

Studier av risker för jord- och fosforförluster i långliggande jordbearbetningsförsök *(Slutrapport för projekt 0448004)*
(Ararso Etana, Tomas Rydberg & Johan Arvidsson)

SAMMANFATTNING

I Sverige har jorderosion inte ansetts som ett stort problem såsom i andra länder där jordförlusten kan uppgå till över 10 ton/ha och år. Idag håller detta förhållningssätt på att förändras då det finns i marken höga halter av fastlagd fosfor, som kan medföra eutrofiering vid även ringa jordförluster till vattendragen. Riskerna för förluster av jord och partikelbunden fosfor är stora i en lerjord med dålig aggregatstabilitet, som påverkas bland annat av jordbearbetning och fordonstrafik.

I dagens lantbruk strävar man efter att utveckla och bibehålla en god markstruktur och att hushålla med resurser genom att till exempel minimera eller helt slopa jordbearbetning. I detta fall, enligt ett flertal studier, ackumuleras den organiska substansen i övre matjordslagret och förbättrar markstrukturen och dess stabilitet, dvs. motstånd mot sönderdelning av aggregat vid mekanisk påverkan. För att följa skördeutveckling och markstrukturdynamik vid reducerad jordbearbetning och direktsådd har avdelningen för jordbearbetning vid institutionen för markvetenskap, SLU, bedrivit ett flertal långliggande fältförsök. Vi utnyttjade dessa försök i syfte till att undersöka effekter av jordbearbetning på markstrukturen. Undersökningen utfördes åren 2004-2006 i nio fältförsök som representerar olika regioner och jordarter i landet. Markstrukturtillståndet studerades i fem försök med plöjningsfri odling och i fyra försök med helt slopad jordbearbetning, varav ett försök med direktsådd och tre försök med permanent vall. Matjordsprover samlades in i utvalda behandlingar och deras benägenhet för uppslamning eller partikelförluster via dränering undersöktes på laboratoriet. Vid jordprovtagningstillfällena hade försöken pågått i 10-30 år.

Förluster av jordpartiklar via dränering var, förutom i ett försök, lägre vid plöjningsfri odling än vid konventionell bearbetning, oavsett lerhalt. Direktsådd visade sig vara den bästa metoden att minska partikelförluster. Led med permanent gräsvall i tre försök med olika jordar visade också markant förbättring av aggregatstabiliteten. I dessa tre försök var aggregatsammanhållningen i led med gräsvall ännu bättre i övre markskiktet (0-5 cm) än i nedre markskiktet (5-20 cm). Direktsåddens positiva effekter förbättrades ytterligare av halmrester. Således tjänar olika former av reducerad bearbetning både produktions- och miljöändamål.

INTRODUKTION

Omflyttning av jordmassor påverkar oundvikligen markstrukturen. Aggregaten klyvs, packas ihop eller försvagas. Skador på markstrukturen medför till exempel jordförluster med erosion, skorpbildning, försämrad vattengenomsläpplighet, osv. Den främsta orsaken till skador av markstruktur i dagens åkermark är jordbearbetning och fordonstrafik (Koistra & Tovey, 1994; Håkansson, 2000). Vid jordbearbetning ökar visserligen den totala jordvolymen men packning och klyvning sker på aggregatnivå. För att minska markstrukturförsämringen och för att hushålla med resurser har man infört olika former av plöjningsfri odling. I detta fall ackumuleras den organiska substansen i övre matjordslagret (Rydberg, 1987; Carter, 1994; Etana, m.fl. 1999).

För att följa skördeutveckling och markstrukturdynamik har avdelningen för jordbearbetning vid institutionen för markvetenskap, SLU, bedrivit ett flertal långliggande fältförsök med plöjningsfri odling under mer än tre decennier. Vi utnyttjade dessa försök för att studera effekter av plöjningsfri odling på markstrukturen. Aggregat med svag sammanhållning blir nämligen lätt uppslammade vid kontakt med vatten och jordpartiklarna transporteras till omgivande vattendrag. En betydande del av fosforförluster till vattendrag sker med jordpartiklar (för partikulär fosfor). Mobiliseringen av fosfor i detta fall påverkas av ett flertal faktorer såsom pH, redox-potential, osv. (Boström, m fl., 1988; Ekholm, 1994). Ständiga partikelförluster kan också på lång sikt påverka markens produktionsförmåga. Således är val av jordbearbetnings-system med minimal inverkan på markstruktur av stor betydelse. Målet med projektet, som ligger till grund för föreliggande rapport, har således varit att:

- 1) Studera effekter av olika plöjningsfri odling på partikelförluster i svenska långliggande fältförsök.
- 2) Fastställa sambandet mellan partikel- och fosforförluster med avrinningsvatten.

MATERIAL OCH METODER

Undersökningen utfördes åren 2004-2006 i nio långliggande fältförsök som representerar olika regioner och jordarter i landet. I fem försök bedrivs olika former av plöjningsfri odling. Dessutom undersöktes ett direktsåddsförsök och tre försök med extremt låga marktryck i odling med och utan packning. I de tre jordpackningsförsöken ingår också ett led, som är helt utan bearbetning (permanent gräsvall). Aggregatstabiliteten i detta led jämfördes med den i led med konventionell jordbearbetning. Matjordsprover samlades in i utvalda behandlingar och deras benägenhet för uppslamning eller partikelförluster via dränering undersöktes på laboratoriet. Vid jordprovtagningstillfällena hade försöken pågått i 10-30 år.

I tabell 1 och 2 redovisas markdata och försöksplan för de undersökta försöken.

Jordprovtagning och undersökning gjordes i led markerade med **fetstil**. Intakta och lösa jordprover utnyttjades för laboratorieundersökningen. Intakta matjordsprover, hädanefter refereras som kolonnprover, togs för dräneringstest i plaströr (PVC) med måtten 20 cm i diameter och 20 cm höjd. Rören pressades ned i jorden med hydraulisk press (figur 1). Lösa matjordsjordprover, hädanefter refereras som aggregatprover, togs i markskikt på

bearbetningsdjup enligt försöksplan (tabell 2). Jordproverna bevarades i kylrum vid 2°C tills laboratoriearbetet påbörjades. I aggregatproverna bestämdes s.k. lättlösligt ler (readily dispersible clay). Aggregatprover, med storleken 8–10 mm i diameter, blandades med 250 ml destillerat vatten i en PVC-flaska, som försiktigt vändes upp och ner tio gånger. Lerkoncentrationen i vattnet bestämdes genom att mäta turbiditeten (grumligheten) efter att suspenderade jordpartiklar, som var $> 2 \mu\text{m}$ i ekvivalentdiameter sedimenterats enligt Stoke's lag. Turbiditet eller grumlighet är en optisk egenskap som uppstår när ljus bryts vid passage i en vätska. För att uppskatta vätskans grumlighet bestämmer man ljusbrytning i 90° med en apparat som kallas för turbidimeter. Ju grumligare vätskan är desto mer ljusbrytning. Sambandet mellan grumlighet och lerkoncentration i en vätska har visat sig vara linjärt (Czyz m. fl, 2002).

Kolonnproverna preparerades och placerades under en anläggning anpassad för regnsimulering och uppsamling av dräneringsvatten (Roulier and Jarvis, 2002). Bevattning och uppsamling av dräneringsvatten gjordes tre gånger, med två dygns mellanrum. Bevattning med 8-10 mm/timme pågick i tre timmar vid första tillfället och i två timmar vid andra respektive tredje tillfället. Uppsamlad dräneringsvatten analyserades på turbiditet på samma sätt som ovan. Dessutom analyserades totalfosfor i utvalda prover i samband med turbiditetsmätningen.

Tabell 1. Kornstorleksfördelning och mullhalt i försöksplatsernas matjord

Försöksserie och plats	Start	Kornstorleksfördelning & mullhalt (vikts- %)				
		Ler	Mjäla	Mo	Sand	Mullhalt
R2-4007 (141/74), Ultuna	1974	48	27	18	2	5,2
R2-4008 (253/74), Lönnstorp	1974	14	13	32	37	4,0
R2-4009 (235/76), Röbbäcksdalen	1976	8	28	56	3	5,6
R2-4010 (381/74), Lanna	1974	42	35	15	6	3,6
R2-4017 (703/82), Lanna	1982	43	33	17	6	2,0
R2-4027 (517/91), Säby	1991	33	27	24	1	4,8
R2-7115 (641/97), Ultuna	1997	38	21	30	9	2,0
R2-7115 (642/97), Säby	1997	18	14	63	0	4,8
R2-7115 (643/97), Säby	1997	26	19	48	1	5,4



Figur 1. Provtagning av jord i kolonn med hjälp av hydraulisk press.

Tabell 2. Försöksplan över nio långliggande jordbearbetningsförsök. Undersökning utfördes i de led markerade med **fetstil**

Startår Försöksnr, plats	Försöksbenämning	Led
1974, R2-4007 Ultuna	Odling med och utan plöjning, med olika bearbetningsdjup	A: Konventionell plöjning B: Plöjning vissa år, övriga år stubbearbetning till 10-12 cm C: Plöjning vissa år, övriga år luckring till plogdjup D: Stubbearbetning till 10-12 cm E: Kultivering till plogdjup varje år.
1974, R2-4008 Lönnstorp	Olika bearbetningssystem - jordpackning	A: plöjning, konventionell bearbetning B: Plöjningsfritt, plöjning till sockerbetor C: plöjningsfritt, stubbearbetning till 10-15 cm
1974, R2-4009 Röbäcksdalen	Olika bearbetningssystem – halmbehandling	A1: Konventionell bearbetning, gödsling på markytan A2: Konventionell bearbetning, radmyllning av gödsel B1: plöjning vissa år, gödsling på markytan B2: plöjning vissa år, radmyllning av gödsel C1: stubbearbetning till 10 – 12 cm, gödsling på markytan C2: gödsling på markytan , radmyllning av gödsel
1974 R2-4010 Lanna	Odling med och utan plöjning, med olika halmbehandling	A1: plöjning varje år, halmen bortförd A2: plöjning varje år, halmen hackad B1: Plöjning vissa år, halmen bortförd B2: Plöjning vissa år, halmen hackad C1: stubbearbetning till 10 – 12 cm, halmen bortförd C2: stubbearbetning till 10 – 12 cm, halmen hackad
1982 R2-4017 Lanna	Direktsådd	A: konventionell bearbetning B: direktsådd, plöjning vissa år C: direktsådd
1991 R2-4027 Ultuna	Bearbetningsdjup vid plöjnings- fri odling	A: Plöjning B: Kultivator till 10 cm, 2-3 ggr C: Kultivator till 15 cm, 2-3 ggr D: Kultivator till 20 cm, 2-3 ggr
1997 R2- 7115 Tre försök (ett i Ultuna, två i Säby	Låga marktryck i odling med och utan plöjning	A: plöjning, normala marktryck B: Plöjning, låga marktryck C: Ej plöjning, normala marktryck D: Ej plöjning, låga marktryck E: Permanent vall

RESULTAT OCH DISKUSSION

I figur 2a och 2b redovisas turbiditeten som funktion av lerkoncentration i vatten för en styv lera respektive för en mellanlera. Som framgår av figurerna fanns det ett starkt statistiskt samband mellan turbiditeten och mängden ler i vatten. Således är turbiditet en relativt säker och billig metod för att bestämma koncentrationen av jordpartiklar i avrinningsvatten. Regressionskoefficienterna för de två jordarna var dock olika vilket kan bero på olikheter i lerets egenskaper (till exempel partiklarnas form och storleksfördelning).

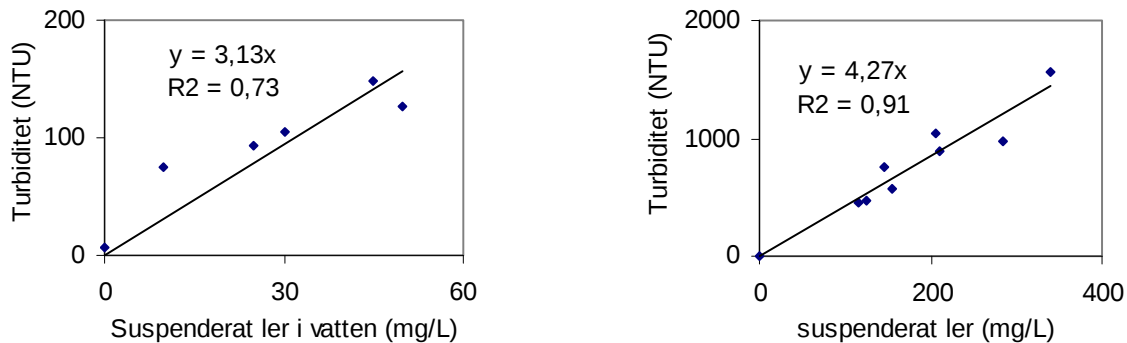
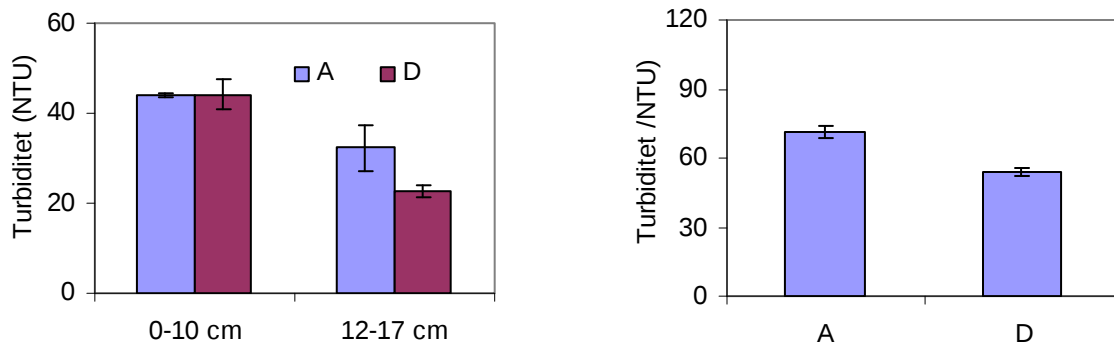


Fig. 2a & 2b. Turbiditet som funktion av lerkoncentration i vatten (höger: styv lera, R2-4010; vänster: mellanlera, R2-7115/641).

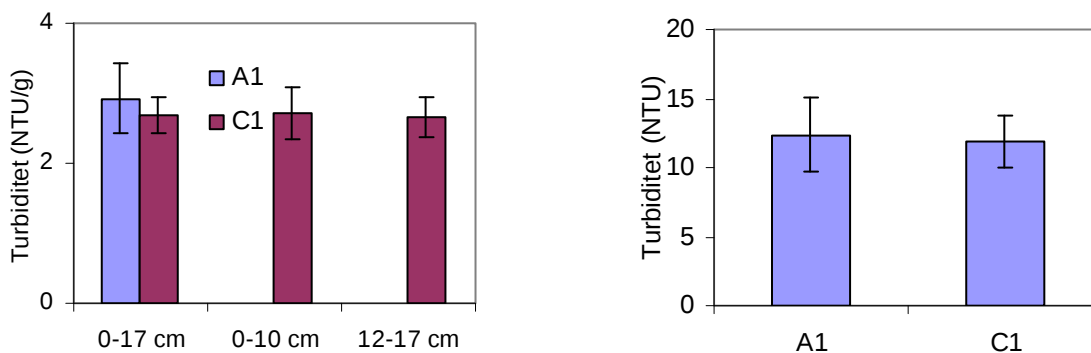
I figurerna 3-7 redovisas turbiditetsvärden för aggregatprover och dräneringsprover för de fem försöken gällande plöjningsfri odling. Förutom i försöksserien R2-4010, var turbiditeten för aggregatprover från övre matjorden (0-10 cm) nästan lika vid reducerad och konventionell bearbetning. Tidigare undersökning visade att aggregatstabiliteten med våtsiktning av jordprover i såbädden var betydligt bättre vid plöjningsfri odling än vid konventionell bearbetning (Rydberg, 1986). Bättre aggregatstabiliteten anses bero på ökad mullhalt. En bidragande orsak till motsägelsefulla resultat mellan tidigare och föreliggande undersökningar kan ha varit tidpunkten för jordprovtagning. Den tidigare undersökningen gjordes i "färska" såbäddar medan provtagningen för den senaste studien gjordes antingen i växande gröda eller efter skörd då jorden befann sig i relativt intakt tillstånd. Dessutom stördes aggregaten betydligt mer vid våtsiktning än vid turbiditetbestämning. Dessa två metoder har olika syften men jämförande studier bör utföras för att kunna fastställa om det överhuvudtaget finns någon korrelation mellan resultaten.

I nedre matjordslagret (12-17 cm) noterades samspel mellan bearbetningssystem och lerhalt för partikelförluster. Partikelförlusterna i lättlera och högre lerklass var nämligen lägre vid reducerad bearbetning än vid konventionell bearbetning (figur 3a, 6b och 7a), men denna tendens gällde inte för jordar med lägre lerhalt (figur 4a och 5a). Det kan bero på att den bräckliga aggregatstabiliteten i lerfattiga jordar som uppnåts efter många års reducerad bearbetning gick förlorad i samband med provprepareringen. Detta kan genomsådas i turbiditetsvärden för kolonnprover, vilka påverkades mycket mindre vid

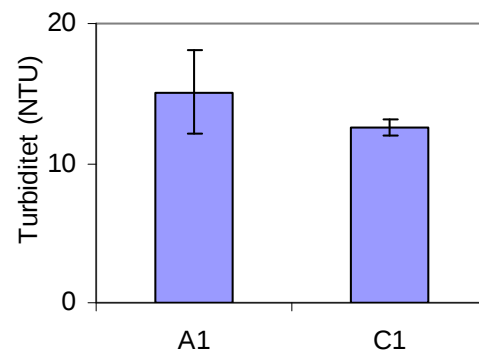
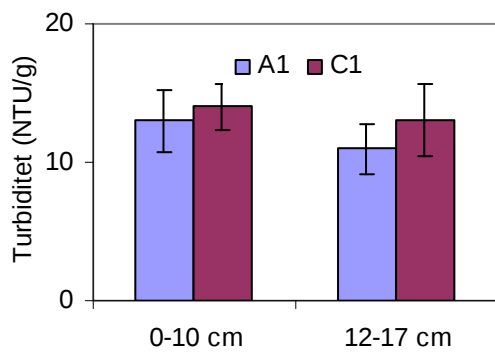
provberedningen. Partikelförluster från kolonnproverna var alltså mindre vid reducerad jordbearbetning än vid konventionell bearbetning i fyra av fem försök (figur 3b, 5b, 6b och 7b). Avvikande resultat gav försöket på Lönnstorp (figur 4B). Försöket är på en lerig morän med svag struktur och därför gav ledet med reducerad bearbetning ingen mätbar effekt på turbiditeten. Plöjning enstaka gånger (för det mesta var fjärde år) var lika effektiv som plöjningsfri odling för att minska risker för lerbörlor (figur 6a & 6b). Denna metod är en bra alternativ för att kontrollera rotoavfall.



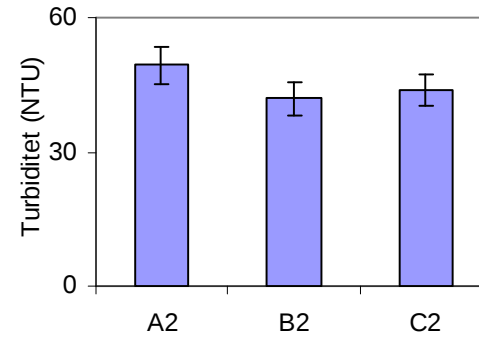
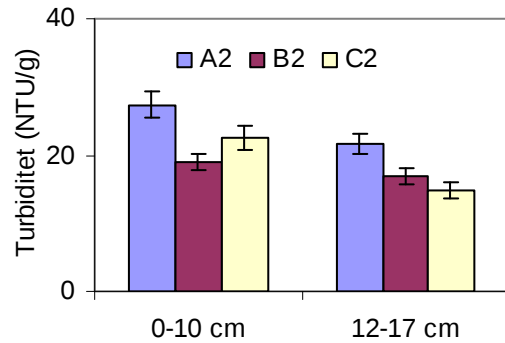
Figur 3a & 3b. Turbiditet av prover från Ultuna, Försök R2-4007 (Vänster: aggregatprover; höger: kolonnprover). A – stubbearbetning + plöjning; D – stubbearbetning till 10-12 cm.



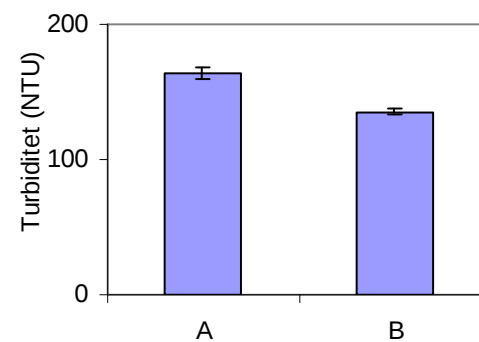
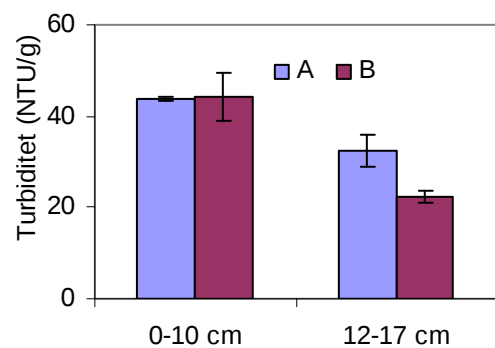
Figur 4a & 4b. Turbiditet av prover från Lönnstorp, Försök R2-4008 (Vänster: aggregatprover, höger: kolonnprover).



Figur 5a & 5b. Turbiditet av prover från Röbbäcksdalen, Försök R2-4009 (Vänster: aggregatprover, höger: kolonnprover).



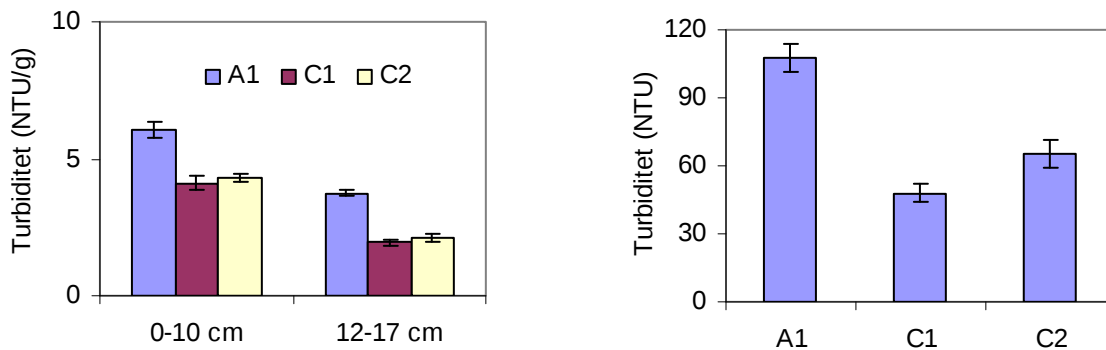
Figur 6a & 6b. Turbiditet av prover från Lanna, Försök R2-4010. (Vänster: aggregatprover; höger: kolonnprover). A2- konventionell plöjning; B2 – Plöjning vissa år; C2 – Enbart stubbearbetning



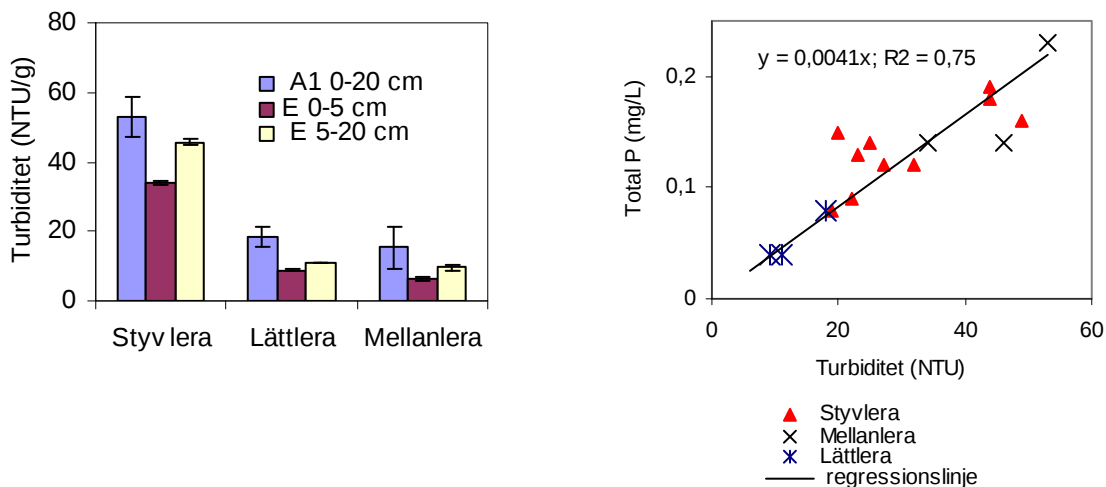
Figur 7a & 7b. Turbiditet av prover från Ultuna, Försök R2-4027 (Vänster: aggregatprover, höger: kolonnprover).

Direktsådd på Lanna minskade markant turbiditeten på så väl aggregatprover som kolonnprover (figur 8a & 8b). Den positiva effekten av direktsådd förstärktes om halmen ej bärgades. Likaså var partikelförlusterna i permanent gräsvall lägre jämfört med konventionell bearbetning oavsett jordart (figur 9). Aggregatsammanhållningen var ännu bättre i övre markskiktet (0-5 cm) jämfört med nivån 5-20 cm.

I figur 10 anges totalfosfor i suspenderat ler. För att kunna fastställa sambandet mellan totalfosfor och uppslammat ler mättes turbiditeten i en liters suspension samtidigt som vätskeprover togs för fosforanalys. Resultatet visade tydligt att sambandet mellan totalfosfor och turbiditet var linjärt med stark statistisk signifikans.



Figur 8a & 8b. Turbiditet av prover från Lanna, Försök R2-4017 (Vänster: aggregatprover, höger: kolonnprover). Jordprovtagning i fält sommaren 2007. A- konventionell bearbetning; C – direktsådd; 1 – halmen kvar; 2- halmen bortförd.



Figur 9. Turbiditet av aggregatprover från Ultuna, Försök R2-7115 (A = konventionell bearbetning; E = permanent vall).

Figur 10. Turbiditet som funktion av totalfosfor i suspenderat material.

SLUTSATSER

Uppslamning av jordpartiklar i vatten påverkades av hur jorden hade bearbetats de senaste åren. Att begränsa bearbetningsdjupet till 10-12 cm leder till en stor förbättring av aggregatstabiliteten i nedre matjordslagret. Direktsådd var den bästa metoden för att skydda och utveckla aggregatstabiliteten. Att ha halmen kvar förstärkte ytterligare aggregatsammanhållningen. Därför bör detta odlingssystem vidareutvecklas för att säkra uthållig markanvändning och förbättra resurshushållningen. Systemet kan kompletteras med att lägga in enstaka plöjning då det är nödvändigt till exempel för att bekämpa rotagräs. Undersökningen av partikelförluster i led med permanent grässvall och i det med plöjd jord gav oss information hur till exempel skyddszoner längs vattendrag fungerar. Att lämna känsliga åkerkanter längs vattendrag med permanent grässvall verkar ha stora effekter för att få ner jordförluster till vattnet. Att skyddszoner kan fungera som näringsfälla bör dock närmare undersökas avseende på till exempel infiltration under olika väderleksförhållanden. Det var ett starkt samband mellan koncentration av totalfosfor och jordpartiklar i avrinningsvatten. Således är mätning av turbiditet tillräckligt att uppskatta utlakning av partikelbundet fosfor från mineraljordar.

LITTERATURFÖRTECKNING

- Boström, B., Persson, G. & Broberg, B., 1998. Bioavailability of different phosphorus forms in freshwater systems. *Hydrobiologia* 170, 133-155.
- Carter, R.M. (Redaktör) 1994. Conservation tillage in Temperate agroecosystems. Lewis Publisher, London, 290 s.
- 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.
- Ekholm, P., 1994. Bioavailability of phosphorus in agriculturally loaded rivers in south Finland. *Hydrobiologia* 287: 179-194.
- 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.
- Håkansson, I. 2000. *PACKNING AV ÅKERMARK VID MASKINDRIFT: Omfattning - effekter – motåtgärder*. Institutionen för markvetenskap, SLU, Uppsala, 123.
- Koistra, M.J. & Tovey, N.K., 1994. Effects of compaction on soil microstructure. In: Soane, B.D. & van Ouwerkerk, C. (Eds.), *Soil Compaction in Crop Production. Developments in agricultural engineering* 11. Elsevier, pp. 91- 111.
- 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. 1986. Markfysikaliska och markkemiska effekter av plöjningsfri odling i Sverige. Rapporter från avdelningen för jordbearbetning, nr 70, 35 s.
- Rydberg, T. 1987. Studier i plöjningsfri odling i Sverige 1975-1986, Rapporter från jordbearbetningsavdelningen, Institutionen för markvetenskap, nr 76, 53 s.