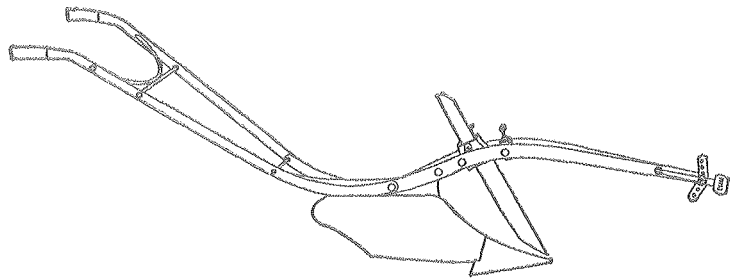




Institutionen för  
Markvetenskap  
Uppsala

# MEDDELANDEN FRÅN JORDBEARBETNINGSAVDELNINGEN

Swedish University of Agricultural Sciences,  
S-750 07 Uppsala  
Department of Soil Sciences,  
Bulletins from the Division of Soil Management



Nr 51

2006

Ararso Etana & Tomas Rydberg

**Studier av aggregatstabilitet och risker för  
jord- och fosforförluster i två långliggande  
jordbearbetningsförsök**

*A study on aggregate stability and on the risk for  
soil P-losses in two long-term tillage experiments*

ISSN 1102-6995

ISRN SLU-JB-M--51--SE



## **Förord**

Ett stort tack riktas till Naturvårdsverket för finansiering av detta projekt. Vi vill också tacka docent Barbro Ulén, Gunilla Hallberg och Inger Juremalm (SLU, Institutionen för markvetenskap) för rådgivning och för att de ställt upp med laboratorieutrustning. Vattenlaboratoriet vid Uppsala kommun ansvarade för fosforanalysen. Vidare riktas ett stort tack till Josefin Ingvast för all hjälp med provtagningar och analys.

Uppsala den 15 maj 2006

Ararso Etana & Tomas Rydberg



## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

INNEHÅLLSFÖRTECKNING .....	1
SAMMANFATTNING .....	2
SUMMARY .....	3
BAKGRUND .....	4
MATERIAL OCH METODER .....	5
<i>Provtagningar</i> .....	5
<i>Bestämning av lättlösligt ler</i> .....	5
<i>Uppsamling av dräneringsvatten</i> .....	6
<i>Fosforanalys</i> .....	6
RESULTAT .....	6
DISKUSSION .....	7
SLUTSATSER .....	7
REFERENSER .....	14

## SAMMANFATTNING

Aggregatbildning och -stabilisering i jorden är en lång process, men dess nedbrytning kan gå fort. Den huvudsakliga orsaken till aggregatnedbrytning i åkermark är belastning med fordon och jordbearbetning. En av de viktiga parametrarna för bedömning av markstrukturen är aggregatstabiliteten. Med aggregatstabilitet menar man att jorden motstår en viss yttre belastning såsom kraft från regndroppar och bibehåller sin grundläggande struktur utan att sönderdelas i mindre bitar. I svagt aggregerade lerjordar är risken för jordförluster med yterrosion och/eller dräneringsvatten stor. Det finns ett starkt samband mellan jord- och fosforförlust då den senare sker i första hand genom partikeltransport, d.v.s. fosfor är bunden till jordpartiklar.

Aggregatstabilitet och risker för jord- och fosforförluster studerades i två långliggande försök, som bedrivs av jordbearbetningsavdelningen, institutionen för markvetenskap, SLU. I studierna ingick ett försök från Lanna och ett från Uppsala som pågått sedan 1982 respektive 1997. I Lannaförsöket undersöktes ett led med direktsådd och ett led med plöjning, och i Uppsalaförsöket - två led med plöjning och ett med permanent vall.

Jordprover från matjordslagret togs dels i cylindrar och dels i hinkar. Cylinderproverna användes för att bestämma jord- och fosforförluster med dräneringsvatten uppsamlat vid laboratoriestudier. Jordproverna i hinkarna användes för att bestämma aggregatstabilitet.

För att bestämma aggregatstabiliteten användes en så kallad turbidimeter, som mäter en vätskas grumlighet. Apparaten fungerar nefelometriskt i mätområdet 0-4000 NTU (nephelometric turbidity units). Hög turbiditet (grumlighet) visar hög koncentration av lerpartiklar i suspensionen. Turbiditeten bestämdes efter skonsam skakning av ca 10 gram jord (8 st aggregat) i 250 ml destillerat vatten efter att suspensionen sedimenterat. Bevattning och uppsamling av dräneringsvatten från mikrolysimetrarna utfördes på laboratoriet. Turbiditeten bestämdes även på dräneringsvattnet. Representativa suspensioner analyserades på fosforkoncentration.

Resultaten visade att turbiditeten är proportionell mot lerhalten i suspension. Detta skapar nya möjligheter för studier av risker för jord- och fosforförluster i olika sammanhang. Turbiditeten och fosforkoncentrationen var mycket högre i led med plöjning än i led med direktsådd eller permanent vall. I genomsnitt var turbiditeten högre för Uppsalaförsöket än för Lannaförsöket. Detta tyder på att det kan finnas naturliga skillnader mellan jordar när det gäller aggregatstabilitet och upplösning av ler. Det är därför önskvärt att kartlägga dessa skillnader genom att studera benägenhet för dispergering av olika typer av leror och deras andel i jorden.

Här använda studiemetoder kräver relativt låga kostnader och ger unika möjligheter att erhålla en ny information om svenska jordars egenskaper beträffande deras stabilitet och fosforhushållning. Liknande studier pågår i ytterligare åtta försök med olika jordbearbetningssystem.

## SUMMARY

Formation and stabilization of soil aggregates is a long process, but its breaking-down is very fast especially when external forces are involved. The main reasons for the deterioration of soil structure in arable soils are mechanical loading (compaction) and soil tillage. Aggregate stability is one of the important parameters to characterize soil physical quality. Stable soil aggregates withstand external forces, such as raindrops, without disintegration. In weakly aggregated soils, the risk for soil and phosphorus losses by erosion and/or through drainage is high.

A study on aggregate stability and on the risk for soil and P-losses was conducted in soil sampled from two long-term tillage experiments. One of the experiments is on direct drilling, which started in 1982 at Lanna, western Sweden. From this experiment two treatments were chosen, namely the treatments with ploughing and direct drilling. The other experiment, started in 1997, is located in Uppsala at the experimental station of Swedish University of Agricultural Sciences (SLU). From this experiment, soils were sampled from treatments with ploughing and permanent grass leys. Soils were sampled in the topsoil in small lysimeters and buckets, which were used for drainage studies and aggregate stability tests, respectively, in the laboratory.

Aggregate stability was determined with a laboratory turbidimeter. High turbidity shows high clay concentration in the colloid measured. About 10 g dry soil (8 pieces of aggregates) was added to a plastic bottle containing 200 ml distilled water and mixed gently and allowed to sediment for 24 hours before determining the turbidity. Turbidity was also determined in the drainage samples. In addition, phosphorus concentrations in some representative colloids were determined.

The results revealed that the turbidity was linearly proportional to clay concentration in the colloids. Thus, turbidity measurements can be used for the risk assessment regarding soil and phosphorus losses to the environment. Turbidity was much higher in soil samples from ploughing than those from direct drilling or permanent grass leys. On average, the turbidity of the Uppsala soil was much higher than that from Lanna suggesting that the degree of clay dispersion may vary depending on clay type and its amount in the soil.

The methodology for this study is relatively cheap and can be used to characterize soils regarding their aggregate stability and losses of phosphorus with soil particles. Similar studies are underway to characterize aggregate stability in other eight field trials with different tillage systems.

## BAKGRUND

Markens lerfraktion (partikeldiameter  $\leq 2 \mu\text{m}$ ) har stor betydelse för markfysikaliska och -kemiska egenskaper. I fysikaliska sammanhang har lerpartiklar en stor betydelse bland annat för utveckling och varaktighet av markstruktur. Svensk åkermark domineras av lerjordar. En undersökning av mer än 3000 åkerjordar i landet visar att mer än 55 % av dem är lerjordar, innehållande 15 % lerfraktion eller mer. Av lerjordarna var 15 % styva leror, > 40 % ler, (Eriksson m fl., 1999).

En av de viktigaste parametrarna för bedömning av markstrukturen är aggregatstabiliteten. Med aggregatstabilitet menar man att jorden motstår en viss yttre belastning såsom kraft från regndroppar och bibehåller sin grundläggande struktur utan att sönderdelas i mindre bitar (Dexter, 2002). Denna egenskap är mycket beroende av jordens ler- och mullinnehåll samt av tidigare jordbehandling, främst jordbearbetning. Intensiv jordbearbetning kan försämra aggregatstabiliteten, orsaka packningskador och öka risken för erosion (Carter, 1994, Etana m. fl. 2000; Horn m. fl. 2000, Håkansson, 2000). Därför är det viktigt att välja ett bearbetningssystem med minimal negativ inverkan på åkermarken.

Ett flertal studier visar att man kan förbättra åkermarkens struktur genom att reducera eller slopa jordbearbetningen. Vid reducerad jordbearbetning eller direktsådd ackumuleras halten av organisk substans i övre matjordslagret (Rydberg, 1987; Carter, 1994; Etana, m.fl. 1999). Detta är en viktig åtgärd för förbättring av markstrukturen och för att minska risken för erosion.

Aggregatstabiliteten har stor inverkan på jord- och fosforförluster från åkermark (Catt m.fl. 1998). Fosforförluster från lerjordar sker i första hand genom partikeltransport, d.v.s. fosfor är bunden till jordpartiklar som eroderar via ytvattenavrinning eller dränering (Sharpley & Syres, 1979; Ulén 2001). I lerjordar med dålig aggregatstabilitet förs mer jord bort i form av små aggregat eller upplöst ler än i de med god aggregatstabilitet.

Avdelningen för jordbearbetning vid Institutionen för markvetenskap, SLU, bedriver ett flertal långliggande försök med olika jordbearbetningssystem. Huvudsakliga studier i försöken har varit skördebestämningar och ej sällan även mätningar av markfysikaliska och -kemiska egenskaper (Rydberg, 1987; Etana m.fl, 1999; Etana m.fl. 2000; Arvidsson, 2002). De flesta försöken har legat i mer än två decennier och det förväntas påtagliga skillnader i flertal markfysikaliska och markkemiska egenskaper mellan de olika behandlingarna. Studier av aggregatstabilitet och risker för jord- och fosforförluster i dessa försök kan ge värdefulla kunskaper.

I denna rapport redovisas en studie om risker för jord- och fosforförluster i två långliggande försök med olika jordbearbetningssystem. I studierna används ganska nya mätmetoder för bedömning av jordens aggregatstabilitet och dräneringsvattnets innehåll av jord och fosfor.



## MATERIAL OCH METODER

### *Provtagningar*

Jordprover för undersökningen togs från två långliggande försök med olika bearbetningssystem (tabell 1). I försöket på Lanna togs jordprover i led A (konventionell bearbetning) och i led C (direktsådd), och i försöket i Uppsala från tre led A1 (plöjning, normala marktryck), A2 (plöjning, låga marktryck) och led E (permanent vall). Representativa jordprover från matjordslagret samlades in och sparades i kylrum för att undvika upptorkning som kan leda till stora förändringar i markfysikaliska egenskaper. Proverna togs dels som ostörda prover i PVC cylindrar (minilysimetrar) med 20 cm diameter och 15 cm höjd och dels som lösjord. Cylinderproverna användes för att bestämma jord- och fosforförluster med dräneringsvatten uppsamlat vid laboratoriestudier. De lösa jordproverna användes för att bestämma mängden lättlost ler (easily dispersible clay) som mått på agregatstabiliteten..

### *Bestämning av mängden lättlost ler*

Proverna för bestämning av mängden lättlost ler sållades för att få fram delprover med < 8 mm och 8-16 mm aggregatdiameter. Jämvikt i provernas vattenhalt åstadkoms genom att placera dem på avsugningsplattor vid ett vattenavförande tryck på 5 cm. Vattenhalten efter dräneringsjämvikt bestämdes på delprover av ca 20 gram genom torkning vid 105°C. För att bestämma lättlost ler överfördes ca 10 gram prov (8 st aggregat) till en 250 ml flaska med 200 ml destillerat vatten, och skakades skonsamt. Proverna fick sedan sedimentera i 24 timmar. Därefter bestämdes vätskans turbiditet (grumlighet) som ett mått på mängd upplöst ler. För detta användes en så kallad turbidimeter av modell 2100N (Hach Company, 1993). Apparaten fungerar nefelometriskt i mätområdet 0-4000 NTU (nephelometric turbidity units). Högt lerkoncentration ger hög turbiditet eller NTU (Nephelometric Turbidity Units). Czyz m. fl (2002) testade 210 polska jordar och konstaterade ett linjärt samband mellan vätskans grumlighet och mängd upplöst ler, bestämt efter indunstning. Från ett antal suspensionsprover av varierande turbiditetsvärde togs 20 ml vätska. Mängden ler bestämdes efter det att proverna torkats in i 105°C.

Tabell 1. Undersökta långliggande försök. Jordprover togs i de led markerade med fetstil

Startår, Försöksnr, plats, Jordart	Försöksbenämning	Led
1982 R2-4017 Lanna, Västgötland Styv lera	Direktsådd	<b>A: konventionell bearbetning</b> <b>B: direktsådd, plöjning visa år</b> <b>C: direktsådd</b>
R2- 7115 Ultuna, Uppland Mellanlera	Låga marktryck i odling med och utan plöjning	<b>A<sub>1</sub>: plöjning, normala marktryck</b> <b>A<sub>2</sub>: Plöjning, låga marktryck</b> <b>B<sub>1</sub>: Ej plöjning, normala marktryck</b> <b>B<sub>2</sub>: Ej plöjning, låga marktryck</b> <b>E: Permanent vall</b>

### *Uppsamling av dräneringsvatten*

Minilysimeterproverna placerades i en anläggning anpassad för regnsimulering och insamling av dräneringsvatten (Roulier and Jarvis, 2002; Persson, personligt meddelande). Regnsimulatoren tillförde proverna vatten (10-12 mm/timme). Bevattningen utfördes i två omgångar med tre dygns mellanrum. Dräneringsvattnet samlades upp i provrör och analyserades på både turbiditet och fosforinnehåll.

### *Fosforanalys*

Suspensionsprover för analys av totalfosfor togs från lösning i samband med provtagning för aggregatstabilitetstest samt från dräneringsvatten. Totalfosfor preparerades enligt SS EN 1189-1 och analyserades sedan som fosfatfosfor på FIA (Flow injection analysis). Provförberedelse utfördes vid institutionen för markvetenskap och analys på FIA utfördes vid vattenlaboratoriet, Uppsala kommun. För Lannaförsöket bestämdes också mängden löst fosfor i suspension för aggregatstabilitetstest.

## RESULTAT

Figur 1 och 2 illustrerar sambandet mellan mängden lättlösligt ler och turbiditet för försöken i Lanna respektive Uppsala. Relateringen av grumlighet till upplöst ler gav ett linjärt samband med hög statistisk signifikans ( $R^2 = 0,99$ ). Detta gällde oavsett aggregatstorlek (<8 mm eller 8-16 mm i diameter). I början bestämdes grumligheten för två skakningstider, fem och 30 minuter, men efter mätning av proverna från Lanna bestämde vi oss att fortsätta med enbart fem minuters skakning för den gav konsekventa och säkrare resultat.

I figur 3 till 7 redovisas analysresultat för Lannaförsöket. I figurerna inkluderas konfidensintervall (95 %). Turbiditetsvärden från aggregatstabilitetstest och dräneringsvatten visar tydligt att det fanns mer lerpartiklar i suspension från ledet med plöjning än från det med direktsådd (figur 3 och 5). Lerkoncentrationen i dräneringsvattnet från det plöjda ledet var mer än dubbelt så högt som den från det direktsådda ledet (figur 5). Av tabell 2 framgår att det inte, i något försök, fanns skillnader i fosforhalt mellan de undersökta lede. Totalfosforhalten följde samma trend som turbiditeten (figur 4 och 6) dock var skillnaderna något mindre jämfört med turbiditetsvärden. Detta kan bero på skillnader i fosforackumulering i olika skikt i ledet med direktsådd. Förhoppningsvis kan kompletterande undersökning belysa detta. Löst fosfor bestämdes enbart för Lannaförsöket i suspension för aggregatstabilitetstest. Analysen visar att det inte fanns några skillnader mellan leden i detta sammanhang (figur 7). Löst fosfor utgjorde endast 3 % av totalfosfor i suspension.

Försöket i Uppsala (R2-7115) gav i genomsnitt högre turbiditet än försöket i Lanna (figur 8 och 10). Permanent vall gav lägre turbiditet än ledet med plöjning både i dräneringsvatten och i suspension för aggregatstabilitetstest. Fosforhalten i suspension för aggregatstabilitet och dräneringsvatten redovisas i figur 9 och 11. Det var lägre totalfosforkoncentration i ledet med permanent vall än i de plöjda leden vid aggregatstabilitetstest, men inga skillnader konstaterades i dräneringsvattnet.

Skillnaderna i ler- och fosforkoncentration mellan leden var mer tydliga för Lannaförsöket än för Uppsalaförsöket.

## DISKUSSION

Här erhållna resultat visar på tydliga effekter av jordbearbetning på jordens aggregatstabilitet. Intensiv jordbearbetning försämrar jordens aggregatstabilitet och dispergering av lerpartiklar vid till exempel kraftigt regn ökar. Med lerpartiklarna försvinner både löst och partikelbunden fosfor, men enligt denna undersökning sker de största fosforförlusterna genom partikelbunden fosfor.

Skillnaderna i aggregatstabilitet var tydligare för försöket vid Lanna än för det vid Uppsala. Det kan bero på att försöken pågått olika lång tid. Lannaförsöket anlades år 1982 och Ultunaförsöket år 1997. Försämring av markfysikaliska egenskaper genom intensiv jordbearbetning kan gå fort, men återbyggnaden tar mycket längre tid.

Turbiditeten för försöket vid Ultuna var mycket högre än den för försöket vid Lanna. Detta tyder på att, det förutom jordbearbetning, kan finnas naturliga skillnader mellan jordar när det gäller aggregatstabilitet och upplösning av ler. Det är därför önskvärt att kartlägga dessa skillnader genom att studera benägenhet för dispergering av olika typer av leror och deras andel i jorden.

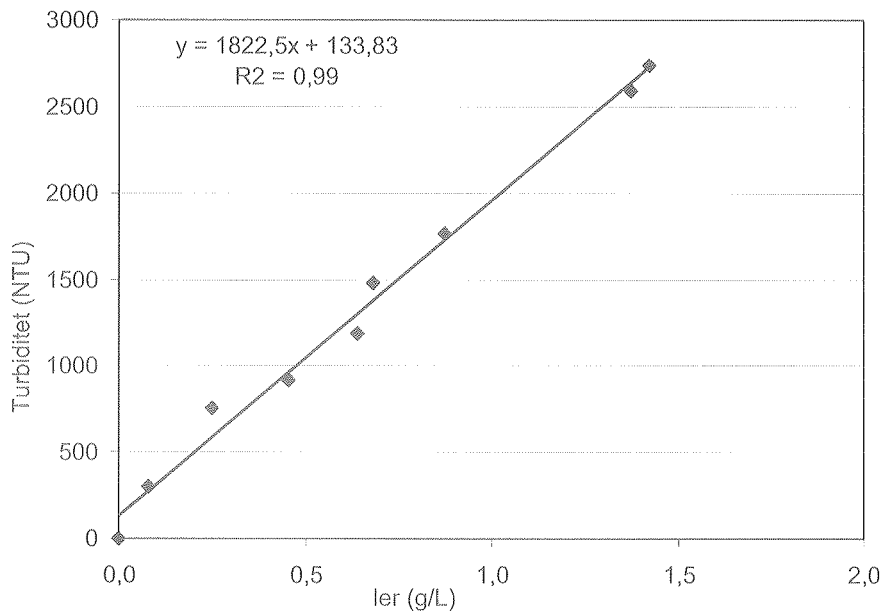
Ett av syftena med detta projekt har varit att testa turbidimeters lämplighet för studier av svenska lerjordar. Här erhållna resultat visar att turbidimeter kan användas för studier av aggregatstabilitet och risken för jord- och näringsförluster i olika sammanhang. Metoden är billig och ger unika möjligheter att erhålla ny kunskap om svenska jordars egenskaper beträffande deras stabilitet och fosforhushållning. För närvarande pågår liknande studier i ytterliggare åtta långliggande försök och i ett nytt projekt som nyligen påbörjats kommer aggregatstabiliteten hos olika åkerjordar utmed kustområden att kartläggas.

## SLUTSATSER

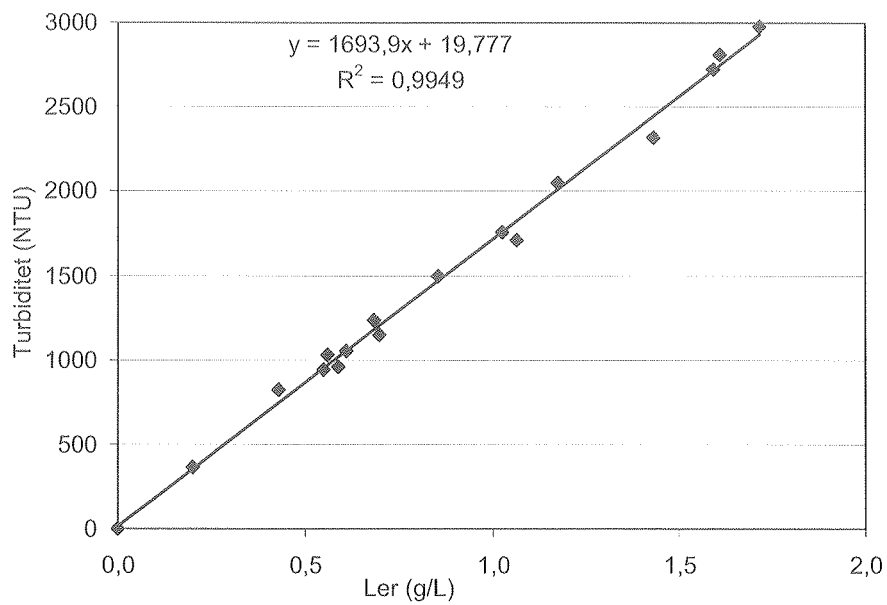
- 1) Aggregatstabilitet hos svenska lerjordar kan bestämmas med en stor noggrannhet med turbidimeter. Tekniken är relativt billig och bör användas för grundläggande studier av olika jordars egenskaper samt att utvärdera olika brukningsmetoder för att kunna motverka långsiktig försämring av markstruktur och näringsförluster, framförallt fosfor.
- 2) I de undersökta försöken påvisades klara skillnader mellan plöjning och direktsådd samt mellan plöjning och permanent vall.
- 3) Mättekniken är lätt reproducerbar och kan i vissa fall också vara ett bra komplement till andra mätningar, exempelvis i samband en eventuellt kommande markövervakning av strukturtillståndet i matjorden. I Polen har man använt turbidimeter för att kartlägga områden med risk för erosion.

**Tabell 2. Lättlösligt fosfor (P-AL) och förråds fosfor (P-HCl) (mg/100 g lufttorr jord)**

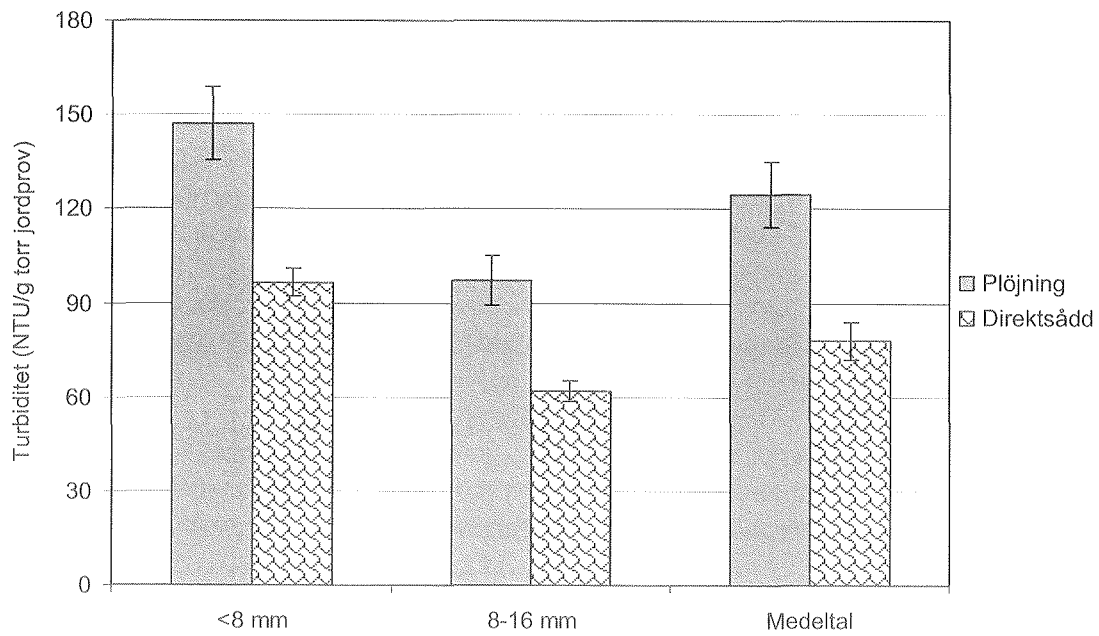
Försök, plats	Led	P-AL	P-HCl
R2-4017, Lanna	A	7,4	46
	C	7,8	45
R2.7115, Uppsala	A1	5,8	66
	A2	5,4	63
	E	5,3	57



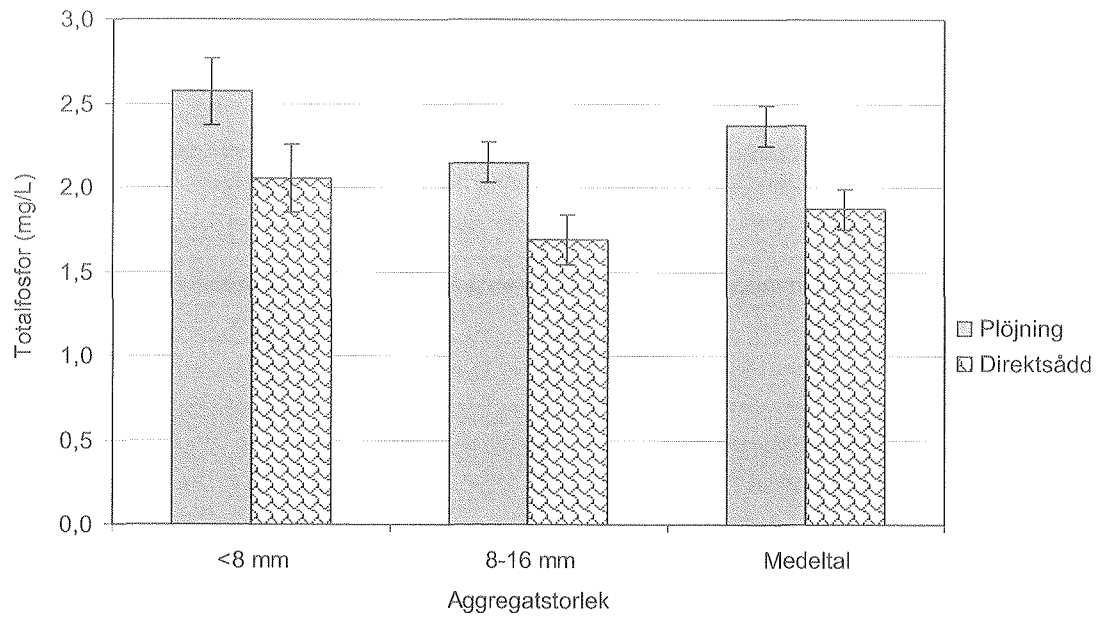
Figur 1. Turbiditet som funktion av lerkoncentration i suspension (R2-4017, (Lanna))



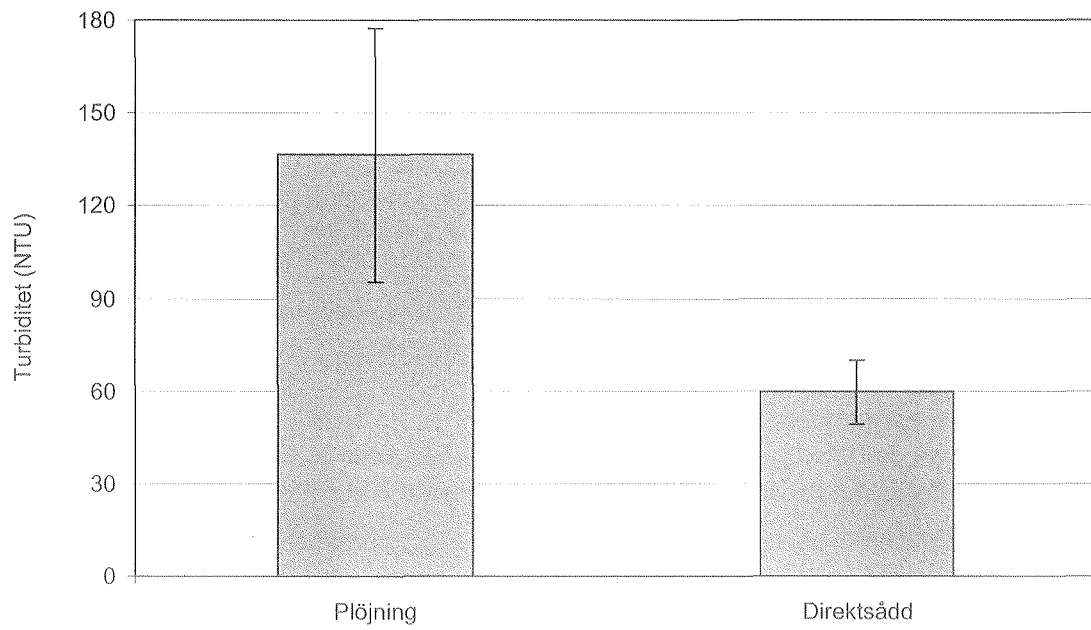
Figur 2. Turbiditet som funktion av lerkoncentration i suspension (R2-7115, Uppsala).



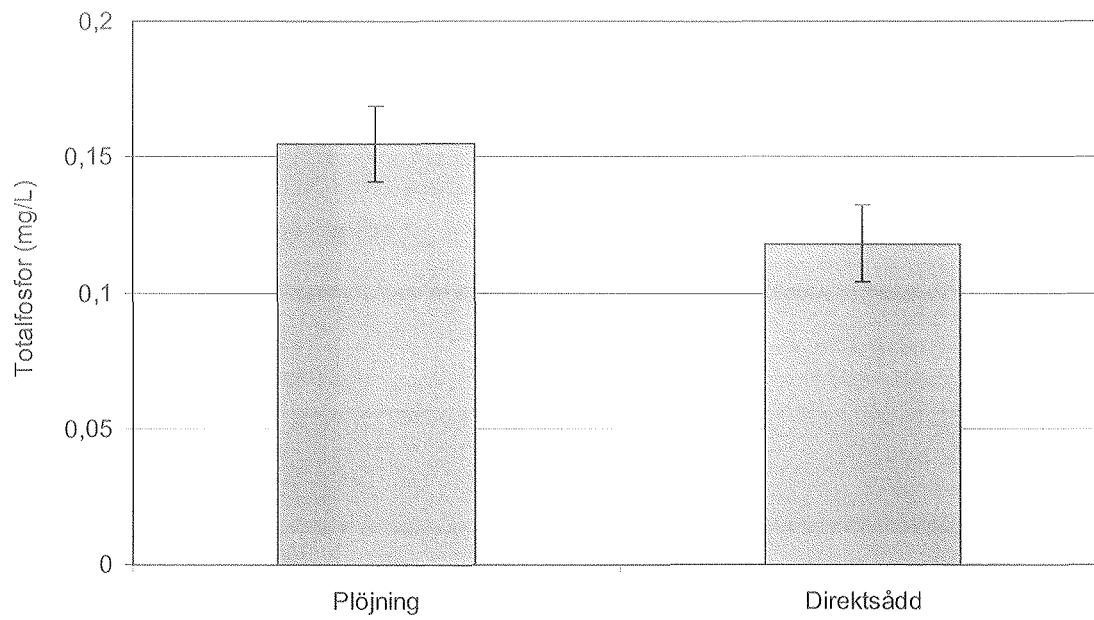
Figur 3. Turbiditet av suspension (försök R2-4017, Lanna).



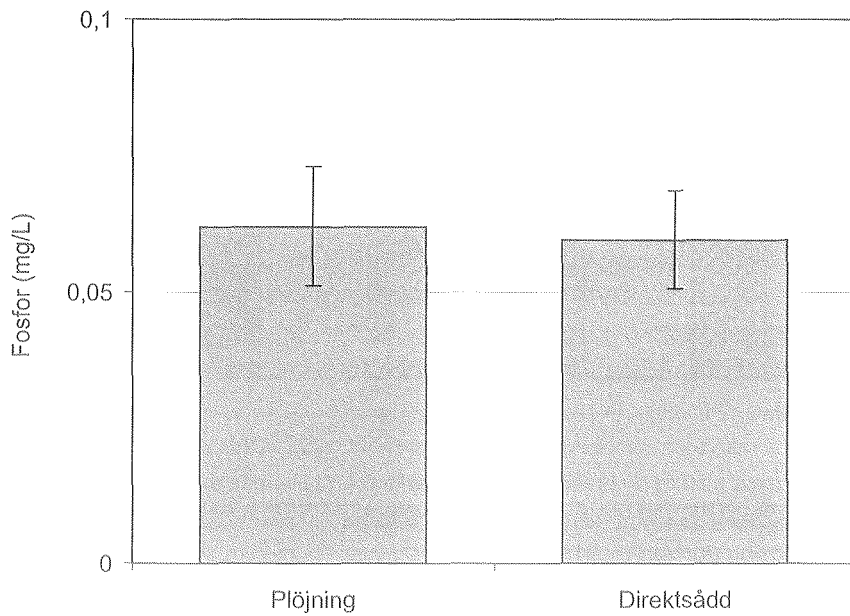
Figur 4. Totalfosfor i suspension (försök R2-4017, Lanna)



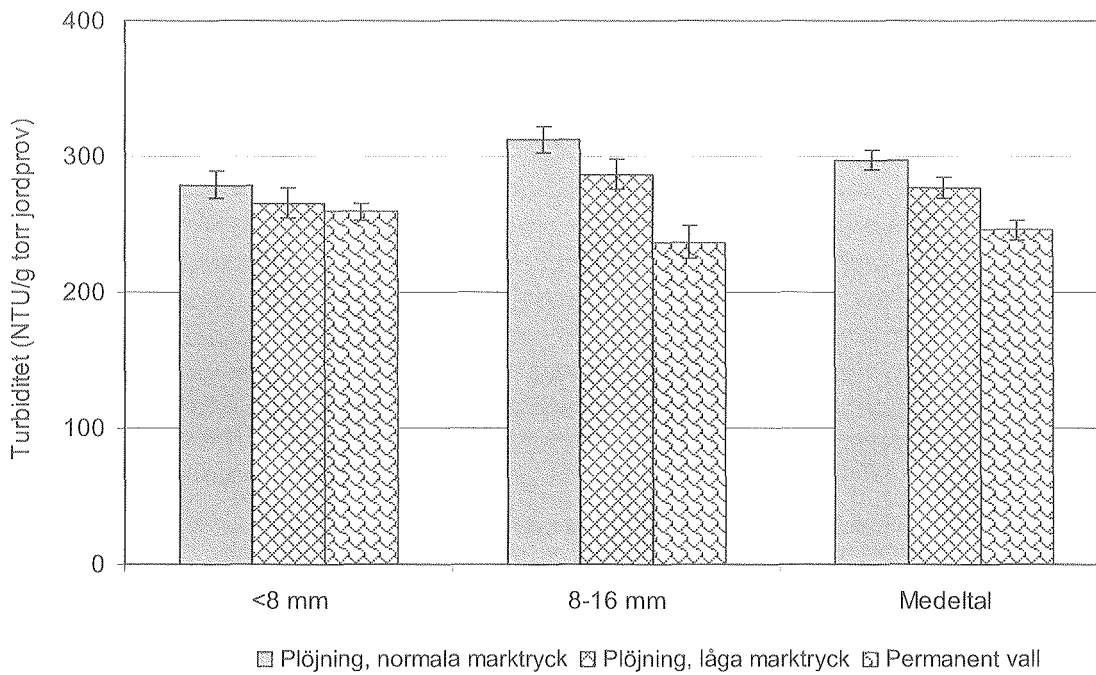
Figur 5. Turbiditet av dräneringsvatten från två led i försök R2-4017, Lanna.



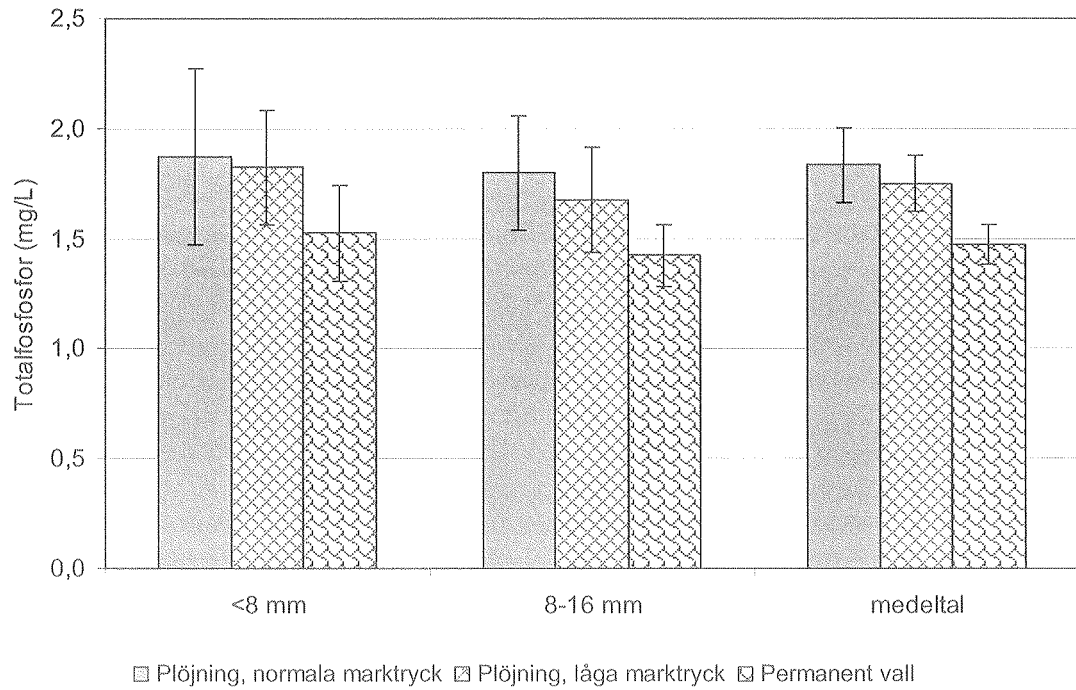
Figur 6. Totalfosfor i dräneringsvatten (försök R2-4017, Lanna)



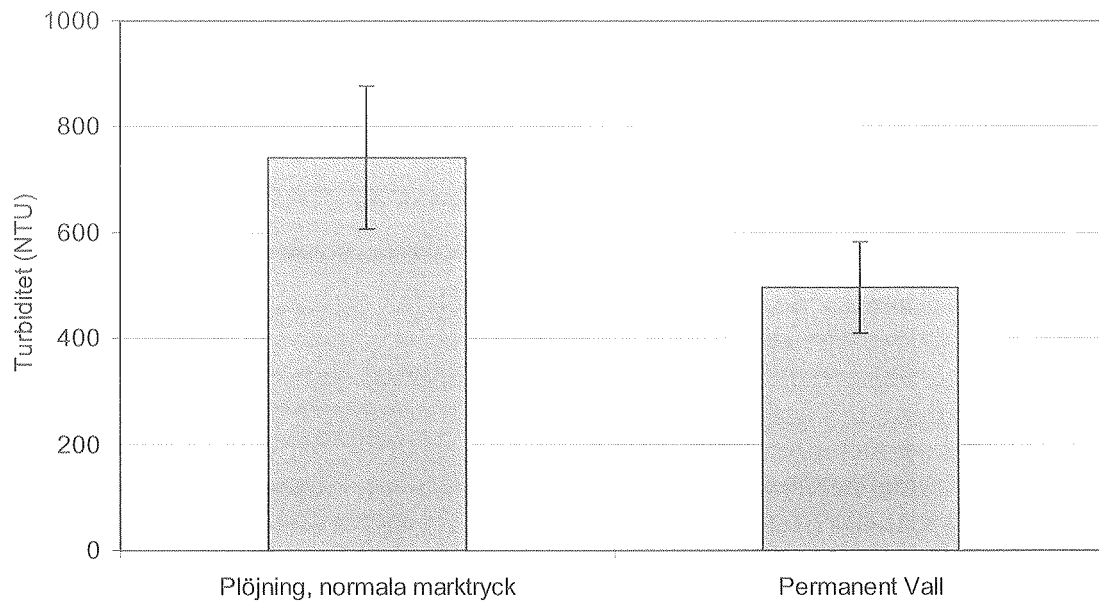
Figur 7. Löst fosfor i suspension (medeltal för aggregat <8 mm och 8-16 mm, R2-4017, Lanna).



Figur 8. Turbiditet (försök R2-7115, Uppsala).

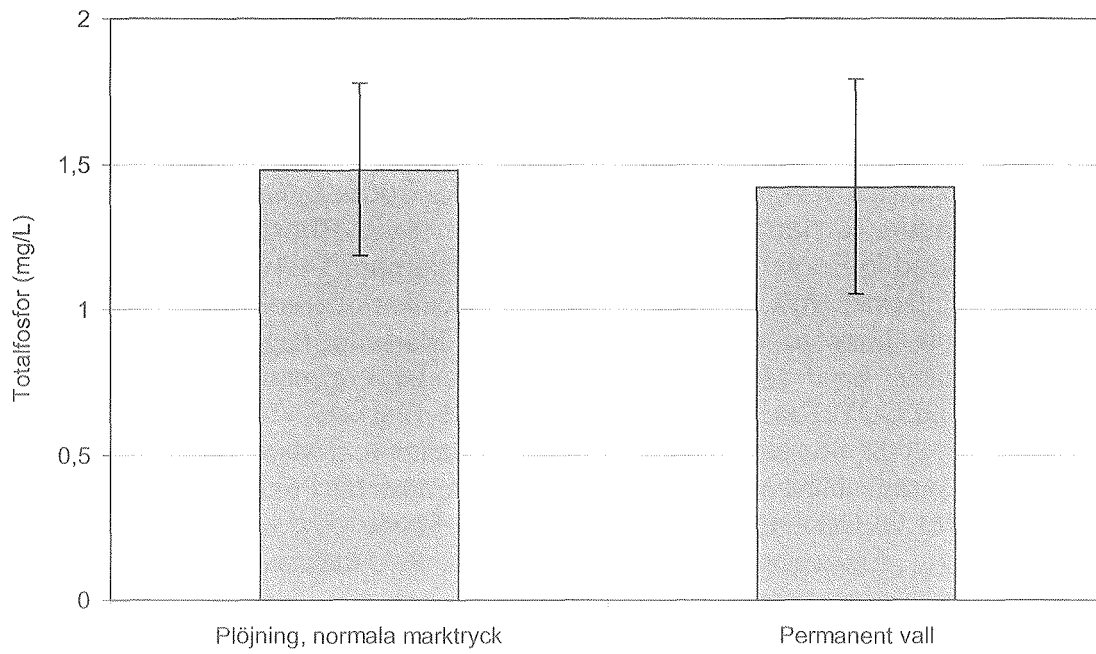


Figur 9. Totalfosfor i suspension (försök R2-7115, Uppsala).



Figur 10. Turbiditet av dräneringsvatten från två led i försök R2-7115, Uppsala.





Figur 11. Totalfosfor i dräneringsvatten (försök R2-7115)

## REFERENCER

- Arvidsson, J. (Redaktör), 2002. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen, Institutionen för markvetenskap, SLU, Uppsala. 86 s.
- Carter, R.M. (Redaktör) 1994. Conservation tillage in Temperate agroecosystems. Lewis Publisher, London, 290 s.
- Catt, J.A, Howse, K.R, Farina, R, Brockie, D., Todd, A, Chambers, B.J, Hodgkinson, R, Harris, G.L & Quinton, J.N. 1998. Phosphorus losses from arable land in England. *Soil Use and Management*, 14:168-174.
- Czyz, E. A., Dexter, A.R, & Terelak, H. 2002. Content of readily- dispersible clay in the arable layer of some Polish soils. I: Marcello Pagliai & Robert Jones "Sustainable Land Management – Environmental Protection". *ADVANCES IN GEOECOLOGY*. Catena Verlag, Germany. 115-124.
- Dexter, A.R. 2002. Soil structure: the key to soil function. I: Marcello Pagliai & Robert Jones "Sustainable Land Management – Environmental Protection". *ADVANCES IN GEOECOLOGY*. Catena Verlag, Germany. 57-69.
- Eriksson, J., Andersson, A. & Andersson, R. Åkermarkens matjordstyper. Naturvårdsverket, rapport nr 4955, 26 s.
- Etana, A., Håkansson, I., Zagal, E. & Buca, S. 1999. Effects of tillage depth on organic carbon content and physical properties in five Swedish soils. *Soil & Tillage Res.*, 52: 129-139.
- Etana, A. Rydberg, T. & Håkansson, I. 2000. Markfysikaliska studier i långliggande försök med reducerad jordbearbetning. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen, Institutionen för markvetenskap, SLU, Uppsala, 29 s.
- Hach Company, 1993. Loveland, Colorado, USA. 48 s.
- Horn, R., Van den Akker, J.J.H & Arvidsson, J. (Redaktörer), 2000. *SUBSOIL COMPACTION: Distribution, processes and consequences* (Advances in Geology 32), Catena Verlag, Germany, 462 s.
- Håkansson, I. 2000. *PACKNING AV ÅKERMARK VID MASKINDRIFT: Omfattning - effekter – motåtgärder*. Institutionen för markvetenskap, SLU, Uppsala, 123.
- Person, L. 2002 (Personligt meddelande).
- Roulier, S., and N.J. Jarvis. 2002. Modelling Macropore Flow Effects on Pesticide Leaching : Inverse Parameter Estimation using Micro-Lysimeters. Manuscript, 59 s.
- Rydberg, T. 1987. Studier i plöjningsfri odling i Sverige 1975-1986, Rapporter från jordbearbetningsavdelningen, Institutionen för markvetenskap, SLU, Uppsala. 53 s.
- Ulén, B. 2001. Settling velocities of phosphorus-containing particles in agricultural drainage water. Submitted to Water Research.