

Effekt av packning, jordbearbetning och försämrad struktur på fosforläckage från jordbruksmark

Barbro Ulén, Avd f Vattenvårdslära, SLU

Abstract Water infiltration through the soil profile may have an impact on the losses of phosphorus (P). Infiltration was more heterogeneous after soil compaction by a 10-12 tonne vehicle when examined in small lysimeters with free drainage. Losses of dissolved phosphates (PO_4P) were 1.7-2.5 times higher from such a clay soil and with slightly higher degree of phosphorus saturation (DPS) than from the same soil without compaction and slightly lower DPS. The total phosphorus (TOTP) losses were the same. Leaching from another clay soil was not significantly affected by compaction. A soil of naturally high infiltrations capacity and low DPS showed low TOTP losses under annual tilling as well as under permanent ley. Although concentrations of sodium (Na) are normally low in Swedish soils, high concentrations, up to $36 \text{ mg Na } 100 \text{ g}^{-1} \text{ soil}^{-1}$ were demonstrated close to a winter-salted road. At the same, significantly reduced stability of the soil aggregates was demonstrated close to the road compared to further away from the road. Similarly, significantly increased amounts of suspended clay and P were calculated to be lost from the lysimeters through drainage water from a soil close to the road compared to from a soil at 5 or 10 meters distances. Aggregate stability was reduced by 31-42 %, suspended solids (SS) losses through drainage water were increased by 150-210 % and TotP losses were increased by 160-240 %. Turbidity and amount of suspended clay material were directly correlated to each other suggesting that assessment of aggregate stability may be simplified using more rapid measurements of turbidity.

Inledning

En idealisk jordprofil som inte läcker så mycket fosfor bör ha en god infiltrationsförmåga så att jorden kan suga upp vattnet utan att detta kanaliseras till snabba flöden. En god aggregatstabilitet kan medföra att partiklarna inte mobiliseras. Packning medför ofta att de större sprickorna i jorden trycks ihop och infiltrationen kan förändras på ett negativt sätt. Vid upprepad jordbearbetning kan man befara att aggregatstabiliteten försämras och att fosforförlusterna ökar. Hög andel växtmaterial skulle å andra sidan kunna stärka aggregaten och delvis skydda jorden för upplösning (Tisdall, 1996). Saltning av vägar medför att marken närmast vägkanten får förhöjda halter natriumklorid (NaCl). En hög halt av envärda joner, speciellt Na ger instabila aggregat (Norrström & Bergstedt, 2001) och jonerna kan dispergera lerkolloider (Blomqvist & Johansson, 1999). En sådan strukturförsämring kan man befara ger ökade förluster av fosfor.

Avsikten med denna undersökning var att testa i vad mån packning, jordbearbetning, och försämring av struktur genom exponering för vägsalt kan förändra markens aggregatstabilitet och därmed öka fosforläckaget. Detta undersöktes på två sätt, dels genom att direkt mäta aggregatstabilitet efter upplösning av ler, och dels genom att mäta fosforläckaget i små lysimeterar. För att karakterisera jordarnas naturliga möjligheter till infiltration beskrivs även jordprofilerna varifrån jordarna är hämtade.

Material och metoder

Jordar Jord Also är provtagen vid Ultuna i den lägre delen av terrängen norr om Genetikcentrum. Matjorden är en styv mellanlera (Tabell 1) som överlagrat en mojord. Matjorden uppvisar en kokig struktur med en hög andel stora aggregat ($d > 8-16\text{mm}$). Vattengenomsläppligheten är hög och profilen har en tämligen god vattenhållande förmåga. Jorden har en tydlig plogsula men har endast utsatts för normal packning. Packning med ett fordon som väger 10-12 ton (led Alspack) utfördes strax före provtagningen under våren då marken var blöt. Jorden som packats hade något högre grad av fosformättnad (DPS) än den opackade jorden (Tabell 2).

Jord Bllo är högre belägen och är en något mindre styv lera i närheten av den förra. Den är en glaciallera överlagrad av postglacial lera. Under matjorden blir strukturen grymig och aggregaten mörkfärgade. Aggregatformen bestäms i horisontell led av varvighet och i vertikal riktning av krympningsbenägenheten. Lerhalten stiger i alven och når ett maximum i lagret 50-60 cm för att därefter avta till dräneringsdjup. Jorden kan magasinera vatten bra. Även denna jord har en plogsula. Packningen (Blpack) skedde på samma sätt som den förra jorden och provtagning utfördes därefter. Denna jord, både den opackade och den packade hade likartad markkemisk sammansättning som led Also (Tabell 2).

Jord C (Tabell 1) är också en lerjord. Den är där tagen på en slätt (Kungsängen) som geologiskt har bildats genom översvämning och sedimentation. I matjorden finns en tendens till kokighet. Strukturen är grymig med en svag tendens till plogsula. Både matjord och alv utgörs av gytjelera. Lerhalten är jämn genom hela profilen ner till en meters djup. Den postglaciala leran har stor mäktighet. Profilen har en väl utvecklad aggregatstruktur. Längre ner syns prismor och rostutfällningar av järnhydroxid. Dessa utfällningar stabiliserar aggregaten i alven. Behandlingen Cplöjd innebär att jorden har plöjts varje år under en mycket lång tid. Cvall utgörs av en långliggande vall som betas regelbundet. Texturen och profilen är lika för båda jordarna vid C men grundvattenytan ligger högre i vallen som ligger närmare Fyrisån. Hela matjordsskiktet som provtogs var genomborrat av rötter. Jorden C hade mycket låg grad av fosformättnad (3%). Lättillgänglig fosfor (P-AL) enligt Egnér et al. (1960) var låg på båda ställena (Cplöjd och Cvall, Tabell 2) och motsvarade klass I.

Jord D provtogs från ett försöksfält längs väg 67 mellan Skultuna och Västerås på senhösten. Vägen går i fältets övre kant och fältet sluttar svagt ner mot Svartån. Matjorden är en måttlig mullhaltig styv lera och alven en mellanlera till styv lera. Den har en tydlig plogsula. Jord togs från fyra platser som låg på en linje med varierande avstånd från vägen vinkelrätt mot denna. Kornstorleksfördelningen i matjorden (Tabell 1) är likartad i jordarna från varierande avstånd. Natriumvärdena är analyserade våren 2002 ett halvår före provtagningen. Koncentrationen av Na visade kraftigt förhöjda halter i jorden närmast vägen (Tabell 2). Längre bort från vägen var halterna runt 3 mg per 100 gram torr jord. Koncentrationen av lättlösligt järn var också något förhöjd närmast vägen. Detta innebär att fosformättnadsgraden var något lägre närmast vägen. Halten växttillgänglig fosfor i marken var mycket låg längre ner på fältet. Även vid D togs jord från en långliggande vall (Dvall) från andra sidan vägen som bedömdes vara opåverkad av vägsalt. Denna jord har en något större inslag av grövre fraktioner än jorden på försöksfältet. Mullhalten var något lägre i jorden som var vallbevuxna jämfört med den närbelägna jorden utan vall.

Tabell 1. Matjordens kornstorleksfördelning och mullhalt (%)

Kod	Behandling	Ler	Finmjåla	Grovmjåla	Finmo	Grovmo	Mellansand	Grovsand	Mullhalt
		<0,002	0,002-0,006	0,006-0,02	0,02-0,06	0,06-0,2	0,2-0,6	0,6-2	%
Also	opackad	43,8	16,2	13,3	12,8	6,7	2,2	0,5	2,0
Bllo	opackad	40,9	12,4	11,3	18,4	4,7	7,3	0,5	2,0
Cplöjd	plöjd årligen	42,4	18,2	21,6	8,2	1,5	0,8	0,3	4,1
Cvall	permanent vall	41,5	19,5	18,8	7,8	2,3	1,4	0,3	5,4
D 2m	salt från väg	29,6	12,4	14,9	21,2	12,9	2,3	2,3	2,0
D 5m	salt från väg	30,2	13,3	15,2	18,9	12,3	2,7	2,6	2,3
D10m	salt från väg	27,9	12,3	16,5	21,7	13,6	2,2	1,3	2,2
D18m	salt från väg	26,0	13,6	17,4	22,6	12,9	2,0	1,1	2,1
Dvall	permanent vall	27,3	11,8	14,5	17,4	15,5	4,6	5,1	1,6

Aggregatstabilitet Efter provtagningen fick proverna torka upp ett par dagar i rumstemperatur och sönderdelades därefter i aggregat. Aggregat av storleken 8-16 mm erhöles genom sållning och dessa förvarades sedan i +8°C. Aggregaten blöttes upp på porösa sandblock som var nedsänkta i vatten där vattenytan låg fem centimeter under blockens övre yta. För varje jordprov delades aggregaten upp i tre delprov där varje delprov innehöll åtta stycken jordaggregat. Även ett fjärde prov togs för bestämning av torrsvikt. Varje delprov som motsvarade omkring 10 g torr jord vägdes in och späddes med 250 ml destillerat vatten i behållare. Dessa placerades på en skakapparat i 5 minuter och fick sedan stå för sedimentation i 24 timmar. Efter denna pipetterades 50 ml försiktigt upp från den övre delen av vattenfasen.

Tabell 2. Matjordens innehålla (mg 100⁻¹ g lufttorr jord⁻¹) av tillgängligt fosfor och förrådsfosfor (P-AL och P-HCl), av lättextraherad järn, aluminium, kalium och natrium (Fe-AL, Al-AL, K-AL och Na-AL) fosformättnadsgraden (DPS) samt aggregatstabilitet (beräknat i de översta 20 millilitrarna efter det att 10 g torrsvikt av 8-16 mm stora aggregat skakats med 250 ml vatten under 5 min och fått sedimentera) dels uttryckt som turbiditet och dels som mängd suspenderad ler i förhållande till invägd mängd

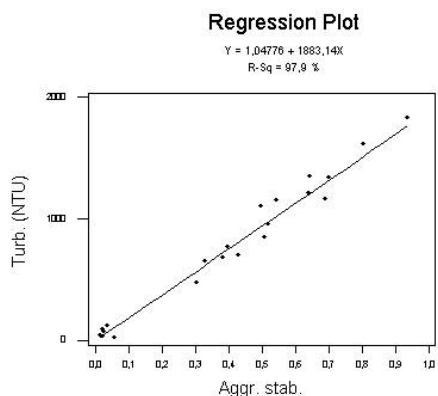
Kod	P-AL	P-HCl	Fe-AL	Al-AL	K-AL	Na-AL	DPS* (%)	Aggregatstabilitet (NTU enh.)	Aggregatstabilitet (%)
Also	6,5	62	17	22	13	-	19	1300	0,62
Alspack	8,0	-	13	17	-	-	30	1230	0,56
Bllo	6,8	80	22	16	16	-	23	1560	0,70
Bllpack	6,5	-	22	24	-	-	16	1500	0,72
Cplöjd	1,5	-	28	27	-	-	3	1190	0,56
Cvall	1,6	-	41	34	-	-	3	1390	0,48
D 2m	4,8	-	50	17	-	36 ^a	10	3150 ^b	3,15 ^c
D 5m	5,5	-	32	14	-	5	16	2840 ^b	2,84
D10m	6,1	-	25	18	-	3	18	2350 ^b	2,34
D18m	1,1	50	-	-	-	3	-	1630 ^b	1,98
Dvall	3,6	-	30	26	-	2	8	1691 ^b	1,69

* DPC är kvoten P/(Fe+Al) i extraktet med ammoniumlaktat då elementen beräknats i millimol

^a Signifikant förhöjd halt av natrium

^b Värdena har räknats om från då 20 g material dispergerats i 150 ml vatten som sedan späts 5 ggr

^c Aggregatstabiliteten var signifikant lägre än (dvs. visade förhöjda värden) för jord på längre avstånd från vägen



Figur 1. Turbiditeten avsatt mot aggregatstabiliteten. Regressionskoefficienten för linjärt samband är 98%

Turbiditeten bestämdes i en HACH 2100 Turbidimeter och halten suspenderat material analyserades baserat på Svensk standard (1998) men med användande av ett membranfilter med fin porstorlek (0,2 µm). Mängden suspenderade ler beräknades i procent av invägd mängd aggregat. Värdena ökade ju instabilare aggregaten var. Sambandet mellan turbiditeten och torrsubstansen för varje jord var starkt och ett linjärt samband var tydligt (Fig 1)

Lysimeterar Små lysimeterar, tre eller fyra på varje provpunkt, togs i cylindrar (inre diameter 2,83 dm² och höjd 1,5 dm). De slogs ner i matjordskiktet med en cylinderprovtagare och grävdes försiktigt upp för att bevara provet så orört som möjligt. Lysimetrarnas övre sida preparerades lätt genom att ta bort störd jord. Från vallproven togs löst gräs och mossa bort. Lysimetrarnas undersida preparerades genom att försiktigt ta bort jord längs naturliga aggregatprickor i nivå med cylindrarnas botten. Den preparerade ytan blåstes försiktigt med tryckluft för att ta bort lösa jordpartiklar. Därefter täcktes den med ett nät med maskstorleken 0,5 mm. En plastbotten med dräneringsrör lades över nätet och limmades fast med smältlim.

Lysimetrarna vattenmättades sakta underifrån under 2-3 dagar med ett syntetiskt regnvatten. När hela lysimeterens jordpelare var under vatten avslutades vattenmättningen och proverna fick dränera fritt under två dygn i rumstemperatur. För att minska avdunstningen täcktes de med plast med små lufthål. Lysimetrarna bevattades 2-4 gånger med syntetiskt regnvatten i en anläggning som gjorde det möjligt att bevattna jordarna med ungefär lika intensitet.

Tabell 3. Intensitet vid appliceringen, dränerad mängd varje omgång efter två-tre dygn som medelvärde mellan tre lysimeterar

Kod	Bevattningsintensitet (mm h ⁻¹)	Dränering			
		1:a (mm)	2:a (mm)	3:e (mm)	4:e (mm)
Also	8,5	12,6	15,5	16,3	14,8
Alspack	8,0	14,2	13,8	14,4	13,5
Bllo	7,8	11,7	13,1	13,8	12,9
Bllpack	8,1	10,5	13,2	14,7	13,6
Cplöjd	8,3	11,5	13,6	16,3	13,9
Cvall	7,4	10,1	11,9	13,8	13,3
D 2m	7,8	20,6	13,8	-	-
D 5m	8,1	20,2	14,8	-	-
D10m	8,2	19,5	15,5	-	-
Dvall	9,3	21,9	16,4	-	-

Tabell 4 Dräneringshastighet (Drän.) med variationskoefficient (CV) under de första 2 timmarna då det var avrinning och andelen av avrinningen som då dränerade i förhållande till den totalt dränerad mängden under första, andra och fjärde bevattningen för jord A-C

Kod	1:a			2:a			4:e		
	Drän (mm tim ⁻¹)	CV (%)	Andel (%)	Drän (mm tim ⁻¹)	CV (%)	Andel (%)	Drän (mm tim ⁻¹)	CV (%)	Andel (%)
Also	3,9	2	69	6,0	7	78	3,2	16	55
Alspack	3,4	16	50	5,0	23	73	3,4	58	63
Bllo	3,5	15	62	3,4	12	72	2,4	8	46
Bllpack	3,8	28	65	3,6	28	74	2,4	60	44
Cplöjd	3,5	4	62	5,4	11	75	2,7	18	48
Cvall	3,4	12	66	4,6	8	78	2,9	17	55

Varje sprutmunstycke kalibrerades för att bestämma exakt intensitet för varje lysimeter. Bevattningen varade i 2-2,5 timmar med en intensitet av omkring 8 mm tim⁻¹ (Tabell 3). Detta motsvarar en bevattning av mellan 13-21 mm. Proverna fick därefter dränera fritt i 2-3 dygn under vilket dräneringsvattnet samlades upp från varje lysimeter. Totalt dränerades omkring 1,5 dm³ vatten från jord A-C (fyra bevattningar) och 0,8 dm³ från jord D (två bevattningar). För de förstnämnda lysimetetrarna motsvarar detta att omkring 50 mm (1,5 l) nederbörd dränerade igenom.

Dräneringsvattnet analyserades med avseende på turbiditet, suspenderad mängd material och på olika fosforfraktioner med fosforanalys enligt Svensk standard SS-EN 1189. Fosforfraktionerna var: partikulär fosfor (PartP) dvs skillnaden i totalfosfor mellan ofiltrerat och filtrerat prov, löst reaktiv fosfor (PO₄P(f)), och den delen av totalfosfor i filtratet som inte utgjordes av PO₄P(f) och som här benämns ÖvrP(f).

Resultat

Aggregatstabilitet Aggregatstabiliteten för de fyra jordarna minskade och blev allt instabilare (högre värden) i ordningen C<A<B<D (Tabell 2). Jord D har mätts efter det att den frusit på hösten vilket kan ha försämrat dess aggregatstabilitet relativt de andra jordarna. Packningen medförde ingen förändrad aggregatstabilitet och det var heller ingen signifikant skillnad mellan vall och närbelägen öppen jord. Aggregatstabiliteten varierade på ett likartat sätt som koncentrationen Na i jord D. Andelen upplöst ler minskade således med avståndet från vägen (Tabell 2) och stabiliteten var signifikant lägre för jord från två meters avstånd från vägen jämfört med jord från resterande avstånd.

Lysimeterar

Dräneringsintensitet Dräneringen kom igång 1-2 timmar efter det att bevattningen startat och större delen av dräneringen inträffade under de närmaste två timmarna därefter (Tabell 4). Infiltrerande vatten hade ungefär samma dräneringshastighet genom alla jordar under den första bevattningen. Vid de senare bevattningarna dränerade jord B långsammare än jord A och C. Det fanns en tydlig tendens efter alla bevattningar att jordarna som packats dränerade mer heterogent (högre variationskoefficient) än de jordar som inte var packade (Tabell 4).

Koncentrationer i dräneringsvattnet Koncentrationerna PartP var höga i vatten som dränerat igenom jord A och D (Tabell 5) och efter andra bevattningen också igenom jord B. Från jord C med lågt P-AL-tal var alla PO₄P(f) halter låga liksom från jord D. Efter fjärde bevattningen minskade koncentrationen PartP i ordningen B>A>C dvs i samma ordning som aggregatstabiliteten var bättre.

Tabell 5. Koncentrationer i dräneringsvatten av partikelbunden fosfor (PartP), fosfatfosfor efter filtrering PO₄P(f) och övrig fosfor efter filtrering ÖvrP(f) och turbiditet (Turb), som medelvärde mellan parallella lysimeterar efter 1:a och 2:a bevattningen

Kod	1:a				2:a			
	PartP (mg l ⁻¹)	PO ₄ P(f) (mg l ⁻¹)	ÖvrP(f) (mg l ⁻¹)	Turb (NTU enh.)	Part (mg l ⁻¹)	PO ₄ P(f) (mg l ⁻¹)	ÖvrP(f) (mg l ⁻¹)	Turb (NTU enh.)
Also	1,25	0,26	0,33	1120	1,36	0,31	0,11	1730
Alspack	1,04	0,68*	0,12	730	1,20	0,78*	0,20	1040
Blllo	0,42	0,73	0,26	350	1,11	0,60	0,05	1370
Bllpack	0,35	0,35	0,08	360	1,34	0,36	0,15	1160
Cplöjd	0,06	0,04	0,00	20	0,04	0,02	0,02	40
Cvall	0,22	0,23	0,00	130	0,23	0,13	0,00	230
D 2m	0,59 [#]	0,02	0,11	230 [#]	0,89 [#]	0,02	0,17	830 [#]
D 5m	0,42	0,02	0,11	140	0,48	0,02	0,11	350
D10m	0,24	0,02	0,17	90	0,40	0,02	0,19	340
Dvall	0,49	0,02	0,18	140	0,52	0,02	0,16	300

* Signifikant högre koncentrationer än i opackat led

[#] Signifikant högre koncentrationer än från längre avstånd från vägen

Koncentrationerna av både PartP och PO₄P(f) var högre i dräneringsvattnet från lysimeterar med vall jämfört med från lysimeterar med plöjd jord (C och D). Koncentrationerna PartP i dräneringsvattnet från jord D sjönk med ökat avstånd från vägen. Andelen PartP i förhållande till totalfosfor (TOTP) var mycket hög från jord D (98 %) som hade dålig aggregatstabilitet. Analyser av dräneringsvatten från en brunn i nedre delen av samma fält har visat följande medelkoncentrationer: TOTP 0,25 mg/l, PartP 0,20 mg/l PO₄P(f) 0,010 mg/l och suspenderat material 144 mg/l. Materialet hade ett fosforinnehåll på 0,14 %.

Turbiditeten i det dränerade vattnet från lysimeterstudien ökade vid andra bevattningen men uppvisade hela tiden samma mönster mellan de olika jordarna så att den var högst från jord A och B. Turbiditeten gav en bra indikation på halter partikelbunden fosfor eftersom regressionskoefficienten för sambandet dem emellan var nära ett (0,92).

Tabell 6. Koncentrationer i dräneringsvatten av Partikelbunden fosfor (PartP), fosfatfosfor efter filtrering PO₄P(f) och övrig fosfor efter filtrering ÖvrP(f) och turbiditet (Turb), efter den 4:e bevattningen av jord A-C

Kod	4:e				
	PartP (mg l ⁻¹)	PO ₄ P(f) (mg l ⁻¹)	ÖvrP(f) (mg l ⁻¹)	Turb (NTU enh.)	Susp ler (%)
Also	1,08	0,35	0,33	810	0,78
Alspack	0,76	0,64*	0,25	560	0,48
Blllo	1,42	0,77	0,43	1010	0,63
Bllpack	1,32	0,77	0,48	970	0,61
Cplöjd	0,05	0,02	0,03	64	0,49
Cvall	0,12	0,08	0,04	100	0,25

* Signifikant högre koncentrationer än i det opackade led

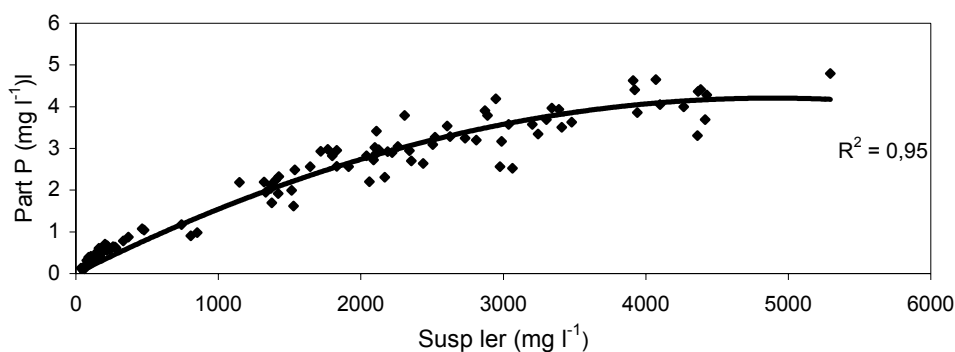
Tabell 7 Med dräneringsvatten transporterade mängder av totalfosfor (TOTP) och fosfatfosfor (PO₄P(f)) som summa efter de två första bevattningarna och efter det fjärde bevattningen samt andel PO₄P(f) (%)

Kod	1:a + 2:a			4:e		
	TOTP (kg ha ⁻¹)	PO ₄ P (f) (kg ha ⁻¹)	$\frac{PO_4P(f)}{TOTP}$	TOTP (kg ha ⁻¹)	PO ₄ P (f) (kg ha ⁻¹)	$\frac{PO_4P(f)}{TOTP}$
Also	0,51	0,08	16	0,28	0,05	19
Alspack	0,56	0,20	36	0,22	0,09	38
Blllo	0,40	0,13	33	0,34	0,10	29
Bllpack	0,33	0,09	26	0,36	0,10	29
Cplöjd	0,02	0,01	36	0,01	0,003	27
Cvall	0,09	0,04	41	0,03	0,010	33
D 2m	0,30	0,005	2	-	-	-
D 5m	0,20	0,005	2	-	-	-
D10m	0,18	0,005	3	-	-	-
Dvall	0,27	0,006	2	-	-	-

Transporterade mängder TOTP förluster var högst från jord A och B (Tabell 7).

Ju mer försämrade aggregatstabiliteten ju större var förlusterna av TotP från jord A och D. Lerjorden med det högst P-AL talet och den högsta fosformättnaden (A-B) hade den största förlusten av fosfat medan jord C hade mycket låg grad av fosformättnad och mycket liten förlust av fosfat. Vid packning av jord A ökade förlusten av fosfat medan förlusten av PartP minskade. Under de tre bevattningstillfällen som analyserades var förlusten av fosfat 2,5, 1,7 resp. 2,2 gånger så stor från den packade jorden jämfört med från den icke-packade jorden vid A. Vid dessa tillfällen var summan av de dränerade vattenmängderna praktiskt taget lika stora, 43 resp. 42 mm, från de båda leden.

Fosforhalten i det suspenderade materialet Fosfor i suspenderat ler utgör en stor del av totalfosfor i både lysimeter- och aggregatstabilitetstestet från jord D. Samtliga koncentrationer av suspenderat ler avsatt mot koncentrationer av partikulär fosfor gav ett starkt samband då värdena anpassades till en polynomfunktion (Figur 1). Fosforhalten i de suspenderade partiklarna var högst i lysimeterförsöket, i medeltal 0,27 %. I aggregatstabilitetsförsöket, med högre koncentrationer suspenderat material var fosforhalten i de suspenderade partiklarna lägre, ca 0,12 %. Ju högre halt upplöst ler ju lägre var fosforhalten. Vallen hade den högsta halten av fosfor i det suspenderade leret både i lysimeterstestet; 0,37%.



Figur 1. Partikulärt bunden fosfor som en polynomfunktion av suspenderat ler från jord D. Vid låga koncentrationer var fosforhalten 0,20-0,30 %, vid än 3000 mg susp. var fosforhalten 0,10% eller lägre.

Diskussion

Aggregatstabilitet Från jord D återfanns den lägsta aggregatstabiliteter i absolut närhet till vägen. Cryz *et al* (2002) fann i försök med aggregatstabilitet en positiv korrelation mellan stabiliteten och mängden organiskt material och en negativ korrelation med koncentrationen av kalium. Kalium är liksom natrium envärd och har därmed en liknande effekt som natrium. Den signifikanta lägre stabiliteten för jord D nära vägen var med stor sannolikhet ett resultat av den förhöjda koncentrationen av natrium som uppmättes i jorden på samma plats. Det fanns ingen skillnad i andelen organiskt material och ler mellan de olika avstånden, vilket därför inte bör ha påverkat resultatet.

Vallgrödan på jord C och D visade sig inte påverka stabiliteten. Den organiska halten i dessa jordar var låg och halten organiskt material kan vara en viktigare faktor än grästäckets för att stabilisera jorden.

Metoden att mäta aggregatstabiliteten har för jord D principiellt visat hur en förstörd struktur påverkar ett enskilt fälts fosforförlust och skulle förmodligen även kunna utvecklas som en enkel metod att ingå i ett framtida index för att bedöma risker för fosforförluster.

Bevattnings och dränering av lysimetrar Den applicerade bevattningen gjordes med en låg energi och jorden blöttes upp successivt. I fält utsätts jorden däremot för en kraftigare påverkan genom upprepade tining och frysning under vintern. Vid ett kraftigt regn kan dessutom jordpartiklarna utsättas för stor energi. Sker flödet genom marken som makroporflöde är det känt att denna sker mycket heterogent.

Under fältförhållanden har man ofta inte fri dränering under matjorden. Speciellt jord A och D har en tendens att bilda plogsula, som blir än tydligare när de utsätts för packning. En sådan skada förändrar sannolikt hydrologin genom marken och vattnet kanaliseras mer än om jordprofilen inte har någon plogsula.

Fosforförluster Den förhöjda transporten av fosfatfosfor från den packade jorden A kan i någon mån förklaras av att den provtagna jorden råkade ha en högre fosformättnadsgrad än den opackade jorden. Fosfatförlusterna var dock proportionellt väldigt mycket större än vad dessa markkemiska skillnader indikerar och effekter av störningar från packningen kan inte uteslutas. I en icke packad jord kan transporten av PartP ske genom stora makroporer. Vid packning är det framför allt flödena i de stora porerna som minskar inte i de små porerna (Horton *et al.*, 1994). Möjligen kan därför vattnet som dränerat genom den packade jorden kanaliseras till små mikroporer som släpper igenom fosfater men inte partiklar. Detta skulle kunna ha skett i jord A men verkar inte ha skett i jord B vilket visar hur komplext effekten av packningen antagligen kan vara.

I lysimeterstudien visade både koncentrationerna av suspenderat ler och koncentrationerna av fosfor samma mönster mellan jord A, B och C. Vidare var mönstret för jord D att den signifikanta ökningen i aggregatstabiliteten, följde koncentrationerna av natrium väl. Resultatet från jord D, där proverna togs sent på hösten, visar troligen den lägsta möjliga påverkan längs vägen, efter det att salt har kunnat lakas ut under säsongen men före nästa vinters saltning.

Lysimetrar med gräsväxt hade en högre halt av både suspenderat material och fosfor än plöjd mark. Troligen har de många rotkanalerna i vallen utgjort utmärkta transportkanaler för det suspenderade leret. Vallen har också haft växtmaterial som kan ha läckt fosfater.

Fosforhalten i det suspenderade materialet Suspenderat material i dräneringsvatten från jord D i en provtagningsbrunn 150 meter från vägen hade en lägre fosforhalt (0,14 %) än i det suspenderade materialet från lysimetrarna (0,27%). Det skulle kunna tyda på att de suspenderade partiklarna från brunnen är av en grövre fraktion. De mindre partiklarna

svarar för en större yta som därmed har större möjlighet att binda fosfor med högre fosforhalt som följd. Vid större störningen av jorden som aggregatstestet innebär löses även grövre ler upp. Koncentrationerna av partikulärt fosfor i dräneringsvattnet kan därför ha ett annat mönster än det man får från en lysimeterstudie.

Sammanfattning

- Skillnaden i dräneringshastigheten genom olika jordar i lysimetrarna var ofta små.
- Vid packning av en lerjord tenderade flödet genom marken att ske mera heterogent än om jorden inte packats.
- Transporten av lösta fosfater ökade från en lerjord som packats men inte från annan packad lerjord.
- En lerjord med god genomsläpplighet i profilen och mycket låg fosformättnadsgrad hade liten fosforförlust både om den var plöjd eller bevuxen med permanent gräs.
- En annan lerjord med dålig aggregatstabilitet hade mycket små förluster av fosfatfosfor och nästan all transport skedde med partiklar.
- En högre halt av suspenderat material från denna jord tagen nära en väg som saltas vintertid visade att aggregatstabiliteten minskade med avståndet till vägen. Den minskade stabiliteten var tydligast inom de första metrarna av väggkanten.
- Den partikulära fosfor visade samma tendens som mängden suspenderat ler från denna jord med försämrad struktur. I lerjordar nära saltade vägar sker antagligen därför en ökad förlust av fosfor.
- Metoden för mätning av aggregatstabilitet är snabb och enkel och bör vara en faktor som ingår då man kartlägger risken för fosforförluster från olika fält.

Referenser

- Blomqvist, G. & Johansson, E.-L. 1999. Airborne spreading and deposition of de-icing salt – a case study. *The science of the total environment* 235 (1999), 161-168.
- 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. *Sustainable land management – environmental protection. Advances in geoecology*. Catena verlag, Germany. pp. 115-124.
- 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 och Kaliumbestimmung. *Kungl. Lantbrukshögsk. Ann.* 26, 199-215.
- Horton, R., Ankeny, M.D., & Allmaras, R.R. 1994. Effect of compaction on soil hydraulic properties. In Soane, B.D, & van Ouwerkerk, C. *Soil compaction and crop production*. Elsevier, Amsterdam, London, New York, Tokio, pp. 141-165
- Norrström, A.-C. & Bergstedt, E. 2001. The impact of road de-icing salts (NaCl) on colloid dispersion and base cation pools in roadside soils. *Water, air and soil pollution* 127, 281-299.
- Svensk Standard, 1998. SS-EN 990325–1, Bestämning av suspenderat material i vatten.
- Tisdall, J.M. 1996. Formation of soil aggregates and accumulation of soil organic matter, i Carter, M.R. & Stewart, B.A. (red) *Structure and organic matter in agriculture soils*. CRS press. USA.