

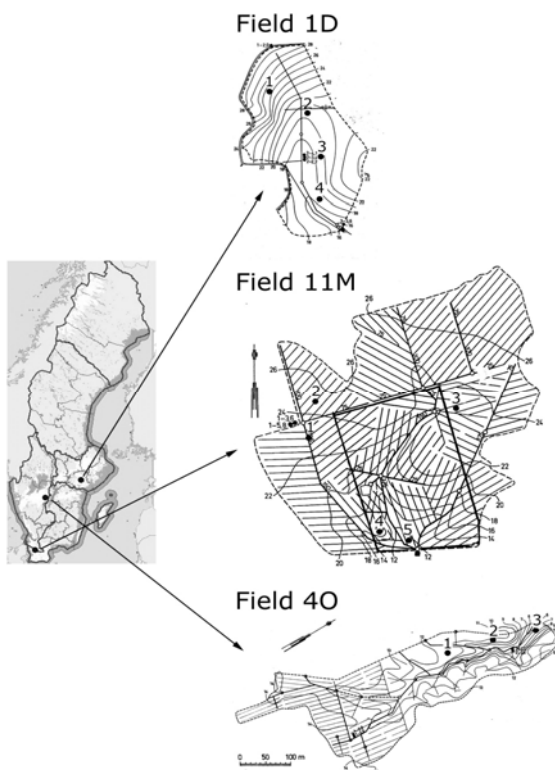
# Risken för hög fosfortransport från olika delar av observationsfälten i relation till lättidentifierade faktorer

Barbro Ulén och Ararso Etana, SLU

## Bakgrund

Sverige deltar i flera internationella konventioner för att minska belastningen av fosfor från jordbruksmark till vatten. Situationen i Östersjön och implementeringen av EU:s Vattendirektiv har gett frågan förnyad aktualitet. För att kunna behålla en hög produktion i svenskt jordbruk kommer man i många fall att vara beroende av insatser av handelsgödsel. Detta gör att produktions- och miljökrav måste jämkas samman. För att optimera gödslingsstrategin bör man i framtiden ta hänsyn till den stora rumsliga variationen inom ett fält av förmågan att läcka fosfor. Variationen i jordarnas fosforhalt, övrig markkemi, textur, stabiliteten i jordaggregaten och markens infiltrationsförmåga kan vara faktorer av stor betydelse för fosforläckaget. Närmare kunskap om sådan variation och hur den påverkar fosforförlusterna är därför nödvändig. För lerjordar har förhållandena i matjorden visat sig vara speciellt viktiga. Genom studier av lysimetrar från matjorden kan man få en uppfattning om mobiliteten av fosfor och man kan indikera hur mycket en gröda och växtrester kan förändra läckaget. Härigenom kan man få större kunskap om hur man ska kunna optimera gödslingen genom att precisionsgödsla och hur ett växttäckande kan påverka fosfortransporten.

Undersökningen vill visa hur läckage av fosfor och partikelmobiliseringen kan variera från olika delar av några fält varifrån den totala fosforförlusten via dräneringsvattnet är känd.



Figur 1. Fälten läge, topografi och dräneringsledning. Vid provtagningstillfället var hela fält 1D bevuxen med mångårig vall, det markerade område av fält 11M med mångårig ogödslad träda liksom den norra sänkan av fält 40 närmast fältets utflöde.

## 2. Material och metoder

### 2.1 Observationsfält och monitoring av dessa

Jordar som användes för den här studien togs från tre fält i mellersta och södra Sverige (Figur 1), alla med varierad topografi. Fält 1D är beskriven mer detaljerat av Ulén & Snäll (1998) och fält 11M av Ulén m fl. (2008). Fältet 4O (19,3 ha) är beläget öster om Västgötaslätten, 10 km från Vättern, och nära ån Tidån. Fältet har en genomsnittlig lutning på mindre än 3 % men har en mindre ravin i norra delen. Den sluttande delen och sänkan vid fältet utlopp har sedan länge (1999) haft träda som en inre buffertzona. Fält 11M har en motsvarande inre buffertzona sedan 2002 som innefattar en stor del av fältet. Trädan putsas en gång per år (fält 11M) medan den inte slagits av alls på fält 4O. Fälten 1D och 11M har båda lerjord. Fält 4O har mera mjällig lera (mellanlera) över lerbotten. De tre fälten tillhör den svenska fortlöpande miljöanalysen av enskilda fält som startade omkring 1972-1977. Sådd, gödsling, jordbearbetning och andra åtgärder i växtföljderna utförs så som det är brukligt för regionen. De tre utvalda fälten har alla delvis gödslats med stallgödsel, vilket i medeltal motsvarat 53, 43 resp. 42 % av den totala tillförseln av gödsel (1977-2008). Under de sista 15 åren har tillförseln av mineralfosfor minskat och för fält 1D har den upphört helt sedan 20 år eftersom fältet ställts om till ekologisk odling. Nettoackumulation, dvs. om man jämför tillförsel med stall- och handelsgödsel med vad som förs bort med skörden, är för närvarande (2001-2008) negativ för alla 3 fälten (-9,5, -4,5 och -2,0 kg P ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>).

Vattennivån från fälten har registrerats kontinuerligt över ett Thomsonöverfall sedan installationen (1977 eller tidigare). Vattenföringen beräknas baserat på timbaserad digitaliseringen av nivåregistreringen. Under senare år har diagramregistreringen kompletterats med datalogger (Thalimedes). Dräneringsvattnet har provtagits 2 ggr per månad. Totalfosfor (TP) har analyserats som molybdatreaktiv fosfor efter sur oxidation med kaliumpersulfat (K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) i autoklav (30 min, 120°C). Löst reaktiv fosfor (DRP) har sedan år 2001 analyserats efter förfiltrering. Använda filter är från Schleicher & Schüll, och har pordiameter 0,2 µm som befunnits hålla kvar de kolloidala lerpartiklarna effektivt. Övrig fosfor (ÖVRP) har beräknats som skillnaderna mellan TP och DRP och kan bestå av partikulärt bundet fosfor i organiskt- och oorganisk form. Endast en mindre del av TP i dräneringsvattnet från fälten återfinns i form av DRP (Tabell 1). Medelläckaget av TP från de tre fälten är störst från fält 1D och minst från fält 4O. Läckaget var i genomsnitt 0,45, 0,40 resp. 0,23 kg ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> under 1977-2008.

### 2.2 Provtagning och jordanalyser

Fält 11M representerades av lysimeter från delar av fältet med olika grödor (stubb, 1-års vall, 2-års vall och omställd mark med träda). De utvalda fälten representerades också av lysimeter tagna på platser med varierad topografi (Figur 1), både höjder och sänkor med anslutande sluttningar nära fältens utflöde. För fält 11M och 4O var dessa sänkor under träda. Totalt togs det ut 48 jordlysimeter på 12 platser med 4 upprepningar. Dessa jordkolonner (20 cm diameter, 20 cm höga) togs ut med jordankare och hydrauliskt pumpsystem för att få dem så ostörda som möjligt (Jarvis m fl., 2008). För mätning av turbiditet och lätt dispergerad ler togs också jordkolonner ut på ytterligare två platser: en permanent betesmark som gränsar till fält 1D och ett delskifte med stubb på den mera plana delen av fält 4O. Fält 4O provtogs också under olika förhållanden – under en fuktig höst 2007 och under torr sommar 2008.

Tabell 1. Flödesvägda koncentrationer av totalfosfor ( $C_{TP}$ ), löst reaktiv fosfor ( $C_{DRP}$ ) icke-reaktiv fosfor ( $C_{ÖVRP}$ ) och proportionen DRP till TP(DRP/TP) i dräneringssystemets utlopp från tre fält 2001-2006, samt beteckning för provtagningsplats för lysimetrarna och flödesvägda koncentrationer (medelvärde från fyra upprepningar på varje plats med vardera tre regnsimuleringar) av  $C_{TP}$ ,  $C_{DRP}$ , partikulärt bunden fosfor ( $C_{PP}$ ) och proportionen DRP/TP. Dessutom anges medelvärdet (medel) av koncentrationerna från varje fält

År	Dräneringssystemet				Prov. Plats	Lysimetrar från matjorden			
	$C_{TP}$	$C_{DRP}$	$C_{ÖVRP}$	DRP/TP		$C_{TP}$	$C_{DRP}$	$C_{PP}$	DRP/TP
	----- (mg/l) -----			(%)		----- (mg/l) -----			(%)
Fält 1D									
2001/02	0,47	0,09	0,38	19	1D1	0,33	0,20	0,10	63
2002/03	0,21	0,04	0,17	21	1D2	0,32	0,19	0,11	60
2003/04	0,22	0,06	0,36	30	1D3	0,44	0,25	0,16	57
2004/05	0,43	0,10	0,33	23	1D4	0,49	0,32	0,15	66
2005/06	0,50	0,12	0,38	23	1D1				
Medel	0,37	0,08	0,32	23		0,40	0,24	0,18	62
Fält 11M									
2001/02	0,43	0,08	0,35	18	11M1	0,15	0,08	0,06	51
2002/03	0,26	0,03	0,23	11	11M2	0,17	0,11	0,05	69
2003/04	0,16	0,03	0,13	18	11M3	0,13	0,05	0,05	35
2004/05	0,24	0,04	0,20	15	11M4	0,16	0,09	0,07	56
2005/06	0,22	0,03	0,19	13	11M5	0,45	0,38	0,05	86
Medel	0,36	0,04	0,32	15		0,23	0,14	0,06	59
Fält 40									
2001/02	0,19	0,05	0,14	28	4O1	0,11	0,10	0,03	85
2002/03	0,12	0,02	0,10	19	4O2	0,16	0,08	0,08	48
2003/04	0,20	0,03	0,16	17	4O3	0,17	0,13	0,03	80
2004/05	0,10	0,02	0,08	23					
2005/06	0,10	0,03	0,07	31					
Medel	0,14	0,03	0,11	24		0,15	0,10	0,05	71

Ordinär jordprovtagning av fälten skedde 2004-2005 av såväl matjord (0-20 cm) som alv med en provtäthet av 2,5 prov per ha. För fält 11M, med den mest varierade topografien, gjordes markkaraktäriseringen med 5 prov per ha. pH mättes i vattensuspensionen med förhållandet 1:5 mellan vatten och jord. Den i Sverige vanliga använda ammoniumlaktatlösningen enligt Egnér m fl., (1960) användes för jordextraktion och bestämning av fosfor med ICP (P-AL). Detta ger en uppfattning om mängden fosfor tillgänglig för grödan. Andra parametrar som mättes var kalcium (Ca-AL), järn (Fe-AL) och aluminium (Al-AL) i extraktet med ICP. Resultatet av P, Fe and Al beräknades som graden av fosformättnad (DPS) då P-AL dividerades med summan av Fe-AL och Al-AL på mol-basis (Ulén, 2006). Dessutom bestämdes totalfosfor i jorden med ICP efter uppslutning med salpetersyra (TP- $HNO_3$ ) enligt svensk standard (SIS, 1997). Totalt organiskt kol (TOC) bestämdes med en LECO CN analysator. Lerinnehållet bestämdes hydrometriskt enligt Casagrande (1934).

### 2.3 Regnsimulering och läckage av fosfor från matjorden

Kolonnerna förvarades 3-5 månader i kylrum före regnsimulering. Botten av kolonnerna preparerades genom att omsorgsfullt ta bort jorden längs de naturliga aggregaten med en

Tabell 2. Medelvärde av pH och koncentrationer av fosfor (P-AL), kalcium (Ca-AL), aluminium (Al-AL) och järn (Fe-AL) i jordextrakt av ammoniumlaktat ( $\text{mg kg jord}^{-1}$ ), graden av fosformättnad (DPS) (%) i detta extrakt, totalt organiskt kol (TOC), andel ler i texturen, totalfosfor efter oxidation i salpetersyra och (TP- $\text{HNO}_3$ ) ( $\text{mg kg jord}^{-1}$ ) i skikten 0-5 och 10-15 cm samt totalmängden vatten som perkolerat genom lysimetern relativt simulerad nederbörd (PERK) (%)

Fält	1D				11M					4O			
Faktor	1D1	1D2	1D3	1D4	11M 1	11M 2	11M3	11M4	11M5	4O1	4O2	4O3	
<i>0-5 cm</i>													
pH	5,9	5,8	5,7	6,1	6,9	6,1	6,1	6,3	7,1	6,3	6,6	6,1	
P-AL	39	34	92	140	38	41	48	46	138	58	32	78	
Ca-AL	1030	1170	1490	2440	3260	1770	3170	3330	6300	1270	1780	1440	
Fe-AL	307	331	431	482	882	1230	765	781	592	1130	1203	1268	
Al-AL	222	206	234	214	296	347	324	361	330	384	465	316	
DPS	9,2	8,1	18,1	27,3	4,6	3,8	6,0	5,5	19,5	5,4	2,7	7,3	
TOC	3,1	3,2	3,4	3,7	2,5	2,5	2,8	2,7	3,6	1,5	2,1	2,6	
Ler	20	33	39	32	31	34	32	28	31	12	12	25	
TP- $\text{HNO}_3$	380	330	710	730	510	390	515	500	670	400	460	510	
<i>10-15 cm</i>													
pH	5,5	5,6	5,7	5,8	6,5	5,9	6,4	6,6	7,0	6,1	6,5	6,2	
P-AL	28	26	46	70	33	31	30	27	84	40	35	56	
Ca-AL	1060	1070	1390	2140	2800	3260	4760	3110	7020	1600	1890	1920	
Fe-AL	314	328	415	492	646	833	315	431	699	276	202	390	
Al-AL	302	306	314	315	314	271	308	281	372	269	424	347	
DPS	5,4	4,9	7,8	11,0	4,6	4,0	5,7	4,8	10,3	8,7	5,8	9,1	
TOC	2,3	2,2	2,4	3,3	2,5	2,4	3,1	1,9	2,1	1,1	1,5	1,4	
Ler	23	38	42	35	36	36	34	29	35	12	12	25	
TP- $\text{HNO}_3$	380	330	710	730	510	510	390	500	670	400	460	510	
PERK	73	78	90	79	44	59	64	93	68	46	63	53	

kniv. Kolonnerna placerades på en bas av PVC (0,6 mm nätstorlek) förbundna med utflöde för perkolation. Tre regnsimuleringar utfördes med en intensitet av  $8\text{-}10 \text{ mm tim}^{-1}$  och ett avstånd från munstyckena på 1.5 m. Den första av dessa regnsimuleringar varade 3 timmar, medan den andra och den tredje varade 2 timmar. Två dagar efter varje regnsimulering mättes volymen vatten som perkolerat och ett 250 ml delprov överfördes för fosforanalys vilket inkluderade TP i både ofiltrerat och filtrerat vatten. Skillnaden är beräknad som koncentrationen partikelbunden fosfor ( $C_{PP}$ ). Koncentrationen löst reaktiv fosfor ( $C_{DRP}$ ) bestämdes på samma sätt som i vattnet från dräneringssystemet från hela fältet. Mängden perkolerande vatten i experimenten uttrycktes som procent av simulerad nederbörd (PERK) (%). För lysimetrarna från fält 11M och 4O upprepades proceduren med tre på varandra följande regnsimuleringar efter ytterligare 3-5 månader. Vid denna omgång analyserades också den första portionen (50 ml) perkolerat vatten separat på fosfor. Efter avslutade lysimeterstudier analyserades jorden i lysimetrarna i skikten 0-5 och 10-15 cm på samma kemiska parametrar som vid markkarteringen av själva fälten.

#### 2.4 Turbiditet i dränerande vatten och från försiktigt upplösta aggregat från matjorden

Vatten som dränerade genom matjorden analyserades även med avseende på turbiditet med en HACH 2100 turbidimeter (Hach Loveland Co). Resultaten uttrycks som nephelometriska turbiditetsenheter (NTU). Dessutom togs separata lösa prov av matjorden som försiktigt transporterades till laboratoriet för utvärdering av lättupplöst ler i form av turbiditet (Wats m.fl., 1996; Cryz m.fl., 2002). Sex aggregat av storleken 8-11 mm i diameter preparerades

som var och en vägde omkring 10 g. De placerades på en keramisk platta med -5 cm vattenpotential under en vecka för att få ett jämnt vatteninnehåll i aggregaten. Varje delprov blandades ytterst försiktigt med 250 ml kranvatten i en plastflaska och dekanterades för att separera aggregaten och jordlösningen. Alla jordpartiklar större än ler tilläts sedimentera ut från jordlösningen (Sheldrick & Wang, 1993). Koncentrationen dispergerad ler i den övre lösningen (readily dispersed clay, RDC) mättes sedan med turbidimetern.

### 3. Resultat

#### 3.1 Fosforkoncentrationer efter regnsimuleringar

Det fanns ingen tendens till ökande eller minskande koncentrationer av  $C_{DRP}$  och  $C_{PP}$  från den första till den tredje regnsimuleringen (omgång 1). För lysimetrarna från fält 11M och 4O var koncentrationerna som erhöles efter dubbelt så lång kylförvaring av kolonnerna (omgång 2) mycket snarlika motsvarande halter från den första omgången. Här redovisas därför bara på medelhalterna från de tre på varandra följande första regnsimuleringarna (omgång 1). Koncentrationen av TP i dräneringsvattnet från lysimeterarna ( $C_{TP}$ ) var ungefär av samma storlek som motsvarande koncentrationerna i dräneringssystemet från hela fältet (Tabell 1) men proportionerna mellan  $C_{DRP}$  och  $C_{PP}$  var annorlunda med högre  $C_{DRP}$  i vattnet från lysimeterförsöken. Endast den första portionen av perkolerande vatten om 50 ml hade högre koncentrationer  $C_{PP}$ . Dessa halter låg på samma nivå som halterna i dräneringsvattnet dvs. omkring 0,1-0,2 mg l<sup>-1</sup>, men de varierade mycket.

De kemiska analyserna av jorden i lysimetrarna (Tabell 2) visade att koncentrationerna P-AL och organiskt kol (TOC) i jorden var höga i ytskiktet och lägre i skiktet 10-15 cm. Halterna var ganska höga i sänkorna i alla skiftena. Däremot var P-AL ganska lågt från några sluttningar varifrån lysimetrarna togs (1D1, 1D2, 11M1, 11M2, 11M3 och 4O2). Mängden vatten som samlades upp efter det att lysimetrarna bevattades för att simulera regn var högst från fält 1D och minskade i ordningen 1D > 11M > 4O (Tabell 2). Av de undersökta faktorerna var det P-AL, och TOC i det översta markskiktet som tillsammans hade det tydligaste sambandet med  $C_{DRP}$  (Tabell 3). Genom att kombinera det tre elementen P, Fe och Al som ett uttryck för fosformättnaden i laktatextraktet (DPS) erhöles också ett relativt gott samband. För  $C_{PP}$  fanns inga tydliga samband. Den bästa prediktorn var vattenmängden som perkolerade igenom lysimetrarna (PERK) tillsammans med TP-HNO<sub>3</sub> i det översta markskiktet. Motsvarande samband med kemiska parametrar i det lägre skiktet var betydligt svagare. Vid jämförelse mellan de olika fälten verkade pH-faktorn att både kunna öka och minska fosforkoncentrationerna beroende på nivån för pH i jorden. Ett högt Ca-AL värde från svackan i fält 11M sammanföll med höga fosforkoncentrationer baserat på experimenten.

Tabell 3. Relationer och regressionskoefficient R<sup>2</sup> (%) mellan koncentrationerna löst reaktiv fosfor ( $C_{DRP}$ ), och partikelbunden fosfor ( $C_{PP}$ ) i vatten från lysimetrarna och faktorer med tydligast samband. Dessa var för  $C_{DRP}$ : fosfortalet P-AL och halten organiskt kol (TOC), alternativt graden av fosformättnad (DPS) i laktatextrakt från jorden i det översta skiktet (0-5 cm) och för  $C_{PP}$ : den totala mängden perkolerande vatten (PERK) och det översta markskiktets koncentration av totalfosfor efter oxidation med salpetersyra (TP-HNO<sub>3</sub>)

Ekvation	R <sup>2</sup>
$C_{DRP} = -0,133 + 0,00159 * P-AL + 0,0685 * TOC$	82%
$C_{DRP} = 0,0444 + 0,0123 * DPS$	81%
$C_{PP} = -0,765 + 0,00175 * PERK + 0,000072 * TP-HNO_3$	55%

Tabell 4. Areal av hela fältet och av sänkan (inklusive anslutande sluttning) nära utloppet av fältet. Medelvärde (Medel) och standardspridning i förhållande till medelvärdet (SD/Med) för fosfortalet (P-AL), totala fosforkoncentrationen efter oxidation i salpetersyra (TP-HNO<sub>3</sub>) och fosformättnadsgraden (DPS) i skiktet 0-20 cm

Yta	(ha)	P-AL		TP-HNO <sub>3</sub>		DPS	
		Medel	SD/Med	Medel	SD/Med	Medel	SD/Med
		mg kg <sup>-1</sup>	%	mg kg <sup>-1</sup>	%	mg kg <sup>-1</sup>	%
Hela fält 1D	6,6	52	59	670	26	7,9	64
Sänkan fält 1D	0,92	102	-	860	-	15,8	-
Hela fält 11M	22,2	34	49	490	25	5,7	58
Sänkan fält 11M	2,44	69	-	610	-	17,6	-
Hela fält 4O	19,3	37	26	500	20	6,5	32
Sänkan fält 4O	3,28	58	-	500	-	10,3	-

Inom fälten varierade P-AL ganska mycket och spridningen i förhållande till medelvärdet var 26-59% från de tre fälten (Tabell 4). Ytan med sänkan och sluttningar i anslutning till denna beräknades utgöra 24, 35 resp. 17 % av den totala ytan för fältet. Eftersom P-AL, TOC och DPS var hög i denna del av fälten kan koncentrationerna C<sub>DRP</sub> i dränerande vatten vara höga från dessa områden. Baserat på ekvationerna i tabell 3 uppskattades sänkan att stå för 30, 70 resp. 25 % av medelvärdet för koncentrationen DRP från hela fälten. Därför kan sänkorna, speciellt den i fält 11M, antagligen bidra till höga förluster av DRP och verka som ”hot spots” för fosforförlusterna inom fälten, trots faktum att de var bevuxen med flerårig vall (fält 1D) resp. grön ogödslad träda (fält 11M och 4O).

### 3.2 Turbiditet i perkolerande vatten och som lätt dispergerad ler

Eftersom C<sub>PP</sub> och turbiditetsvärdena var korrelerade till varandra (Pearsons korrelationskoefficient 0,89 och p-värde 0,003) indikerar hög turbiditet en potential för höga PP koncentrationer. De högsta turbiditetsvärdena i perkolaten från lysimetrarna noterades från fält 1D. Värdena från lysimeterexperimenten från fält 11M och 4O var av samma storleksordning (Tabell 5). I motsats härtill indikerades inga skillnader i turbiditet av uppslammat ler från upplösta aggregat mellan sluttningar med vall (1D) och sluttningar med träda på fälten 11M och 4O. NTU-värdena från dispergerad ler tenderade också att bli lägre från sänkor jämfört med värden från höjd och sluttning från fält 4O. Från detta fält var turbiditeten från lysimetrar som tagits ut under torra förhållanden sommaren 2008 lägre än från de som tagits ut under fuktiga förhållanden hösten 2007. I sänkan var denna skillnad signifikant. Turbiditetsvärden från dispergerad ler från aggregaten (RDC) varierade mindre än värdena på turbiditet i perkolaten. Dessa värden var inte korrelerade till varandra. Turbiditetsvärdena från lysimetrarna var höga från fält 1D och de var speciellt höga från ett permanent betet som trampades av nötboskap i anslutning till detta fält. Betesmarken bidrar därför antagligen med mycket partikeltransport.

Tabell 5. Plats, gröda, provtagningstid och turbiditet, som medelvärde (Medel) och standardavvikelsen i förhållande till medelvärdet (SD/Med) i dräneringsvatten efter bevattning av lysimetrar och som dispergerad ler efter försiktig skakning av aggregaten i matjorden. En inre buffertzon av ögödslad träda provtogs både i sluttning och i sänka. Kolumnen till höger inkluderar koncentrationen partikelbunden fosfor ( $C_{PP}$ ) i förhållande till turbiditetsvärdet ( $C_{PP}/Turb$ )

Fält	Turbiditet				$C_{PP}/Turb$ (%)
	Regnsimulering		Dispergerad ler		
	Medel (NTU)	SD/Med (%)	Medel (NTU)	SD/Med (%)	
<i>Fält 1D</i>					
Vall, 4 platser, hösten 2006	94	40	34	23	0,14
Permanent bete, sommaren 2006	135	56	52	27	-
<i>Fält 11M</i>					
Stubb, hösten 2008	46	14	50	11	0,12
Vall, 2 platser, hösten 2008	23	83	53	9	0,21
Buffertzon, sluttning, hösten 2008	48	56	56	10	0,14
Buffertzon, sänka, hösten 2008	35	43	47	13	0,14
<i>Fält 4O</i>					
Stubb, hösten 2007	52	13	62	18	-
Buffertzon, kulle, sommaren 2008	16	22	62	16	0,19
Buffertzon, sluttning, hösten 2007	42	36	47	10	-
Buffertzon, sluttning, sommaren 2008	20	50	42	9	0,38
Buffertzon, sänka, hösten 2007	27	100	35	11	-
Buffertzon, sänka, sommaren 2008	5	19	27	9	0,66

#### 4. Diskussion

Det simulerade regnen skedde med små regndroppar vilket skulle kunna förklara den relativt låga koncentrationen partikelbunden fosfor och turbiditeten i perkolaten. Dessutom skedde antagligen infiltrationen mindre kanaliserat i de små lysimetrarna jämfört med naturligt i fält. En annan orsak kan vara att det under fältförhållande också sker erosion i alven, eller att en del av partiklarna, och fosfor bunden till dessa, i fältens utflöde härstammar från själva dräneringssystemet. Koncentrationerna DRP i perkolaten var höga och speglar antagligen koncentrationerna i markvattnet. I motsats härtill har lysimeterförsök med djupa lysimetrar ibland visat låga koncentrationer, vilket kan bero på att dessa inbegriper alven som kan ha en modifierande effekt av förluster av löst reaktiv fosfor (Djordjic m fl., 2004).

P-AL och Fe-AL befanns variera inom fälten vilket resulterade i en hög spridning av DPS. Att Fe-AL varierade i olika delar av fälten kan bero på att Fe och järnhydroxid tenderar att uppträda som diskreta mineralpartiklar i jorden. De från experimenten uppmätta höga halterna  $C_{DRP}$  tillsammans med höga pH värdena och frekventa Ca-jonerna i svackan av fält 11M är något förvånande. Kalciumjoner är kända att motverka desorptionen av DRP genom att hämma effekten av det diffusa dubbellagret hos jordpartiklarna (Barrow and

Shaw, 1979). En bildning av Ca-P komplex kan också förväntas, vilket har indikerats vara viktigt för retentionen av kolloidalt bunden fosfor i jorden (Ulén & Snäll, 2006).

Infiltrationen i jorden var ganska god eftersom mängden perkolerande vatten motsvarade 70% av mängden vatten som applicerades. Motsatt situation, med låg infiltration och med vatten på lysimetrytan, förhöjde turbiditetsvärdena. Detta var förväntat eftersom snabbt makroporflöde sätts igång av stående vatten (Watson & Luxmoore, 1986). I den här undersökningen var dock turbiditeten i perkolatet låg och utan någon klar relation med 'lätt dispergerad ler' (RDC-värden). Dessa kan betraktas som relativa värden som kan användas för att jämföra potentialen för partikeltransport från fälten med olika typer av växttäckte.

De här resultaten indikerar att även om en inre buffertzoon skulle kunna minska ytvatten-transporten av partiklar och  $C_{PP}$  behöver de inte alltid minska partikeltransporten genom marken. Under torra somrar kan nederbörden passera relativt obehindrat i jordprofilen beroende på den repellerande effekten hos torr jord (Jarvis et al., 2008). Sådan "hydrofobicitet" kombinerat med en svag markstruktur är ganska vanlig (Dekker & Risema, 1996; Doerr et al, 2000). Under sådana omständigheter mobiliseras bara låga koncentrationer av fosfor från marken, eftersom kontakten mellan vatten och jord är svag. I motsats till detta kan  $C_{DRP}$  vara höga eftersom vattnet passerar markprofilen utan någon större sorption till jorden. En trolig förklaringen till de höga  $C_{DRP}$  som uppmättes i experimenten är att fosfor härstammar från nedbrytning av växtmaterial. Detta kan ha genererat de höga P-AL talen närmast markytan. Efter det att vegetationen exponerats för regn har höga fosforhalter i vatten indikerats i flera andra studier, både sommartid och vintertid (Timmons m fl., 1970; Sharpley, 1991). Höga förluster av DRP har också kvantifierats från gräsbevuxen buffertzoon (Uusi-Kämpää, 2005). Val av växtmaterial i dessa bör därför göras, inte bara beroende på växttäcket förmåga att filtrera eroderande partiklar, utan också baserat på att själva växtmaterialet inte bör generera extra fosfor.

## Referenser

- Barrow, N.J., Shaw, T.C. 1979. Effect of ionic strength and nature of the cation on desorption of phosphate from soil. *Journal of Soil Science* 30, 53-65.
- Casagrande, A. 1934. *Die Aräometer-Methode zur Bestimmung der Kornverteilung von Böden und anderen Materialien*. Julius Springer Verlag, Berlin.
- Cryz, E.A., Dexter, A.R. & Terelak, H. 2002. Content of readily-dispersible clay in the arable layer of some Polish soils. In Pagliai, M & Jones, R. (eds) *Sustainable land management – environmental protection. Advances in geoecology*. Catena verlag, Germany. pp. 115-124.
- Dekker, L.W. & Ritsem, C.J. 1996. Uneven moisture patterns in water repellent soils. *Geoderma*, 70, 87-99.
- Djordjic, F., Börling, K & Bergström, L. 2004. Phosphorus leaching in relation to soil type and soil phosphorus content. *Journal Environmental Quality* 33, 678-684.
- Doerr, S.H, Shakesby, R.A. & Walsh, R.P.D. 2000. Soil water repellency: its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance. *Earth Science Reviews* 51, 33-65.
- Egnér, H., Riehm, H. & Domingo, W. R. 1960. Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor und Kaliumbestimmung. *Kunliga Lantbrukshögskolans Annaler* 26, 199-215.
- Jarvis, N., Etana, A., Stagniti, F. 2008. Water repellancy, near-saturated infiltration and preferential solute transport in macroporous clay soil. *Geoderma* 143, 223-230.



- Sharpley, A.N. 1981. The contribution of phosphorus leached from crop canopy to losses in surface runoff. *Journal Environmental Quality* 11, 166-170.
- Sheldrick, B.H., Wang, G. 1993. *Particle size distribution*. In Varter, M.R. (Ed.) *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Lewis Publ. Boca Raton, pp. 499-511.
- SIS 1997. Markundersökningar – Bestämning av spårmetaller i jord genom extraction med salpetersyra. SS028311.
- Timmons, D.R., Holt, R.F. & Latterall, J.J. 1970. Leaching of crop residues as a source of nutrients in surface runoff water. *Water Resources Research* 6, 1367-1375.
- Ulén, B. & Snäll, S. 1998. Biogeochemistry and weathering in a forest catchment and an arable field in central Sweden. *Acta Agriculturae Scandinavia B Plant and Soil* 48, 201-211.
- Ulén, B. 2006. A simplified risk assessment for losses of dissolved reactive phosphorus through drainage pipes from agriculture soils. *Acta Agriculturae Scandinavia B Plant and Soil* 56, 307-314.
- Ulén, B. & Snäll, S. 2007. Forms and retention of phosphorus in an illite clay soil profile with a history of fertilization with pig manure and mineral fertilisers. *Geoderma* 137, 455-465.
- Ulén, B., Johansson G. & Simonsson, M. 2008. Leaching of nutrients and major ions from an arable field with an unfertilized fallow as infield buffer zone. *Acta Agriculturae Scandinavia. B Plant and Soil* 58, 51-59.
- Uusi-Kämpä, J. 2005. Phosphorus purification in buffer zones in cold climates. *Ecological Engineering* 24, 491-502.
- Watson, K.W. & Luxmoore, R.J. 1986. Estimating macroporosity in a forest watershed by use of a tension infiltrometer, *Soil Science Society of America Journal* 50, 573-582.
- Watts, C.D., Dexter, A.R., Dumitru, E., Arvidsson, J., 1996. An assessment of vulnerability of soil structure to destabilization during tillage. Part I. A laboratory test. *Soil & Tillage Research* 37, 161-174.

## **Publikation**

Manus för publikation i *Geoderma*.

## Populärvetenskaplig sammanfattning

### Risken för hög fosfortransport från olika delar av fält

**Syftet** var att få bättre kunskap om hur fosforläckaget varierar från olika delar av ett fält. Detta har betydelse när man ska behovsgödsla ett fält med fosfor och när man odlar olika grödor på olika delar av fälten eller ställer en del av fälten i vänteläge.

**Resultat** Fosforinnehållet i det allra översta skiktet av marken och dess innehåll av organiskt kol var faktorer av betydelse för om fosfor läckte från matjorden. Områden med sänkor nära utloppet från fälten gav större fosforförluster än fälten i övrigt. Etablering av en inre buffertzona med ogödslad träda i sänkorna minskade inte transporten av fosfor från fälten eftersom det hade samlats fosfor i där av vilket en del antagligen frigjorts från växtmaterialet i buffertzonen.

**Metoder** Jordkärnor från matjorden provtogs så att de var så ostörda som möjligt. Botten gjordes omsorgsfullt i ordning och markytan utsattes för regn i laboratoriemiljö. Jorden analyserades på en rad kemiska sätt och vattnet som perkolerade mättes upp och analyserades. Resultaten jämfördes med mångåriga mätningar från hela dräneringssystemet hos respektive fält och från markkaraktärisering av hela fälten. Mängden partiklar i vattnet som perkolerade genom jorden och partiklar i vatten som löstes upp från markaggregaten undersöktes också.

**Slutsatser och råd till näringen** Det finns goda skäl att precisionsgödsla fält med varierad topografi inte bara med kväve utan också med fosfor. Här finns det också en ekonomisk vinst att göra. Det finns mycket kvar att undersöka vad gäller alvens egenskaper och hur det påverkar fosforläckaget, hur stor variation man har av infiltration och dränering av vatten inom ett fält och vilka växter man ska välja när man lägger marken i träda. Man bör också se upp med betesmarker som antagligen kan generera mycket partiklar i vattnen från områden där djuren trampar.