

Effekter av jordbearbetningssystem på vatten-, sediment- och fosfortransport i övre delen av marken vid olika regnintensitet. Projektnummer H0970242

Abraham Joel, Ingrid Wesström och Ingmar Messing; Mark och miljö, SLU

Under senare tid har ett flertal rapporter framhållit behovet av åtgärder för att reducera fosforförluster och transport av sedimenten från land till vatten. Ett stort hinder i detta arbete är att vi inte har tillräckligt med kunskap om olika åtgärders effektivitet och inte heller om bakomliggande orsaker för fosforförlusterna (Bergström et al., 2007).

Tidigare har det ansetts att ytavrinning är den dominerande orsaken till fosforförluster från jordbruksmark. Under senare tid har dock ett flertal studier visat att stora fosforförluster sker genom de grävda dräneringssystemen (Heathwaite and Dils, 2000; Chapman et al., 2001; Gentry et al., 2007). Fosforutlakning via dräneringssystem sker ofta med höga koncentrationer under korta perioder (Ulén, 1995) och har sitt ursprung från anrikade källor i matjorden (Grant et al. 1996; Öygarden et al. 1996). I en sammanställning för svenska jordar är P-transporter genom ytavrinning i storleksordningen 0,02- 0,4 kg ha⁻¹ år⁻¹ och utlakning via dräneringsvattnet mellan 0,1 till 1,8 kg ha⁻¹ år⁻¹ (Bergström et al., 2007). Börling (2003) visade från långliggande försök, att gödning med oorganiskt P med 42-49 kg ha⁻¹ år⁻¹ i mer än 30 år medförde P-ackumulering ner till 40 cm djup i marken. Under detta djup fanns inga skillnader i P-innehåll mellan gödslad och ögödslad jord.

Storleken på avrinning och erosion beror på många faktorer. Bland de viktigaste är nederbördsmängd och intensitet, jordens egenskaper, topografi och markanvändning. Eftersom processerna är så komplexa används modeller för att utvärdera hur parametrarna samverkar. Aggregatstabilitet och hydraulisk konduktivitet är viktiga platsbundna egenskaper. Deras interaktion påverkar vattnets flödesvägar och sedimenttransport, som i sin tur bestämmer hur fosforförlusterna sker på markytan respektive i markprofilen. Att öka kunskap inom detta område är grundläggande i utformningen av odlingsåtgärder för att reducera fosforförlusterna.

Syfte

Syftet med detta projekt har varit att öka kunskapen om storleken på vatten-, sediment- och fosfortransporter i övre delen av markprofilen vid olika regnintensiteter, samt generera förbättrade data för några viktiga styrparametrar i simuleringsmodellering av brukningsåtgärders inverkan på fosforutlakning. Projektet har haft följande delmål;

1. Analysera i fält storleken på vatten-, sediment- och fosfortransport på markytan respektive genom matjorden och övre alven vid olika regnintensiteter på konventionell (plöjning) respektive plöjningsfri bearbetning på två olika typjordar.
2. Identifiera kritisk regnintensitet för frigörelse av sediment och fosfor på dessa jordar.
3. Mäta och analysera förändringen i aggregatstabilitet, markens porsystem och genomsläpplighet i makroporsystemet efter regn, samt sätta dessa förändringar i relation till sediment- och fosforförelserna.
4. Utvärdera effekten av konventionell respektive plöjningsfri bearbetning på vatten- och sedimenttransport.

Material och metoder

Fältmätningar och laboratoriestudier har genomförts på två styva lerjordar, en utan och en med gyttjeinslag, i försök med konventionell och reducerad bearbetning. På varje mätplats har

experiment med regnsimulator utförts på våren efter sådd/uppkomst och på hösten efter skörd och jordbearbetning. I samband med experimenten har omfattande infiltrationsmätningar, markfysikaliska analyser samt vattenprovtagning genomförts.

Försöksplatser

Undersökningarna har utförts på två försöksplatser med långliggande jordbearbetningsförsök i Uppsala. Under hösten 2010 och våren 2011 gjordes mätningar på Ultuna (Vipängen) (59849⁰N, 17839⁰E) tre km söder om Uppsala. Motsvarande mätningar utfördes på hösten 2011 och våren 2012 i försök på Säby (59850⁰N; 17842⁰E) sex km sydöst om Uppsala. Enligt klimatdata från klimatstationen på Ultuna, SLU, är årsmedelnederbörd 528 mm och årsmedeltemperaturen 5,5 °C under perioden 1961-90 (Alexandersson et al., 1991).

Jordarten på Vipängen var en välaggregerad styv lera (45-60 % ler) med hög mjälahalt och måttligt krympande/svällande egenskaper. Modern materialet bestod av postglacial sedimentär lera som innehöll illit (30 till > 50 % av lerfraktionen) och vermikulit (10-20 %). Enligt Larsbo et al. (2009) varierade halten organiskt kol mellan 1 till 2 % i matjorden och omkring 0,5 % i övre alven, den torra skrymdensiteten mellan 1,35 och 1,50 g cm⁻³ i matjorden och 1,40–1,55 g cm⁻³ i övre alven, och pH (i vatten) runt 5,5-6 i matjorden och 6,5-7 i övre alven. Lätt tillgänglig fosfor (P-AL) växlade i intervallet 3,5-5 mg 100 g⁻¹ (som motsvarar klass 2-3 i en 5-graderad skala) i övre matjorden, 2-4 mg 100 g⁻¹ (klass 1 - 3) i nedre matjord och 1-2 mg 100 g⁻¹ (klass 1-2) i den övre alven.

Jordarten på Säby var en väl aggregerad moig mellanlera (30-35 % ler) med gyttejnehåll och måttligt krympande/svällande egenskaper. Mullhalten varierade mellan 4 till 6 % i matjorden och mellan 0 till 5 % i alven, den torra skrymdensiteten mellan 1,07 och 1,36 g cm⁻³ i övre matjorden, 1,53 och 1,57 g cm⁻³ i nedre matjorden och 1,27–1,45 g cm⁻³ i övre alven, och pH (i vatten) var i medeltal 5,8 i övre matjorden, 6,3 i nedre matjorden och 6,7 i övre alven. Lätt tillgänglig fosfor (P-AL) varierade i intervallet 1,1–3,3 mg 100 g⁻¹ (klass 1-2) i övre matjorden, 0,6-3,6 mg 100 g⁻¹ (klass 1 - 2) i nedre matjord och 0,4-3,3 mg 100 g⁻¹ (klass 1-2) i den övre alven.

De långliggande jordbearbetningsförsöken startade år 1974 på Vipängen och år 1997 på Säby. I försöksserien ingår fyra försöksled i fyra block med olika intensiva jordbearbetningssystem. Försöksleden består av plöjning varje år, konventionell bearbetning (led A), plöjning vissa år, övriga år enbart ytlig bearbetning med kultivator och/eller tallriksredskap (led B), plöjning vissa år, övriga år luckring till plogdjup (led C) och aldrig plöjning, enbart ytlig bearbetning med kultivator och/eller tallriksredskap (led D). Bearbetningsdjupen för leden som ingick i studien var 25 cm för konventionell jordbearbetning och 10 cm för plöjningsfritt. Försöken gödslas med 20 kg fosfor per hektar årligen. På Vipängen odlades korn år 2011 och på Säby var grödan ärter år 2012.

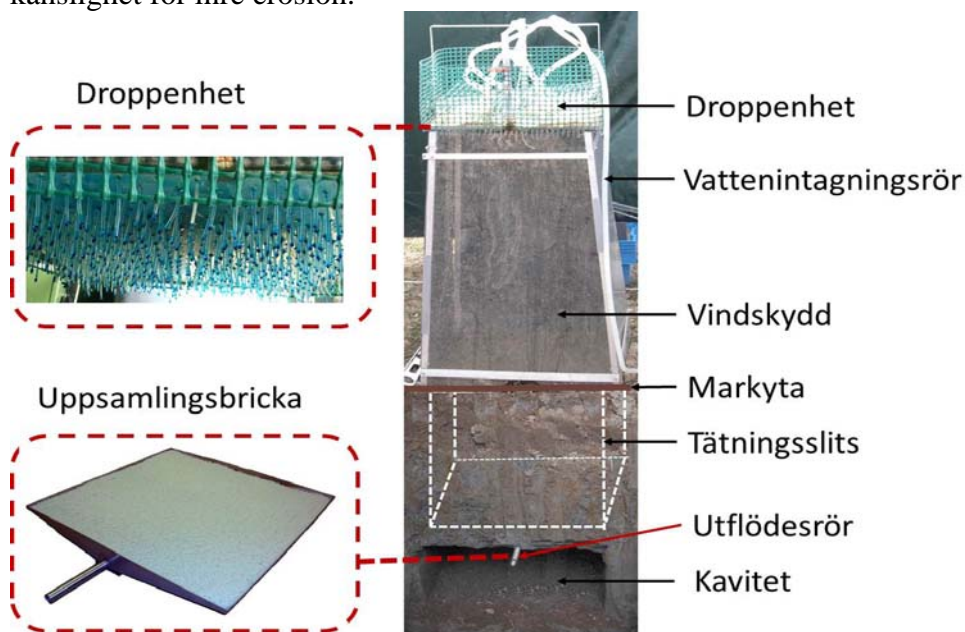
Mätningar i fält

Mätningar av sedimenttransport vid olika nederbördsintensitet genomfördes i leden A och D i fyra block vid ett tillfälle på Vipängen och två tillfällen vid Säby. Sammanlagt har 64 undersökningar genomförts (2 bearbetningssätt x 2 regnintensiteter x 4 upprepningar x 2 tillfällen x 2 försöksplatser). Första hösten (2010) utfördes orienterande studier strax utanför försöksrutorna vid Vipängen, bestående av fem upprepningar med olika intensiteter.

En mätgrop grävdes till cirka 120 cm djup. På 50-65 cm djup grävdes ett schakt (0,7 m brett, 0,4 m högt) cirka 0,9 m in i profilväggen. Översidan av schaktet prepareras med kniv så att det naturliga porsystemet inte blev igensatt. En uppsamlingsbricka fylld med plastkulor (4

mm) placerades överst för att säkra en bra kontakt med jordlagret ovanför. I uppsamlingsbrickan fanns en utflödesanordning som underlättade vatten- och sedimentprovtagning (figur 1).

På markytan rakt ovanför schaktet slogs en metallram med kanter ned i marken för att begränsa ytvattenflöden. Under markytan förseglades jordprofilen åt sidorna ned till 50 cm djup med hjälp av bentonit. En regnsimulator med variabel regnintensitet/droppstorlek placerades ovanpå metallramen. Regnsimulatorn startades med en låg eller hög inställd regnintensitet. Vatten som perkolerade genom den 50 cm djupa markprofilen samlades upp av brickan i schaktet och leddes via utflödesanordningen till en mätanordning (manuell) som registrerade vattenflödet per tidsenhet. Efter cirka 30 min. med konstant utflödes hastighet ändrades regnintensiteten till hög eller låg intensitet. Efter cirka 30 min. med konstant utflöde stoppades regnsimulatorn. Avrinningsvattnet (vatten + sediment) samlades kontinuerligt under experimentet. Allt tillfört vatten infiltrerade. Ingen uppmätt ytvattenavrinning noterades. Genom att både mäta vattenflöde och sedimenttransport fick vi ett mått på jordens känslighet för inre erosion.



Figur 1. Schematisk presentation av fältmätningens anordning.

Tensionsinfiltrationsmätningar (Soil Measurement Systems, 120-200 mm diameter skiva) gjordes på Vipängen på markytan, före och efter mätningarna med regnsimulatorn med tensioner (h) -60, -30, -10 mm och mycket nära noll.

Analys av jord

Jordprover har tagits ut före första mätningen med regnsimulator (bredvid ytan för regnsimulering), och efter sista mätningen (i jordprofil där vatten från regnsimulator har perkolerat) för laboratorieanalys för bestämning av jordens textur, vattenhållande förmåga, mättad hydraulisk konduktivitet, skrymdensitet och gravimetrisk vattenhalt samt pH och innehåll av fosfor (P-AL).

Analys av vatten

Vattenprover analyserades på laboratorium med avseende på volym vatten och mängd sediment. Vattenproverna lagrades vid 4 °C eller frysta tills dess de hade analyserats. P-

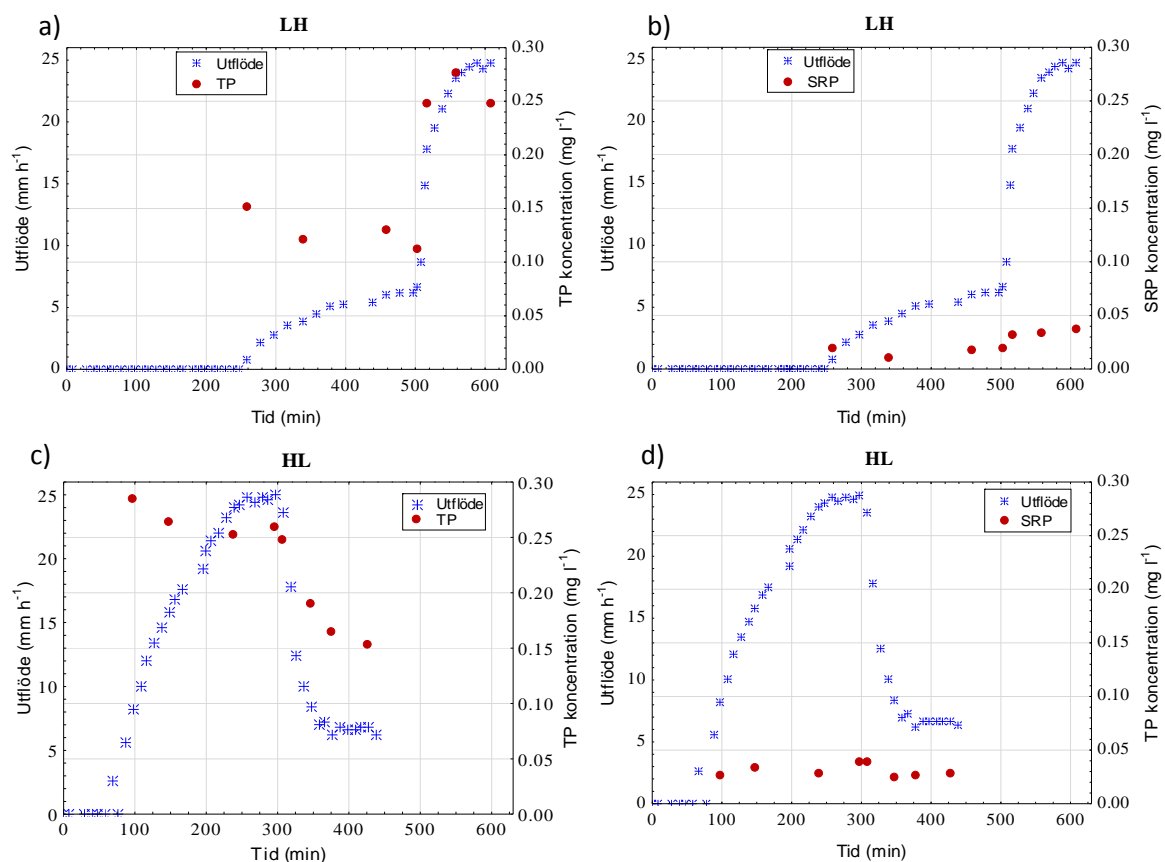
analyserna utfördes inom 24-48 timmar efter insamling. Total P (TP), total reaktiv P (TRP), total löslig P (SP) och löslig reaktiv P (SRP) i utvalda vattenprover analyseras i enlighet med svensk Standard (EN 1189). TP och TRP bestämdes i ofiltrerade vattenprover, SP och SRP bestämdes i filtrerade vattenprover (< 0,45 µm). Sedimentinnehåll bestämdes efter torkning i 105 °C av det filtrerade materialet. Turbiditetsmätningar utfördes på ofiltrerade vattenprover med hjälp av en Nephelometer (Turbidimeter Hach modell 2100N).

Resultat

Här följer översiktliga resultat från analyserna av storleken på vatten-, sediment- och fosfortransport vid olika regnintensiteter för de två bruksmetoderna (konventionell och reducerad bearbetning) på de två jordarna. Mer detaljerade resultat finns i dokumenten i publikationslistan nedan, samt som kommer att publiceras i ytterligare 3-5 vetenskapliga artiklar.

Effekter av olika regnintensiteter på storleken på vatten- och fosfortransporter

Ett exempel på effekter av regnsimulorkörningar med olika regnintensitet på utflöde och P-transport presenteras i figur 2. För körningen med sekvensen låg till hög intensitet, L-H (figur 2a, 2b), startade utflödet från uppsamlaren 247 min efter igångsättningen av regnsimulatorens. Utflödet ökade därefter fram tills dess ett stationärt flöde hade uppnåtts (när utflödet inte längre förändras med tiden) vid cirka 6,7 mm h⁻¹. Genombrottet för TP och SRP inträffade samtidigt som genombrottet för vatten. Vid stationära flödet var TP koncentration cirka 0,13 mg l⁻¹ och för SRP vid cirka 0,017mg l⁻¹.



Figur 2. Utflöde och P-koncentrationer för två olika regnintensitetssekvenser – exempel från en av åtta försöksrutor på Vipången: a) låg till hög intensitet, totalt P (TP); b) låg till hög intensitet, lösligt reaktivt P (SRP); c) hög till låg intensitet, TP; d) hög till låg intensitet, SRP.

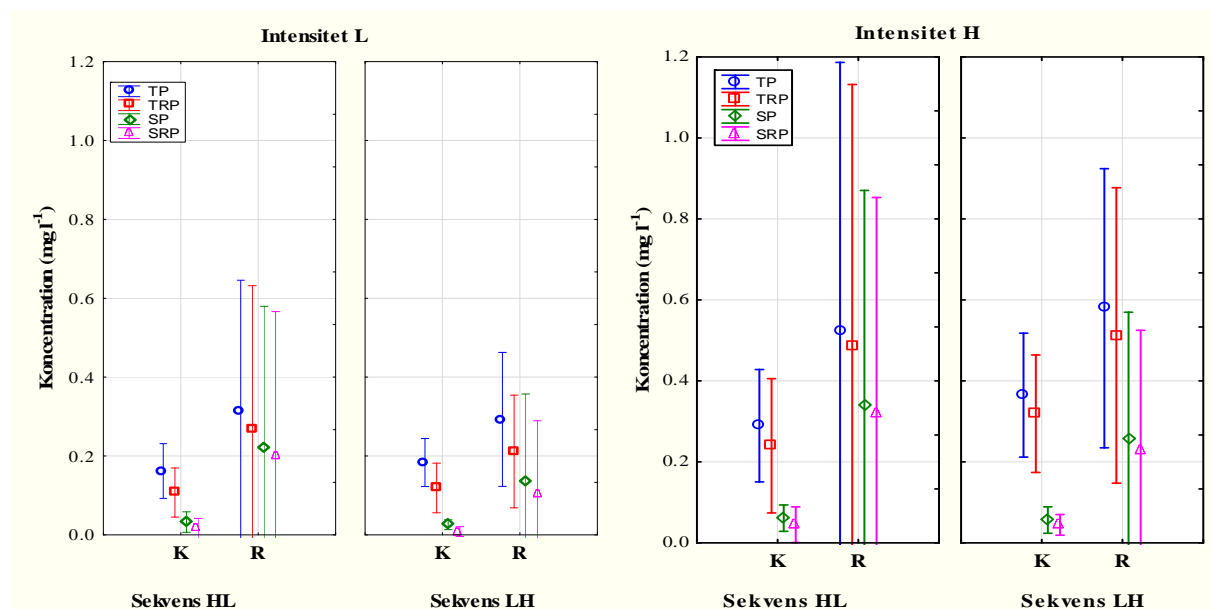
Efter ändring från låg till hög intensitet, ökade utflödet först snabbt och sedan långsammare, mot stationärt flöde vid cirka 24,7 mm h⁻¹. TP och SRP ökade också till värden omkring 0,25 mg l⁻¹ och 0,038 mg l⁻¹, respektive. I sekvensen H-L (figur 2c, 2d), startade utflödet från uppsamlaren 67 min efter igångsättningen av regnsimulatoren och ökade sedan till ett stationärt värde på cirka 24,7 mm h⁻¹, och efter minskningen i regnintensitet minskade utflödet ned till 6,7 mm h⁻¹.

Värt att notera var att H och L hade liknande värden på stationärt flöde oberoende i vilken ordning sekvenserna kördes. Genombrottet för TP och SRP inträffade också samtidigt som genombrottet för vatten. Vid stationära flödet för H var TP koncentration cirka 0,259 mg l⁻¹ och för SRP cirka 0,040 mg l⁻¹, och för efterföljande L sjönk TP till 0,153 mg l⁻¹ och för SRP 0,028 mg l⁻¹. Koncentrationerna av TP och SRP var i samma storleksordning för respektive H och L oberoende i vilken ordning sekvenserna kördes.

Regnsimulatorkörningarna med olika regnsekvenser genererade två stationära vattenflöden den låga regnintensiteten på 6,7 mm h⁻¹, vilket motsvarar en regnintensitet på 1 timmes varaktighet med mindre än 0,5 års återkomsttid och den höga intensiteten på 24,7 mm h⁻¹ motsvarande en regnintensitet på 1 timmes varaktighet och en återkomsttid på 10 år (Dahlström, 2010).

Effekter av konventionell respektive plöjningsfri bearbetning på vatten-, fosfor- och sedimenttransport

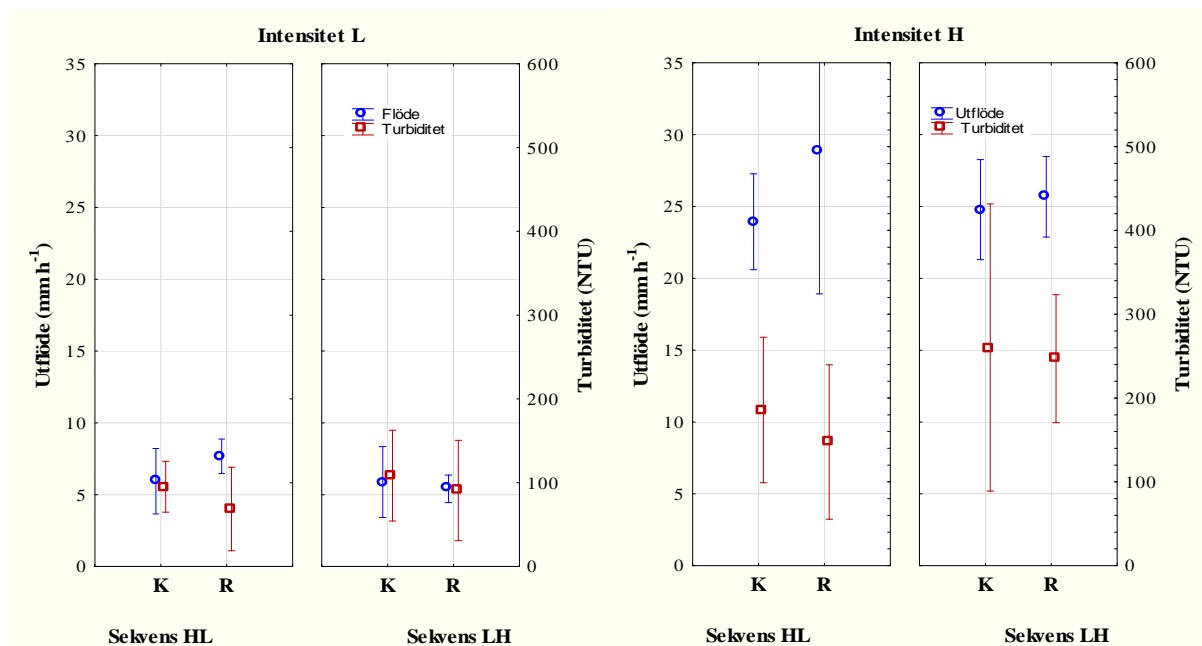
På Vipången observerades att utflödet av P var något högre för reducerade bearbetning både vid L- och H-intensitet (figur 3). Resultaten var inte statistiskt signifikanta pga. den stora spridningen i resultat. Det fanns stor skillnader i erhållna resultat mellan ofiltrerade (TP och TRP) och filtrerade (SP och SRP) P-analyser. Förhållandena mellan TRP/TP och SRP/SP varierade och var inte linjära.



Figur 3. Medelvärde och standardavvikelse av P-koncentrationer (mg l⁻¹) i avrinningsvattnet vid regnsimulering med låg (L) och hög (H) intensitet i försöksrutor med reducerad (R) och konventionell (K) bearbetning på våren 2011 på Vipången

Avrinningen under intensitet L var betydligt lägre än under H (signifikanta skillnaderna) (figur 4). Förhållandet mellan avrinning/tillflöde var vid samtliga fall lägre för intensitet L (50 till 77 %) än motsvarande värden för H som var mellan 69 till 78 %. Detta gav en indikation på att en del av tillfört vatten går åt för att fylla på markvattenförrådet.

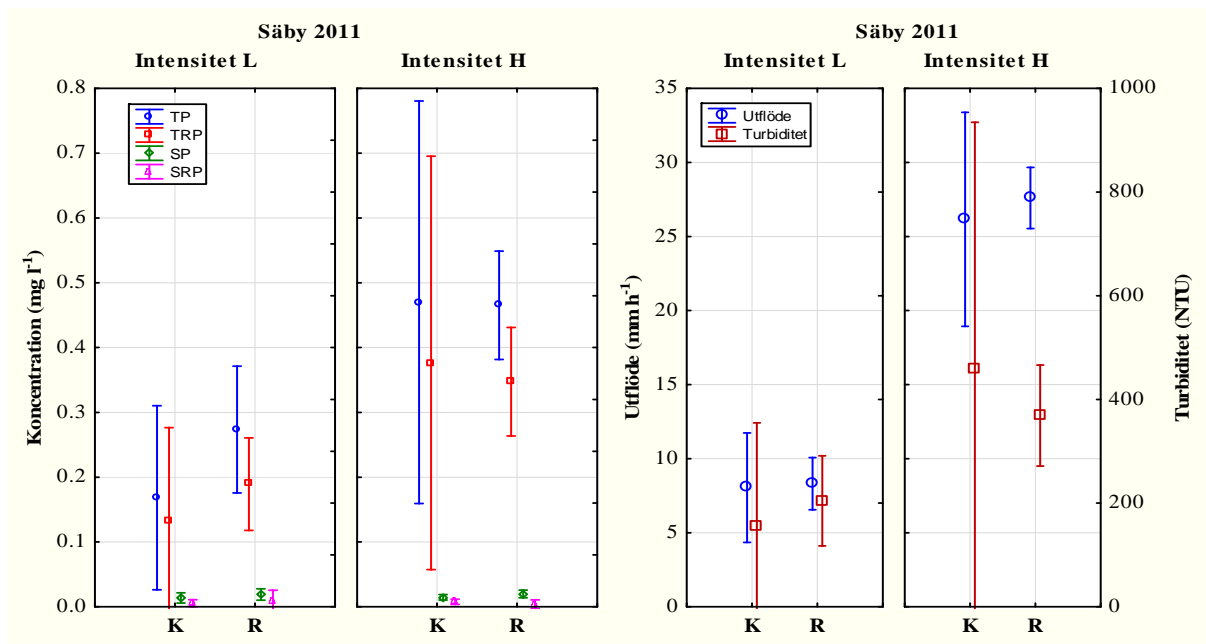
Turbiditetsanalyserna visade ett tydligt samband med avrinning där en högre turbiditet uppmätts under hög avrinning (figur 4). Sambandet mellan turbiditet och avrinning påverkades också av bearbetningssystem. Vid samtliga fall visade reducerade bearbetning en lägre turbiditet än konventionell bearbetning trots att avrinningen var något högre. En höjning av vattentillförseln gav en mycket snabb ökning av turbiditeten, men vid en sänkning av tillförseln tog det betydligt längre tid innan turbiditeten sjönk till lägre värden. Under naturliga regnförhållande kan därför korta episoder av hög regnintensitet under ett regntillfälle vara av betydelse för transport av sediment och fosfor.



Figur 4. Medelvärde och standardavvikelse av utflyde (mm h^{-1}) och turbiditet (NTU) i avrinningsvattnet vid regnsimulering med låg (L) och hög (H) intensitet i försöksrutor med reducerad (R) och konventionell (K) bearbetning på våren 2011 på Vipången.

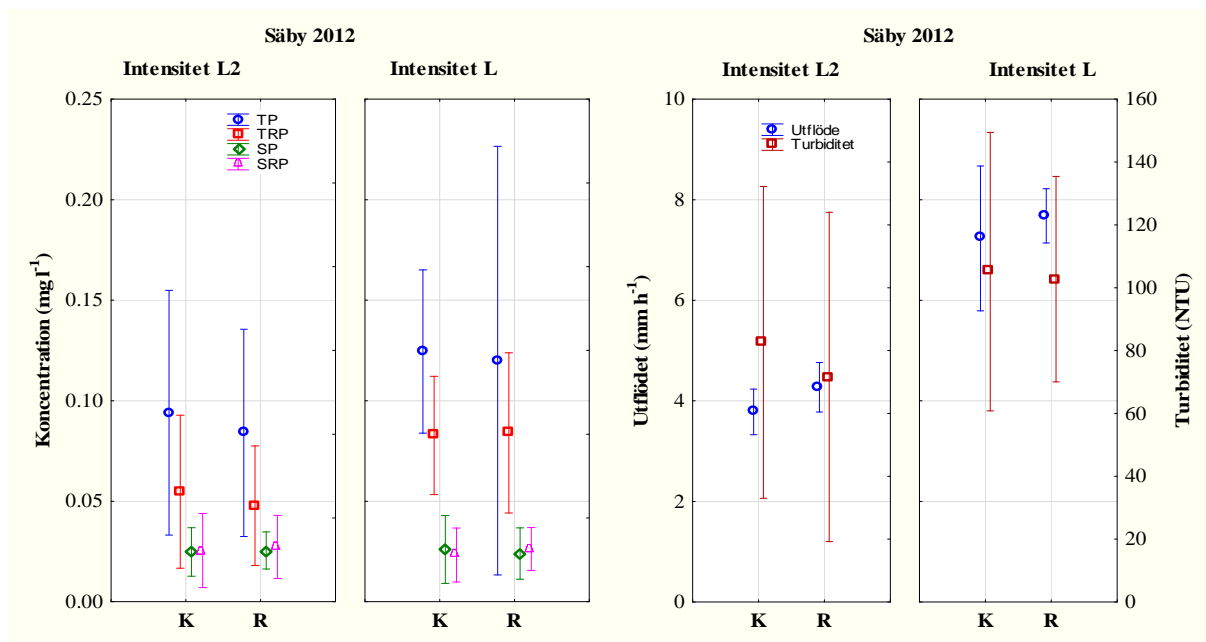
Resultaten från försöken under hösten 2011 på Säby visade i en relativt stor spridning mellan blocken och blev därmed inte statistiskt signifikant. Figur 5 visar att avrinningen från rutorna med reducerade bearbetning var något högre i jämförelse med konventionell bearbetning. Signifikanta skillnader återfanns enbart vid jämförelser mellan L och H. Generellt ökade turbiditeten i vattnet med ökade flöden, med undantag för intensitet H i rutor med reducerad bearbetning som gav en lägre turbiditet trots att flödet var större. Resultaten är i stort överensstämmande med observationer från Vipången.

Koncentrationen av P i avrinningsvattnet (alla former av P) var något högre för H-intensiteten jämfört med L (figur 5). Inga större skillnader fanns mellan de olika bearbetningssystemen. Anmärkningsvärt var att P koncentration i de filtrerade proverna hade mycket lågt förhållande mellan SP/TP som var 6 % och för SRP/SP var 3 %. Motsvarande värdet i Vipången var 27 % och 26 %, respektive.



Figur 5. Medelvärde och standardavvikelse av P-koncentrationer (mg l^{-1}), utflöde (mm h^{-1}) och turbiditet (NTU) i avrinningsvattnet, av regnsimulator med låg (L) och hög (H) intensitet i försöksrutor med reducerad (R) och konventionell (K) bearbetning på hösten 2011 på Säby.

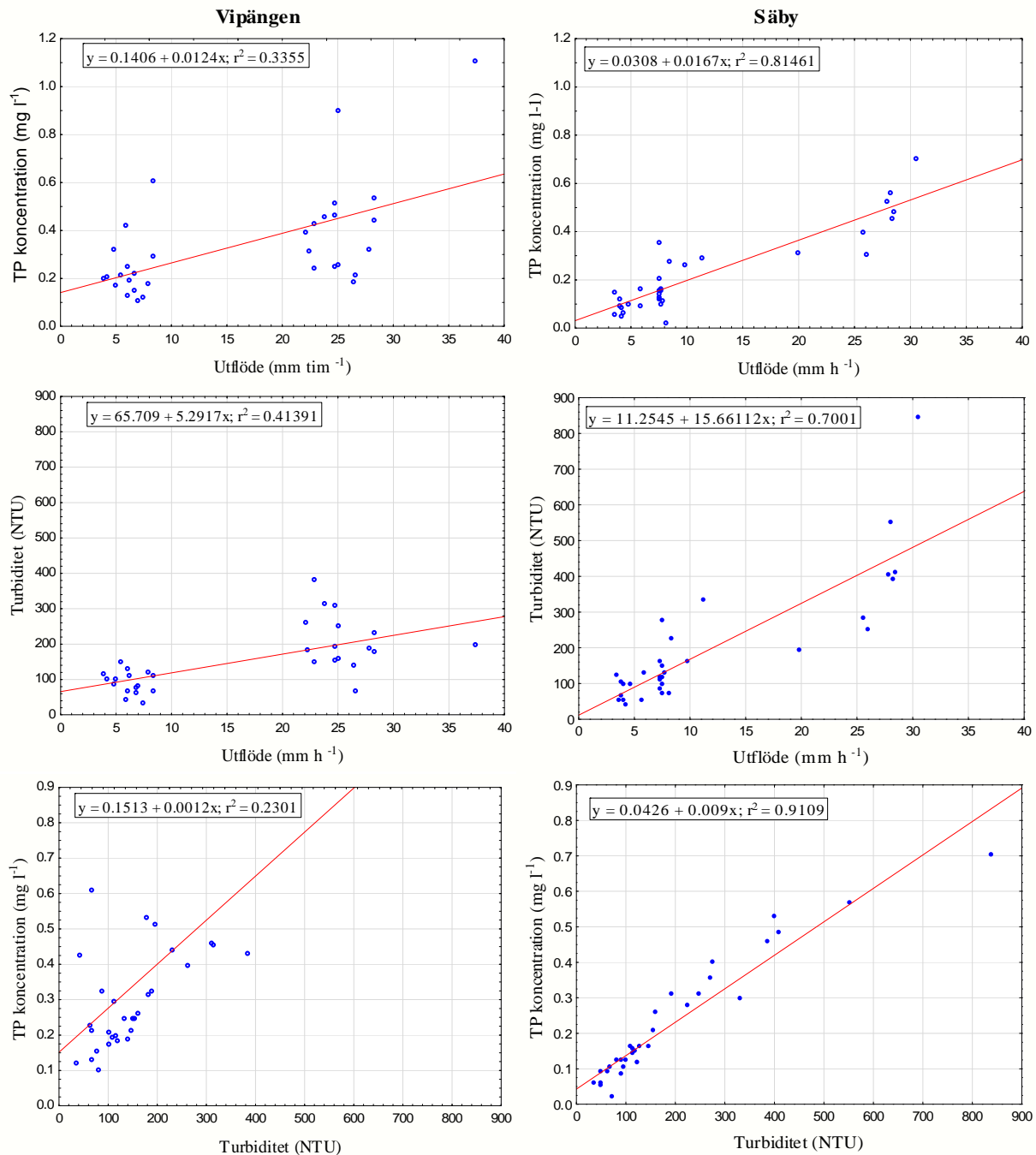
Under vår/sommarsäsongen 2012 i Säby sänktes intensiteten på regnsimulatorens så att den högsta intensiteten motsvarade L under höstsäsongen 2011 och den lägsta intensiteten L2 motsvarade halva L (figur 6). För intensitet L var den genomsnittliga avrinningen 74 % av tillförseln vilket är i samma storleksordning som resultaten under motsvarande intensitet under höstsäsong 2011. L2 följer samma tendens där förhållande mellan tillförsel och avrinning var 78 %.



Figur 6. Medelvärde och standardavvikelse av P-koncentrationer (mg l^{-1}), utflöde (mm tim^{-1}) och turbiditet (NTU) i avrinningsvattnet, vid körning av regnsimulator med mycket låg (L2) och låg (L) intensitet i försöksrutor med reducerad (R) och konventionell (K) bearbetning på våren 2012 på Säby.

Turbiditeten var något högre för intensitet L jämfört med L2. Skillnaderna var inte tillräckligt stora för att vara statistiskt signifikanta. Vid samma intensitet (L) var turbiditeten lägre under 2012 jämfört med 2011. Koncentrationen av TP och TRP i avrinningsvattnet var lägre för L intensitet 2012 jämfört med L under 2011, dock var både koncentrationen av SP och SRP högre jämfört med L under 2011 (figur 5 och 6).

Förhållandena mellan TP-koncentration och avrinningsintensitet och mellan turbiditet och avrinningsintensitet samt på relationen mellan turbiditet och TP-koncentration skiljer sig åt mellan de två olika försöksplatserna (figur 7).



Figur 7. Sambanden mellan TP-koncentration och utflöde och mellan turbiditet och utflöde samt på relationen mellan turbiditet och TP-koncentration uppmätta vid körning med regnsimulator i försök på Vipängen och Säby under perioden våren 2011 till hösten 2012.

De redovisade sambanden är statistiskt svaga för Vipängen. Statistiskt starka samband återfanns däremot för Säby. På Vipängen var TP-koncentration vid låg avrinningsintensitet högre än på Säby, men TP koncentration ökade något mindre vid ökad intensitet i jämförelse med Säby. Liknade samband fanns för turbiditet. Sambandet mellan TP-koncentration och turbiditet var också svagt för Vipängen men starkt för Säby. Sambanden mellan turbiditet och TRP-SP-SRP var mycket låga både på Vipängen och på Säby.

Slutsatser av ovanstående studier

- Något högre avrinning och lägre turbiditet för reducerad jämfört med konventionell bearbetning har observerats
- Turbiditet och P-koncentrationer i avrinningsvattnet ökade med ökad avrinning
- En ökning av intensiteten höjde mycket snabbt turbiditeten och P-koncentrationen i avrinningsvattnet
- Vid en sänkning av intensiteten tog det relativt längre tid innan turbiditet och P-koncentrationen sjönk i avrinningsvattnet
- En platskalibrering är nödvändig om turbiditet ska användas som indikator för P innehåll i avrinningsvattnet
- Reducerad jordbearbetning är inte tillräckligt för att sänka P-transporten från matjorden ned till övre delen av alven
- Effekter av bearbetningssystem på P-transport genom markprofilen är beroende av jordens struktur och regnintensitet

Resultat från några andra delstudier i detta projekt

I de orienterande studierna med regnsimulator på Vipängen första hösten (2010: fem upprepningar med olika intensiteter) erhöles rimliga positiva korrelationer mellan turbiditet (T), sedimentkoncentration (SC) och totalfosfor (TP) kontra stationär utflödes hastighet av vatten (qs). Beroenden var starka mellan TP och var och en av qs och T, och svagare mellan TP och SC (Messing, Wesström, Joel & Strock, 2013).

Studierna på Vipängen våren 2011 visade att, i intensiteten intervallet 4 till 28 mm h⁻¹, TP och SRP ökade i genomsnitt med cirka 12 % ($\mu\text{g m}^{-2} \text{min}^{-1}$) per enhet ökning i intensitet (mm h⁻¹). Enligt framtida klimatscenerier kommer regnintensiteten att öka med cirka 15 % i östra Sverige. Våra resultat visar att en 15 % ökning skulle medföra att: i) vid låg intensitet (i genomsnitt 6,5 mm h⁻¹) med 1 timmes varaktighet, en ökning av totala P-transporten som motsvarar cirka 1 % av den årliga totala P-utlakningen i Sverige, och ii) vid hög intensitet (25 mm h⁻¹) med 15 minuters varaktighet, en ökning av totala P-transporten som motsvarar ca 4 % av den årliga totala P-utlakning i Sverige. (Messing, Joel, Wesström & Strock, 2013)

Publikationer inom projektet

Joel, A., Messing, I. & Wesström, I. 2011. Method for in situ measurements of water and sediment transport in the upper soil profile. In the proceedings of NJF seminar 444 "Soil erosion in the Nordic countries - Processes, mapping and mitigation", 2-4 November 2011, Norway. [http://www.njf.nu/filebank/files/20111222\\$203933\\$fil\\$j4WV270p60I7TITa7j4T.pdf](http://www.njf.nu/filebank/files/20111222$203933$fil$j4WV270p60I7TITa7j4T.pdf)

Joel, A., Wesström, I., Strock, J. & Messing, I. 2012. Method for in situ measurements of water, sediment and phosphorous transport in the upper soil profile. Acta Agr Scand, Sect B; Soil Pl 62(2):252-259. <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/09064710.2012.714399>

Mingot Soriano, A.M. 2013. Estimating water and sediment transport through the soil at field and laboratory. Degree project in Environmental Science. Examensarbeten, Institutionen för mark och miljö, SLU. 2013:01. http://stud.epsilon.slu.se/5202/1/mingot_a_130117.pdf

Messing, I., Joel, A., Wesström, I. & Strock, J. 2013. Influence of higher rain intensities on phosphorous movements in the upper 50 cm of macroporous heavy clay. In the proceedings of NJF seminar 462 "Does climate change demand a new approach to drainage design?", 23 - 25 September 2013, Sarpsborg, Norway.

Messing, I., Wesström, I., Joel, A. & Strock, J. 2013. In situ method for measuring water fluxes and sediment and phosphorus yields at high drip infiltrometer intensities in the upper half meter of a tilled clay soil. Submitted to Communications in Soil Science and Plant Analysis.

Sandin, M. 2012. Effects of simulated rainfall intensity on water flow through soil in two tillage systems. Master's Thesis in Soil Science, Agriculture Programme - Soil and Plant Sciences. Examensarbeten, Institutionen för mark och miljö, SLU. 2012:16. http://stud.epsilon.slu.se/4970/1/sandin_m_121016.pdf

Referenser

Dahlström, B., 2010, Regnintensitet - en moln-fysikalisk betraktelse, Svenskt Vatten Utveckling, rapport 2010-05, (App, C p, 42)

Grant, R., Laubel, A. & Kronvang, B.. 1996. Transport of sediment and phosphorous in the arable Gelbaek catchment, Denmark: II. Drainage water. In Sediment and Phosphorous - Erosion and delivery, transport and fate of sediment and sediment-associated nutrients in watershed, eds. B. Kronvang, L. M. Svendsen, and E. Sibbesen, 71-74. Proceedings from an international workshop in Silkeborg, Denmark, 9-12 October 1995, NERI Technical report No. 178, Ministry of Environment and Energy, National Environmental Research Institute: Denmark.

Larsbo, M., Stenström, J., Etana, A., Börjesson, E., & Jarvis, N.J., 2009, Herbicide sorption, degradation, and leaching in three Swedish soils under long-term conventional and reduced tillage, *Soil & Tillage Research* 105: 200–208,

Svenskt Vatten (C, Hernebring, G, Svensson), 2011, Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem, Publikation P104, Augusti 2011, (Table 5,2 p, 64)

Ulén, B. 1995. Episodic precipitation and discharge events and their influence on losses of phosphorus and nitrogen from tiledrained arable fields. *Swedish Journal of Agricultural Research* 25: 25-31.

Öygarden, L., Kvaerner, J. & Jensen, P. D. 1996. Soil erosion with preferential flow to drainage system in artificially levelled clay soils. In Sediment and Phosphorous - Erosion and delivery, transport and fate of sediment and sediment-associated nutrients in watershed, eds. B. Kronvang, L. M. Svendsen, and E. Sibbesen, 59-62. Proceedings from an international workshop in Silkeborg, Denmark, 9-12 October 1995, NERI Technical report No. 178, Ministry of Environment and Energy, National Environmental Research Institute: Denmark.