

Långtidseffekterna med reducerad jordbearbetning, gödsling med kombisådd och strukturkalkning på fosforförluster via dränering

Barbro Ulén¹, Annika Svanbäck¹, Ararso Etana¹

¹Mark och Miljö, SLU Box 7014 750 07 Uppsala
E-post: barbro.ulen@slu.se

Sammanfattning och slutsatser

I Sverige svarar läckaget av fosfor (P) och kväve (N) från jordbruksmark för en betydande del av eutrofieringen av ytvattnen. Med flödesproportionell provtagning undersöktes olika möjligheter för att minska dräneringsförlusterna av P (och N läckaget) i 28 experimentrutor på ett jämnt område där matjorden till 60 % består av lera av marint ursprung. Två växtföljder och ogödslad träda följdes under totalt 6 år. Förutom olika åtgärder som ändrar strukturen (jordbearbetning och strukturkalkning) och gödsling med mineral fosfor, bestämdes den lokala rumsliga variationen i transporten via dräneringen inom försöksområdet.

Medelvärdet för läckaget av totalfosfor (TotP) efter vanlig höstplöjning (vändning av jorden till ett djup av 23 cm) var $0.79 \text{ kg ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$, med 87 % i form av partikulär fosfor (PP), och motsvarande medelläckage av totalkväve var $27 \text{ kg ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$, med 91 % i form av nitrat. Variationskoefficienten för läckaget både innan experimentet startade (64 %) och under den sex-åriga experimenttiden (60 %) var högre än variationskoefficienten i fosforstatus (20 %), och avrunnen mängd vatten via dränering (25 %), vilket demonstrerar betydelsen av snabba lokala vattenflöden under markytan för denna sprickbildande lera. Läckaget av TotP och PP var signifikant ($p_r > F < 0,002$) lägre från rutor med strukturkalkning än från de andra behandlingarna grupperade tillsammans. Olika gödslingsstrategier (radmyllning/bredspredning med mineralfosfor som tillfördes balanserat eller inte alls) hade ingen signifikant effekt på fosforläckaget. Kväveläckaget var signifikant ($p_r > F < 0,001$) lägre från ogödslad träda jämfört med andra behandlingar och var inte signifikant lägre efter grund höstbearbetning än efter konventionell plöjning. Däremot tenderar förlusterna av PP tenderade att vara högre. Infiltrationsmätningar med tensionsinfiltrationsmeter visade på en högre variation i den mätade hydrauliska konduktiviteten inom rutorna. Mot bakgrunden av de allmänt höga förlusterna av PP bör man koncentrera ansträngningarna med att motverka eutrofieringen av den närliggande Östersjön genom strukturförbättringar, medan minskad jordbearbetning och att totalt undvika fosforgödslingen på sprickbildande leror med låg fosforstatus inte tycks vara effektiva åtgärder.

BAKGRUND

Att minska belastningen av fosfor och kväve till Östersjön är en prioriterad miljöåtgärd – både nationellt och internationellt. Eftersom belastningen från jordbruksmark svarar för en stor del av den totala belastningen ställer detta krav på jordbruksnäringen. Betydande fosforförluster, både i partikulär form (PP) och i löst reaktiv form (DRP), sker ofta från lerjordar (t ex Uusitalo et al., 2001) och fosfor transporteras mer eller mindre direkt via jordbruksmarkens dräneringssystem ut till öppna diken, vattendrag och sjöar. Det finns emellertid få effektiva åtgärder för att minska detta läckage.

Preferentialflöden genom marken

Eftersom fosfor binds starkt till jorden anses partikelbunden fosfor (PP) transporteras med preferentialflöde genom marken. Sådana icke-jämviktsflöden är ett vanligt fenomen i strukturerade lerjordar (Jarvis, 2007) och flödena brukar vara högst oregelbundna i tid och rum. Detta innebär att flödena bli oerhört mycket snabbare än vad som förväntats. Indikationer på sådana flöden är en stor rumslig variation i koncentrationer och läckage trots att den totala mängden avrinning är jämn och varierar betydligt mindre. För jordar som uppvisar stora läckage med preferentialflöden anses regelbunden plöjning vara bra för att bryta upp makroporer och reducera pesticidläckaget (Isensee et al., 1990). För fosfor har erfarenheterna från att plöja för att minska läckaget varit blandade (t.ex. Koskiahio et al., 2002; Uusitalo et al., 2007 och Ulén et al., 2010).

MATERIAL OCH METODER

1. Försöksfältet och led vid Bornsjön

Ett stort experimentfält anlades vid Bornsjön år 2006, med 28 dränerade rutor. Följande sju led studerades, vardera med fyra upprepningar:

- A. Konventionell bearbetning, radmyllning av handelsgödsel fosfor
- B. Konventionell bearbetning, ingen handelsgödsel fosfor
- C. Konventionell bearbetning, radmyllning av handelsgödsel fosfor samt strukturkalkning första året
- D. Grund bearbetning och radmyllning av handelsgödsel fosfor
- E. Grund bearbetning och bredspridning av handelsgödsel fosfor
- F. Ogödslad träda (referens)
- G. Specialanpassad växtföljd, radmyllning eller bredspridning av handelsgödsel

Förutom strukturkalkningen (led C) jämfördes två jordbearbetningsstrategier: konventionell höstplöjning (led A och B), och grund höstbearbetning (led D och E). Led A representerar en vanlig odlingsåtgärd i regionen dvs. konventionell höstplöjning som vänder jorden till 23 cm djup som en förberedelse för vårsådd då rekommenderad fosfordos appliceras. Led B, höstplöjdes men vårsådden fosforgödslades inte alls. Det strukturkalkade ledet höstplöjdes alla år efter det inledande året med strukturkalkning (2008-2012). Led D och E kultiverades grunt (till 12 cm djup) två gånger och jämnades dessutom till med en ribbvält efteråt år 2010-2011. Bredspridning av fosforgödsel (led E) jämfördes med radmyllning (led D) med enbart kultivering. Bredspridning gjordes också i led G med specialanpassad växtföljd när höstgrödan vårgödslades.

I led A och B jämfördes effekten av själva fosforgödslingen. I led C studerades hur kalkningen kan förbättra strukturen så att en bättre infiltration kan ske. I led D och E undersöktes om en mindre mekanisk slitning på aggregaten vid grundare bearbetning påverkar fosforläckaget. I led D och E jämfördes även effekterna av radmyllning respektive bredspridning. Den ogödslade trädan i led F användes som en referens, den putsas en gång per år varvid skörden mäts.

Förutsättningen är att minskade fosforförluster ska kunna ske utan ökad risk för signifikant höga koncentrationer av löst reaktiv fosfor (DRP) och kolloidalt bunden fosfor och utan att de medför en alltför låg kvot kväve till fosfor (N/P) i vattnet. För fosfor testades följande hypoteser:

- Fosforförlusterna minskar efter strukturförbättringar såsom strukturkalkning
- Fosforförlusterna minskar med odlingsåtgärder som förstärker jordaggregaten
- Fosforförlusterna minskar vid bra placering av gödseln
- Fosforförlusterna minskar vid låg odlingsintensitet
- Fosforförlusterna minskar vid reducerad bearbetning med mindre bearbetningsdjup

Tabell 1. Medelvärde pH (H_2O) och koncentrationen organiskt kol (OC, %), ammonium-laktatfosfor (P-AL, $mg\ kg^{-1}$) och totalfosfor uppsluten med HNO_3 (TotP, $mg\ kg^{-1}$) i de olika behandlingarna. Jorden provtogs vid starten av försöket under hösten 2007 och under våren 2012. Notera de olika provdjupen för 2007 och 2012

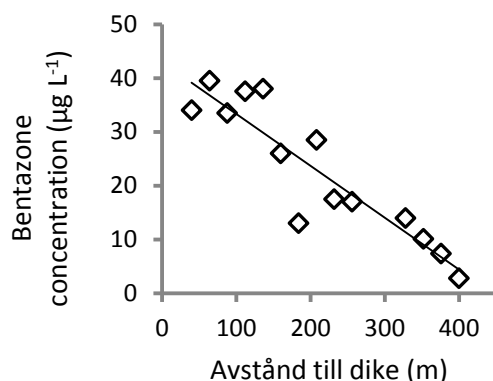
Led och kod för de olika behandlingarna	2007 (0-23 cm djup)				2012 (0-2 cm djup)			
	pH	OC	P-AL	TotP	pH	OC	P-AL	TotP
A - Konventionell plöjning, radmyllning P	6,4	2,4	47	830	6,1	2,8	47	880
B - Konventionell plöjning, ingen P	6,4	2,6	54	760	6,1	3,1	40	790
C - Konventionell plöjning, kalkning, radmyllning P	6,3	2,5	52	830	6,6	3,0	45	880
D - Grund bearbetning, radmyllning P	6,5	2,4	43	800	6,3	3,0	50	860
E - Grund bearbetning, bredspridning P	6,4	2,5	49	830	6,1	3,1	61	910
F - Ogödslad träda ^b	6,6	2,4	46	760	6,1	2,9	31**	770
G - Anpassad växtföljd ^c	6,4	2,5	50	780	6,1	3,1	50	870
Max standardspridning inom ledet	0,5	0,3	8	nd	0,4	0,5	10	80

^a Strukturkalkning hösten 2007; ^b Insådd med korn våren 2008;

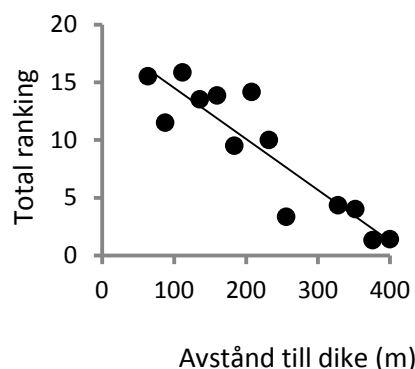
^c Höstsådda grödor fick bredspridd gödsling på våren, i annat fall radmyllning på våren

** Signifikant lägre ($p < 0.5$) än i de andra leden

nd = ingen data, år 2007 - TotP mättes enbart i två av fyra rutor för varje behandling



Figur 1. Koncentrationer av bentazon ($\mu\text{g L}^{-1}$) avsatt mot avståndet till diket i dalens mitt. Lutningen är signifikant skild från noll ($p < 0.001$).



Figur 2. Rankning av klopyralid, fluroxipur, MCPA, bentazon, löst glyfosat och partikelbunden glyfosat i relation till avståndet till diket.

2 Försöksfältet karaktär

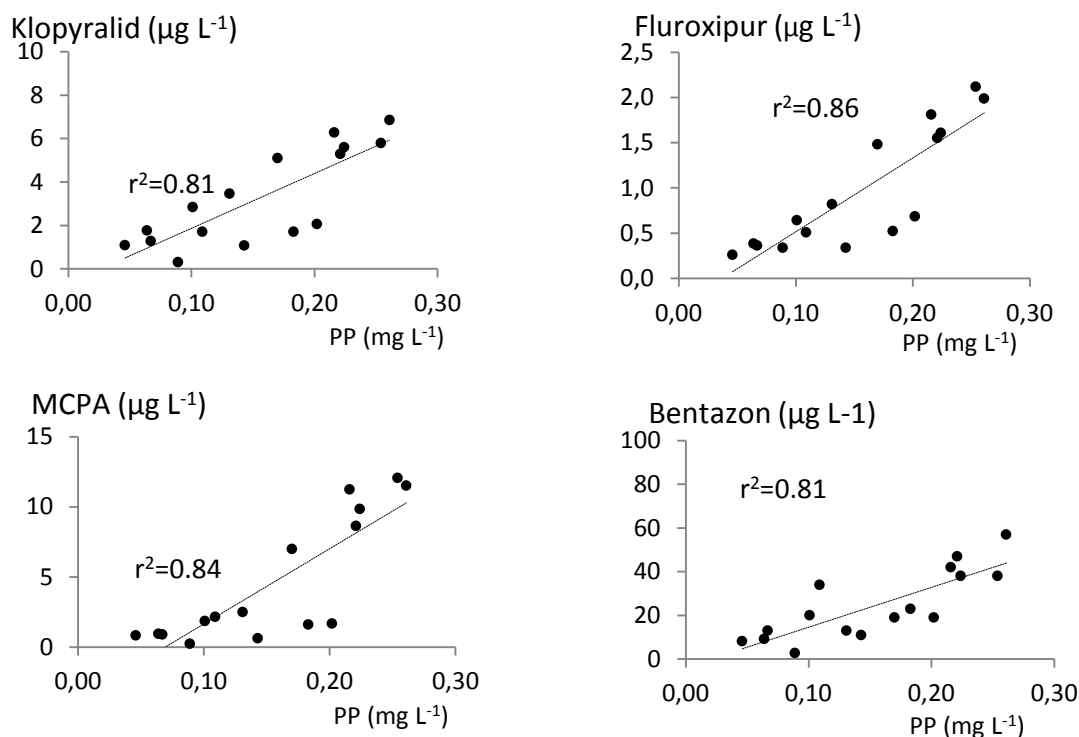
Försöksfältet är beläget på en mindre slätt strax söder om Stockholm. Fältet har en medellutning mindre än 0.05‰ och har lerjord av marint ursprung. Hela försöket (1,3 ha) med 28 rutor dränerades 2006 till 0.9 m djup. Dräneringsledningarna är placerade centralt med 8 m:s avstånd i rutorna för att dränera jorden effektivt. Rutorna (24 m x 20 m) ligger i två rader om 14 rutor med varierande avstånd från ett öppet dike på mitten av slättmarken. Jorden har hög lerhalt (Tabell 1) och är tydligt aggregerad. Stora vertikala porer (upp till 5 mm) är tydliga mellan aggregaten liksom fina porer som i går i gamla rotkanaler. Utfällningar av järnoxider kan ses i rotkanalerna, på aggregatens väggar och som utspridda fläckar. Matjorden har en lerhalt på 60 % (30 % mjäla), pH 6,4, och P-AL 4.2. Ingen av dessa parametrar var signifikant olika mellan försöksrutorna. År 2007 var medelhalten organiskt kol i matjorden 2,5 % med en variationskoefficient på mindre än 17 % mellan rutorna. I nedre alven var skrymdensiteten låg, och det organiska materialet kvävefattigt, vilket indikerar att sprickorna stabiliseras av gammalt organiskt material. Dominerande lermineral är illit och kaolinit finns också i små kvantiteter. Trots att textur och markkemiska förhållanden (Tabell 1) är likartat över hela fältet har studier av läckaget av olika bekämpningsmedel visat på ett signifikant samband med försöksrutans läge i förhållande till diket i mitten av slätten (Figur 1 och 2). Alla studerade substanser, oberoende av sorptionsförmågan, visade ett liknande läckagemönster (Ulén et al., 2013). Variationen i läckaget av bekämpningsmedel från olika rutor var stor, trots en liten variation i avrunnen mängd. Läckaget av partikelbunden fosfor har följt samma mönster som bekämpningsmedlen (Figur 3) och avståndet till diket har därför använts som en faktor för lokal variation i den statistiska utvärderingen.

3. Strukturkalkning

Strukturkalken vid Borsjön var bränd kalk som spreds för hand med en giva motsvarande 5 ton CaO ha⁻¹ den 25/7 2007. Den spreds på stubben under optimala väderförhållanden (inget regn eller blåst) och men en noggrann kultivering in i jorden med kultivator i flera riktningar omedelbart efteråt.

4. Kvantifiering av läckaget

Avrinningen från varje försöksruta mättes med vippkärl i en källare och vattenvolymen relaterades till ytan på rutan (480 m²). Uppsamling av dräneringsvattnet i källaren har styrts automatiskt av en datalogger. Denna kontrollerade den flödesproportionella provtagningen med hjälp av små slangpumpar, så att varje flödesproportionellt delprov representerade 0,04 mm avrinning resten av året. Efter att en viss volym vatten passerat pumparna rengjordes slangarna genom reversibel pumpning och därefter togs ett mindre delprov. Samlingsproven lagrades i mörka glassflaskor (2,5 L) vid relative kall temperatur (ung. 10-14°C) och under mörker under maximalt en vecka före transport i mindre flaskor till laboratoriet. Proverna skickades till vattenlaboratoriet, Mark och Miljö, SLU. Där mättes pH följande dag, löst reaktiv fosfor (DRP) inom två dagar samt totalfosfor (TotP), nitratkväve (NO₃-N) och totalkväve (TotN) inom 4 dagar och efter lagring vid +4°C. Alla analyser gjordes helt enligt EU-metoder förutom DRP. Denna fosforfraktion analyserades efter förfiltrering genom ovanligt fina filter med pordiametern 0.2 µm (Schleicher & Schüll GmbH, Dassel, Germany).



Figur 3. Koncentrationerna av klopyralid, bentazon, MCPA och fluroxipur relaterad till partikulär fosfor (PP) (inklusive korrelationskoefficienten r^2) i dräneringsvatten från olika rutor i Bornsjön under perioder med halter över bestämningsgränsen.

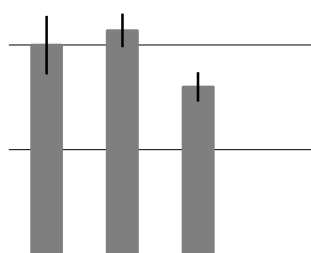
5. Markfysikaliska mätningar

Aggregatstabilitet, porositet, vattenhållande förmåga och infiltration har studerats vid Bornsjön. Matjordsprov har utnyttjats för att studera aggregatstabilitet efter fyra år (Ulén et al., 2012). Metoden, som bygger på Cryz et al., (2002), innebär en ytterst varsam dispergering av ler som vill efterlikna vad som sker i en vattenmättad matjord när jordaggregaten löses upp. Porvolym och skrymdensitet har undersökts (april, 2011) (Danielson & Sutherland, 1986). Volymen av markporerna beräknades som differensen mellan vatteninnehållet vid 5 cm tensionstryck i små jordcylindrar (0-5 cm) i laboratoriet (Messing & Jarvis, 1993). Den 27-30 juni mättes vatteninfiltrationen i fält på i leden A och C (3 rutor från vardera led med 3 upprepningar i varje) med hjälp av en infiltrometer med vattennivåerna -10, -8, -4,5, -2 and -1 m som beskrivits av Holden et al., (2001).

6. Statistisk bearbetning

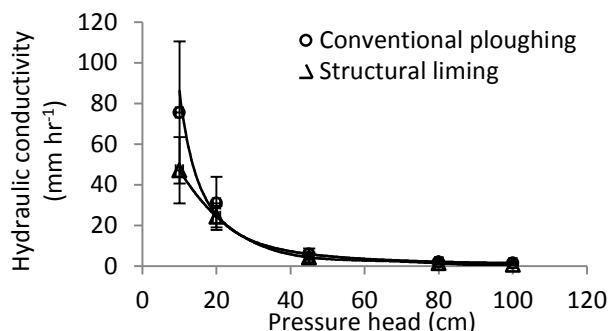
Årliga förluster från alla rutor och alla år utnyttjades för att analysera skillnader i läckage mellan de olika behandlingarna. Beräkningarna har gjorts med en allmän blandmodell (SAS). Genom att använda beräknade korrelationsmätningar över tiden, och sätta en rumslig faktor som 'störande faktor' (kovariat) (Littell et al., 2006), tog vi hänsyn till att data var i form av tidsserier. Vi testade växelverkan mellan olika led och avrinning. Vi testade också påverkanseffekter mellan olika led och faktorn avståndet till det öppna diket. Behandlingen sattes som fixa faktor medan avrinning och avståndet till det öppna diket användes som kovariat. Alla variabler transformerades logaritmiskt innan analysen gjordes för att stabilisera variansen som ökade med ökat värde på transportförlusterna. I den förklarande 'post-hoc testen', med parvisa jämförelser mellan leden, sattes avståndet till diket som medelvärde (200 m) och avrinningen till medianvärdet (410 mm). Tukey's test användes och signifikansnivån sattes till $\alpha=0,05$, inklusive det p-värde som utnyttjats med den använda F-statistiken (signifikant skillnad mellan minst 2 av behandlingarna). Avsikten var att testa om två led hade samma varians vilket gjordes för flera led samtidigt med en given effekt ($p_r > F$).

Relativa turbiditetsvärden (NTU-units)



Led A D C

Figur 4. Relativ turbiditet som ett mått på dispergerad ler från matjorden i led med konventionell plöjning (A), grund kultivering (D) och strukturkalkning (C). Konventionell plöjning längst till vänster är satt som 100.



Figur 5. Geometrisk medelvärde och standard-spridning av den mättrade hydrauliska konduktiviteten. Konventionell plöjning är jämförd med struktur-kalkning. Skillnaderna är inte signifikanta.

RESULTAT

1. Markfysik skörd och fosforstatus i marken

Efter fyra års odling var det möjligt att visa på signifikant förbättrad aggregatstabilitet från det kalkade ledet (Figur 4) (Ulén et al., 2012). Porositeten uppmättes däremot inte ha några statistiska skillnader mellan leden och det var bara för trädan som den vattenhållande förmågan var bättre (Tabell 2). Infiltrationsmätningarna i fält indikerade något jämnare infiltration i det strukturkalkade ledet men skillnaderna var inte signifikanta (Figur 5).

2. Skörd och fosforstatus i marken

Det första året var skördeeffekterna från strukturkalkningen tydliga (Tabell 3). Vid Bornsjön, med en ganska låg fosforstatus, innebar ingen fosforgödsling att fosforläckaget var oförändrat men att skördarna blev dåliga. För andra svenska jordar med liknande ganska låga fosfortal ($P\text{-AL} < 5 \text{ mg kg jord}^{-1}$) har det demonstrerats en tydlig skörderespons vid fosforgödsling (Edhe, 2012). För Bornsjön, med en relativt sett låg halt och läckage av löst reaktiv fosfor (DRP) i dräneringsvattnet, var det endast den partikelbundna fosfor som minskade efter strukturkalkningen (Tabell 4). Däremot visar två års studier från Wiad (kommande rapport) att också halter och läckage av DRP minskat signifikant. Denna plats har betydligt högre grad av fosformättnad i matjorden än Bornsjön.

Tabell 2. Medelvärden för några markfysikaliska egenskaper uppmätta i cylindrar (0-5 cm djup) i laboratoriet. Medelvärde och standardavvikelse (SD) för porositet ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), skrymdensitet (g cm^{-3}) och vatteninnehåll ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) och avsjunkande vatten ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) vid fem olika tensionstryck (t.p.) (m) mellan 0,05 och 6,0 t.p. Mätningarna gjordes bara i prov från leden A, C och F

Egenskaper	A (Konv. plöjning)		C (Strukturkalkning)		F (Ogödslad träda)	
	Medel	SD	Medel	SD	Medel	SD
Porositet	0,539	0,031	0,525	0,032	0,520	0,014
Skrymdensitet	1,18	0,09	1,22	0,08	1,30	0,04
Vatteninnehåll 0,05 t.p.	0,505	0,016	0,495	0,022	0,495	0,010
Vatteninnehåll 0,5 t.p.	0,428	0,018	0,414	0,017	0,458**	0,023
Vatteninnehåll 1,0 t.p.	0,413	0,019	0,399	0,017	0,444**	0,024
Vatteninnehåll 3,0 t.p.	0,388	0,017	0,378	0,016	0,416**	0,024
Vatteninnehåll 6,0 t.p.	0,365	0,017	0,356	0,017	0,395**	0,023

** Signifikant skillnad från konventionell plöjning ($p < 0.05$)

Tabell 3. Relativ skörd. Medelskörden exkluderar år 2011, när inga ärtor skördades. De plöjdes i stället ner och tjänade som fånggröda för kväve

År	Växtföljd	A	B	C	D	E
2007	Höstvete före start	100	101	98	101	102
2008	Vårkorn	100	94	113	96	100
2009	Vårkorn	100	96	107	117	89
2010	Havre	100	91	100	79	88
2011	Ärt	-	-	-	-	-
2012	Vårkorn	100	89	97	108	103
2013	Vårkorn	100	_*	109	116	112
	Medelvärde 08/13	100	92	105	103	98

*Fältkrassing som fånggröda över vintern

3. Avrinning och fosforläckage

Dräneringen vid Bornsjön var högst effektiv och under vintern dränerade nästan all vinternederbörd. Avrinningen från de olika rutorna hade ett medelvärde för variationskoefficienten på 22 % under sommaren och 25 % under vintern. En årlig variation på runt 20 -25 % mellan olika rutor är typiskt för rutförsök (t.ex. Monaghan et al., 2002; Strock et al., 2004). Variationen i avrinning mellan rutorna förklarades inte av avståndet till diket ($p=0,08$).

I genomsnitt var totalfosforläckaget efter konventionell plöjning $0.79 \text{ kg ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$, varav 87 % som partikulär fosfor (PP). Motsvarande totalkväveläckage var $27 \text{ kg ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$, med 91 % som nitrat. Det var en stor lokal variation (60 %) trots de mycket jämna markkemiska förhållandena under de sex år som experimentet varade. Variationskoefficienten var mycket större än den för matjordens fosforstatus (20 %) och för avrinningen (25 %). Detta visar betydelsen av den lokala skalan för transporten genom denna sprickbildande lera. Läckaget av totalfosfor och partikelbunden fosfor var signifikant ($p_r > F < 0,002$) lägre från rutor med strukturkalkning än från andra behandlingar som grupperats tillsammans. Olika strategier för fosforgödsling (radmyllning resp. bredspridning av mineralfosfor) och tillförsel av fosfor i förhållande till skörden resp. ingen fosforgödsling alls hade ingen signifikant effekt på fosforläckaget.

Tabell 3. Läckage ($\text{kg ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$) av totalfosfor (TotP), löst reaktiv fosfor (DRP), partikulärt fosfor (PP), totalkväve (TotN)), nitrat kväve ($\text{NO}_3\text{-N}$) och kvoten TotN/TotP (N/P) för de olika leden. Medelvärdet av den årliga transporten från de fyra rutorna och sex åren är givna med standardavvikelse. Värdena med olika bokstäver inom kolumnerna betyder signifikanta skillnader mellan leden vilket har testats med log-transformerade värden i en statistisk modelanalys

Led	TotP	PP	DRP	TotN	$\text{NO}_3\text{-N}$	N/P
A – Konv. plöjning.	$0,79 \pm 0,53$	$0,68 \pm 0,49$	$0,13 \pm 0,09$	$27^c \pm 13$	$25^b \pm 11$	42
B – Konv. plöjning 0 P gödsling	$0,97^b \pm 0,66$	$0,82^b \pm 0,55$	$0,15 \pm 0,11$	$29^c \pm 19$	$26^b \pm 17$	42
C – Konv. plöjning, struk.kalk	$0,59^a \pm 0,33$	$0,46^a \pm 0,29$	$0,13 \pm 0,06$	$30^c \pm 13$	$27^b \pm 11$	59
D – Grund bearbetning	$0,96 \pm 0,56$	$0,85 \pm 0,51$	$0,11 \pm 0,07$	$18^b \pm 8,5$	$15^b \pm 7,1$	25
E – Grund bearb. Bredspridning	$1,13^b \pm 0,51$	$0,94^b \pm 0,38$	$0,20 \pm 0,16$	$27^{b,c} \pm 16$	$23^b \pm 14$	26
F – Ogödslad träda*	$0,77 \pm 0,42$	$0,60 \pm 0,31$	$0,17 \pm 0,16$	$6.2^a \pm 3,3$	$3.3^a \pm 2,5$	8
G – Anpassad växtföljd.	$0,84^b \pm 0,48$	$0,68 \pm 0,39$	$0,16 \pm 0,23$	$23^{b,c} \pm 13$	$19^b \pm 11$	31

* Perioden 2008-2013, förutom året innan den ogödslade trädan hade etablerats år 2007/2008

DISKUSSION

1. Kalkens effekt på jorden

När kalk sätts till en lerjord sker det ett utbyte av katjoner och kalciumjonerna adsorberas till lermineralerna. Vartefter attraheras lerpartiklarna, som kommer närmare varandra, och det sker en flockulering och partikelaggregering (Bell, 1996). Dessutom leder pozzolanreaktionen mellan kalk, kisel och aluminium till att det bildas en cementprodukt och under en längre tid ökar aggregatstyrkan (Locat et al., 1990). Efter strukturralkning är det också känt att lerkolloiderna bildar ett korthusmönster (Koorevaar et al., 1982; Wells & Theng, 1988). Detta borde teoretiskt resultera i en jämnare infiltration i den allra översta matjorden som mildrar preferentialflödet. Strukturförändringen av lerjordarna kan påverka hur jämnt vattenflödet sker i tid och rum, vilket i sin tur förändrar förutsättningarna för preferentialflöden av fosfor. Det är bara strukturralk som ger de ovannämnda effekterna på leraggregaten. Förändrad jonsammansättning i sig kan dock medföra elektroniska bryggor som teoretiskt skulle kunna minska dispergeringen och erosionen av ler (Ulén et al., 2012b).

2. Reducerad jordbearbetning

Med grund bearbetning, vanligen kallad reducerad bearbetning, vänder man inte jorden utan man bearbetar den till ett djup av 5-15 cm med en kultivator eller tallriksredskap. Detta lämnar markytan täckt med åtminstone 15 % växtrester året runt enligt den amerikanska definition (ASAE, 2006). Det kan emellertid öka risken för fosforförluster om det samtidigt innebär en anrikning av organiskt material (Gaynor & Findlay, 1995). I mostatts till detta kan konventionell plöjning bryta makroporerna och reducera den hydrauliska konduktiviteten till plöjningsdjup och konsekvent minska förlusterna av fosfor. De relativt stora förlusterna från grunt jordbearbetade (kultiverade rutor) i det här försöket skulle kunna vara en effekt av ojämn infiltration och preferentiell transport längs halmrester (Kasteel et al., 2007). Detta skulle behöva undersökas närmare.

3. Fosforgödsling

Bredspridning av fosforgödsling kan öka fosforkoncentrationen i matjorden medan radmyllning ökar markfosfor under ytan medan radmyllning ökar fosfor under markytan (Saarela and Vourinen, 2010; Fernández and Schaefer, 2012), speciellt om jorden inte vänds genom plöjning. I vår studie förändrades inte P-ALvärdet vid bredspridning (E) jämfört med radmyllning (D) (Tabell 1). P-ALvärdet var dock (signifikant) lägre för den ogödslade trädan i 0-2 cm lagret år 2012 Ingen fosforgödsling alls var inte associerad med något statistiskt säkert lägre läckage av DRP i den parvisa jämförelsen av behandlingarna.

4. Kväveläckage och näringsläckagets effekter på övergödningen

Kväveläckaget var signifikant lägre från den ogödslade trädan ($p > F < 0,001$) jämfört med de andra leden (A-E, G) var för sig (Tabell 4). Kväveläckaget var inte signifikant lägre efter grund höstbearbetning med kultivator än efter konventionell plöjning. På grund av nödvändigheten att samtidigt reducera både fosforbelastningen och kvävebelastningen till Östersjön på ett balanserat sätt bör man framför allt fokusera på att förbättra strukturen på odlingsmarken hellre än att lägga marken i träda. Kvoten N/P var hög men i vattnet från trädan var den bara 8 (Tabell 4). Det senare är nära den nivå som kan trigga tillväxten av kvävefixerande bakterier och alger i Stockholm skärgård (Boesch et al., 2006).

SLUTSATSER

Försöken från Bornsjön har visat på en signifikant minskning av det totala fosforläckaget efter strukturralkning och på en stor rumslig variation i läckaget av fosfor och kväve och speciellt av den partikelbundna fosfor (PP). Den kan bero på att sprickorna stabiliseras av gytta, speciellt i den djupare alven. Det behövs en omsorgsfull studie av makroporsystemet för att förklara läckaget från denna vanliga typ av marin lerjord. Att bredsprida eller radmylla fosfor hade ingen klar effekt på läckaget i denna sexårsstudie. Att gödsla med samma mängd fosfor som man för bort med skörden resulterade inte i några högre förluster än om man helt slutade med gödslingen. Det fanns en tendens (men utan statistisk säkerhet) att fosforförlusterna var lägre vid vanlig plöjning än med reducerad plöjning. Jord som inte bearbetades (ogödslad träda) innebar en väsentlig minskning av kväveläckaget

men det kvarstod höga förluster av PP. Det är inte någon bra lösning för den närliggande Östersjön om man upphör med plöjning och inte gödslar jordbruksmarken med lämplig mängd fosfor. Den låga kvoten kväve till fosfor (N/P) i dräneringsvattnet man riskerar att få då visar att man i stället bör fokusera på att minska makroporflödet genom strukturförbättringar. Den här typen av jordar bör man t.ex. strukturkalka och därefter plöja regelbundet.

Referenser

ASAE, 2006. Am. Soc. Agric. Biol Eng; Bell, 1996. *Eng. Geol.* 42:223-237; Boesch et al., 2006. *SEPA Report* 5509; Cryz, et al, 2002. *Adv. Geoecol.* 115-124; Danielson 1986. In Klute; *Methods of soil analysis*; Edhe, L., 2012. Efficiency of phosphorus fertilization in long-term soil fertility experiments. Master thesis Inst. Mark o Miljö, SLU 2012:11; Fernández & Schaefer 2012. *Soil Sci. Soc. Am. J* 76:1090–1099; Gaynor & Findlay 1995. *J Environ. Qual.* 24, 734-741; Holden et al., 2001. *Hydr. Proc.* 15, 289-202; Isensee, 1990. *J Environ. Qual.* 19, 434-440; Jarvis, 2007. *Europ. J Soil Sci.* 58, 523–54; Kasteel, et al., 2007 *Geoderma* 137, 360-369; Koorevaar, 1982. in: *Elements of soil physics*; Koskiaho et al., 2002. *Agric. Food Sci.* 11, 37-50; Littell 2006. SAS for Mixed Models; Locat, 1990. *Can. Geotech J* 27, 294-304; Messing, 1993. *J Soil Sci.* 44, 11-24; Monaghan, et al., 2002. *New Zea. J Agric. Res.* 45, 197-205; Saarela 2010. *Nutr. Cycl. Agroec.* 86:367–381; Strock, et al., 2004. *J Environ. Qual* 33, 1010-1016. Svanbäck, 2013. Mitigation of phosphorus leaching losses from a cracking marine clay soil via subsurface drains. Accepted in *Agric. Ecosys. Environ.* 2013; Ulén 2006. *Acta Agric. Scand. B.* 2, 241-251; Ulén et al., 2012 *Acta Agric. Scand. B Suppl.* 2, 176-184; Ulén et al., 2013. Spatial variation in herbicide leaching from a marine heavy clay soil via subsurface drains. *Pest Manage. Sci.* (available on-line); Uusitalo et al., 2001. *J Environ. Qual.* 30, 589–595; Uusitalo 2007. *Agric. Food Sci.* 16, 352-365; Wells & Theng 1988. *Appl. Clay Sci.* 3, 237-252.

RESULTATFÖRMEDLING

Demonstration av rutförsöket vid Bornsjön

20/4 2010 målgrupp: finska forskare

11/5 2010 målgrupp: internationella studenter, SLU

18/5 2010 målgrupp: lantbrukare och representanter för länsstyrelsen i U län

26/10 2010 målgrupp: lantbrukare och rådgivare i Stockholms län.

31/5 2011 målgrupp: amerikanska och norska forskare.

6/7 2011 målgrupp: utredare för KSLA-stödda fältstationer

30/5 2013 målgrupp: styrgruppen Mistra Biotech

12/9 2013 målgrupp: internationella forskare - exkursion i samband med 7th *International Phosphorus Workshop* IPW7

Skylt på platsen –

Odlingsmetoder och läckage av fosfor och kväve till Bornsjön

Föredrag på svenska

23/6 2008 målgrupp: lantbrukare inom vattendragsgruppen Gissleöå

26/6 2008 målgrupp: lantbrukare inom vattendragsgruppen Hestadbäcken

17/11 2008 målgrupp: lantbrukare i Uppsalaregionen, *Greppa-fosforkurs* Lövsta bruk

14/1 2009 målgrupp: lantbrukare och rådgivare 'Resultat från försöken vid Bornsjön'
Svea försöken, Brunnby

4/3 2009 målgrupp: styrgruppen *Greppa-fosfor* Nässjö

15/10 2009 målgrupp: rådgivare och forskare, *Fältforsk*, SLU

8/12 2009 målgrupp: forskare, internseminarium på institutionen

12/1 2010 målgrupp: lantbrukare och rådgivare "Resultat från försöken vid Bornsjön Sveaförsöken, Brunnby

10/3 2010 målgrupp: lantbrukare runt Skärkind och Greppa-fosfor

16/2 2010 målgrupp: SLF utvärderingsgrupp, forskare Gemensamt seminarium fosforprojekten, SLU

13/4 2010 målgrupp: rådgivare och forskare Fältforsk SLU

7/12 2011 målgrupp: rådgivare och forskare: Fosforläckage och motåtgärder 'Växjö möte - ett möte mellan akademi och näringsliv' Partnerskap Alnarp

1/2 2011 målgrupp: rådgivare och forskare Markkarteringsrådet seminarium, SLU

21/9 2011 målgrupp: myndigheter, rådgivare och forskare KSLA 'trender i våra vattendrag'

10/10 2012 målgrupp: lantbrukare, myndigheter, rådgivare Kursen "Fånga fosfor" med HS och stöd från Jordbruksverket, Jönåker

18/10 2012 målgrupp: lantbrukare, myndigheter, rådgivare Kursen "Fånga fosfor" med HS och stöd från Jordbruksverket, Anderslöv

20/11 2012 målgrupp lantbrukare och rådgivare Svealand och Norra Götaland 'Fosfor i fokus' Utbildningskurs Jordbruksverket, Uppsala

3/12 2013 målgrupp: rådgivare och forskare. Fosforläckage och strukturräkning. 'Växjö möte - ett möte mellan akademi och näringsliv' Partnerskap Alnarp

Nyhet på Greppa Näringens hemsida:

2007-11-21 Fosforförsöken vid Bornsjön är igång

2010-02-04 Stort intresse för strukturräkning

2013-06-26 Växtskyddsmedel läckte vid snabba vattenflöden

Oral presentations at international workshops and conferences

26/11 2010 Ulén B, Oral presentation. Informal seminar with researcher from EAWAG

29/9 2010 Ulén B, Phosphorus from agricultural land in Sweden ⁶th International Phosphorus Workshop (IWP6) Sevilla, Spain 27/9-1/10 2010

16/11 2010 Ulén B, Nordisk workshop "Mitigation of diffuse phosphorus from agricultural land" KSLA

14/6 2011 Ulén B. Structure liming and omitting ploughing as measures to reduce agricultural nutrient loading to surface waters 'Novel methods for reducing agricultural loading and eutrophication'. EU-COST 869 meeting Joikioinen, Finland. 13-16 June 2010

3/11 2011 Ulén B, 'Particulate-facilitated leaching of glyphosate and phosphorus from a marine clay soil via tile drains', NJF seminar *Erosion in the Nordic Countries* Oslo 2-4 Nov. 2011

28/6 2012 Ulén B, Oral presentation at Workshop for Researcher and PhD students from Ukraine, Belarus, Poland and Sweden Warsaw Agricultural University, Poland

6/7 2012 Ulén B, Reducing phosphorus leaching from a drained heavy clay soil in Sweden S12.05 -7 EUROSOIL 2-6 July 2012 Bari, Italy

12/9 2013 Withers, P (speaker) co-authors Ulén, B., Aronsson, H and Pavinato P 2013 The importance of manure and cropping systems for P management – how do we reach long term sustainability? ⁷th International Phosphorus Workshop, 9-13 September Uppsala Sweden

7/10 2013 Lecture for 30 Polish advisors in the region around Warsaw Radom, Polen

9/10 2013 34 Lecture for Polish advisors in Pommerski region, Gdansk, Polen

Other information in English

Ulén B 'Reducing eutrophication of lakes in living agricultural areas close to cities' Poster IWA conference 'Cities of the Future' June 2010 Stockholm

Svanbäck & Ulén Leaching of phosphorus, nitrogen and pesticides - Experimental plots and observation field at Oxelby, Bornsjön 4 pp.- Handouts

Granskad internationell publicering

Ulén, B., Alex, G., Kreuger, J., Svanbäck, A., Etana, A., 2012. Particulate-facilitated leaching of glyphosate and phosphorus from a marine clay soil via tile drains. *Acta Agric. Scand. B* 62, Suppl. 2, 241-251. doi: 10.1080/09064710.2012.697572.

Larsbo, M., Löfstrand E., van Alphen de Veer D., Ulén B. 2013. Pesticide leaching from two Swedish topsoils of contrasting texture amended with biochar. *Journal of Contaminant Hydrology* 147, 78-81.

Ulén, B., Larsbo, M., Kreuger, J., Svanbäck, A. 2013. Spatial variation in herbicide leaching from a marine clay soil via subsurface drains. *Pest Management Science*. 2013 (published open access).

Svanbäck, A., Ulén, B., Etana, A. 2013. Mitigation of phosphorus leaching losses from a cracking marine clay soil via subsurface drains. Accepted in *Agriculture Ecosystem and Environment* (will be available on-line soon)

Ulén. B., Djodjic, F., Angelija Bučienė & Audronė Mašauskienė 2012. Phosphorus load from agricultural land to the Baltic Sea. In: Jakobsson, C. (ed.). *Sustainable Agriculture and Health*. (Baltic University). (Book chapter).