

Slutrapport för projektet: Alven – en viktig länk i förståelsen av fosforutlakning för valet av motåtgärder

Helena Andersson¹, Lars Bergström¹, Barbro Ulén¹ och Holger Kirchmann¹ och Faruk Djodjic²

¹ Inst. för Mark och Miljö, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala, Sverige.

² Inst. för Vatten och Miljö, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala, Sverige.

Bakgrund

Fosfor förloras från åkermarken genom att det frigörs och transporteras iväg med avrinnande vatten, vilket kan ge upphov till stora miljöproblem. I ett uttalande av Sveriges miljöminister i slutet av augusti 2008, påpekades att marin eutrofiering är ett av våra allvarligaste miljöproblem och att jordbrukets bidrag måste reduceras så fort som möjligt. Att kontrollera och reducera växtnäringsläckage har dock visat sig svårare än väntat (MVB, 2005), vilket inte minst gäller fosfor. I alla länder i norra Europa svarar jordbruket för de största förlusterna av fosfor till kust- och inlandsvatten. Av alla antropogena fosforförluster i Sverige är jordbrukets bidrag till Östersjön ungefär 45%, vilket har en påtaglig negativ påverkan på detta känsliga vatten (Boesch m.fl., 2006). Jordbruket bidrar följaktligen med ganska stora mängder fosfor till våra inlands- och kustvatten, och det effektivaste sättet att komma tillrätta med detta problem är att reducera diffusa förluster från jordbruksmark (Humborg m.fl., 2007). Problemet är att tillgången till bra, vältestade och kostnadseffektiva åtgärder mot fosforläckage från jordbruksmark är begränsad (SEPA, 2003; SEPA, 2006; Bergström m.fl., 2007), trots att stora forskningsinsatser gjorts under senare år för att få fram sådana åtgärder. En väsentlig anledning till bristen på ändamålsenliga motåtgärder är helt enkelt att kunskapsbasen om hur fosfor beter sig i marken fortfarande är bristfällig.

Det är stora skillnader i de mängder fosfor som förloras från åkermarken beroende på jordart, markhydrologi och jordbruksproduktion. Transporten kan ske i olika former från stora aggregat ner till fina lerpartiklar och kolloider eller i helt löst form som ortofosfat eller organiskt fosfat. Det är även väsentligt att känna till hur fosfor transporteras till vattendragen, det vill säga om transporten sker med ytligt avrinnande vatten eller genom utlakning från markprofilen. Detta är helt avgörande för vilka motåtgärder som bör sättas in. I internationella sammanhang hävdar man allmänt att ytavrinning svarar för huvuddelen av fosforförlusterna till vattendrag (Sharpley m.fl., 1993). I Sverige är denna generella bild tveksam. Det finns studier som visar att utlakning är den dominerande förlustvägen (Ulén, 2005). Det är också stora regionala skillnader i vilken form förlusterna sker. Detta gäller även skillnader mellan fält i samma region eller t.o.m. mellan olika delar av ett enskilt fält, liksom i vilken form fosfor förekommer i avrinnande vatten. Både löst och partikulärt bunden fosfor kan förekomma i mängder från några enstaka procent till 90% av totalfosfor i vattnet. Av ovanstående beskrivning framgår det att det kan finnas flera faktorer och faktorskombinationer inblandade i förluster av fosfor från jordbruksmark. Något som också kännetecknar fosforförluster från avrinningsområden är att 90% av förlusterna kan ske från endast 10% av arealen och under 1% av tiden. Detta faktum gör att åtgärderna som sätts in för att minska förlusterna bör vara plats specifika och fungera under de tidpunkter på året då fosforflödena är förhöjda. Åtgärdsarbetet med att minska fosforförluster från jordbruksmark är för närvarande i hög grad inriktat på ändrade fosforbalanser. Fosfortillförseln till jorden i form av flytgödsel och mineralgödsel anpassas till det enskilda fältets fosforstatus och till de

odlade grödornas varierande behov. De senare är i hög grad kopplade till förhållanden i matjorden.

Varför måste alven beaktas för att kunna förstå åkermarkens utlakning av fosfor?

Matjordens innehåll av fosfor har ökat genom gödsling vilket avspeglar sig i stigande P-AL tal. Ju högre tal desto större fosfortillgänglighet, vilket också innebär större mängder löst fosfor i markvätskan och därmed en potentiellt ökad risk för utlakning under de delar av året då marken inte är täckt med växande gröda. Enskilda studier med enbart matjord, som är utförda i odlingskärl eller i lysimetrar bekräftar detta men studier som omfattar hela markprofilen visar inte på något generellt samband mellan fosforinnehållet i matjorden och utlakningen av fosfor (Djordjic m.fl., 2004). Med största sannolikhet är alven och de processer som sker där orsaken till varför det inte finns ett klart samband mellan matjordens innehåll av växttillgänglig fosfor och fosforutlakningen.

Det finns förvånansvärt få studier som undersökt alvens betydelse för omsättning, fastläggning och frigörelse av fosfor. Eftersom alvens volym ner till dräneringsdjup är minst dubbelt så stor som matjordens och kan innehålla naturligt höga fosforhalter, är dess roll som källa långt ifrån försumbar. Å andra sidan kan alven innehålla mycket kalciumkarbonat och/eller järnföreningar och därmed många potentiella bindningsplatser, där fosfor kan fastläggas. Alven kan följaktligen både vara en källa och en sänka för fosfor. Därmed kan alven i själva verket ha en mycket större inverkan på utlakningen än praktiska jordbruksåtgärder i matjorden såsom gödsling och jordbearbetning. Kort sagt, alven spelar en nyckelroll för förståelsen av fosforutlakning. För att kunna utveckla kraftfulla motåtgärder måste alvens fosforreaktioner förstås och kunna förutses. Först genom att lära känna sin alv kan lantbrukaren, med hjälp av sin rådgivare, avgöra hur bra och kostnadseffektiva möjliga motåtgärder mot fosforläckage är på just hans/hennes fält. Ett sätt att angripa detta frågekomplex är att välja ut ett antal typalver för närmare studium, vilket var avsikten med det här beskrivna forskningsprojektet.

Målsättning

Det övergripande målet med projektet var att ta fram kunskap för att identifiera vilken betydelse alvens egenskaper har när det gäller läckagerisken för fosfor. De specifika målen kan sammanfattas i följande punkter:

- att få en god uppfattning om hur olika alvjordar fungerar som fosforkälla respektive fosforsänka med eller utan interaktion med matjorden
- att bestämma omfattningen av fosfors bindning och frigörelse i alven
- att se hur bindningen och frigörelsen i alven påverkar fosforutlakningen
- att undersöka hur placering av kalk under matjorden fungerar som motåtgärd för att minska fosforutlakning

Material och metoder

Typalver som modell för förståelse av fosforprocesser i åkerjord

Nedanstående typalver valdes med utgångspunkt från att representera jordar med egenskaper som gör att de kan fungera antingen som källa eller sänka för fosfor. Ett annat urvalskriterium var att jordarna skulle tas från platser där omfattande utlakningsmätningar i fältskala sker eller har skett under den senaste 10-års perioden, vilket gör att kopplingen blir stark till studier av åtgärder mot fosforförluster. Resultaten kommer därför att bli mycket viktiga för att öka förklaringsgraden av de observationer som görs i fältstudierna. Följande jordar valdes:

- I. Lanna lerjord: välstrukturerad alv med hög lerhalt, relativt högt pH och lågt P-innehåll
- II. Lerjord från Bornsjön: dåligt strukturerad alv av en jord med hög lerhalt, lågt pH och relativt högt P-innehåll
- III. Mellby sandjord: alv från en sandjord med järnutfällningar
- IV. Nåntuna sandjord: alv från en sandjord utan järnutfällningar eller kalciumkarbonat och med högt P-innehåll

Utlakningsförsök

Under hösten 2009 insamlades lysimetrar från de fyra platserna med en borrhäls teknik utvecklad för att ta ut cylindriska (30-cm diam.) ostörda jordkolonner (Persson och Bergström, 1991). Nio lysimetrar insamlades från varje plats, tre 1-m profiler och sex 0.7-m långa alvprofiler där matjorden tagits bort. Efter uttagning i fält transporterades lysimetrarna till Uppsala där de preparerades för fri dränering och placerades i en lysimeteranläggning (Bergström, 1992) vid SLU under mars 2010. Ett nät (porstorlek 0,05 m) placerades på alvlysimetrarna för att skydda dem från påverkan av kraftig nederbörd. En alvprofil från Bornsjön lerjord exkluderades dock från vidare analys på grund av onormalt låg avrinningsvolym.

Kalk (CaO) tillfördes 5 november 2010 i ett led av alla jordar utom till Mellby där kalkning inte förväntas ha någon effekt på fosforutlakningen. Mängden tillförd CaO motsvarade 5 ton ha⁻¹. Fosforgödsel ((NH₄)H₂PO₄) motsvarande 22 kg P ha⁻¹ tillfördes en gång (april 2011) till alla led utom till ett av Mellbyleden för att se om det blir någon skillnad i utlakning om man fosforgödslar eller inte på en jord där fosfor bindes effektivt i alven. Ingen gröda odlades i lysimetrarna av flera orsaker: (1) vi ville renodla matjordens resp. alvens inflytande på utlakning; (2) eftersom det inte sker någon nämnvärd fosforutlakning under växtsäsongen utan under hösten/vintern, blir växtens roll som fosforsänka underordnad; samt (3) fosfor ackumuleras inte i marklösningen såsom exempelvis nitrat, vilket medför att avsaknaden av en gröda inte leder till högre fosforkoncentrationer i marklösningen under hösten.

Vatten kommer att insamlas under sammanlagt 3 år, fram till september 2013. De resultat som redovisas i denna slutrapport inkluderar dock bara 32 månader (augusti 2010 – april 2013), eftersom studien ännu inte är avslutad. Vattenprov togs veckovis om möjligt, men under intensiva avrinningsperioder även tätare. Vattnet analyserades med avseende på halten av total-P (TP) och löst oorganisk P (DRP). Partikulärt bunden P (PP) beräknades som skillnaden mellan TP i ofiltrerat och filtrerat (0,2 µm filter) prov. Alla vattenanalyser utfördes enligt europeisk standard (European Committee for Standardization, 1996). Utlakade mängder beräknades genom att multiplicera koncentrationen av resp. P-fraktion med avrinningen under perioden innan vattenprovet insamlades.

Porvolymen i lysimetrar med och utan matjord beräknades med hjälp av data på porositet från tidigare studier på Mellby, Nåntuna och Lanna (Bergström et al., 1994) samt Bornsjön (Sveriges Lantbruksuniversitet, 2010).

Insamling och karakterisering av jordprover

Samtidigt som lysimetrarna samlades in på respektive plats under hösten 2009 togs även jordprover ner till 1-m djup. Profilen delades upp i 5 skikt (0-0,1; 0,1-0,3; 0,3-0,5; 0,5-0,7; 0,7-1,0 m). Matjorden i Mellbyprofilen var tjockare (ca. 0,4 m), varför det andra skiktet i Mellbyprofilen var 0,1-0,4 m. Alven sträckte sig från 0,3 (0,4) m ner till 1-m djup.

Efter det att jordproven torkats och sällats gjordes följande analyser: textur, pH, total-C, P-AL, Olsen-P, CaCl₂-P, Fe- och Al-extraktion med oxalatlösning. Samtliga analyser utfördes med vedertagna standardmetoder.

Ett 'single-point sorption index' (PSI₂) bestämdes för att få ett mått på jordarnas sorptionskapacitet för P (Bache och Williams, 1971; Börling m.fl., 2001). För att försäkra sig om att den maximala sorptionskapaciteten överskreds, tillsattes 50 mmol P kg⁻¹ jord. PSI₂ beräknades sedan enligt formeln (Bache och Williams, 1971):

$$PSI_2 = X/\log C$$

där X är mängden P som adsorberas till jorden (mmol P kg⁻¹ jord) och C är jämviktskoncentrationen i lösningen (μmol P L⁻¹).

Ett annat mått av intresse för att karakterisera jordens P status är P-mättnadsgraden (DPS), d.v.s. hur stor del av totalt möjliga sorptionsytor i en jord som är upptagna med P. I denna studie bestämdes den genom att dividera mängden extraherbart P (Olsen-P) med PSI₂ (Börling, 2004):

$$DPS = (\text{Olsen-P}/PSI_2) \times 100$$

där alla koncentrationer anges på molarbasis.

Resultat och Diskussion

Markegenskaper

Ett urval av de utförda analyserna finns redovisade i Tabell 1.

I Nántuna sandjord var fosformättnadsgraden (DPS) hög i hela profilen på grund av låg sorptionskapacitet (PSI₂) och kontinuerlig tillförsel av gödsel innan uttag av lysimetrarna, vilket kan ses på det höga fosforinnehållet (Olsen P och P-AL) i matjorden (Tabell 1). Sorptionskapaciteten (PSI₂) var högre i Mellby sandjord än i Nántuna sandjord på grund av mer järn och aluminium, speciellt i alven. Fosforinnehållet (Olsen P och P-AL) i Mellby sandjord var högt i matjorden och lågt i alven, vilket resulterade i hög (36-55%) respektive låg (2-6%) fosformättnadsgrad (DPS) (Tabell 1).

Båda lerjordarna hade högre sorptionskapacitet och lägre fosformättnadsgrad än sandjordarna (Tabell 1). Lerjordarna hade således större potential att binda fosfor än sandjordarna. Bornsjön lerjord hade högre fosforinnehåll än Lanna lerjord i matjorden och i det djupaste skiktet (70-100 cm) och även högre sorptionskapacitet på grund av mer järn och aluminium i profilen.

Tabell 1. Lerhalt (n=1) samt utvalda markkemiska egenskaper (medelvärde±sd, n=5).

Jord	Djup	Ler	pH [†]	Org-C [‡]	Olsen P	P-AL	Fe-ox	Al-ox	PSI ₂	DPS
	Cm	%		%	mg kg ⁻¹		mg 100 g ⁻¹		mmol kg ⁻¹	%
Mellby	0-10	7	5.8±0.5	3.3±0.3	91.0±4.0	29.4±1.0	198±19	118±7	3.9±0.4	76±6.7
	10-40	6	6.1±0.2	2.1±0.3	77.8±9.3	22.9±4.7	200±20	130±17	4.6±0.2	55±7.3
	40-60	1	6.0±0.1	0.3±0.0	8.0±1.7	1.5±0.3	1 80±51	70±13	3.6±0.4	7.3±2.0
	60-80	1	5.8±0.1	0.4±0.1	5.7±2.4	1.1±0.5	396±199	80±21	4.3±0.5	4.2±1.4
	80-100	2	5.2±0.4	0.4±0.2	10.3±2.8	1.6±0.5	173±62	43±13	3.3±0.5	10±3.9
Nåntuna	0-10	11	7.0±0.2	1.3±0.2	29.6±2.9	16.4±2.4	171±20	80±9	2.3±0.7	44±16
	10-30	9	7.5±0.2	1.0±0.1	23.4±2.8	12.6±1.2	158±10	77±4	2.3±0.5	35±11
	30-50	2	7.6±0.2	0.1±0.0	15.4±2.1	5.2±0.4	84±18	49±9	1.2±0.4	48±24
	50-70	2	7.6±0.2	0.1±0.0	16.2±3.0	5.5±0.7	105±13	46±9	1.0±0.3	55±16
	70-100	6	7.6±0.1	0.3±0.4	24.6±9.5	7.6±1.2	200±43	62±9	1.9±0.2	44±19
Lanna	0-10	43	6.1±0.2	2.7±0.2	9.5±3.7	3.3±0.6	390±47	180±13	5.5±0.3	5.7±2.5
	10-30	45	6.4±0.1	2.2±0.1	7.7±1.5	3.1±0.3	393±36	185±12	2.7±0.3	4.4±0.9
	30-50	56	6.8±0.1	0.4±0.0	4.0±0.0§	5.1±2.5	373±64	204±26	7.7±0.4	1.7±0.1
	50-70	58	7.0±0.1	0.2±0.0	4.0±0.0§	15.8±0.5	308±38	173±20	6.9±0.3	1.9±0.1
	70-100	61	7.2±0.1	0.2±0.4	4.0±0.0§	20.7±1.5	225±65	169±23	6.0±0.3	2.2±0.1
Bornsjön	0-10	60	6.0±0.1	2.8±0.1	18.2±1.3	4.4±0.6	920±128	314±48	7.3±0.4	8.1±0.7
	10-30	60	6.2±0.1	2.1±0.3	16.4±2.6	3.2±0.8	943±61	287±29	7.8±0.3	6.8±0.9
	30-50	59	6.6±0.1	0.6±0.0	4.0±0.0	0.9±0.3	881±277	192±31	7.3±1.0	1.8±0.2
	50-70	61	6.5±0.1	0.6±0.0	5.4±2.1	1.2±0.1	1010±648	207±38	7.2±1.4	2.4±0.5
	70-100	54	5.2±0.1	0.7±0.1	21.0±5.3	3.1±0.9	656±83	239±22	10.5±0.6	6.4±1.4

[†] Uppmätt i vatten

[‡] Org-C, organiskt kol; Olsen P, P extraherat i NaHCO₃; P-AL, P extraherat i ammoniumacetat-laktat; Fe-ox, Fe extraherat i oxalat; Al-ox, Al extraherat i oxalat; PSI₂, sorptionskapacitet; DPS, fosformättnadsgrad.

§ Resultaten var under detektionsgränsen (<4.0 mg kg⁻¹)

Fosforläckage i relation till markegenskaper

Fosforförlusterna var små från Mellby sandjord (Tabell 2), trots högt fosforinnehåll (Olsen P och P-AL) i matjorden, på grund av hög sorptionskapacitet i hela profilen. Mycket av fosfor i denna jord bands i matjorden, vilket resulterade i en lägre fosformättnadsgrad i alven än i matjorden. Trots att Mellby sandjord innehöll mycket mer fosfor i matjorden än Nåntuna sandjord var den totala förlusten av fosfor var mer än 10 gånger så stor från Nåntuna sandjord än från Mellby sandjord i lysimetrarna med både matjord och alv, och 7 gånger så stor i lysimetrarna med enbart alv (Tabell 2). De höga fosforförlusterna från Nåntuna sandjord orsakades av högt fosforinnehåll (Olsen P och P-AL) och låg sorptionskapacitet i både matjord och alv. Detta resulterade i hög fosformättnadsgrad i hela profilen, och därmed även färre fria bindningsplatser för fosforretention. Nåntuna sandjord hade dessutom extremt höga fosforförluster från de lysimetrar som enbart innehöll alv, vilket tydligt indikerar att denna alv, med sitt höga fosforinnehåll och låga sorptionskapacitet, är en källa för fosforläckage. Att försöka minska fosforförlusterna från Nåntuna sandjord genom olika motåtgärder i matjorden, eller genom att minska gödslingen, skulle därför troligtvis få liten eller ingen effekt.

För lerjordarna var förlusten av fosfor högre från Bornsjön än från Lanna i lysimetrarna med matjord och alv, medan förhållandet var motsatt i lysimetrarna med bara alv. I Bornsjön lerjord var fosforinnehållet (Olsen P och P-AL) högt i matjorden och lågt i alven, medan fosforinnehållet (Olsen P) var lågt i hela profilen på Lanna lerjord. Fosformättnadsgraden var lägre men sorptionskapaciteten högre i lerjordarna än i sandjordarna. Makroporflöde i både matjord och alv i Lanna lerjord (Bergström, 1995) orsakade dock snabb transport av markvattnet genom profilen, och förhindrade den lösta fosfor från att bindas till markpartiklarna. I Bornsjön har makroporflöde visats vara vanligt i matjorden men inte i alven (Ulén et al., 1998). Fosfor kan därför bindas till markpartiklar i alven i Bornsjön i högre

utsträckning än i Lanna alv och fosforförlusterna var därför lägre från Bornsjön alvlysimetrar än från Lanna alvlysimetrar.

Medelkoncentrationen och den totala belastningen av fosfor under perioden augusti 2010 – mars 2013 var större från lysimetrarna med matjord än utan i Näntuna sandjord, Lanna lerjord och Bornsjön lerjord (Tabell 2). Medelkoncentrationen och den totala belastningen av löst oorganisk fosfor (DRP) var lägre från lysimetrar med enbart alv för alla fyra jordarna. När det gäller partikulär fosfor (PP) var förlusterna högre från lysimetrar med enbart alv i de båda sandjordarna samt i Lanna lerjord. Det var dock stor variation i läckage av TP, DRP och PP mellan olika lysimetrar av samma jord. Den enda signifikanta skillnaden mellan lysimetrar med och utan matjord sågs för PP från Bornsjön lerjord ($r^2 = 0.84$, $P < 0.05$).

Tabell 2. Medelkoncentration och total belastning av totalfosfor (TP), löst oorganisk fosfor (DRP) samt partikulär fosfor (PP) perioden augusti 2010 – april 2013.

Jord	Profil	Koncentration			Total belastning		
		TP	DRP	PP	TP	DRP	PP
			mg L ⁻¹			kg ha ⁻¹	
Mellby sand	Matjord + alv	0.10±0.04†	0.04±0.02	0.02±0.01	1.01±0.33	0.41±0.16	0.21±0.06
	Alv	0.16±0.11	0.02±0.01	0.09±0.06	1.96±1.36	0.27±0.16	1.19±0.77
Näntuna sand	Matjord + alv	1.17±0.06	0.87±0.06	0.06±0.01	14.30±1.18	10.64±1.04	0.74±0.16
	Alv	1.05±0.64	0.79±0.55	0.10±0.05	13.65±9.46	10.25±7.89	1.31±0.57
Lanna lera	Matjord + alv	0.20±0.05	0.13±0.07	0.05±0.02	2.14±0.91	1.41±0.89	0.56±0.27
	Alv	0.15±0.03	0.07±0.04	0.07±0.01	1.85±0.38	0.86±0.43	0.90±0.10
Bornsjön lera	Matjord + alv	0.20±0.04	0.05±0.02	0.13±0.02	2.26±0.67	0.62±0.27	1.53±0.34
	Alv	0.10±0.02‡	0.05±0.01	0.05±0.00	1.07±0.26	0.55±0.15	0.50±0.08

† Mean ± SD, n=3

‡ Mean ± SD, n=2

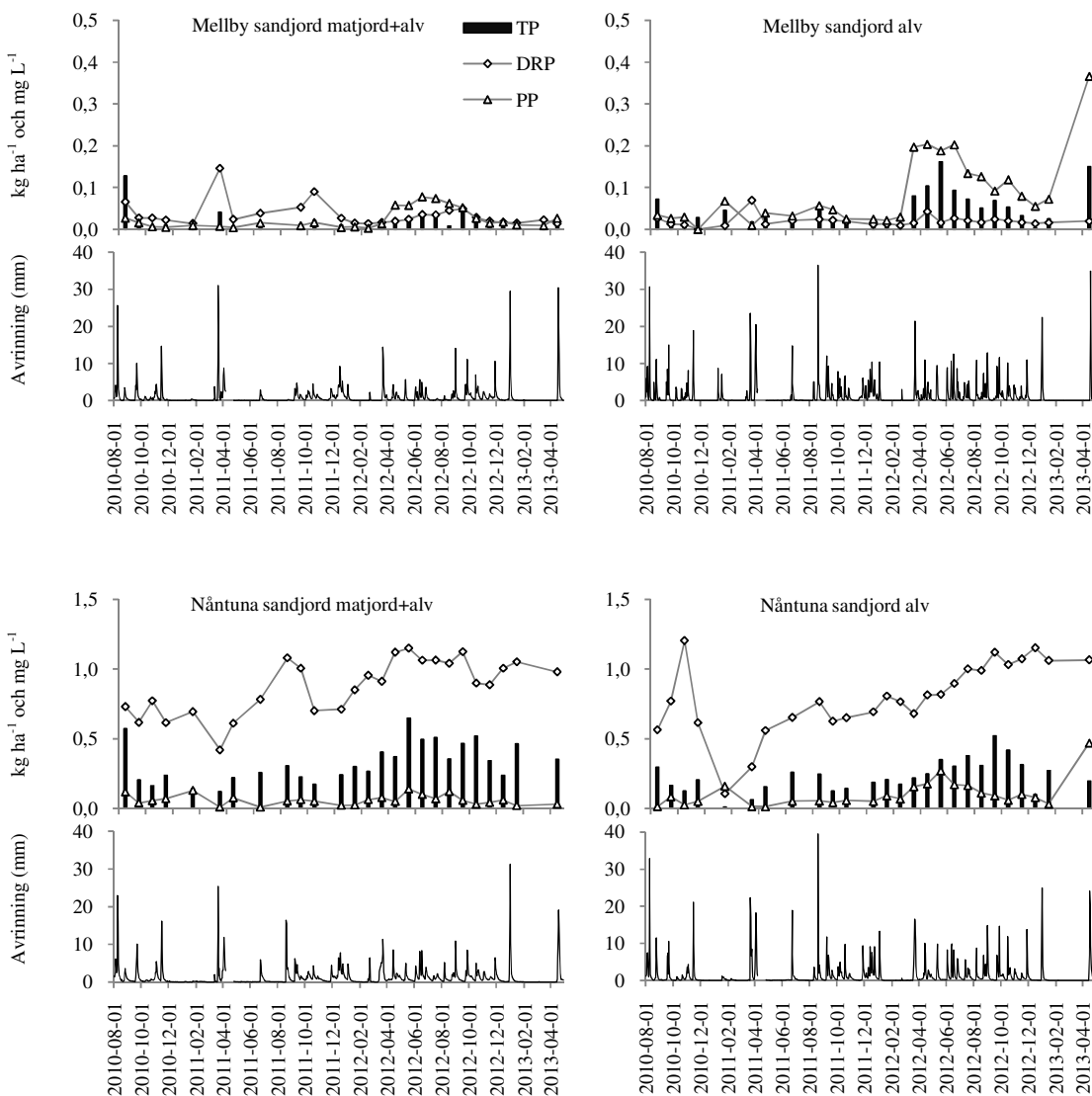
Löst oorganisk fosfor (DRP) var den dominerande fraktionen i dräneringsvattnet från lysimetrar med Mellby sandjord med matjord, Näntuna sandjord med och utan matjord, Lanna lerjord med matjord samt Bornsjön lerjord utan matjord (Tabell 3). Partikulär fosfor (PP) dominerade i dräneringsvattnet från lysimetrar med Mellby sandjord utan matjord samt Bornsjön lerjord med matjord.

Tabell 3. Andel löst oorganisk fosfor (DRP) och partikulär fosfor (PP) i relation till totalfosfor (TP) under perioden augusti 2010 – april 2013.

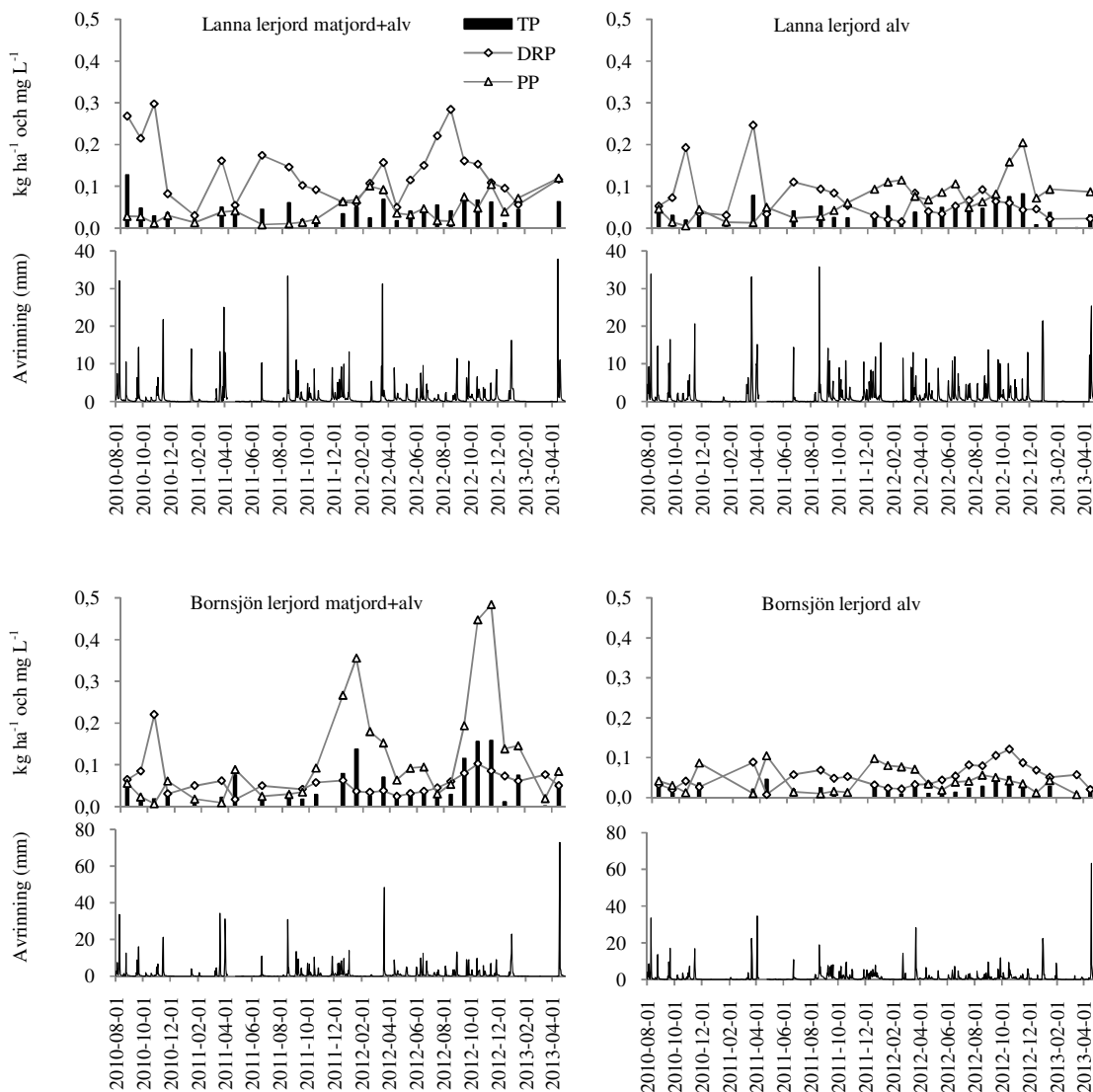
Jord	Profil	DRP	PP
		% av TP	
Mellby sand	Matjord + alv	41	21
	Alv	14	61
Näntuna sand	Matjord + alv	74	5
	Alv	75	10
Lanna lera	Matjord + alv	66	26
	Alv	46	49
Bornsjön lera	Matjord + alv	27	68
	Alv	51	47

Den totala avrinningen under perioden var högre från alvlysimetrarna än från lysimetrarna med matjord och alv i alla fyra jordarna på grund av lägre vattenhållande förmåga i den kortare profilen. I sandjordarna var flödet jämnare över tid i lysimetrar med matjord än i de utan, där fler och större flödestoppar uppstod (Figur 1). En liknande, om än inte lika stor, skillnad mellan lysimetrar med och utan matjord syntes även på Lanna lerjord medan skillnaden var mycket liten på Bornsjön lerjord (Figur 2).

Förlusterna av partikulär fosfor (PP) ökade kraftigt vid vårfloden i slutet av mars 2012 i alvlysimetrarna från sandjordarna (Figur 1). Detta sammanfaller med att ungefär en porvolym vatten transporterats genom profilen sedan gödslingstillfället. I Mellby sandjord ökade förlusterna av PP något under denna period även i lysimetrar med matjord och alv.



Figur 1. Belastning av totalfosfor (TP) (staplar) och koncentration löst oorganisk fosfor (DRP) och partikulär fosfor (PP) (linjer) (övre graferna) samt avrinningsvolym (nedre graferna) från sandjordarna, med och utan matjord under perioden augusti 2010 – april 2013.



Figur 2. Belastning av totalfosfor (TP) (staplar) och koncentration löst oorganisk fosfor (DRP) och partikulär fosfor (PP) (linjer) (övre graferna) samt avrinningsvolym (nedre graferna) från lerjordarna, med och utan matjord under perioden augusti 2010 – april 2013.

Fosforläckaget varierade mycket mer över tid i lerjordarna än i sandjordarna, både i lysimetrar med och utan matjord (

Figur 2), vilket kan förklaras av mer snabbt vattenflöde i kontinuerliga makroporer på lerjordarna. Tidigare studier har visat förekomst av makroporflöde i både matjord och alv i Lanna lerjord (Bergström, 1995) vilket syns på de stora variationerna i fosforkoncentrationer över tid från lysimetrar både med och utan matjord. I Bornsjön lerjord varierar koncentrationerna mycket mer över tid i lysimetrar med matjord än utan, vilket stämmer med tidigare studier där större förekomst av makroporflöde har konstaterats i matjorden än i alven (Ulén et al., 1998). I lysimetrar med matjord och alv från Lanna lerjord ökade förlusterna av löst fosfor (DRP) när en porvolym vatten runnit genom profilen efter gödslingstillfället. Motsvarande ökning av partikulär fosfor (PP) sågs i lysimetrar med matjord och alv från Bornsjön lerjord.

Att läckaget av partikulär fosfor (PP) var större från lysimetrar med enbart alv än från de med både matjord och alv i sandjordarna och Lanna lerjord kan troligtvis förklaras med att alven är mer känslig för häftiga regn på grund av att jordytan aldrig tidigare varit exponerad för väder och vind.

Slutsatser

På jordar utan uttalat makroporflöde i alven är fosforinnehåll och sorptionskapacitet i alven av större betydelse för fosforutlakningen än fosforinnehållet i matjorden. I denna studie var fosforläckaget mer än 10 gånger så stort i en sandjord med låg sorptionskapacitet och högt fosforinnehåll i alven än i en sandjord med hög sorptionskapacitet i alven, trots högre fosforinnehåll i matjorden i den senare.

I lerjordar är graden av makroporflöde i alven av stor betydelse för fosforläckaget. I jordar med snabba makroporflöden hinner fosfor i marklösningen inte bindas till fria sorptionsytor i samma utsträckning som i jordar med mindre makroporflöde.

De resultat som presenterats här visar att studier på enbart matjorden är otillräckliga om man vill förstå och förutspå fosforläckaget från jordbruksjordar. För att kunna implementera rätt motåtgärder för att minska fosforutlakningen är det därför mycket nödvändigt att ha kunskap om alvens kemiska och fysikaliska egenskaper.

Vad återstår att göra

Vattenprov kommer att tas till 1 september 2013. Därefter kommer en närmare analys av fosforförlusterna från lysimetrarna med och utan matjord göras för att uppskatta i vilken omfattning de olika alverna agerar som källor eller sänkor för fosforläckage.

När försöket är avslutat kommer även fosforförlusterna från de lysimetrar som kalkats jämföras med de från de okalkade för att se vilken effekt kalkning på alven får på minskade fosforförluster.

Publikationer

Projektet har än så länge resulterat i en publicerad artikel:

Andersson, H., L. Bergström, F. Djodjic, B. Ulén and H. Kirchmann. 2013. Topsoil and Subsoil Properties Influence Phosphorus Leaching from Four Agricultural Soils. *J. Environ. Qual.* 42: 455-463. <https://www.agronomy.org/publications/jeq/abstracts/42/2/455>

Ytterligare två artiklar kopplade till projektet är under bearbetning och förväntas publiceras de kommande två åren. Preliminära titlar är:

- The role of the subsoil as a source or sink for phosphorus leaching.
- Leaching of phosphorus from different types of agricultural soils with and without placement of lime under the topsoil

Referenser

- Bache, B.W. och Williams, E.G. 1971. A phosphorus sorption index for soils. *J. Soil Sci.* 22, 289-301.
- Bergström, L. 1992. A Swedish lysimeter test system suitable for studying fate and behaviour of pesticides in soils. I: Lysimeter Studies of the Fate of Pesticides in the Soil. F. Führ och R.J. Hance (red.). *BCPC Monographs* No. 53, 73-81.
- Bergström, L. 1995. Leaching of dichlorprop and nitrate in structured soil. *Environ. Pollut.* 87:189-195.
- Bergström, L., Djodjic, F., Kirchmann, H., Nilsson, I. och Ulén, B. 2007. Phosphorus from farmland to water – status, flows and preventive measures in a Nordic perspective. MAT21 rapport nr. 4/2007. SLU, Uppsala, 63 sid.
- Bergström, L., Jarvis, N. och Stenström, J. 1994. Pesticide leaching data to validate simulation models for registration purposes. *J. Environ. Sci. Health A* 29:1073-1104.
- Boesch, D., Hecky, R., O'Melia, C., Schindler, D. och Seitzinger, S. 2006. Eutrophication of the Swedish Seas. *SNV Rapport* 5509, 68 sid.
- Börling, K., Otabbong, E. och Barberis, E. 2001. Phosphorus sorption in relation to soil properties in some cultivated Swedish soils. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 59, 39-46.
- Börling, K., Otabbong, E. och Barberis, E. 2004. Soil variables for predicting potential phosphorus release in some cultivated Swedish soils. *J. Environ. Qual.* 33, 99-106.
- Djodjic, F., Börling, K. och Bergström, L. 2004. Phosphorus leaching in relation to soil type and soil phosphorus content. *J. Environ. Qual.* 33, 678-684.
- European Committee for Standardization. 1996. Water quality: Determination of phosphorus – Ammonium molybdate spectrometric method. *European Standard EN 1189*. Eur. Committee for Standardization, Brussels.
- Humborg, C., Sundborn, M. och Wulff, F. 2007. Riverine nutrient (N, P) exports to the Baltic Sea and possible emission reductions in Swedish watersheds. *Baltic Nest Institute*. Stockholm Resilience Centre, Stockholm.
- MVB, 2005. Strategier för hav och kust utan övergödning. Miljövårdsberedningen, *Statens Offentliga Utredningar*, Stockholm.
- Persson, L. och Bergström, L. 1991. Drilling method for collection of undisturbed soil monoliths. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55, 285-287.
- SEPA (Swedish Environmental Protection Agency), 2003. Miljökvalitetsnormer för fosfor i sjöar. *SNV Rapport* 5588.
- SEPA (Swedish Environmental Protection Agency), 2006. Aktionsplan för havsmiljön. *SNV Rapport* 5563.
- Sharpley, A.N., Daniel, T.C. och Edwards, D. 1993. Phosphorus movement in the landscape. *J. Prod. Agric.* 6, 492-500.
- Sveriges Lantbruksuniversitet. 2010. Markpackning. Nationell datavärd miljöövervakning, Inst. för Mark och Miljö, SLU, Uppsala. <http://www.slu.se/Global/externwebben/nl-fak/mark-och-miljo/jbhy/dokument/M%3%96-10sammanst%3%a4llning.pdf> (tillträdd 27 maj 2013)
- Ulén, B. 2005. Fosforförluster från mark till vatten. *SNV Rapport* 5507, 61 sid.
- Ulén, B., Shirmohammadi, A. och Bergström, L. 1998. Phosphorus transport through a clay soil. *J. Environ. Sci. Health A* 33:67-82.