packningen om man mäter denna med hjälp av jordens genomsnittliga volymvikt eller packningsgrad. Detta betyder emellertid inte att all verkan försvinner. Vid plöjning får en packad jord i regel en sämre tiltläggning än en opackad, markytan blir mera ojämn och tiltorna blir mera sammanhängande och homogena eller mera grovkokiga. I fleråriga försök har försöksmässig körning med fordon med måttlig axelbelastning upprepats årligen strax före plöjningen. Packningen berörde främst matjorden. Resultaten visar (Håkansson & Fergedal, 1970; Eriksson et al., 1974; Håkansson & Danfors, 1981; Håkansson, 1984) att efterverkningarna av en packning i regel inte elimineras på ett år, trots plöjning, tjälning och upptorkning. Därför erhöles en ackumulativ effekt. På lerjordar ökade packningens verkan på grödornas avkastning successivt under en fyraårsperiod. När de försöksmässiga packningarna avbröts tog det samma tid för effekterna att avklinga. Endast på jordar med lågt lerinnehåll utplånades packningens verkningar av en enda plöjning och en vinters tjäle.

Orsakerna till efterverkningarna kan vara många. Detta har diskuterats av Håkansson (1983) och Håkansson et al. (1985 b). I försöken tycktes den viktigaste orsaken vara att den sämre markstrukturen försämrade såbäddens funktion och grödornas etablering. Ibland blev dock skördesänkningen i försöken stor, även när uppkomstbetingelserna var gynnsamma och inga beståndsskillnader förekom. Detta kan ha berott på försämrad rotutveckling men också på markkemiska eller markbiologiska förändringar orsakade av strukturförändringarna eller av själva packningsprocessen. Packningen (eller ev. själva körningen med maskinerna) bidrog verksamt till bekämpningen av kvickrot, vilket på kvickrotsrika lokaler gynnade de packade försöksleden.

Orsakerna till att packning inte ger permanenta efterverkningar i det plöjda lagret torde vara att det grövre porsystemet återställs av jordbearbetning, tjäle, vattenhaltsväxlingar och biologisk aktivitet och att det finare porsystemet endast påverkas i ringa omfattning av packningen från maskinerna. De mindre aggregaten torde i själva verket vid uttorkning och tjälning utsättas för större krympningstryck än de tryck som maskinerna utövar.

Som ovan nämnts pågår försök, i vilka efterverkningarna av körning med fordon med hög axelbelastning på alvens egenskaper och på grödornas avkastning studeras. Också i dessa försök har avkastningssänkningar erhållits, i genomsnitt större ju högre jordens lerhalt varit (Håkansson, 1982, 1985 b). Effekterna har kvarstått längre tid än när körning gjorts med lättare fordon och packning huvudsakligen skett i matjorden. Det är dock ännu för tidigt att säkert uttala sig om varaktigheten av en packning i alven.

Försöken med hög axelbelastning bedrivs i internationellt samarbete. Försök liknande de svenska har anlagts i flera länder, bl a i Finland, Norge och Danmark. Försöksresultaten från övriga länder överensstämmer hittills bra med de svenska (Håkansson et al., 1986). Den genomsnittliga effekten på grödorna kan beskrivas av följande regressionsekvation:

$$Y = 99,9 - 0,181(L \cdot t^{-1,22} \cdot \ln(n + 1)) ; \quad R^2 = 0,35$$

där Y är den relativa skörden i packade rutor (skörden i opackade rutor = 100), L är lerhalten i % och t är tiden i år efter den försöksmässiga körningen.

I två försöksserier har effekten av körning med maskiner vid skörd av slättervall studerats. I den första serien (Håkansson, 1973 a), vilken genomfördes på Röbbäcksdalen erhöles starka skördesänkningar. Den andra serien har omfattat hela landet. Försöksåren blev betydligt torrare än normalt varför de genomsnittliga skördesänkningarna blev måttliga (Håkansson, 1984). I de få fall då körning gjordes under våta förhållanden erhöles dock mycket stora sänkningar. Skördesänkningarna tycktes bero mera på direkta skador på växterna än på jordpackningen.

HUR KAN NEGATIVA VERKNINGAR AV JORDPACKNING MOTVERKAS?

Försöksverksamheten har även omfattat en del mer eller mindre direkta studier av olika åtgärder för att minska packningen och dennas negativa verkningar.

I Skaraborgs län har två mångåriga försök genomförts med vinschning av redskapen för jordbearbetning, sådd, gödselspridning m m över försöksrutorna i stället för traktorkörning (Olvegård, 1965 - 1974). Dessa låg på svårbrukade styva - mycket styva leror med tät struktur och dålig vattengenomsläpplighet. I genomsnitt för 21 skördeår med vårsådda grödor gav vinschningen en skördeökning på 26 % jämfört med användning av medelstor traktor med enkla hjul och standarddäck (Håkansson et al., 1985 a). Vinschningen gav också möjlighet till tidigare bearbetning och sådd än traktorbrukning. När denna möjlighet utnyttjades höjdes skörden ytterligare 5 %. Dubbelmonterade bakhjul på traktorn gav 6 % högre skörd än enkla hjul. Resultaten visar klart packningens stora betydelse på känsliga jordar.

Ljungars (1977) studerade vilka faktorer som bestämmer packningen av matjorden vid körning med normala jordbrukstraktorer på höstplöjda fält på våren. Två faktorer visade sig speciellt utslagsgivande. Den ena var fuktigheten i jorden vid körtillfället. Den andra var antalet överfarter. Varje ny överfart gav dock successivt mindre volymsminskning i jorden än den föregående. ökad tyngd på traktorn ökade packningen något, trots att däckstorleken ökade i proportion till tyngden och ringtrycket hölls konstant. Halvering av ringtrycket minskade packningen, liksom användning av dubbelmontage utan sänkt ringtryck. Dubbelmontage i kombination med halverat ringtryck gav tillsammans ungefär lika stor effekt som om man övergick från körning under fuktiga till väl upptorkade vårbruksbetingelser. Dragkraftsuttaget på traktorn och körhastigheten hade endast ringa betydelse.

Om man i leden med sänkt ringtryck också hade övergått till däck byggda för det låga trycket, så hade antagligen effekterna av ringtryckssänkningen blivit större. Denna slutsats kan dras av undersökningar av Danfors (1977). Dessa visar att marktryck-

ket under ett däck vanligen blir ungefär lika med ringtrycket, när däckets körs med det tryck och den belastning som det är byggt för. Sänks ringtrycket gör däcksstommens styvhet att marktrycket sjunker långsammare än lufttrycket. Danfors undersökte också ringtryckets betydelse för spårdjup och rullningsmotstånd.

I några nystartade försök i svensk-finskt samarbete studeras efterverkningarna på grödan av körning vid olika markfuktighet och olika däcksutrustning på fordonen. De första resultaten antyder, att efterverkningarna i hög grad beror av dessa faktorer.

De i detta och tidigare avsnitt refererade resultaten ger möjlighet till ett antal rekommendationer om åtgärder för att minska packningen från maskinerna och fordonen eller för att motverka dess negativa verkningar. Diskussionen begränsas dock till de tekniska åtgärderna. Betydelsen av olika odlingsåtgärder såsom val av grödor och växtföljder, kalkning och gödsling diskuteras av Eriksson et al. (1974).

Regeln framför andra är att alltid köra under så torra markförhållanden som möjligt. Ofta, särskilt vid sådd och skördearbeten måste tidpunkten väljas utan hänsyn till jordpackningsrisken. Då är det viktigt att maskinutrustningen är sådan, att jorden inte packas alltför starkt. Dräneringen måste också vara god. Har man hög maskinkapacitet kan man lättare förlägga körningen till gynnsamma perioder. Inom vissa gränser kan därför större maskiner och ökad kapacitet rentav medverka till minskad jordpackning.

Alvpackningen genom maskiner med hög axelbelastning har bedömts vara det största potentiella hotet ur markfysikalisk synpunkt mot den svenska åkerjordens långsiktiga produktionsförmåga (Håkansson, 1986 b; Hasund, 1986). Därför får inte axelbelastningen tillåtas bli alltför hög. Som övre gränsvärde har man ibland angivit 6 ton på enkel axel eller 8 à 10 ton på boggie. Begränsning av axelbelastningen innebär inte automatiskt ett stopp för stora maskiner. Om maskinernas storlek ökar över en viss gräns, så måste man emellertid sätta in flera axlar och hjul eller använda lågtrycksdäck.

Ett alternativ till axelbelastningsgränser för de tyngre fordonen kan vara att låta dessa gå i ett glest system av körstråk eller fältvägar. I så fall får dock körstråken endast uppta en liten del av fältytan och aldrig flyttas.

Eftersom trycktillskotten i matjorden främst bestäms av trycken i hjulens anliggningsytor och därmed av ringtrycken, bör däck med låga marktryck användas. Härvidlag finns dock ett ekonomiskt optimum. Vid körningen bör man sänka ringtrycken så långt som rådande körförhållanden medger. För att få full effekt av sänkt ringtryck behöver man dock ha däck som är byggda för det lägre trycket.

Breda lågtrycksdäck eller dubbelmonterade hjul på traktorn ger stor spåryta, varför en stor andel av fältytan packas. Vid såbäddsberedning på plöjd mark är detta en fördel. Enligt försöksresultaten ger en sådan hjulutrustning vanligen en omedel-

bar skördeökning på 2 à 3 % jämfört med standardhjul. På lerjordar ger den också minskad långsiktig verkan. I Stensfälts-Skultorpsförsöken blev den totala effekten under en följd av år hela 6 %. Andersson (1986) har beräknat investeringsutrymmet för dubbelmontage. Sänks marktrycken ännu mera bör man åtminstone på styva jordar få ytterligare skördeökningar. Nya försök för att studera detta har startats och första årets resultat pekar i den nämnda riktningen.

För att få så liten kör mängd som möjligt bör traktorns kapacitet utnyttjas maximalt, bl a genom att redskapsstorleken anpassas väl till traktorstorleken. Fyrhjulsdrift möjliggör att traktorns hela tyngd utnyttjas för dragkraftsproduktion. Kombination av arbeten minskar antalet överfarter och därmed också kör mängden. Kombinerad harvning och sådd - harvsädd - är ett aktuellt exempel. På plöjda fält kan emellertid bristande återpackning mellan traktorspåren sänka skörden, om man inte på annat sätt ser till att detta område återpackas. Vid slopad plöjning blir den minskade packningen däremot enbart till fördel.

Vid arbeten som ger stora kör mängder såsom vall- och rotfrukts-skörd eller gödselspridning är det viktigt att planlägga körningarna väl, så att kör mängden blir så liten som möjligt. Enligt observationer i praktiken finns ofta mycket att vinna. Vanligen bör man köra i samma spår när så är möjligt.

Körning på fält och på väg ställer mycket olika krav på hjulutrustningen. Därför bör man noga överväga, om skilda fordon bör användas. Detta gäller i synnerhet vid entreprenadspridningar o d, där fordonen används många timmar per år och där investeringsutrymmet därför kan bli stort.

Plöjning luckrar jorden och bidrar därför till att utplåna packningsverkningsarna. I jordar där de naturliga strukturuppbyggande processerna är obetydliga, främst de grövre jordarna, har slopande av plöjningen givit dåligt resultat. I många andra jordar tycks jordpackningen däremot inte lägga hinder i vägen för slopad plöjning, såvida man inte kör under ogynnsamma förhållanden eller med utrustning, som ger alltför höga marktryck. Om alven blivit för packad, kan alvluckring ibland vara till nytta. Denna är emellertid dyr och ger långtifrån alltid avsett resultat.

REFERENSER

- Andersson, A.-K., 1986. Ekonomiska aspekter på jordpackning. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Konsulentavdelningens rapporter. Allmänt 84, p. 20:1-20:11.
- Andersson, S. & Håkansson, I., 1966. Markfysikaliska undersökningar i odlad jord. XVI. Strukturodynamiken i matjorden. En fältstudie. Grundförbättring, 19:191-228.
- Bertilsson, G., 1969. Studier över tryckets markpåverkan. Lantbrukshögskolan, Uppsala. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen nr 18. 66 pp.
- Bertilsson, G., 1971. Topsoil reaction to mechanical pressure. Swedish Journal of Agricultural Research, 1:179-189.
- Danfors, B., 1974. Packning i alven. Jordbrukstekniska institutet. Specialmeddelande nr. S 24. 91 pp.

- Danfors, B., 1977. Jordpackning - hjulutrustning. Jordbrukstekniska Institutet. Meddelande nr. 368. 53 pp.
- Edling, P. & Fergedal, L., 1972. Modellförsök med jordpackning 1968-69. Lantbrukshögskolan, Uppsala. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen nr. 31. 71 pp.
- Elonen, P., 1980. Soil compaction - a severe problem in Finnish agriculture. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen nr 60, p.41-45.
- Eriksson, J., 1976. Influence of extremely heavy traffic on clay soil. Grundförbättring, 27:33-51.
- Eriksson, J., 1982. Markpackning och rotmiljö. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Avdelningen för lantbrukets hydroteknik. Rapport nr 126, 138 pp.
- Eriksson, J., 1986. Jordpackning - markstruktur - dränering. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Konsulentavdelningens rapporter. Allmänt 84, p. 17:1-17:10.
- Eriksson, J., Håkansson, I. & Danfors, B., 1974. Jordpackning - markstruktur - gröda. Jordbrukstekniska institutet. Medd. nr. 354. 82 pp.
- Fergedal, L., 1971. Jordpackning med traktor vid olika tider för vårsädd. Lantbrukshögskolan, Uppsala. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen nr 26. 140 pp.
- Hasund, K. P., 1986. Jordbruksmarken i naturresursekonomiskt perspektiv. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Institutionen för ekonomi och statistik. Rapport nr 269. 198 pp.
- Henriksson, L. & Håkansson, I., 1985. Sockerbetsodling och markstruktur: Markskador av maskiner med hög axelbelastning. Betodlaren nr. 4, p. 259-262.
- Håkansson, I., 1963. Försök med olikartad strukturell utformning av matjord och plogsula i kombination med olika bevattningsmängder. Lantbrukshögskolan, Uppsala. Licentiatavhandling. Stencil. 108 pp.
- Håkansson, I., 1965. Några markstrukturaspecter på den moderna jordbruksdriften. Grundförbättring, 18:89-98.
- Håkansson, I., 1966. Försök med olika packningsgrader i matjorden och alvens översta del. Grundförbättring, 19:281-332.
- Håkansson, I., 1973 a. Tung körning vid skörd av slättervall. Tre försök på Röbbäcksdalen 1969-1972. Lantbrukshögskolan, Uppsala. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen nr 33. 20 pp.
- Håkansson, I., 1973 b. The sensitivity of different crops to soil compaction. Proceedings of the 6th international conference on soil tillage. Wageningen, The Netherlands. p. 14:1-14:4.
- Håkansson, I., 1979. Försök med jordpackning vid hög axelbelastning. Markundersökningar 1-2 år efter försökens anläggande. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen nr 57. 15 pp.
- Håkansson, I., 1982. Long-term effects of vehicles with high axle load on subsoil compaction and crop response. Proceedings of the 9th conference of the International Soil Tillage Research Organization, ISTRO, Osijek, Yugoslavia, p. 213-218.
- Håkansson, I., 1983. Über die Ursachen veränderter Pflanzenerträge infolge Einsatz schwerer Maschinen. Mezinárodní vedecké symposium "Zmeny pudniho prostredí ve vztáhu k intenzifikacním faktorům", Brno, Tjeckoslovakien, p. 57-66.

- Håkansson, I., 1984. Jordpackning. Lantbruksstyrelsen, Jönköping. Statens lantbruksinformation, Forskning och Praktik 4. 10 pp.
- Håkansson, I., 1985 a. Jordpackning - nu vet vi kostnaden! Lantmannen nr. 5, p. 22-24.
- Håkansson, I., 1985 b. Swedish experiments on subsoil compaction by vehicles with high axle load. Soil Use and Management, 1:113-116.
- Håkansson, I., 1986 a. Jordpackningens effekter på grödornas avkastning. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Konsulentavdelningens rapporter. Allmänt 84, p. 18:1-18:7.
- Håkansson, I., 1986 b. Modern tekniks långsiktiga inverkan på markens odlingssegenskaper. Kungl. Skogs- och Lantbruksakademins Tidskrift. Under tryckning.
- Håkansson, I., 1986 c. A method for characterizing the state of compactness of the plough layer. Manuscript. To be submitted to Soil and Tillage Research.
- Håkansson, I. & Danfors, B., 1981. Effects of heavy traffic on soil conditions and crop growth. International Society for Terrain-Vehicle Systems. 7th International Conference, August 16-20. Calgary, Alberta, Canada. Proceedings, vol I, pp. 239-253.
- Håkansson, I. & Fergedal, L., 1970. Försök med jordpackningens ackumulativa efterverkningar. Preliminär redogörelse. Lantbrukshögskolan, Uppsala. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen nr. 22. 21 pp.
- Håkansson, I., Henriksson, L. & Gustafsson, L., 1985 a. Experiments on reduced compaction of heavy clay soils and sandy soils in Sweden. International Conference on Soil Dynamics, Proceedings. June 17-19, Auburn, Alabama, USA, pp. 995-1009.
- Håkansson, I., Wiklert, P. & Thunholm, B., 1985 b. Long-term effects of compaction by farm machinery on some ecologically important physical properties of soils. International Association for Ecology, Athens, Georgia, USA. Intecol Bulletin, No. 12, p. 119-129.
- Håkansson, I., Voorhees, W.B., Elonen, P., Raghavan, G.S.V., Lowery, B., van Wijk, A.L.M., Rasmussen, K. & Riley, H., 1986. Effect of high axle load traffic on subsoil compaction and crop yield in humid regions with annual freezing. Submitted to Soil and Tillage Research.
- Ljungars, A., 1977. Olika faktorerers betydelse för traktorernas jordpackningsverkan. Mätningar 1974-1976. Lantbrukshögskolan, Uppsala. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen nr 52. 43 pp.
- Lowery, B., 1984. Subsoil compaction effect on corn production with two soil types. ASAE, St Joseph, Michigan, USA, Paper no. 84-1032. 13 pp.
- Olsen, H.J., 1986. Tekniska möjligheter att undvika skadlig jordpackning. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Konsulentavdelningens rapporter. Allmänt 84, s.19:1-19:12.
- Olvegård, P., 1965 - 1974. Stensfält-Skultorpsförsöken. Arliga redogörelser i Skaraborgs läns Hushållningssällskaps Tidning.
- Taylor, F., Raghavan, G.S.V., Vigier, B., McKyes, E. & Gauthier, L., 1981. Effect of compaction and root rot disease on development and yield of peas. ASAE, St. Joseph, Michigan, USA, Paper no. NAR-81-302. 9 pp.

Voorhees, W.B., 1980. Management of wheel-induced soil compaction in temperate to cool subhumid regions - A preliminary report. USDA, SEA-AR, Morris, Minnesota, USA. 86 pp.

Working Group on Soil Compaction by Vehicles with High Axle Load, 1980. Report of meeting in Uppsala 1980. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen nr 60. 56 pp.

Oversikt over noen norske forsøk med jordpakking.

av

Trond Børresen og Arnor Njøs
Institutt for jordkultur, N-1432 Ås-NLH

På grunn av tyngdekraften er jorda utsatt for pakking av sin egen tyngde, av snølag om vinteren, av trafikk fra mennesker, dyr, maskiner og redskaper. Jordarbeidingsredskap, som plog, harv og trommel fører med seg pakkevirkning gjennom egen tyngde. Kapillærkrefter drar jordpartiklene sammen gjennom grenseflatespenninger vann + luft og vann - jord. Denne pakkevirkningen kommer fram ved f.eks. løsning av jord ved fresing fulgt av regn, eller vanning. Den kommer fram som en jordsmonndannende faktor på siltige leirer eller siltjord gjennom den årlige vinter - sommer syklus. Her dannes det en plate- eller skivestruktur ved hjelp av de islinsene som oppstår parallelt med overflaten ved frysing. Det blir her en blanding av tette plater (aggregater) og vannrette poresystemer, noe som har en tendens til å forsinke den vertikale vannbevegelsen. Planterøttene pakker omkringliggende jord, men etterlater seg grove porer. Oppdeling av store aggregater i mindre gir tettere jord, men samtidig et mer allsidig poresystem. Derfor kan det bli en optimumstørrelse av aggregater for spiring og tidlig utvikling (Njøs, 1971).

Tromling.

Norske forsøk rundt 1960 viste at vanlig tromling med Cambrigde-trommel på leirjord økte avlingene av korn med 7-8 prosent, og at belastning av trommelen med ca 200 kg pr meter arbeidsbredde ga ytterligere en svak økning som ikke var signifikant (Njøs 1962).

Pakking med traktor under 2.5 tonn (25 kN) i kornolop.

I 1960- og 1970-årene ble det utført langvarige forsøk med jordpakking med lett traktor på Sørøstlandet i Norge.

Forsøk I, Ås. (Njøs, 1976)

Jorda var lettleire over siltig mellomleire med 6 prosent organisk materiale i 0-20 cm dybde. I tabell 1 er gjengitt avlingsresultater i forsøk I med jordfuktighet (A), pakking (B) og nitrogen. Virkningen av nitrogen er ikke tatt med, da det ikke var signifikant samspill med jordfuktighet og pakking. De to nitrogenbehandlingene var 50 og 100 kg N/ha.

Behandlinger i forsøk I.

- A0 Våt jord. Sug målt med tensiometer,
5 cm dybde : Mindre enn 5 kPa
20 cm dybde : Mindre enn 5 kPa.
- A1 Fuktig jord. Sug målt med tensiometer,
5 cm dybde : 7 - 50 kPa
20 cm dybde : 5 - 30 kPa
- B0 Ikke ekstra pakking i tillegg til normal jordarbeiding.
- B1 En kjøring, hjul ved hjul, med en 18 kN traktor.
Lufttrykk i forhjul 250 kPa, i bakhjul 90 kPa.
Pakking ble utført før harving.

Tabell 1. Avling av korn (t/ha, 15 % vann) i forsøk I på As.

Behandling	1962-66	1967-68	1972-74
Upakket, våt (A0B0)	2.6	2.3	4.3
Pakket, våt (A0B1)	2.3	1.8	3.9
Upakket, fuktig (A1B0)	3.7	3.1	4.5
Pakket, fuktig (A1B1)	3.7	3.2	4.4
Sign. eff.	A,B	A,B,AB	A,B

Både jordarbeiding og pakking var utført i henholdsvis våt og fuktig jord. Den negative virkningen av pakking i våt jord var i perioden 1962-66 12 prosent, i perioden 1967-68 23 prosent og i perioden 1972-74 9 prosent. Den generelle avlingsreduksjonen for våt jordbehandling (A0) i forhold til fuktig (A1) var 30-35 prosent i de første to periodene, men bare 8 prosent i 1972-74. Det var langt tidligere såtid i 1972-74 enn i de to andre periodene, henholdsvis 27. april mot f.eks. 17. mai 1967-68.

Mengden av kveke (*Elytrigia repens* L.) var minst for A1 (begge B-ledd), nemlig 5 prosent, men 12 og 22 prosent for A0B0 og A0B1.

Aggregatstørrelsefordelingen var grovest for A0B1, deretter fulgte A0B0, mens den var betydelig finere for A1-leddene. For porevolumet var det en minskning på 3 prosent fra perioden 1963-65 til perioden 1972-74 for A0, mens det var konstant for A1. I siste periode var porevolumet i 10-15 cm dybde 53 prosent for A1B0, 51 prosent for A1B1, 48 prosent for A0B0 og 46 prosent for A0B1.

Skjærfastheten var størst for pakking av våt jord (140 kPa) og minst der det ikke var pakking av fuktig jord (80 kPa). Dette gjaldt 10-20 cm dybde. Under matjordlaget hadde pakking (enten ved A0 eller A1) ført til økning av skjærfastheten.

Nitrat-innholdet i aggregater ble målt i 1974 og var høyest for A0B1, deretter fulgte A0B0, og så mindre i begge A1 ledd. Dette kan forklares ved innkapslingseffekt av lagret gjødsel-N pga. mindre avling og mindre nitrifikasjon foregående år. Når den belastende behandlingen (våt + pakking) blir borte, skulle dette

lagrede nitrogenet kunne frigjøres. I engårene (ingen jordarbeiding) som i dette materialet var 1969-71 og 1975 var det ikke signifikant virkning på avling for pakking eller jordarbeidingsfuktighet i tidligere år.

Gaheen & Njøs (1977) viste at infiltrasjonshastigheten og vannledningsevnen i jorda var nedsatt etter pakking i forhold til der det var bare normal trafikk. Målingene var utført 13 år etter start av forsøket. På forsøksruter med pakking var det en to-toppet kurve for infiltrasjonshastighet som funksjon av tid. Infiltrasjonskurvene var entoppet for upakket jord. Forklaringen på kurvetopper er sannsynligvis innestengt luft i porene eller raske overganger i porestørrelse.

Rotutviklingen hos timotei (Phleum pratense L.) i dette forsøket ble studert av Gaheen & Njøs (1978a). Rotlengden ble redusert mer av pakking i våt enn i fuktig tilstand. Aminosyreinnholdet i timoteirøtter økte etter pakking i våt tilstand. Fysiske vekstbetingelser som var gunstige for lengdevekst av røttene syntes å redusere aminosyre- og dermed N-innholdet i røttene, mens ugunstige forhold for rotutvikling økte aminosyreinnholdet.

Ettervirking i forsøk I.

Dette forsøket fikk sin siste forsøksbehandling i 1979. Det ble utført forholdsvis grundige målinger i 1981, (Hofstra et al., 1986). Ettervirkningene fra den lange forsøksperioden var ikke merkbare for pakking når det gjelder luftvolum ved 0,1 bar, totalt porevolum, jordtetthet, skjærfasthet eller bruddfasthet. Men porestørrelsefordelingen var noe påvirket, slik at mengden av nyttbart vann (0,1 bar - 15 bar) var noe mindre for pakking under våte forhold enn under fuktige forhold. Avlingene i den siste perioden med behandling (korn i 1977-79) var stort sett påvirket som tidligere:

Større avlinger etter fuktig enn våt jordtilstand, mindre avling etter pakking enn ikke pakking. Men i to ettervirkningsår 1980-81 med korn var det ingen forskjeller i første år, og en svak positiv ettervirking etter pakking 2. år. Årsaken kan være lagret nitrogen (mindre avling og nitrifikasjon) i pakkingsår.

Nytt forsøksopplegg på forsøk I.

I 1984 startet pakkingsbehandlingene på forsøk I opp igjen, men med noen forandringer. Bakken et al. (1986) fant at denitrifikasjonen i perioden 23.05 - 09.08, 1984 var 10-15 kg N pr ha større i jord som var pakket i våt tilstand enn i upakket jord.

Forsøk II, Ås. (Njøs, 1976)

I forsøk II var jordarten mellomleire med 5,8 prosent organisk materiale i 0-20 cm dybde.

I forsøksperioden 1963-70 kan resultatene sammenfattes slik: Pakking med lett traktor, 18 kN, med samme lufttrykk i dekkene som i forsøk I, ga signifikant avlingsnedgang for pakking om våren med henholdsvis 20 - 11 - 7 prosent for korn - rybs - høy. Økt N-gjødsling reduserte den negative virkingen av høstpakking,

men ikke av vårpakking.

Ettervirkningen på kornavlinger var negative de to første år etter siste behandling (ca 6 prosent), men bare for pakking om våren. Det tredje året var det ikke signifikant avlingsreduksjon for tidligere pakking. Mengden av kveke var større for pakking om våren enn de andre behandlingene. Fem år etter siste behandling var det tendens til lavere porevolum og luftvolum (ved 0.1 bar) for pakket enn for upakket jord.

I forsøk I og II har ikke økt N-gjødsling kompensert nedsatt avling ved pakking om våren.

Forsøk III, Ås.

I forsøk III var det siltig mellomleire over siltig leittleire over stiv leire. Dette var et forsøk med kalking og pakking, anlagt i 1971 og fortsatt igang (1986). Forsøksresultatene er publisert i Gaheen & Njøs (1978b), Njøs (1978) og Hofstra et al. (1986).

Det var her med behandlinger som omfattet 1 og 6 kjøringar hjul ved hjul med traktor (22 kN, samme lufttrykk som i forsøk I) i våt og fuktig tilstand. Kornavlingene ble redusert av pakking i våt tilstand. Avlingsreduksjonen for 6 kjøringar var meget stor og syntes å vokse i perioden 1971-76. I middel var kornavlingene 4,3 t/ha for upakket. For 1 og 6 kjøringar i fuktig tilstand var avlingsnedgangen ikke signifikant. For 1 kjøring og 6 kjøringar i våt tilstand var avlingsnedgangen henholdsvis 14 og 40 prosent. Kalking økte nitratinnholdet i 0-5 cm dybde i jord der det ikke var pakket, men ikke der det var kjørt 6 ganger i våt tilstand, i 0-5 cm dybde. Det var ikke samspill mellom kalking og pakking for avlinger. Aggregatstørrelsefordelingen viste større andel av grove klumper, mengden av nyttbart vann var mindre og skjærfastheten større for den sterkeste pakkingen.

Gaheen & Njøs (1978b) fant generelt en nivåsenkning av jordoverflaten ved pakking. Alle forsøksledd med pakking hadde redusert infiltrasjonshastighet. Arealet av overflatesprekker ble økt ved pakking, mer ved 6 kjøringar enn ved 1 og mer ved våt enn fuktig jordtilstand under pakking. Sterk kalking reduserte oppsprekningen av jorda.

I 1981 ble det utført nye målinger av Hofstra et al. (1986). Det ble funnet tilsvarende resultater som i første periode for luftvolum ved 0,1 bar og porevolum i ploglaget. Her var det sterk reduksjon for 6 kjøringar i våt tilstand, mindre for 6 kjøringar i fuktig tilstand og forholdsvis liten virkning for 1 kjøring i fuktig tilstand. Også like under ploglaget (20-25 cm) fant en disse virkningene. I 1981 var det målinger i ploglaget og i 30-35 cm dybde. Det var stort sett samme gruppering av resultatene for ploglaget, men virkningen hadde ikke gått så dypt som 30-35 cm dybde. Skjærfasthet og bruddfasthet fulgte samme mønster som luft og porevolum i ploglaget, var det heller ikke her påvirkninger i 30-35 cm dybde.

For kornavlinger var det i siste periode bare to klare grupper, 6 kjøringar på våt jord og de andre, hvor den første behandlingen

var ca 40 prosent mindre enn middel av de andre.

Forsøk IV, Øsaker i Tune.

Her var jorda siltig mellomleire over stiv leire. Forsøksbehandlingen var stort sett som i forsøk I og varte fra 1964-1979. Resultatene er beskrevet av Hofstra et al. (1986). Målinger som ble utført i 1981 viste følgende:

Det var stort sett små forskjeller i porevolum, men pore-størrelsefordelingen var noe påvirket, uten at dette slo ut i store forskjeller. Med hensyn til avlinger av korn var tendensen nokså entydig. De to siste årene av behandlingsperioden var det større avling for upakket enn for pakket (ca 3 prosent) og større for fuktig enn for våt jordtilstand (7 prosent). Det første ettervirkningsåret var det en positiv ettervirkning for fuktig i forhold til våt jordtilstand (ca 4 prosent). Det andre året en positiv ettervirkning av pakking (ca 3 prosent). Dette siste må skyldes nitrogenfrigjøring fra lagrede reserver i jorda. Kalking var med som behandling, men det var ikke signifikant samspill.

Forsøk V.

Marti (1983) har gjort rede for tre langvarige forsøk med jordpakking på siltig mellomleire i Modum, Nesodden og Spydeberg på Sørøstlandet i Norge. Her var tyngden av traktorene ca 24 kN (20 kN + 4 kN eksta last). Det ble kjørt hjul ved hjul 1 og 4 ganger i våt og fuktig jordtilstand. Våt tilstand var definert som tilstanden like etter at telen var gått om våren, mens fuktig tilstand svarte til at fargen på pløgså skiftet fra mørk til lys. I forsøket på Nesodden med 5,8 prosent organisk materiale svarte våt til over 40 vektprosent vann og fuktig til 27-34 vektprosent. På Modum svarte våt til 32-35 og fuktig til 21-26 vektprosent. I Spydeberg svarte våt til 34-37 og fuktig til ca 30 vektprosent. Jorda i Spydeberg hadde høyere siltinnhold enn jorda på Modum, men samme innhold av organisk materiale. Feltet i Spydeberg gikk i 4 år, de to andre i 10 år. I de to lengstvarende forsøkene ble behandlingen utført i 8 år og deretter ble det målt ettervirkning.

Fire kjøring i våt tilstand reduserte kornavlingen til 70-84 prosent av upakket forsøksledd så lenge jorda ble pakket hvert år. I forsøket på Nesodden var det avlingsnedgang også for de tre andre pakkingsbehandlingene, minst for 1 kjøring i fuktig tilstand, mens 4 kjøring i fuktig og 1 kjøring i våt tilstand, reduserte avlingene mer.

I de to ettervirkningsårene var det ingen forskjell i noen av forsøkene.

Jordpakking, spesielt når jorda var våt, økte klumpmengden i alle tre forsøk. Her var det også en målbar ettervirkning i 9.-10. forsøksår. Virkningene på jordtetthet og porevolum var ikke entydige. I forsøket på Nesodden (størst fuktighet ved pakking) var det to år etter avslutning av behandlingen en målbar reduksjon av totalt porevolum og volum av store porer.

Jordtetthet - pakkingsgrad - kornavling.

Riley (1983a) undersøkte virkingen av ulik traktorkjøring på forskjellige jordarter. Pakking med traktor < 2 tonn (20 kN) førte til en avlingsnedgang på 6 % i forhold til kontrollledet med minimal kjøring, 3 gangers kjøring med traktor, 3-3,5 tonn (30-25 kN), reduserte avlingene med 20 %. Overgjødning med nitrogen oppveiet ikke disse skadene. Den optimale jordtettheten i forsøkene lå på ca 80-90 % av en standard pakkingsgrad bestemt etter 200 kPa trykk på oppfuktet jord. Dette tilsvarte en penetrometermotstand på omkring 200 N cm⁻² i 10-20 cm dybde. Når pakkingsgraden oversteg 95 %, gikk avlingene sterkt ned.

Forsøk med jordløsning.

Riley (1986) forsøkte Paraplow til jordløsning i 9 forsøk på bakkeplanert jord eller annen jord med antatte strukturproblemer. Paraplow ble brukt med og uten påfølgende pløying. På seks felter var det positivt utslag på kornavlingene for bruk av Paraplow, men virkningen var størst for upløyd jord. På de tre andre feltene reduserte Paraplow kornavlingene både med og uten påfølgende pløying. Ulik jordløsningsredskap ble sammenlignet i fem forsøk, men det var ingen sikker avlingsforskjell mellom jordløsningsmetodene.

En rekke forsøk utført med grubbing og dyp pløying ved Institutt for jordkultur (Njøs, 1980a) viste temmelig varierende resultater for grubbing / pløying til større dybde enn vanlig (20-25 cm). For leirjord med moldinnhold 3-6 prosent har ikke djuparbeiding gitt noen klar avlingsøkning. Grubbing til minst 50 cm dybde med fylling av grus eller kalk i grubbesporene har vist tendens til avlingsøkning, men med små meravlinger. Dette kan heller ikke sidestilles med vanlig løsning. Jordblanding på andre jordarter har andre formål og kan ikke sammenlignes med løsning.

Pakking i gras og andre vekster.

Tveitnes & Njøs (1974) fant i forsøk med pakking til eng forholdsvis små, men signifikante reduksjoner av engavlinger. På ren torvjord var avlingsnedgangen minst. Det var ikke signifikant samspill mellom nitrogen og pakking. Plantebestanden ble noe påvirket slik at det ble mindre av timotei etter pakking. På mineraljord ble det en økning av klumpmengden i jorda. På torvjord ble porevolumet redusert av pakking.

I eng kan mye av pakkingsskadene være direkte-skader på selve plantebestanden. Det er her av en viss interesse å nevne at kjøring i eng etter at marka er frosset til, også kan gi betydelige skader. Et par eksempler fra trening med ambulanserbiler på frossen mark om vinteren har vært ganske overbevisende. Bestanden av kulturgras var om våren blitt helt borte i kjøregatene. Ut over sommeren ble det i stedet en betydelig bestand av kveke. Mellom kjøregatene var det brukbar eng. Her var det selve vekstpunktet som var slitt av under kjøring/sluring.

Myhr (1982) fant betydelig reduksjon av infiltrasjonshastigheten både for pakking og bruk av gylle på torvjord. Ved kombinasjonen

1 cm gylle og pakking er jorda blitt nesten ugjennomtrengelig for vann.

Myhr & Njøs (1983) fant i en serie med 9 faktorielle forsøk med pakking av eng i ulike deler av landet med traktorer som hadde en tyngde på 22-24 kN at ved kjøring på forholdsvis tørr jord ble det følgende resultat:

*Jordpakking førte til signifikant mindre tørrstoffavling ved to og tre gangers høsting, men ikke ved en gangs høsting.

*Virkingen av jordpakking var omlag like stor fra år til år gjennom hele forsøksperioden, noe som tydet på at telen om vinteren kan ha utjamnet og utbedret eventuelle skader.

*Jordpakking og tre gangers høsting har ført til økt kvekemengde på leirjord.

*Luftvolumet i jorda ved prøveuttak ble signifikant mindre etter jordpakking.

*Skjærfastheten, ned til 25 cm dybde, ble signifikant større etter jordpakking.

Guren (1985) undersøkte virkningen av spordekning på 0 - 200-400 prosent i poteter og gulrot ved kjøring med traktorer med tyngde 15 - 35 kN. Formålet med dette forsøket var å undersøke virkningen av faste kjøregater.

Ved en spordekning på 200 og 400 prosent med 35 kN traktor på sandjord var avlingsnedgangen i tidligpoteter henholdsvis 8 og 13 prosent. Ved tilsvarende spordekning med 22 kN traktor på lettleire var avlingsnedgangen 13 og 30 prosent i forhold til 0 prosent spordekning. Nedgangen i salgbar avling var i middel henholdsvis 23 og 42 prosent for 200 og 400 prosent dekning med spor.

Ved 100 prosent og 200 prosent spordekning med traktorer på 22 og 15 kN tyngde på henholdsvis leirjord og sandjord var nedgangen i salgbar avling av gulrot i middel 13 og 21 prosent. I potet økte mengden av småpotet og i gulrot mengden av frasortert med økende spordekning.

Skjærfasthetene i jorda økte sterkt med 200 og 400 prosent spordekning. Det samme gjorde trykkfastheten.

Ettervirkningen av sterk pakking på avling var i Gurens materiale sterk positiv, sannsynligvis på grunn av innkapsling/lagring av ubrukte næringsstoffer i jorda fra året før.

Pakking med store belastninger.

Riley (1983b) undersøkte virkningen av pakking med svært store belastninger, henholdsvis 1 og 4 kjøring med 26 tonn (260 kN) og 4 kjøring med 14 tonn (140 kN) på en jordart med 14 prosent organisk materiale, altså på kanten til mineralblanda moldjord.

I korn var det signifikant avlingsnedgang (8-9 prosent) bare for

fire kjøring med 26 tonn. I poteter ble det ikke målt statistisk sikker avlingsnedgang. I forbeter var det 16 prosent avlingsnedgang for 4 kjøring ved 26 tonn og i gulrot var det 23 prosent nedgang i total avling og ca 40 prosent reduksjon i salgbar avling for 4 kjøring. Ved den sterkeste pakkinga varte avlingsreduksjonen i tre år (Riley, 1986).

Ved institutt for jordkultur ble det anlagt et forsøk med pakking med traktor + gjødselvogn, 20 tonn (200 kN) på 4 aksler. En gangs kjøring om våren var nok til å gi betydelige avlingsreduksjoner. (Børresen og Njøs, unpubl.). Allerede året etter var virkningen av pakking på avlingene borte.

SAMMENDRAG.

En oversikt over norske forsøk med jordpakking i perioden 1961-1986 viser følgende resultater:

Tromling med Cambridgetrommel på leirjord har ført til 7-8 prosent avlingsøkning i korn.

Kjøring hjul ved hjul med lett traktor (under 2,5 t) i vekstfølger med stort innslag av korn har på leirjord:

- redusert jordas porevolum og infiltrasjonshastighet
- økt jordtetthet, skjærfasthet og trykkfasthet
- økt innholdet av nitrat i jordaggregater.

Virkningen på de fysiske forholdene i jorda har vært større ved kjøring i våt (stort sett mindre sug, målt med tensiometer, enn 5 kPa) enn i fuktig tilstand (sug 5-30 kPa i 20 cm dybde). Økningen i nitratinnhold skyldes sannsynligvis mindre bruk av gjødsel-N på grunn av reduserte avlinger og mindre nitrifikasjon på grunn av redusert ventilasjon.

Pakking har redusert kornavlingene med opp til 20 prosent ved kjøring i våt jord. Flere kjøring har i våt jord gitt større avlingsreduksjon enn en kjøring.

Avlingsnivået under jordarbeiding og pakking ved våt jordtilstand har generelt vært betydelig lavere enn ved fuktig jordtilstand. Forskjellen mellom de to fuktighetstilstandene har vært mindre ved tidlig enn ved sen såing, men ofte større enn forskjellen pakking - ikke pakking.

Ettervirkningen av pakking ved opphør av behandling har ikke vært særlig stor hverken med hensyn til fysiske forhold eller avlinger. I noen forsøk har det vært negativ ettervirkning på avlingene opp til to år, men det har også vært tilfelle med positiv ettervirkning 2. år etter avslutning av behandling.

Pakking til andre vekster enn korn har særlig redusert mengden av salgbar avling av poteter og gulrot. I eng har det vært signifikante negative utslag for pakking, men noe mindre enn i korn.

Litteraturliste.

- Bakken, L. R., T. Børrensen & A. Njøs 1986. The effect of tractor traffic on soil physical properties, denitrification and yield of wheat. (Under publisering i Journal of Soil Science).
- Gaheen, S. A. & A. Njøs 1977. Long term effects of tractor traffic on infiltration rate in an experiment on a loam soil. Meldinger Norges Landbrukshøgskole 56: nr. 1, 1-15.
- Gaheen, S. A. & A. Njøs 1978a. Effect of tractor traffic on timothy (Phleum pratense L.) root system in an experiment on a loam soil. Meld. Norges Landbrukshøgskole 57 : nr. 1, 1-12.
- Gaheen, S. A. & A. Njøs. 1978b. Long term effects of tractor traffic and liming on surface elevation changes, infiltration rate and surface cracking of a silty clay loam soil at Ås, Norway. Meld. Norgeslandbrukshøgskole 57: nr.11, 1-11.
- Guren, A. 1985. Virkning på avling, kvalitet og jordfysiske egenskaper av ulik kjøreintensitet og bruk av faste kjøregater. Hovedoppgave, Norges Landbrukshøgskole: 128 s.
- Hofstra, S., M. Marti, Trond Børresen & A. Njøs 1986. Effects of tractor traffic and liming on yields and soil physical properties in three field experiments in S.E.-Norway. Meld. Norges Landbrukshøgskole 65: nr. 23, 1-23.
- Marti, M. 1983. Effects of soil compaction and lime on yield and soil parameters on three silty clay loam soils in south eastern Norway. Meld. Norges landbrukshøgskole 62: nr. 24 1-28.
- Myhr, K. 1982. Husdyrgjødsel og kjøreskade. Verknad på jorda si vassleiingsevne. Vestlandske Landbruk nr. 3: 52-54.
- Myhr, K. & A. Njøs 1983. Verknad av traktorkjøring, fleire slåttar og kalking på avling og fysiske jordeigenskapar i eng. Meld. Norges landbrukshøgskole 62: nr. 1, 1-14.
- Njøs, A. 1962. Norske forsøk med tromling og hjultrykk 1957-1961. Grunnførbarring 4: 248-257.
- Njøs, A. 1971. Aggregatstørrelsen i såbedet i forhold til markvannet. Den norske komite for Den internationale hydrologiske dekade, Oslo. Rapport nr. 2: 34-49.
- Njøs, A. 1976. Long term effects of tractor traffic in two field experiments in Norway. Proc. 7th Conf. of ISTR0, Uppsala, Sweden 27:1-27:7.
- Njøs, A. 1978. Effects of tractors traffic and liming on yields and soil physical properties of a silty clay loam soil. Meld. Norges Landbrukshøgskole 57: nr. 24, 1-26.

- Njøs, A. 1980a. Jordforbedring og jordarbeiding. Aktuelt fra Statens fagtjeneste i landbruket nr. 5: 103-120
- Njøs, A. 1980b. Effects of soil cultivation and compaction on grain crops and interactions with nitrogen fertilization. Proc. 9th Conf. og ISTR0, Osijek, Yugoslavia: 323-328.
- Riley, H. 1983a. Forholdet mellom jordtetthet og kornavling. Forsk. Fors Landbr. 34: 1-11.
- Riley, H. 1983b. Pakking med høy akselbelastning. Stensil fra Statens forskningsstasjon KISE.
- Riley, H. 1986. Tunge maskiner og sterke traktorer reduserer avlingene. Norsk Landbruk nr.4: 28-29,41.

JORDPAKNING OG JORDLØSNING I DANMARK

I n d l e d n i n g

Jordpakning af de dybere jordlag er et mindre problem under danske jordbunds- og klimaforhold. Jordløsning til større dybde gennemføres kun i ringe udstrækning.

I løs, pløjet eller harvet jord ses ofte dybe traktorspor om foråret. Sporskader imødegås ved at anvende dobbelthjul på traktorer, eller ved at sporene slettes ved kraftig harvning. På våde jorde kan sen høstning give meget dybe færdselsspor. Det samme kendes fra udbringning af husdyrgødning under uheldige forhold. Disse strukturskader klares i praksis ved pløjning og evt. efterfølgende kraftig harvning.

Forskning og forsøg vedrørende jordpakning og jordløsning er ret begrænset, men skal kort omtales i det følgende.

L a g d e l t e j o r d e

De fleste jorde har en lagdeling. Der kan forekomme såvel rodstandsene som vandstandsene jordlag. En grubning af disse jorde kan evt. forbedre afdræningen. På en del jorde er gennemført pløjning til 60-80 cm dybde. Derved er opnået en opblanding af forskellige jordlag. Udbyttene og dyrkningssikkerhed er normalt forbedret.

Hedeselskabet har gennem en årrække haft forsøg med dyb jordbehandling på oprindelige hedejorde med allag. Nogle resultater fremgår af tabel 1.

Forsøg nr.	Antal forsøgsår	Normal pløjning		Behandling til 75 cm dybde, forh.tal				Tilgæng. vand, mm i roddebyde (nat.lejr.)
		f.e. ha ⁻¹	forh. tal	grubning	pløjning	pløjning + grubn.	pløjning med muldlaget beholdt øverst	
1	18	4103	100	105	107	108	110	38
2	18	4826	100	101	102	101	101	70
3	15	3694	100	110	108	106	107	30
4	5	3037	100	94	105	104	102	
5	11	4433	100	102	101	102	103	98

Som regel er på lang sigt opnået en gavnlig virkning. Det skyldes forøgelse af planternes rodområde, hvilket øget dyrkningssikkerheden i tørre somre.

Tætte lerjorde

En del danske lerjorde er fortættet i undergrunden. Det sinker bortledning af overskudsnedbør og hæmmer planternes rodudvikling bl.a. på grund af lavt luftindhold. På tætte lerjorde skal altid gennemføres en effektiv dræning.

I dansk jordbrug er der med års mellemrum en betydelig interesse i undergrundsløsning. Der er gennemført forskellige forsøgsserier med undergrundsløsning af jord. Udbytteresultater fra en forsøgsserie er vist i tabel 2.

		Uløsnet	Dybde		Afstand		LSD95
			40 cm	70 cm	120 cm	60 cm	
Højer	1972-76	51,1	0,9	1,1	1,2	0,8	0,7
Guldager	1972 og 74	46,0	0,7	2,3	1,3	1,7	0,4
Skørping	1973-76	41,2	1,6	2,1	1,9	2,4	1,0
Oppelstrup	1973-76	45,8	2,7	4,4	3,4	3,7	0,8

Til forsøget var udpeget jorde med fortættet undergrund. En løsning af disse jorde havde meget ringe effekt på planteproduktionen. De lerede danske jorde er som regel meget struktursvage, og undergrundsløsning fører ikke til varig forbedring.

Forsøg med høj akselbelastning

Danmark deltager i den igangværende internationale forsøgsserie med høj akselbelastning. Forsøgene gennemføres på en grovkornet sandjord (JB1) og en sandblandet lerjord (JB6). Forsøgene gennemføres efter følgende plan:

Ingen belastning

16 t belastning 1 gang på overfladen

16 t belastning 4 gange på overfladen

16 t belastning 1 gang på furebunden

De foreløbige resultater viser, at den kraftige belastning har mindsket udbyttet med ca. 5 %, og der er målt en nedgang i porøsiteten.

Pløjedybde

På mange jorde kan påvises en svag udviklet pløjesål. Problemet er dog ikke stort i praksis. Der er gennemført forsøg med brydning af pløjesålen ved at øge pløjedybden eller ved grubning af furebunden. Resultaterne fremgår af tabel 3.

	Udbytte		Porøsitet på lerjord		
	Byg (18 fs.)	Roer (5 fs.)	10-12 cm	20-22 cm	32-34 cm
Alm. pløjedybde ca. 20 cm	37,5	132,7	45	46	45
dybere pløjning ca. 25-30 cm	37,9	127,6	42	42	42
Furebundsløsning	37,5	133,6	43	44	44

Løsningseffekten var ringe, og udbytterne nærmest upåvirket. Øget pløjedybde løser ikke problemet. Derfor stræbes i dag efter at mindske pløjedybden. Nogle resultater er vist i tabel 4.

	Sandjord		Lerjord		Marsk
	Jydevad	Borris	Askov	Roskilde	Højer
Pløjning 20 cm	22,7	41,2	38,5	44,0	51,6
Pløjning 12 cm	-0,3	-0,5	-0,3	-1,3	1,1
Fræsning 12 cm	-1,5	-0,6	-0,7	-3,0	0,9

For planteproduktion kan pløjedybden reduceres, men i praksis må pløjedybden afpasses efter furebredden.

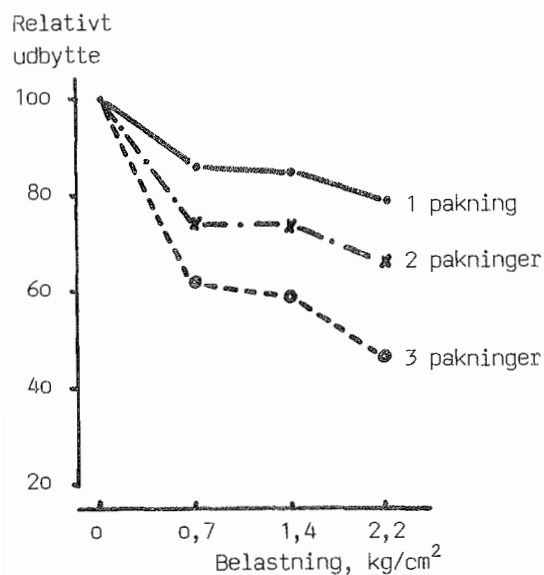
Sporskader

Pløjning medfører en meget kraftig løsning af jorden. I den løse jord ses normalt meget dybe traktorspor. I sporene kan ofte iagttages en bedre fremspiring og bedre start af plantevæksten. Under andre forhold er plantevæksten dårlig i sporene. Der er gennemført omfattende forsøg med færdselens betydning for jordtæthed og afgrødeudbytter. Udbytterne fremgår af tabel 5.

Fugtighedsforhold	Antal kørsler	Jydevad sandjord		Rønhave lerjord		Højer marsk	
		hkg/ha	Forholdstal	hkg/ha	Forholdstal	hkg/ha	Forholdstal
"våd"	0	30,8	100	49,7	100	49,1	100
	1	31,3	102	50,4	101	48,9	100
	2	30,6	99	48,3	97	45,3	92
	4	29,0	94	45,5	92	36,6	75
"tør"	0	30,4	100	50,6	100	47,0	100
	1	30,4	100	51,0	101	48,9	104
	2	30,1	99	52,3	103	49,4	105
	4	29,8	98	49,1	97	47,4	101

Virkningen er meget afhængig af belastningens omfang, jordfugtighed og det efterfølgende klima.

Tryk- og køreskader ved høst og transport af græsmarksafgrøder er belyst i en forsøgsserie. Resultaterne fremgår af figur 1 og tabel 6.



Figur 1.

Forholdet mellem belastning af jorden og det relative udbytte af 2.-4. slæt i 1. års græs. Gns. 3 år, Ødum. (Rasmussen 1981)

Tabel 6. Tryk- og køreskade ved høst og transport af græsmarksafgrøder 1975-78. Udbytte og merudbytte i hkg tørstof pr. ha (Rasmussen 1981)

Antal overkørsler	Belastning kg/cm ²	1. år 2.-4. slæt		2. år 1.-4. slæt
		alm. rajgræs Ødum	kløvergræs Højer	kløvergræs Højer
0	0	52,3	76,8	109,8
1	0,7	- 7,5	-10,3	- 1,6
1	1,4	- 7,7	-11,7	- 7,0
1	2,2	-11,1	-16,3	- 16,3
0	0	51,6	71,1	109,2
2	0,7	-13,4	-16,1	- 1,6
2	1,4	-13,2	-18,5	- 9,2
2	2,2	-17,4	-17,9	- 21,9
0	0	54,2	75,2	108,2
3	0,7	-20,6	-24,6	- 0,9
3	1,4	-22,4	-26,0	- 10,8
3	2,2	-29,0	-29,3	- 31,4

Ved 2-3 overkørsler og med en stor belastning nedsættes afgrødeudbytterne med 20-30 %.

F u r e p a k n i n g

Pløjning giver en kraftig løsning af de øverste jordlag. Der er i øjeblikket en betydelig interesse i at anvende jordpakkere i forbindelse med pløjning. Det har specielt interesse ved den stærkt udvidede såning af vintersæd. Der er foretaget enkelte undersøgelser over forskellige jordpakkereffekt. Som eksempel på måleresultater er vist nogle foreløbige tal i tabel 7.

Tabel 7. Volumenvægt i 8-11 cm dybde og penetreringsmodstand i 10 cm dybde efter forskellige furepakkere på sandjord 1986 (foreløbige tal)

Forsøgsled	Vol.vægt g/cm ³	Penetreringsmodstand N/cm ²
Ingen furepakning	1,32	3,5
Dobbelt 70'er uden knasttromle (Tigges)	1,48	14,6
Dobbelt 70'er med knasttromle	1,52	20,0
Enkelt 90'er uden knasttromle (Wolff)	1,46	13,6
Dobbelt 90'er med knasttromle (Wolff)	1,51	23,1
Enkelt 90'er med knasttromle	1,51	20,9
Dobbelt 90'er uden knasttromle	1,32	9,4
LSD95	0,09	3,0

Jordpakkere giver en mere jævn og ensartet overflade, så traktorspor undgås. Såningen kan da gennemføres i én arbejdsgang med en kombineret harve og såmaskine. Afgrødeudbytterne er normalt upåvirket af furepakningen.

L i t t e r a t u r

- Hansen, L. 1971. Pløjedybde og furebundsløsning. Tidsskr. Planteavl 75, 47-56.
- Jensen, N. K. 1971. Dybdebearbejdningsforsøg. Hedeselskabets beretning nr. 12.
- Rasmussen, K. J. 1981. Genvækst efter fortørring af græsmarksafgrøder. II. Jordpakning i forbindelse med høst og transport. Tidsskr. Planteavl 85, 59-71.
- Rasmussen, K. J. 1981. Reduceret jordbearbejdning ved monokultur i byg. Tidsskr. Planteavl 85, 171-183.
- Rasmussen, K. J. 1976. Jordpakning ved færdsel om foråret. Tidsskr. Planteavl 80, 821-834.
- Schjønning, P. 1986. Personlig medd. - upubliceret.
- Stokholm, E. 1977. Undergrundsløsning af lerjorde. Tidsskr. Planteavl 81, 271-292.

JORDPACKNING - ETT PROBLEM I FINSK ÅKERODLING

I Finland är jordpackningen kanske ett ännu allvarligare problem än i andra länder. Detta beror på vår korta växtperiod. Fleråriga såtidförsök visar att den förmånligaste såtiden på våren är rätt tidig och kort, varande bara ca en vecka. Fördröjning med en vecka från den bästa såtidsperioden betyder en sänkning av vårsädesskördar med ca 10-15 %, och två veckors fördröjning sänker skördarna t.o.m. 40 %. En tidig sådd betyder, att jordarna är fuktiga och känsliga för packningsskador. Omkring 50 % av Södra Finlands åkerareal består av lerjordar, vilka är speciellt känsliga för packning på våren. Skördetiden är också kort och ofta regnig i Finland. Relativt tunga körningar på höstvåta åkrar är en viktig orsak till försämringen av jordstrukturen. Förutom kort växtperiod och känsliga jordarter är åkermaskinernas stigande vikt och vallarealens sjunkande andel två andra orsaker till att jordpackningen anses vara ett alltmer allvarligt problem i den finska åkerodling. (Fig. 1-2)

Skördesänkningar

Enligt på 1970-talet utförda packningsförsök orsakar traktorhjul under tidig såtid klara skördesänkningar i vårsädesodling på lerjordar. Då traktorvikten var ca 3 t och markytan belades med hjulspår en gång omedelbart före harvningen, var skördesänkningen i medeltal ca 10 %. Den andra eller tredje köromgången sänkte skördarna nästan lika mycket som den första körningen. Under torra somrar kunde packningens menliga effekt i viss mån elimineras med bevattning. Packningens efterverkan under följande år var i dessa försök relativt liten, högst en fjärdedel av det föregående årets effekt. (Fig. 3-4)

På 1980-talet har vi undersökt höstpackningens effekter. I försök med stor axelbelastning, 16 t per boggiaxel, har på lerjord funnits klara skördesänkningar ännu tre år efter packningen, i extrema fall t.o.m. 15 % skördesänkning i vårsäd. I de nyaste försöken undersökes effekter av jordpackning under skördetid. Då lerjord har packats på hösten före plöjningen med 3 tons traktor och 5 tons vagn, har körmängden 100 tonkm/ha sänkt följande årets vårsädesskördar i medeltal 8 %. Körmängden 300 tonkm/ha har sänkt följande årets skördar motsvarande med 11 %. Då traktorvagnen var försedd med 500 mm breda lågtrycksdäck, var skördesänkningen bara 1 % mindre jämfört med högtrycksdäck. (Fig. 5-6)

På motsvarande sätt har vi undersökt körningseffekter på ensilagevallens

tillväxt. Körmängden 100 ton/ha efter den första och andra skörden har sänkt vallens tillväxt i den följande skörden mellan 8-38 %, beroende på markens fuktighet vid körningen. Riklig körning, 300 ton/ha, orsakade stora, 22-68 % skördesänkningar i den följande skörden. Då traktorvagnen var försedd med lågtrycksdäck var tillväxten i medeltal 7 % bättre jämfört med motsvarande körningar med högtrycksdäck. (Fig. 7)

Jordpackningens andra ofördelaktiga effekter

Förutom skördesänkningar har jordpackningen också andra ofördelaktiga effekter i åkerodlingen. Beroende på täta jordars dåliga vattengenomsläpplighet torkar de långsamt på våren och såtiden fördröjs. Såddens fördröjning som sådan betyder en förlust i skörden. Därtill förskjuts också skördetiden på hösten, vilket under regniga höstar innebär svårigheter och merkostnader i skördearbetena och spannmåltorkningen.

Täta jordars bearbetning är inte lätt. Såbeddsberedning kräver extra arbete på våren, vilket innebär att sådden ytterligare fördröjs. Plöjning av packade åkrar sent på regniga höstar är ytterst besvärligt, tids- och energiförbrukande, och då försämras jordstrukturen ännu mera.

Under regniga växtperioder i slutet av 1970-talet och i början av 1980-talet har finska jordbrukare upplevt jordpackningen som ett verkligen svårt problem. Dräneringen har inte fungerat tillräckligt, odlingsåtgärder har varit besvärliga att utföra och växten på täta våta åkrar har varit dålig. I sockerbetsodling är jordpackningens nackdelar kanske största, och därför har en del finska odlare slutat att odla sockerbeta.

Jordluckringens ringa resultat

Man kunde tänka, att en mekaniskt packad jord också kunde mekaniskt luckras. Enligt finska försök och erfarenheter är resultaten av mekaniska jordluckringsåtgärder, förutom plöjningen, ganska ringa. Alvluckring i samband med plöjning eller som en separat åtgärd har inte gett någon lovande resultat. Detsamma gäller också engelska "Paraplow", med vilken några försök under senaste år har genomförts.

I början av 1980-talet försökte vi med en tysk djupluckrare ("Tief-lockerungsgerät"). Med hjälp av caterpillar kunde jorden luckras till ca 75 cm djup med billavståndet 80 cm. I 17 fältförsök djupluckrades åkrarna vinkelrätt mot täckdikena för att förbättra packade jordars vattengenomsläpplighet. Denna försöksserie, som innehöll olika luckringstidpunkter och olika odlingsgrödor, gav inga positiva resultat. Besvikna var också de 45 jordbrukare, som hyrde maskinen och försökte luckra sina packade åkrar.

Plöjningen tycks vara nästan den enda mekaniska jordluckringsåtgärden,

som kan leda till positiva resultat. Med vanlig plöjning luckras matjorden och med 20 tums plog utförd djupplöjning till ca 30 cm djup kan enligt finska försök under vissa jordartsförhållanden nås positiva alvluckringsresultat.

Mera uppmärksamhet till dränering och odlingssystem

Jordstrukturen kan förbättras med hjälp av naturliga processer, om markvård tas tillräckligt i akt i odlingssystemen. Speciellt viktigt är att undvika tunga körningar på våta åkrar. Som utgångspunkt för markstrukturens vård är dräneringen. På effektivt dränerade åkrar kan körningar på våt jord undvikas och jorden är tillräckligt bärande under såväl så- som skördetiden.

Därtill kan man begränsa åkerkörningens mängd och jordpackning med hjälp av effektiva arbetsmetoder och -redskap samt med lämplig däckutrustning. Om man odlar tidigt mognande växtslag och -sorter är det möjligt att skörda tidigt på hösten, då jordarna inte har hunnit bli för våta. Efter tidig skörd hinner man också utföra höstplöjningen under relativt goda förhållanden. I Finland rekommenderar vi för jordpackningens skull relativt tidig höstplöjning.

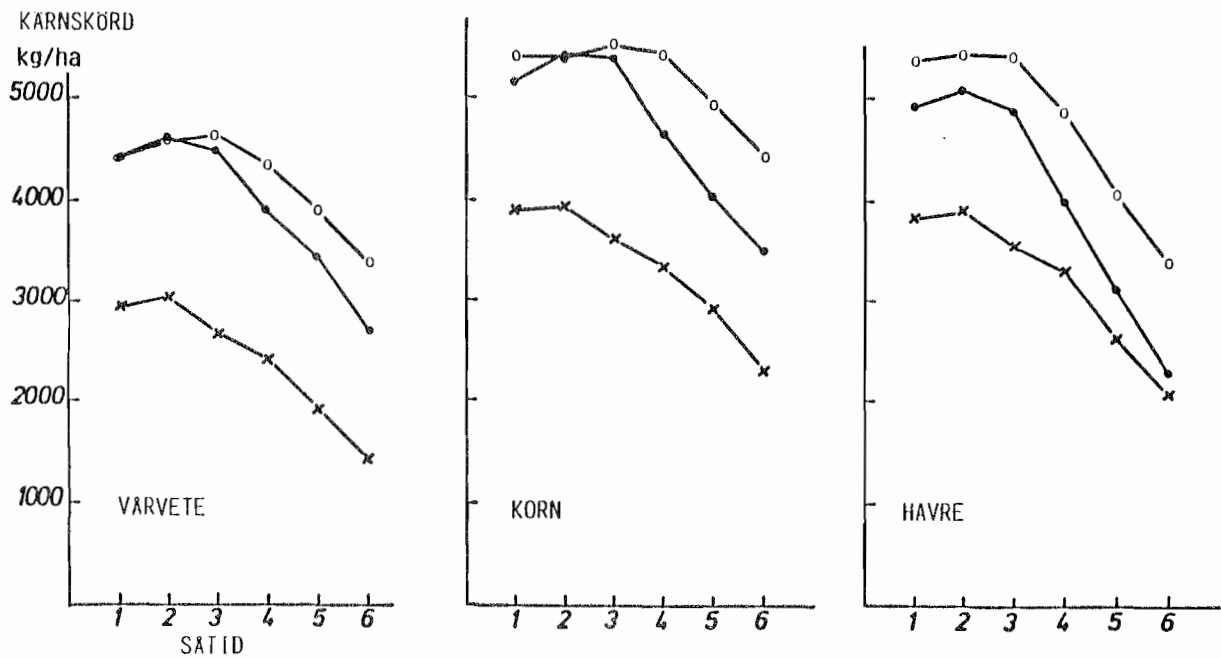


Fig. 1. Sätidens inverkan på vårsädesskördar på lerjordar i Södra Finland. Medelvärdena av 10 års fältförsök 1970-79.

Sätiderna

Intervallen mellan sex sätiderna är ca fyra dygn så att differensen mellan den första och sista tidpunkten är cirka tre veckor. Den första sätiden är den första möjliga dagen på våren då en plöjd lera har torkat så mycket, att såbeddsharvning är möjlig.

Jordarter

- molera
- mellanlera
- ×—× mjällera

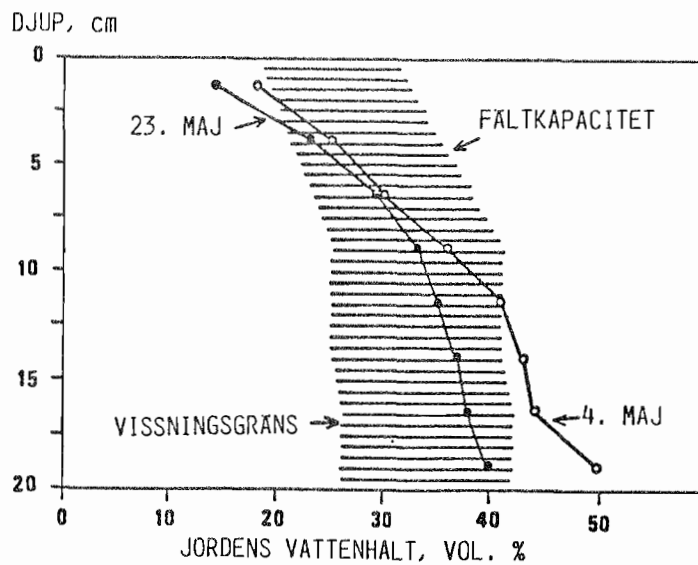


Fig. 2. Mellanlerans vatteninnehåll från ytan till 20 cm djup på sätiderna den 4. och 23. maj 1973. Skuggat område = jordens nyttokapacitet.

KÄRNSKÖRD

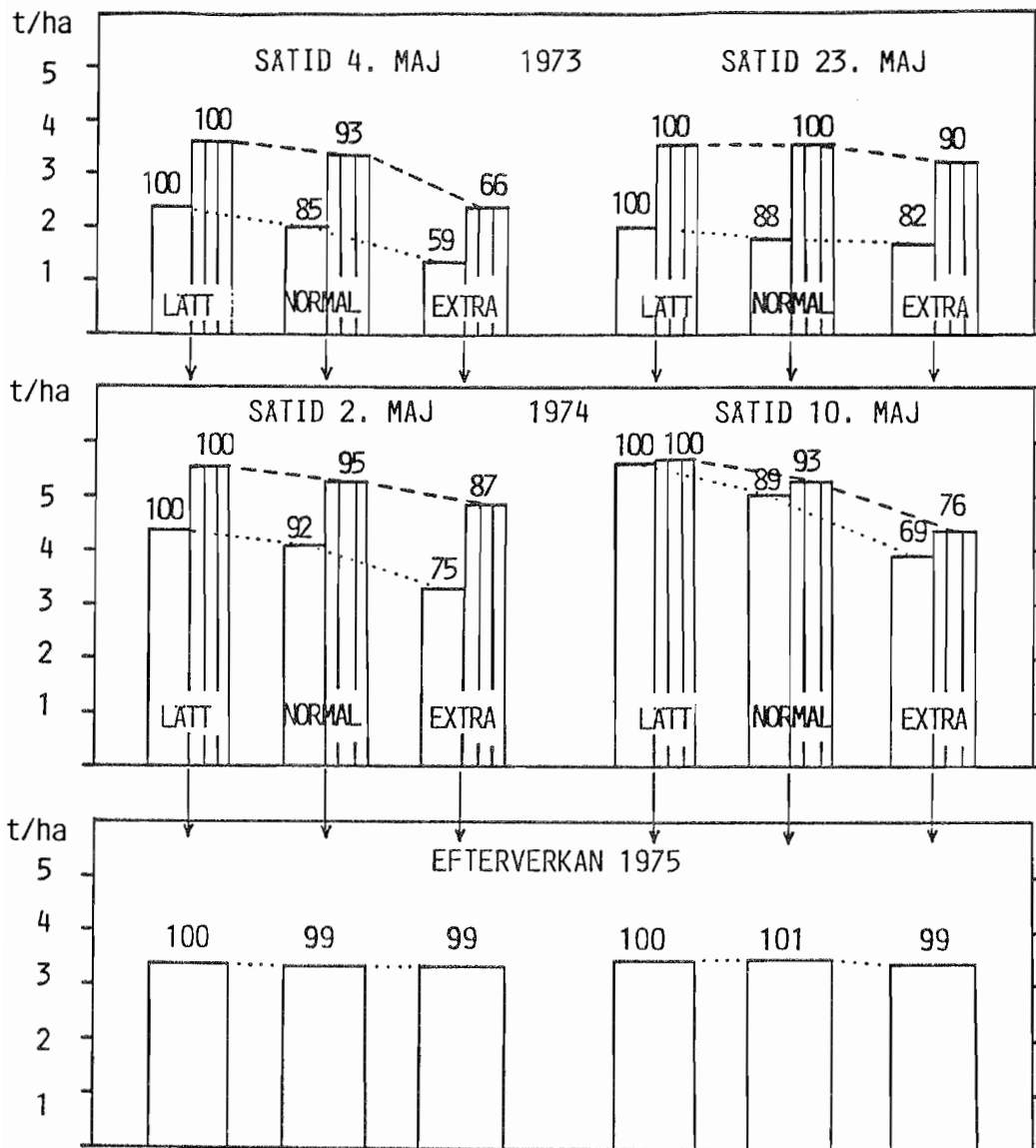


Fig. 3. Inverkan av lerjordens packning i samband med sädden med traktorhjul på värveteskördarna (ton/ha, 100 = skörden på lätt packad jord).

Packningsgrader

LÄTT = dubbla hjul, inga extra körningar

NORMAL = utan belagts med spår ca en gång med traktor före harvning

EXTRA = utan belagts med spår ca tre gånger med traktor före harvning

Bevattning



= utan bevattning



= bevattning under torr period i juni

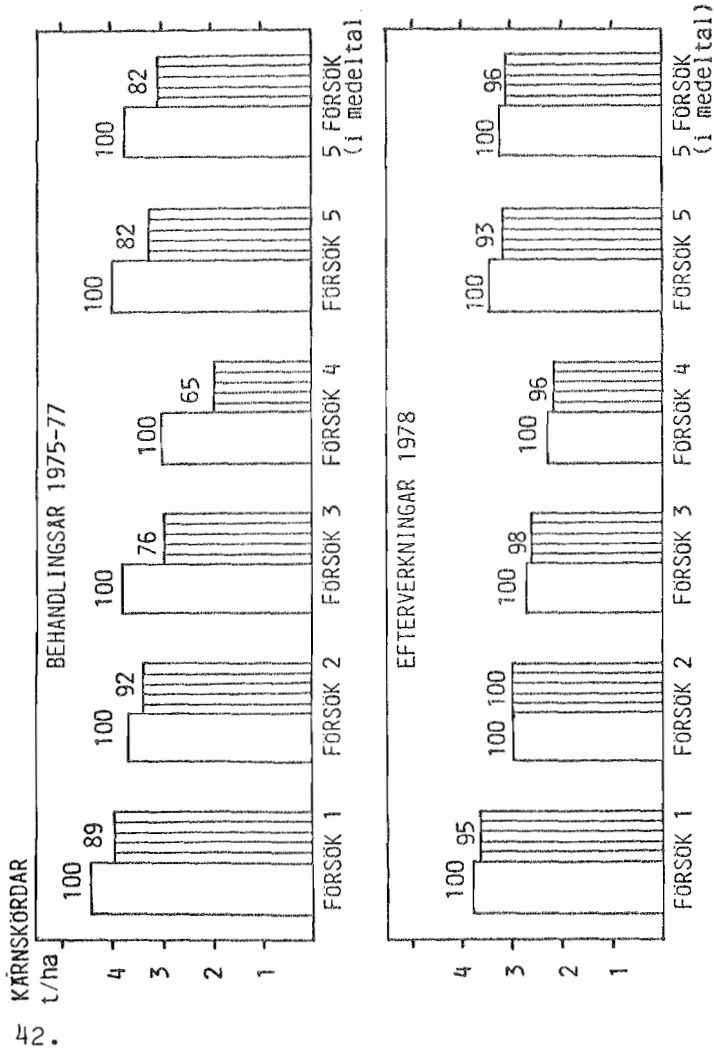


Fig. 4. Inverkan av lerjordens packning med traktortjul under sätiden. Vårveteskördarna av fyra års försöksserie på fem platser i Södra Finland.

Jordpackning

- = normala traktordäck och normala körningar
- = extra packning med normala traktordäck. Före harvningen har markytan belagts med spår ca 2 gånger

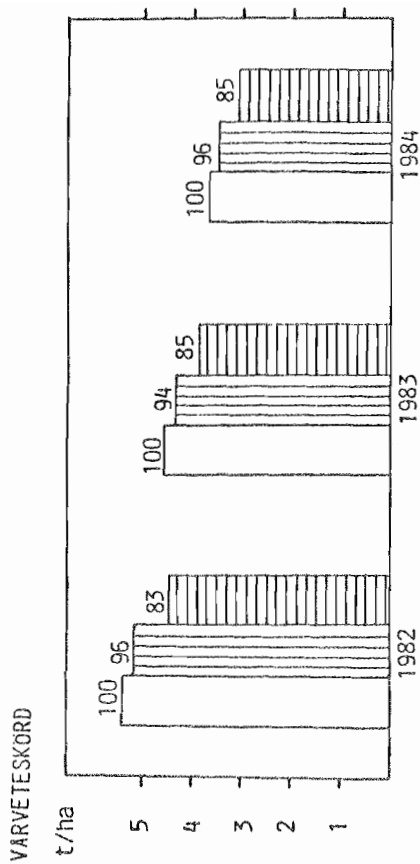


Fig. 5. Efterverkan av jordpackning med hög axelbelastning. Packningen utfördes på en styv lera i Jokioinen i september 1981 med en axelbelastning av 16 ton per boggiaxel. Under körningen var markytan relativt torr men från 20 cm djup nedåt var lerans vattenhalt nära fältkapacitet.

- = kontroll, utan packning
- = jordytan belagts med spår ca en gång
- = jordytan belagts med spår ca fyra gånger

Halten av makroporer (> 30 µm) i jordprofilen år 1992

Djup, cm	10	20	30	40	50	60
Porvolym %	18	13	9	8	6	4
Porvolym %	16	10	4	5	2	2

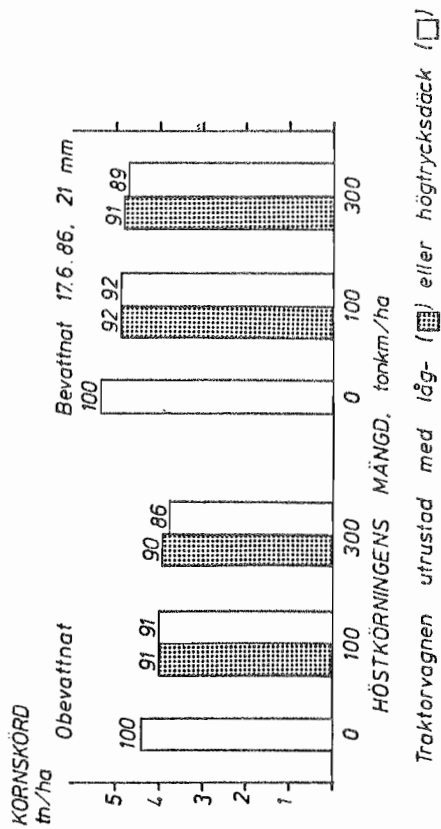


Fig. 6. Höstkörningens inverkan på följande årets kornskördar på lerjord i Jokioinen.

Körningen utförd före höstplöjningen den 23.10.1985 med traktor, vikt 3 ton, och lastad vagn, vikt 5 ton.

Vagnen var utrustad med:

- ▨ lågtrycksdäck, bredd 500 mm, höjd 895 mm, tryck 150 kPa
- högtrycksdäck, bredd 275 mm, höjd 760 mm, tryck 350 kPa

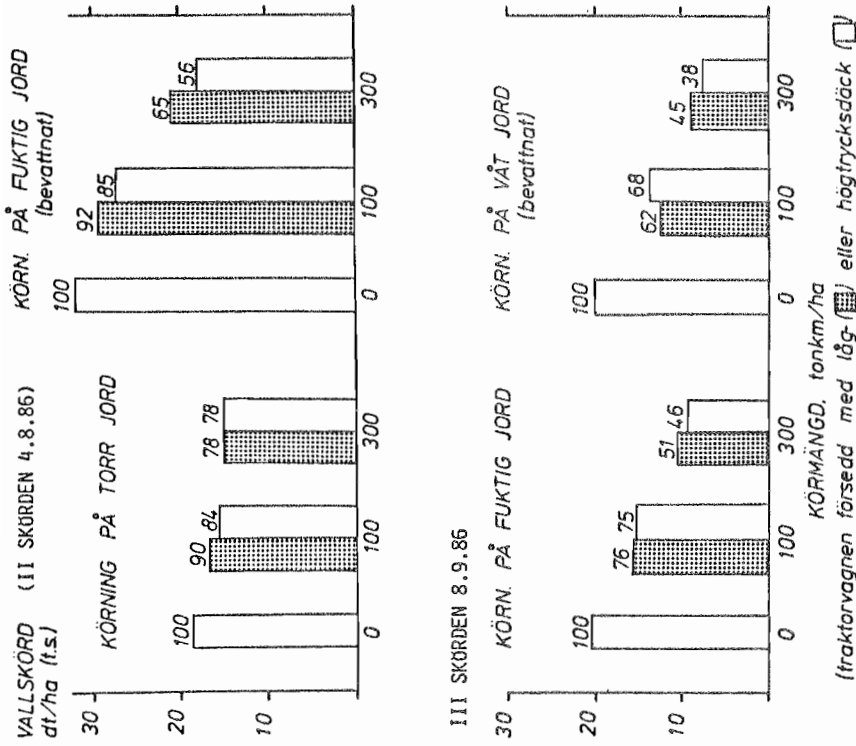


Fig. 7. Körningens inverkan på slättervallens tillväxt på lerjord i Jokioinen 1986.

Körningen efter den första skörden 10.6. och efter den andra skörden 4.8. med traktor, vikt 3 ton, och lastad vagn, vikt 5 ton.

Lågtrycksdäck: bredd 500 mm, höjd 895 mm, tryck 150 kPa

Högtrycksdäck: bredd 275 mm, höjd 760 mm, tryck 350 kPa

JORDPACKNINGSSKADOR I FÄLTMÄSSIG KÖKSVÄXTODLING

Bakgrund

Det ställs idag höga krav på grönsaker för att de skall accepteras som saludugliga. Oftast tar sig kvalitetskraven form av krav på vissa yttre egenskaper som storlek, vikt, färg, jämnhet och frihet från skador. För flertalet köksväxtkulturer gäller att varje planta producerar en saluenhet som skall uppfylla vissa kvalitetskrav, och därmed är homogen utveckling och kvaliteten hos varje individ i beståndet viktig. Detta till skillnad från merparten av övriga jordbruksgrödor där den totala genomsnittliga kvaliteten premieras.

För odlaren är det härav angeläget att så stor del som möjligt av hans produktion uppnår saluduglig kvalitet, eftersom intäkterna från denna skall täcka kostnaderna för den totala produktionen oavsett om denna är saluduglig eller ej. Samtidigt gäller det för odlaren att begränsa produktionskostnaderna för att uppnå ett bra ekonomiskt resultat. Detta tar sig uttryck i en ökande mekanisering och storskalighet, även om en stor del av grönsaksproduktionen fortfarande kännetecknas av manuellt skördearbete och förhållandevis små produktionsenheter.

Mekaniseringen medför ökad användning av traktorer och tunga fordon, vilket i sin tur medför ökade påfrestningar på odlingsmarken. Dessutom kräver kulturarbetena i köksväxter ofta en intensiv traktor användning. Samtidigt ställer de höga krav på klimat- och markförhållanden för att odlingsresultatet skall bli bra. Det ligger härav nära till hands att misstänka att den ökade mekaniseringen av köksväxtodlingen har medfört påtagliga negativa effekter av jordpackning.

Brist på försökserfarenheter

Tyvärr är erfarenheterna av försök med avseende på jordpackningseffekter på grönsaker ännu alltför begränsade för att kunna bedöma hur känsliga olika grönsakskulturer är för jordpackning, samt för att kunna relatera jordpackningsintensitet till avkastnings- och kvalitetsförlusternas omfattning. Det finns dock erfarenheter som tyder på att vissa grönsakskulturer är mycket känsliga och att skadorna kan yttra sig på en rad olika sätt, varierande från kultur till kultur.

Effekter på rotfruktsgrönsaker

Naturligt nog är det främst rotfrukter som drabbas negativt av att växa i kompakt jord. För att kunna utvecklas på ett för växtslaget karakteristiskt sätt krävs att både de primära rötterna kan penetrera jorden på ett tillfredsställande sätt och att jorden är tillräckligt lös för att tillåta en sekundär tjocklekstillväxt hos pålrot och rotknölar. Är jorden för kompakt blir rotfrukterna deformerade och mindre till storleken. Även om rotfrukten huvudsakligen utgöres av hypokotyl inverkar en kompakt jord negativt på tillväxten.

Morot och palsternacka är två rotfruktskulturer som är mycket

känsliga för jordpackning. Den yttre kvaliteten påverkas genom att rötterna blir korta, krokiga och/eller greniga i kompakt jord. Jordpackning kan även genom att förorsaka en begränsad vattentillgång indirekt bidra till att förekomsten av sprickbildning ökar. Det förekommer även uppgifter om att den inre kvaliteten hos moröt försämras genom att avmognaden fördröjs i kompakt jord. Färg, sprödhet och saftighet är sämre i dåligt avmognade morötter. Även en tendens till ökad inre grönfärgning i rotens övre del vid ökad packningsintensitet har konstaterats.

Potatis drabbas både av direkta och indirekta effekter av jordpackning. Tillväxten hos stoloner och knölar reduceras i kompakt jord och både kvalitet och avkastning blir försämrade. Förekomsten av liten och sprucken potatis ökar med packningsgraden. Samtidigt blir produkten oftast smutsigare och upptagningsarbetet försvåras av en ökad mängd kokor och att dragkraftsbehovet ökar. Ett ökat behov av rensningsarbete vid frånskiljning av jordkokor och sten kan även leda till en ökad förekomst av skador och sjukdomsangrepp vid lagring.

Effekter på övriga köksväxter

Gurka och squash har i försök visats vara mycket packningskänsliga och avkastningen har i vissa fall sjunkit med 40 - 50 % jämfört med då jorden varit opackad. En omfattande rotstudie på majs visade att rotutbredningen i djupled vid relativt måttlig packning kan reduceras till en tredjedel av den i opackad jord. Jordpackningen leder till en tidig avmognad hos majskolvarna, sannolikt till följd av begränsad vatten- och näringstillgång.

Jordpackningseffekterna kan även ta sig andra uttryck än som rena avkastningsreduktioner, som t ex störningar i balansen mellan vegetativ och generativ växt samt fysiologiska skador.

Dålig jordstruktur anges ofta vara orsak till s k förelöpare (störd blombildning) hos blomkål. Tipburn är en fysiologisk skada som förekommer både hos sallat och salladskål. Även om orsakerna till uppkomsten av tipburn ej är helt kända anses dålig vatten- och näringstillgång ha en avgörande inverkan. Bristen kan ha sitt ursprung i en dålig rotutbredning i kompakt jord. En förlängd kulturtid för salladskål, t ex orsakad av dålig rotutbredning, medför också att blomanlaget får större möjlighet att utvecklas vilket inverkar negativt på kvaliteten. Försök har även visat att förekomsten av halslök (dålig avmognad) hos kepalök ökar med ökad packningsintensitet. Med ökande packningsgrad följer ett ökat kvävegödslingsbehov för baljväxter då rotnodul-förekomsten minskar i kompakt jord och därmed kväveförsörjningen genom dessa.

Förutom nämnda negativa effekter av jordpackning kan man visa på en rad sekundära effekter genom förändrad näringsbalans och interaktion av jordbundna patogener då markens porvolym minskar, och balansen mellan markvatten och markluft förändras. Troligen är det ofta så att störningar som man tillskriver att vara näringsbrist i själva verket är en interaktion mellan packningsskada och störd näringsbalans.

Djupkultivering/alvluckring

Försök med djupkultivering av mark för grönsaksodling har givit mycket varierande och svårtydda resultat. Packningsgraden i

odlingsjord har ofta en avgörande betydelse för grödans vattenförsörjning, samtidigt som den inverkar på den möjliga rotutbredningen. För att luckring skall ge positiv effekt krävs att grödan har god vattentillgång varför bevattning ofta är en nödvändighet. Eftersom det oftast finns tillgång till bevattning i köksväxtodlingen är det sannolikt bättre att ha en luckerhet i jorden som ligger över "den optimala packningsgraden" ur vattenförsörjningssynpunkt än att riskera negativa effekter av för hög packningsgrad.

Erfarenheterna från försök med djupkultivering i spannmålsodling har visat att jordarten och jordstrukturen har en betydande inverkan på hur länge de positiva effekterna kvarstår. På struktursvaga jordar förbättras resultatet ofta bara för en säsong medan djupluckringseffekterna kan vara 4 - 5 år på strukturstabila jordar. Samma förhållanden gäller sannolikt för köksväxtodling, men kanske avtar djupluckringseffekterna snabbare eftersom köksväxtekulturerna kräver en intensiv traktor användning.

Ofta är grönsaksodlingen förlagd till lättare jordar som vanligen betraktas som vara relativt packningsokänsliga, men trots detta föreligger sannolikt ofta jordpackningsproblem eftersom grönsakskulturerna måste betraktas som packningskänsliga, speciellt gäller detta rotfruktsgrönsaker. Detta är ett faktum på de mycket struktursvaga sand-, mo- och mjälajordar som vanligen vårplöjs för att ha en tillfredsställande porositet under odlings säsongen.

Ojämn packningsfördelning ger ojämn skördemognad

Idag tillämpas vanligen en okontrollerad fordonstrafik på fälten tills att grödan har etablerat sig, vilket innebär att packningsskadorna fördelar sig slumpartat över fälten. Den ojämna packningsfördelningen kan medföra en varierande rotutbredning hos plantorna i ett och samma bestånd. Tillgången på växnäring och vatten kan därmed också variera betydligt mellan olika plantor. Detta leder naturligtvis till en ojämn utveckling i grödan och därmed går t ex fördelarna med mycket homogena hybrid sorter till viss del förlorade. Helst skall alla plantorna ha så lika tillväxtvillkor som möjligt för att utvecklingen skall bli homogen, något som är önskvärt för ett högt skördeutbyte vid engångsskörd och för att begränsa antalet skördetillfällen vid manuell skörd.

Åtgärder för att undvika packningsskador

Man bör idag vara medveten om att jordpackning kan ge påtagliga och dyrbara skador hos köksväxtekulturerna. För grönsakskulturer som man misstänker vara mycket packningskänsliga bör man överväga att använda renodlade körspårssystem. Körspåren bör vara fastliggande under hela odlings säsongen, inkluderande alla arbeten efter plöjning och fram till skörd, och odlingsytan mellan körspåren förbli helt fri från packning av fordon. Man kan naturligtvis även tänka sig fleråriga körspårssystem, men dessa kräver speciella lösningar för jordbearbetningen och att körspåren inte succesivt förskjuts i sidled.

I övrigt gäller samma åtgärder som på övrig jordbruksmark - att försöka undvika köra på mark då den är dåligt upptorkad och att ha fordon med bra däcksutrustning. Liksom bevattning är ett måste för köksväxtodling, bör en väl fungerande dränering vara obligatorisk. Den bidrar till en snabb upptorkning och utgör samtidigt ett skydd mot översvämningsskador. Djupluckring kan vara en ar-

betsinsats som ger bra utdelning i höjd skörd och kvalitet.

Marken som odlingsmedium

Med hänsyn till de höga produktionskostnader som kännetecknar grönsaksodlingen idag är det angeläget att försöka optimera odlingsbetingelserna för att framställa högkvalitativa produkter. Inom köksväxtodlingen har man kommit en bra bit på vägen genom en välutvecklad bevattnings-, bekämpnings- och gödslingsteknik, samt ett ständigt förbättrat sortmaterial. Samtidigt är dock ofta omsorgen om marken som ett väl fungerande odlingsmedium bristfällig. Marken skall inte bara innehålla växtnäring och vatten i tillräckliga mängder, utan även utgöra ett medium där växterna kan utveckla rikt förgrenade och väl fungerande rotsystem för säker och effektiv näringsupptagning. Detta gynnar såväl avkastningens storlek som kvalitet.

Kanske kan en relativt liten ökad insats i förbättrad jordbearbetning och omsorg om odlingsmarken ge ett stort tillskott i förbättrat odlingsresultat. Det höga saluvärdet på köksväxtprodukter medför att lönsamheten för dylika insatser kan vara mycket god.

Litteratur:

Bengtsson, I., 1985. Jordpackning i fältmässig köksväxtodling. Konsulentavdelningens rapporter. Trädgård 286. Sveriges Lantbruksuniversitet.

KÖRINTENSITET OCH SPÄRFÖRDELNING

Bakgrund

En numerisk modell konstruerades i samband med studiet av fältformens inverkan på arbetsförbrukningen vid fältarbete. För att beräkna fältarbetstiden tar denna modell hänsyn till fältform, redskapets arbetsbredd samt tillämpat körmönster och antalet vändningar. Modellen kan även ge en geografisk bild av var på fältet körspåren ligger samt gör det möjligt att beräkna belastningsintensiteter på olika delar av fältet. Modellen har överförts till ett datorprogram.

Inledning

Det kan vara lämpligt att nämna de olika grundtyperna för spårbildning innan vi går vidare. Jag gör här ett enkelt försök till listning av grundtyperna, utan att rangordna dem.

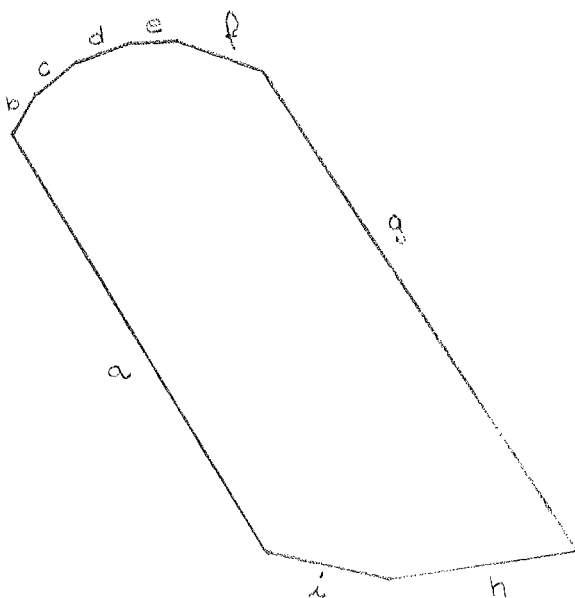
- a) geologiska spår, närmast jordartsfördelningar och skillnader mellan matjord och alv
- b) spår av tidigare odling samt skiftesgränser och diken
- c) belastningsspår efter hjulfordon och redskap
- d) odlingsspår efter jordbearbetande redskap, närmast "hargömmor" och plogsula etc
- e) odlingsspår efter grödan och dess produktionsmedel

Till de övriga grunduppgifterna hör inverkan av tidpunkten för spårbildningen samt kanske även tidssekvensen.

De påkänningar en jord utsätts för vid odling av olika grödor varierar helt med den maskinpark som används samt med hur denna maskinpark kommer till användning på varje enskilt fält. Det nämnda datorprogrammet kan komma till hjälp om man önskar beräkna körsträckor på fältet, var på fältet körningen sker och därmed var spårbildningen uppstår.

Fältet/skiftet

Ett fält/skifte kan modelleras i en dator i form av en kedja av begränsningslinjer. I denna modell används raka begränsningslinjer vilka förenas till ett s k polygontåg, se figur 1.



Figur 1. Fältets/skiftets areella begränsning kan beskrivas som en valfri följd av förenade raka gränslinjer. Matematiskt utgörs denna kedja av raka linjer, ett s k polygontåg.

Ett liknande resonemang kan föras för de av lantbrukarna tillämpade kör-mönstren. Här finns dock en arbetsbehovs- och belastningsmässig skillnad. Dessa utgörs av vändningarna och tomkörningssträckorna, se figur 2 på nästa sida.

Denna information kombinerad med bl a följande förutsättningar för den automatiserade körmönstergenereringen ger oss intressanta beräkningsperspektiv

Beräkningarna bygger på följande kända parametrar:

- redskapets arbetsbredd, lastvolym och körhastighet
- fältets geometriska begränsningslinjer (i form av ett polygontåg)
- vilket körmönster som tillämpas för arbetsoperationen. (Här har för närvarande tre körmönster definierats; tegkörning, rundkörning samt körning fram och åter drag vid drag.)
- vilken strategi som tillämpas vid tomkörning och transportkörning i fält.

Beräkningar

Kombineras nu denna information kan datorn beräkna belastningsintensiteter för olika delar av fältytan. Den geografiska orten på fältet/skiftet, där ett lastbärande redskap når sin begränsning (i detta fall full eller tom), kan beräknas.

Med hänsyn tagen till kör- och transportstrategi för varje redskap kan tomkörnings och transportsträckorna beräknas. Därmed kan även dessa belastningars spårbildning anges.

Strategin för ett körmönster samt principerna för hur detta körmönster skall representeras i datorn utgör en väsentlig del av programmeringsarbetet. Dock tillåter det här valda representationssättet för fält/skifte och körmönster ett mycket stort antal frihetsgrader. Därför ligger begränsningen för den möjliga variationen i representerade körmönstertyper mer på ett innovativt plan än på ett av datorn begränsat plan. Detta förhållande ger möjlighet till att studera effekter av olika strategier samt organisatorisk användning av fältredskapen.

Beräkningsresultat

I dagsläget ger detta datorprogram upplysning om körsträcka på vändteg och mittfält samt tomkörningssträcka. Ett polygontåg kan erhållas för plottning (kurvritning) av körmönstret. Därefter sker beräkning av netto-arbetsbehovet.

Nedan ges exempel på andra informationer vilka kan dras ur beräkningarna med hjälp av en måttlig programmeringsinsats.

Lämpliga framtida beräkningsresultat vid användning av modellen för studie av körintensitet och spår fördelning kan t ex vara utformade så:

- a) att geografisk ort för tömning/lastning kan anges
- b) att modellen medger kodning av körsträckan så att belastningen meter för meter kan åskådliggöras grafiskt, t ex ton/m
- c) att olika strategier för transport på fältet kan jämföras, dels vad gäller belastning, dels vad gäller tidsåtgång
- d) att den resulterande effekten av samtliga arbetsmoment vid odling av en gröda kan redovisas vad gäller markbelastningen, t ex ton/kvadratmeter .
- e) att ovanstående modell kan ge en geografisk bild av var på fältet de olika körspåren ligger. En tänkvärd väg kan vara att låta datorn beräkna det resulterande trycket på olika delar av fältet, t ex ton / kvadratmeter . Belastningsintensiteterna kan sedan åskådliggöras t ex i form av tredimensionell grafik.
- f) att arealer med olika belastningar kan anges, t ex % av totalarealen .

Problem och frågeställningar

- 1) Vilken upplösning i datorpresentationen är aktuell ?
- 2) Är det av intresse att överlagra modellens information med kunskap om jordartsfördelning, markkartering etc ?
- 3) Har vi nödvändiga grunddata för en ekonomisk analys ?
- 4) Vet vi vilka grunddata vi behöver för en ekonomisk analys ?
- 5) Vilken precision önskar vi, skall vi beskriva tillståndet nu eller avser vi att utföra prediktioner ?
- 6) Hur mycket kan ändrade strategier för skörd av hö/ensilage, potatis, spannmål och sockerbetor inverka ?
- 7) Är det relevant att tid till annan anlägga "informella" fältvägar för uttransporten av skördegodset ?
- 8) Naturgödsling och potentiellt "stadsgödslet" representerar stora belastningar och ett omfattande transportarbete. Hur kan en lämplig körstrategi se ut för att minimera skadorna av belastningarna ?

Maskinvara

Denna modell ger ett program som är ganska beräkningsintensivt, särskilt i de fall där det är intressant med en grafisk utskrift. Givetvis går det utmärkt att lägga modellen i en s k stordator. Erfarenheten kring dessa samt kännedomen om väntetider leder dock till en rekommendation att implementera denna modell i en s k PC. Denna bör vara försedd med hårddisk och grafisk bildskärm. Kostnaden ligger uppskattningsvis kring 50.000 SEK.

Mjukvara

Källprogrammet är för närvarande skrivet i FORTRAN 4, samt vissa delar i Pascal. En övergång till Pascal kan rekommenderas. Med den föreslagna utbyggnaden vad gäller grafik etc approximeras arbetsinsatsen för programmering till ca 4 månader heltid.

Litteratur

Elinder, Magnus, 1984: SLU, Inst för Arbetsmetodik och teknik (nuvarande Inst för Lantbruksteknik), Institutionsmeddelande. 84:02: 86.

TRYKFORDELING UNDER HJUL OG BÆLTER

I n d l e d n i n g

Når man forsøger at beregne det spændingsfelt som et markkontaktorgan inducerer i det bærende underlag, bliver man normalt henvist til at gøre en del antagelser om såvel kontaktorganets som underlagets egenskaber. Iblandt ligger disse antagelser ikke langt fra virkeligheden, men ofte er man nødt til at antage egenskaber som ligger ganske langt fra de virkelige forhold. Det kan derfor være på sin plads at gøre sig klart hvilke forskelle der typisk er mellem det scenario man befinder sig i, når man bevæger sig i de matematiske formlers verden og den virkelighed som hjulet arbejder i.

Bortset fra forskellige former for støttehjul på redskaber er så godt som alle hjul som anvendes i landbruget forsynet med luftgummidæk. Sådanne hjul antages at være elastiske, men om man skal regne på forholdene omkring et sådant hjul er sagen ikke helt så enkel. Spørgsmålet om hvorvidt et hjul opfører sig elastisk eller ikke må nemlig ses som et samspil imellem hjulet og underlaget. Om man betragter et hjul med et sådant lufttryk i dækket at det opfører sig elastisk på et hårdt underlag, betyder dette ikke at det altid kan ses som elastisk. Om samme hjul køres ud på et blødt underlag kan det begynde at opføre sig som et fast hjul. Dette antyder at der findes en helt kontinuerlig overgang mellem faste og elastiske hjul.

Når talen er om larvefodsbælter har man ikke helt samme problemstilling med mulig undtagelse for luftfyldte bælter, men disse findes endnu kun på experimentstadiet. De betydningsfulde faktorer for bælter med hensyn til deres påvirkning på jorden er bæltespændingen og belastningens fordeling over dets kontaktareal. Det har vist sig at jorden i de fleste tilfælde føler et bælte med et antal støttehjul som om hjulene rullede på jorden som just hjul uden noget bælte.

Med disse bemærkninger 'in mente' kan man naturligvis spørge hvad meningen så er med at overhovedet forsøge at regne på forholdene omkring markkontaktorganer. Svaret er at det alligevel ikke er helt unyttigt. Dels får man en bedre forståelse af de forhold som hjulet eller bæltet arbejder under, og dels medfører løsningerne at man kan opstille principielle udsagn om, hvilke faktorer som er betydningsfulde i en given situation.

Spændingsberegninger

Beregninger af spændingsfordelingen i jorden bygger på at den antages opføre sig som et elastisk medium. Dette er naturligvis ikke helt rigtigt, i så fald skulle hjulsporene forsvinde efter hjulenes overfart. Jorden udsættes altså for en vis plastisk flydning som ikke er reversibel uden påvirkning udefra. Teorien for den rent elastiske opførsel blev derfor modificeret af Frölich (1934) for at tage højde for jordens plasticitet. Det udtryk som blev resultatet er særdeles enkelt:

$$\sigma_z = \frac{\nu F}{2\pi r^2} \cos^3(\nu) \quad 1$$

hvor:

- σ_z : den lodrette normalspænding i et punkt i jorden, kPa,
- ν : Frölich's koncentrationsfaktor,
- F: lodret kraft mod et punkt på jordoverfladen, kN,
- r: afstanden mellem overfladepunktet og det betragtede punkt i jorden, m,
- ν : kraftens angrebsvinkel mod punktet i jorden, rad.

Koncentrationsfaktorens effekt er at en bestemt normalspænding optræder dybere ned i jorden desto større faktoren er. Hvis jorden er meget blød og plastisk må man sætte koncentrationsfaktoren til en ganske høj værdi. Normalt område for faktoren er mellem 4 og 6 for en henholdsvis fast og blød jord. Fig. 1 viser skematisk forholdene for ovenstående formel.

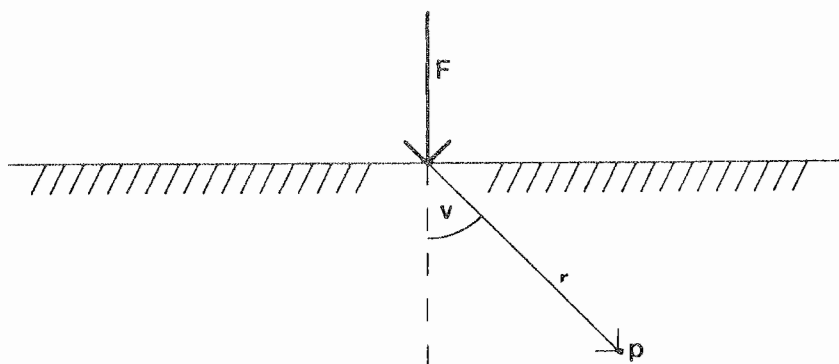


Fig. 1. Når en kraft angriber i et punkt på et elastisk legeme opstår der et spændingsfelt i denne. I punktet p kan påvirkningen fra kraften F beregnes som funktion af vinklen ν og afstanden r mellem kraftens angrebspunktet og p.

Imidlertid står et hjul eller bælte jo ikke bare på et punkt. Man søger derfor et udtryk for spændingspåvirkningen fra et areal af vilkårlig

størrelse og form. Formel 1 kan ikke uden videre integreres til et udtryk for en vilkårlig arealform. Kun om arealet har cirkelform kan man analytisk udlede et udtryk for normalspændingen lodret under cirkelens centrum. Dette bliver også meget enkelt:

$$o_z = q(1 - \cos^2 \alpha)$$

2

hvor q er normalspændingen mellem belastningen og jordoverfladen og α er det halve af den vinkel hvorunder cirkelarealet ses fra punktet i jorden.

Om man antager at et hjuls kontaktareal er cirkulært kan man således ved hjælp af formel 2 enkelt beregne spændingstilskuddet ned i jorden midt under kontaktarealet. Det lader sig imidlertid ikke gøre at beregne hele spændingsfeltet i jorden under hjulets kontaktareal ved hjælp af formel 2, og slet ikke at finde ud af hvordan to tætmonterede hjul samvirker med hensyn til påvirkningen på jorden.

Söhne (1953) anvendte formel 1 for at beregne sådanne spændingsfelter under traktorhjul. Han tænkte sig kontaktarealet opdelt i et stort antal små delarealer. Hvert af disse var så lille at man uden større fejl kunne anskue påvirkningen på det som en kraft. Hvert betragtet punkt i jorden modtog da påvirkning fra alle delarealer i kontaktarealet. Beregningsarbejdet er omstændeligt og som skabt for numerisk løsning på en datamat.

Resultatet af sådanne beregninger fremstilles normalt som isobarer - dvs. kurver som forbinder punkter med samme spænding - i jorden under kontaktarealet. For et enkelt hjul er isobarerne nærmest pæreformede. Koncentrationsfaktoren medfører for en blød jord at en bestemt isobar strækker sig dybere ned end samme isobar for en fast jord.

Grunden til at kontaktarealet har så stor betydning for spændingen på større dybde er søgt anskueliggjort i Fig. 2. Som før sagt modtager et punkt i jorden påvirkning fra alle punkter i kontaktarealet. Dette gælder for såvel højt- som dybtliggende punkter i jorden. For de højtliggende punkter betyder påvirkningen fra fjerne dele af kontaktarealet imidlertid ikke ret meget, fordi påvirkningen sker under en ganske spids vinkel. Forholdet er anderledes for et dybtliggende punkt, her har påvirkningen fra alle dele af kontaktarealet ret stor betydning. Dog bliver spændingspåvirkningen for de dybtliggende punkter mindre på grund af den større afstand fra overfladen. For de dybtliggende punkter har disse to faktorer således en tendens til at modvirke hinanden, hvorfor spændingspåvirkningen ikke aftager så meget med dybden som man måske umiddelbart skulle tro. Det er disse forhold som man lidt løst kan udtrykke som at det er marktrykket

der bestemmer påvirkningen i madjorden mens det er belastningen der bestemmer påvirkningen på større dybde.

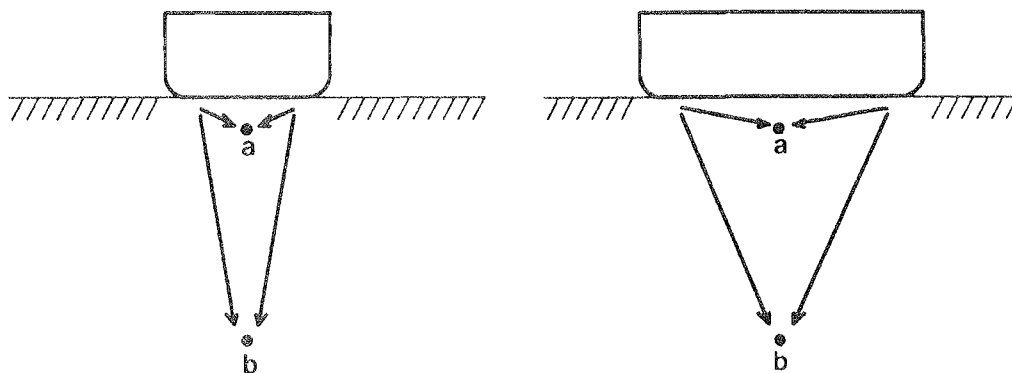


Fig. 2. Schematisk fremstilling af forholdene under et stort og et lille kontaktareal. Punkt a påvirkes kun i mindre grad af det store areal eftersom tilskuddene fra yderdelene virker under en ganske spids vinkel. For det dybereliggende punkt b er denne effekt imidlertid begrænset.

Praktiske konsekvenser

Som omtalt i indledningen skal man være forsigtig med at tage alt for håndfast på de spændinger som kan regnes frem ved hjælp af formlerne 1 og 2. Mange forhold spiller ind som påvirker den reelle spænding jorden udsættes for. F. ex. er jorden ikke homogen - den indeholder sten - og den er normalt lagdelt i madjord, pløjesål og det derunder med forskellige egenskaber for hvert lag. Således vil en hård pløjesål resultere i en koncentreret af påvirkningen i madjorden og en spredning af spændingen nedunder.

Taylor and Burt (1984) udførte forsøg med at måle spændingen i jorden ved hjælp af en trykmåle-celle. De fandt i god overensstemmelse med teorien at en pløjesål medfører en kraftig forøgelse af påvirkningen i madjorden og en formindskelse af spændingen under pløjesålen.

Nogle principielle udsagn kan man dog uddrage af denne type af beregninger:

- spændingsfeltets udbredelse og intensitet i jorden er bestemt af fire faktorer:
 1. normalspændingen i kontaktarealet,
 2. kontaktarealets størrelse,
 3. kontaktarealets form,
 4. spændingsfordelingen over kontaktarealet.

For normale forhold er det dog de to første faktorer som har den største betydning.

- den største spændingspåvirkning sker altid i jordoverfladen.
- om spændingen mod overfladen øges x gange bliver påvirkningen i alle punkter i jorden også x gange større.
- om spændingen mod overfladen holdes konstant og kontaktarealets lineære dimensioner øges x gange vil spændingsfeltet i jorden strække sig x gange længere ned.

I Fig. 3 er betydningen af kontaktarealets størrelse og form vist for en bestemt belastning efter Olsen (1986a). Man ser her tydeligt hvordan man ved at øge kontaktarealet kan mindske påvirkningen på madjorden. Dette

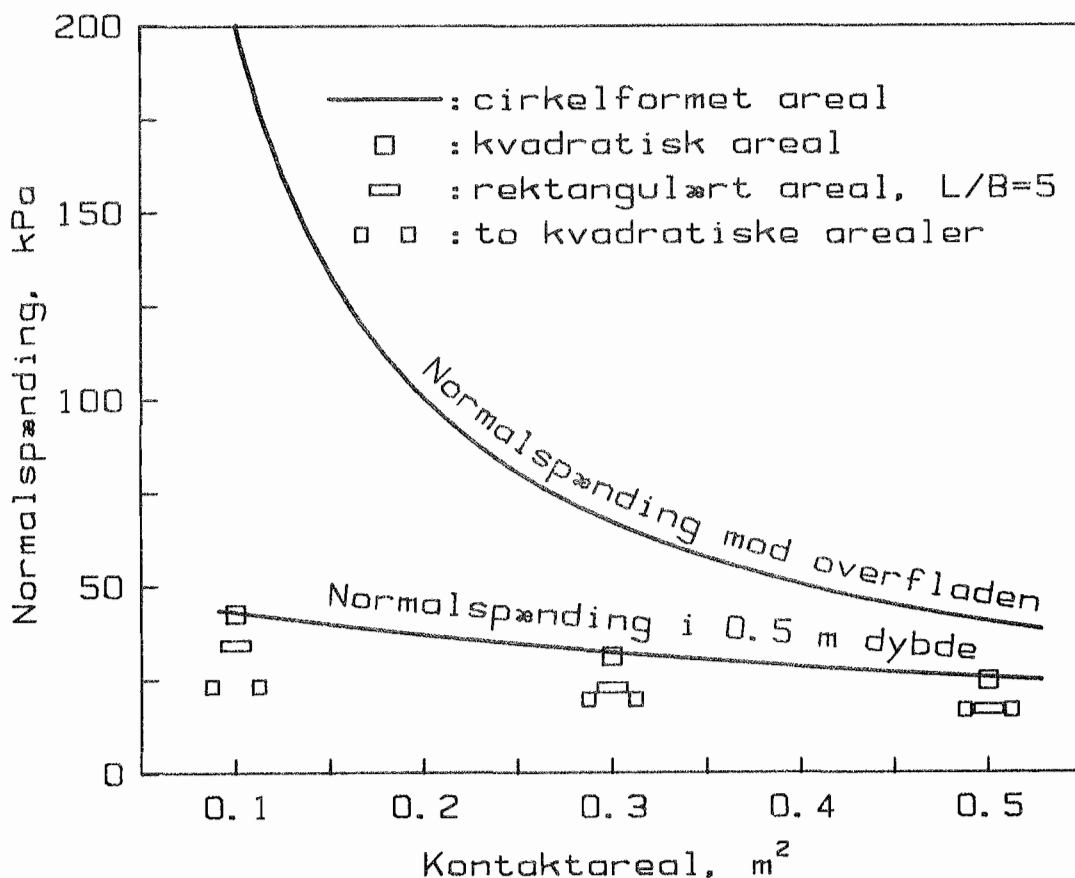


Fig. 3. Normalspændingens afhængighed af kontaktarealets størrelse ved en konstant belastning 20 kN. Spændingen er vist dels mod overfladen og dels i 0.5 m dybde for et cirkulært areal. Symbolerne viser effekten af at dels ændre arealet til en kvadratisk og en langstrakt rektangulær form og dels at dele det op i to mindre arealer.

er imidlertid vanskeligere nede i en halv meters dybde. Her synker spændingskurven kun lidt, selv om man forøger kontaktarealet relativt meget. Som man ser kan man imidlertid vinde en del ved at dele kontaktarealet op i mindre dele, altså i praksis ved at sætte flere mindre hjul på køretøjet istedet for eet stort - naturligvis under forudsætning af at belastningen fordeles ligeligt mellem de mindre hjul.

For Fig. 3 er der regnet med en helt ensartet spændingsfordeling over kontaktarealet. Dette er dog en grov approximation til virkeligheden. Krick (1969) viste at marktrykket varierer ret meget over kontaktarealet. I Fig. 4 er vist spændingsvariationen i køreretningen under et dæk med bortslebet mønster. Han fandt også at denne variation i marktrykket var afhængig af om hjulet blev kørt som drivende eller drevet.

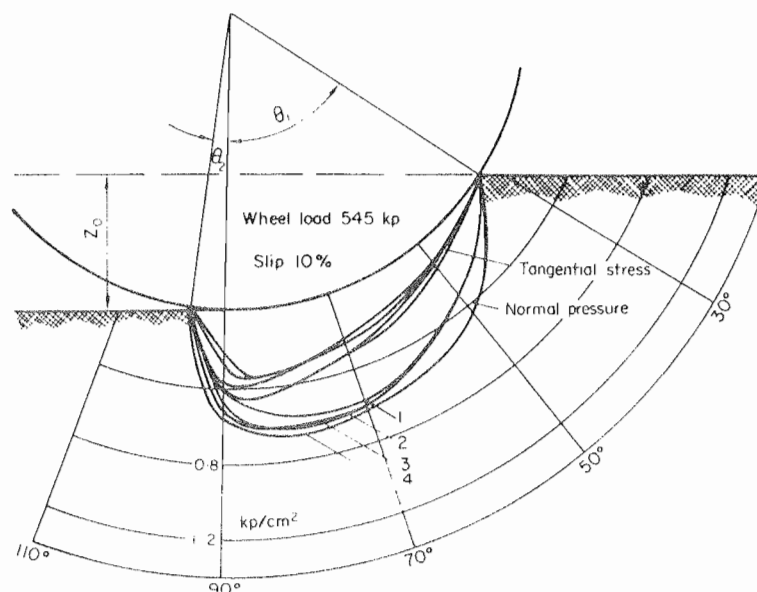


Fig. 4. Spændingsfordeling i kontaktfladen under et glat 11.5-15 traktordæk. Efter Krick (1969).

Wong et al. (1984) undersøgte de modsvarende forhold under et bælte-køretøj. De fandt at marktrykket varierede kraftigt mellem de dele af bællet som befinder sig under et hjul og de mellemliggende dele. Selv med en bælestremning på 10 kN forsvandt marktrykket næsten helt imellem støtte-hjulene. Dette antyder at problemet med at fordele belastningen jævnt over bællet bør løses, før man kan begynde at tænke på bælte-køretøjer som reelle alternativer for landbruget.

Spænding og jordpakning

I det foregående har det udelukkende handlet om spænding i jorden. For det praktiske landbrug er denne strengt taget af mindre interesse. Ifald jorden holder til påvirkningen og kun undergår en elastisk sammentrykning som forsvinder når påvirkningen ophører, er spændingens størrelse jo underordnet.

Spørgsmålet koncentrerer sig altså om, hvor stor spænding jorden klarer uden at deformeres plastisk. Dette problem er vanskeligt at løse idet mange faktorer spiller ind - først og fremmest jordens fugtighed. Danfors (1974) fandt at den største del af sammentrykningen ned på under een meters dybde forsvandt umiddelbart efter hjulets passage, men at en vis del var bestående.

For overfladens vedkommende har forsøg af Olsen (1986b) tydeligt vist at jordens mekaniske egenskaber indstiller sig på forskellige niveauer som funktion af den spændingsintensitet den udsættes for.

Smith (1984) har på grundlag af den såkaldte 'Critical State Theory' udviklet en model for beregning af jordens tørre volumenvægt efter passage af forskellige køretøjskombinationer. På Fig. 5 ses et eksempel på et af hans resultater. Man ser i diagrammet til venstre hvorledes hvert hjul bidrager til sammenpakningen afhængig af hjulets kontaktareal og belastning.

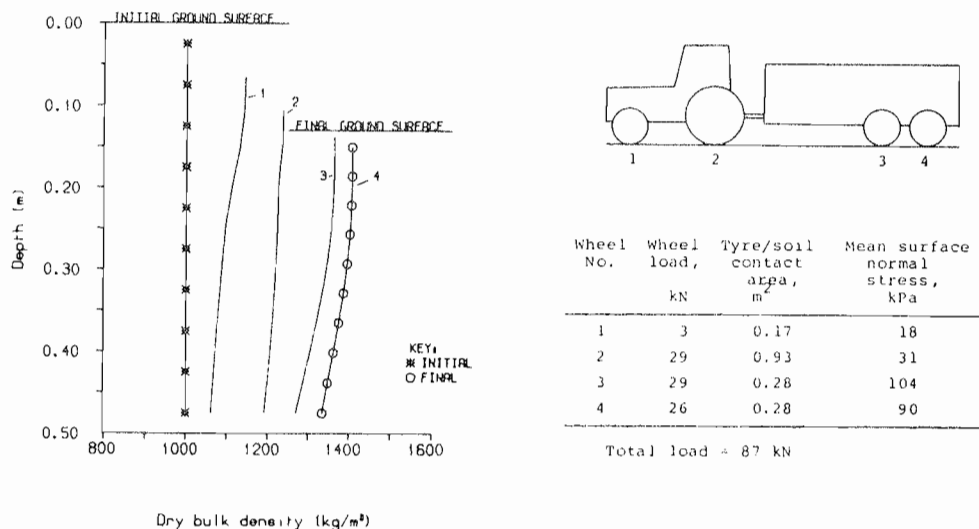


Fig. 5. Modelstudie over jordpakningen efter passage af traktor med 2-akslet vogn. Man bemærker specielt hvorledes hjul nr. 3 som har det største marktryk men et begrænset kontaktareal - bidrager kraftigt til sammentrykningen af madjorden men forholdsvis mindre nede på en halv meters dybde. Efter Smith (1984).

A f s l u t n i n g

Med udgangspunkt i det ovenfor anførte kan man konkludere at den fremtidige forskning indenfor dette felt kommer til at foregå i tre områder:

Teorien for spændingsfeltet i jorden under et belastet hjul bør udvikles videre for at blandt andet kunne tage højde for den lagdeling som findes i virkelig agerjord.

Der behøves mere forskning omkring sammenhængen mellem spændingsfeltets intensitet og sammenpakningen af jorden.

Endelig behøves mere oplysning om sammenhængen mellem jordens pakningstilstand og kulturplanternes reaktion. Herunder kommer også udviklingen af målemetoder som reflekterer planternes reaktion, således at man ikke i så høj grad behøver at anvende disse som måleinstrumenter.

A n e r k e n d e l s e

Forfatteren ønsker at bringe en tak til Dorthi og Nils Troedssons Donationsfond som har finansieret studiet af forholdene i jorden ved færdsel med tunge maskiner under projektet: Troedssonfondens Fordon-markforskning.

L i t t e r a t u r

Danfors B. (1974). Pakning i alven. Jordbrukstekniska Institutet.

Specialmeddelande 524. Uppsala

Frölich O. K. (1934). Druckverteilung im Baugrunde. Wien.

Krick G. (1969). Radial and shear stress distribution under rigid wheels and pneumatic tires operating on yielding soils with consideration of tire deformation. Journal of Terramechanics, 6:73-98.

Olsen H. J. (1986a). Tekniska möjligheter att undvika skadlig jordpackning. Sveriges Lantbruksuniversitet. Konsulentavdelningens rapporter, Allmänt 84. Uppsala.

Olsen H. J. (1986b). Soil mechanical behaviour of a heavy clay soil after three long-term compaction treatments. Soil & Tillage Research, 7:145-156.

Smith D. L. O. (1984). A simple prediction model for soil compaction under various wheel loads and geometries as an aid to vehicle design. Proceedings of the 8th International Conference of the ISTVS, vol II:737-749. Cambridge.

Söhne W. (1953). Druckverteilung im boden und bodenverformung unter schlepperreifen. Grundlagen der Landtechnik, 5:49-63.

Taylor J. H. and Burt E. C. (1984). Flotation tires and subsurface compaction. Proceedings of the 8th International Conference of the ISTVS, vol II:751-759. Cambridge.

Wong J. Y., Garber M. and Preston-Thomas J. (1984). Theoretical prediction and experimental substantiation of the ground pressure distribution and tractive performance of tracked vehicles. Proc Instn Mech Engrs, vol 198D no 15.

JORDPAKNINGENS INDFLYDELSE PÅ PLØJELAGET

I n d l e d n i n g

I bestræbelserne på at rationalisere markarbejdet og dermed reducere landbrugets driftsomkostninger anvendes stadig større og tungere maskiner og traktorer med deraf følgende større hjultryk på markerne.

For at belyse den skade, der under danske forhold kan ske ved pakning af jorden, er der gennemført 2 forsøgsserier med jordpakning.

I markforsøg er effekten af pakning om foråret undersøgt dels ved måling af en række jordfysiske parametre og dels ved udbyttmåling.

I lysimeterforsøg er effekten af pakningen alene målt på en række jordfysiske parametre.

F o r s ø g s p l a n e r o g j o r d t y p e r

Forsøgene er gennemført dels som enårige markforsøg i årene 1970-74 på sandjord ved Jyndevad, på sandblandet lerjord ved Rønhave og på lerjord (marsk) ved Højer, og dels i lysimetre med de samme jordtyper som markforsøgene i 1976-81 efter følgende plan:

Plan for markforsøget

- A. Pakning under "våde" forhold
- B. Pakning under "ideelle" forhold
- C. Pakning under "tørre" forhold
- 1. Ingen pakning
- 2. 1 pakning med traktor
- 3. 2 pakninger med traktor
- 4. 4 pakninger med traktor

Plan for lysimeterforsøget

- 1. Ingen belastning
- 2. Belastet med 40 kPa
- 3. Belastet med 100 kPa
- 4. Belastet med 160 kPa
- 5. Belastet med 240 kPa

Pakning af jorden i markforsøget gennemførtes ved at køre hjul ved hjul med traktor med et lufttryk i både for- og baghjul på $1,0-1,1 \text{ kg/cm}^2$. For hvert af tidspunkterne gennemførtes henholdsvis 0, 1, 2 og 4 overkørsler.

Belastningen i lysimeteranlægget skete med en 1000 cm^2 stor trykplade påmonteret en specialbygget traktors hydrauliske system.

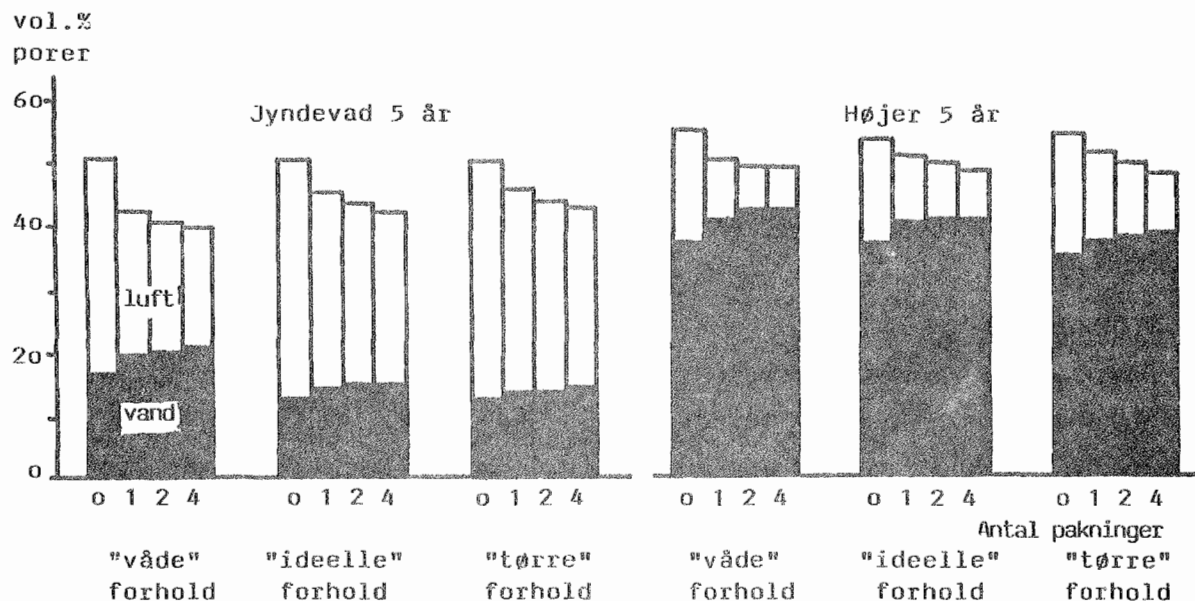
Belastningen foregik ved vandindhold omkring markkapacitet, hvilket i gennemsnit var 11,4, 23,5 og 30,5 vol.% i henholdsvis sandjord, sandblandet lerjord og lerjord. De tre forsøgsjorders tekstur er vist i tabel 1.

Tabel 1. Teksturanalyser		Humus	Ler	Silt	Fin sand	Grov sand
			<0,002 mm	0,02-0,002 mm	0,2-0,02 mm	2,0-0,2 mm
Jydevad	grovsand	1,8	3	2	18	75
Rønhave	sandbl.ler	2,1	13	17	49	19
Højer	ler	2,2	15	13	70	0

Resultater

Porositetsmålinger

Jordens pore-, vand- og luftindhold i markforsøget ved Jydevad og Højer umiddelbart efter pakningen om foråret er vist i figur 1.



Figur 1.

Pore-, vand- og luftindhold i 6-10 cm dybde efter forsøgets anlæg om foråret.

Den største sammentrykning er sket efter 1. pakning. 2 og 4 pakninger bidrog kun i ringe grad til yderligere sammentrykning. Ved Jydevad reduceredes luftindholdet fra 34-38 vol.% i de upakkede forsøgsled til 19-28 vol.% i de hårdest pakkede forsøgsled, ved Rønhave fra 16-22 vol.% til 8-11 vol.% og ved Højer fra 16-19 vol.% til 7-9 vol.%.

I alle tre jorde har stigende belastning forårsaget en betydelig og signifikant reduktion i porerumfanget (tabel 2).

Efter den hårdeste belastning (240 kPa) er porerumfanget reduceret med 6,6-10,1 vol.% i de tre jorde, og luftindholdet er reduceret med 6,6-12,3 vol.% i forhold til den upakkede jord og har antaget kritisk lave værdier i de to lerjorde.

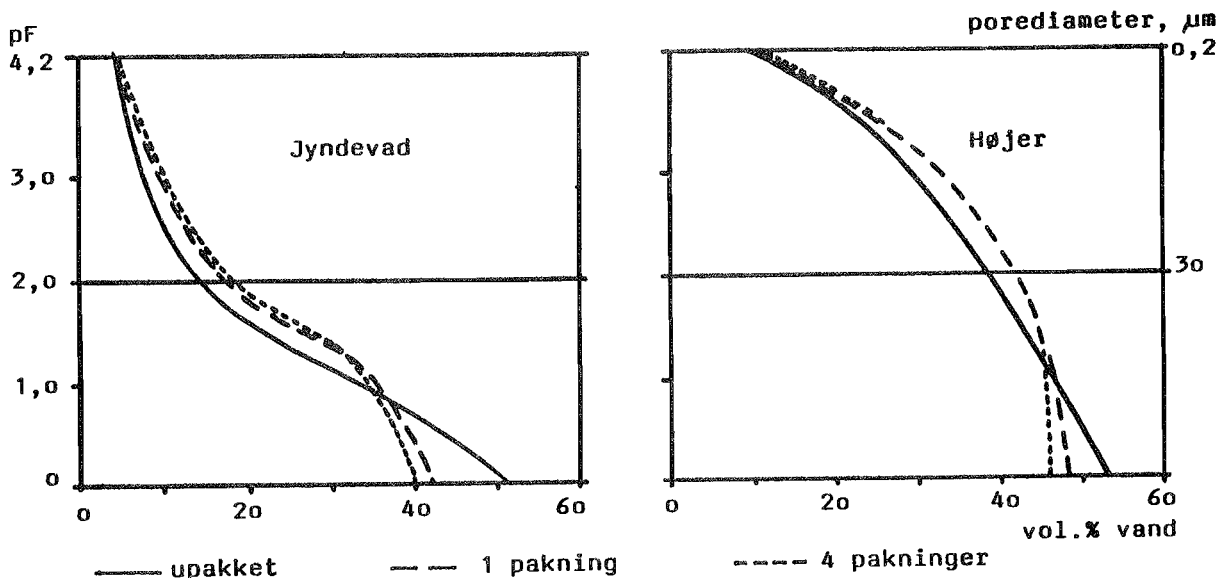
Retentionskurver og pore størrelsesfordeling

Retentionskurver viser sammenhængen mellem jordvandets potential og det volumetriske vandindhold i jorden.

Figur 2 viser retentionskurver fra markforsøget i upakket jord samt efter 1 og 4 pakninger med traktor ved Jyndevad og Højer.

Af figuren ses det, at kurverne krydser hinanden. Det vil sige, at rumfanget af grovporer reduceres, og rumfanget af mellemstore porer forøges.

Belastningsgrad	Grov-sand	Sandbl. ler	Ler
4-8 cm dybde			
Upakket	52,7	45,6	52,4
40 kPa	48,1	42,7	48,9
100 kPa	45,1	40,6	45,7
160 kPa	44,8	39,3	44,8
240 kPa	43,6	39,0	42,8
LSD	1,7	2,4	2,0
14-18 cm dybde			
Upakket	52,8	44,2	49,0
40 kPa	48,2	42,6	48,4
100 kPa	45,5	39,4	44,5
160 kPa	45,3	36,7	42,7
240 kPa	44,0	34,1	41,7
LSD	1,8	2,5	1,8



Figur 2.

Retentionskurver i 6-10 cm dybde efter høst. Gns. af "våde" forhold i 2 år.

For alle tre jorde ses det af tabel 3, at rumfanget af grovporer $> 30 \mu\text{m}$ er reduceret, og at der er sket mindre forøgelse i rumfanget af mellem og små porer.

Den største belastning (240 kPa) har i den sandblandede lerjord reduceret andelen af grove porer til 5,7-8,8 vol.% (tabel 4) og i lerjorden til 2,0-2,8 vol.%. Denne forskel i lerjordenes følsomhed over for pakning skyldes de teksturmæssige forskelle imellem jordene.

I sandjorden og i den sandblandede lerjord (tabel 3) er andelen af grovporer lidt mindre i

1981 end i 1976 i det upakkede forsøgsled og ved den laveste belastning. Ved de større belastninger er andelen af grovporer af samme størrelse i 1981 og i 1976.

Tabel 3. Porestørrelsesfordeling i vol. pct. i 6-10 cm dybde, markforsøg.

Belastningsgrad	Porestørrelse, μm		
	> 30	$30-0,2$	$< 0,2$
<u>Jydevad, grovsand</u>			
Upakket	37,4	9,9	4,1
1 pakning	24,6	12,5	4,8
4 pakninger	21,7	13,0	5,0
<u>Rønhave, sandbl. ler</u>			
Upakket	12,4	19,0	10,9
1 pakning	12,1	18,5	11,1
4 pakninger	6,3	17,3	12,9
<u>Højer, ler</u>			
Upakket	14,4	29,2	9,4
1 pakning	6,0	31,3	10,4
4 pakninger	3,9	31,0	10,8

Tabel 4. Porestørrelsesfordeling i vol. pct. efter høst 1976. Fin sandblandet lerjord. Gns. af 3 fællesprøver.

Belastningsgrad	Porestørrelse, μm		
	> 30	$30-0,2$	$< 0,2$
<u>4-8 cm dybde</u>			
Upakket	17,8	20,0	9,3
40 kPa	19,1	19,1	9,2
100 kPa	13,8	19,6	9,9
160 kPa	12,8	20,3	10,0
240 kPa	8,8	20,9	10,5
LSD	3,4	1,0	0,4
<u>14-18 cm dybde</u>			
Upakket	16,3	19,0	9,6
40 kPa	16,7	18,7	9,6
100 kPa	10,7	19,4	10,4
160 kPa	9,5	20,1	10,5
240 kPa	5,7	19,7	11,1
LSD	3,5	1,4	0,5

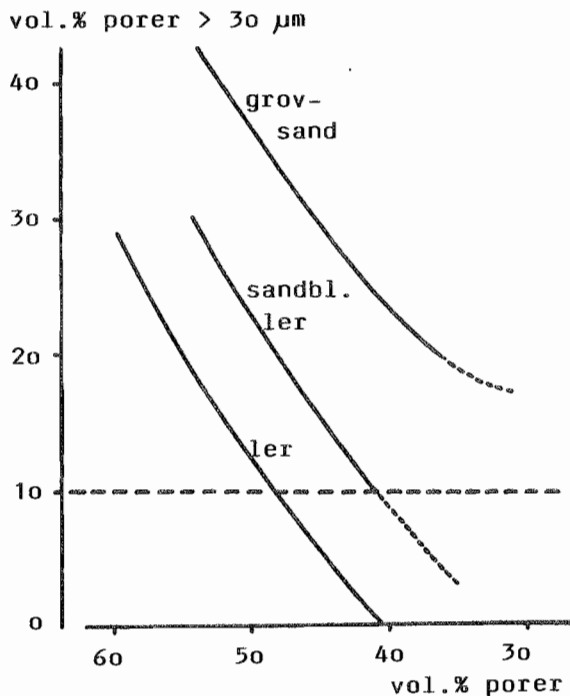
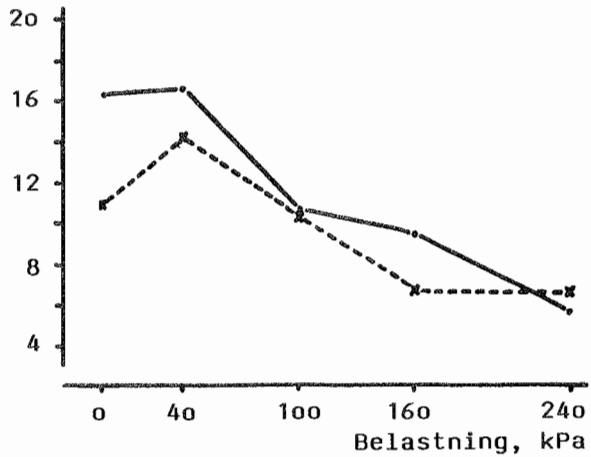
I lerjorden er andelen af grovporer større i 1981 end i 1976 efter de største belastninger.

Undersøgelsen på alle tre jordtyper viser, at jorden i pløjelaget er lige så tæt i 1981 som i 1976. Da jorden i denne periode ikke har været udsat for jordbearbejdning eller belastninger af nogen art, tages dette som udtryk for, at jorden efter sammenpakning ikke er regenereret inden for en 5 årig periode alene ved hjælp af rodvirksomhed og klimaets påvirkning.

Forholdet mellem jordens porerumfang og andelen af porer > 30 µm

I alle tre jorde aftager andelen af grovporer med aftagende porøsitet (stigende volumenvægt) som vist i figur 3. Hældningen på kurverne er omtrent ens, og R^2 er signifikant på 99,9 % niveauet på alle tre jorde.

Figur 3. Sammenhængen mellem belastning af jorden og rumfanget af porer > 30 µm i 14-18 cm dybde efter pakning i 1976 $\bullet\text{---}\bullet$ og 5 år efter høst i 1981 $\times\text{---}\times$. Fin sandblandet lerjord, Rønhave.



I sandjorden er der ved en lav porøsitet stadig et stort rumfang grovporer, mens rumfanget i lerjorden nærmer sig nul ved en porøsitet på ca. 40 vol.%.

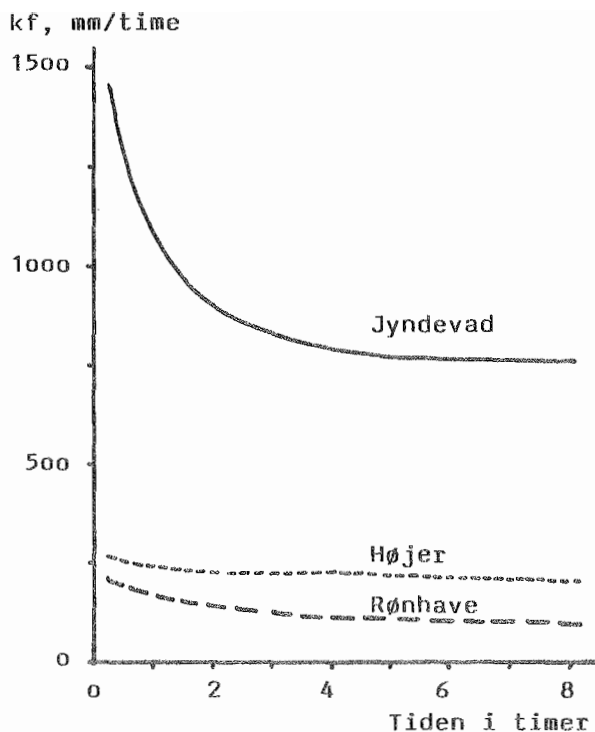
Rumfanget af porer > 30 µm angiver luftkapaciteten ved pF 2,0. Denne skal ifølge Aslyng (1) være mindst 10-15 vol.%.

Figur 4. Sammenhængen mellem jordens pore-rumfang og rumfanget af porer > 30 µm.

Hydraulisk ledningsevne for vandfyldt jord (kf)

Måling af hydraulisk ledningsevne er forbundet med meget stor usikkerhed. Ofte er spredningen (s) lige så stor eller større end den gennemsnitlige kf-værdi for de anvendte fællesprøver.

Ledningsevnen, der afhænger af jordtypen (som vist i figur 5), er størst på den grovsandede jord og mindst på den sandblandede lerjord, der også har det laveste porerumfang. Ledningsevnen aftager endvidere gennem måleperioden pga. materialetransport, kvældning, frigørelse af indespærret luft samt ændringer i ionadsorption og elektrolytkoncentration (1).



Figur 5.

Ændringer i hydraulisk ledningsevne for vandfyldt jord gennem måleperioden. Upakket forsøgsled i 6-10 cm dybde efter høst.

Af tabel 5 ses, at den hydrauliske ledningsevne er meget følsom over for jordpakning. I alle tre jorde aftager ledningsevnen betydeligt i begge dybder som følge af stigende belastning.

Tabel 5. Hydraulisk ledningsevne for vandfyldt jord (kf); efterår 1976 og 1981						
Belastningsgrad	1976			1981		
	Grovsand	Sandbl.ler	Ler	Grovsand	Sandbl.ler	Ler
<u>4-8 cm dybde</u>						
Upakket	1559	113	689	499	44	356
40 kPa	1031	85	108	567	61	182
100 kPa	793	80	94	542	71	107
160 kPa	589	14	5	461	38	56
240 kPa	421	12	< 1	427	8	33
LSD	102	n.s.	593	n.s.	n.s.	n.s.
<u>14-18 cm dybde</u>						
Upakket	2004	84	54	699	78	690
40 kPa	983	99	49	585	84	150
100 kPa	575	16	1	463	51	149
160 kPa	646	5	1	356	12	49
240 kPa	380	2	< 1	364	8	51
LSD	83	37	n.s.	90	39	141

I lerjordene, hvor der ofte er mindre end 10 % grovporer, er der målt særdeles lave kf-værdier, mens der i den grovsandede jord, hvor der er ca. 25 % grovporer, efter en belastning på 240 kPa stadig er en kf-værdi på 380 mm/time.

Tabel 5 viser endvidere mættet hydraulisk ledningsevne på jordprøver udtaget i 1981 - altså 5 år efter belastningen. I 14-18 cm dybde er der signifikant aftagende kf-værdier med stigende belastning af jorden. I sandjorden er kf-værdien i upakket jord ca. dobbelt så stor som efter belastning med 240 kPa. I lerjordene er kf-værdien 10-14 gange så stor i upakket som i hårdt belastet jord.

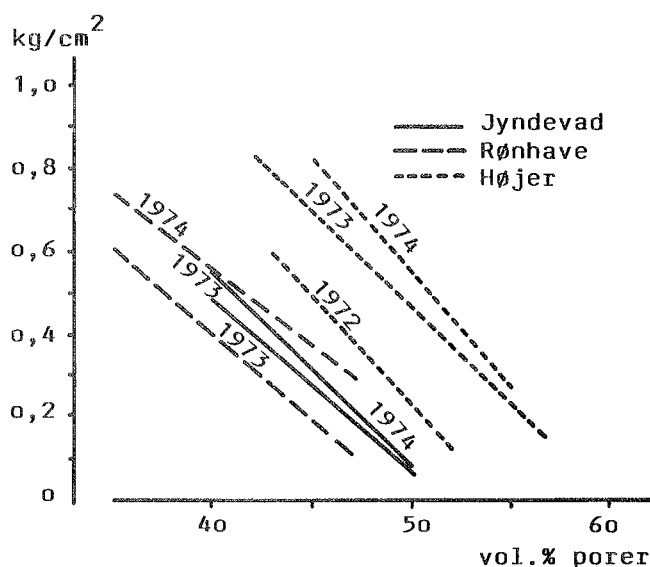
Målingerne viser altså, at der - trods niveauforskelle i 1976 og 1981 - ca. 5 år efter pakningen stadig kan måles en stor effekt af denne.

Skæremodstand (forskydningsmodstand)

Resultaterne af målingerne med vingebor er vist i figur 6, hvor målinger fra forskellige år og tidspunkter er sammenlignet. Korrelationsberegninger viste signifikant sammenhæng mellem skæremodstanden og porerumfanget. Kurverne har omtrent samme hældning på de enkelte forsøgssteder, mens beliggenheden er forskellig. Dette skyldes forskelle i jordens vandindhold på måletidspunktet samt jordvariationen fra år til år.

Figur 6.

Relationen mellem skæremodstand og porerumfang på forskellige jordtyper og tidspunkter.



Aggregatstørrelsesfordeling

Ved pakning under "våde" forhold øgedes antallet af aggregater > 6,0 mm med stigende pakningsgrad (figur 7), mens antallet af mellemstore og små aggregater aftog. Ved pakning under "ideelle" forhold ændredes aggregatfordelingen kun lidt.

Under "tørre" forhold reduceredes mængden af aggregater > 6,0 mm, mens mængden af mellemstore og små aggregater forøgedes. Dette skyldes, at jorden oftest var ret fugtig ved anlæg af det "våde" forsøgsled, hvorfor den presse-

des sammen og blev revet op i store aggregater ved harvningen. Under "tørre" forhold var aggregaterne i overfladen ret tørre, hvorfor de knustes under traktorhjulene ved pakningen og findeltes yderligere ved harvningen.

Figur 7.

Aggregatstørrelsesfordeling i 0-5 cm dybde, Højer 1974.

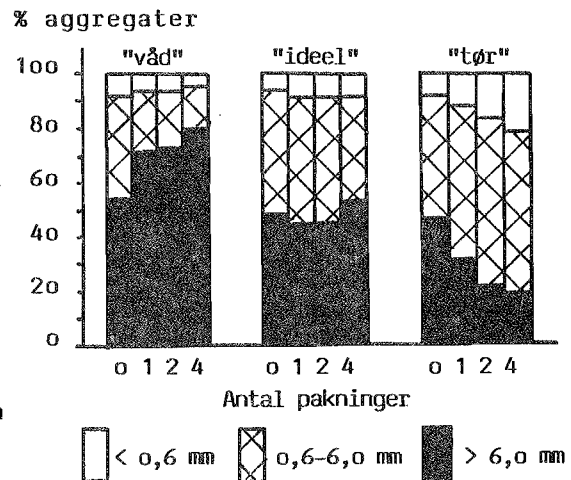


Table 6. Luftpermeabilitet (k_{00}) ved $p_F 2,0, 10^{-8} \text{ x cm}^2$, 5 år efter pakning. Gns. af 12 fællesprøver, efterår 1981.

Belastningsgrad	Grov-sand	Sandbl. ler	Ler
4-8 cm dybde			
Upakket	57	10	10
40 kPa	40	11	7
100 kPa	28	8	7
160 kPa	35	5	2
240 kPa	29	3	3
LSD	8	3	3
14-18 cm dybde			
Upakket	52	12	25
40 kPa	38	12	14
100 kPa	25	7	5
160 kPa	24	3	4
240 kPa	21	2	5
LSD	6	4	5

Luftpermeabilitet

Jordens luftskifte er afhængig af dens tæthed og vandindhold. Et relativt udtryk for luftskiftebetingelserne kan fås ved måling af luftpermeabiliteten. For at få sammenlignelige resultater blev luftpermeabiliteten målt på jordprøver, der var afdrænet ved $p_F 2,0$. Resultaterne er vist i tabel 6.

På trods af relativt store standardafvigelser på luftpermeabiliteten er der målt signifikante forskelle. I alle tre jordtyper og i begge dybder afviger målingerne ved de to største belastninger (160 og 240 kPa) signifikant fra upakket jord og i flere tilfælde også fra jord, der er belastet med 40 kPa. Der er ingen signifikante forskelle mellem de to højeste belastninger.

L i t t e r a t u r

1. Aslyng, H. C. 1968. Klima, jord og vandbalance i jordbruget. DSR Forlag, Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole, København.
2. Rasmussen, K. J. 1976. Jordpakning ved færdsel om foråret. I. Vækstbetingelser og kerneudbytter af byg. Tidsskr. Planteavl 80, 821-834. II. Jordfysiske målinger. Tidsskr. Planteavl 80, 835-856.
3. Rasmussen, K. J. 1985. Jordpakning ved forskellig belastning. Tidsskr. Planteavl 89, 31-45.

I n l e d n i n g

Under temat marken och maskinerna har i olika perioder från 1950-talet bedrivits studier vid avdelningen för lantbrukets hydrateknik. Under 1950- och 1960-talen avsåg dessa studier markens bärighet och framkomligheten för traktorer och maskiner. Med den växande körmängden i jordbruket framstod alltmer också vikten av en belysning av fordonens markpåverkan och följd effekterna på dräneringens funktion och på grödans avkastning. Studierna av maskinernas markpåverkan formades med början under 1960-talet så att de anknöt till de fortlöpande markfysikaliska studierna vid avdelningen för lantbrukets hydrateknik. Systematiska studier av markens hållfasthetssegenskaper främst packningsbenägenheten vid statisk och dynamisk belastning har utförts på jordprofiler över hela lerhaltsskalan representerande viktiga jordtyper. Undersökningarna har också givit belysning av de dynamiska skeendena i markrummet för bedömning av skaderiskerna i markprofilen vid olika körintensiteter i jordbruket och av tillåtna markpåkänningar för att upprätthålla markens funktion och långsiktiga produktionsförmåga (Eriksson 1982). I denna uppsats skall sambandet jordpackning-dränerbarhet beröras.

M a r k p r o f i l e n o c h p a c k n i n g s p r o c e s s e n

En markprofils tillstånd kan genom intensiv jordbruksdrift förskjutas ur ett normalt naturligt jämviktsläge. Olika iakttagelser tyder på att ett nytt jämviktsstadium inträder efter ett antal år av ett visst brukningssystem (Eriksson et al. 1974). I åkermark särskiljs i packningshänseende matjorden med ett djup varierande mellan 20 och 30 cm från underliggande alv. I alvdelen av åkermarksprofiler uppkommer en packningsfront till följd av resulterande tryckspänningar från ytan eller från plogbotten.

Den deformation som en jord undergår till följd av yttre arbete kan vara av två slag, elastisk och plastisk. Om deformationen är elastisk, återbildas kroppens form och motståndet mot formförändring byggs åter upp när lasten avlägsnas. En plastisk deformation däremot medför absorption av energi och bestående formförändring. Jord i luckert strukturtillstånd har en låg inre hållfasthet och en låg elasticitet. Packning av jord i sådant tillstånd innebär därför i princip en plastisk deformation av jorden. Den

upptagning av energi som sker under detta förlopp begränsar räckvidden av packningskrafterna. Markpartiklarna blir emellertid under packning omlagrade på ett sådant sätt att jorden antar mer och mer elastiska egenskaper.

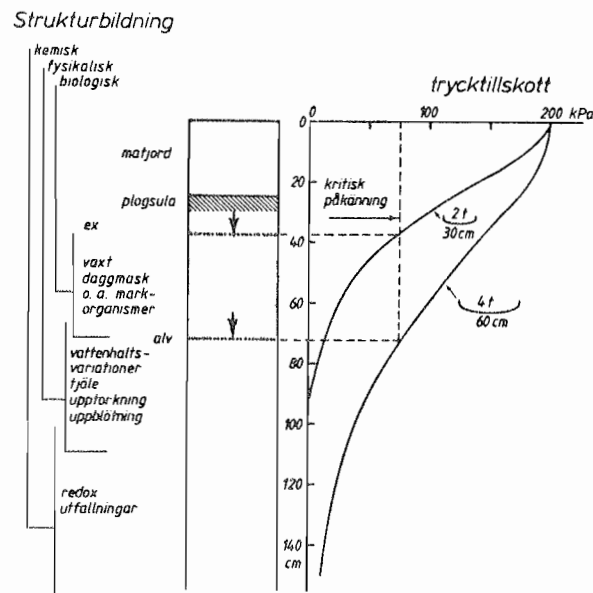


Fig. 1. Strukturbildning och brukningsinfluens i åkermark med anvisning om ökningen i djup och intensitet i påkänningarna inom profilen vid övergång från normal till tung körning.

Därigenom kan marklagret ifråga återföra spänningar till underliggande lager. Följaktligen, den zon som består av omlagrade partiklar, dvs. packad jord, blir på detta sätt gradvis utvidgad. Efter viss tid avstannar dock förloppet och jämvikt blir rådande mellan förekommande körmängd och markmotståndet i profilen. Djupverkan i packningen bestäms alltså av i vilken grad markegenskaperna blir elastiska under packningsprocessen. Gränsen mellan packad och opackad jord i markprofiler som påverkats av stora ytlaster är vidare starkt markerad.

I fig. 1 är schematiskt tecknat hur jämvikten mellan de strukturbildande och strukturedbrytande krafterna påverkas av ökade fordonslaster. En allt större del av den för rotutvecklingen och dränerbarheten mycket viktiga centrala delen av alven utsätts för kritiska påkänningar.

Jordens dränerbarhet

En marks vattenhushållande och vattenledande egenskaper är på olika sätt beroende av strukturen inom markprofilens olika lager. För markens dränering är främst sambandet mellan struktur och genomsläpplighet upplysande.

I lerjordar är förekomsten av ett makroporsystem, dvs. sprickor, maskhål och rotkanaler avgörande för dräneringsegenskaperna. Ett väl utvecklat makroporsystem ger möjlighet till snabba rörelser av vatten och luft. Det är också i denna del av markrummet som en snabb tillväxt av rotsystem kan ske. Frekvensen av sprickor och bisporer måste dock vara relativt hög för att ett effektivt flätverk av makroporer skall bildas. Således behövs till exempel mer än tusen porer större än 1 mm per m^2 varav ett hundratal maskhål för att en lerjord skall fungera bra. En kvantitativ bedömning av markstrukturen erhålles främst av data över vattengenomsläppligheten.

M ä t n i n g o c h k l a s s n i n g a v g e n o m s l ä p p l i g - h e t e n - k - v ä r d e t

De vanligaste mätmetoderna är cylindermetoden med mätning på laboratorier och borrhålsmetoden i fält. Genomsläpplighets - k-värdet, är en mycket betydelsefull karaktetistik av marken, för bedömning av den naturliga dräneringen och behov och former av inlagd dränering. Vidare kan inverkan av packning på markens dränerbarhet belysas. Underlag för klassning har för svenska jordar erhållits från fältförsöken i dränering (Håkansson, Berglund & Eriksson 1974). Förslag till klassning har framförts exempelvis för engelska jordar av Soil Survey, Rothamsted (Thomasson 1975) tab. 1 och ett ganska likartat för tyska jordar av Eggelsmann (1978).

Tabell 1. Klassning av vattengenomsläpplighet, enl. Soil Survey, Rothamsted (Thomasson 1975).

m/dygn	Klassning	
< 0,01	mycket låg	svag dräneringseffekt
0,01 - 0,1	låg	
0,1 - 0,3	medelhög	
0,3 - 1,0	hög	god dräneringseffekt
1,0 - 10	mycket hög	
> 10	mycket hög	

Genomsläppligheten i åkerjord varierar således mycket starkt, mer än 1000 ggr om vi går från en tät lera till sand. Vid genomsläpplighet av 0,1-0,3 m/dygn eller däröver erhålles en mycket god verkan av en inlagd dränering. Vid genomsläpplighet av mindre än 0,1 m/dygn är verkan långsam och vid genomsläpplighet ned mot 0,01 m/dygn blir avbördning av vatten låg.

Genomsläpplighetens variation med djupet och dräneringseffekten

Genomsläppligheten varierar starkt mellan jordtyper men även på grund av textur- och strukturskillnader med djupet i en och samma jordtyp. I den stora variationen i fråga om genomsläpplighet från jord till jord kan dock vissa generaliseringar göras.

Dräneringsbehovet på olika jordar granskades i Sverige under perioden 1947-1977 i ett stort fältförsöksprogram med ca 130 försöksfält för studier av behövlig dräneringsintensitet (Håkansson 1960, 1961). Försöksfälten representerade huvudtyperna av svenska åkerjordar. På samtliga fält har genomförts markfysikaliska undersökningar, innefattande bl.a. genomsläpplighetsbestämningar (Håkansson, Berglund & Eriksson 1974).

I det stora materialet skall här en grupp av dräneringsförsök från Skaraborgs län i Mellansverige dras ut. I gruppen kan tre profiltyper särskiljas. En översikt av genomsläppligheten erhålles i diagrammet fig. 2. För att fånga in den stora variationen i genomsläpplighet är skalan logaritmisk.

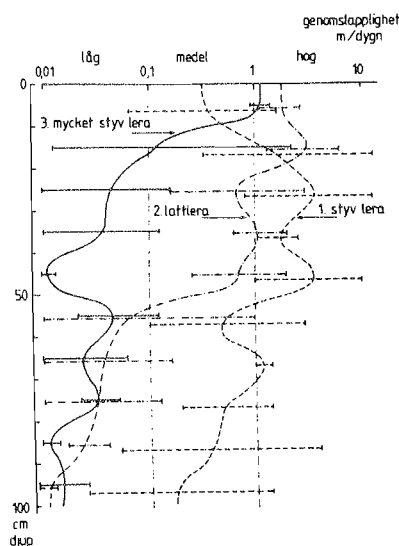


Fig. 2. Vattengenomsläpplighet m/dygn mätt med cylindermetoden i jordar från Skaraborgs län. Karakteristisk variation med djupet i lättlera, styv lera och mycket styv lera.

Kurva 1 representerar 5 försök på "Varaslätten". Mellanleror och styva leror har en hög och jämn genomsläpplighet genom profilen, enl. cylindermetoden omkring 1 m/dygn. Dräneringen får mycket god verkan som resultaten från försöksfälten, som ingår i denna grupp, visar.

Kurva 2 representerar 3 försök på "Kåkindsslätten". Jordarna av lättleretyp inom detta område har en hög genomsläpplighet i övre delen av alven, omkring 1 m/dygn. Under 50 cm djup går genomsläppligheten ned till 0,1 m/dygn och lägre. Detta beror på en tät lagring och frånvaron av maskhål och sprickor. Man kan t.ex. iaktta sprickor som eroderats igen av finmjmjåla i dessa jordar. Dräneringseffekten är tämligen god, men på grund av de angivna profilegenskaperna erfordras en intensiv dränering dvs. små diksavstånd.

Kurva 3 i diagrammet representerar 2 försök på "Vadsboslätten". Genomsläppligheten är mycket låg, 0,01-0,03 m/dygn, genom hela profilen. Dräneringseffekten är också mycket låg enl. observationer och mätningar på försöksfälten under den gångna 30-åriga försökstiden. Detta kommer till synes i form av vattenövermättnad i matjorden och dålig bårighet vid skörd trots intensiv dränering. Åven brukbarheten på våren är svår att reglera med dränering på grund av den låga genomsläppligheten.

Packningens inverkan på dränerbarhet

Utöver den här redovisade "naturliga" variationen av genomsläppligheten i profilen, exemplifierad av tre huvudtyper av jordar, påverkas genomsläppligheten i matjordsdelen och övre delen av alven av markens brukande. I brukningsinflunsen inryms flera skeenden såväl luckrande vid jordbearbetning som förtätande genom tung maskindrift. Klarast framträder brukningsinflunsen i lerprofiler, där man ofta har en markerad ändring av strukturtyp på 30 till 40 cm djup. Genom packning och ältning kan genomsläppligheten i matjord och plogsula nå för infiltrationen av nederbörd kritiska värden dvs. ned mot 0,01 m/dygn. Strypningar av vattenflödet till djupare lager i profilen innebär att dräneringens verkan blir starkt nedsatt, tillfälligt eller mera långvarigt.

Effekten av packning på genomsläppligheten blir mycket accentuerad i profiler med hög "naturlig" genomsläpplighet (fig. 3). I diagrammet redovisas genomsläppligheten i lerprofiler från Ultuna och från Valla i Mälardalen tagna vid tillfällen dels då matjorden haft gott strukturillstånd och dels då matjorden efter tung körning under blöta förhållanden varit i dålig struktur. Alven i båda profilerna har en god struktur, typiskt för många av östra Sveriges lerjordar och därmed en mycket hög genomsläpplighet och därmed god dränerbarhet. Packningen i matjorden innebär en strypning av det vertikala flödet som medför ytvattenbildningar.

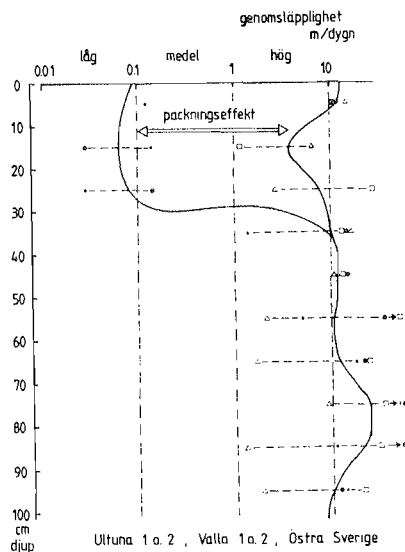


Fig. 3. Vattengenomsläpplighet m/dygn i profiler från Ultuna och Valla, Uppsala län vid olika strukturtillstånd.

Den visade variationen i genomsläpplighet i matjord och övre delen av alven under olika brukningssystem har visat sig föreligga i också övriga jordtyper från leriga jordar till mycket styva leror.

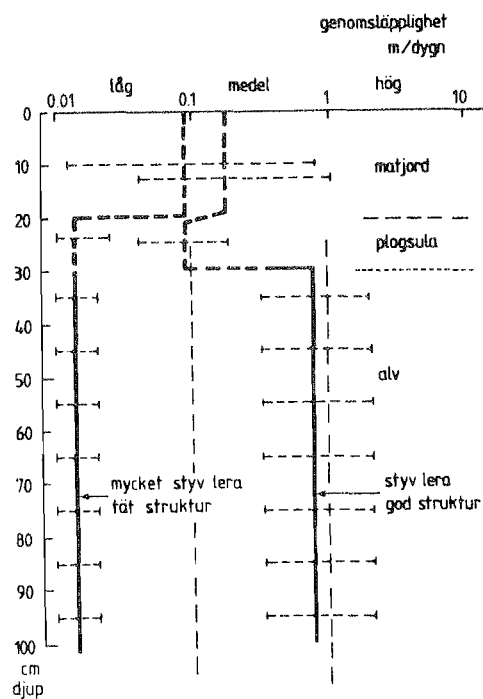


Fig. 4. Jämförelse av genomsläppligheten och dess variation med djupet i mycket styv lera i tät struktur (Vadsbo- och Ängelholmslätten) och styv lera i god struktur (Varaslätten, Mälardalen m.fl.). Data från profilstudier i schematiserad form.

Sammanfattningsvis kan sägas att en god insikt i markens byggnad, funktion och dränerbarhet är väsentlig för bedömning av dräneringsbehov, prognos av dräneringseffekter och lämplig dräneringsteknik. I jordar med låg genomsläpplighet (mycket styva leror ex. 1 i fig. 4) föreligger svårigheter att behärska vattensituationen med normal dränering vid extrema nederbördsperioder. Försämringen av den initialt låga genomsläppligheten genom markpackning blir därför särskilt ödesdiger.

Mellanleror och styva leror (ex. 2 i fig. 4) har i allmänhet en välutvecklad makrostruktur och en god genomsläpplighet i profilen till dräneringsdjup och ofta en viss genomsläpplighet därunder. En inlagd dränering får därför god dräneringsverkan på dessa jordar, som dock kan allvarligt reduceras genom markpackning.

Den tredje typen av diskuterade jordar, lättleror, har en avtagande genomsläpplighet i profilen inom dräneringsdjupet. Med den grunda aktiva profilen fordrar lättleror av denna typ en relativt intensiv dränering. Markpackning innebär ytterligare försämring av det horisontella flödet i profilen och därmed av dränerbarheten.

L i t t e r a t u r

- Eggelsmann, R. 1978. Subsurface drainage instructions.
- Eriksson, J., Håkansson, I. & Danfors, B. 1974. Jordpackning-markstruktur-gröda. JTI Meddelande nr 354.
- Eriksson, J. 1982. Markpackning och rotmiljö. Rapport 126, Inst. för markvetenskap/hydropedologi. Sveriges lantbruksuniversitet.
- Håkansson, A. 1960. Studier av dikesdjupets inverkan på grundvattenstånd, skördeavkastning, markens upptorkning och bärkraft. Grundförbättring 1960:4.
- Håkansson, A. 1961. Dräneringsförsök med olika dikesavstånd. Grundförbättring, spec.nr 4.
- Håkansson, A., Berglund, G. & Eriksson, J. 1974. Om dikningsintensiteten vid dränering av åkerjord. Resultat av fältförsök med olika dikesavstånd. V: Skaraborgs län. Rapport 72. Inst. för markvetenskap/hydropedologi. Sveriges lantbruksuniversitet.
- Smedema, L. & Rycroft, D. 1983. Land drainage: planning and design of agricultural drainage systems.
- Thomasson, A.J. edit. 1975. Soils and field drainage. Technical monograph no 7, Rothamsted Experimental Station.

INVERKAN AV BEARBETNINGSMETODER PÅ MARKSTRUKTUR OCH SOCKERBETANS TILLVÄXT

Markens struktur- och packningsproblem vid sockerbetsodlingen i Finland har varit aktuella från mitten av 60-talet, då den helmekaniserade odlingstekniken togs i bruk också på betfälten. Det finns många orsaker till att strukturproblemen har tillspetsats i Finland:

1. Styva lerjordar:

Sockerbetan odlas allmänt också på styva lerjordar, som har högre lerhalten än 30 %. Nästan hälften av sockerbetsarealen (omkring 15 000 ha) ligger på packningskänsliga lerjordar.

2. Ensidig växtföljd:

De flesta betgårdarna har en allt för ensidig växtföljd. Också på lerjordar odlas betor efter betor på samma skifte år efter år. Det beror oftast på, att bara en del av gårdens åkrar har dränerats och kalkats ordentligt, enligt det behov sockerbetan har.

3. Den nuvarande "hårda" odlingstekniken:

I fråga om markens struktur är sockerbetan en av våra mest krävande odlingsväxter. Det är dock paradoxalt, att vårbrukstekniken i sockerbetsodlingen kanske har den mest tillpackande inverkan på jorden av alla åkerväxter. Det är inte alls ovanligt att man harvar ler- och mjäljordar tre till fyra gånger om våren eller ännu oftare. Då också gödslingen och sådden kräver egna körningar, kommer man under såtiden att köra 6 - 8 gånger med traktor på fältet. Detta innebär, att en traktor försedd med breddningshjul trampar varje kvadratcentimeter av åkerns yta minst två-tre gånger.

En varsammare odlingsteknik är målsättningen

Det första steget mot en varsammare vårbruksteknik var de dubbelmonterade hjulen, som blev allmänna på 70-talet. Enligt flera försöksserier har man dock inte kunnat eliminera tillpackningen av marken tillräckligt effektivt med dubbelmontage. Försöksresultaten visar nämligen, att nästan utan undantag växer betan bäst i en jord, som traktorhjulet inte alls packat.

Från mitten av 60-talet, då den mekaniserade odlingstekniken startades, hade skördenivån i Finland en stigande trend ända fram till mitten av 1970-talet, varefter den positiva utvecklingen upphörde. Orsaken var framför allt de svala och regniga somrarna i slutet av 1970-talet. Starkast gick skördenivån ned hos betodlarna på trakter med lermarker. Den sjunkande skördenivån kunde dock inte bero enbart på väderfaktorerna, för också under missväxtåren fick man goda skördar på olika håll inom betodlingsområdet. Med säkerhet kan man konstatera att situationen kunde ha varit märkbart bättre, om jorden skulle ha varit mera porös, varvid de rikliga regnvattenmängderna snabbt skulle ha sökt sig ned i täckdikena.

I slutet av 1970-talet sattes markstrukturundersökningar på nytt i gång. Vid Centralen för Sockerbetsforskning har man under de senaste åren försökt finna alternativa lösningsmodeller, så att man skulle kunna minska tillpackningen av jorden i väsentlig grad jämfört med nuvarande nivå. Principiellt sett finns det åtminstone tre möjligheter enligt våra erfarenheter:

1. Fasta traktorspår med flera köromgångar:

.....

Först prövade man på den s.k. bänkodlingsmetoden, där idén var, att alla arbetskedena under vårbrukstiden skulle göras längs samma fasta traktorspår. Nyttan blev den, att den tillpackande verkan av traktorhjulena alltid påverkade samma radmellanrum. Solunda växte alla rader sockerbeter i otillpackad jord.

2. Fasta traktorspår med en köromgång:

.....

Försöksresultaten från bänkodlingssystemet var så positiva, att det blev aktuellt att vidareutveckla metoden med att minska antalet körningar genom att kombinera flera arbetskedena. Först gjorde man försök med en anordning, där endast bearbetningen och sådden kunde utföras samtidigt. Följande år byggdes maskinen vidare med inmyllningsenheter av gödseln på varje rad. Maskinens grundkonstruktion utgick från en rotorharv kopplad till traktorns trepunktsfäste och bakom den en radmyllare för gödsel med tillkopplade såenheter. I det mest avancerade utförandet betyder det, att gödslingen, bearbetningen, sådden samt möjligtvis ännu vissa växtskyddsåtgärder utförs med en enda körning (kombi- eller harvsådd).

3. Terra-terrängdäck i stället för dubbelmontage:

.....
(Konventionell metod med slumpmässiga traktorspår)

Den tredje alternativet skulle vara, att man i stället för dubbelmonterade däck på traktorn skulle använda s.k. LGB-däck (Low Ground Pressure). Vid dubbelmontaget är trycket på markytan vanligen av storleksklassen 0.8 - 1.0 kg/cm². Med LGB-terrängdäck kommer man i varje fall ännu ner till hälften lägre marktryck, dvs. ca. 0.4 kg/cm². I det sistnämnda fallet liksom också i det första kunde de nuvarande maskinerna användas.

Försöksarrangemang

Under några års tid gjorde man först i liten skala preliminära försök med bänkodlingsmetoden. År 1983 startades ett mera vidsträckt fältförsöksprogram, där

metoden med en körning jämförs med den nuvarande odlingstekniken. Sammanlagt grundades tre försök på olika delar av betodlingsområdet på lerhaltiga marker. Samma mängd försök anlades också år 1984 och år 1985. Testningen av metoderna har försiggått i s.k. 3- faktoriella fältförsök, där försöksfaktorerna har varit såtid, spridningssätt för gödseln och bearbetningsmetod. Vid testningen av den nya metoden försöker man utreda om den möjliggör en något tidigare sådd också på lerjord, om den skonar markens struktur och om radmyllningen förbättrar gödselns effekt jämfört med ytgödsling.

I en annan försöksserie har man prövat det tredje alternativet (Terra-terräng-däck i stället för dubbelmontage). I den försöksserien har man också för avsikt att finna den bästa möjliga däckstrutningen på traktorn, antingen sockerbetans vårbruk görs med den traditionella metoden med många körningar eller med den nya metoden med en köromgång. I försöksserien har alla möjliga däckstyper ingått allt från radodlingshjul till LGP-däck.

Skörderesultat

Kombinationsmaskinerna är så byggda att harven, radmyllaren för gödseln och såningsmaskinen lätt kan lösgöras från varandra. På det här sättet är det möjligt att använda dem skilt för sig eller kombinera endast två arbetskedan. Fältförsöken är planerade så, att man kan räkna ut varje faktors inverkan på sockerbetesskördens mängd och kvalitet.

I figur 1 har man jämfört harvsåddens olika möjligheter med nuvarande metod med många körningar. Skörden för den normala såmetoden (mätaren) har fått relations-talet 100. Höjden på pelarna anger skördeökningen i förhållande till mätaren både i % och kilogram. Alla försöksfaktorer har haft en klar inverkan på skörde-resultatet. En minskning av antalet körningar har inverkat mera än radmyllningen av gödseln. Försöksområdena var belägna på näringsrika marker, vilket enven-tuellt är orsaken till, att radmyllningens inverkan på skörden var relativt li-ten. Då alla arbetskedan har kombinerats och sådden har skett tidigare än nor-malt, har man uppnått det bästa resultatet. Då har man i medeltal fått en skör-deökning på 14 % jämfört med den metod, som allmänt används. Figuren visar också att det inte med nuvarande teknik är skäl att gå ut på åkern för tidigt.

Tillpackning av marken

Penetrometermätningarna gjordes i juni-juli. På varje ruta utfördes åtta mät-ningar. Mätningarna började vid kanten av varje ruta och slutade vid rutans mitt. Mätningarna utfördes turvis i radmellanrummen och i raderna. I figur 2 framgår det väsentliga i resultatet av mätningarna. Enligt dessa resultat kan man med harvsådd påbörja sådden tidigare än normalt, och ändå hålls strukturen något porösare jämfört med den nuvarande metoden. Penetrometermätningarna visar, att man också i någon mån i älven ser effekten av antalet körningar.

I figur 3 presenteras tre matrisdiagram, som visar hur markprofilen packas till av traktorns och arbetsredskapens tyngd. Mätningarna utfördes med 5 cm:s mellan- rum tvärs över rutorna och med 3.5 cm:s intervall i djupled. Mätningarna påbör-jades i mitten av rutorna och avslutades i kanten. Den högra kanten av diagrammet motsvarar den mittersta raden på försöksrutan. Varje ruta i figuren beskriver markprofilen på en areal om $3.5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} = 17.5 \text{ cm}^2$. Färgsättningen visar gra-den av tillpackning. Ju mörkare färgen är, desto kraftigare har marken packats till. Figuren har uppgjorts på bas av relativa värden. Mätaren är medeltalet för alla mätningar på den mittersta raden med kombimaskin och den har betecknats med relativtalet 100. Färgsättningen i figuren visar, hur mycket markprofilens tät-het relativt sett har ökat jämfört med mätaren. Längst uppe kan man se inverkan av den nuvarande bearbetnings- och såtekniken på förtätningarna i marken. Täthe-

ten i hela profilen har ökat allt från botten av bearbetningsskiktet ner till alven. Med den nuvarande tekniken har man inte kunnat förbättra situationen särskilt mycket genom att övergå från dubbelmontage till Terra-däck, vilket man kan se på det mellersta diagrammet. I båda fallen är tillpackningsgraden i markprofilen enligt statistisk testning på samma nivå. Det nedersta diagrammet visar, att marken har blivit klart luckrare med kombiteknik. Statistiskt sett är porositeten klart bättre än vid de två tidigare alternativen. I den vänstra kanten av figuren kan man se tillpackningseffekten från kombimaskinens hjul. Figuren visar också hur dubbelmonterade däck packar till jorden. Betorna i samtliga rader verkar ändå få växa i nästan lika lucker jord.

Ekonomisk utvärdering

På bas av resultaten har man också gjort ekonomiska kalkyler. De visar, att det är lönsamt att övergå till kombinerad såteknik åtminstone på betarealer, som överstiger genomsnittet (> 6 ha). Också de mindre betgårdarna kan utnyttja fördelarna i metoden antingen med gemensam maskinanvändning eller genom att småningom skaffa begagnade maskiner, när marknader för dessa börjar öppnas.

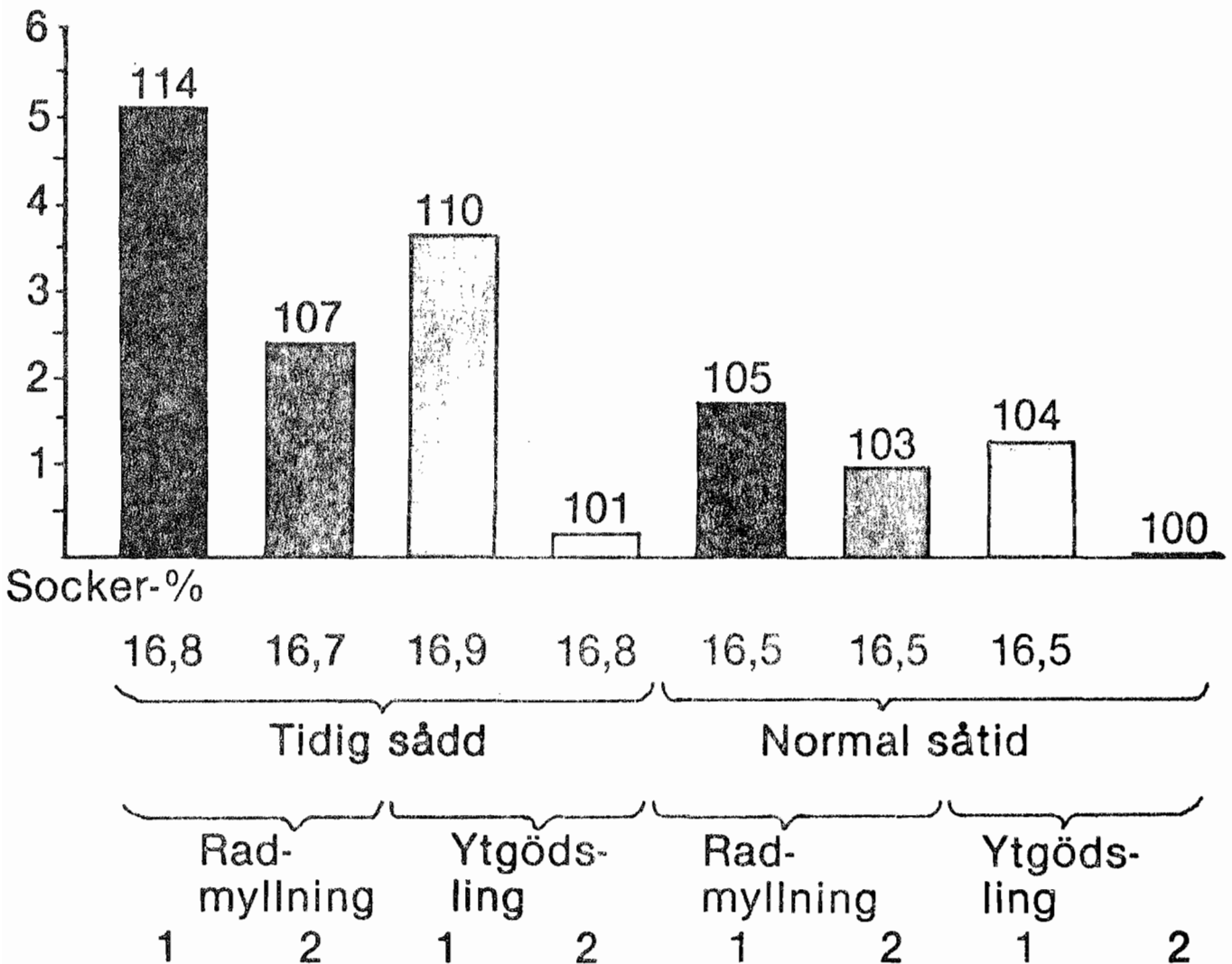
FIG 1.

HUR INVERKAR SÅTID, GÖDSLINGS- METOD OCH JORDBEARBETNINGS- TEKNIK PÅ ROTSKÖRDEN

Medeltal av 9 försök på lerjord åren 1983-85

Ökning av
rotskörden
ton/ha

100 = 36,1 ton/ha

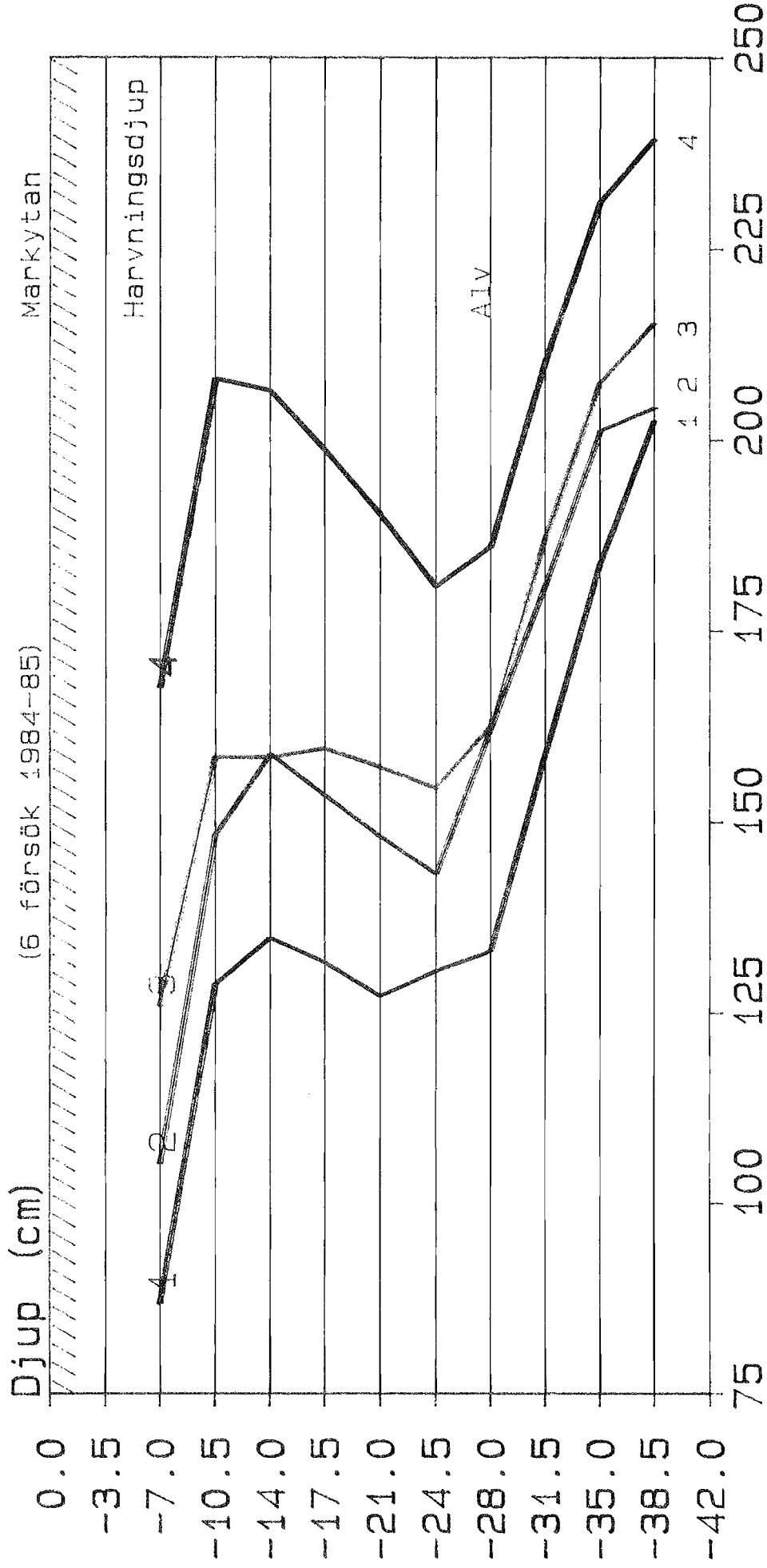


1 = En bearbetning med horisontalfräs
2 = Tre till fyra harvningar

Tidig sådd, medelsådatum 7/5

Normal såtid, medelsådatum 16/5

86. FIG. 2 INVERKAN AV SÅNINGSTID OCH VÅRBRUKSTEKNIK PÅ MARKENS POROSITET

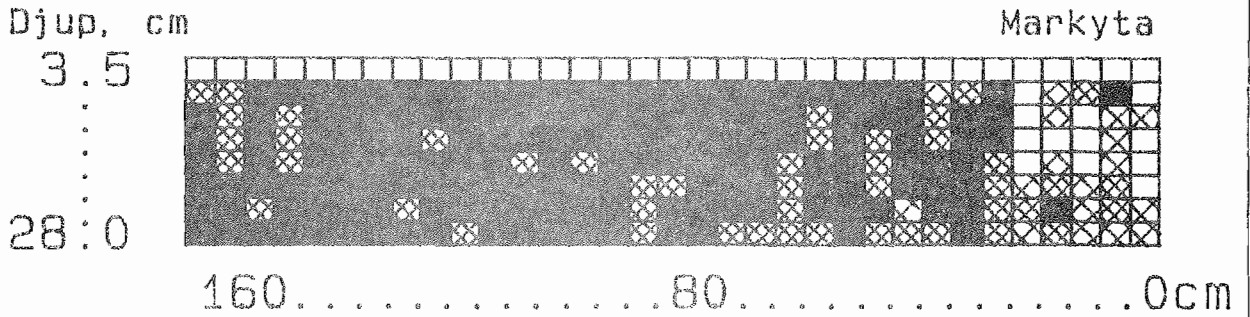


- 1=Konventionell metod i tidigt skede
- 2=Konventionell metod vid normal tidpunkt
- 3=Harvsådd i tidigt skede
- 4=Harvsådd vid normal tidpunkt

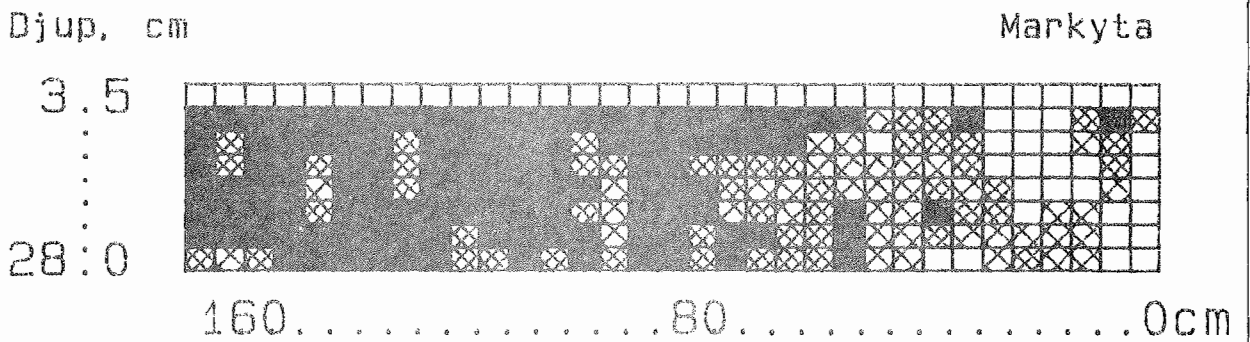
Fig. 3

TILLPACKNINGEN AV TRE JORDPROFILER

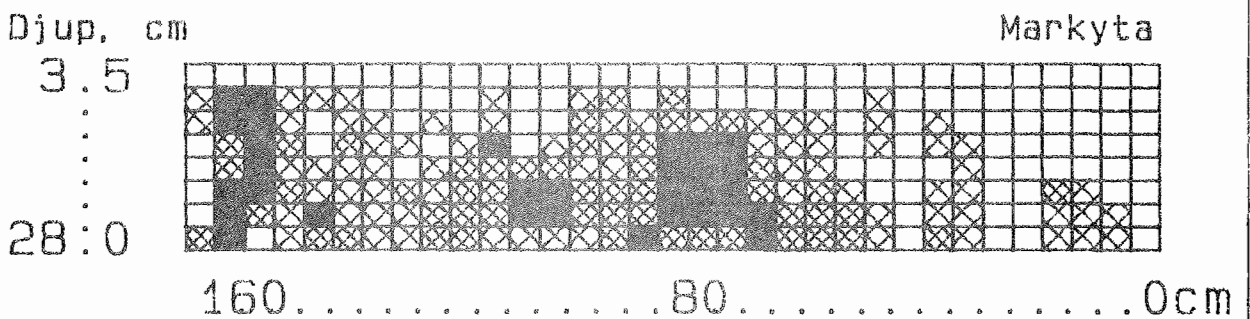
KONVENTIONELL METOD MED DUBBLA HJUL (mdt. 186 N/cm²)



KONVENTIONELL METOD MED TERRÄNGHJUL (mdt. 174 N/cm²)



HARVSÅDD MED DUBBLA HJUL (mdt. 151 N/cm²)



Tillpackning (rel. tal):

115 □ 130 ▣ 145 ▤ 230 ■

KÖRSKADOR VID FLYTGÖDSELSPRIDNING

Flytgödselspridningen anses numera vara ganska skadlig med avseende på markstrukturen. Den här åsikten är lättförstådd, för en spridare full med gödsel väger ju lätt nästan 10 t. Undersökningarna gällande skador orsakade av flytgödselspridningen är dock fåtaliga. Det har inte heller blivit undersökt under vilka förhållanden spridningen skadar marken.

Hur borde flytgödseln spridas?

Till följd av näringsämnenas, speciellt kvävet's utlakning förlorar flytgödsel, som spritts föregående sommar, höst eller vinter en stor del av sin inverkan före den följande växtperioden. I finska försök har flytgödseln haft en god inverkan på skörden först, när den har spritts efter snöns och tjälens smältning på våren. När flytgödsel från nötkreatur (50 m³/ha) som spritts på markytan på hösten eller på vintern har givit 300-500 kg/ha merskörd av korn jämfört med ogödslad, har skördeökningen med vårspridd flytgödsel varit 1400-1700 kg/ha. Flytgödselns vårspridning är mycket fördelaktigare än höst- eller vinterspridning också med avseende på miljön.

För att förhindra ammoniakavdunstning borde flytgödseln nedmyllas så snabbt efter spridningen som möjligt. Det bästa resultatet får man genom att sprida flytgödseln med ett nedmyllningsaggreat. En med nedmyllningsaggreat utförd flytgödselplacering är också det enda sättet att nedmylla flytgödsel in i växande vall och till grödor efter sådden. I finska försök har flytgödsel från nötkreatur (50 m³/ha) som nedmyllats på våren givit en klar skördeökning (200-700 kg/ha) av korn jämfört med ytspridning och harvning efter 1-2 dagar. Placeringen av flytgödsel har visat sig vara mycket fördelaktig också på hösten: i försök har man fått i genomsnitt 600 kg/ha merskörd av korn genom att sprida gödseln med ett nedmyllningsaggreat jämfört med ytspridning. På vallar på lätt jord (mo) har placeringen givit större skörd

än ytspridningen, men på vallar på lerjord har ytspridningen och nedmyllningen givit likadana skördresultat. Det har konstaterats, att man får med flytgödselns nedmyllning i vall gräsfoder med bättre smaklighet och hygien än med ytspridning.

Skador orsakade av flytgödselspridningen

Försök med korn

Flytgödselspridningens skadeverkan undersöktes i Jokioinen i ett försök, där man körde med spridare över försöksrutor några dagar före kornets sådd, vid groningen eller omkring en vecka efter groningen. Någon flytgödsel spriddes inte, utan hela fältet gödslades med 500 kg/ha NPK-gödsel (20-4-8). Hälften av rutorna behandlades som vid ytspridning (med billarna uppe) och hälften av rutorna som vid nedmyllning (med billarna i marken). Eftersom försöksrutorna var 3 m breda och nedmyllningsaggregatets arbetsbredd var densamma, motsvarade behandlingen praktiskt bruk. När ytspridningen imiterades, kom spridarspår dock tätare än i praktiken, för ytspridarnas arbetsbredd är ju i allmänhet 9-13 m. Behandlingarna gjordes med en finsk Teho-Lotina-spridare, som har 6 smala billar på 50 cm:s avstånd. Spridaren är byggd på en boggivagn och dess vikt varierade från 7 till 9 t. Behandlingarna gjordes bara när marken var torr. År 1982 störde regnet dock behandlingen vid groningen.

Försökets resultat presenteras i tabell 1. Behandlingarna före sådden påverkade kornskörden bara litet. De hade till och med en liten positiv inverkan jämfört med obehandlad. Behandlingarna vid groningen och en vecka därefter minskade i allmänhet skörden, men skördesänkningen var emellertid förvånansvärt liten. När man granskade fältet just efter behandlingarna vid groningen och en vecka därefter, såg brodden mycket dålig ut. Det sämsta resultatet fick man med behandlingen vid groningen år 1982, då regnet uppslammade fältet under behandlingen. Skadeverkan på kornets brodd syntes klart som högre kärnfuktighet vid tröskningen. Kärnfuktigheten var desto större ju senare behandlingen gjordes. Den var också större när man körde med 90.

billarna i marken än när man körde med billarna uppe. Behandlingarna före sådden hade ingen betydande inverkan på kärnfuktigheten.

Flytgödseln kan således utan betydande skador spridas på våren före sådden och med ganska små skador också under 2-3 veckor efter sådden. Marken skall emellertid vara torr under spridningen.

Man bör ta hänsyn till, att också spridning på hösten kan skada marken. Flytgödselspridningen på våt plöjd mark på hösten har i finska försök ibland medfört till och med en skördesänkning jämfört med ogödslad. Den tunga spridaren lämnar djupa spår på den våta marken. Dessa spår fylls med torr ytmark vid vårharvning och lider av torka. Hösten kan således vara i praktiken ogynnsammare spridningstid än våren med avseende på markstrukturen.

Försök med växande vall

Flytgödselspridarens skadeverkan på växande vall undersöktes vid Lantbrukets forskningscentral i Jokioinen och vid forskningsstationen för Norra Österbotten i Ruukki. Behandlingarna gjordes omedelbart efter den första skörden. Någon flytgödsel spriddes inte utan man körde bara med spridaren över försöksrutorna som vid ytspridning (billarna uppe) eller som vid nedmyllning (billarna i marken). Hela fältet gödslades med 400-500 kg/ha NPK-gödsel (20-4-8). Hälften av rutorna som behandlades med billarna i marken, vältades omedelbart efter spridarebehandlingen. Behandlingarna gjordes med en Teho-Lotina-spridare, som vägde 7-9 t. Försöksrutorna var 3 m breda, och behandlingarna med billarna i marken motsvarade fullständigt praktiskt bruk. När man imiterade ytspridningen, kom hjulspår dock för tätt jämfört med ytspridningen i praktiken. I Jokioinen skördades försöket två gånger under behandlingsåret och två gånger under det följande året. I Ruukki skördades försöket bara en gång under behandlingsåret och en gång under det följande året.

Försöksresultat presenteras i tabellerna 2 och 3. Körning över försöksrutor med billarna uppe påverkade skörden bara

litet, men körning med billarna i marken sänkte den följande skörden i genomsnitt med 11 %. Den minsta skörden fick man, när vallen vältades efter behandlingen med nedfällda billar. Behandlingarna hade ingen stor inverkan på behandlingsårets 3. skörd, men behandlingen med billarna i marken och påföljande vältning minskade skördarna också följande år. Skadorna som uppstått vid behandlingarna försämrare troligtvis vallens övervintring.

När man granskar resultat av dessa vallförsök, måste man komma ihåg, att i praktiken beror skörden också på själva flyt gödseln och inte bara på spridarens skadeverkan. I finska försök har man konstaterat, att på vallar på lerjordar ger ytspridd och nedmyllad flyt gödsel lika dålig inverkan. På vallar på grövre jordar (mo) har nedmyllad flyt gödsel en god inverkan, klart bättre än ytspridd flyt gödsel. Man vet ännu inte, varför den nedmyllade flyt gödseln har en så dålig inverkan på vallar på lerjordar. Skador på vallväxternas rötter, begränsad rörelse av flyt gödselns näringsämnen eller av flyt gödseln förorsakad syrebrist är möjliga orsaker.

Fastän spridarens billar skadar vallen, har nedmyllningen ofta en fördelaktig inverkan på fodrets kvalitet. I Jokioinen har man konstaterat, att ytspridd flyt gödsel ofta försämrar fodrets smaklighet och hygien. Nedmyllad flyt gödsel producerar dock foder med samma smaklighet och mikrobiologisk kvalitet som konst gödsel. Vältningen av vallen efter nedmyllningen kan rekommenderas bara ifall billarna har lyft upp jord och gjort markytan ojämn. Då är det fara att jord hamnar i fodret vid nästa skörden.

Tabell 1. Inverkan av spridarspår på skörden och kärnfuktigheten av korn på lerjord i Jokioinen.
 Någon flytgödsel spriddes inte utan hela fältet gödslades med 500 kg/ha NPK-gödsel
 (20-4-8).

Behandlingstid	Spridarens billar	Kärnskörden, rel. (obehandlad = 100)					Kärnfuktigheten vid tröskning				
		1982	1983	1984	1985	\bar{x}	1982	1983	1984	1985	\bar{x}
Före sådden	uppe	100	101	106	104	103	24,3	19,8	17,0	29,5	22,7
"	i marken	99	101	98	105	101	24,8	19,8	19,3	30,5	23,6
Vid groningen	uppe	86	104	97	97	96	26,4	21,0	19,0	31,8	24,6
"	i marken	70	101	97	89	89	31,1	25,5	24,2	35,5	29,1
Cirka en vecka efter groningen	uppe	101	97	98	95	98	25,5	21,2	19,7	31,0	24,4
	i marken	79	93	101	82	89	35,2	24,3	23,2	34,3	29,3
Obehandlad skörd kg/ha (85 % TS)		4041	5838	3011	3271	4040	24,8	19,9	17,2	30,3	23,1

Tabell 2. Inverkan av spridarspår på den följande vallskörden. Behandlingen utfördes snart efter den första skörden i juni. Någon flytgödsel spriddes inte utan alla fält gödslades med 400-500 kg/ha NPK-gödsel (20-4-8). Försök 1-5 på lerjord, försök 6-8 på mojord.

Behandlingen efter	Relationstal för den andra ensilagevallskörden (obehandlad skörd = 100)								
	Försök 1	2	3	4	5	6	7	8	\bar{x}
Billarna uppe	100	96	94	103	92	108	98	96	98
Billarna i marken	96	93	86	91	83	82	90	87	89
Billarna i marken + vältning därefter	80	79	82	80	83	77	83	83	81
Obehandlad skörd									
kg TS/ha	2870	6330	4260	2990	3730	3020	4960	4810	4120

Tabell 3. Efterverkan av spridarspår på vallskördarna. Behandlingen utfördes snart efter den första skörden i juni. Någon flytgödsel spriddes inte utan alla fält gödslades med 400-500 kg/ha NPK-gödsel (20-4-8).

Behandlingen efter den första skörden	Jokioinen (obehandlad = 100)			Ruukki (obehandlad = 100)	
	3. skörd samma år	1. skörd följande år	2. skörd följande år	1. skörd följande år	2. skörd följande år
Billarna uppe	103	100	99	101	
Billarna i marken	106	78	100	98	
Billarna i marken + vältning därefter	103	85	99	92	
Antal försök	4	1	1	2	

KJØRESKADE I ENG - VIRKNING PÅ AVLINGEN

Innledning

I Norge har skjedd en omfattende mekanisering på området høsting og transport av gras i årene etter 1960. Ved å gjødsle sterkere og høste oftere er det mulig å produsere gras som er rikt på protein og som har høy forenhetskonsentrasjon. Utviklingen har ført til at engene må brukes som kjørebane for tungtransport. Særlig på organisk jord i distrikter med stor nedbør og ensidig engdyrking har oppstått vanskeligheter. Betydelige mengder husdyrgjødsel må brukes til overgjødsling på eng. Kjøreskader, jordpakking og overvintringsskader er blitt vanlige problemer. Et tynt og dårlig plantedekke i engene er videre årsak til at jorda får dårlig bæreevne.

I dette foredraget blir gitt et sammendrag av fire forsøksserier. Den ene omfatter materiale fra hele Norge, de tre andre er utført i nedbørsrike distrikter i Vest-Norge.

Jordpakking

Det er utført sju forsøk i Sør-Norge med to og tre gangers slått på alle felter, og videre to forsøk i Nord-Norge med en og to gangers slått, Myhr & Njøs (1983). I forsøkene blir sammenlignet fem alternativer for jordpakking:

- A: Ikke kjøring på rutene.
- B: Lite kjøring, halvparten av C.
- C: Normal kjøreintensitet.
- D: Som C, men med tvillinghjul bak og lavtryksdekk framme på traktoren.
- E: Mye kjøring, tilsvarende B + C.

Kjøringen er utført med 18 - 20 kN tunge firehjulstraktorer med 4 kN ekstra tyngde av lodd på trekkstengene. Gjødslingen er utført manuelt og slåttene med lette motorslåmaskiner. En mindre del av kjøringen er utført tidlig om våren, tilsvarende gjødsling. Det aller meste av trafikken er fordelt like etter hver slått, tilsvarende høsting. Kjøringen ble utført når forholdene var så gode at en ville ha kjørt med forhøster i praksis. Komprimeringen ble utført slik at det ble ubetydelige skader på plantenes overjordiske deler. Formålet var primært å teste virkningen av pakket jord. På leddene B, C og E ble kjørt med normalt lufttrykk, 90 kPa, i bakhjulene på traktoren. På ledd D var trykket i bakhjulene 60 kPa.

Av tabell 1 går frem hvor mange ganger arealet ble dekket av spor av bakhjulene av traktoren i hver vekstsesong. Det ble brukt 11" brede dekk.

Tabell 1. Forhold mellom areal av spor av bakhjulene på traktoren og areal av forsøksrute.

Antall slåtter pr. år	A	B	C	D	E
1	0	0,67	1,33	2,67	2,00
2	0	1,33	2,67	5,33	4,00
3	0	2,00	4,00	8,00	6,00

I tabell 2 er referert et sammendrag av de volumetriske analyser som ble utført på prøver 10-14 cm under overflaten.

Tabell 2. Volumprosent luft, vann og fast materiale på ulike jordarter.

Jord- art	Kompo- nent	A	B	C	D	E	F-test
Mineraljord:							
	Luft	16	14	13	13	12	***
	Vann	38	39	39	39	40	ns
	Fast	46	47	48	48	48	ns
Organisk jord:							
	Luft	14	12	12	12	11	***
	Vann	63	63	63	63	61	*
	Fast	23	25	25	25	28	***

Pakking med traktorkjøring har gitt jorda en tettere struktur.

Avlingsresultater

I tabell 3 og 4 er vist avlinger i ulike deler av Norge ved forskjellig høsteintensitet. For upakket jord (A) er tørrstoffavlingene oppgitt som absolutte tall, og for de andre leddene i prosent. Forsøkene ble høstet i åtte år.

Tabell 3. Grastørrstoff, tonn pr. hektar og år.

Forsøkssted	Tall slåtter	A	B	C	D	E	F-test
Sør-Norge	2	11,0	99	97	99	97	*
	3	9,8	96	94	95	91	***
Nord-Norge	1	6,9	99	101	100	98	ns
	2	8,0	96	91	94	87	***

Tabell 4. Gras-tørrstoff, tonn pr. hektar ved de forskjellige slåtter.

Landsdel	Tal slåtter	Slått	A	B	C	D	E	F-test
Sør-Norge	2	1.	6,90	100	98	99	98	ns
		2.	4,10	98	97	98	95	***
	3	1.	5,00	98	97	97	94	**
		2.	3,20	97	93	95	92	***
		3.	1,60	91	86	87	80	***
	Nord-Norge	1	1.	6,90	99	102	100	98
2.			5,60	98	93	96	90	***
2		1.	5,60	98	93	96	90	***
		2.	2,40	93	86	90	81	***

Det er ved tre gangers slått i Sør-Norge og to ganger slått i Nord-Norge en har fått størst avlingsreduksjon ved jordpakking. Tvillinghjul og lavtryksdekk (D) har gitt tendens til høyere avling enn tilsvarende kjøreintensitet med vanlig hjulutrustning. I tabellene 3 og 4 er avlingene gitt som middel for hele forsøksperioden. For de enkelte år er utslagene temmelig like. Det er ikke påvist samspill med år. På de fleste felter har vært frost og tele om vinteren.

Botanisk sammensetning

Artssammensetningen er vurdert skjønnsmessig like før høsting av 1. slått. Andel av timotei i middel for 2. - 4. forsøksår for seks forsøk i Sør-Norge er vist i tabell 5.

Tabell 5. Timotei i prosent av total avling.

Antall slåtter	A	B	C	D	E	F-test
2	46	44	44	44	42	*
3	26	22	22	22	19	***

Kjøring har ført til mindre timotei i engene. På leirjordfelter på Østlandet har innholdet av kveke (*Elytrigia repens*) øket signifikant ved kjøring. I Vest-Norge ble registrert signifikant økning av tofrøbladede ugras på pakkede ruter.

Kjemiske avlingsanalyser

Innholdet av total-N, og av nitrat-N var vesentlig høyere i planter fra upakkede ruter, enn fra ruter med mye pakking. Denne forskjellen var størst for feltene på organisk jord, og skyldes trolig raskere nedbryting av organisk materiale i upakket jord. På flere felter ble registrert at veksten fortsatte lengst utover høsten på upakkede ruter.

Forskjellige grasarter

Fra en forsøksserie i Vest-Norge i 1970-årene, Aase et al. (1977), skal gjengis avlingstall fra ulike grasarter, uten (A) og med (E) jordpakking. I tabell 6 er vist grastørrstoff

Infiltrasjonsmålinger

I slutten av 1970-årene ble Vest-Norge hjem søkt av omfattende overvintringsskader på eng og beite. Studier ute i distriktene viste at jordpakking og bruk av husdyrgjødsel var sterkt medvirkende til at de flerårige grasartene gikk ut. Overflatevann og isdekke kunne føres tilbake til nedsatt infiltrasjonsevne i matjordsjiktet. På denne bakgrunn startet vi et prosjekt i 1981 for å studere hvordan gylle og jordpakking påvirket infiltrasjonsevnen til dyrket torvjord, Myhr, (1984). Gylle ble laget ved å blande bløt storfegjødsel med vann til 5% tørrstoff. Målingene ble utført i enkle ringer med 32 cm diameter og med fallende gradient fra 40 mm. Noen hovedresultater blir gjengitt i tabellene 8 og 9.

Tabell 8. Infiltrasjon av vann om våren, mm pr. time.

Gylle m ³ /ha	Ikke kjørt	Normal kjøring	Mye kjøring
0	10,5	5,7	1,5
100	4,1	1,6	0,4

Både jordpakking og gylle har hver for seg forårsaket lavere infiltrasjonshastighet. Ved vurdering av disse resultatene må tas i betraktning at forsøket ble utført tidlig om våren, like etter at telen var gått. Frosten hadde løftet opp jorden og gjort den forholdsvis lett gjennomtrengelig, noe som kom til uttrykk på ruter som ikke var pakket ved kjøring.

Tabell 9. Infiltrasjonshastighet for vann, mm pr. time. Laboratorieforsøk ved ulike temperaturer.

Gylle m ³ /ha	Jordpakking	Temperaturer	
		1,5°C	8,5°C
0	middels	0,75	1,00
0	mye	0,06	0,20
100	middels	0,06	0,20
100	mye	0,03	0,10

Ved mye kjøring og tilførsel av gylle ble denne torvjorden nesten ugjennomtrengelig for vann ved lav temperatur. På flate arealer er dette særlig betenkelig. Der vil lett bli stående vann som kan fryse og forårsake overvintringsskader.

Nytt prosjekt

I 1986 er startet forsøk med luftet og våtkompostert bløtgjødsel på eng. En del av det organiske materialet vil være brutt ned før gjødsel kommer ut på marken. Foreløpige data tyder på at infiltrasjonshastigheten blir mindre redusert av gjødsel som er behandlet på denne måten. I praksis kan våtkompostert gjødsel spredes gjennom gylleanlegg eller vanningsvogner. Derved unngås jordpakking.

Litteratur

Aase, K., F. Sundstøl og K. Myhr, 1977: Forsøk med strandrør og nokre andre grasarter. Forskn. fors. Landbr. 28: 575 - 604.

Myhr, K. og A. Njøs, 1983: Verknad av traktorkjøring, fleire slåttar og kalking på avling og fysiske jordeigenskapar i eng. Meld. Norg. Landbr. Høgsk. 62 (1): 1-14.

Myhr, K. og R. Lotsberg, 1983: Ulike grasartar si evne til å binde matjordsjiktet i eng og beite. Forskn. fors. Landbr. 34: 137-142.

Myhr, K., 1984: Verknad av gylle og jordpakking på infiltrasjon av vatn i dyrka torvjord. Forskn. fors. Landbr. 35: 185-192.

KJØRESKADER I ENG. VIRKNING PÅ AVLINGENE.

I n n l e d n i n g

Denne artikkelen bygger på undersøkelser utført ved norske forskingsstasjoner fra slutten av 1960-årene og fram til 1985. Framstillingen støtter seg dels til allerede publiserte resultater og dels til resultater fra pågående forsøksserier ved tre forskingsstasjoner.

Forsøksseriene er gjennomført etter ulike planer. I de fleste er hovedvekten lagt på å undersøke avlingsmengder etter ulik kjørebeklastning på enga ved høsting. Felles for forsøkene er at graset er slått med lett teknisk utstyr (to-hjulstraktor) og avlingene fjernet for hånd. Denne behandling representerer forsøksledd uten kjøring. Kjøring er utført på særskilte ruter med fire-hjulstraktor uten vogn. Når ikke annet er nevnt, har traktorens vekt vært 1,8 - 2 tonn. Dertil kommer 400-450 kg tyngde på trepunktsopphenget. Det er lagt vekt på å kjøre under rimelig gode forhold for å unngå ødeleggelse av plantedekket.

R e s u l t a t e r

Kjøring ved høsting

I tabell 2 er det stilt sammen avlingsresultater for ulike deler av landet under forutsetning av at det er utført 2 slåtter pr. år. For de fleste felter er kjøringen utført med flere grader av sporebeklastning. I paranteser er angitt antall ganger arealet er overkjørt med traktorens bakhjul pr. vekstsesong.

Med 2 slåtter pr. år ga kjøring i Sør-Norge en moderat avlingsnedgang på 2-4 prosent, og variasjon i sporebeklastningen har betydd lite. Det var heller ingen avgjørende forskjell

mellom jordartsgruppene. I Nord-Norge derimot, har avlingsnedgangen vært 9-13 prosent ved de samme sporbeklastninger som er brukt i sør. Forklaringen til større avlingsnedgang på mold- og torvjordfelt i nord enn i sør behøver ikke å ligge i ulike jordfaktorer. En kan f.eks ikke se bort fra at i nord er den disponible veksttid kortere og gir skadde planter mindre tid til vegetativ rehabilitering.

Tabell 1. Virkning av ulik kjøring ved høsting. 2 slåtter pr. år.

	Antall		Avlinger			
			Ikke kjørt	Kjørt med ulik sportetthet *		
Felt	Høstear	kg/ha	a	b	c	
			Relative avlinger			
SØR - NORGE						
1) Min. - jord	5	35	10 340	97 (2,7)	96 (4)	
1) Mold - torvj.	2	16	12 520	98 (")	98 (")	
NORD-NORGE						
1) Mold - torvj.	2	16	8 040	91 (")	87 (")	
2) Torvjord	1	5	9 000		87 (3,5)	80 (7)
TRØNDELAG						
3) Torvjord	5	15	9 510	90 (2,5)		

* i (): Antall ganger arealet er overkjørt med traktor pr. år.

1) : K. Myhr & A. Njøs, 1983. 2) : Stat.forsknst. Vågønes.

3) : Stat.forsknst. Kvithamar.

Kjøring og antall slåtter

Undersøkelser av Myhr & Njøs (1983) har vist at det foreligger et sikkert samspill mellom antall slåtter pr. år og kjøring. En økning av antall slåtter fra 2 til 3 i Sør-Norge reduserte den samlede tørrstoffavling, og dette forhold ble forsterket med økende sporbeklastning. Kjøring ga med andre ord større avligstap ved 3 slåtter enn ved 2 slåtter.

I Nord-Norge viste det seg at når det ikke ble kjørt, ga 2 slåtter en stor meravling i forhold til 1.slått årlig. Men når høsting ble forbundet med kjøring, forsvant det meste av

denne avlingsøkningen. Ved 1 slått pr. år var det nemlig praktisk talt ikke avlingstap etter kjøring. Se tabell 2.

Tabell 2. Virkning av ulik kjøring ved høsting.

Ulikt antall slåtter pr. år.

	Antall		Avlinger. Kg tørrstoff pr. hektar.		
			Ikke kjørt	Kjørt	
	Felt Høstear		kg/ha	a. Middels	b. Mye
SØR-NORGE					
2 slåtter	7	51	10 960	10 680 (2,7)*	10 630 (4)*
3 slåtter	7	51	9 790	9 210 (4,0)*	8 900 (6)*
Avlingsnedgang for 3 slåtter:			1 179	1 470	1 730
NORD-NORGE					
1 slått	2	16	6 940	7 100 (1,3)*	6 790 (2)*
2 slåtter	2	16	8 040	7 280 (2,7)*	7 020 (4)*
Avlingsøkning for 2 slåtter:			1 100	180	230

* () : Antall ganger arealet er overkjørt med traktor pr. år.

Kilde : K. Myhr & A. Njøs, 1983.

Det kan ligge nær å forklare det forsterkede avlingstap ved hyppigere høsting som en klar effekt av mer jordpakking. Likevel bør det minnes om at økt høstefrekvens også reduserer plantenes tid til vegetativ utbedring av skader som påføres dem. Resultatene som er vist i tabell 2 gir ellers bud om at høsting av engforsøk med lett utstyr kan gi resultater som ikke blir oppnådd i praksis der en alltid må regne med en viss kjørebelastning.

Kjøring vår og høst.

I en serie med 3 forsøksfelt på Vestlandet ble kjørebelastningen utført ved å kjøre "hjul ved hjul" på forsøksrutene en gang i april og en gang i september (Tveitnes & Njøs, 1974). To felter lå på moldjord og ett på torvjord. Serien omfattet i

alt 14 høstear. En beregning av middeltall for disse feltene gir følgende tørrstoffavlinger i kg pr. hektar:

	Ikkje kjørt	Kjørt	Avlingsdiff.	Rel.avl.kjørt
1. slått	7530	6580	- 950	87
<u>2. slått</u>	<u>3150</u>	<u>2750</u>	<u>- 400</u>	<u>87</u>
Arsavling	10680	9330	- 1350	

Kjøringen på disse feltene ga et større avlingstap enn det som vanligvis er registrert på andre felter med tilsvarende jord og hvor kjøringen har vært konsentrert til høstearbeidet. Arsaken er at kjøringen om våren har gitt et stort avlingstap i den årlige førsteslått, i motsetning til det som har vært vanlig på felter med kjørebelastningen knyttet kun til høstearbeidet.

Argangseffekter

I de norske undersøkelsene har en ikke funnet sikker sammenheng mellom avlingenes reaksjon på kjøring og alderen på enga. Det er imidlertid observert at avlingstap for kjøring tenderer til å være størst etter vintre med lite tele og når jorda har vært mere fuktig enn vanlig under kjøring.

Den botaniske sammensetning har alltid endret seg med årene. Kjøring har redusert mengden av timotei som har vært en hovedart i de fleste forsøk. Kveke (*Elytrigia repens*) og eng-rapp (*Poa pratensis*) har bredt seg mest på ruter som er kjørt.

Kjøreskader på ulike grasarter

Undersøkelser over dette har i de seinere år vært i gang ved tre forskingsstasjoner. Forsøkene er ikke avsluttet. Av foreløpige resultater kan nevnes:

I kjøreforsøk anlagt på mineraljord over store deler av

østlandsområdet er det i de første år observert tendenser til større avlingsnedgang i hundegras. (*Dactylis glomerata*) og engsvingel (*Festuca pratensis*) enn i bladfaks (*Bromus inermis*) og timotei. Dette har likevel bare ført til helt marginale og usikre endringer i rangeringen av artene etter deres avlingsnivå.

I nystartede forsøk på mineraljord i Trøndelag foreligger det også tendens til større skader i hundegras enn i andre arter, Engrapp (*Poa pratensis*) som var med på disse felter, viste små skader.

På mold og torvjordsfelter i Trøndelag og i Nordland har hundegras gitt meget stor avlingsnedgang for kjørelastning sammenliknet med timotei og engsvingel. Engrapp viste minst skade, men avlingsnivået var lavere enn for de mest brukte grasartene.

Det er sannsynlig at artenes og sortenes reaksjon på kjørelastning er avhengig av i hvilken grad de er tilpasset jord og klima på voksestedet, og dessuten av en rekke andre faktorer, bl.a. deres anlegg til skuddannelse og skuddutvikling, tidspunkt for høsting og antall slåtter pr. år. Noe av dette kan avklares i fortsatte forsøk.

L i t t e r a t u r

Mosland, Arne, 1985: Stat.fagtj. for landbr., nr. 4, 1985: 107

- 110.

Mosland, Arne, 1986: Stat.forsknst. Apelsvoll. Pers. korresp.

Myhr, K. & A. Njøs, 1983: Meld. Norg. Landbr.høgsk., 62: 1 - 14

Tveitnes, S. & A. Njøs, 1974: Forsk. Fors. Landbr., 25: 271-283.

Volden, B., 1986: Stat.forsknst. Vågnes. Pers. korresp.

Aase, K., S. Sundstøl og K. Myhr, 1977: Forsk. Fors. Landbr., 28: 583.

HVA KAN VI OPPNÅ MED SMÅ OG LETTE MASKINER I GRASBERGING TIL ENSILERING?

Innledning

I Norge blir ca. 80 % av konservert gras ensilert. Dette innebærer en sterk satsing på utstyr som lar seg kjøre under meget varierende forhold, både klimatiske og topografiske. Da slaghøsteren ble introdusert på det norske markedet for 30 år siden viste det seg at denne maskinen var utviklet for å kunne kjøres på store, flate jorder. I Norge er dette mangelvare, slik at for svært mange bønder ble det vanskelig å slå og høste etter prinsippet hvor tilhengeren henges bak på slaghøsterramma. Ja, for noen var det umulig å kjøre med tilhenger på grunn av at det var for bratt eller at jorda var bæresvak. For disse bøndene måtte en derfor se seg om etter andre løsninger.

"Vossakasso"

Landbruksteknisk institutt har etterhvert lagt ned mye arbeid i utviklingen av utstyr som lar seg kjøre både i bratt terreng og på bæresvak jord. Sammen med Hordaland Mekaniske Verkstad A/S på Voss ble "Vossakasso" utviklet. Dette er ei kasse som henges bak på slaghøsterramma. Den rommer 600-800 kg rått gras og var i utgangspunktet utviklet for kjøring i bratt terreng. Etterhvert som en fikk store problemer med tunge maskiner på bæresvak jord, har denne kassa til en viss grad også blitt tatt i bruk på slike arealer. Fordelen med dette utstyret er at her bærer en lasset på "ryggen", istedet for å dra det etter seg. På den måten sparer en marka for den merbelastningen som trengs for å trekke en tilhenger. Med hensyn til akseltrykket blir dette omtrent det samme som en får ved å henge en vanlig norskbygd tilhenger bak på slaghøsterramma.

Hurtigkopling

Etterhvert som kravet til økt effektivitet vokste viste det seg snart at bruk av "Vossakasso" gikk for seint. Med denne i bruk må en nemlig kople av slaghøsteren når kassa er full og kjøre fram til siloen og tømme. LTI så at bruk av større traktorer og tilhengere betydde brakking av de vanskeligste arealene. Vi satte derfor i gang et arbeid hvor vi monterte inn hurtigkobling mellom kassa og slaghøsterramma. Dette innebærer at vi nå enkelt kan koble av kassa istedet for slaghøsteren. Se fig. 1.

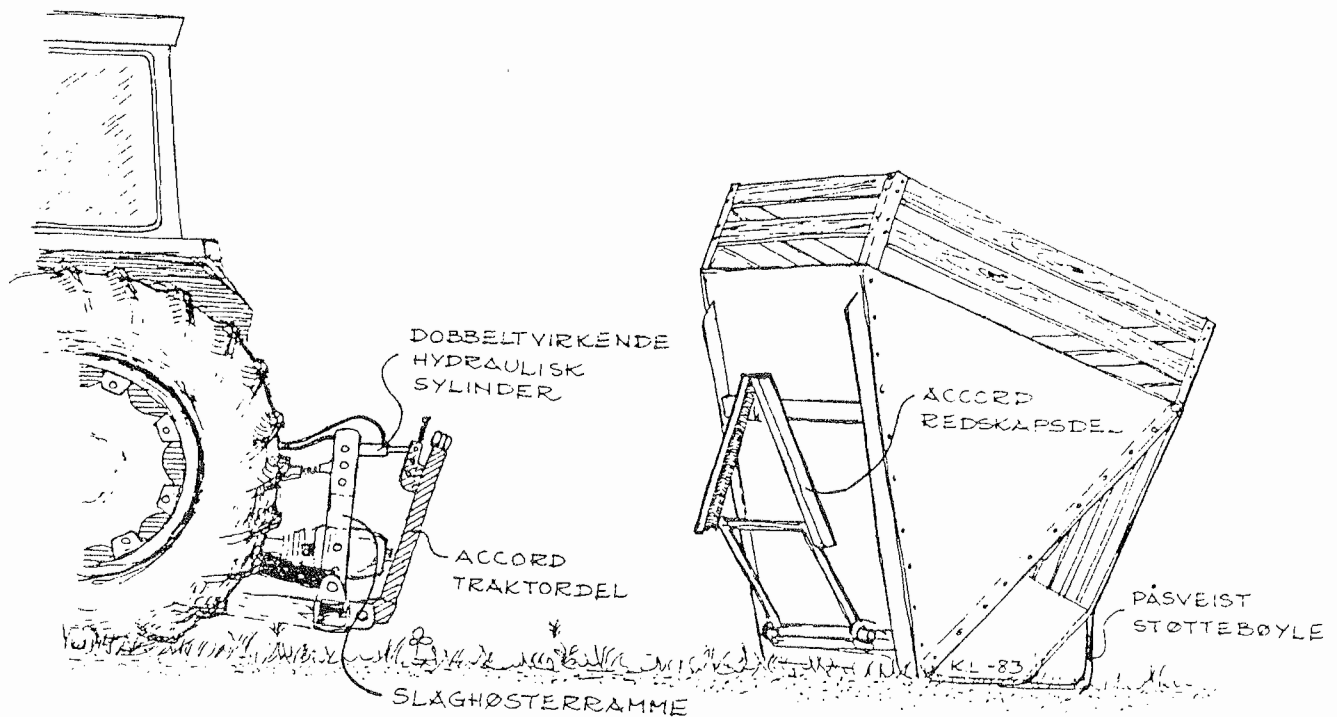


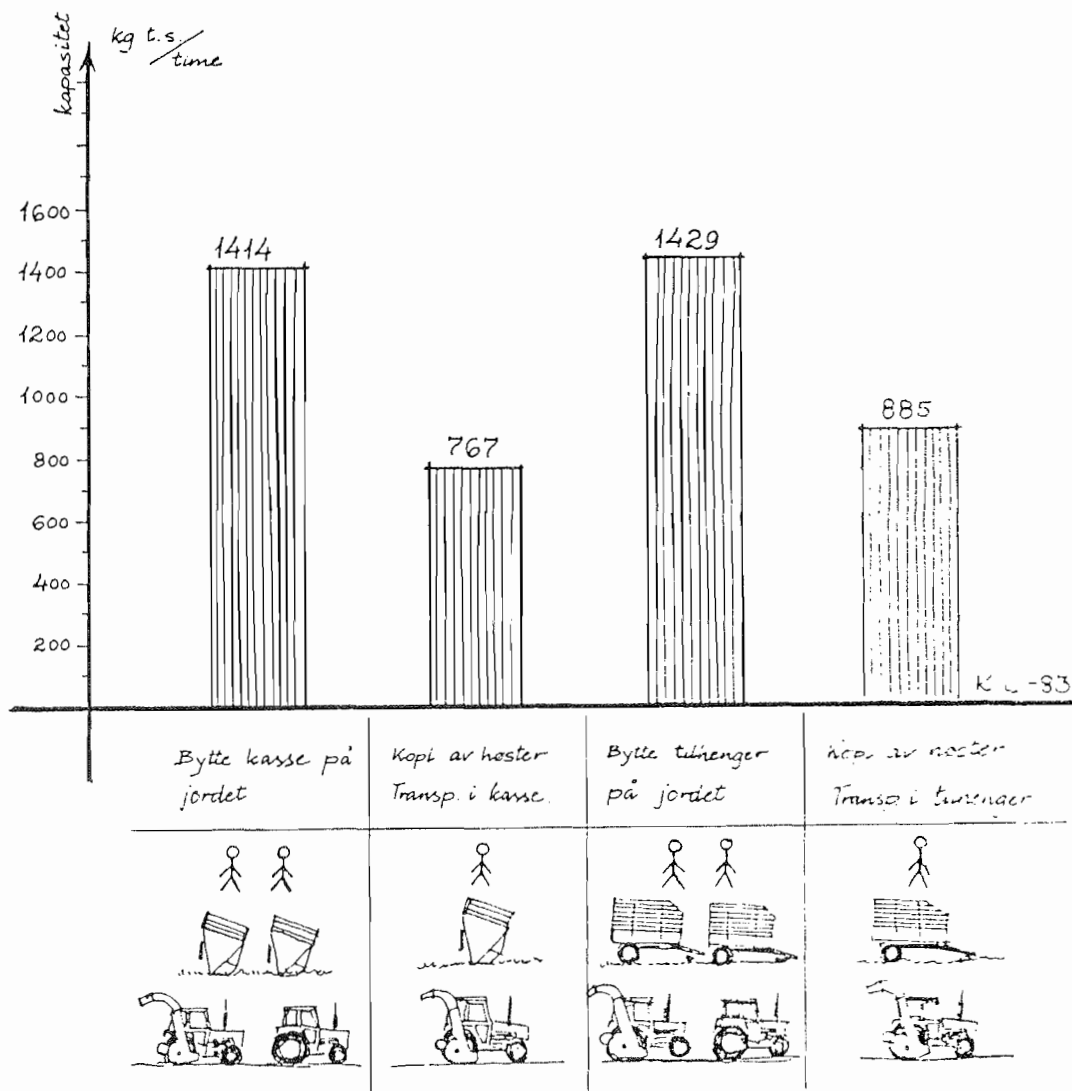
Fig. 1. Prinsippskisse av "Vossakasso" påmontert hurtigkobling.

Med to kasser i bruk har et opplegg der vi skifter kasse på jordet vist seg å være svært effektivt på arealer i nærheten av gården.

Dersom en monterer hurtigkobling er det viktig at det systemet som velges gir mulighet til enkel til- og frakobling. En annen ting er at dersom en allerede har et hurtigkoblingssystem på gården bør en fortsatt holde på det. Dette gir mulighet til fleksibel bruk av redskapene. For "Vossakasso" sin del kan en f.eks. enkelt koble kassa til lesseapparatet på traktoren og lesse over i tilhenger eller lastebil for lang transport.

Oppnådde resultater

De oppnådde resultatene bygger på tidsstudier som er foretatt på samme jordet, med samme traktor og sjåfør under praktiske kjøreforhold. Transportavstanden er under 500 m med god kjøreveg. Se fig. 2.



Kommentar til resultatene

Som en ser av resultatene kan en med enkle midler oppnå praktisk talt samme innleggingskapasitet som med større og tyngre utstyr. Årsaken til det er at det er mye enklere å kjøre traktor med "Vossakasso" enn med tilhenger. Rygging i hjørner forekommer nesten ikke. Å skifte kasse tar bare en tredjedel av tiden det tar å skifte tilhenger. Medaljens bakside er at den gode kapasiteten synker raskt jo lenger vi fjerner oss fra gården.

For å se hva som kunne gjøres med det har vi ved LTI kjørt forsøk i forbindelse med lang transport av gras fra fjellet, 12-45 km. Her viste det seg at ved å frakte graset på tømmerbil ned til gården, kan en opprettholde en meget tilfredsstillende innleggingskapasitet ved å bruke traktor med "Vossakasso" til slått og transport fram til bilen. For at bilen skal ha gras nok hele tida må denne ha en transportavstand på ca. 12 km.

Sammendrag

På bæresvak jord kan det ofte være et spørsmål om å få avlinga i hus eller ikke. Her har bruk av "Vossakasso" med hurtigkobling vist seg å være et godt hjelpemiddel. For lang transport av gras kan en lesse over på tømmerbil eller annet egnet transportmiddel. En vil da oppnå samme innleggingskapasitet som fra arealer nær gården.

KJØRESKADER PÅ ENG

- noen tiltak for å begrense skadene.

I n n l e d n i n g

For å redusere kjøreskadene kan en sette i verk tiltak som går ut på å gjøre jorda og plantene mer motstandsdyktige mot kjøreskader. Videre kan maskinene og driftsmetodene forandres slik at de gjør mindre skade.

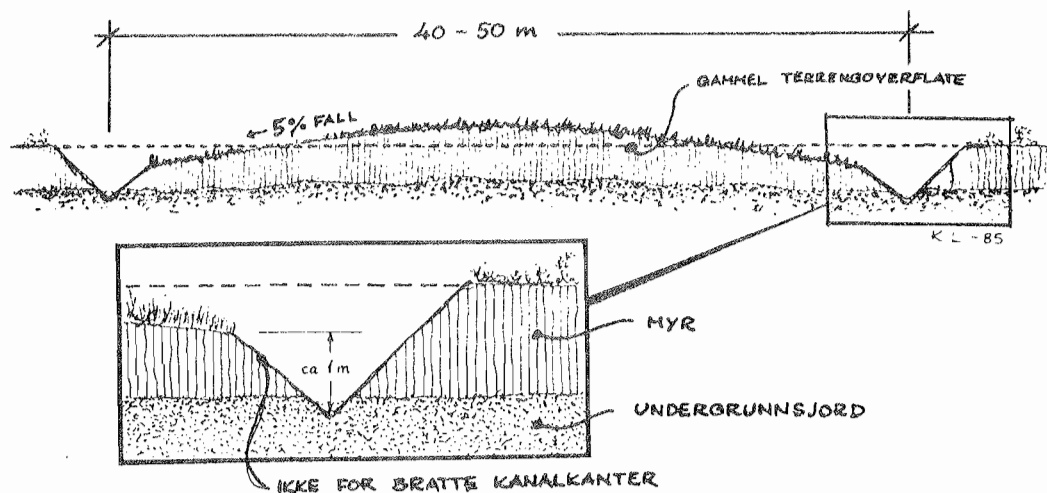
Når skadene først er et faktum kan disse deles i øyeblikkelige og mer langsiktige skader. De øyeblikkelige skadene gir seg bl.a. utslag i sundkjørt plantedekke og i verste fall fastkjøring av maskinen. Langsiktige skader kan være pakkingseffekter i jorda og hjulspor som fører til at vatn blir stående i sporet med påfølgende drukning og utgang av gras.

Tiltak på jordsida

De fleste kjenner til at jorda tåler mindre trafikk og kjøring når den er våt enn i tørr tilstand. Det er derfor meget viktig at jorda er godt drenert. I områder med mye nedbør er dette spesielt viktig. De nedbørrike områdene har gjerne jordarter som er tette og vanskelig lar seg drenere.

Myrjorda er ofte problematisk i så måte. I Norge er det dyrka betydelige myrarealer. Tradisjonell drenering med lukka rørgrøfter viser seg ofte å gi for dårlig tørrlegging. Problemet er rett og slett at vatnet renner for seint ned til grøftene.

PROFILERING AV MYRJORD.



Figur 1:

Prinsippskisse for profileringsmetoden.

Under slike forhold ser dreneringssystemer basert på overflate-avrenning ut til å ha bedre effekt. Metoden kalles profilering, og går i korthet ut på at det lages kunstig fall på jordoverflata ut mot åpne kanaler. Av-standen mellom kanalene er gjerne ca. 40 m og med ca. 1 m overhøgde midt på teigen (5 % fall).

Bæreevnen på myra kan forbedres ved å blande sand eller grus i topplaget. Dersom myra ikke er for djup, kan omgraving gi et godt resultat. Dette forutsetter velegnet undergrunn og moderat myrddjup, d.v.s. sand eller grus og mindre enn 2 m djup myr.

Tekniske og driftsmessige tiltak

Kjøreskadene kan reduseres betydelig hvis arbeidet planlegges godt slik at unødig kjøring unngås. Videre bør ikke maskiner og utstyr være større og tyngre enn nødvendig for å få utført det aktuelle arbeidet. Utviklinga har gått mot stadig større maskiner, og dette er uheldig sett fra jordas synspunkt.

Hjulustrustning

Det er ikke tvil om at den aktuelle hjulustrustninga på maskinene har mye å si for kjøreskadene. Hjulene utgjør tross alt bindeleddet mellom maskinene på den ene sida og jorda og plantene på den andre. Dette bindeleddet bør fungere så skånsomt som mulig; d.v.s. med lågt marktrykk, lite sluring og skånsomt dekkmønster.

Marktrykk.

På bæresvak mark er det viktig å ha ei stor kontaktflate mot underlaget. Dette kan oppnås ved å montere tvillinghjul, lavprofilhjul (Twin-dekk) eller ved å redusere lufttrykket i eksisterende hjulustrustning.

Tvillingmontasje er en fleksibel og relativt rimelig måte å øke bæreflata på. Den største fordelene med tvillinghjul er at de ytre hjulene kan tas av slik at traktoren kan brukes til f.eks. kjøring i radkulturer. I de fleste tilfeller vil drivhjulene få bedre grep og sluringa reduseres. Fordelene med tvillinghjul kommer først til sin rett når en samtidig reduserer lufttrykket i forhold til det som brukes i enkle hjul.

Ulempen med tvillinghjul er at traktoren eller redskapet blir breiere. Dette kan være uheldig ved kjøring gjennom porter og langs veg. Traktoren blir vanskeligere å svinge med, og

hjulene vil rive i plantedekket i skarpe svinger. Denne rivinga er spesielt uheldig når plantene er nyetablert, f.eks. i 1. års eng.

Lavprofilhjul eller Twin-hjul er en effektiv måte å redusere marktrykket på. Twin-dekkene har omtrent samme bæreflate som sammenlignbare tvillinghjul. Traktorens bredde blir imidlertid betydelig mindre, med de fordeler det innebærer. Dersom det velges Twin-dekk med skånsomt mønster, f.eks. "Twin 421", vil kjøreskadene på grasmatta bli betydelig redusert. Med disse dekkene er det mulig å foreta skarpe svinger på nyetablert eng uten å lage nevneverdige spor i grasmatta. M.h.t. markgrep og sluring er Twin-dekkene på omtrent samme nivå som tvillinghjul ved normalt arbeid på grasmark.

Ulempen med Twin-hjul er at de er relativt kostbare. P.g.a. dekkbredden blir traktorens bruksområde noe begrenset. Det blir videre dyrt å kjøpe kjettinger til så breie hjul hvis traktoren skal brukes på vinterføre.

Lufttrykket i dekkene kan ha stor betydning for kjøreskadene. Vi veit at marktrykket langt på veg er avhengig av lufttrykket i dekket. Sterkt forenklet kan en si at marktrykk = lufttrykk + stivheten i dekket. Vi er derfor interessert i å redusere lufttrykket i dekkene mest mulig. Dette må imidlertid ikke gå på bekostning av dekkets levetid i nevneverdig grad. Ved kjøring i moderate hastigheter på jordet kan lufttrykket være vesentlig lavere enn ved rask landevegstransport. Lufttrykket bør derfor varieres etter hva slags arbeid som skal utføres.

Når lufttrykket reduseres, vil sluringsegenskapene bli bedre, fordi flere ribber ligger an mot underlaget, og dekket får bedre tak. Det er ønskelig at dekkene i utgangspunktet er konstruert for bruk med lite luft. I så måte er Twin-dekkene å foretrekke da de kan brukes med ned mot 0,4 bar lufttrykk (Twin Garden Tractor).

Dekkmønster.

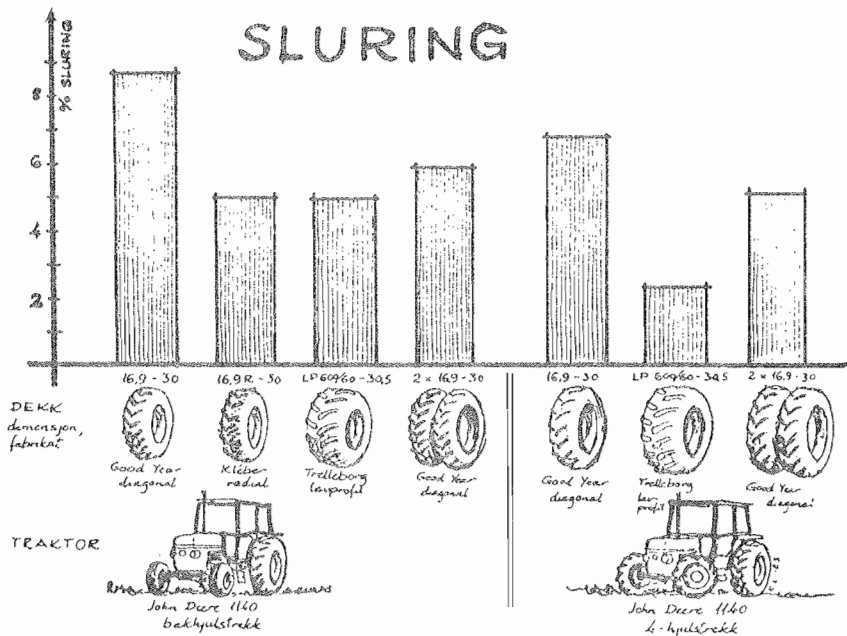
De fleste traktordekk har et mønster som skal ha gode egenskaper ved f.eks. pløying og harving i åpen åker. I åpen åker er det nødvendig med markerte ribber for å få god framkomstevne. På grasmark vil imidlertid ribbene lett skjære sund grasmatta. Det er nødvendig at ribbene ikke er for høge og at de har godt

avrunda kanter. Avstanden mellom ribbene bør ikke være for stor. Dermed får flere ribber kontakt med underlaget samtidig. Etter våre forsøk ser Trelleborg Twin 421 ut til å ha gode egenskaper som grasdekk.

Markgrep og sluring.

Unødig sluring er en uting. Når hjulene spinner, rives grasdekket opp og jorda blir elta slik at strukturen i det øverste jordlaget ødelegges. Videre fører sluring til økt slitasje på dekk og maskineri. Ei viss sluring er nødvendig for å få utført et arbeid, men sluringa bør være så lita som mulig; både av biologiske og tekniske årsaker.

I forsøkene på Vikeid (LTI's avdeling i Nord-Norge) har vi undersøkt sluringsegenskapene til forskjellig dekkutstyr på 2- og 4-hjulsdrevne traktorer. Under prøvene har vi tatt utgangspunkt i de trekk-krefter og belastninger som oppstår under normalt arbeid på grasmark; gjødsling, grashøsting o.s.v.



Figur 2:

Sluring med forskjellig dekkutrustning på traktor med 2- og 4-hjulstrekk.

Resultatene går fram av figur 2. Generelt ser en at 4-hjulsdrevet traktor har hatt mindre sluring enn traktor med bakhjulsdrift. Det er imidlertid verd å merke seg at det er store forskjeller mellom de ulike hjulalternativene. Dersom en tar utgangspunkt i 4-hjulstrekker med enkle diagonalhjul, viser det seg at den bakhjulsdrevne traktoren har sluret mindre med 116.

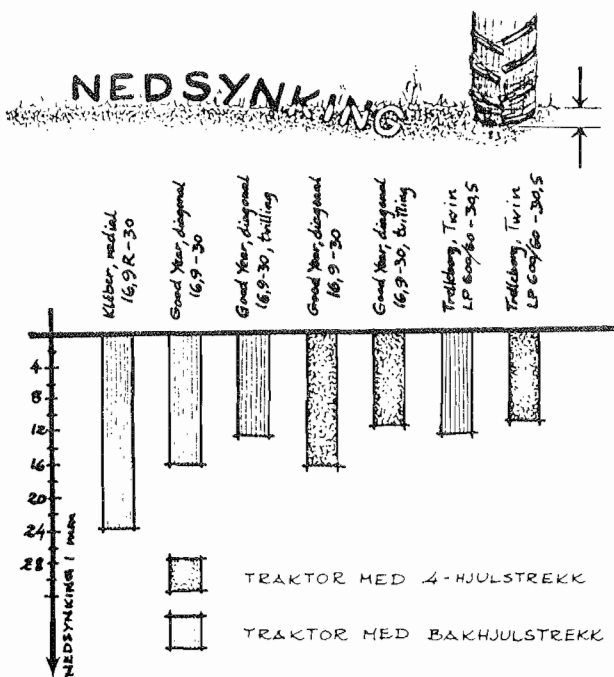
tvillinghjul, enkle radial- og Twinhjul. I noen tilfeller kan altså en bakhjulsdrevet traktor med godt hjulutstyr ha bedre markgrep enn en 4-hjulstrekket med standardhjul. Prismessig kan bakhjulstrekkere utstyres med mye kostbart hjulutstyr før prisen kommer opp mot det en 4-hjulsdrevet traktor koster i standardutførelse.

Spordjup.

Kjøreskader gir seg ofte utslag i hjulspor på jordoverflata. I hjulsporene er ofte grasdekket sundrevet og det samler seg lett vatn som kan føre til drukning av plantene.

I tilknytning til hjulforsøkene på Vikeid har vi også målt nedsynking eller spordjup for de ulike dekkalternativene. Resultatene går fram av figur 3. Nedsynkinga måles i avtrykket etter ribbene på dekket. Ribbehøgda vil altså virke inn på resultatet. Vi ser at Kløber radialdekk har hatt størst nedsynking. Dette har sammenheng med de forholdsvis høge og skarpe ribbene.

De minste sporene har det blitt etter tvilling- og Twin-dekkene.



Figur 3:

Spordjup i grasmatta etter kjøring med ulikt hjulutstyr på traktoren.

Twindekk og tvillinghjul er de alternativene som ser ut til å gi det beste kompromiss mellom sluring og nedsynking.

BEGRÄNSNING AV AXELLASTER

Inledning

Jordbrukstekniska institutet (JTI) inledde i slutet av 1960-talet studier över hur tunga maskiner och fordon påverkar de markfysikaliska förhållandena i alven. Målet var i första hand att ta reda på om det överhuvudtaget förekom någon påverkan på alven med de fordonsbelastningar som var aktuella. Om man kunde visa en påverkan på alven fanns också intresse för att få veta hur tunga belastningar som fordras för en sådan påverkan.

Tidigare studier i Sverige och utomlands hade begränsats till matjorden. Detta innebar att mätutrustning för studier av porvolymförändringar eller liknande i alven inte fanns tillgängliga eller beskrivna. Gammastrålning hade använts tidigare men ansågs inte ge tillräcklig upplösning och noggrannhet för dessa mätningar.

Försöksutrustning

Därför utvecklades vid JTI en ny teknik som innebar att markens rörelser på olika nivåer registrerades med hjälp av sonder i förhållande till en referensbalk som förankrats i "fast grund" dvs i det moränlager som finns under de olika lerjordar där mätningar utfördes. Till varje referensbalk kopplades fyra sonder placerade på 30, 50, 80 och 120 cm djup. Varje sond försågs vid mätningen med en differentialtransformator som med stor noggrannhet registrerade sondens vertikala rörelse då man körde förbi med ett tungt lastat fordon. För dessa mätningar tillverkades ett stort antal sonder för att man skulle få många olika försöksled. Bild 1.

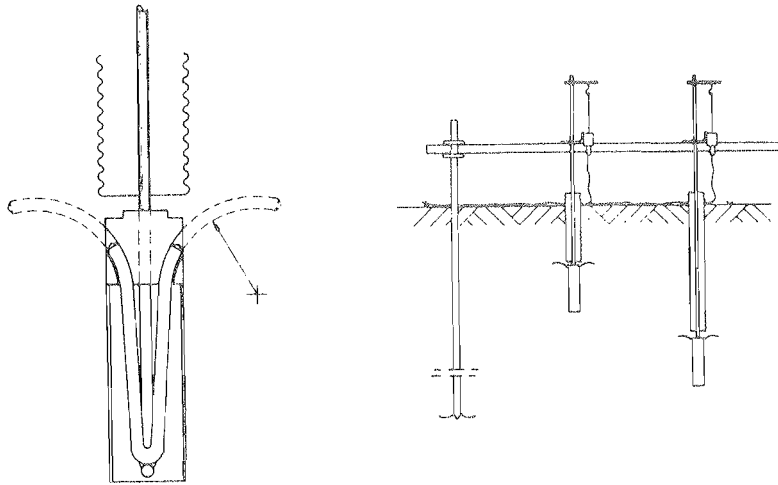


Bild 1. Snittbilder av sonder som visar funktionen vid förankring i marken samt hur referensbalk och ankarrör var monterade i förhållande till sonda.

För studierna byggdes också en särskild belastningsvagn som kunde belastas upp till 16 ton boggietryck. Hjularrangemanget, boggie eller enkel axel, kunde varieras liksom belastningar enligt de försöksplaner som utarbetats. Bild 2.

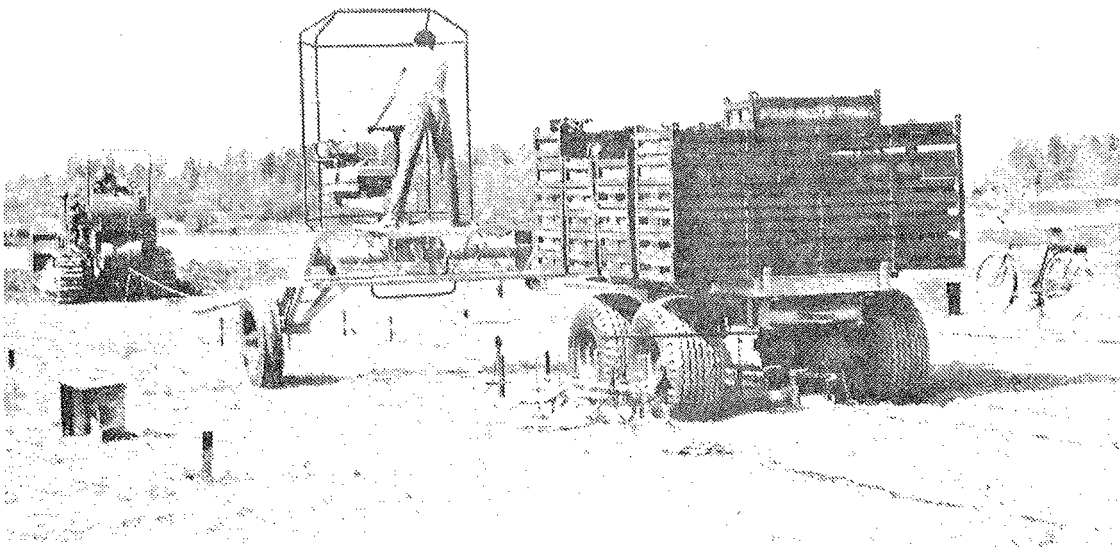


Bild 2. Belastningsvagnen med 16 ton på boggie. Foto Birger Danfors.

För att undvika störningar från dragfordon vinschades belastningsvagnen förbi mätsonderna. Även lastbilar, stora traktorer samt en 18 ton bandtraktor användes som belastningsfordon. Bild 3.

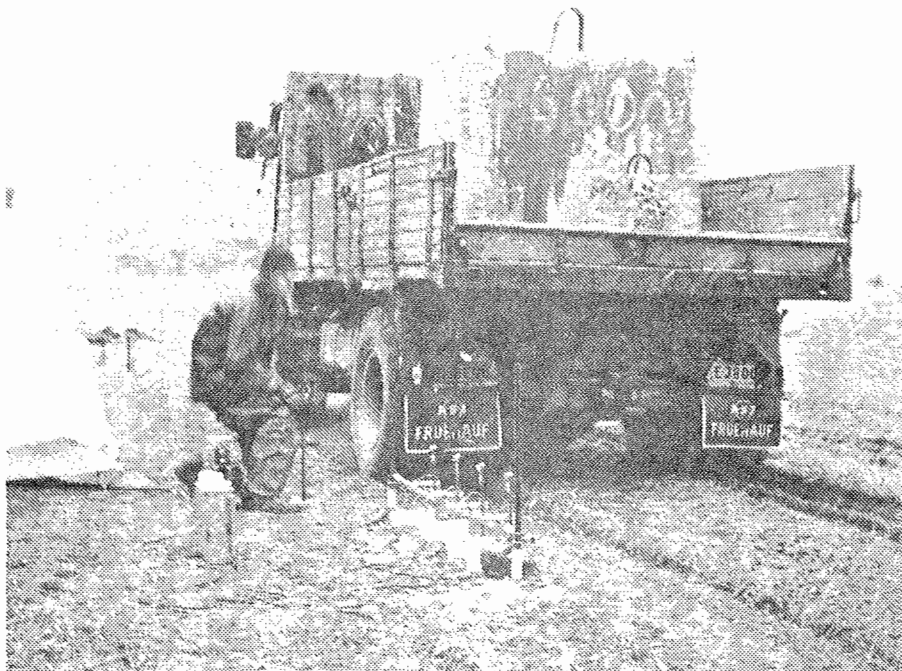


Bild 3. En lastbil med enkel bakaxel ger ett betydande trycktillskott i alven då den belastas upp till 10 ton axeltryck. Foto Birger Danfors.

Vid mätningarna registrerades sonderernas vertikala rörelser så att markens elastiska rörelser resp den kvarstående deformationen kunde mätas och studeras i efterhand. Belastningar från 2 ton på enkel axel till 16 ton på boggie användes för att ge studierna tillräcklig spännvidd. Bild 4.

Tabell 1. Exempel på de vertikala elastiska rörelsernas storlek i mm vid olika totalbelastningar och olika hjularrangemang

Belastning	Djup, cm			
	30	50	80	120
16 ton boggie	2,82	1,57	0,72	0,41
8 ton boggie	0,79	0,52	0,39	0,29
8 ton enkel axel	1,64	1,26	0,52	0,26
4 ton enkel axel	0,78	0,47	0,26	0,18
2 ton enkel axel	0,59	0,21	0,09	0,04

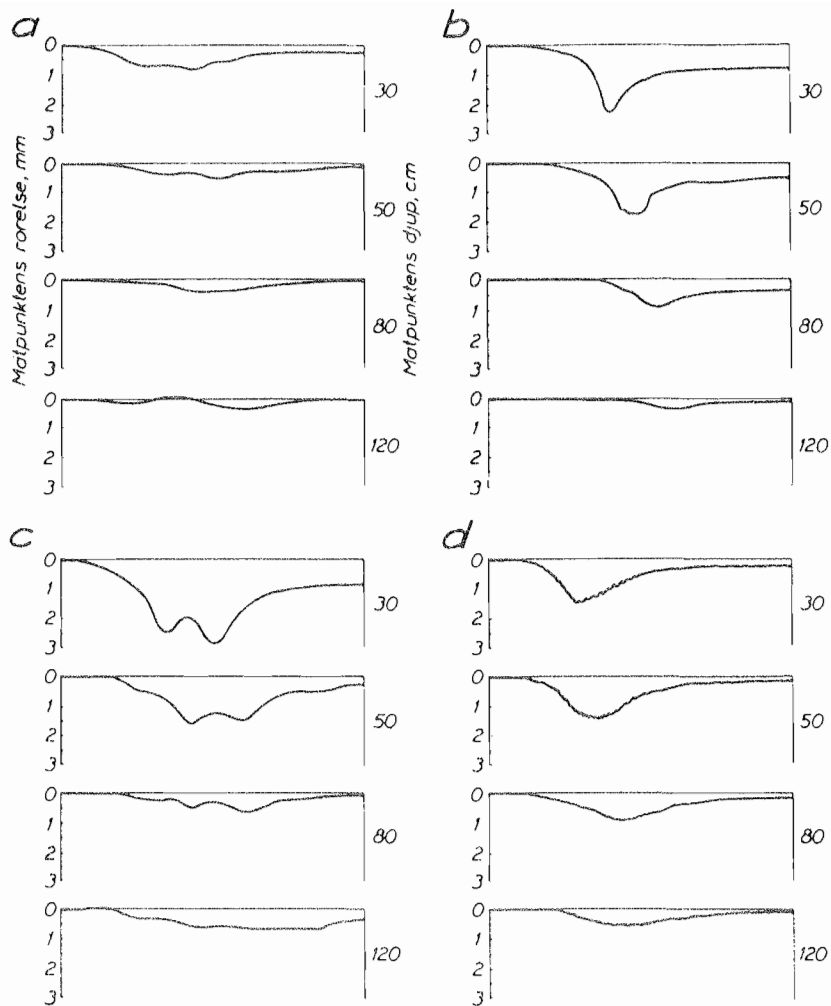


Bild 4. Exempel på de registrerade kurvornas form: a boggie 8 ton, b enkel axel 8 ton, c boggie 16 ton, d bandtraktor 18 ton.

Som komplement till dessa mätningar utfördes också mätningar med mikrometer för att följa sondernas rörelser omedelbart efter varje körning samt under det närmast följande dygnet. Även en mer långsiktig mätning utfördes under det följande året. Under denna långsiktiga mätning följdes lerjordarnas krympnings- och svällningsförlopp.

Som ytterligare komplement till mätningarna med hjälp av sonder utfördes porvolymbestämmingar och mätningar av jordens luftgenomsläpplighet, dels direkt under belastningsvagnens spår, dels som en referens omedelbart vid sidan av dessa. Bild 5.

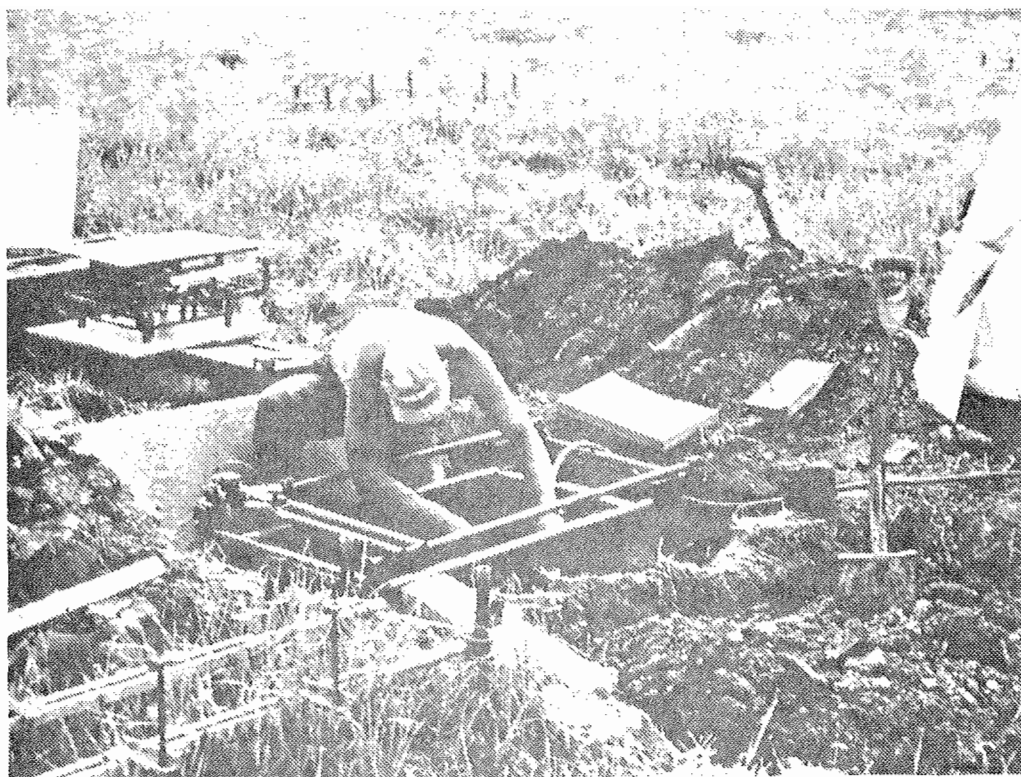


Bild 5. Porvolymbestämmingarna samt mätning av luftgenomsläppligheten gav detaljerad information om förändringarna i marken. Foto Birger Danfors.

Tidpunkterna för dessa kompletterande mätningar var dels under det första året efter belastningen-packningen, dels under de följande tre åren.

Tabell 2. Sammanställning över till vilket djup i profilen mätbara förändringar av porvolym och luftgenomsläpplighet observerats

Belastning	Tid efter belastning, då mätning utförts			
	samma år	1 år	2 år	3 år
16 ton boggie	50 cm ^a	50 cm	50 cm	40 cm
10	45 cm			
9	40 cm ^a			
8	35 cm		35 cm	30 cm
6	40 cm ^a			
10 ton enkel axel	50 cm			
9	60 cm ^a			
8	60 cm ^a		60 cm	
6	30 cm ^a			
4			^b	
2	^b			

^a Packning 1973 efter bevattning.

^b Från nivån 20 cm och nedåt har inga skillnader konstaterats under spåret jämfört med vid sidan.

Som komplement och vidareutveckling av dessa studier har vid Sveriges lantbruksuniversitet, avd för jordbearbetning, i ett internationellt samarbete genomförts omfattande långliggande försök med packning i alven. Dessa studier som belyser varaktigheten hos den djupgående packningen behandlas i ett separat föredrag.

Resultat

Resultaten av studierna visade att det uppstår mätbara elastiska rörelser i marken ned till drygt 120 cm djup redan vid så små belastningar som 2 ton på enkel axel. Med 2 tons belastning uppstod dock inga mätbara förändringar av porvolymen i alven. Först vid 6 ton kunde förändringar av porvolymen konstateras i den övre delen av alven.

Mätningar utfördes på ett flertal platser på olika jordarter vid olika vattenhalter. Den viktigaste faktorn för jordens packningskänslighet är vattenhalten. Även jordarten har ett betydande inflytande. Lerjordar med hög vattenhalt har visat sig mest packningskänsliga medan inslag av mjäla, mo, sand och grus minskar packningskänsligheten.

Resultaten och erfarenheterna i övrigt har sammanfattats i följande slutsats: Om man under ogynnsamma förhållanden, dvs på lerjordar med en vattenhalt motsvarande full fältkapacitet, önskar undvika skadlig packning i alven bör axellasterna inte överstiga 6 ton och boggietrycken 8 ton.

Till detta bör läggas att studierna utfördes med fordon försedda med en hjulutrustning vars lägsta ringtryck var 150 kPa.

Ny utveckling

Under de senaste 10 åren har det skett en betydande utveckling av däck till maskiner och transportfordon inom lantbruket. Samtidigt har det också skett en ökning av traktorvikter och transportkapacitet. Vidare bör understrykas att det skett en betydande ökning av medvetenheten och intresset för dessa frågor bland både jordbruks- och skogsbruksfolk. Mot bakgrund av denna utveckling har frågor ställts om det är möjligt att höja de tidigare nämnda gränserna 6 ton på enkel axel och 8 ton på boggie. Det finns idag möjligheter att köra större laster och ändå hålla ett betydligt lägre marktryck än tidigare. För att åstadkomma elastisk rörelse i marken krävs inga stora belastningar men för att åstadkomma en minskning av porvolymen krävs ett visst minsta trycktillskott i marken. Om det är möjligt att med stora däck köra med ett lågt marktryck kan det vara möjligt att trots större totallaster undvika att tillföra så stora trycktillskott att det sker en packning i alven. För att mer i detalj studera dessa frågor planeras en undersökning 124.

där Jordbrukstekniska institutet i samarbete med institutionerna för växtodling resp markvetenskap vid Sveriges lantbruksuniversitet skall utföra omfattande mätningar av bl a porvolymförändringar och mekaniska skador på vallväxter vid körning med en tungt belastad vagn utrustad med stora lågtrycksdäck.

I detta sammanhang är också avsikten att mekaniska skador på bl a vallväxter skall studeras. Skadorna som orsakas av däcken uppkommer genom tryck och skjuvning då man kör i grödan vid skörd och i samband med transporter. Skjuvning uppstår tydligast då man svänger med exempelvis en boggievagn. Men även då man kör rakt fram med tungt belastade breda däck uppstår skjuvspänningar under slitbanan. Detta orsakas av den töjning som däcket utsätts för då det deformeras i kontakten med marken. Ju bredare däck man använder desto större kan skjuvningen befaras bli. Detta är en viktig fråga att utreda och man bör inte vara främmande för att i jämförelse med de breda däcken studera smalare hjul med mycket stor diameter för de fordon och maskiner som körs i växande gröda.

Konsekvenser

Följderna av skadlig jordpackning är idag väl kända och möjliga att i stora drag beskriva i ekonomiska termer då det gäller minskningar i avkastningen från en del olika grödor. En annan konsekvens, ökade kostnader för jordbearbetning, är mindre väl kartlagd och därför svårare att mäta.

Intensiteten i jordbearbetningen, plöjningsdjup, behov av alvluckring är föremål för diskussioner och studier i en angelägen kostnadsjakt. Även plöjningsfri odling studeras. Framgångarna har varit växlande och ett ofta återkommande konstaterande har varit att: "För att genomföra plöjningsfri odling i större omfattning måste man klara problemen med skadlig jordpackning på ett bättre sätt än hittills."

Kanske kan en ny generation lågtrycksdäck medverka till inte bara högre skördar utan totalt sett till ett bättre ekonomiskt resultat genom minskade kostnader för jordbearbetning.

De verkligt låga marktrycken når man dock inte genom att bara byta däck. Det kommer att krävas en utveckling av nya hjularrangemang, ex styrbar boggie på vagnar, för att man skall kunna utnyttja de nya framstegen. Ytterligare ett steg för att minska den skadliga jordpackningen kan man se i möjligheterna att införa fastliggande spårssystem med precisionsstyrning av de maskiner och fordon som skall köras över fälten. Men det är ett annat ämnesområde.

Däckutrustningens arbetstekniska egenskaper

Diagonal- och radialdäck

Efter däckstomme kan talas om diagonal- och radialdäck. Radialdäckets sidor är mera elastiska än diagonaldäckets sidor. Därför har radialdäcket en större och särskilt längre kontaktareal mot markytan. För sådant däck är typisk låg spårdjup och bra dragförmåga. När däckets slirning är små är radialdäckets dragförmåga betydligt bättre än diagonaldäckets dragförmåga. Detta betyder att, om redskapets dragmotstånd blir samma, är slirningen med radialdäcket mindre och därför är arbetshastigheten och arbetseffektiviteten bättre. I bilden 1. har vi ett exempel på radial- och diagonaldäck. Om redskapets dragmotstånd är 10 kN, har diagonaldäcket 19 % slirningen och radialdäcket 14 % slirningen. Slirningen är alltså 5 %-enheter mindre och arbetshastigheten skall vara 5% bättre. När man använder radialdäcken är slirningen vanligen i normala arbeten 3-6 %-enheter mindre.

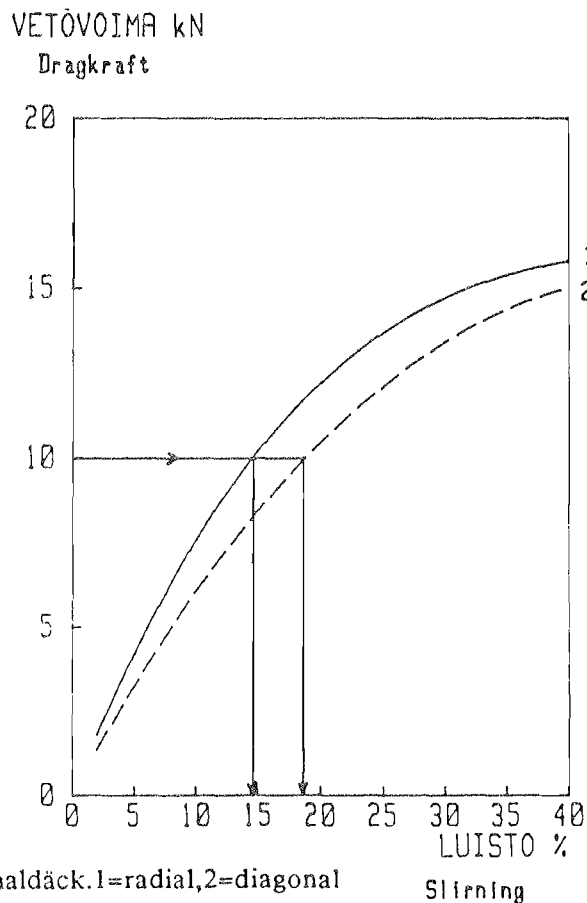


Bild 1. Radial- och diagonaldäck. 1=radial, 2=diagonal

De flesta radialdäcken har dock svaga sidorna och därför kan de inte användas i skogsbruk. Radialdäckets slitstyrka är bättre än diagonaldäckets.

Diametern och bredden

När man väljer större däck, är diameterns förstoring mera effektiv än breddens förstoring. I bilden 2. är mättningsresultaten av två däckdiameter. Vid 10 kN dragmotstånd blir slirningen på större diameter 4 %-enheter mindre.

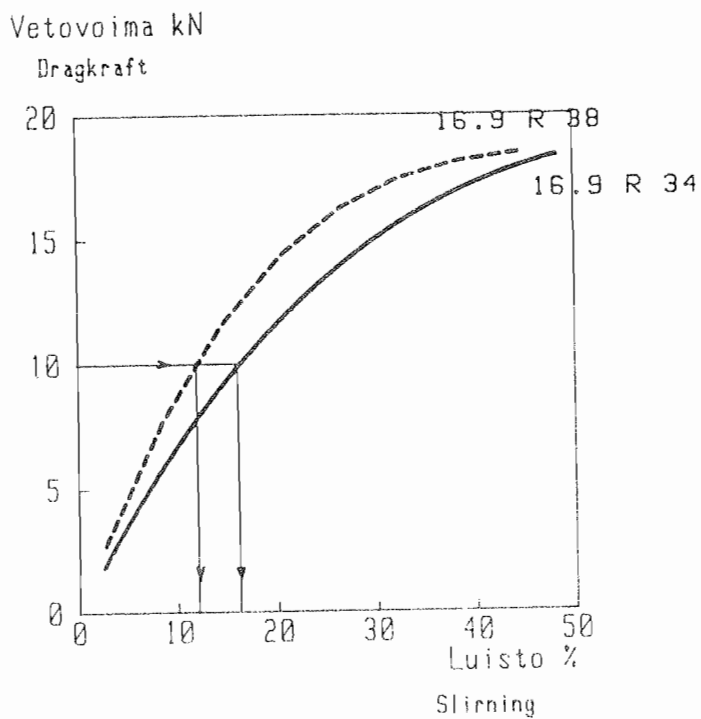


Bild 2. Däckdiameter

I bilden 3 är lågprofildäcket i jämförelse med diagonaldäcket. Slirningen vid 10 kN dragmotstånd på lågprofildäck är 7 %-enheter större. I många fall har lågprofildäcket sämre dragförmåga än normal däck. Detta beror på högre rollningsmotstånd, kortare kontaktareal och sämre självrensning.

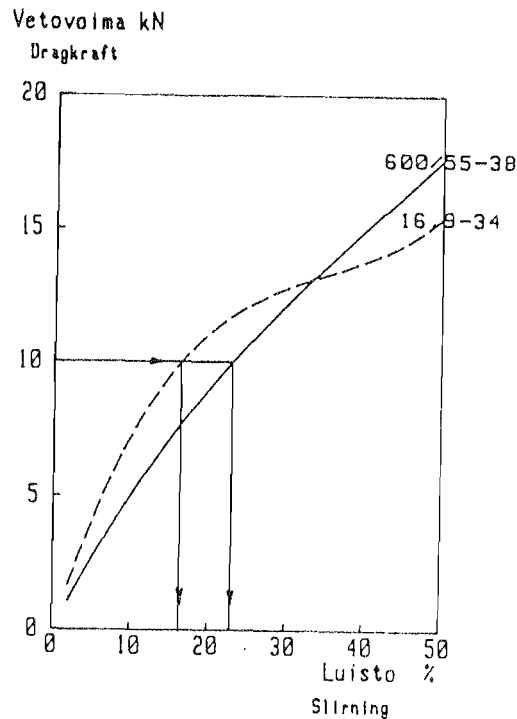


Bild 3. Lågprofil- och diagonaldäck

Däckmönster

Däcket får dragkraften från marken. Därför måste dragribborna tränga sig in i marken. Markens yta kan vara våt och slirig. Då måste dragribborna tränga sig djupare i marken. Dragribbornas normal höjd är 40-50 mm. Ännu större höjd skall medbringa större rollningsmotstånd.

Ringtryck

Ringtrycket verkar på dragförmåga. När ringtrycket är lägre är dragförmåga bättre. Låg ringtryck tillåter en större deformation i däckets lagertrycket, som är vanligen 0,1-0,5 bar. Som en grov regel kan säjas att marktrycket = ringtrycket. För att markytans skador skulle vara så små som möjlig, borde däckets utväljas så att låga ringtryck kunde användas. Också däckets slirning skadar markytan. Om slirningen är över 20 % blir slirningsspår i marken.

Marktryck

Marktrycket avgör om hjulet sjunker in i marken eller går på marken. Genomsnittligt marktryck fås när i ringtrycket räknas däckets lagertrycket, som är vanligen 0,1-0,5 bar. Som en grov regel kan säjas att marktrycket = ringtrycket. För att markytans skador skulle vara så små som möjlig, borde däckets utväljas så att låga ringtryck kunde användas. Också däckets slirning skadar markytan. Om slirningen är över 20 % blir slirningsspår i marken.

Dubbelmontage

När man använder dubbelmontage, kan ringtrycket vara lägre, oftast 0,8 bar. Detta gör lägre marktrycket. Också slirningen blir mindre, oftast 3-6 %-enheter. Dubbelmontage kan användas vid harvningen, i plogfåran rymmes det inte.

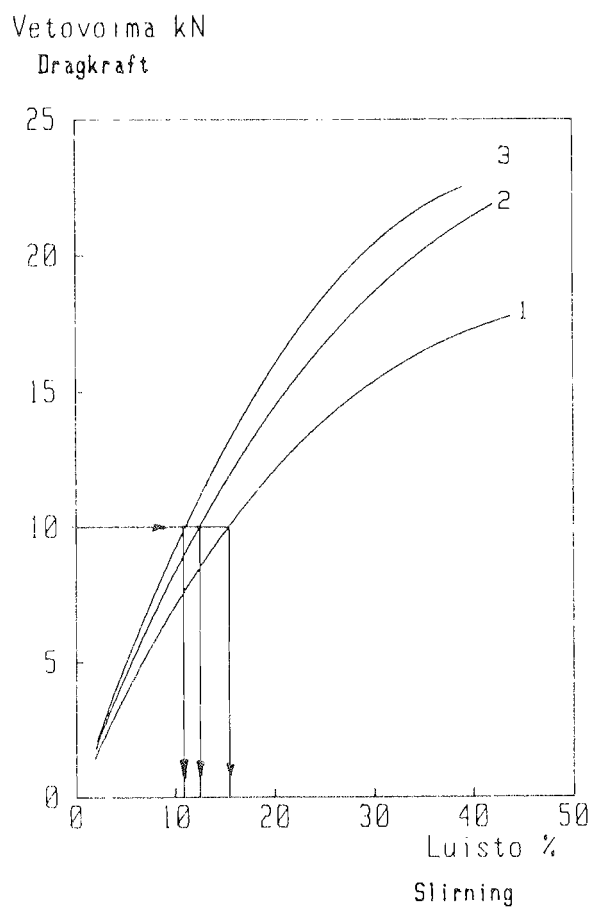


Bild 4. Dubbelmontage. 1=diagonal, 2=dubbelmontage, diagonaldäck, 3=dubbelmontage, diagonal+radial

Traktorns vikt och fyrhjulsdrift

Traktorns vikt och effekt förhållande måste vara lämplig för att motoreffekten kunde utnyttjas. Om drivna hjulens belastning är i jämförelse med effekten låg, hjulen skall slira innan hela motoreffekten har tagits i bruk. I bakhjulsdrivna traktorer lämpliga arbetshastighet skulle i många fall vara 12-14 km/h och i fyrhjulsdrivna traktorer 8-10 km/h. Detta betyder att fyrhjulsdrivna traktorer lämpar sig bättre till normala jordbruksarbeten.

När fyrhjulsdrivna traktorer har större belastning på drivna hjul, också slirningen är mindre. Detta medgör en bättre arbetseffektivitet. I bild 5 och 6 är mättningsresultater av detta. I harvning har fyrhjulsdrivna traktoren haft 5-15 % bättre arbetseffektivitet och i plöjningen 10-25 % bättre.

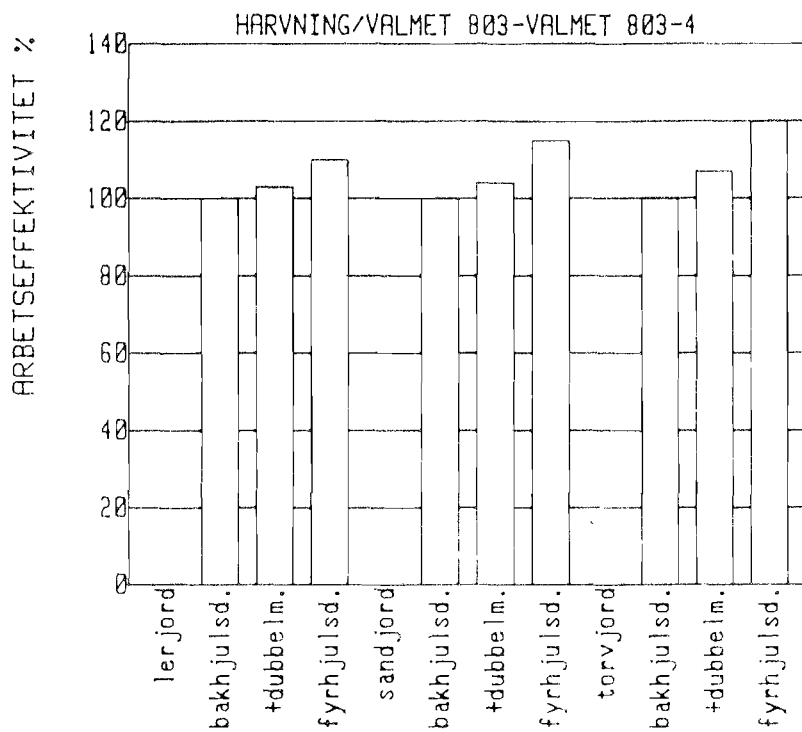


Bild 5. Bakhjulsdrivna/fyrhjulsdrivna traktor i harvning

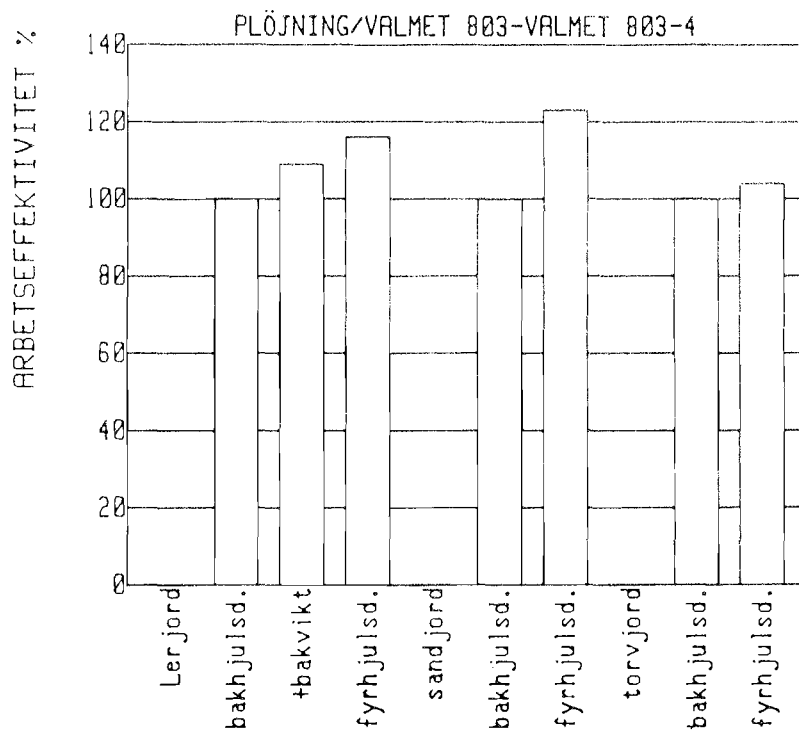


Bild 6. Bakhjulsdrivna/fyrhjulsdrivna traktor i plöjning

Gustav Bengtsson
Statens maskinprovningar
Uppsala

DÄCK - DRAGKRAFT - SLIRNING - ARBETSBREDD

Statens maskinprovningar har under en lång följd av år bestämt dragförmågan hos ett stort antal traktorer och däck. Provningar har gjorts både i fält och inomhus med hjälp av särskild bromsutrustning.

Under tiden 1983-86 gjordes en mycket omfattande provning på traktordäck med över 1500 kompletta prov för att fastställa bl. a. samband mellan dragkraft och slirning. Resultatet från två prov visas på sid 2.

Under varje prov bestämdes dragkraft och slirning som registrerats elektroniskt ofantligt många gånger när ett prov genomfördes. För närvarande bearbetar vi resultaten. Följande sammanställning visar i stora drag omfattningen av provningen.

A. 1983-84 Tvåhjulsdreven traktor, vikt 4 ton

	Harv		Plog	
	Med	Utan	Med	Utan
Slitet däck utan extra vikt	X	X	X	X
Nytt däck utan extra vikt	X	X	X	X
Nytt däck med extra vikt i				
båda hjulen	X	X	X	X
vänster hjul	(X)	(X)	X	X
med olika ringtryck	X	X		
Nytt däck med dubbelmontage				
i båda hjulen	X	X		
i vänster hjul	(X)	(X)	X	X

B. 1984 Två- och fyrehjulsdreven traktorer, vikt 5,5 ton

	Viktfördelning, fram/bak %		
	20/80	33/67	50/50
Tvåhjulsdreven 16.9-34" bak	X	X	
Tvåhjulsdreven 18.4-34" bak	X	X	
Fyrehjulsdreven 18.4-34" bak			
små fram		X	X
medelstora fram		X	X
stora fram		X	X
utan framhjulsdrevning		X	X

C. 1985-86 Däckprovning, tvåhjulsdreven traktor, 4 ton

Fem olika däck; Dragkraft, slirning, rullningsmotstånd
Fyra olika däck; Hållbarhet, 6000 km/däck landsvägskörning,
Praktisk drift

Serieprovning av däck, prov nr: 781 och 782

SERIEPROVNING AV DÄCK, TROLLEBERG, BETFALT
 Däcktyp: Upprenera
 REFERENS: TRYCK 1.2 KP
 DIFFSPARR: MED SPARR

Utvärderade: 06-08-08 Klodkan 12:59
 Konstant för dächen: .2950 Fälltång prov 1 132 meter
 Synkrel: 8 Fälltång prov 2 139 meter
 Antal observationer: 8

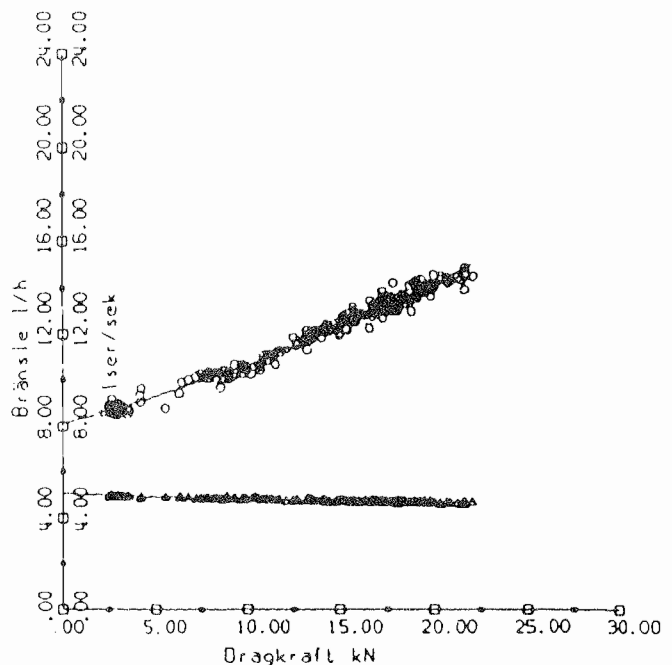
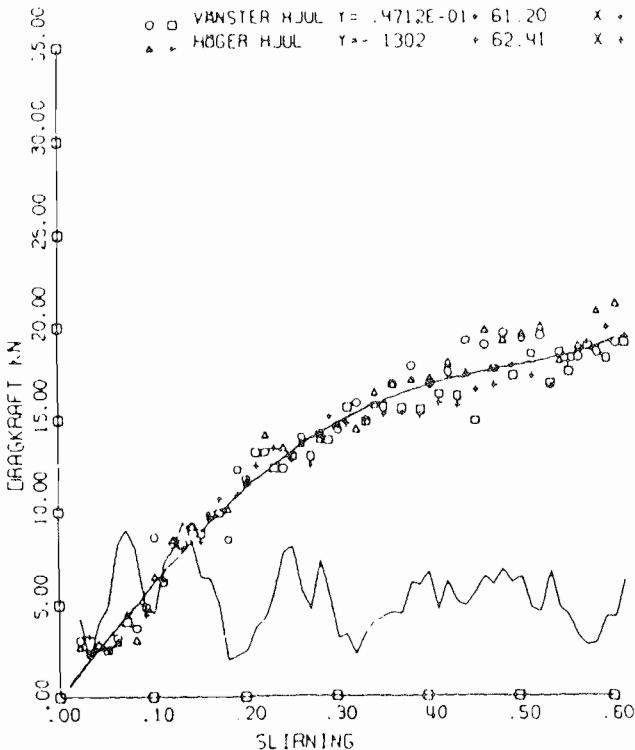
Slirning Dragkraft Effekt

	Max dragkr	Max effekt	Determinationskoefficient	Max dragkr	Max effekt	Determinationskoefficient
Vänster hjul	.590	.345	.9816	19.7	10.8	137.85
Regr. Y:	-0.08	65.26		-142.15		137.85
Höger hjul	.590	.340	.9826	19.9	10.8	135.85
Regr. Y:	-0.26	69.40		-123.97		135.85
Båda hjulen	.590	.340	.9861	19.8	10.8	136.96
Regr. Y:	-0.13	67.32		-133.21		136.96
Andra halvan	.600	.320	.9815	19.1	10.0	334.29
Regr. Y:	-0.09	60.44		-319.52		334.29
Höger hjul	.600	.315	.9800	19.2	10.1	484.88
Regr. Y:	-0.18	58.73		-397.03		484.88
Båda hjulen	.600	.320	.9886	19.2	10.1	367.47
Regr. Y:	-0.15	59.76		-356.01		367.47

SERIEPROVNING AV DÄCK, TROLLEBERG, BETFALT

PROVNR 781 OCH 782
 DÄCK: 85-11-13
 UPPE/NERE: 11:59: 6
 DIFFSPARR: REFERENS
 TRYCK 1.2 KP
 MERE
 MED SPARR
 Konstl: .2950
 Medelhast: 4.76 pulsar/s
 Däckkoeff: .9753

VÄNSTER HJUL Y = .4712E-01 * 61.20 X + 11.78 X12 +-245.4 X13 + 241.4 X14
 HÖGER HJUL Y = .1302 * 62.41 X + 16.00 X12 +-273.5 X13 + 273.2 X14



I följande framställning ägnar jag huvudintresset åt vad som sker ovan marken inte i marken. Sådana frågor som marktryck lämnar jag åt sidan. När jag talar om däck menar jag däcken på traktorns drivhjul. Jag för resonemanget kring en 2-hjulsdriven traktor, som väger 4 ton och har lämplig viktfördelning.

Körsträcka. Inom markvetenskapen använder man ibland begreppet tonkilometer/ha som ett mått på hur intensivt en åker exponeras under exempelvis en vegetationsperiod. Jag använder begreppet "körsträcka" för att ange körsträckans längd per ha (km/ha) istället för begreppet tonkilometer/ha för att förenkla framställningen.

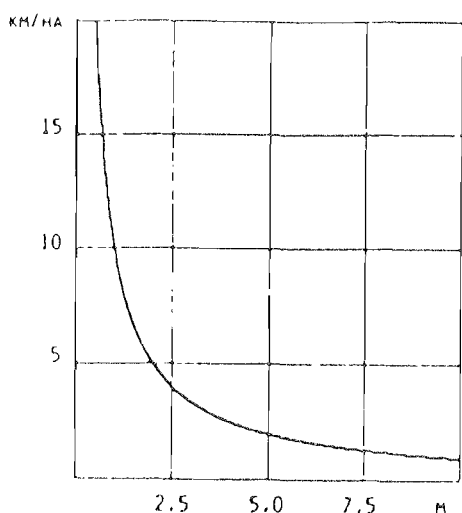


BILD 1. ARBETSBREDD (M) OCH KÖRSTRÄCKA (KM/HA)

I bild 1 visas ett enkelt och välkänt samband mellan körsträcka (km/ha) och ett redskaps effektiva arbetsbredd. Trots att sambandet är så enkelt vill jag likväl poängtera att om man anger körsträckans längd i absoluta tal (km/ha) påverkas längden:

- starkt av en liten ändring av arbetsbredden om redskapet har liten arbetsbredd (plog)
- obetydligt av en liten ändring av arbetsbredden om redskapet har stor arbetsbredd (harv)

Dragkraftsbehov. Bild 2 återger sambandet mellan arbetsbredd och dragkraft för en harv och plog. Som bekant är redskapens dragkraftsbehov olika. Det växlar även mellan redskap av samma slag. Vid jämförelse av exempelvis plogar framgår så stora skillnader mellan dragkraftsbehoven som 10 %. Användes plogar med samma arbetsbredd och under likartade förhållanden blir körsträckan (km/ha) lika, men marken kommer att utsättas för olika stora skjuvkrafter och slirning.

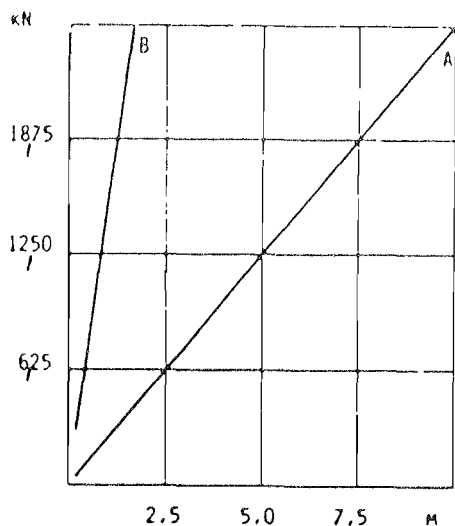


BILD 2. ARBETSBREDD (M) OCH DRAGKRAFT:
A HARV 2,5 KN/M
B PLOG 15 KN/M

I följande finns en sammanställning och starkt förenklad beräkning över energiförbrukningen för fem olika fältarbeten. Vid beräkningen har jag utgått ifrån att dieselolja har ett energiinnehåll av 10 kWh/l att verkningsgraden är 30 % i traktorns motor och transmission och 50 % hos traktorns däck. Totalverkningsgraden blir således 15 %.

Tabell 1.

	Arbets-	Bearbet-	Energibehov		Dieselolja för	
	djup	nings-	MJ/ha	kwh/ha	att driva red-	skap och traktor
	m	motstånd			l/ha	l/ha
Harvning och lätt sladdning	-	2.5 kN/m	25	6.9	0.7	4.6
Vältning	-	0.4 -" -	4	1.1	-	-
Plöjning sandjord	0.15	500 kN/m ²	75	20.8	2.1	13.9
-" - medelstyv lerjord	0.20	600 -" -	120	33.3	3.3	22.2
Plöjning i mycket styv och hård lerjord	0.20	1000 -" -	200	55.5	5.5	37.0

Av tabell 1 framgår att energibehoven är "förvånansvärt" små, 6,9 kWh/ha för harvning och 20,8-55,5 kWh/ha för plöjning. Har däcken en verkningsgrad av 50 % skulle de således överföra lika stort energibelopp till marken som redskapet. Energitätheten (kWh/ha) blir i regel betydligt större efter traktorns drivhjul än efter redskapet eftersom redskapen i regel har större arbetsbredd än den sammanlagda bredden på de två hjulspåren.

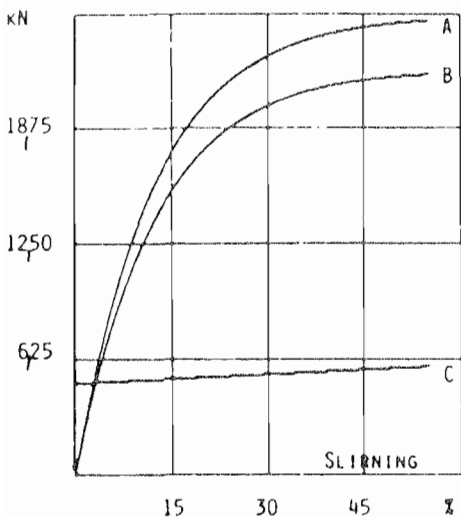


BILD 3. SLIRNING (S) OCH DRAGKRAFT FÖR:
A BRA DÄCK, B MINDRE BRA DÄCK,
C RULLNINGSMOTSTÅND FÖR TRAKTORN
MED A

Dragkraft och slirning visas i bild 3 för två par olika däck. Det ena paret (A) ger bra dragkraft. Det andra (B) ger mindre bra. Dessutom visas rullningsmotståndet (C) eller rullningskraften, som erfordras för att dra enbart traktorn och däcken (A).

Kurvorna (A) och (B) kan i princip också avspegla förhållandet mellan:

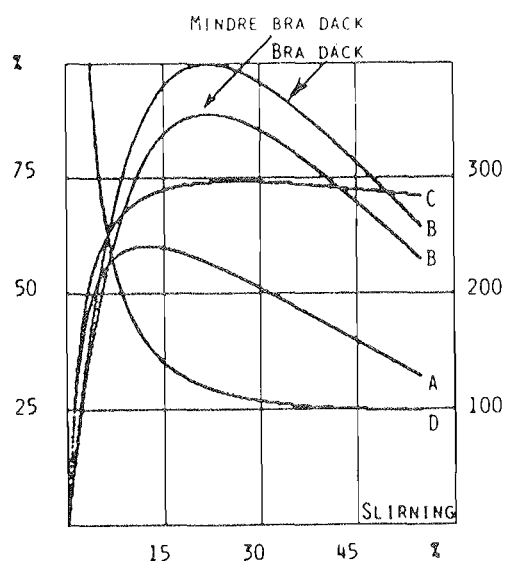
- 1) En traktor med nya respektive slitna däck
- 2) En och samma traktor körd på två olika fält
- 3) Två lika traktorer med lika däck men med ca 12 % större massa hos den ena traktorn än hos den andra
- 4) Samma traktor och fält men ansluten till redskap som ger olika viktöverföring.

Kurvorna för dragkraft och slirning kan i princip ha två olika utseenden. I ena fallet erhålles, vid ökad slirning, ständigt ökad dragkraft. Den kan representera fält som ger däckens ökat markgrepp ju djupare däckens gräver ner sig i marken. Den andra typen med en maximipunkt, vanligen belägen vid ca 25-45 % slirning erhålles på sandjord och på starkt uppblött mark med torr yta.

Fylls däckmönstret helt eller delvis med jord ökar dragkraften något om slirningen är låg <15 %. Ökningen beror troligtvis på att däckets omkrets ökar. Däcket får därför skenbart lägre slirning. Vid stor dragkraft uppvägs inte den ökade omkretsen av ett sämre markgrepp.

Verkningsgrad, avverkning, effektiv dragkraft och relativ körsträcka som funktion av slirningen visas i bild 4.

Innan jag går vidare låt oss först se på de begrepp som jag kommer att använda. Jag gör inte anspråk på någon korrekt definition.



Rullningsmotstånd eller rullningskraft = den kraft som erfordras för att dra enbart traktorn.

Dragkraft = Horisontell kraft som erfordras för att dra redskapet.

Totalkraft = Rullningskraft + dragkraft.

Effektiv dragkraft = Dragkraft : Totalkraft.

Verkningsgrad = Effektiv dragkraft * (100-s) : 100

Relativ avverkning (max effekt) = Dragkraft * (100-s) : 100

Relativ körsträcka = $k_1 * (1 - 1 : \exp(-k_2 * s))$

BILD 4. SLIRNING (S)
 A. VERKNINGSGRAD %
 B. AVVERKNING, RELATIV
 C. DRAGKRAFT, RELATIV (F/(F+F RULL))
 D. KÖRSTRÄCKA, RELATIV, FÖR ETT AV DÄCKEN.

Vad kan vi då utläsa av de fyra parametrarna i bild 4?

- 1) Köra sparsamt - hög verkningsgrad - låg bränsleförbrukning per ha?
 För traktordäcken anger jag verkningsgraden som förhållande mellan tillförd och angiven effekt. Verkningsgraden består av en produkt av två faktorer och kan således åskådliggöras som en hyperbel.

Den ena faktorn är den effektiva dragkraften och den andra utgör kvoten mellan verklig körhastighet och den slirningsfria hastigheten och är lika med (100-s):100. Vid samma verkningsgrad kan man följaktligen erhålla olika relationer mellan de två ingående faktorerna. Således kan man för samma verkningsgrad utnyttja antingen en relativt liten slirning, smalt redskap, lång körsträcka (km/ha) eller ökad slirning, ökad arbetsbredd, minskad körsträcka (km/ha).

Hur påverkas marken och växtligheten om man håller verkningsgraden konstant men ändrar den ovan nämnda produkten?

Eftersom bränsleförbrukningen inte spelar en avgörande roll vid jordbearbetningen lämnar jag i stort sett en diskussion om bränslekostnaden åt sidan. Jag konstaterar att den maximala verkningsgraden har i regel ett maximum vid så låg slirning som 10-15 %.

2) Köra fort - hög avverkning

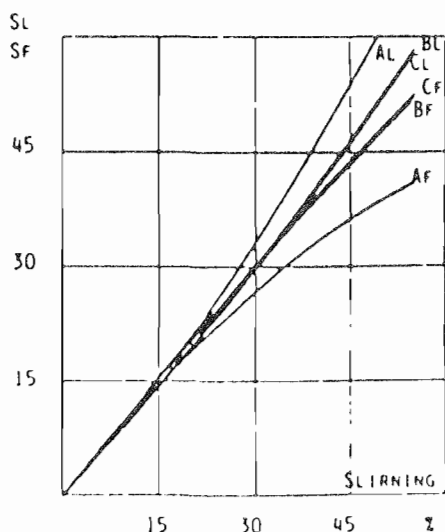
Vid många fältarbeten särskilt under vårbruket är det angelägnare att klara av en arbetsoperation på kort tid än på lång tid även om bränslekostnaderna per ha skulle öka något.

Sålunda blir avverkningen ca 15 % högre vid maximal avverkning än vid maximal verkningsgrad. Förhållandet mellan de två ifrågakvarande verkningsgraderna blir 1 : 1,18. D. v. s. det åtgår 18 % mer bränsle vid max avverkning än vid max verkningsgrad. Vid harvning blir bränsleåtgången ca 1,5 l högre per ha eller ca 3 kr/ha. Ett lågt pris för den ökade avverkningen om man bortser från andra faktorer. Dessutom blir körsträckan kortare vid maximal avverkning än vid maximal verkningsgrad. Slirningen blir emellertid högre vid maximal avverkning.

3) Köra skonsamt - hög effektiv dragkraft?

Kurvan C, bild 4 visar den effektiva dragkraften. Avståndet under kurvan visar hur stor del av den totala dragkraften som utnyttjas för att dra redskapet. Avståndet ovanför kurvan visar hur mycket kraft som går åt för att dra traktorn och för att övervinna traktorns rullningsmotstånd. Om rullningsmotståndet är förknippat med skadlig inverkan på marken och växtligheten kan avstånden under och över kurvan ge ett visst mått på hur stor andel av totala kraften som användes för att bruka respektive missbruka marken. Kurvan D anger körsträckans längd per arealenhet (km/ha) uttryckt i relativa tal som funktion av slirningen. Jag har satt sträckans längd till 100 vid 30 % slirning. Diagrammet visar en snabb ökning av körsträckan km/ha om slirningen understiger ca 30 %.

Slirning vid plöjning. Bild 5. Använder man en traktor för plöjning slirar landhjulet i regel mer än fårhjulet om traktorn körs utan differentialspärren inkopplad. Slirningen på landhjulet kan återges med följande ekvation:



$$S_L = s \times k_1 \times \exp(k_2 \times s)$$

S_L = slirning på landhjul

S_F = slirning på fårhjulet

$$S = (S_L + S_F) : 2$$

BILD 5. SLIRNING (S) = (SL + SF)/2
 SLIRNING SL = LANDHJULET
 SLIRNING SF = FÅRHJULET
 A = ENKELMONTAGE UTAN EXTRA VIKT
 B = " " " " MED " " " " LANDHJUL
 C = DUBBELMONTAGE ENBART LANDHJULET

Följande värden på k_1 och k_2 och korrelationskoefficient R, erhöles på en fuktig harvad stubbåker med styv lerjord.

k_1	k_2	R	Hjulutrustning
0,955	0,495	0,9754	Enkelmontage båda hjulen
0,916	0,246	0,6965	Landhjulet + 400 kg extra vikt
0,942	0,213	0,6971	Landhjulet dubbelmontage +200 kg

Den ovan angivna ekvationen och bild 5 visar att skillnaden mellan slirning på traktorns båda hjul blev stor när traktorn hade lika hjulutrustning på båda sidor.

När landhjulet hade antingen enkelmontage och 400 kg extra belastning eller dubbelmontage + 200 blev skillnaden mellan slirning på landhjulet och fårhjulet liten.

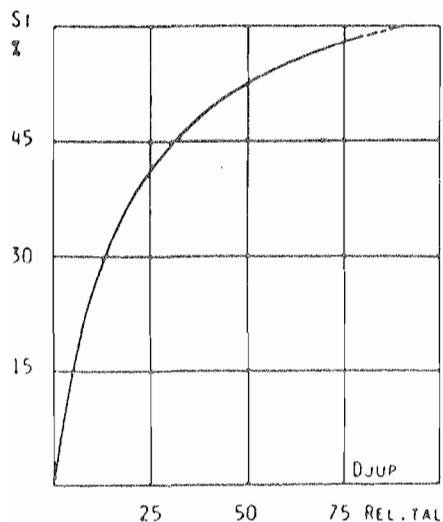
Traktorn kördes på en harvad stubbåker med något fuktig medelstyv lerjord.

Liknande resultat erhöles på sandjord och lättlera med ungefär samma markfuktighet som det först nämnda fältet.

På ett fjärde fält en lerjord som var starkt uppblött i markytan hade extra belastning knappast någon inverkan. Dubbelmontaget på ena hjulet minskade även här markant skillnaden i slirning mellan landhjulet och fårhjulet.

Grävdjup. Bild 6. Om man betraktar ett traktordäck som ett gräv hjul kan man med rätt kraftig förenkling beräkna grävdjupet, som däckens åstadkommer, enligt följande ekvation

$$djupet = k \cdot s : (100 - s).$$



I bild 6 har jag åskådliggjort den angivna funktionen. Inte för att exakt beräkna grävdjupet utan för att rikta blickarna på slirningsproblemet och därmed sammanhängande skjuvkrifter i marken.

BILD 6. SAMBAND MELLAN GRÄVDJUP •
 $(k \cdot 100 \frac{s}{s})$ OCH SLIRNING (SI)
 FÖR RESPEKTIVE HJUL

Vad blir resultatet?

I bild 7 och 8 har jag sammanställt de tidigare beskrivna diagrammen. I bild 7 vill jag visa hur lång körsträcka blir vid harvning om man utgår från: bild 4

maximal verkningsgrad
 -" - avverkning

I ena fallet har traktorn bra däck i andra mindre bra däck (bild 3).

Bild 2 visar arbetsbredden och bild 1 visar körsträckan. Denna blev lägst 1,14 km/ha och högst 1,82 d. v. s. 60 % längre i ogynnsammaste fallet än i det gynnsammaste.

Diagrammet visar att man kan påverka körsträckan och därmed energimängden tonkilometer/ha högst väsentligt genom att välja redskap med lämplig arbetsbredd och däck som drar bra.

I bild 8 jämför jag en 3-skärig och 4-skärig plog. Båda med 14" skär. Bearbetningsmotståndet är 2,5 kN/m. Traktorn kan förses med bra däck respektive mindre bra däck, bild 3 (A resp B).

Bild 1 visar det välkända förhållandet att körsträckan ökar med 33 % när 3-skärig plog användes istället för 4-skärig.

Bild 4 (B-B) ^{1,14} var avverkningen. Den lägsta avverkningen uppgick till 75 % av den högsta.

Bild 6 visar att landhjulet grävde ungefär dubbelt så djupt som fårhjulet när slirningen var stor. Försågs landhjulet med extra belastning eller dubbelmontage blev skillnaden i slirning mellan land- och fårhjulet obetydligt. Extra vikter eller dubbelmontage utesluter inte att man använder differentialspärren.

BILD 7

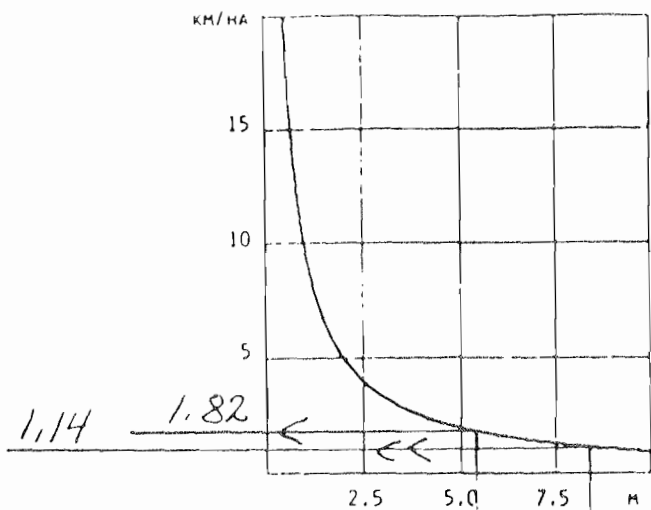


BILD 1. ARBETSBREDD (M) OCH KÖRSTRÄCKA (KM/HA)

$$\frac{1,82}{1,14} = 1,60$$

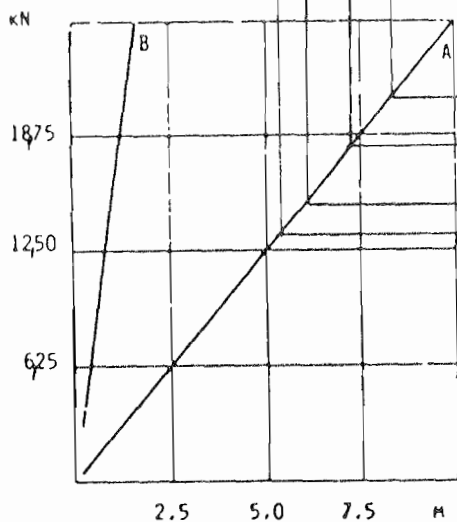


BILD 2. ARBETSBREDD (M) OCH DRAGKRAFT:
A HARV 2,5 kN/M
B PLOG 15 kN/M

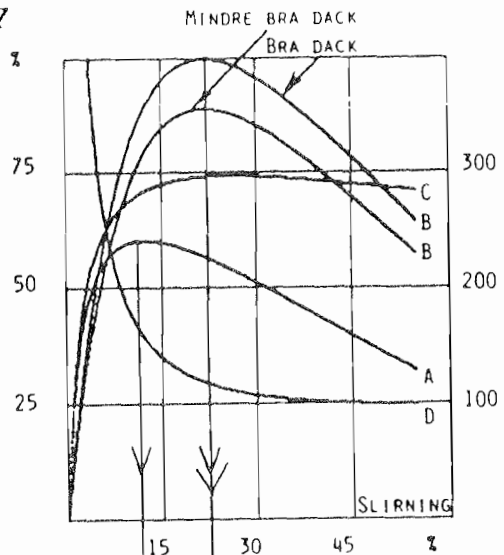


BILD 4. SLIRNING (S)
A. VERKNINGSGRAD %
B. AVVERKNING, RELATIV
C. DRAGKRAFT, RELATIV (F/(F+F RULL))
D. KÖRSTRÄCKA, RELATIV, FÖR ETT AV DÄCKEN.

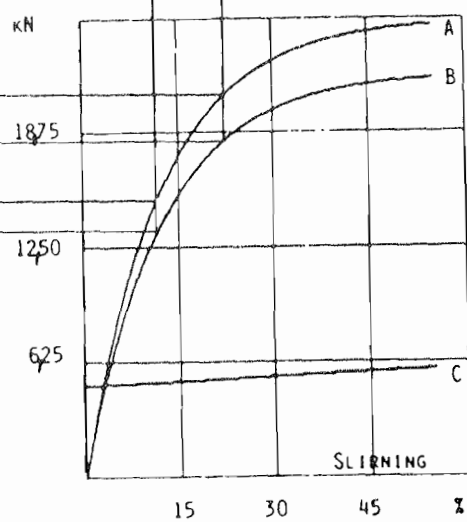


BILD 3. SLIRNING (S) OCH DRAGKRAFT FÖR:
A BRA DÄCK, B MINDRE BRA DÄCK,
C RULLNINGSMOTSTÅND FÖR TRAKTORN MED A

BILD 8

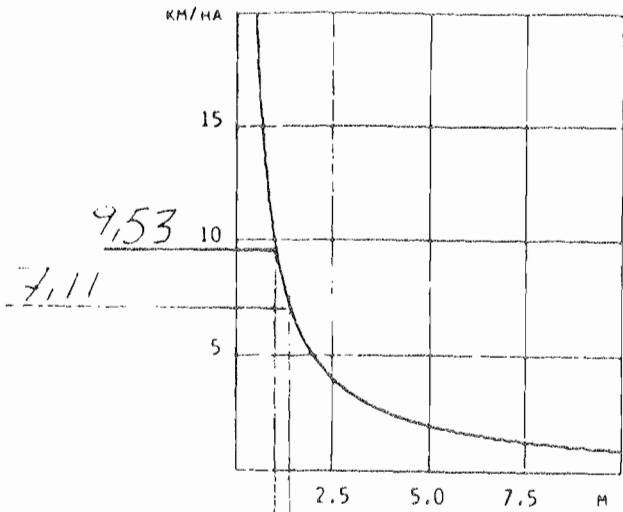


BILD 1. ARBETSBREDD (M) OCH KÖRSTRÄCKA (KM/HA)

$$\frac{9.53}{7.11} = \frac{4}{3} = 1.33$$

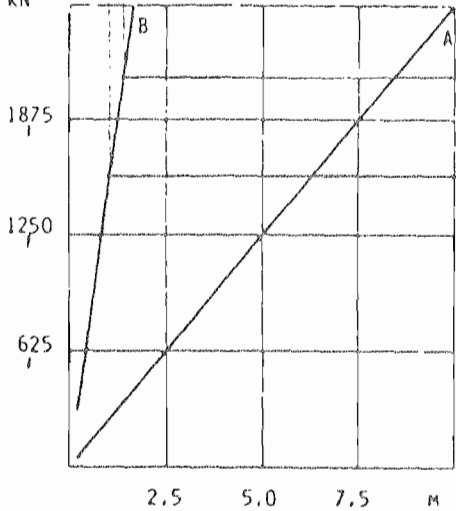


BILD 2. ARBETSBREDD (M) OCH DRAGKRAFT:
A HARV 2.5 KN/M
B PLOG 15 KN/M

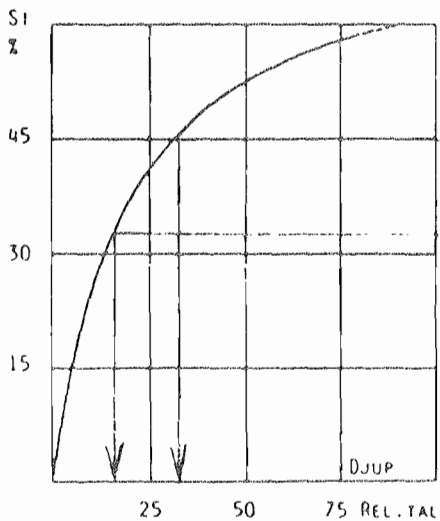


BILD 6. SAMBAND MELLAN GRÄVDJUP (K · 100 - S) OCH SLIRNING (SI) FÖR RESPEKTIVE HJUL

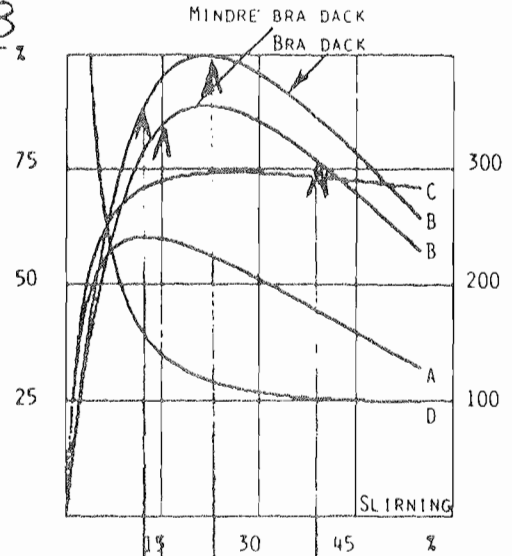


BILD 4. SLIRNING (S)
A. YERKNINGSGRAD %
B. AVVERKNING, RELATIV
C. DRAGKRAFT, RELATIV (F/(F+F RULL))
D. KÖRSTRÄCKA, RELATIV, FÖR ETT AV DÄCKEN.

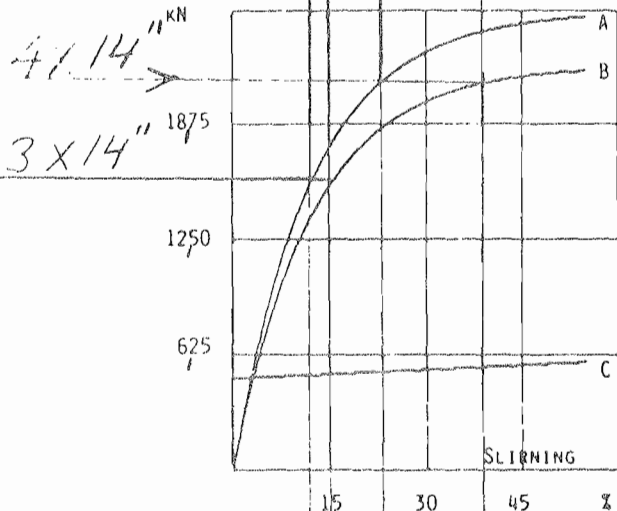


BILD 3. SLIRNING (S) OCH DRAGKRAFT FÖR:
A BRA DÄCK, B MINDRE BRA DÄCK,
C RULLNINGSMOTSTÅND FÖR TRAKTORN MED A

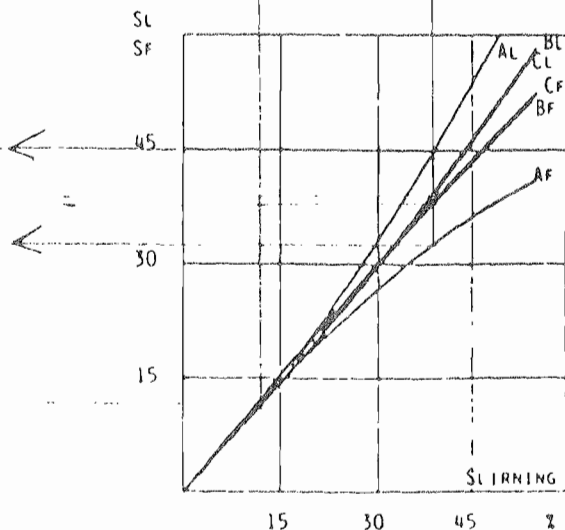


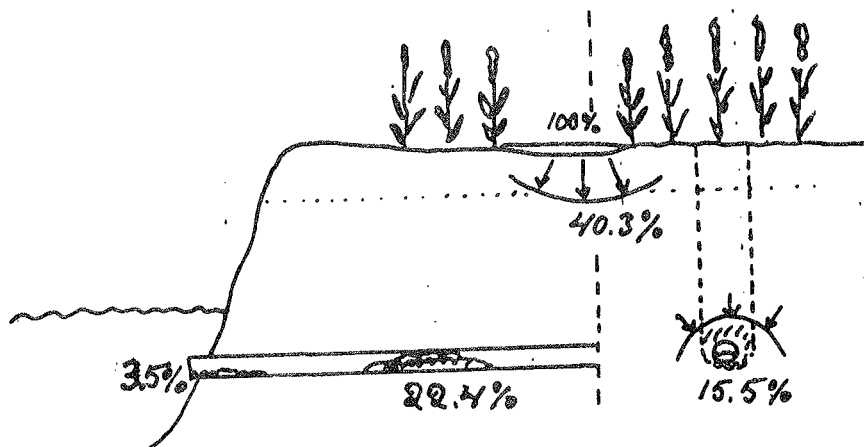
BILD 5. SLIRNING (S) = (SL + SF) / 2
SLIRNING SL = LANDHJULET
SLIRNING SF = FÄRHJULET
A = ENKELMONTAGE UTAN EXTRA VIKT
B = " " " " MED " " LANDHJUL
C = DUBBELMONTAGE ENBART LANDHJULET

TEKNISKA MÖJLIGHETER ATT FÖRBÄTTRA
PACKADE JORDARS VATTENGENOMSPLÄPPLIGHET

Tillräcklig förmåga hos jorden att släppa igenom vatten är en förutsättning för att jordens naturliga vattenhushållning skall fungera. Om vattnet inte tillräckligt snabbt når dikena, lämnar det att stå i och ovanpå markens ytsikt. Detta orsakar speciellt på mineraljordar att jordens struktur försvagas. Stabila grynstrukturer slammar igen och sönderfaller, och jordens genomspläpplighet försämras ytterligare.

I en undersökning gjord vid Lantbruksteknologiska Institutionen konstaterades, att den största enskilda orsaken till funktionsstörningar i täckdikessystem var att vattnet inte kommer ner ens i närheten av röret (PUUSTINEN, M. & PEHKONEN, A. 1986). Detta var orsaken till funktionsstörningen i över fyrtio procent av fallen (Figur 1).

Figur 1. The discovered faults and deficiencies grouped by water movements.



Eftersom markpackning ofta var hindret för vattnets passage till täckdikena, strävade man till att inrikta de fortsatta undersökningarna på reparation av täckdikningssystem på packade jordar.

REPARATIONSÅTGÄRDER

På packade mineraljordar användes följande metoder:

1. Helt ny täckdikning
2. Fler grendiken mellan de gamla
3. Fler grusögon över grendikena
4. Grusfyllda öppna diken

Reparationsåtgärdernas verkan följdes genom att

- mäta vattnets strömningsmängder
- mäta jordens fuktighet i plöjningsskiktet och i alven
- iaktta markens bärförmåga för vanliga jordbruksmaskiner samt tidpunkten för när brukningsarbetena kunde utföras på åkrarna.

MINERALJORDAR

Åkrarna på en gård i västra Finland, totalt 17 ha, visade sig vara ett utmärkt försöksfält. Dessa åkrar hade täckdikats i mitten av 70-talet och problem med dräneringen började uppträda redan 3 - 5 år efter täckdikningen.

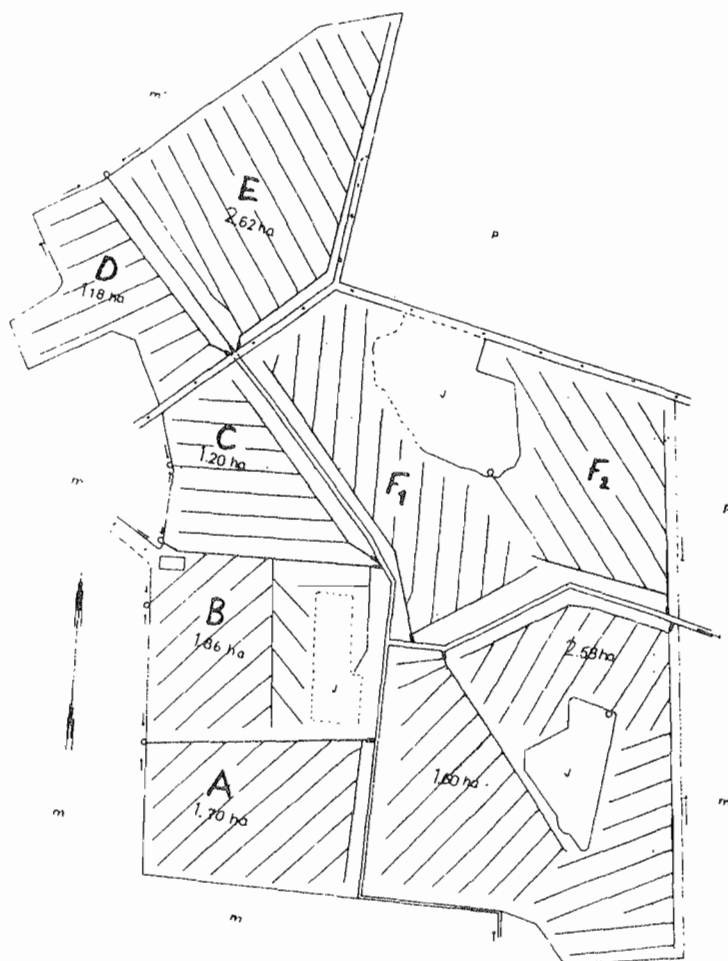
Jordarten på åkrarna är gyttjelera och matjordslagrets tjocklek ca 25 cm. Topografiskt är åkrarna jämna, varför olika reparationslösningar lätt kunde jämföras. Figur 2 visar karta över området och åkerblocken på vilka olika reparationsåtgärder prövades.

På blocken A och B tillsattes grendiken mellan de gamla, på block A mellan varje gammalt grendike och på block B mellan vartannat. På blocken C, D och E tillsattes grusögon över de gamla grendikena. På block F grävdes 50 cm djupa öppna diken med 8 m mellanrum. Dessa fylldes med

144.

grus omedelbart efter grävningen. Om den sistnämnda metodens funktion finns ännu inte resultat, eftersom dikena grävdes först på försommaren 1986.

Figur 2. The layout of underdrainage system at the experimental site in Urjala.



Av de utförda reparationsåtgärderna tycks tillsättandet av grendiken mellan varje gammalt ge ett säkert fungerande resultat. Nya grendiken i vartannat dikesmellanrum förbättrade upptorkningen på dessa. De mellanrum som inte fick diken var våtare både på våren och hösten (Tabell 1).

Tabell 1. Åkerblockens markfuktighet

Tidpunkt	Block	Fukt-%	Standard- avvikelse		
23. 5. -85	A ytskikt	31,7	0,49	8	
	alv	32,6	1,33	8	
	B ytskikt	32,9	2,23	12	
	alv	33,2	0,95	12	
	C ytskikt	30,3	1,25	8	
	alv	30,9	1,86	8	

	24. 9. -85	A alv	35,7	1,69	8
B "		35,8	2,13	8	
C "		33,3	1,57	8	

26. 5. -85	A ytskikt	31,4	1,75	8	
	alv	33,1	0,69	8	
	B ytskikt	33,1	1,44	12	
	alv	33,1	1,66	11	
	C ytskikt	32,1	1,81	7	
	alv	32,7	1,71	7	
	D ytskikt	33,0	2,45	8	
	alv	35,5	1,52	8	
	E ytskikt	31,9	3,61	5	
	alv	38,5	2,73	7	

Lika bra resultat uppnåddes även med grusögon som gjordes med grävmaskin på block C. Grävning av ett grusöga var 20:e meter gav tillräcklig dräneringseffekt. På block D där det användes borr för att göra grusögonen, var alvens fuktighet statistiskt högre än på block där andra metoder använts. Likaså på block E var alven fuktigare på våren 1986. Beträffande åkerns bärförmåga kunde dock inga skillnader iakttas.

I försök på Helsingfors Universitets försöksgård i Vik gjordes grusögon över grendikena i sänkor, där det hade samlats vatten. Jordarten på fältet är mjällera, som hade packats till följd av mångårig sockerbetsodling. Grusögonen gjordes med borrh över grendikena med ca 5 m mellanrum. Resultaten jämfördes med intilliggande sänkor, i vilka man inte gjorde några grusögon. Fukthalten både i matjord och alv var lägre efter tillsättningen av grusögon. Igenlamning av grusögonen förhindrades genom vallodling efter reparationen.

TORVJORDAR

På två försöksfält i södra och östra Finland försökte man effektivisera tilläggsdikningarnas dräneringsverkan. Mellan de gamla grendikena dikades nya, vilka fylldes upp till markytan med grus eller sågspån. Det ursprungliga dikesavståndet på försöksfältet i södra Finland var 16 m och efter nydikningen 8 m. Jordarten på åkerblocken är i huvudsak starrtorv och vitmosstorv.

Ytskiktet torkade upp något bättre på blocken där det hade använts grus än på sågspånsblocken. Beträffande alvens upptorkning fanns ej egentliga skillnader (Tabell 2).

Tabell 2. Torvjordens fukthalt när de nya grendikena fyllts med olika material.

Material:	<u>Sågspån</u>			<u>Grus</u>		
Försöks-						
tidpunkt:	24.5.85	10.10.85	27.5.86	24.5.85	10.10.85	27.5.86
Ytfukt % :	64,4	61,5	63,6	56,6	57,8	60,3
Alvfukt %:	82,0	80,3	67,2	83,0	80,1	62,4

De "reparerade" åkerblockens bärförmåga var tillräcklig vid skördetiden. Likaså kunde sådden påbörjas samtidigt på båda blocken. På försöksfältet i östra Finland erhöles liknande resultat.

SAMMANDRAG

I de utförda undersökningarna strävades till att förbättra jordens vattenledningsförmåga genom att göra antingen fler täckdiken och /eller använda väl genomsläppliga filtermaterial. Enbart grävning av fler grusögon med grävmaskin visade sig på mineraljordar vara en väl fungerande metod.

Konstruering av grusögon med borr fordrar ett stort antal hål om vattenledningsförmågan skall bibehållas tillräcklig när det översta gruslagret eventuellt slammar igen.

Det dyrare alternativet på torvjordar att gräva nya grendiken mellan gammalt och fylla dem med filtermaterial - grus eller sågspån - upp till markytan säkerställde täckdikningssystem funktion.

LITTERATUR

- EGGELSMANN R., 1981 Dränanleitung. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- PUUSTINEN m. ja PEHKONEN a., 1986. Salaojien toimintahäiriöt. Tutkimustiedote n:o 48. Maatalousteknologian laitos.
- SAAVALAINEN J. ja VAKKILAINEN P., 1986. Proceedings of International Seminar on Land Drainage. Helsinki University of Technology, Finland.

JORDLØSNING VED DYRKNING AF FRILANDSGRØNSAGER

I n d l e d n i n g

Et veludviklet og dybtgående rodsystem er vigtigt for at sikre planterne optimal vand- og næringsstofforsyning. Jo bedre planterødder kan "afsøge" voksemediet des mindre bliver vandingsbehovet. Mange enårige grønsager har et relativt svagt rodnæt og kræver hyppige vandinger for at sikre optimal vækst og afgrøde kvalitet. En dårlig jordstruktur med reduceret luftskifte og hæmmet afdræning giver dårlig rodvækst og svækkede planter, der er mere modtagelige over for jordtræthedssygdomme, kålbrok m.m.

Også i dyrkningen af frilandsgrønsager sker der en stigende mekaniseringsgrad af arbejdsprocesserne i marken. Og antallet af arbejdsoperationer, og dermed overkørsler af det samme areal, synes at øges. Udviklingen af større og større høstmaskiner kendes også i grønsagsdyrkningen. Færdselen i marken med tunge maskiner sker ofte på vandmættet jord, hvorved der lettere dannes komprimerede jordlag (trafiksmål). Brydning af sådanne lag og reetablering af normale luftskifte- og afdræningsbetingelser er i dag teknisk mulig med forskellige jordløsningsredskaber (grubbere, undergrundsløsnere, paraplow m.fl.). Effekten af jordløsning på frilandsgrønsagers vækst og rodudvikling er dog dårligt belyst under danske forhold. I 1982-84 blev derfor ved Institut for Grønsager, Årslev, gennemført undersøgelser med jordløsning forud for dyrkning af frilandsgrønsager.

Forsøgsplan og -metodik

Både i efteråret 1982 og 1983 blev der på fin sandblandet lerjord (12 % ler) anlagt forsøg med jordløsning (grubning) sammenlignet med ubehandlet. Forsøgene blev gennemført i en almindelig forsøgsmark, hvor der ikke forud var konstateret specielle jordfysiske problemer i form af trafiksmål eller lignende. Jordløsningen blev foretaget med Englandshave 3-tands

grubber, hvor hver tand er afsluttet med en ca. 20 cm bred vingeformet spids. Den effektive arbejdsdybde var 40-45 cm og tandafstanden 75 cm.

I 1982 blev løsningen gennemført 1 gang på tværs af agerretningen, mens der i 1983 blev foretaget 2 løsninger - 1 gang på tværs og 1 gang på langs af pløjeretningen. Behandlingerne skete begge år d. 20. september på overfladetør stubjod, hvor der samme år var dyrket byg. Efter jordløsningen foretoges ingen yderligere jordbehandling inden efterårspløjningen i oktober-november.

Virksomheden af jordløsningen blev året efter undersøgt ved dyrkning af ærter til konserves, kepaløg og blomkål. Afgrøderne blev sået eller plantet forår efter almindelig såbedstilberedning. Dyrkning og håndtering af afgrøden blev gennemført efter standard. Grønsagerne blev vandet efter behov bestemt ved tensiometre placeret i de enkelte afgrøder. Registrering af udbytte og kvalitet blev foretaget ved afgrødernes optimale udvikling til salg.

Måling af rodlængde

Efter afgrødens høst blev hvert år udtaget jordprøver i forskellige dybder til undersøgelse for rodudviklingen. Jordprøverne blev udtaget i naturlig lejring ved hjælp af en stålcylinder med indsats, som trykkes i jorden med en hydraulisk rambuk. Indsatsen har en indvendig diameter på 6,4 cm og er gennemskåret på langs, således at den kan åbnes og jordprøver á 10 cm længde kan skæres ud. For nærmere beskrivelse af udtagningsteknik og metode henvises til Bennetzen (1978) og Andersen (1986).

Der blev udtaget 5 profiler á 60/80 cm dybde pr. parcel, således at der mindst var 15 fællesprøver pr. behandling. Rodlængden blev målt på de skyllede og fra jord frigjorte rødder. Skylningen skete over flere sigter, hvoraf den fineste maskevidde på 0,25 mm anvendtes til opsamling af rødderne. Længden af de rensede rødder måltes ved spredning på en bakke med kvadratnet (kantlængden 1,27 cm) indtegnet og optælling af skæringer mellem rødder som udtryk for rodlængden (se Newman, 1966 referat af Andersen, 1986).

Jordfysiske undersøgelser

Jordløsningens indflydelse på jordstrukturen blev i begge år undersøgt af Institut for Jordfysik, Højer. Resultater af disse undersøgelser fremlægges i en selvstændig rapport (Schjønning, 1986).

Resultater

Udbytte

Jordløsningen blev i 1983 gennemført både med og uden samtidig vibrering af grubbertænderne. I 1984 undersøgtes effekten af jordløsningen i konservesærter med både en vandet og uvan- det afdeling. Nedbørsunderskuddet var dog lille og vandingen begrænset til ca. 20 mm 1 uge før høst.

I tabel 1 er opført udbytteresultater af de enkelte afgrø- der. Generelt var der i ingen af afgrøderne signifikante ud- bytteforskelle mellem behandlingerne. Dog var der i 1983 ten- dens til mindre udbytte efter jordløsningen i grønne ærter og kepaløg. Mindre udbytte fremkom i ærter som mindre samlet plan- temasse og udbytte af rensede ærter. Hos kepaløg var der både tendens til færre planter pr. ha og et mindre udbytte af brug- bare løg efter jordløsning uden vibrering. I blomkål fandtes hverken tydeligt positive eller negative effekter af jordløs- ning.

I konservesærter blev der i 1984 opnået et lille, men ikke signifikant, merudbytte af jordløsningen i den vandede afde- ling, men til gengæld et mindre udbytte af jordløsningen, hvor der ikke var vandet.

Jordløsningen havde i ingen af forsøgene nogen indvirkning på afgrødernes kvalitet (produktstørrelse, farve, % brugbare). Afgrødernes vækstrytme og tidlighed var ligeledes upåvirket af jordløsningen.

Tabel 1. - Jordløsning grønsager Årslev 1983-84.

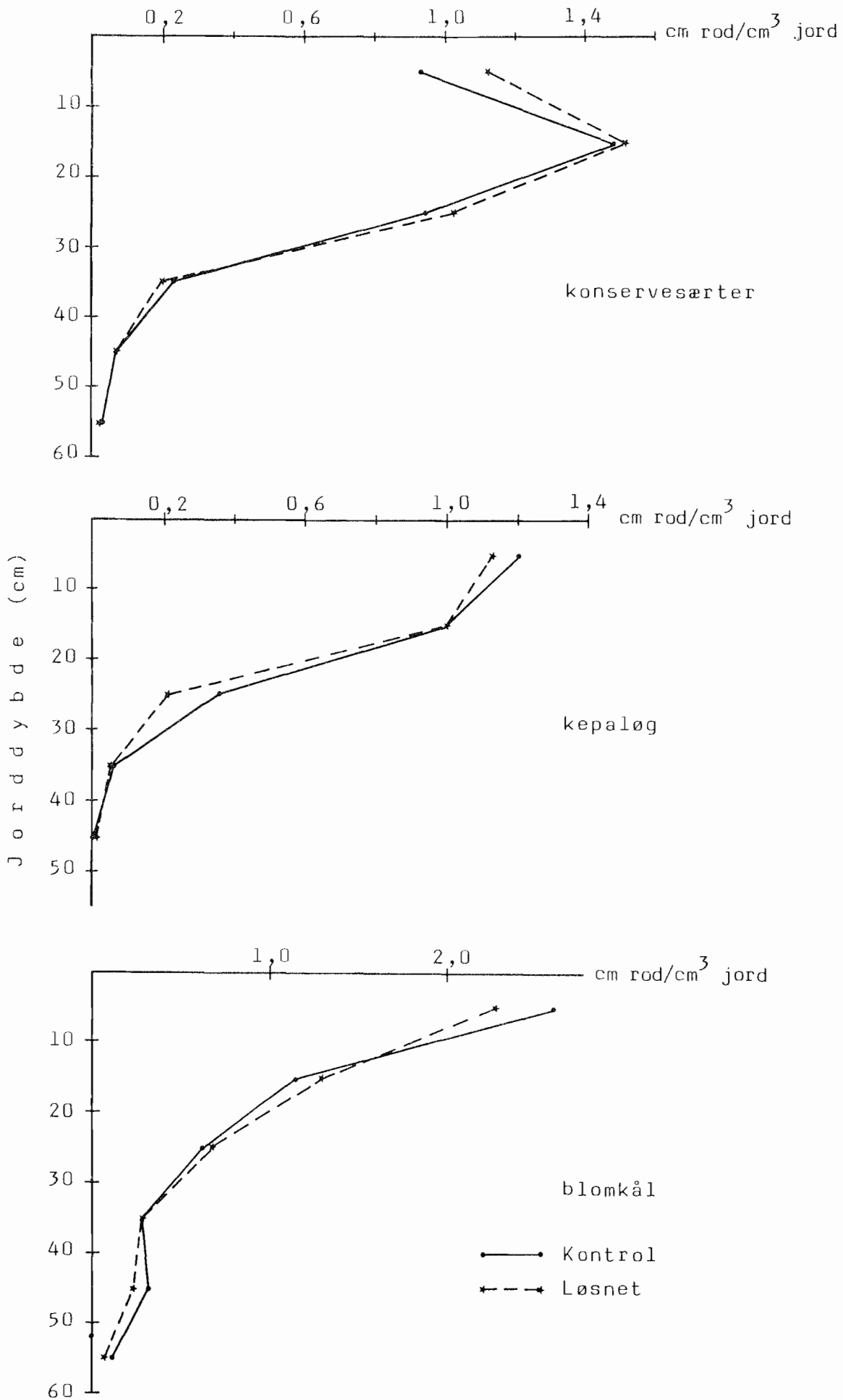
Udbytteopgørelse pr. ha.

<u>Konserveresårter</u>	Udbytte af konserveresårter, ton/ha					
	plante- masse		rensede årter		rensede årter 1984	
	1983	1984	1983	1984	van- det*	uvan- det
1. Kontrol	36,9	42,9	7,60	7,60	7,33	7,86
2. Løsnet, vibreret	35,1	42,2	7,39	7,60	7,79	7,39
3. Løsnet	34,1		7,21			
LSD	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

<u>Kepaløg</u>	Udbytte af kepaløg, pr. ha			
	ton brugbare		1000 løg i alt	
	1983	1984	1983	1984
1. Kontrol	62,5	64,4	652	900
2. Løsnet, vibreret	60,6	65,0	649	905
3. Løsnet	59,2		611	
LSD	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

<u>Blomkål</u>	Udbytte af blomkål, pr. ha			
	ton brugbare		1000 planter i alt	
	1983	1984	1983	1984
1. Kontrol	17,7	18,1	39,6	39,6
2. Løsnet, vibreret	18,5	18,5	40,1	39,1
3. Løsnet	18,2		40,0	
LSD	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

* ca. 20 mm 1 uge før høst.
152.



Ny fig 1. Jordløsning grønsager 1984. Rodtæthed i forskellige dybder. Prøveudtagning umiddelbart efter afgrødehøst.

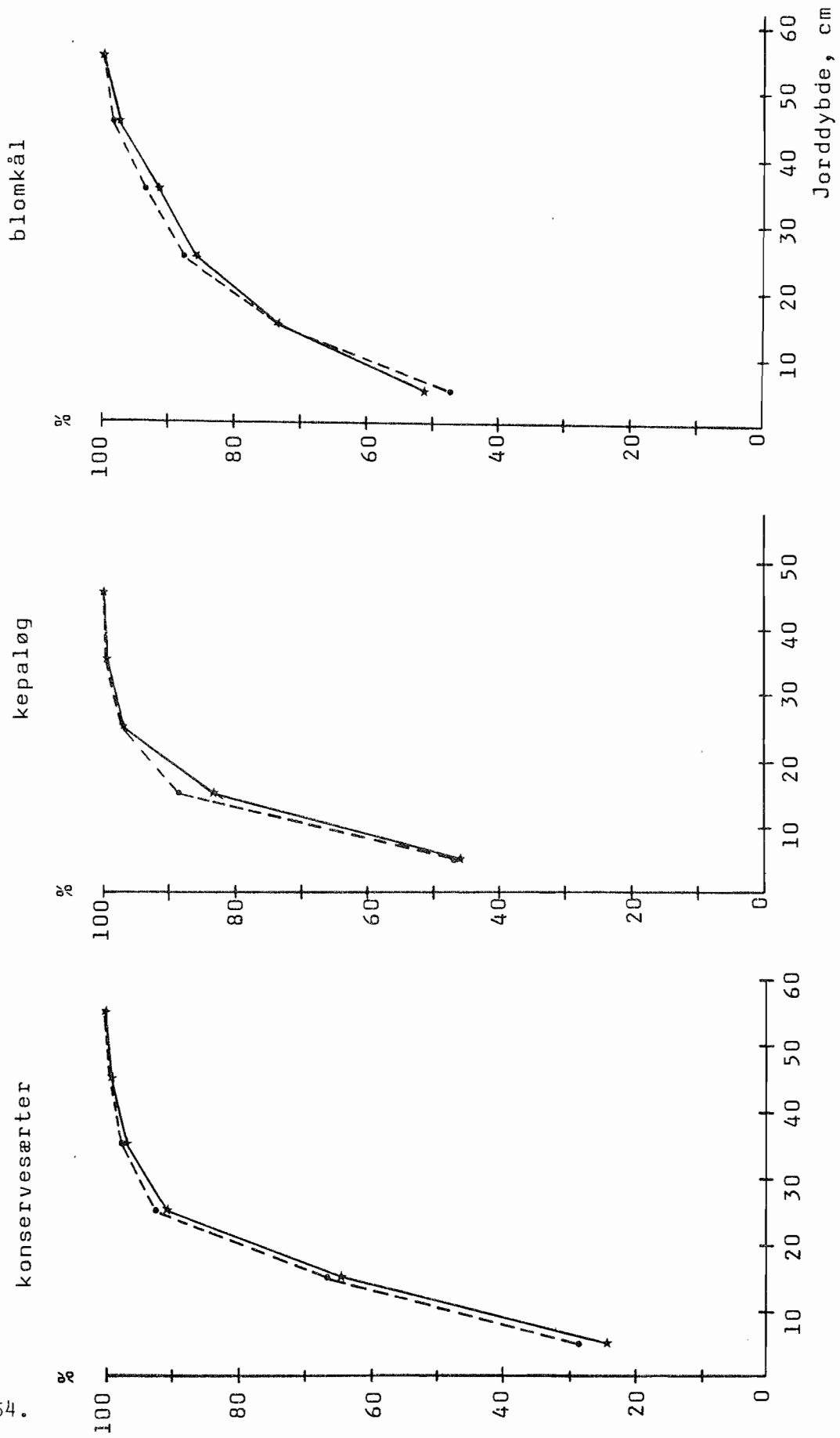


Fig. 2. Jordløsning grønsager 1984. Røddernes fordeling i dybden ved høst/modning.

— Kontrol - - - - Løsnet

Tabel 2. - Jorddybde hvorunder rodlængden er mindre end 0,1 cm rod pr. cm³ jord ($Z_{0,1}$) samt jorddybde hvorunder andelen af den samlede rodlængde i profilen er mindre end 10 % ($Z_{10\%}$).
Årslev 1983-84.

År	Konservesærter		Kepaløg		Blomkål	
	$Z_{0,1}$	$Z_{10\%}$	$Z_{0,1}$	$Z_{10\%}$	$Z_{0,1}$	$Z_{10\%}$
1983	50	30	30	15	-	-
1984	45	25	35	20	55	30

Rodlængde

Jordløsningen havde kun lille indvirkning på afgrødernes rodudvikling. I hverken konservesærter, kepaløg eller blomkål var der flere rødder i de dybere jordlag, hvor løsningen var gennemført (fig. 1). I flere dybder var der derimod færre rødder i 20-30 eller 30-40 cm dybde (kepaløg eller blomkål). Røddernes fordeling i dybden var tilsvarende kun lidt påvirket af jordløsningen (fig. 2).

Ingen af de 3 grønsagsforsøgsafgrøder havde væsentlig rodudvikling i jordlag dybere end 50 cm. Og rodlængden pr. cm³ jord var allerede stærkt aftagende i dybder under 30 cm. Ved sammenligning af forskellige afgrøders rodudvikling bestemmes ofte den jorddybde, hvorunder rodlængden pr. cm³ jord er mindre end 0,1 cm. Et andet udtryk for afgrøders rodudvikling er den dybde, hvorunder andelen af den samlede rodlængde i prøveprofilen er mindre end 10 %. Begge disse udtryk for rodudvikling er opført i tabel 2 for konservesærter, kepaløg og blomkål. Der er god overensstemmelse mellem de 2 udtryk til at beskrive rodvæksten i dybden. Af de 3 grønsagsarter har kepaløg det øverligste rodsystem.

Afslutning

Jordløsning i 40-45 cm dybde efteråret forud for dyrkningen af grønsager har ikke på fin sandblandet lerjord givet positive udslag på vækst, udbytte eller rodudvikling hos fri-landsgrønsagerne ært, løg og blomkål. Snarere var der i enkelte tilfælde tendens til mindre udbytter efter jordløsningen. Forsøgene blev gennemført på forsøgsmarker uden konstaterede jordfysiske eller strukturmæssige problemer som komprimerede jordlag eller dårlig afdræning. Jordløsning forud for dyrkning af grønsager kan derfor ikke ubetinget anbefales. En nærmere vurdering af behovet for jordløsning bør først gennemføres; der savnes dog objektive målemetoder til sådanne vurderinger i praksis.

L i t t e r a t u r

Andersen, A., 1986: Rodvækst i forskellige jordtyper. Beretning nr. S1827. Statens Planteavlsvforsøg.

Bennetzen, F., 1978: Vandbalance og kvælstofbalance ved optimal planteproduktion. 2. Teknik og metoder. Tidsskr. Planteavl 82: 173-189.

Newman, E.J., 1966: A method of estimating the total length of root in a sample. J. Appl. Ecology 3: 139-146.

Schjønning, P., 1986: Jordløsningens indflydelse på jordstrukturen. NJF Seminar Jordpackning: Skørdepåverkan - Motåtgärder - Ekonomi.

JORDLØSNINGENS INDFLYDELSE PÅ JORDSTRUKTUREN

I n d l e d n i n g

Mekanisk løsning af jordlagene under det årlig bearbejdede pløjelag har til formål at forbedre jordens permeabilitet for luft og vand samt dens gennemtrængelighed for planterødder. Jordløsning kan derfor være en relevant foranstaltning, hvor cementerede eller fortættede/komprimerede lag

- reducerer luftskiftebetingelserne til et for planterne kritisk niveau,
- forhindrer en hurtig afdræning af overskudsnedbør,
- virker direkte hæmmende på rodvæksten.

N y e d a n s k e f o r s ø g

Institut for jordbearbejdning og jordfysik, Højer, har i en række jordtyper undersøgt forskellige jordløsnere indflydelse på jordstrukturen. I de følgende tabeller og figurer refereres der til forskellige maskintyper med nedenstående betegnelser:

- Paraplow : "plov" med 3-5 løftende skæreplader, 50 cm indbyrdes afstand, anvendt løsnedybde ~ 40 cm.
- 5-tands løsner : jordløsner med 5 vingeformede vibrerende tænder, 50 cm indbyrdes afstand, anvendt løsnedybde ~ 40 cm.
- 1-tands grubber I : enkelttands grubber med skråtstillet smal løsnetand, anvendt løsneafstand ~ 90 cm, anvendt løsnedybde ~ 60 cm.
- 1-tands grubber II: principielt som 1 tands grubber I, blot andet fabrikat.

D e n d i r e k t e e f f e k t

En heldigt gennemført undergrunds løsning vil i første omgang kunne registreres ved en reduceret volumenvægt af jorden. I tabel 1 er vist resultater fra jordløsningsforsøg på 3 forskellige jordtyper: en grovsandet jord med forholdsvis kompakte jordlag i 40-60 cm dybde, en generelt meget kompakt sandblandet lerjord samt en omtrent tilsvarende jordtype med tendens til pløjesål i 25-30 cm dybde. Volumenvægten blev bestemt ved prøveudtagning i 100 og 500 cm³ ringe. På den grovsandede jord blev der målt umiddelbart efter løsneoperationen, mens der i de to øvrige jorde blev målt ca. 1 måned (med mellemliggende vintersædssåning) efter grubningen.

Tabel 1. Jordtæthed, tør volumenvægt, $g\ cm^{-3}$, efter jordløsning på forskellige jordtyper og ===== under tørre og våde forhold.

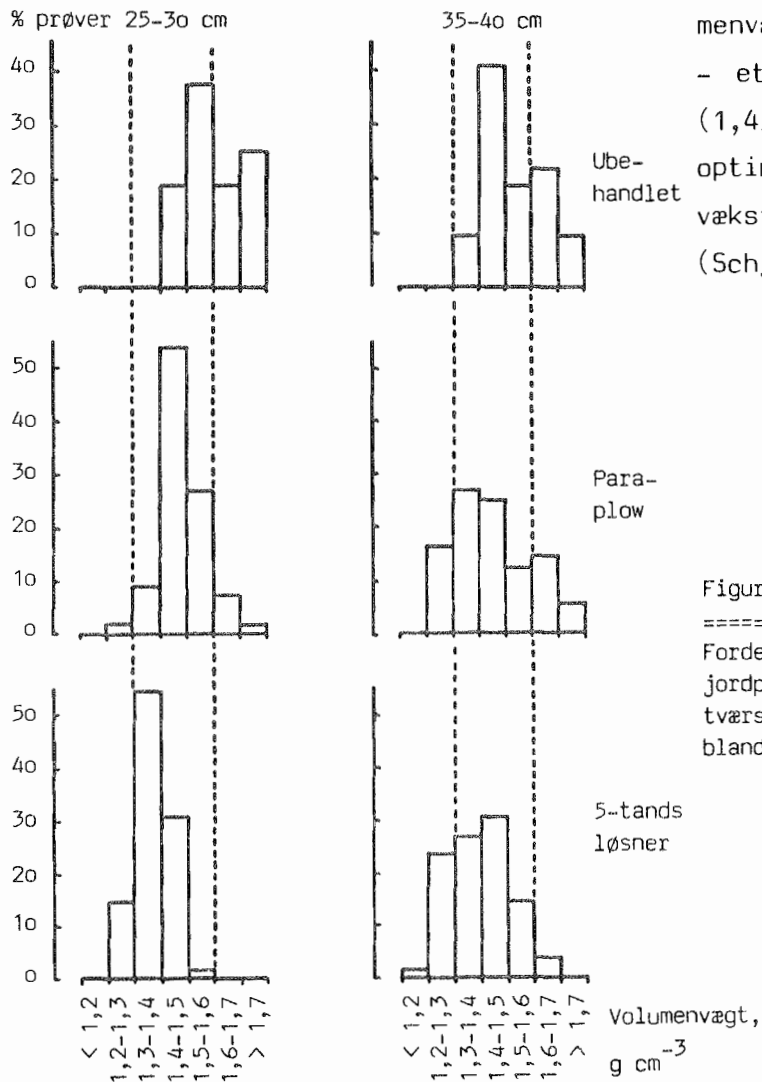
Jordtype	% ler	Dybde cm	Behandling					LSD95	Bemærkninger
			Ube- handlet	Para- plow	5-tands- løsner	1-tands- grubber I	1-tands- grubber II		
Grov- sandet jord	4	25-30	1,36	1,28	1,16	1,42	1,43	0,09	Løsnet under "tørre" forh. Målt umiddel- bart efter løsning
		35-40	1,44	1,32	1,24	1,47	1,46	0,16	
		45-50	1,52			1,52	1,53	n.s.	
		55-60	1,62			1,56	1,63	n.s.	
Fin sandbl. lerjord	11	25-30	1,65	1,67	1,65	1,64	1,66	n.s.	Løsnet under "våde" forhold. Målt ca. 1 må- ned efter løs- ning.
		35-40	1,61	1,66	1,66	1,64	1,63	n.s.	
		45-50	1,63			1,64	1,64	n.s.	
		55-60	1,69			1,65	1,69	n.s.	
Fin sandbl. lerjord	14	25-30	1,60	1,48	1,37			0,12	Løsnet under "tørre" forh. Målt ca. 1 må- ned efter løs- ning.
		35-40	1,53	1,45	1,39			0,08	

På den grovsandede jord har paraplowen og især den vibrerende 5-tands løsner givet en markant og statistisk sikker reduktion i jordtætheden i hele pløjelaget 20-40 cm, se tabellen. I modsætning hertil har de to dyberegående grubbere ikke givet sikker påvirkning af den *gennemsnitlige* volumenvægt i nogen af jordlagene. I dybden 25-30 cm viser tallene endog en pakning af jorden (dog ikke statistisk sikker). Dette tilsyneladende paradoksale resultat kan formodentlig tilskrives den pakkende virkning af traktorhjulet, som med den valgte løsneafstand (90 cm) nødvendigvis vil rulle i den netop løsnede jord. Den manglende effekt i de dybere lag antyder, at bearbejdningen med de 2 enkelttandsgrubbere er foretaget under en såkaldt "kritisk arbejdsdybde" (Spor, 1976), hvorved de anvendte grubbere har løsnet jorden alene i et meget snævert område omkring selve løsnetanden og måske endog givet anledning til pakning i den omkringliggende jord i de dybere lag (se også figur 2).

Undergrundsbearbejdningen på den sandblandede lerjord med 11 % ler gennemførtes under meget våde forhold. De generelt manglende effekter (på trods af et meget stort måleprogram) viser med al ønskelig tydelighed, at jordløsning kun bør gennemføres i forholdsvis tør jord, hvor bearbejdning vil resultere i en forskydning/løsning fremfor en æltning/pakning af jorden omkring løsneredskabet.

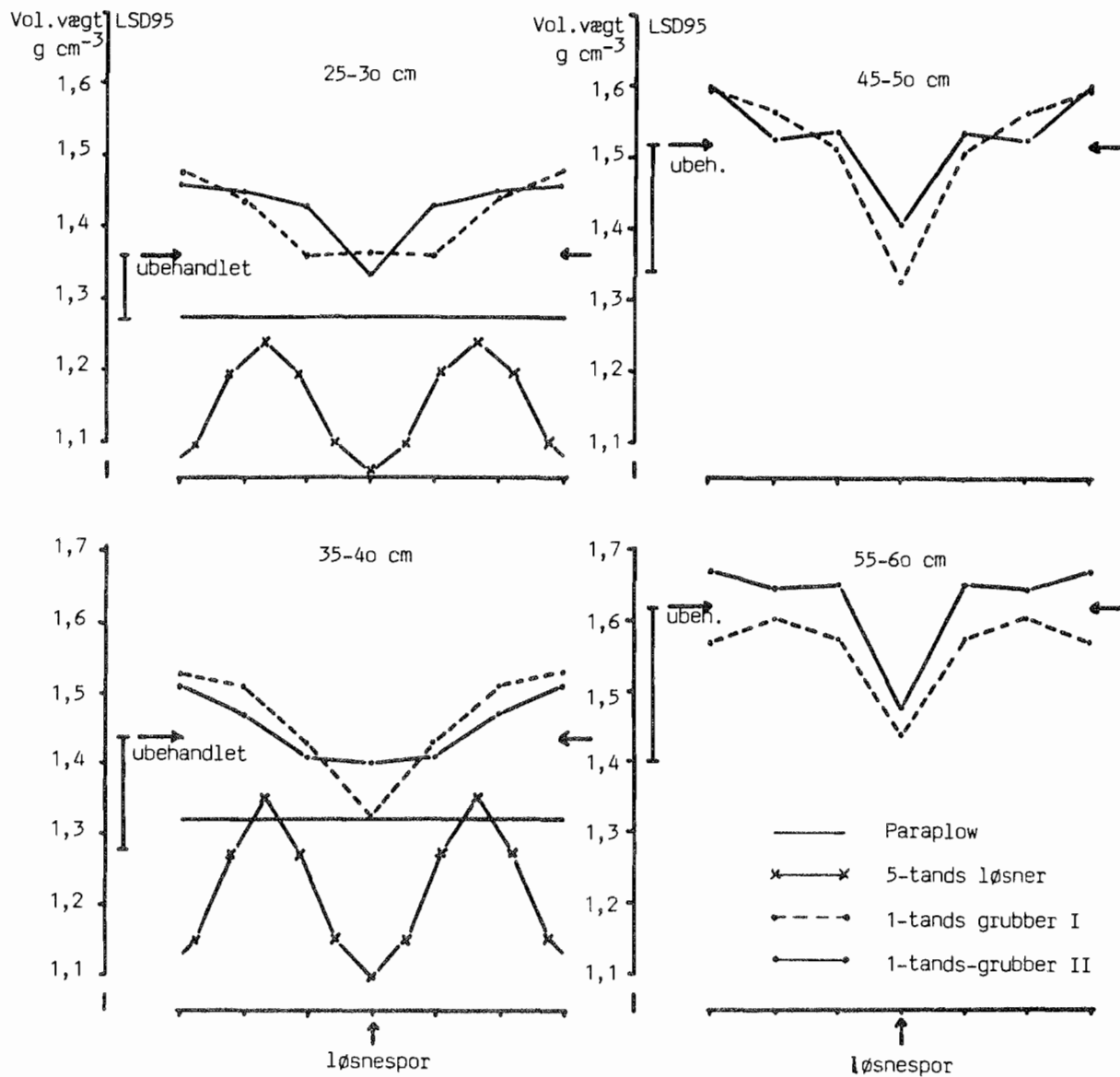
Den anden lerholdige jord i tabel 1 blev løsnet under rimeligt tørre forhold, og resultatet efter begge løsneredskaber er da også en statistisk sikker opbrydning af det tætte jordlag i 25-30 cm dybde såvel som en løsning også i 35-40 cm laget. Den således heldigt gennemførte løsning har næsten elimineret lokaliteter med meget høj volumenvægt, se figur 1. Efter begge

behandlinger findes langt hovedparten af prøver med volumenvægt mellem 1,3 og 1,6 g cm⁻³ - et interval, hvis midtpunkt (1,45 g cm⁻³) er fundet som den optimale volumenvægt for rodvækst, ganske vist i pløjelaget (Schjønning, 1984).



Figur 1
 =====
 Fordeling på volumenvægtklasser af jordprøver udtaget jævnt fordelt på tværs af løsneretningen. Fin sandblandet lerjord (14 % ler).

På grundlag af prøveudtagningerne i den grovsandede jord er jordens volumenvægt i en linie på tværs af løsnesporet optegnet i figur 2. Målestrategien giver dog ikke mulighed for at estimere en sådan profilform for paraplowens vedkommende, hvorfor den vandrette linie i figuren angiver jordlagets gennemsnitlige tæthed for dette forsøgsled. Af figuren fremgår de allerede diskutererede forhold, herunder det meget snævre jordlag, der er løsnet i forsøgsled med de dybtgående 1-tands grubber.



Figur 2. Forskellige jordløsnere's indflydelse på volumenvægten i forskellig afstand fra løsnespøret i en grovsandet jord.

P o r e s t ø r r e l s e s f o r d e l i n g

På grundlag af 2 års forsøg på en fin sandblandet lerjord (12 % ler) er jordløsningens længerevarende effekt på mere nuancerede jordfysiske egenskaber søgt vurderet. I tabel 2 er vist porøsitetens fordeling på porestørrelsesklasserne større og mindre end 30 µm. Resultaterne stammer fra prøveudtagninger i vækstsæsonen efter jordløsningen det foregående efterår, dvs. efter ca. 9 måneders forløb med indflydelse af klima samt jordbearbejdning i form af pløjning, såbedstilberedning og såning.

I såvel 1983- som 1984-forsøgsmarken forekommer et jordlag i 25-30 cm dybde med mindre porøsitet end det underliggende lag, se tabellen. I intet af forsøgene har den dybtgående bearbejdning med en vibrerende 5-tands jordløsner imidlertid resulteret i en løsning af dette lag. Tværtimod er der begge år i begge de undersøgte jordlag registreret en tendens til reduceret porøsitet, som dog ikke fremtræder med statistisk sikkerhed. Porøsitetsforringelsen fremkommer i kraft af et reduceret volumen af grovporer større end 30 µm.

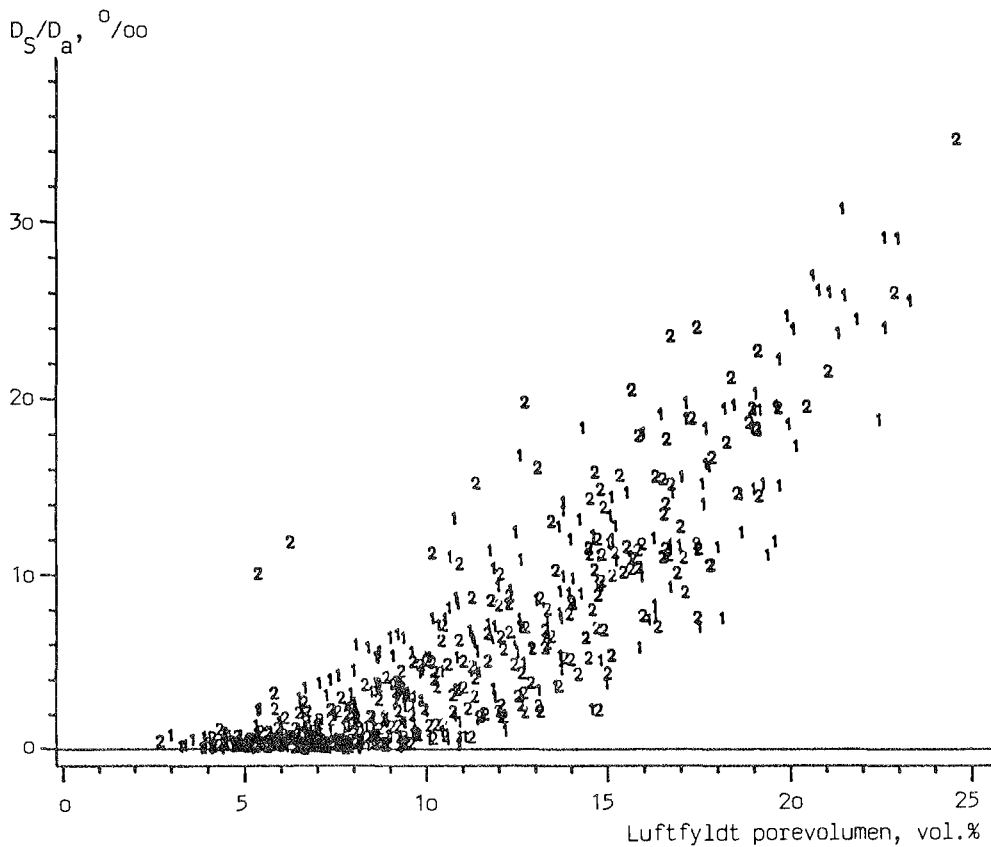
I 1984 blev forsøgsbehandlingen gennemført i forholdsvis våd jord, mens der i 1983 var sket opfugtning af de øverste 30-40 cm jordlag efter en tør sommer. Resultaterne i tabel 2 antyder, at den forholdsvis kraftige vibrerende bearbejdning af jorden begge år er sket ved så højt vandindhold, at resultatet er en nedbrydning af de bearbejdede jordlags strukturstabilitet med et henfald i grovporevolumen snarere end en løsneeffekt til følge.

Tabel 2. Jordløsningens indflydelse på porøsitetsforholdene i en fin sandblandet lerjord. ===== Volumenprocent.

Forsøgsår	Dybde cm	Porer < 30 µm		Porer > 30 µm		Porer i alt	
		Ube- handlet	Løsnet	Ube- handlet	Løsnet	Ube- handlet	Løsnet
1983	25-30	29,2	-0,2	11,3	-0,7	40,5	-0,9
(våd overfladejord)	35-40	26,3	+0,5	18,5	-3,4	44,8	-2,9
1984	25-30	26,4	+0,5	15,6	-0,8	42,0	-0,3
(våd jord)	35-40	25,2	+0,1	18,2	-0,7	43,4	-0,6

P o r e k a r a k t e r i s t i k a

Den relative diffusivitet af luft, dvs. diffusionshastigheden i jorden i forhold til diffusionen i fri atmosfærisk luft, er først og fremmest bestemt af jordens aktuelle volumen af store luftfyldte porer. Ilt-diffusionsmålinger i jordprøver fra 1984-forsøget i den våde sandblandede lerjord viser, at det registrerede lille tab i grovporevolumen (tabel 2) ikke har givet nogen tydelig ændring i relationen mellem relativ diffusivitet og luftfyldt porevolumen, se figur 3.



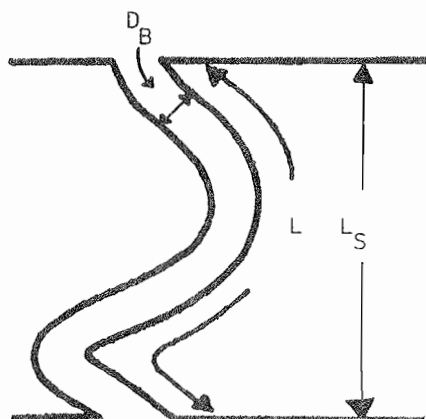
Figur 3. Relativ diffusivitet, D_s/D_a , ‰, som funktion af luftfyldt porevolumen, vol.%. Målinger ved de 4 vandpotentialer pF 1,0, pF 1,2, pF 1,7 og pF 2,0. Fin sandblandet lerjord.
 =====
 1 = ubehandlet jord, 2 = løsnet jord.

Der er (lidt overraskende) endvidere ikke noget, der tyder på, at den forholdsvis radikale jordbearbejdning har givet ændringer i porekontinuiteten, idet forskelle i mængden af "blinde" porekanaler vil afsløre sig i relationen mellem diffusivitet og luftindhold (Gradwell, 1961; Ball, 1981b).

På grundlag af samhørende værdier for relativ diffusivitet, luftpermeabilitet (trykforårsaget strømning) samt luftfyldt porevolumen kan der beregnes indekser for porestørrelse og -længde (Ball, 1981a). Resultater fra sådanne beregninger er vist i tabel 3 for 1984-forsøget i den sandblandede lerjord (12 % ler). For begge undersøgte jordlag er der ved 4 afdræningsniveauer beregnet to parametre, D_B og L/L_S , som udtrykker en slags middelstørrelse henholdsvis relativ længde af de luftfyldte porer i jorden, se figur 4.

Tabel 3. Beregnede værdier for middeldiameter, D_B , og relativ længde, L/L_S , af luftfyldte porer i ubehandlet og løsnet jord.

Dybde cm	Parameter	Forsøgsled	Vandpotential, pF (ækvivalent diameter af mindste luftfyldte pore, μm)			
			1,0 (300)	1,2 (200)	1,7 (60)	2,0 (30)
25-30	D_B , μm	Ubehandlet	247	256	217	193
		Løsnet	276	267	212	192
	L/L_S	Ubehandlet	11,4	7,4	4,4	3,6
		Løsnet	11,6	8,1	4,6	3,7
35-40	D_B , μm	Ubehandlet	311	278	230	204
		Løsnet	308	293	227	205
	L/L_S	Ubehandlet	8,7	6,1	3,9	3,3
		Løsnet	6,9	5,6	3,7	3,3



Figur 4
 =====
 Model for poresystemet til
 beregning af indekser for po-
 restørrelse og -forløb.

Det forholdsvis tætte jordlag i 25-30 cm (se også tabel 2) har lavere værdier for beregnet middeldiameter, D_B , end det underliggende jordlag ved alle vandpotentialer, se tabel 3. Luften "oplever" ved gennemstrømningen også et mere "kroget" forløb af porerne i det tætte jordlag, se tabellens høje værdier for L/L_S , især ved pF 1,0. I overensstemmelse med det tidligere anførte har den dybe jordbearbejdning ikke påvirket porekarakteristika væsentligt, idet de små forskelle mellem ubehandlet og løsnet jord i tabellen ikke er statistisk sikre. Gennemsnitstallene peger dog på en tendens til større middeldiameter (D_B) af luftfyldte porer i meget våd jord efter løsning i 25-30 cm laget samt et mere retlinet (!?) forløb (L/L_S) i løsnet jord i 35-40 cm laget.

K o n k l u s i o n e r

Løsning af underjord skal foregå i forholdsvis tør jord og med bearbejdningedybde over en for hver kombination af løsneredskab og jordvandindhold karakteristisk kritisk grænse.

En heldigt gennemført jordløsning er karakteriseret ved en bred løsneprofil, hvor frekvensen af lokaliteter med ekstrem styrke i den bearbejdede jord er reduceret til et minimum.

Umiddelbart efter jordløsningen kan løsneeffekten beskrives ved volumen-vægtbestemmelser i en linie på tværs af løsnesporet.

Ved behandling med vibrerende undergrundsløsner i våd jord kan der forekomme et henfald i volumen af grovporer i jorden. Efter en sådan operation kan der dog ikke spores sikre forskelle i porekarakteristika i form af pore-diameter og relativ længde af kontinuerte porer.

L i t t e r a t u r

- Ball, B. C. 1981a. Modeling of soil pores using gas permeabilities, gas diffusivities and water release, J. Soil Sci. 32, 465-481.
- Ball, B. C. 1981b. Pore characteristics of soils from two cultivation experiments as shown by gas diffusivities and permeabilities and airfilled porosities. J. Soil Sci. 32, 483-498.
- Gradwell, M. W. 1961. A laboratory study of the diffusion of oxygen through pasture topsoils. New Zealand J. Sci. 4, 250-270.
- Schjøning, P. 1984. Rodvækst i relation til volumenvægt og pænetrometermodstand i pløjelaget. Intern rapport, Institut for jordbearbejdning og jordfysik, 10 pp.
- Spoor, G. 1976. Effective subsoiling. British Sugar Beet Review 44, 28-29.

SJÄLVLÄKNING I MARKEN

I n l e d n i n g

Diskussionens utgångspunkt är en lerjord, som har blivit hårt packad av tung trafik under en regnrik höst. Under sådana förhållanden trycks jordens luftfyllda porer ihop, volymvikten ökar och infiltrationskapaciteten sjunker till mycket låga värden. Upprepad trafik på vattenmättad jord medför också tilltagande ältning: aggregat knådas sönder och jordens mikrostruktur homogeniseras. Avstånden mellan enskilda lerpartiklar i aggregaten blir större när bindningarna mellan dem bryts, och detta börjar öka jordens vattenhållande förmåga (långtgående ältning minskar jordens torra volymvikt). Strukturförstörelsen är mest kännbar i matjordslagret men kan i svåra fall spåras nedtill 50-60 cm:s djup.

I det följande analyseras kunskapsläget beträffande sådana naturliga processer som (vid sidan av normalt tillgänglig odlingsteknik) bidrar till återställandet av packningsskadad jordstruktur. Dit hör framför allt cykler av krympning-svällning och frysning-upptining samt daggmaskarnas och växtrötternas verksamhet.

M å l o c h m ä t m e t o d i k v i d r e h a b i l i t e r i n g e n

Vid jordbearbetning och andra fältarbeten måste man alltid försöka undvika att skada det nätverk av makroskopiska vertikala porer, som avgör jordens infiltrationskapacitet och luftväxling. På motsvarande sätt är främsta målet vid rehabiliteringen av skadad jord att återskapa ett sådant nätverk. Direkta mätningar av jordens infiltrationskapacitet på fält torde därför vara det bästa sättet att dokumentera packningsskadorna, men eftersom metoden är mycket arbetsam, försöker man ofta att klara problemet med enklare indikatorer som t.ex. volymvikt eller penetrationsmotstånd.

Volymvikt är ett exakt fysikaliskt mått på jordens packningsgrad, men eftersom den inte säger någonting om porernas storleksfördelning och kontinuitet, ger den en ofullständig bild av packningstillståndet. Relativt hög volymvikt kan mycket väl vara förenlig med gott strukturtillstånd hos odlad jord (god värmehushållning och god bärighet för maskindrift), om det finns ett vertikalt porsystem som tillfredställer ortspecifika krav på infiltrationskapacitet. Bäst fungerar volymvikten som strukturindikator i nyligen bearbetade jordar (där porsystemet präglas av bearbetningssättet) och

generellt i grövre jordarter (där porsystemet bestäms av texturen).

En negativ effekt av jordpackning är att jorden får en grövre, torkkänslig struktur vid efterföljande såbäddsberedning. Tjälens minskar olägenheten, men en vinter räcker vanligtvis inte för att utplåna den. Självläkningsprocessen och möjligheterna att genom särskilda jordbearbetningsmetoder åstadkomma önskvärd aggregatstorleksfördelning kan dokumenteras med sedvanlig torrsållningsteknik.

K r y m p n i n g o c h s v ä l l n i n g

Djup uttorkning och sprickbildning under sommarens torrperioder är sannolikt den viktigaste enskilda faktorn, som kan bidra till återställandet av genomsläppligheten och rotutvecklingens förutsättningar i våra lerjordar. Det finns vittnesmål av praktiska jordbrukare som anser, att en intensiv torrperiod återställer en packad jords infiltrationskapacitet och dräneringens funktion så väl, att fältens farbarhet är tryggad under månader av regnigt höstväder. Också på annat håll (bl.a. i England) har man observerat detta och förklarat det med illitlerornas synnerligen långsamma återsvällning. Författaren har diskuterat fenomenet mera ingående i ett kompendium (Heinonen 1985).

Fungerande dränering betyder dock inte att spåren efter en svår jordpackning är utplånade. Försöksresultat (som behandlas av andra författare) visar att det behövs flera årscyklar innan den negativa efterverkan på grödorna försvinner eller blir försumbar. Ett nybildat sprickmönster är tydligen ur rotutvecklingssynpunkt för glest och dessutom ostabilt. Under upprepade väderlekscyklar blir mönstret gradvis tätare, samtidigt som sprickytorna stabiliseras genom "ett skinn" av orienterade lerpartiklar och utfällningar av kolloidal kiselsyra samt järn- och aluminiumhydroxider.

F r y s n i n g o c h u p p t i n i n g

Man har tidigare allmänt antagit att heterogen, islinnsbildande tjäle, som så effektivt sönderdelar markens ytskikt, skulle kunna upphäva packnings-skadorna även i djupare, obearbetade jordlager. Teorin punkterades först av Blake et al. (1976), som hade gjort långvariga fältstudier i Minnesota, och sedermera har många andra forskare bidragit till en ny och mera nyanserad bild av tjälens betydelse för markstrukturen (se t.ex. Kay et al. 1985).

Tjälens direkta verkan är effektivast i siltjordar, vars yta kan hävas decimetervis när islinserna växer genom kapillär vattentransport till tjälfronten. Normalt försvinner dock hela effekten efter upptiningen när den övermättade, ostabila jorden sätter sig, men i modellförsök med fri dränering under upptining har återgången till kompakt lagring oftast varit

ofullständig. En viss uppluckring kvarstår och förstärks under fortsatta cykler av frysning och upptining. Efter 3 till 15 tjälcykler (antalet varierar från jord till jord) nås ett jämviktstillstånd, som fortsatta cykler inte förändrar (Hedberg 1976).

I massiva styva leror där kapillär vattenstigning är minimal, är bilden annorlunda. Islinserna växer endast genom lokal vattenrörelse från omgivande jord, d.v.s. från aggregat som formats av islinserna. När islinserna börjar växa, krymper vattenmättad jord i motsvarande grad, och markens volym ökar endast genom vattnets expansion vid frysning. Vid upptining rinner en del av vattnet bort, och de nybildade kantiga och komprimerade aggregaten sätter sig åter i tätlagring. Av islinserna kvarstår då endast svaga sprickanvisningar, som inte har så stor inverkan på infiltrationskapaciteten, men gör dock stor nytta genom att minska penetrationsmotståndet och underlätta efterföljande jordbearbetning.

Om initialtillståndet är en packad-äldad, vattenmättad lera, resulterar tjälcykeln i en volymmässig komprimering som förstärks vid successiva cykler tills man når ett jämviktstillstånd. Samtidigt kommer in i bilden en luckrande faktor, som består av en tilltagande oregelbundenhet hos aggregatens sättning vid upptining. I djupare lager med glesa och mestadels horisontella islinser och endast en tjälcykel per år sker mycket liten luckring, men från upplöjda lerkokor, som genomgår många tjälcykler, kan nybildade aggregat efter upptiningen frigöras så att endast en lös "grushög" kvarstår. Där har vi sinnebilden av tjälens luckrande verkan.

Att välgjord höstplöjning och vinterns tjälcykler kraftigt förstärker varandras verkan vid återställandet av matjordslagrets struktur, är numera väl klarlagt (Voorhees 1983). Tyvärr synes det vara mycket svårt att nå samma gynnsamma samspelseffekt under det normala plöjningsdjupet; i alla fall är resultaten av hittills gjorda avluckningsförsök endast i undantagsfall klart positiva. Det är dock tänkbart, att en djupluckring som görs på grundligt uttorkad lerjord, skulle kunna påskynda återställandet av markstrukturen, men det är svårt att få hypotesen testad i fältförsök. Lerjordarna är sällan djupt uttorkade vid tiden för höstplöjning och en stenhård jords uppluckring skulle kräva mycket stora tekniska resurser.

Möjligheten att med djupluckring påskynda jordens självläkning borde undersökas särskilt på skogsmarker, som skadats av tunga avverkningsmaskiner. Hårt packade djupa spår orsakar stora produktionsbortfall, också på lättare jordar, och utan några stödjande åtgärder kan skogsmarkens självläkning ta 10 till 40 år (Froehlich et al. 1985). Tjälens luckrande verkan har visat sig vara mycket långsam, även i nordliga barrskogar där marken

ofta fryser djupt. Man skall dock komma ihåg, att man inte nödvändigtvis behöver återställa den ursprungliga naturliga porositeten för att möjliggöra en för ståndorten optimal skogsproduktion. Såsom på åkermark bör det räcka med att jordens volymvikt understiger ett visst, ortspecifikt gränsvärde och att marken annars har en adekvat infiltrationskapacitet. Rotzonens naturliga porositet kan vara ett resultat av mångtusenårig inverkan av väder, växter och markfauna och därför mycket större än den jämviktsporositet (eller "normal" volymvikt) som de naturliga fysikaliska processerna i kombination med växttäcket inom överskådlig tid kan åstadkomma.

V ä x t e r n a s v e r k a n p å m a r k s t r u k t u r e n

Växtrötterna påverkar markstrukturen genom tre olika mekanismer:

1. genom vattenupptagning och därav följande sprickbildning (vilket behandlats ovan), 2. genom penetrering av massiv jord, vilket efterlämnar ett sammanhängande nätverk av större och mindre porer, 3. genom efterlämnat organiskt material som stabiliserar porväggar. Sammantaget är ett stort och intensivt förgrenat rotsystem en kraftig strukturuppbyggande faktor, allra helst om rötterna är tjocka och har en god förmåga att penetrera massiv jord. I litteraturen finns beskrivningar av enskilda fall, där ett packat matjordslager under ett gott växtbestånd inom ett år helt återställts (se t.ex. Heinonen 1986). I djupare lager påverkar rötterna inte jordens volymvikt, eftersom de bildar sina kanaler genom att skjuta omgivande jord åt sidan, men med tanke på odlingsmarkens funktion är rotkanalerna i alla fall ytterst värdefulla.

Fältobservationerna på kompakta jordar ger vid handen att det finns stora skillnader i olika växtarters förmåga att penetrera kompakt jord. Lusern, lupin, åkerböna och rödklöver anses vara särskilt effektiva som "pionjärväxter" och deras efterlämnade rotkanaler kan sedan utnyttjas av andra växtslag. Av bl.a. ekonomiska skäl är dessa förträffliga förfrukters användbarhet dock begränsad, och därför har man börjat leta efter liknande anlag hos andra kulturväxter. Vad som orsakar de observerade skillnaderna i rötternas penetrationsförmåga är bristfälligt kända. Det finns minst 4 viktiga faktorer som påverkar denna förmåga:

1. Det osmotiskt betingade tillväxttrycket. Observerade skillnader är dock för små för att räcka som förklaring.
2. Rötternas tjocklek är en viktig delfaktor, men både tunna och tjocka rötter har sina fördelar. Tunna oförgrenade rötter behöver litet resurser och kan därför snabbt passera de kritiska lagren i matjordens nedre del och plogsula, som brukar hårdna under försommartorkan. En tunn rotspets

kan också tränga in i små porer och sedan utvidga dem radiellt, vilket är rent mekaniskt effektivare än axiellt tryck. Å andra sidan har tjocka rotspetsar sina speciella fördelar. De kan utveckla större brytande axialtryck, bl.a. därför att de är styvare och kröker sig inte så lätt dubbelvikt i lucker jord, när spetsen möter hårt motstånd.

3. Bristande syreförsörjning stoppar rötternas tillväxt och kan i extrema fall på några dagar döda stora delar av rotsystemet. Många växter kan dock överleva med hjälp av intern syreförsörjning genom särskilda luftkanaler. De flesta gräsväxterna har anlag för luftkanaler och förmågan, som är viktig för rottillväxt i massiv syrefattig jord (och därmed bl.a. vinterhärdigheten) kan förbättras genom växtförädling.
4. Rottillväxten styrs av växtens interna hormonsystem som är genetiskt betingat och kanske påverkbar. I försök har vissa syntetiska tillväxtregulatorer markant ökat rötternas penetrationsförmåga i kompakt jord (ref. Heinonen 1985). Det är tänkbart att växtförädlingen i framtiden kan skapa växtsorter med särskild förmåga till "biologisk alvluckring". Sådana egenskaper kan också automatiskt förbättras, när urval och sortprövning sker på packade jordar. Utveckling i den riktningen skulle kunna påskyndas om vi hade en testmetod för gradering av rötternas penetrationsförmåga hos växtmaterialet.

D a g g m a s k a r n a o c h m a r k s t r u k t u r e n

Daggmaskarna är båda skapare av och ett kännetecken på en god jord. För infiltration och luftväxling kan deras hål tidvis vara viktigare än några andra makroporer, eftersom maskarna hela tiden håller sina hål öppna (vilket är ett villkor för effektiv infiltration). Hård packning-äلتning kan förstöra både maskarna och deras hål, och återhämtandet kan sedan ta många år. Aktiv inplantering anses onödig, eftersom erfarenheten visar att maskarna snabbt förökar sig när näringstillförseln och markmiljön förbättras. Ett odlingsssystem som gör odlingsmarken till en god miljö för daggmaskarna kan sammanfattas i följande 6 punkter:

1. Markytan hålls skyddad av heltäckande växtbestånd eller växtrester, kompost, stallgödsel o. dyl.
2. Plöjning så sällan som möjligt.
3. Väl fungerande torrläggning av markerna.
4. Tillfredställande kalktillstånd.
5. Helst riklig användning av stallgödsel och rötslam av god kvalitet; inga överdrifter med konstgödsel.
6. Återhållsamhet med svampbekämpningsmedel.

F r a m t i d a f o r s k n i n g s u p p g i f t e r

Helhetsbilden av svårt packade jordars självläkning genom de ovan beskrivna 4 processerna är kvalitativt väl underbyggt och ger en trovärdig förklaring till avkastningsnivåns snabba återhämtning under nordiska mark- och klimatförhållanden. Våra kunskaper om de olika delfaktorernas kvantitativa verkan och deras samspel med olika odlingsåtgärder är dock bristfälliga och bör förbättras genom framtida forskning. Detta gäller särskilt styva och mycket styva leror, där packningens negativa verkan är störst och till en viss del ofta långvarig.

I hittills gjorda fältförsök där packningens efterverkan har uppföljts, har det inte varit möjligt att differentiera jordbearbetningen, och då har packade parcellers såbädd regelbundet blivit grövre än på opackade jämförelseled. Detta har med goda skäl antagits vara huvudorsaken till konstaterade skördebortfall under de första 1-2 åren efter packningen. Förhoppningsvis kan framtida försök visa, om det går att med noggrant anpassat höstbruk och intensivare såbäddsberedning, kanske med särskild insats av tung sladdning, på kortare tid utjämna skillnaderna.

Liknande frågeställningar kan aktualiseras då det gäller möjligheterna att undanröja resterande långvariga packningsskador under plöjningsdjupet, sedan 1-2 års väderlekscyklar och växtodling, inklusive höstplöjning, rehabiliterat matjordsstrukturen. Både djupbearbetning och odling av särskilda pionjärväxter kan tänkas bidra till markens läkning, men här är våra kunskaper mycket begränsade och, då det gäller djupluckring, inte särskilt uppmuntrande. Strukturutvecklingen i alven måste i första hand studeras med markfysikaliska mätmetoder; avkastningsförsöket är här ett ineffektivt instrument, eftersom packningsförsökens inomfältvariation oftast är så stor att de långvariga resteffekterna inte överstiger fältförsökets felmarginal.

L i t t e r a t u r

Blake, G.R., Nelson, W.W. and Allmaras, R.R. 1976: Persistence of subsoil compaction in mollisol. Soil Sci. Soc. Am. J. 40: 943-948.

Froehlich, H.A., Miles, D.W.R. and Robbins, R.W. 1985: Soil bulk density recovery on compacted skid trails in central Idaho. Soil Sci. Soc. Am. J. 49: 1015-1017.

Hedberg, D. 1976: Volymförändringar hos jordarter efter upprepad frysning och tining. Ph. D. thesis, Univ. Stockholm, Sweden. 109 pp.

Heinonen, R. 1985: Soil management and crop water supply. 4th revised ed. Inst. för markvetenskap, SLU. 105 pp.

Heinonen, R. 1986: Alleviation of soil compaction by natural forces and cultural practices. In Lal, R., Sanchez, P.A. & Cummings, R.W.Jr. (ed.) Land clearing and development in the tropics. A.A. Balkema, Rotterdam and Boston. p. 285-297.

Kay, B.D., Grant, C.D. & Groenevelt, P.H. 1985: Significance of ground freezing on soil bulk density under zero tillage. Soil Sci. Soc. Am. J. 49: 973-978.

Voorhees, W.B. 1983: Relative effectiveness of tillage and natural forces in alleviating wheel-induced soil compaction. Soil Sci. Soc. Am. J. 47: 129-133.

NÅGRA FÖRETAGSEKONOMISKA BERÄKNINGSEXEMPEL RÖRANDE JORD- PACKNINGENS KONSEKVENSER

Inledning

Någon heltäckande genomgång av packningsskadornas ekonomiska konsekvenser har ännu inte gjorts. I detta avsnitt presenteras endast några exempel på packningsskadornas företags-ekonomiska konsekvenser. Det arbetsmoment som behandlas är flytgödselspridning under några olika förhållanden.

Vid försöksledarmötet 1986 på Ultuna presenterades några andra beräkningsexempel än de som redovisas nedan (Andersson, 1986). Resultaten från dessa beräkningar kan sammanfattas enligt följande:

I Ökad vårspridning av stallgödsel

Beräkningarna gäller en övergång från 50 % höstspridning och 50 % vårspridning till 100 % vårspridning på två typgårdar. Den ena gården har 20 mjölkkor och 20 ungdjur med fastgödselhantering. Den andra gården har 300 slaktsvinsplatser med flytgödselhantering. Det förutsätts att sådden av 10 ha vårstråsäd försenas med den tid det tar att sprida den ökade mängden stallgödsel. Vidare förutsätts att det på båda gårdarna finns lagringskapacitet så att all stallgödsel kan vårspridas.

Följande poster beaktas i beräkningarna:

- Värde av inbesparat handelsgödselkväve på grund av det högre växtnäringsvärdet vid vårspridning jämfört med höstspridning.
- Kostnaden för packningsskadorna.
- Kostnaden för försenad sådd.

Från dessa beräkningar kan följande slutsatser dras:

- Ökad vårspridning av svinflytgödsel blir lönsam om spridningen kan ske på upptorkad mark med ett lätt ekipage med skonsam däckutrustning. Sker däremot spridningen på blöt mark med ett tungt ekipage med aggressiv däckutrustning, måste växtnäringseffekten öka väsentligt om den ökade vårspridningen skall bli lönsam.
- Ökad vårspridning av nötfastgödsel blir dock knappast lönsam.

II Användning av dubbelmontage vid vårbruket

Genom att konsekvent använda dubbelmontage vid vårbruket kan skördeökningar på upp till ca 5 % erhållas. Investeringsutrymmet för dubbelmontage blir i storleksordningen 6 000 kr om skörden ökar med 1 % på 30 ha vårstråsäd (årlig användningstid ca 200 timmar). Blir skördeökningen 5 % uppgår investeringsutrymmet till ca 30 000 kr.

Underlag för beräkningarna

I det följande presenteras en beräkning av kostnaderna för packningsskador vid flytgödselspridning. Fältet där spridningen antas ske existerar i praktiken och en skiss av fältet finns i figur 1a och 1b.

Beräkningar har gjorts för två olika situationer. I grundalternativet antas spridningen ske enligt figur 1a. In- och utfarter har markerats med pilar (\uparrow). I en alternativ beräkning antas att körmängden reduceras genom att ytterligare en in/utfart har anlagts. Det framgår av figur 1b hur körningen på fältet antas ske i detta fallet.

Däckutrustningen som används antas vara av genomsnittlig beskaffenhet och fuktighetsförhållandena antas vara medelgoda.
174.

Vidare gäller följande förutsättningar för båda beräkningarna:

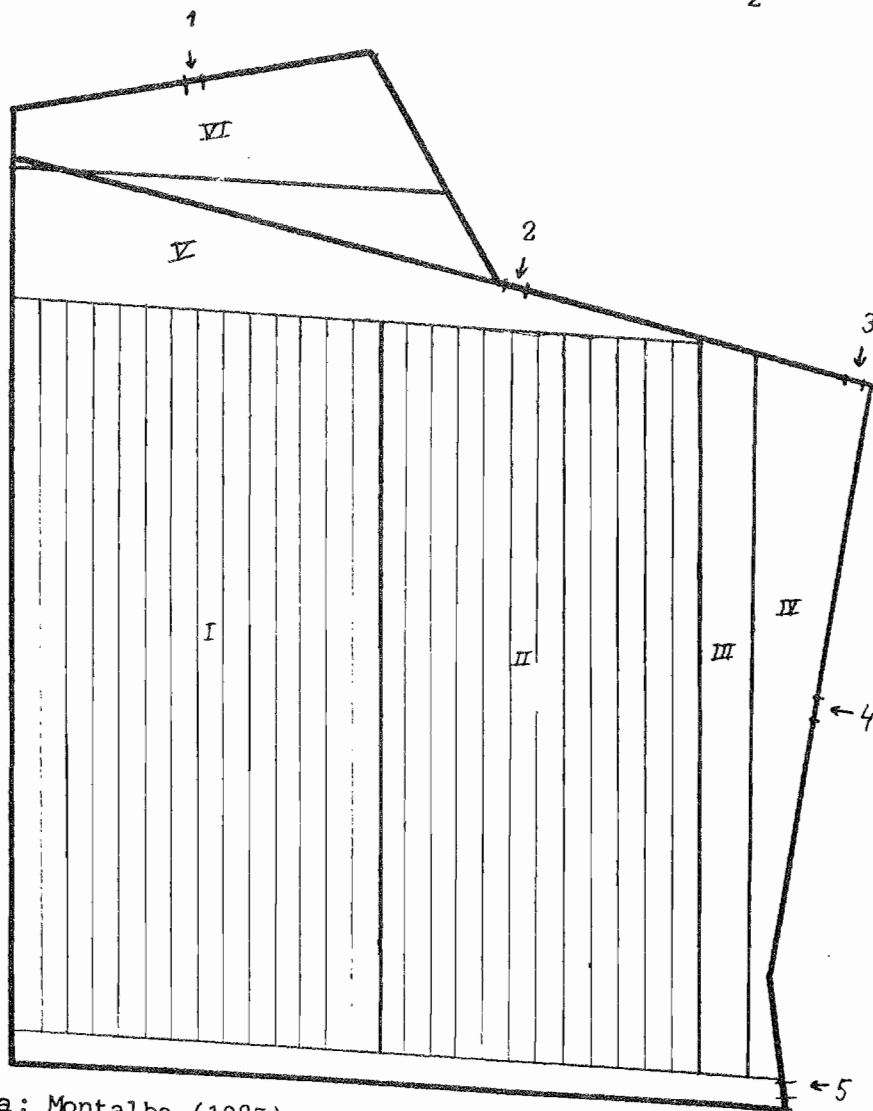
- Gödselspridningen antas ske på hösten före plöjning, varför den omedelbara effekten av packningsskadorna, som uppkommer under påföljande odlingssäsong vid vårspredning, elimineras. Däremot kvarstår den fleråriga efterverkan. Denna efterverkan har ebbat ut efter cirka fem år enligt Håkansson (1984). De första åren är verkan störst och sedan avtar den. I beräkningarna antas att 50 % av den totala efterverkan uppkommer under första året, 25 % under andra året och 12,5 % under tredje och fjärde året.
- Spridningen antas ske med en 12 tons gödseltunna med en spridningsbredd på 5 m.
- Gödselgivan antas vara cirka 80 ton/ha.
- Fältets areal är 10,1 ha.
- Skördenivån för vårstråsäd antas ligga på 5 000 kg/ha.
- Nettopriset (inlösenpris minus torknings- och transportkostnad) uppgår till 1 kr/kg för vårstråsäd.

Beräkningarna har gjorts för lerhalten 15 %, 30 % respektive 45 %.

Figur 1a. Fält där flytgödsel sprids enligt grundalternativet. In/utfarter har markerats med pilar (↑).

På fältet sprids totalt 73 lass. Fältet har delats in i sex avsnitt enligt skissen. Först gödslas avsnitt I och II där längden på avsnitten motsvarar ett kördrag (d v s sträckan för att tömma tunnan). Därefter gödslas övriga avsnitt. Följande in/utfarter har använts för de olika avsnitten på fältet:

<u>Fältavsnitt</u>	<u>Infart</u>	<u>Utfart</u>
I	5	1
II	5	2
III	3/5	5/3
IV	3/4	4/3
V	2	2



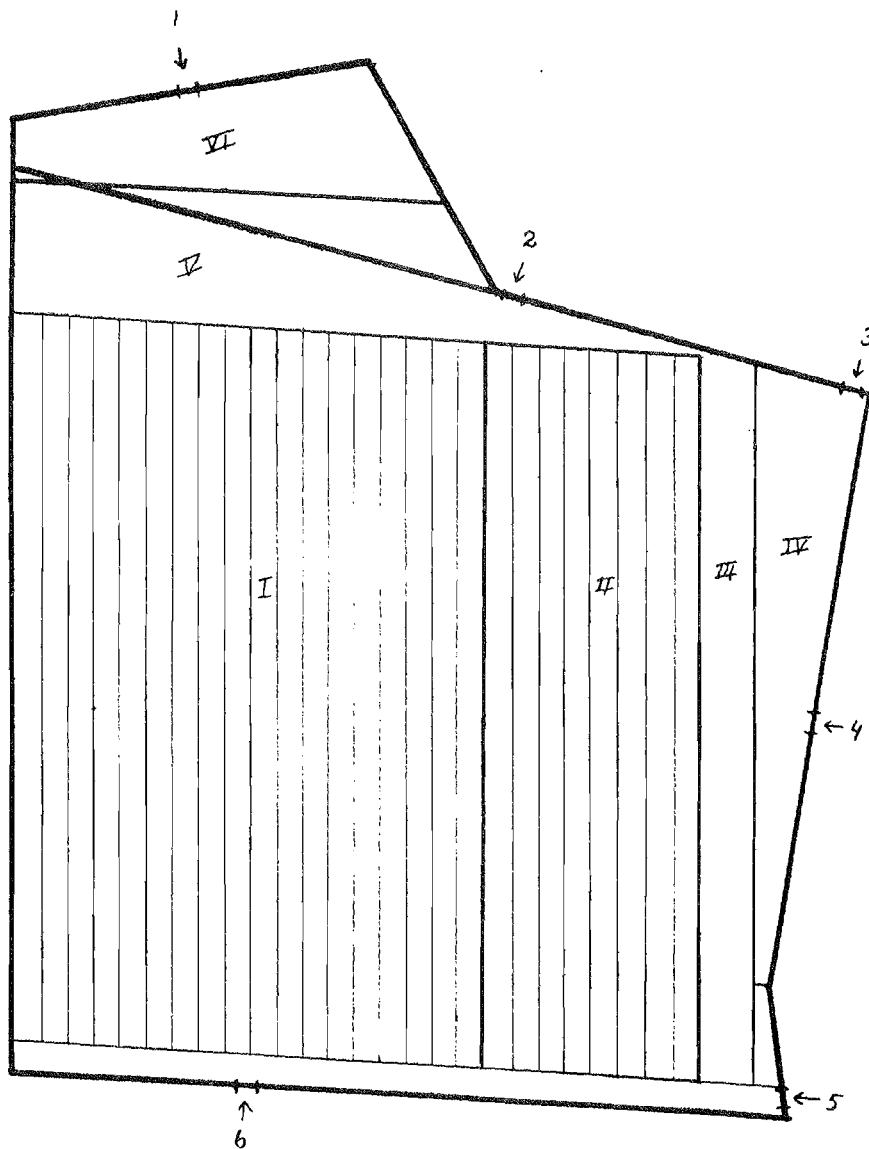
Källa: Montalba (1985)

Figur 1b. Fält där flytgödsel sprids enligt en alternativ beräkning, vilket innebär att fältet har ytterligare en in/utfart jämfört med grundalternativet. In/utfarter har markerats med pilar (↑).

I detta fallet har fältet ytterligare en in/utfart (nr 6). Endast körningen på avsnitt I och II påverkas. Avsnitt I blir större, se skissen. In- och utfarterna utnyttjas enligt följande:

<u>Fältavsnitt</u>	<u>Infart</u>	<u>Utfart</u>
I	6	1

I övrigt utnyttjas in- och utfarter som i figur 1a.



Källa: Montalba (1985)

Resultat

Beräkningarna enligt grundalternativet blir följande:

Körningen på fältet (enligt figur 1a) resulterar i 51 tonkm/ha. Av tabell 1 framgår kostnaden för respektive år för packningens efterverkan vid olika lerhalter. Beräkningarna gäller för odling av vårstråsäd. Om t ex höstvetete odlas, blir kostnaden för packningsskadorna högre eftersom priset på höstvetete är högre.

Tabell 1a. Kostnaden för packningsskadornas efterverkan vid flytgödselspridning. Körningen på fältet antas ha skett enligt figur 1a. Beräkningarna gäller vårstråsäd. Kr/ha och år respektive den totala kostnaden år 1 - år 4. Prisnivå september 1985.

Lerhalt	Kr/ha och år				Totalt år 1-år 4
	År 1	År 2	År 3	År 4	
15 %	17	8	4	4	33
30 %	51	25	13	13	102
45 %	89	45	22	22	178

Källa: Egen sammanställning utifrån Håkansson (1984) samt Montalba (1985)

Av tabellen ovan framgår att kostnaden för packningsskadornas efterverkan tilltar kraftigt med stigande lerhalt. Vid 15 % lerhalt uppgår kostnaden totalt år 1 - år 4 till 33 kr/ha. Vid 45 % lerhalt blir summan 178 kr/ha.

Om fältet har en extra in/utfart enligt figur 1b, blir körmängden i stället 46 tonkm/ha. Kostnaden för packningens efterverkan enligt detta alternativ återfinns i tabell 1b.

Tabell 1b. Kostnaden för packningsskadornas efterverkan vid flytgödselspridning. Körningen på fältet antas ha skett enligt figur 1b (d v s fältet har en extra in/utfart jämfört med grundalternativet). Beräkningarna gäller vårstråsäd. Kr/ha och år respektive den totala kostnaden år 1 - år 4. Prisnivå september 1985.

Lerhalt	Kr/ha och år				Totalt år 1-år 4
	År 1	År 2	År 3	År 4	
15 %	15	7	4	4	30
30 %	46	23	11	11	91
45 %	80	40	20	20	160

Källa: Egen sammanställning utifrån Håkansson (1984) samt Montalba (1985)

Den totala kostnaden år 1 - år 4 för packningens efterverkan blir 33 kr/ha vid en lerhalt på 15 % enligt förutsättningarna för grundalternativet och 30 kr/ha enligt den alternativa beräkningen med en extra in/utfart. Totalt för hela fältet blir kostnaden 333 år enligt grundalternativet. Enligt den alternativa beräkningen blir summan 300 kr. Motsvarande beräkningar för 45 % lerhalt, ger en total kostnad för hela fältet på 1 800 kr enligt grundalternativet och 1 600 kr enligt den alternativa beräkningen. Denna beräkning är emellertid en förenkling och en överskattning av de framtida kostnaderna eftersom nuvärdet blir lägre vid en positiv realränta.

I det fall då det finns en extra in/utfart på fältet, blir kostnaden för jordpackningens efterverkan totalt år 1 - år 4 för fältet 30 kr respektive 200 kr lägre än enligt grundalternativet vid 15 % respektive 45 % lerhalt. Här finns således ett visst utrymme för att iordningställa en extra in/utfart, särskilt om lerhalten är hög.

Slutsatser

De här presenterade beräkningsexempeln visar betydelsen av planering av körningen på fältet och utnyttjandet av befintliga in/utfarter. För att beräkna ett investerings-
tak för den extra in/utfarten på fältet, behöver även den minskade körmängden vid andra arbeten beaktas. Detta gäller särskilt arbeten där höga totalvikter förekommer i kombination med fuktiga förhållanden och aggressiv däckutrustning enligt Håkansson (1984). Exempel på sådana arbeten kan vara potatisskörd och kalkning. Andra arbeten där planeringen av körningen är viktig är vallskörd (många arbetsoperationer eller tunga ekipage kan förekomma). Här bör påpekas att packningens efterverkan får ökad betydelse med stigande lerhalter.

Det är vanskligt att dra några generella slutsatser om t ex huruvida det är företagsekonomiskt lönsamt att ordna med ytterligare in/utfarter till fälten. Av beräkningarna kan man emellertid dra slutsatsen att det är viktigt att planera hur körningen skall genomföras för att körmängden skall kunna minimeras. Vidare är det viktigt att utnyttja de in/utfarter som redan finns.

Vidare bör påpekas att kördragens längd stämmer ganska väl överens med fältets längd i de presenterade exemplen. Vid maskininköp bör därför en samordning mellan fältformer och redskapsstorlek ske.

Referenser

- Andersson, A-K. 1986. Ekonomiska aspekter på jordpackning. Konsulentavdelningens rapporter. Allmänt 84, sidan 20:1-20:11. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Håkansson, I. 1984. Jordpackning. Forskning och praktik 4:1984. Statens lantbruksinformation, Jönköping.
- Montalba, F. 1985. Räkneexempel på packningsgraden på verkliga fält - blötgödselspridning, skördetröskning och betskörd på fem olika fält. Opublicerat arbete. 180.

NATURRESURSEKONOMISKA KONSEKVENSER AV ALVPACKNING

Vad menas egentligen med naturresursekonomiska konsekvenser? Som frågan skall tas upp här, gäller det främst åkerresursernas bidrag till samhällets välfärd, nu och i framtiden. Vilken ekonomisk avkastning utnyttjande av resursen ger. Vilken produktion av livsmedel som erhålls, och som kan erhållas vid livsmedelskriser, etc. Och i detta perspektiv kan alvpackningen innebära kännbar skada. I värsta fall skulle t ex åkermarkens minskade produktionspotential beräknas motsvara förlusten av 140`000 hektar genomsnittlig svensk åker. Troligen är denna åkerförlust irreversibel, oåterkallelig.

Resursen jordbruksmark

Jordbruksmarken är en s k fondresurs. Det innebär att den består av en stock som förmår ge ett förnyelsebart flöde av produkter. Utnyttjande av fondresursers flöde tär i princip inte på resursstorleken. Stocken av resursen jordbruksmark kan dock avsiktligt eller oavsiktligt ökas eller minskas genom mer eller mindre irreversibla processer.

Jordbruksmarksresursernas storlek har både en kvantitativ aspekt (hektar) och en kvalitativ (bördigheten). Edafiska (jord-), klimatiska och topografiska bördighetsfaktorer bestämmer i samverkan markens avkastningsförmåga. Faktorerna kan beskrivas med hjälp av en uppsättning ståndortsp parametrar, t ex katjonbyteskapacitet, genomsläpplighet, juninederbörd etc. Antalet mer eller mindre viktiga bördighetsfaktorer liksom kombinationsmöjligheterna av delfaktorer är i det närmaste oändligt.

Resurstillgångarna av jordbruksmark går att ange på två huvudsätt. Antingen kan själva stocken kvantifieras med hjälp av mått på yta (hektar åker och bete) och på ett antal utvalda, viktigare ståndortsp parametrar. Ett annat sätt är att den odlade markresursen beskrivs utifrån sin förmåga att generera ett flöde av skördeprodukter. Resursens storlek anges då som dess produktionskapacitet mätt i fysisk- eller ekonomisk avkastningsförmåga. Den studie som redovisas nedan har utförts enligt dessa senare sätt.

Problembilden

Packningsskadorna i alven beror huvudsakligen på fordonets totalvikt, jordens lerhalt och markfuktigheten vid packningstillfället. Skador under 40 cm jorddjup uppstår då axelbelastningen är större än ca 6 ton.

Riskerna för alvpackning varierar mellan olika grödor och olika regioner. Stora maskiner och traktorer är vanligast i slättbygderna. Sockerbets- och potatisodlingen ger de största skadorna. I vall- och spannmålsodlingen uppkommer alvpackning vid bruk av stora blötgödseltunnor resp spannmålskärror.

Det är i första hand volymen grovporer i jorden som minskar, vilket resulterar i försämrad genomsläpplighet för luft, vatten och rötter. Syrebrist, dräneringsproblem, försenad

upptorkning mm medför att brukningen försvåras och avkastningen reduceras. Enligt det synsätt på markresurserna som anlades ovan innebär alvpackningen att ett antal bördighetsfaktorer försämras så att resursen krymper.

Till skillnad från i matjorden har plöjning, tjäle, upptorkning och biologiska processer föga eller ingen uppluckrande effekt på alven. Möjligheterna att genom alvluckring eller på annat sätt upphäva skadorna förefaller vara små. Kompaktering under 40 cm djup bedöms därför bestå i åtminstone decennier, oberoende av klimat- och jordartsförhållanden. De irreversibla skadorna ackumuleras över tiden.

Metod

Undersökningen syftar till att beskriva hur alvpackningen kan påverka åkerresursernas fysiska respektive ekonomiska avkastningsförmåga nationellt och regionalt. Åkerresursernas avkastningsförmåga har först beräknats för år 1983, och därefter för ett tänkbart alvpackningsscenario om nuvarande utvecklingstrender inte bryts.

Den fysiska avkastningsförmågan 1983 anges av kvävekorrigerade normskördevärden för korn. Korn har ansetts vara en bra representantgröda, dels därför att den odlas över hela landet, dels därför att kornskördarna väl speglar skillnader i bördighet. Korrigeringen av normskördevärdena har föranletts av att gödslingsintensiteten varierar starkt vilket ger skillnader i normskördevärden som ej motsvarar faktiska skillnader i markkvalité. Beräkningarna har utförts för vart och ett av landets 420 klimat- och jordartsmässigt homogena skördeområden, varefter värdena aggregerats till regional och nationell nivå.

Den ekonomiska avkastningsförmågan beräknas som skillnaden mellan växtodlingens intäkter och särkostnader i respektive skördeområde. Intäkterna erhålles genom att areal av varje gröda multipliceras med grödans normskörd och normpris, varefter produkterna summeras och divideras med totalarealen. Särkostnaderna kalkyleras på ett liknande sätt genom att särkostnaderna för varje gröda vägs mot arealen. Beräkningarna baseras på SCB:s skördeskadeskyddsstatistik och på konsulentavdelningens områdeskalkyler (SLU).

Åkermarkens fysiska avkastningsförmåga i ett alvpackningsscenario erhålls då skördeområdenas avkastningsförmåga för 1983 multipliceras med en packningsfaktor (<1). Denna faktor bestäms av:

- Alvpackningens skördereducerande effekt (2-9%) på olika jordarter, enligt försöksresultat från markvetenskapliga institutionen, SLU.
- Skördeområdets dominerande jordart (lerhalten), enligt Atlas över Sverige(1953).
- Skördeområdets grödfördelning, dvs risken för att alven skall bli utsatt för kompaktering.

Vid beräkning av alvpackningsscenarioets ekonomiska avkastningsförmåga multipliceras intäkterna med packningsfaktorn, eftersom de är proportionella mot skördeminskningen, och kostnaderna antas vara oförändrade.

De naturresursekonomiska konsekvenserna

Alvpackning ger upphov till två slags naturresursekonomiska konsekvenser, som båda medför välfärdsförluster. Dels innebär möjligheterna till s k insatsfaktorsubstitution att förbrukningen av övriga resurser, t ex arbete eller gödselmedel,

behöver ökas för att man skall ernå en viss produktionsvolym. Dels minskar åkerresursernas avkastningsförmåga i likhet med vad som beskrivs nedan.

Den svenska åkermarkens genomsnittliga ekonomiska avkastningsförmåga minskar till följd av de antagna irreversibla jordpackningsskadorna i alven från 570 till 490 kr/ha. De tre produktionsområden där minskningen förväntas bli störst är Gss (1860 --> 1730 kr/ha), Gns (1020 --> 920 kr/ha) och Ss (570 --> 470 kr/ha).

Produktionsområde	Åkerklass										Totalt
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Götalands södra slättbygder	0	0	0	0	11533	60212	78619	57382	143538	0	351284
Götalands mellanbygder	0	0	15637	56232	69039	77729	96774	12894	0	0	348305
Götalands norra slättbygder	0	0	3271	32641	162273	76912	181355	14029	0	0	470481
Svealands slättbygder	0	0	35723	160112	266509	220767	0	0	0	0	683111
Götalands skogsbygder	0	0	19073	257396	219422	63040	0	0	0	0	558931
Mellersta Sveriges skogsbygder	34680	30756	79736	64561	0	0	0	0	0	0	209733
Medre Morrländ	3581	106047	70508	0	0	0	0	0	0	0	180136
Övre Morrländ	15312	126323	0	0	0	0	0	0	0	0	142635
Bela riket	54573	263126	223948	570942	748776	498660	356748	84305	143538	0	2944616

Tabell 1: Produktionsområdenas åkerresurser graderade i 10 klasser vid ett jordpackningsscenario. Åkerklass 10 har högst ekonomisk avkastningsförmåga. Hektar.

Källa: Hasund (1986).

Åkermarkens fysiska avkastningsförmåga minskar inte lika mycket som dess ekonomiska. Vid gödslingsnivån 90 kg N/ha så sjunker avkastningsförmågan från 3⁵⁶⁰ till 3⁴⁹⁰ kg kornekvivalenter per hektar i genomsnitt för riket. Med utgångspunkt från föreliggande försöksdata och gjorda antaganden om risk att packning skall inträffa, visar således beräkningarna att åkerresurserna mätt i fysisk avkastningsförmåga minskar med i genomsnitt 2%. Annorlunda uttryckt: packningsskadorna i alven kan medföra att produktionspotentialen minskar lika mycket som om man oåterkalleligt förstörde - t ex bebyggde - 56⁰⁰⁰ hektar standardåker. (Ett hektar standardåker motsvarar i avkastningsförmåga ett hektar genomsnittlig svensk åker). Skulle vi ändra på antagandena genom att bortse från att riskerna för höga axeltryck skiljer sig mellan olika grödor, och i stället anta att all mark förr eller senare kommer att belastas av något mycket tungt fordon, så minskar sannolikt åkerresursen med ca 5%, motsvarande 140⁰⁰⁰ standardhektar (se tabell 4).

Produktions- område	Gödselkorrigerad ¹⁾ kornnormskörd 1983 kg/ha	Kornnormskörd i alvpack.scenario kg/ha	Normskörde- sänkning kg/ha
Götalands södra slättbygder	4 450	4 361	89
Götalands mellanbygder	3 603	3 550	53
Götalands norra slättbygder	3 886	3 802	84
Svealands slättbygder	3 514	3 426	88
Götalands skogsbygder	3 343	3 295	48
Mellersta Sveriges skogsbygder	2 901	2 853	54
Nedre Norrland	2 982	2 933	51
Övre Norrland	2 881	2 848	33
Hela riket	3 557	3 488	69

1) Korrigerad till gödslingsnivå 90 kg N/ha

Tabell 2: Alvpackningens effekt på åkermarkens fysiska avkastningsförmåga.

Källa: Egna beräkningar enligt metodbeskrivning i Hasund(1986)

Produktions- område	Åkerareal	Kvalitativ areal ¹⁾	Alvpackningseffekt omräknad till mot- svarande arealförlust Standardhektar
	Hektar	Standardhektar	
Götalands södra slättbygder	251 284	439 500	8 700
Götalands mellanbygder	348 305	352 900	5 300
Götalands norra slättbygder	470 481	514 100	11 100
Svealands slättbygder	683 111	674 900	16 900
Götalands skogsbygder	558 931	525 400	7 600
Mellersta Sveriges slättbygder	209 733	171 100	2 900
Nedre Norrland	180 136	151 000	2 500
Övre Norrland	142 635	115 600	1 400
Hela riket	2 944 616	2 944 500	56 400

Tabell 3: Alvpackningens skördenedsättande effekt omräknad till motsvarande arealförlust i riskavvägt framtidsscenario.

Källa: Egna beräkningar enligt metodbeskrivning i Hasund(1986)

Produktions- område	Åkerareal	Kvalitativ areal ¹⁾	Alvpackningseffekt omräknad till mot- svarande arealförlust
	Hektar	Standardhektar	Standardhektar
Götalands södra slättbygder	251 284	439 500	21 000
Götalands mellanbygder	348 305	352 900	11 700
Götalands norra slättbygder	470 481	514 100	31 400
Svealands slättbygder	683 111	674 900	47 200
Götalands skogsbygder	558 931	525 400	17 100
Mellersta Sveriges slättbygder	209 733	171 100	6 600
Nedre Norrland	180 136	151 000	5 100
Övre Norrland	142 635	115 600	2 700
Hela riket	2 944 616	2 944 500	142 700

1) Vid gödslingsnivå 90 kg N/ha. Index: Rikets genomsnitt = 1,00

Tabell 4: Alvpackningens skördenedsättande effekt omräknad till motsvarande arealförlust i scenario där all mark antas bli utsatt för kompaktering av alven.

Källa: Egna beräkningar enligt metodbeskrivning i Hasund(1986)

Litteratur

Hasund, Knut Per, 1986: Jordbruksmarken i naturresurs-ekonomiskt perspektiv. Institutionen för ekonomi och statistik, Sveriges Lantbruksuniversitet. Rapport. 269.

Henriksson, L & Håkansson, I, 1985: Markskador av maskiner med hög axelbelastning. Betodlaren. 4: 259-262.

Håkansson, Inge, 1984: Jordpackning. Statens Lantbruksinformation. Forskning och praktik. 4.

Håkansson, Inge, 1985: Swedish experiments on subsoil compaction by vehicles with high axle load. Soil use and management. 1985:4.

POSTERUTSTÄLLARE

Antti Jakkola	Jordpackningens inverkan på markluften i ett kärlförsök.
Anssi Väättänen	Juko Trimax - Kombisåmaskin.
Tore Sveistrup	Jordpackning och husdjursgödsel. Inverkan på jord och avkastning.
Magnus Elinder	Körintensitet och spår fördelning.
Inge Håkansson	Bestämning av packningsgraden i matjorden.
Bleckert Lagerfelt	Lågtrycksdäck på tunga maskiner.
Tomas Siöland/ Christer Rosberg	Plöjning med breda däck.

MEDVERKANDE VID EXKURSIONEN TILL ULTUNA

Göran Kritz	Guidning längs färdvägen.
Lennart Henriksson/ Birger Danfors	Maskindemonstration: Möjligheter att minska jordpackningen.
Alf Browén	Demonstration av ett mobilt mätsystem för mätning av traktorers effekt- och bränsleförbrukning m.m. vid arbeten med olika redskap.
Hans Jørgen Olsen	Utrustning för penetrometermätningar.
Tomas Siöland	Utrustning för mätning av tryck under hjul.
Inge Håkansson	Bestämning av packningsgraden i matjorden.
Lave Persson	Uttagning av lysimetrar.

SAMMANFATTNING AV DISKUSSIONERNA

I diskussionerna tog man bl.a. upp möjligheterna att begränsa packningen eller att motverka dennas negativa verkningar. Då förhållandena varierar starkt, är det av både biologiska, tekniska och ekonomiska skäl nödvändigt att anpassa åtgärderna till aktuella förutsättningar. Det ansågs angeläget att söka utveckla paket av undersöknings- och beräkningsmetoder, som kan användas på enskilda gårdar för att diagnostisera jordarnas aktuella strukturtillstånd och behovet av förbättringsåtgärder (fysikalisk markkartering) samt för att beräkna sådana åtgärders effekter på marken och grödan. Detta skulle möjliggöra en anpassning av bruksmetoder, maskinutrustning m.m. till lokala förutsättningar och en ekonomisk optimering med hänsyn både till kortsiktiga mål och till jordarnas långsiktiga produktionsförmåga.

I praktiken måste man göra en mängd val, exempelvis mellan lätta maskiner med långa körsträckor och tunga maskiner med korta körsträckor eller mellan billiga däck som ger stor jordpackning och dyra däck som ger liten packning. För traktorerna skall vikt, effekt och redskapsstorlek avpassas, så att man får lämpligaste avvägning mellan körsträcka och slirning, dvs. mellan ren packning och ältning. Detaljstudier av den kvantitativa betydelsen av en mängd variabler av här antytt slag är ett viktigt område för ny forskning och en förutsättning för rättvisande ekonomiska beräkningar.

Många av de forskningsresultat som kommit fram har ännu inte utnyttjats vid utformningen av maskiner eller bruksmetoder. Det är viktigt att sådana resultat tillrättaläggs och förs ut till jordbrukare och maskintillverkare, så att de kan läggas till grund för förbättring av maskiner och metoder. Bland detaljer i maskinkonstruktionerna som bör utvecklas nämndes anordningar för snabb anpassning av lufttrycken i däcken till körförhållandena. Det framkastades också att maskinerna kanske borde säljas utan hjulutrustning, så att varje jordbrukare själv kunde välja hjul efter sina förhållanden.

När det gäller ny forskning framhölls det som väsentligt att jordpackningsproblemen i samband med reducerad jordbearbetning (plöjningsfri odling och direktsådd) studeras. Dels behövs kunskap om jordpackningens effekter vid slopad plöjning; dessa skiljer sig nämligen från dem vid traditionell brukning. Dels behöver man veta, hur mycket jordbearbetningen kan reduceras, om jordpackningen minskas radikalt, och hur detta påverkar produktionskostnaderna. Andra nya forskningsuppgifter som nämndes var sambanden mellan markens fysikaliska och kemiska egenskaper. Vidare framhölls att de organogena jordarna hittills beaktats i för liten omfattning. I många fall bör effektiviteten i forskningen kunna förbättras genom nordiskt samarbete och nordisk arbetsfördelning.

I.H.

RAPPORTER FRÅN JORDBEARBETNINGSAVDELNINGEN

- NR ÅR
- 52 1977 Arne Ljungars: Olika faktorerers betydelse för traktorernas jordpackningsverkan. Mätningar 1974-1976. 43 s.
Importance of different factors on soil compaction by tractors. Measurements in 1974-1976. 43 p.
- 53 1977 Inge Håkansson & József von Polgár: Modellförsök med såbäd-
dens funktion. II. Försök med skiktade och oskiktade såbä-
dar. 22 s.
Model experiments into the function of the seedbed. II. Experiments with stratified and unstratified seedbeds. 22p.
- 54 1978 Ulf Olsson: Harvens konstruktion och harvningens utförande -
inverkan på bearbetningsresultatet. 28 s.
*Influence of harrow construction and harrowing on the till-
age result. 28 p.*
- 55 1978 Olle Wallbom & Kjell Wretler: Förekomsten av några viktiga
växtskadegörare vid plöjningsfri odling. 29 s.
*Occurrence of some important plant diseases on ploughless
cereal cropping. 29 p.*
- 56 1978 Åke Huhtapalo: Kombisådd av kväve och fosfor till vårsådd.
27 s.
*Combi-drilling of nitrogen and phosphorus with spring cere-
als. 27 p.*
- 57 1979 Inge Håkansson: Försök med jordpackning vid hög axelbelast-
ning. Markundersökningar 1-2 år efter försökens anläggande.
15 s.
*Experiments with soil compaction at high axle load. Soil
investigations 1-2 years after the experimental compaction.
15 p.*
- 58 1979 Inge Håkansson & József von Polgár: Modellförsök med såbäd-
dens funktion. III. Försök med syrebrist i såbädden. 17 s.
Model experiments into the function of the seedbed. III. Experiments with oxygen deficiency in the seedbed. 17 p.
- 59 1980 Tomas Rydberg: Storparcellförsök med plöjningsfri odling,
1976-78. 21 s.
Big-plot experiments with ploughless farming, 1976-78. 21 p.
- 60 1980 Working group on soil compaction by vehicles with high axle
load. Report of meeting in Uppsala 1980. 56 p.
- 61 1981 Behovet av forskning och försök inom mark-teknikområdet. En
inventering utförd av samarbetskommittén för mark-teknik vid
Sveriges Lantbruksuniversitetets Lantbruksvetenskapliga fakul-
tet. Sekreterare: Lennart Henriksson. 46 s.
- 62 1981 Skördevariationerna i växtodlingen - orsaker och motåtgärder
Seminarium anordnat av Samarbetskommittén för Mark-Teknik på
Ultuna 1981-04-09. 64 s.
- 63 1981 Nils M. Nilsson: Plöjningsdjup och tiltbredder vid höstplöj-
ning. 30 s.
*Ploughing depths and widths of furrow slice in autumn's
ploughing. 30 p.*
- 64 1982 Jan Cederlund: Kombinerad bearbetning och sådd (harvsådd).
Examensarbete. 54 s.
- 65 1983 Göran Kritz: Såbäddar för vårstråsådd. En stickprovsundersök-
ning. 187 s.
*Physical conditions in cereal seedbeds. A sampling investi-
gation in Swedish spring-sown fields. 187 p.*
- 66 1983 N.M. Nilsson: Höst- eller vårplöjning till vårsådd på kapil-
lära jordar. Resultat från 12 fältförsök åren 1971-75. 57 s.
*Autumn- or spring ploughing before spring sowing on capil-
lary soils. Results from 12 field trials during 1971-1975.
57 p.*
- 67 1984 Berth Mårtensson: Harvsådd - Preliminära försöksresultat
1979-83. 20 s.
*Once-over sowing - Preliminary results of trials 1979-1983.
20 p.*
- 68 1984 Mats Edh: BANDSÅDD - en studie av olika billar för bandsådd.
Examensarbete. 44 s.
- 69 1984 József von Polgár: Vältning efter vårsådd. 16 s.
Rolling after spring sowing. 16 p.
- 70 1986 Tomas Rydberg: Markfysikaliska och markkemiska effekter av
plöjningsfri odling i Sverige. 35 s.
*Effects of ploughless tillage on soil physical and soil che-
mical properties in Sweden. 35 p.*
- 71 1986 Jordpackning: Skördepåverkan - Motåtgärder - Ekonomi.
Rapport från NJF-seminarium i Sigtuna 28-30 oktober 1986. 187 s.
Soil compaction: Effects - Counter-measures - Economy. 187 p.

Denna serie av stencilerade rapporter utges från Sveriges Lantbruksuniversitets institution för markvetenskap, avdelningen för jordbearbetning. Serien utkommer i fri följd och innehåller material, som inte alls eller först i ett senare sammanhang ges ut i tryck. Som exempel kan nämnas preliminära undersökningsresultat och försökssammansättningar, primärmaterial och tabellbilagor till tryckta publikationer samt rapporter, meddelanden o. d., som av olika skäl vänder sig endast till en begränsad grupp av läsare. Serien finns tillgänglig vid avdelningen och kan i mån av tillgång erhållas därifrån.

Adress: Avdelningen för jordbearbetning, Sveriges Lantbruksuniversitet, 750 07 UPPSALA.

Vinjetten på första omslagssidan återger den s. k. Ultunaplogen, tillverkad på Ultuna slöjdverkstad omkring år 1850.

Pris 20:-