

DATORISERAD BILDANALYS FÖR STUDIER AV ALVENS PORSYSTEM

Ararso Etana
SLU, Inst. För markvetenskap, avd. för jordbearbetning
Box 7014, 750 07 UPPSALA

Sammanfattning

Projektet avsåg att använda datoriserad bildanalys för att studera alvens makroporsystem. I studien ingick två äldre försök med alvpackning, ett i Västergötland och ett i Uppland. Dessutom studerades en vanlig åkermark på Ekenäs gård som jämfördes med närliggande betesmark. Jordprover i packningsförsöken togs ut i opackat och i starkt packat led på nivån 35-50 cm. Jordprover på Ekenäs gård togs ut på nivån 25-40 cm.

På laboratoriet färgades jordproverna med metylenblått (2g/l destillerat vatten). Provytorna fotograferades på varannan cm genom att skjuta upp jordpelaren i provcylindern med en hydraulisk press. Provytorna preparerades försiktigt med en kniv innan fotograferingen. Fotografierna analyserades med bildanalysprogrammet WinRhizo. Med hjälp av programmet bestämdes ytan av makroporer och den genomsnittliga pordiametern.

Studien i fältförsöket i Uppland visade att makroporositeten i ledet utan packning var nästan genomgående högre än den i led med packning, men det var inte fallet när det gällde studien i Västergötland. Resultaten är i linje med de undersökningsresultaten erhållna femton år före föreliggande studie. Det är angeläget att undvika alvpackning för skadorna kan bli permanenta. Studien på Ekenäs gård visade att makroporositet i åkermarkens alv var betydligt högre än den i betesmarkens alv. Resultatet var överraskande och det behövs mer detaljerad studie för att belysa porsystemet i alven i åkermark respektive icke odlad mark. Att tillämpa bildanalys för att beskriva alvens struktur kan fördjupa vår kunskap om makroporositet och dess funktion.

Bakgrund

Markstruktur är ett allmänt begrepp för att beskriva olika former av aggregat i jorden som är uppbyggda av mineraler och mull. Mängden mull och ler i en jord har stor betydelse för aggregatbildning. Mellan och inom aggregat förekommer hållrum som vanligen kallas för porer. Porernas storlek varierar från mikroskopisk till några cm.

Åkermarkens porsystem, dvs porositet, porstorleksfördelning, porcontinuitet osv har stor betydelse för transport och hushållning av luft, vatten och växtnäring. Stora förändringar sker i matjordens porsystem under en växtsäsong i de fall en konventionell jordbearbetning tillämpas. Strukturförändringen i alven däremot är ganska långsam. Till exempel fann Etana och Håkansson (1994) att packningseffekterna i alven är nästan permanenta. Kulturväxternas rötter reagerar negativt mot minskning av porositeten, som i första hand sker genom att de stora porerna förstörs på grund av till exempel körning med tunga ekipage (Etana & Håkansson, 1994; Håkansson, 2005). Rotintensiteten i alven har en stor inverkan på kärnskörden (Haak, 1994).

Markens porvolym bestäms vanligen med indirekta metoder, såsom beräkning från skrym- och kompaktdensitet och porsstorleksfördelningen uppskattas ofta från den så kallade pF-kurvan. Dessutom använder man mättad konduktivitet (vattengenomsläplighet) för att uppskatta andelen av stora porer (makroporer), som förväntas leda överskott vatten fritt (Grevers & De Jong, 1990). Alla dessa och andra bestämningsmetoder ger en grov uppskattning av porositeten. Därför behövs det kompletterande mätmetoder för att kunna bättre förstå markens porssystem. Att ta digitala bilder av horisontella ytor av markprofil vid ett bestämt djupintervall och sedan analysera bilderna med ett bildanalysprogram kan vara ett bra komplement till befintliga mätmetoder för markens porositet. De senaste åren har flera forskare använt bildanalystekniken för att undersöka markstruktur (Grevers & De Jong, 1990; Koppi m fl., 1992).

Målet med detta projekt var att använda datoriserad bildanalys för att studera alvens makroporsystem. Makroporer är de stora porer som leder vätska både i vattenmättade och omättade jordar. Det finns inte någon standard klassificering av porstorleksfördelning, men porer med ekvivalent diameter från 30 μm up till 3000 μm har betraktats som makroporer av flera forskare (Beven & Germann, 1982). Andelen makropor av jordens porvolym är ofta liten men har en stor roll för vatten- och ämnestransport i marken. Studier av alvens porssystem är relevant för dess ringa variation med tiden. Till exempel varar packningsskador i alven under decennier (Etana & Håkansson, 1994; Alakukku, 1996).

Material och metoder

Jordproverna för denna undersökning togs från två fältförsök med alvpackning, som genomfördes år 1976 och från en vanlig åkermark på Ekenäs gård i Södermanland (tabell 1). Proverna togs hösten 2004. Försöken med alvpackning var belägna på Ultuna egendom (Uppland) och i Finnboden (Västergötland). Packningsförsöken utfördes med Volvo BM Dump Truck som hade total vikt av 26 ton (10 ton på framaxeln och 16 ton på tandem backaxeln). Däckens lufttryck var 300 kPa runt om. Följande led ingick i studierna (Håkansson, 1979):

- A) Kontroll (ingen packning)
- B) Ett körspår per försöksruta
- C) Försöksrutan täckt av spår en gång
- D) Försöksrutan täckt av spår fyra gånger.

Tidigare undersökningsresultat i försöken publicerades i Håkansson (1985) och i Etana (1994). För föreliggande undersökning togs ut jordprover på nivån 35-50 cm i led A och D. I varje led och ruta togs två cylinderprover, sammanlagt 8 prover per led. Storleken på provtagningscylindrarna var 20 cm i diameter och 15 cm i höjd. Jordprover från Flinkesta (Ekenäs gård, Södermanland) togs ut på nivån 25-40 cm. Provtagning gjordes i en åkermark, som var under andra års vall och i en närliggande betesmark. Från varje skifte togs 8 prover, sammanlagt 16 st.

Proverna bevarades i kylrum vid 2°C för att minimera markbiologiska processer och risker för krympning/svällning. Sedan vattenmättades de med destillerat vatten innehållande 2 g metylenblått/l vatten. Vattenmättningen utfördes underifrån i fem dygn och avslutades med ytbevattning samtidigt som vätskenivån i bevattningskärlen sänktes successivt. Överskottsvätskan dränerades bort och proverna preparerades försiktigt för fotografering. Provytorna för fotografering preparerades fram på varannan cm. Detta gjordes genom att proverna förflyttades uppåt ur provtagningscylindrarna med en hydraulisk press i steg om 1,5 cm. Den överskjutande jordpelaren var avskuren med en kniv och ytterligare pressades upp 0,5 cm jordpelare ur cylindrarna och ytan preparerades genom att försiktigt bryta loss aggregat av den överskjutande jordbiten. Lös jord avlägsnades genom vakuumsugning.

Tabell 1. Uppgifter om provplatser

Provtagningsplats	Jordart, 25-50 cm			
	Ler	Mjåla	Mo	Sand
Ultuna, Uppland	62	25	12	1
Finnboden, Västergötland	52	24	23	1
Flinkesta, Ekenäsgrård	46	34	16	4

Bildtagning skedde med digitalkameran Olympus Camedia E-330, som lagrar bilderna i tiff-format utan komprimering. Från de 15-cm långa jordproverna preparerades 5-7 bilder fram beroende på provernas skick. Bilderna analyserades med WinRhizo bildanalysprogrammet, version 5.0A (www.regentstruments.com). Vid analysen utslöts de yttre delarna av proverna på 5 mm diameter för att undvika kanteffekter. Den totala ytan av makroporer för varje bild beräknades genom att summera ytan som var täckt med metylenblått och den totala ytan av ofärgade porer. Resten av provytan betraktades som bakgrund. Med bildanalysprogrammet beräknades också den genomsnittliga pordiametern. Makroporositeten beräknades som ytan av makroporer i % av den totala provytan.

Resultat och diskussion

I figur 1 och 2 visas horisontella bilder vid 39 cm markdjup av prover i led A respektive led D för alvpackningsförsöket i Uppland. Intensiteten av makroporer var högre i figur 1 än i figur 2. I tabell 2 anges makroporositeten och makroporerens genomsnittliga diameter för försöket. Makroporositeten var betydligt högre i opackat led (A) än i det starkt packade ledet (D) på sex av sju markdjup. Skillnaderna varierade från 7 till 66 %, med genomsnittligt värde av 24 %. Den genomsnittliga storleken på makroporerens diameter var något lägre (i genomsnitt 2 %) i det opackade ledet än i det packade. Detta troligen beror på att i packad jord skapas enstaka stora porer av dagmaskar och pålrötter medan i opackad mark är porstorleksfördelningen något jämnare. Vingbormmätningar som gjordes år 1988 på markdjupet 35-45 cm i detta försök visade att profilens skjuvningsmotstånd var högre i det starkt packade ledet än i det opackade. Försöksjorden var en av de styvaste jordarter (lerhalt = 62 %) i försöksserien. Samma år var också skrymdensiteten på markdjupet 30-45 cm högst i led D, men det var inte fallet i tre andra försök av samma serie som studerades vid samma tidpunkt (Etana & Håkansson, 1994).

A (opackat)

D (hårt packat)



Bild 1 & 2. Horisontella alvbilder på nivån 39 cm i försök R2-7107, Ultuna, Uppland.

Tabell 2. Makroporositet och ekvivalent pordiameter i alvpackningsförsöket R2-7107 (Ultuna, Uppland, n = 8)

Djup (cm)	Opackat		Packat	
	Makroporositet (%)	Pordiameter (mm)	Makroporositet (%)	Pordiameter (mm)
37	6,6	0,33	4,0	0,31
39	4,6	0,31	3,8	0,33
41	5,2	0,31	4,7	0,32
43	4,6	0,31	4,3	0,32
45	5,4	0,30	4,2	0,31
47	4,7	0,30	4,7	0,30
49	5,7	0,30	4,0	0,31
Medelvärde	5,3	0,31	4,2	0,31

Makroporositeten i försöket på Finnboden (lerhalt = 48 %) var 2-4 gånger högre än den i försöket på Ultuna. I detta försök var makroporositeten nästan lika hög i de två undersökta leden (tabell 3). Packningseffekterna i Finnboden var påtagliga efter genomförandet av försöket men skillnaderna i markfysikaliska parametrar i packat och opackat led krymptes alltmer med åren (Håkansson, 1979; Etana & Håkansson, 1994). Föreliggande resultat är således en bekräftelse av en redan observerad trend.

A (opackat)



D (hårt packat)



Figur 3 & 4. Horisontella alvbilder på nivån 39 cm i försök R2-7107, Finnboden, Västergötland.

Tabell 3. Makroporositet och porstorlek i alvpackningsförsöket R2-7107 (Finnboden, Västgötland)

Djup (cm)	Opakat		Packat	
	Makroporositet (%)	Pordiameter (mm)	Makroporositet (%)	Pordiameter (mm)
37	17,3	0,45	12,3	0,38
39	16,1	0,43	17,3	0,46
41	13,6	0,42	16,1	0,46
43	13,6	0,42	18,0	0,49
45	18,4	0,42	22,3	0,44
47	18,8	0,43	15,5	0,43
Medelvärde	16,3	0,43	16,9	0,44

I figur 5-8 visas horisontella bilder av prover från Flinkesta, Ekenäs gård. Jorden är en styv moränlera (Eriksson m fl., 2005). Tidigare utförda studier visade att jorden på denna plats hade en god dräneringsförmåga (Etana, 1995). Föreliggande studier visade att makroporositeten i alven var överlägset högre i åkermark än i betesmark (tabell 4). Den genomsnittliga pordiameter var också högre i prover från åkermarken. Den allmänna uppfattningen är att mekanisering av fältarbetet med alltmer tunga ekipage har lett till strukturförsämring inte bara i matjorden utan också i alven. Föreliggande var alltså överraskande. Det är oftast daggmaskar och växtrötter som skapar och stabiliserar makroporer. En del daggmaskar trivs i markytmiljön, en del i hela matjordsprofilen och andra gräver sig ner i alven. Det finns väl dokumenterade forskningsresultat som visar att jordbearbetning och markpackning är skadlig för markrofauna, framför allt för daggmaskar som förekommer i matjorden (Brussaard & van Faassen, 1994). Emellertid är det ont om studier hur de djup-grävande daggmaskar påverkas av jordbearbetning. Föreliggande undersökning antyder att djupt växande rötter och/eller daggmaskar har skapat mer makroporer i alven av åkermark än på motsvarande djup i betesmark. Daggmaskarna i alven av åkermark kan ha gynnats av djupblandat växtmaterial i samband med jordbearbetning, framför allt av plöjning. Detta fenomen behöver detaljerad undersökning ty makroporositet har stor betydelse inte bara för växtproduktionen utan också för vatten och näringstransport till omgivande vattenmiljö.

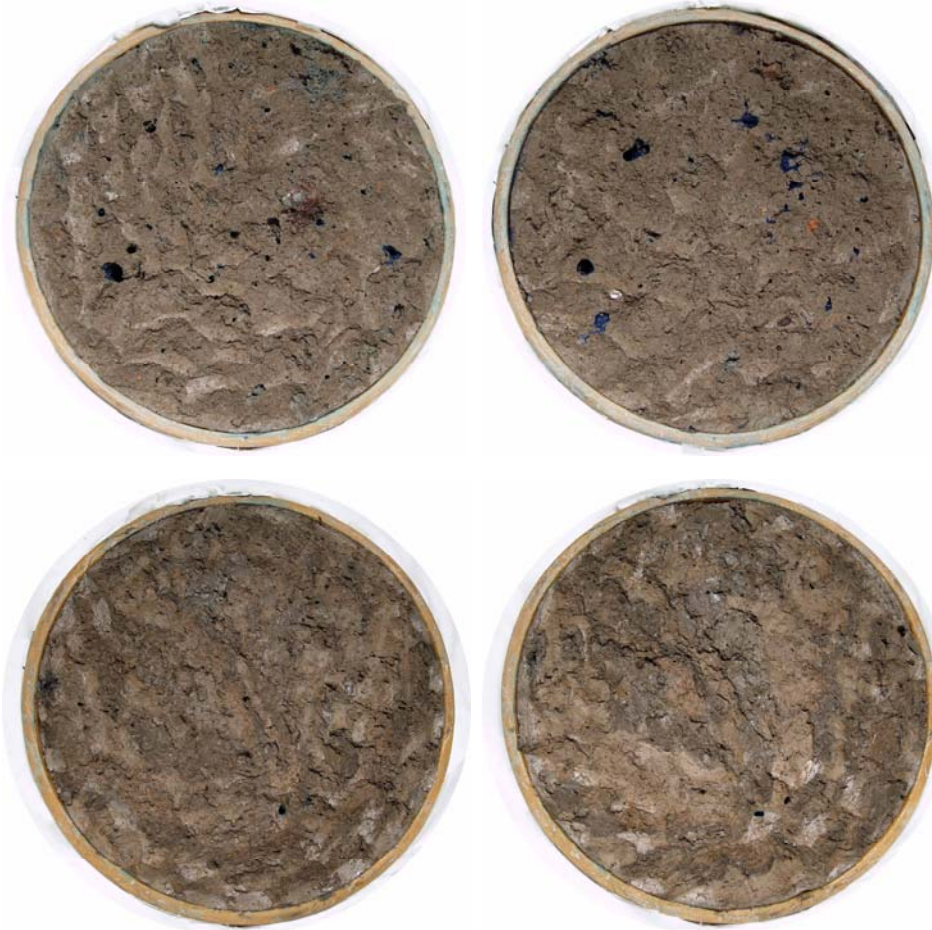
Applicering av metylenblått gjordes underifrån, följd av applicering på ytan kombinerat med dränering. Trots detta var en stor del av makroporer inte färgade. Detta visar att de flesta porer inte är kontinuerliga och inte aktiva i fritt transport av markvätska.

Tabell 4. Makroporositet och ekvivalent pordiameter i alven, Flinkesta, Ekenäs gård

Djup (cm)	Åkermark		Ängmark	
	Makroporositet (%)	Pordiameter (mm)	Makroporositet (%)	Pordiameter (mm)
27	6,2	0,38	5,2	0,35
29	8,8	0,38	4,8	0,33
31	5,5	0,38	4,8	0,34
33	7,5	0,41	4,9	0,34
35	7,6	0,41	4,8	0,33
37	8,1	0,39	6,5	0,35
39	8,2	0,40	5,5	0,34
Medelvärde	7,4	0,39	5,2	0,34

Åkermark (29 cm)

Åkermark (35 cm)



Betesmark (29 cm)

Betesmark (35 cm)

Figur 5-8. Bilder av frampreparerade jordprover från Flinkesta, Ekenäs gård.

Slutsatser

Bildanalys av alvens makroporositet visade att packningseffekterna på markstrukturen är mätbara 28 år efter genomförandet av försöket på en styv lera i Uppland. Makroporositeten däremot skilde sig inte mellan packat och opackat led i försöket i Västergötland. Resultaten i bägge försök är i linje med de studieresultaten erhållna femton år före föreliggande undersökning. Idag är svenska lantbrukare väl medvetna om skadorna av markpackning och gör sitt bästa för att minimera riskerna. Förutom jordbruksfordon förekommer körningar på åkermark med tungt lastade fordon såsom använts i alvpackningsförsöken. Dessa används för utbyggand av infrastruktur, som är viktig men konsekvenserna av alvpackning kan vara långvarigt förödande för lantbruket och miljön. Därför måste körning med tunga fordon på åkermark, särskilt vid fuktiga förhållanden undvikas.

Makroporositeten i åkermarkens alv på Ekenäs gård var högre än den på motsvarande djup i betesmark. Resultatet var överraskande och det behövs mer detaljerad studie för att belysa alvens porsystem i åkermark respektive icke odlad mark.

Tillämpningen av bildanalys för att studera alvens makroporositet gav tillfredställande resultat. Makroporositetens betydelse för transport av markvätska blir alltmer viktigare i samband med ämnestransport och växtnäringsförluster från lantbruket. Att använda bildanalys för att beskriva alvens struktur kan fördjupa vår kunskap om makroporositet och dess funktion.

Litteratur

- Alakukku, L. 1996. Persistence of subsoil compaction due to high axle load traffic. II: Long-term effects on the properties of fine textured and organic soils. *Soil & Tillage Res.* 37, 223-238.
- Etana, A. 1995. Compaction effects of mechanical stress on some Swedish arable soils. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Soil Sciences, Reports & Dissertations, 24 (Avhandling).
- Beven, K & Germann, P. 1982. Macropores and water flow in soils. *Water Resource Res.* 18: 1311-1325.
- (Brussaard, L & vavan Faassen, H.G. 1994. Effects of compaction on soil biota and soil biological processes. I: B.D. Soane and C.van Ouwerkerk, SOIL COMPACTION IN CROP PRRODUCTION, Developments in agricultural engineering 11, 215-235.
- Etana, A. & Håkansson, I. 1994. Swedish experiments on the persistence of subsoil compaction caused by vehicles with high axle load. *Soil & Tillage Research*, 29:167-172.
- Eriksson, j., Nilsson, I. & Simonsson, M. 2005. *Wiklanders Marklära*, Studentlitteratur, Lund, 337 s.
- Grevers, M.C.J & De Jong, E. 1990. The characterization of soil macroporosity of a clay soil under ten grasses using image analyses. *Can. J. Soil Sci.* 70: 93-103.
- Haak, E. 1994. Rotens morfologi och fysiologi i relation till alvens function. I: *ALVENS ROLL FÖR VÄXTPRODUKTIONEN*. Kungl. Skogs- och Lantbruksakademien, årg. 133, nr 5. 57-64.
- Håkansson, I. 1979. Försök med jordpackning vid hög axelbelastning. *Markundersökningar 1-2 år efter försökens anläggande. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen*, Inst. Markvetenskap, SLU, nr 57.
- Håkansson, I. 1985. Swedish experiments on subsoil compaction by vehicles with high axle load. *Soil use management*, 1: 113-116.
- Håkansson, I. 2005. *MACHINARY-INDUCED COMPACTION OF ARABLE SOILS: INCIDENCE-CONSEQUENCES-COUNTER MEASURES*. Reports from the division of soil management no. 109. Department of Soil sciences, SLU, Uppsala. 153 s.
- Koppi, A.J., Douglas, J.T. & Moran, C.J. 1992. An image analysis of soil compaction in grassland. *J. Soil Sci.* 43: 15-25.
- Regent Instruments: www.regentinstruments.com.