



Miljø- og
Fødevareministeriet

gudp

Langvarige forsøg med jordpakning

Tre flerårige forsøg med jordpakning ved gyllekørsel, påbegyndt i foråret 2010, viser forskellige effekter 5 og 8 år efter endt jordpakning. Forsøget i Tåstrup viser en tendens til lavere udbytte i parceller overkørt en gang i 2010 med 8 t hjullast og i parceller overkørt i 2010-2013 med 6 t hjullast. Der er signifikante merudbytter i 2018 af gødet olieræddike i 2013-2016 som efterafgrøde, som gennemsnitligt opvejer udbyttetabet af den foregående jordpakning, sammenlignet med ikke-overkørte parceller *uden* efterafgrøde. Den statistiske analyse viser ikke vekselvirkning mellem jordpakning og efterafgrøde.

Supplerende undersøgelser ved KU viser positiv effekt af efterafgrøder fra 2013-2016 på målt vegetationsindeks (RVI). Undersøgelser af jordstrukturen viser fortsat en signifikant større pakning i 30 og 50 cm's dybde ved overkørsel med 6 t hjullast (højeste last i Tåstrup) – og ingen jordlønende effekt af efterafgrøden.



FOTOS: ANNETTE V. VESTERGAARD, SEGES

Tv: Ved udgravning af jordprofil på tværs er der ikke set variation i rodudvikling som kunne relateres til kørespor fra nedfælder. Ved kørsel var jorden mærkbart hårdere, og smuldrede ikke så let og i større mere kantede klumper. Foto: Jens Peder Pedersen, SAGRO. Th: Gravet profil efter høst viste al-klumper med jernudfældninger og svært gennemtrængelige knolde under et skarpt afgrænset pløjelag.

Forsøget i Årslev viser en tendens til positiv udbytteeffekt (4 hkg kerne pr. ha i gennemsnit) af den foregående jordpakning og et signifikant udbyttetab af olieræddike i 2013-2016 i 5 ud af 6 led, med en LSD-værdi på 3,4 hkg kerne pr. ha.

I forsøget på Flakkebjerg er der tendens til lavere udbytte i led som er pakket frem til 2013 (i gennemsnit over 5 hkg kerne pr. ha). Derimod er der ikke udslag af efterafgrøden.

Formålet er både at undersøge eftervirkninger af tung trafik på jorden og potentialet for brug af olieræddike til biologisk jordløsning. De tre flerårige forsøg med jordpakning udføres i samarbejde med Aarhus og Københavns Universiteter. I årene 2010 til 2013 udførtes forskellig jordpakning ved kørsel med gyllevogne med 3, 6, 8 og 12 ton hjullast og en kontrolbehandling uden tung trafik. Pakningen er gennemført om foråret ved at overkøre det fulde areal "hjul ved hjul". I 2013 er alle parceller opdelt i 2 underparceller hhv. med og uden efterafgrøde (olieræddike). Efterafgrøden er etableret lige efter høst i årene 2013-2016, og der er tilført 30 kg kvælstof pr. ha ved såning. Behandlingerne adskiller sig også ved antal hjuloverkørsler:

- > Led 1: Referenceled uden overkørsler
- > Led 2 og led 5: 8 ton behandlingen har fire hjuloverkørsler (traktor plus 2-akslet gyllevogn)
- > Led 3: 3 ton behandlingen har fem hjuloverkørsler (traktor plus 3-akslet gyllevogn)
- > Led 4: 6 ton behandlingen har fem hjuloverkørsler (traktor plus 3-akslet gyllevogn)

TABEL 4. Forsøgsbehandling i jordpkningsforsøg

Forsøgsbehandling	Forsøgsled ved lokalitet			Overkørsel		Olieræddike + 30 N
	Taastrup ²⁾	Årslev ²⁾	Flakkebjerg ¹⁾	år 2010	år 2013-2016	
1. Ingen kørsel	x	x	x	-	-	Ja, faktor 2
2. 8 t, 1. år	x	x	x	x	-	Ja, faktor 2
3. 3 t	x	x	x	x	x	Ja, faktor 2
4. 6 t	x	x	x	x	x	Ja, faktor 2
5. 8 t	-	x	x	x	x	Ja, faktor 2
6. 12 t	-	x	-	x	x	Ja, faktor 2

¹⁾ Vårbyg i alle år.

²⁾ Vårbyg i 2010-2017, vinterhvede i 2018.

- > Led 6: 12 ton behandlingen har én hjuloverkørsel (3-hjulet selvkørende gyllevogn)

Forsøgsbehandlingerne på de forskellige lokaliteter kan ses i tabel 4. Bemærk, at til høst 2018 blev der etableret vinterhvede i Taastrup og Årslev, mens føret ikke gjorde det muligt i Flakkebjerg, som i stedet såede vårbyg. Specielt de pakkede forsøgsled umuliggjorde efterårsetablering, hvilket bekræfter den ringere dyrkningssikkerhed af pakket jord.

Nærmere beskrivelse af forsøgsbehandlingerne og tidligere resultater findes i Oversigt over Landsforsøgene 2010 til 2017.

Alle forsøg blev tørkeramte, som især har kostet udbytte i Flakkebjerg. Et lavt udbyttensniveau betyder, at variationen er forholdsvis stor i år.

Årets resultat afspejler 2. års eftervirkning af tre år med olieræddike forud for vårbyg. Endvidere følges eftervirkningen af høje hjullaster og dæktryk på udbytter, jordstruktur og plantevækst med og uden biologisk jordløsning og uden ekstra tilførsel af kvælstof. Når der tolkes på det gennemsnitlige udbyttetab for kørsel med høj hjullast, skal det fordeles ud pr. ha i marken, hvorved udslaget reduceres.

I tabel 5 ses udbytterne fra 2010 til 2013 i pkningsårene, samt udbytterne i 2018 med og uden olieræddike i 2013-2016. Kolonnen "Med olieræddike" viser, om der er positiv udbytteeffekt af efterafgrøden og om der har været en jordlønende effekt, hvis der er vekselvirkning.

Som gennemsnit af årene 2010-2013 med jordpakning, var der signifikante udbyttetab ved kørsel med traktor og gyllevogn. Det er dog kun led 1-4 som indgår på alle 3 forsøgslokaliteter.

I 2018 viser forsøget i Taastrup signifikante merudbytter af olieræddike tilført 30 kg kvælstof pr ha, størst i ubehandlet led og hvor det er 8 år siden sidste pakning. Merudbyttet er således lavere hvor jorden er pakket sidste gang i 2013, som kan indikere, at efterafgrøden ikke har samme potentiale for at udvikle sig i pakket jord.

Derimod er olieræddike signifikant tabsvoldende ved alle behandlinger i Årslev, ligesom i 2017, hvor det var 1. år efter efterafgrøden. Resultatet er bemærkelsesvæ-

TABEL 5. Udbytter i jordpakkingsforsøgene i 2010-2013 og i 2018. (Forsøgsnr. 08021-1418, 08022-1418 og 08023-1418)

Vårbyg/ Vinterhvede	Udbytte, hkg kerne pr. ha	Udb. og merudbytte i 2018, hkg kerne pr. ha								
		Taastrup, Vinterhvede			Årslev, Vinterhvede			Flakkebjerg, Vårbyg		
		Gennem- snit, 2010 - 2013	Uden olieræddike	Med olieræddike i 2016	Merudbytte for olieræddike	Uden olieræddike	Med olieræddike i 2016	Merudbytte for olieræddike	Uden olieræddike	Med olieræddike i 2016
<i>2010-2013: i alt 12 forsøg</i>										
1. Ingen kørsel	64,0	70,4	73,0	2,6	79,6	69,1	-10,5	44,4	44,3	-0,1
2. 8 t, 1. år	61,7	69,2	72,7	3,5	81,1	70,0	-11,1	45,1	48,1	3,0
3. 3 t	59,8	67,8	69,0	1,2	85,7	82,8	-2,9	40,9	41,9	1,0
4. 6 t	52,7	67,9	69,7	1,8	86,8	72,1	-14,7	36,4	38,0	1,6
5. 8 t	51,5	-	-	-	82,6	76,7	-5,9	38,7	36,0	-2,7
6. 12 t	61,2	-	-	-	82,0	72,9	-9,1	-	-	-
LSD	4,9	ns		1,8	ns		3,4	ns		ns

dig, idet olieræddike har en fhv. hurtig omsætning pga et lavt C/N-forhold og da den er gødsket ved etableringen.

Forsøget i Flakkebjerg viser ikke udbyttetab i parceller med seneste overkørsel for 8 år siden, men et ikke-signifikant udbyttetab på 7-8 hkg kerne pr. ha af pakning med 6 og 8 t hjullast i 2010-2013.

Jordens egenskaber ændres på flere måder ved jordpakningen, som kan have en mere langsigtet betydning for udbyttet. Dette kan være problemer med afvandingen, der medfører bløde pletter eller bløde spor i marken og dermed påvirker rettidigheden i marken eller problemer med fastkørsel.

Efterfølgende gengives resultater af målinger af fysiske forhold i forsøget i Taastrup ved KU.

Effekter på jord og afgrøde i Taastrup

> **LEKTOR CARSTEN PETERSEN OG AGRONOMSTUDERENDE REGITZE KLITHAV VESTERGAARD, INSTITUT FOR PLANTE- OG MILJØVIDENSKAB, KU SAMT SENIORFORSKER LARS J. MUNKHOLM OG POSTDOC MANSONIA PULIDOMONCADA, INSTITUT FOR AGROØKOLOGI, AU**

Formålet med målingerne i det langvarige jordpakkingsforsøg er, at få en bedre forståelse af planternes og jordens reaktion på jordpakning med tunge køretøjer i et pløjet dyrkningssystem. Spørgsmålene om hvordan jorden og afgrødevæksten påvirkes på lang sigt i årene efter pakningens ophør har særlig interesse. Forsøgsarealet er ikke behandlet med tunge køretøjer efter 2013, og der er ikke etableret nogen efterafgrøde efter 2016 i forsøg på at mildne pakningsskaderne.

Forsøgsdesign og forsøgsbehandlinger er beskrevet i foranstående afsnit. Jorden er pløjet i ca. 25 cm dybde den

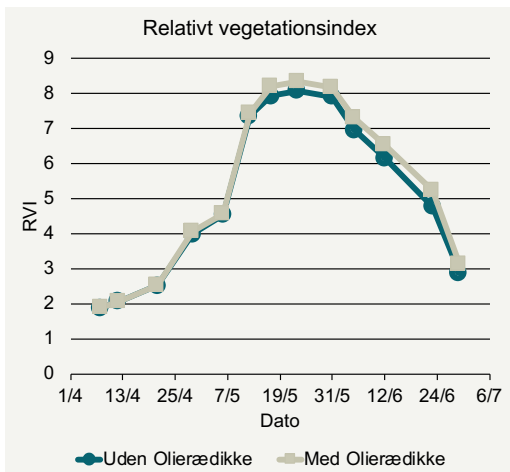
29. september, og der er sået vinterhvede under usædvanligt fugtige jordbundsforhold den 30. september 2017 efter 2 gange såbedstilberedning med rotorharve.

Plantevækst og jordvand

Plantebestanden vurderes sidst i marts at være jævn, om end lidt tyndere end optimalt. Det bratte omslag fra koldt til meget varmt, tørt og solrigt vejr i starten af april hæmmer den vegetative udvikling allerede inden jorden når at tørre ud i dybden. Buskningen er således meget mindre end normalt, og det relative vegetationsindeks (RVI) topper den 23. maj umiddelbart før skridning på værdier omkring 8,5 (se figur 7) mod ca. 13-15 i et normalt år. Ringe udnyttelse af gødning tilført på tør jord i april kan være medvirkende årsag. I månederne april, maj og juni falder der i alt 58 mm regn mod normalt 137 mm.

Der er ikke på noget tidspunkt målt sikre effekter af jordpakning på RVI. Derimod er der konsekvent fra 17. maj målt positiv eftervirkning af olieræddiken. Der er altså gennemgående lidt mere grøn top, hvor der i årene 2013-16 har været en efterafgrøde, som er tilført 30 kg kvælstof pr. ha ved såning. Dette tolkes ligeledes som tegn på dårlig udnyttelse af tilført kvælstofgødning i 2018. En RVI på 8,5 kan oversættes til et bladarealindeks på ca. 1,7, hvilket underbygger, at topmængden er så lille, at afgrøden ikke opnår fuldt jorddække. Der registreres krøllede blade i perioden efter skridning. Ringe buskning, lille bladareal og krøllede blade er velkendte symptomer på tørkestress.

Efterafgrøden har stadig i 2018 en lille positiv indvirkning på kerneudbyttet (se tabel 5), mens der ikke er effekt af pakningsbehandlinger eller nogen vekselvirkning. I overensstemmelse med resultaterne fra tidligere

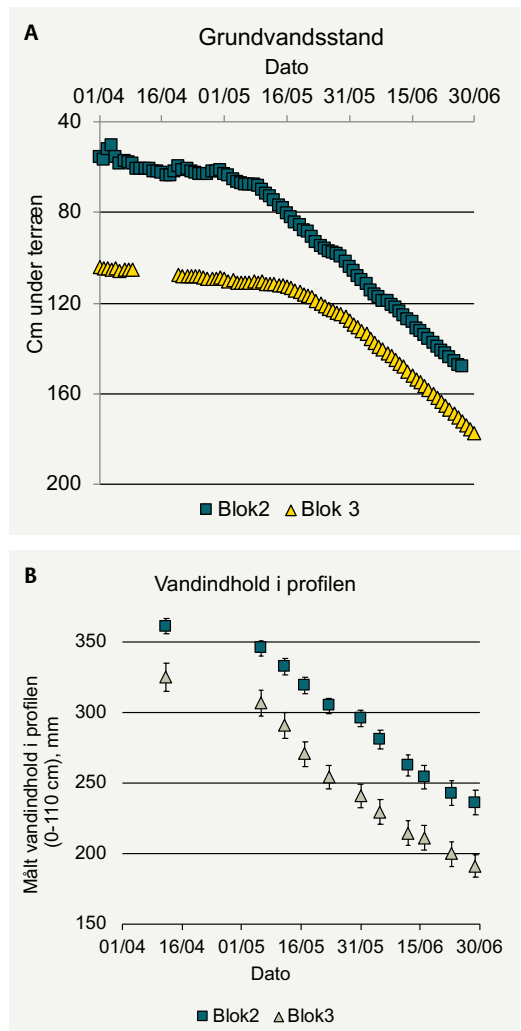


FIGUR 7. Relativt vegetationsindeks (RVI, gennemsnitsværdier for alle pakkingsniveauer hhv. med og uden olieræddike) samt indikation af udviklingsforløb. Efterafgrøden fra tidligere år medfører signifikant højere RVI fra 17. maj. Hvert enkelt målepunkt er baseret på 128 observationer dækkende hver ca. 1 m².

år er det altså ikke særligt fordelagtigt at have efterafgrøde i de pakkede forsøgsled. Gennemsnitsudbyttet på 70,4 hkg kerne pr. ha er lavere end normalt.

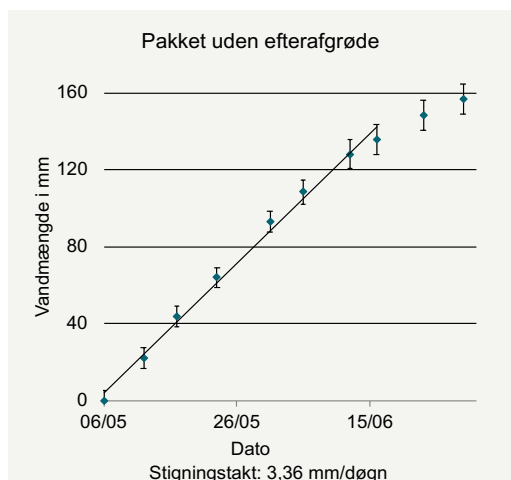
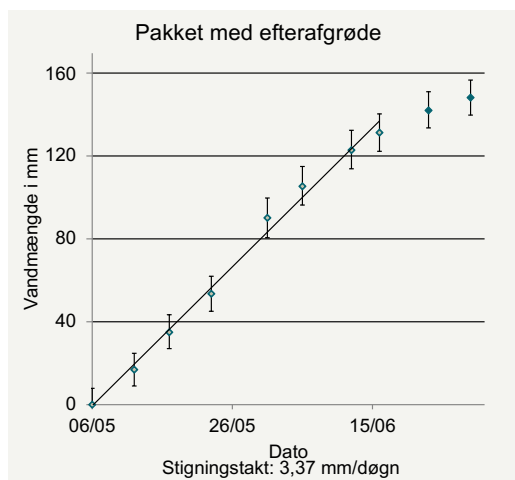
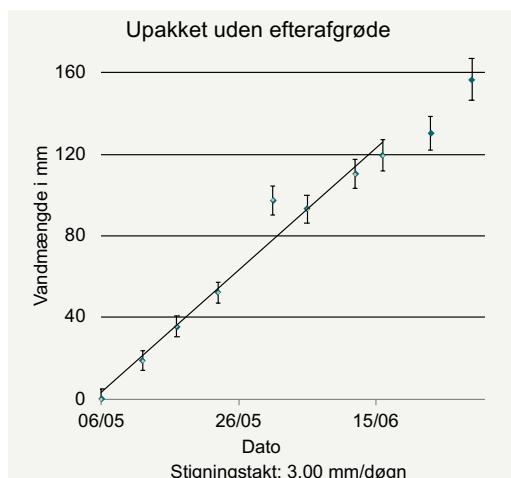
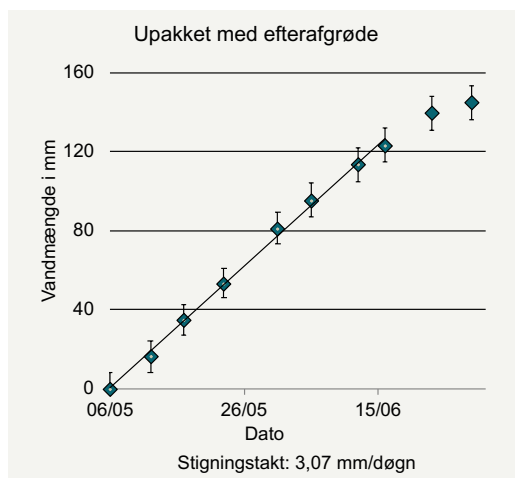
Der forventes en sammenhæng mellem planternes udvikling af rod og top, og den lille topmængde tyder derfor overordnet på ringe rodudvikling. Jordpakning forventes yderligere at hæmme rodudviklingen, men i modstrid med denne forventning, ses som nævnt ikke en negativ virkning af pakkingsbehandlingerne på topvækst og høstudbytte i tørkeåret 2018.

For at følge rodaktiviteten og forløbet af jordprofilens udtørring er der målt grundvandsstand og vandindhold i 8 forskellige niveauer af rodzonen (0 - ca. 110 cm dybde). Grundvandsstanden er høj og desuden noget forskellig i forsøgsområdet 4 forskellige blokke med yderlighederne vist i figur 8 a. Grundvandet ligger nærmest jordoverfladen i Blok 2, som er den højestliggende del af forsøgsarealet og i størst jorddybde i Blok 3, som ligger lavest i terrænet. Arealet er drænet i ca. 110 cm dybde, men det fremgår af figuren, at dræningen ikke er tilstrækkeligt effektiv i Blok 2. Forskellene i grundvandsstand kan bero på teksturelle variationer i dybden. Højtliggende grundvand hæmmer jordens afdræning, men kan også, når planterne optager vand, føre til en kapillær vandstigning til rodzonen. Grundvandsstanden falder imidlertid med



FIGUR 8. (A) Grundvandsstand under terræn og (B) samlet vandindhold i jordprofilen (0-110 cm; gennemsnitsværdier ± standardfej med n=8) målt i perioden 1. april - 30. juni.

helt uændret hastighed efter modenhed, og faldet drives derfor næppe i væsentlig grad af afgrødens vandforbrug. Som ventet måles gennemgående et noget højere samlet vandindhold i 0-110 cm dybde i Blok 2 med den højere grundvandsstand end i Blok 3 (se figur 8 b). Man kan forestille sig, at højere grundvandsstand og vandindhold i jorden er en fordel i et tørkeår som 2018, og at det vil føre til større topmængde og kerneudbytte. Det er imidlertid ikke tilfældet i Taastrup. Selvom der ikke visuelt ses nogen forskel er RVI nemlig konsekvent lidt højere i Blok 3 end i Blok 2 indtil 5. juni, hvorefter der ikke måles nogen forskel. Og der er ikke forskel på kerneudbyttet i



FIGUR 9.1 til 9.4. Opsummeret fordampning for perioden 6. maj til 29. juni beregnet som nedbør plus nedgang i rodzonens vandindhold (0-110 cm dybde). Resultaterne er vist for upakkede parceller og parceller pakket med 6 ton hullast, hhv. med og uden efterafgrøde (gennemsnitsværdier standardfejll; n=8). Fordampningen er nogenlunde konstant i perioden 6. maj - 16. juni og er vist som stigningstakter på figuren.

de to blokke, mens halmudbyttet er størst i den bedst afvandede Blok 3. Den høje grundvandsstand kan have hæmmet rodudvikling i dybden.

I starten af maj er hveden i strækningsfasen og grundvandsstanden begynder at falde. Hvis man i første omgang ser bort fra vandbevægelser ved bunden af rodzonen kan vandforbruget til fordampning beregnes efter vandbalancemetoden som nedbør plus nedgang i rodzonens vandindhold. Gennemsnitsværdier for således opsummeret fordampning regnet fra 6. maj ses i figur 9. Stigningstakterne udtrykker fordampningen i mm per døgn. Disse er nogenlunde konstante indtil ca. midten af

juni og derpå aftagende i overensstemmelse med de hastigt aftagende RVI-værdier. Som gennemsnit for perioden indtil 16. juni bestemmes fordampningen til at ligge på mellem 3,0 og 3,4 mm pr. døgn med tendens til lidt højere værdier i de pakkede led. Denne tendens modsvares af højere vandoptagelse allernederst i profilen (og derfor måske også fra jorden under 110 cm dybde) i de upakkede led. Tendensen kan også forklares ved en observeret, markant ringere afdræning fra jordlagene lige under pløjelaget i den pakkede jord, hvorfra der således hentes mere vand til fordampning. Betydeligt ringere afdræning fra pakkede jordlag under pløjelaget er også rapporteret i 2017.

Årets målinger af plantevækst og jordvand viser sammenfattende:

Ingen effekt af jordpakning på hverken topmængde eller kerneudbytte i tørkeåret 2018

- > Sikker eftervirkning af olieræddike, men ingen vekselvirkning med pakningsbehandlingerne
- > Lave udbytter skyldes snarere usædvanligt høje fordampningskrav kombineret med generelt mangelfuld buskning, rodudvikling og ringe udnyttelse af tilført gødning end vandmangel i jordprofilen som helhed.

Efterafgrøden har ikke nogen tydelig indvirkning, hverken på den samlede vandoptagelse eller på hvor i profilen vandet hentes. De beregnede fordampningsværdier er alle lave sammenlignet med periodens usædvanligt høje potentielle fordampning på 4,2 mm pr. døgn, altså den maksimale fordampning fra kortklippet græs beregnet ud fra vejrobservationer efter Penmans metode. Normalt vil hvede i denne periode have højere fordampning end velvandet græs, og de meget lavere værdier tolkes som endnu et udtryk for vandstress og lille bladareal. Vandstress forstærkes af høje fordampningskrav i kombination med ringe rodudvikling. Normalværdier for potentiel fordampning i Taastrup i månederne maj og juni er hhv. 3,0 og 3,5 mm pr. døgn.

Målinger af jordens vandindhold og RVI videreføres i 2019 for at understøtte modelberegninger af pakningens indflydelse på vand- og kvælstofhusholdning samt høstudbytter under varierende vejforhold.

Jordstruktur

I foråret 2017 er der udtaget ringprøver af jord i naturlig lejring fra 30-35 og 50-55 cm dybde i den upakkede referencebehandling og i behandlingen med 6 ton hjullast, i begge tilfælde såvel med som uden efterafgrøde. Tilsvarende prøver er udtaget i foråret 2014 (se Oversigten 2015). I laboratoriet er prøvernes vandindhold justeret så det svarer til jordens vandindhold om foråret før plantevæksten går i gang. I denne situation er alle jordens porer med diameter større end 0,03 mm luftfyldte. Jordens luftfyldte porevolumen (volumenet af porer > 0,03 mm) og dens luftledningsevne er målt. Sidstnævnte er et direkte mål for jordens evne til at lede luft og indikerer også for evnen til at bortlede overskudsvand. End-

TABEL 6: Effekt af trafik (6 ton hjullast) på volumenvægt, relativ pakningsgrad og luftfyldt porevolumen målt 4 år efter sidste pakning. Forskelle mellem pakningsbehandlinger er signifikante for hver dybde, mens der ikke er signifikant effekt af efterafgrøde

Målt egenskab	Dybde, cm	Reference (ingen tung trafik)		Pakket (6 ton hjullast)	
		Uden efterafgrøde	Med efterafgrøde	Uden efterafgrøde	Med efterafgrøde
Volumenvægt, g/cm ³	30	1,64	1,61	1,76	1,78
	50	1,61	1,6	1,65	1,65
Relativ pakningsgrad ¹⁾	30	1,07	1,06	1,15	1,17
	50	1,06	1,05	1,08	1,08
Luftfyldt porevolumen, % ²⁾	30	9,4	10,2	6,5	5,7
	50	13,9	15,2	11,6	10,6

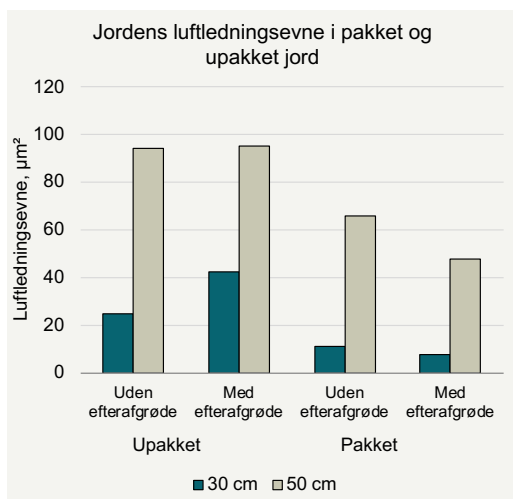
¹⁾ Relativ pakningsgrad = volumenvægt/referenceværdi for pakket jord. Værdier større end 1 indikerer kraftig pakning.

²⁾ Luftfyldt porevolumen inden plantevæksten går i gang om foråret.

videre er jordens volumenvægt bestemt og relateret til en beregnet kritisk grænseværdi for underjord med 25 procent ler.

Trafikbelastningen med 6 ton hjullast giver signifikant højere volumenvægt og mindre luftfyldt porevolumen end referencen i både 30 og 50 cm dybde (se tabel 6). Der er ingen effekt af efterafgrøden. Bemærk at volumenvægten i alle tilfælde (både pakket og reference) er højere end den kritiske værdi beregnet for jorden (relativ pakningsgrad >1), og at der i pakket jord er målt meget høje volumenvægte (~1,75 g pr. cm³) i 30 cm dybde (relativ pakningsgrad på 1,16). For luftfyldt porevolumen anvendes ofte 10 procent som kritisk grænseværdi – ved lavere værdier er der risiko for iltfattige forhold samt hæmning af rodvækst og biologisk omsætning i jord. Den pakkede jord har meget lav luftfyldt porevolumen i 30 cm dybde (< 7 procent) og værdier tæt på 10 procent i 50 cm dybde. I referencen er der også målt værdier omkring 10 procent i 30 cm dybde.

Pakning giver også signifikant lavere luftledningsevne end referencen i både 30 og 50 cm dybde, hvilket er i overensstemmelse med resultaterne fra 2014 (se figur 10). De lave værdier målt i 30 cm dybde i den pakkede jord tyder på, at den pakkede jord 4 år efter sidste pakning fortsat vil være dårlig til at bortlede overskudsvand efter kraftig nedbør. Dette bekræftes af ovennævnte jordvandmålinger. Der er ikke en sikker effekt af efterafgrøden på luftledningsevnen i nogen af de undersøgte dybder. Tidligere resultater fra Foulum viser forbedret luftledningsevne i 30 cm dybde (pløjesålsområdet) efter



FIGUR 10. Jordens luftledningsevne målt i 30 og 50 cm dybde. Gennemsnitsværdier for pakket jord (Pakket; 6 ton hullast) og upakket jord (Reference), hhv. med og uden olieræddike som efterafgrøde i årene 2013-16.

7 års dyrkning af olieræddike som efterafgrøde (Abdollahi et al., 2014). Disse resultater er forklaret med, at efterafgrøden gradvist danner flere gennemgående biopor.

Samlet set viser jordstrukturmålingerne en fortsat markant negativ effekt af pakningen og at efterafgrøden ikke har haft en målbar effekt efter 4 år. Undersøgelserne bekræfter dermed, at naturlig forbedring af jordstrukturen i en pakket jord er en langsom proces.