

Riskbedömning och kvantifiering av erosion och partikelbunden fosfor från lerjordsområden – slutrapport

Projektnummer: H0970006

Faruk Djodjic och Ana Villa Solis

Bakgrund

Transport av fosfor (P) från omgivande landskap till vattenrecipienter sker i form av löst, reaktiv P samt i bunden form, där P transporteras bundet till markpartiklar. Nivån på förluster av partikulärt, icke-reaktiv (bunden) P kopplas oftast till erosionsförluster och är under svenska förhållanden mycket svår att kvantifiera med existerande empiriska metoder. Mätningar i fält- och avrinningsområdesskala visar på betydande förluster av suspenderat material och partikulär P just i områden som domineras av lerjordar. I genomsnitt uppskattades den lösta formen utgöra 30 % av total P i ytvavrinningsvatten, 50 % i dräneringsvatten och 56 % i bäckarna i små jordbruksdominerade avrinningsområden (Ulén och Jakobsson, 2005). Persson (2001) studerade P-halter och transport i tillflöden till Mälaren och visade att 64 % av total P var i partikulär form. I samma studie konstaterar man att ca 45 % av partikulär P i avrinningen från jordbruks- och skogsmark var biotillgänglig. Även finska studier (Uusitalo m.fl., 2000) visar att utbytbar partikulär P kan vara lika viktig källa för biotillgänglig P som löst P, framförallt i lerjordsområden där förluster främst sker i form av partikulär P.

Dessutom sker en anrikning av P i det eroderade materialet och studier som studerar hur markens P-status påverkar mängd P bunden till markpartiklar saknas. Därmed är det vetenskapliga underlaget för prediktion, kvantifiering och modellering av partikulär P mycket svagt. Det finns få för prediktion av förluster av partikulärt P och de är inte testade i Sverige på ett mer systematiskt sätt. Nivån på förluster av partikulär, icke-reaktiv (bunden) P kopplas oftast till erosionsförluster och är under svenska förhållanden mycket svår att kvantifiera med existerande empiriska metoder. Markens erosionkänslighet (K) beror främst på textursammansättning och halt av organiskt material (Römkins m.fl., 1996). Lerjordarnas erosionskänslighet bedöms vara låg vilket i de flesta fall leder till felaktiga underskattningar om potentialen för P-förluster. Withers m.fl. (2007) presenterade resultat från ett EU projekt (DESPRAL (An environmental soil test to determine the potential for sediment and phosphorus transfer in runoff from agricultural land) där lovande resultat erhöles med en enkel laborietest för 24 europeiska studiejordar. I projektet jämfördes resultat från laborietestet med resultat från små ytvavrinningsrännor och omfattade både suspenderat material och olika P-former.

I detta forskningsprojekt belyser vi dessa frågor och skapar förutsättningar för mer exakta bedömningar av lerjordarnas erosionsbenägenhet och deras känslighet för P-förluster i allmänhet och förluster av partikulär P i synnerhet. Vi försöker också koppla laborieresultat med fält och avrinningsområdesskala där det finns både väl beskrivna markegenskaper och långa mätserier av vattenkvalitet, för att möjliggöra uppskalningen av erhållna resultat.

Detta forskningsprojekt bedrivs som ett doktorandprojekt och pågår i ytterligare ett år, som kommer att finansieras av Institutionen för Vatten och Miljö. Slutdatum för hela projektet blir juni eller september 2014, då doktoranden Ana Villa Solis kommer att publicera och offentlig försvara sin avhandling.

Material och metoder

I alla nedanstående studier användes DESPRAL test som en indikator över jordarnas benägenhet att eroderas och transportera till jordpartiklarna bunden P. DESPRAL testet har utförts enligt den metod som föreslagits av Withers et al. (2007). I korthet, 200 ml avjoniserat vatten sattes till 20 g lufttorkad jord och lösningen fick stå under en timme. Volymen justerades därefter till 1 L och lösningen skakades försiktigt under 1 minut (10 varv/min). Suspensionen fick därefter sedimentera under 4 min och 40 sek och ett delprov togs från 10 cm under vattenytan. Turbiditet, SS, TP och upplöst reaktiv P (DRP) bestämdes på dessa prover. Användningen av turbiditet som ett mått på SS är en variant av metoden beskriven av Withers et al. (2007).

Alla jordprover i detta projekt var tagna enligt samma metodik. Varje prov representerar ett samlingsprov av 10 delprover tagna inom 1 m², i matjorden (0-20 cm).

Följande delmoment ingick i projektet:

1. Delprojekt 1: Testning och vidareutveckling av DESPRAL markanalysmetod för att bedöma markens erosionsbenägenhet för ett urval av svenska lerjordar.

I detta delprojekt testades och vidareutvecklades enkla markanalysmetoder för att bedöma svenska lerjordarnas erosionsbenägenhet. Sammanlagt 47 jordprover har samlats från ett bördighetsförsök, tre observationsfält och fyra typområden på jordbruksmark. Analyser av jordarnas erosionbenägenhet, samt analyser av P-halter i det eroderade materialet har utförts utifrån följande frågeställningar:

1. Jämförelse av erosionsbenägenhet enligt två i forskningen framväxande metoder, DESPRAL (Withers *m.fl.*, 2007) och SST (Udeigwe *m.fl.*, 2007). Dessa två enkla laboriemetoder testar markens dispersion och aggregatstabilitet men skiljer sig med avseende på skak- och sedimenteringstider samt mark/vätska förhållandet. Vi testade metodernas upprepbarhet och hur de förhåller sig till varandra. Sammanlagt 10 lerjordar testades (Tabell 1).
2. Jämförelse av upprepbarhet av DESPRAL testet för att studera om/hur markprovernas lagringstid påverkar resultat. Enligt forskaren som utvecklat DESPRAL metod (Paul Withers) är markprovernas lagringstid en viktig fråga i detta sammanhang. Vi studerade detta med 13 olika jordar.

2. Delprojekt 2: Utvärdering av faktorer som påverkar mobilisering av suspenderat material och P

1. Jämförelse av erosionbenägenhet som en funktion av jordarnas textur. Jordprover med varierande textur från två mindre avrinningsområden (O18 och N34) analyserades med DESPRAL metodiken.
2. Sammanlagt 16 prover från ett av fälten (Kungsängen) som ingår i långliggande bördighetsförsök har samlats och analyserats enligt DESPRAL metoden för att studera hur eventuella skillnader i kolhalter och P-halter påverkar erosionsbenägenhet respektive halter av bunden P på dem suspenderade partiklarna

3. Delprojekt 3: Tillämpning av nyvunnen kunskap genom jämförelsen med långtids mätserier i fältskala

Jämförelse av enkla laboratoriska studier med långa mätserier från fält som ingår i miljöövervakningsprogrammet "Observationsfält på åkermark". Sammanlagt 44 jordprover från 5 fält (11M, 20E, 4O, 1D och 7E) har blivit provtagna och analyserade enligt DESPRAL metoden och dessa resultat relaterades till befintliga långtidsmätserier på suspenderat material och bunden P.

4. Delprojekt 4: Tillämpning av nyvunnen kunskap genom jämförelsen med långtids mätserier i avrinningsområdesskala

Sammanlagt 89 jordprover togs i två mindre avrinningsområden (E21 och E23) i Östergötland. Båda områden domineras av jordbruk och ingår i miljöövervakningsprogram "Typområden på jordbruksmark". Områdena är utvalda då de skiljer sig både med avseende på den dominerande jordarten (E23 domineras av lerjordar medan E21 domineras av lättare jordar) och storleken av P-förlusterna (Total P förluster ca 4 gånger högre från området E23).

Resultat

Delprojekt 1: Testning och vidareutveckling av DESPRAL markanalysmetod för att bedöma markens erosionsbenägenhet för ett urval av svenska lerjordar.

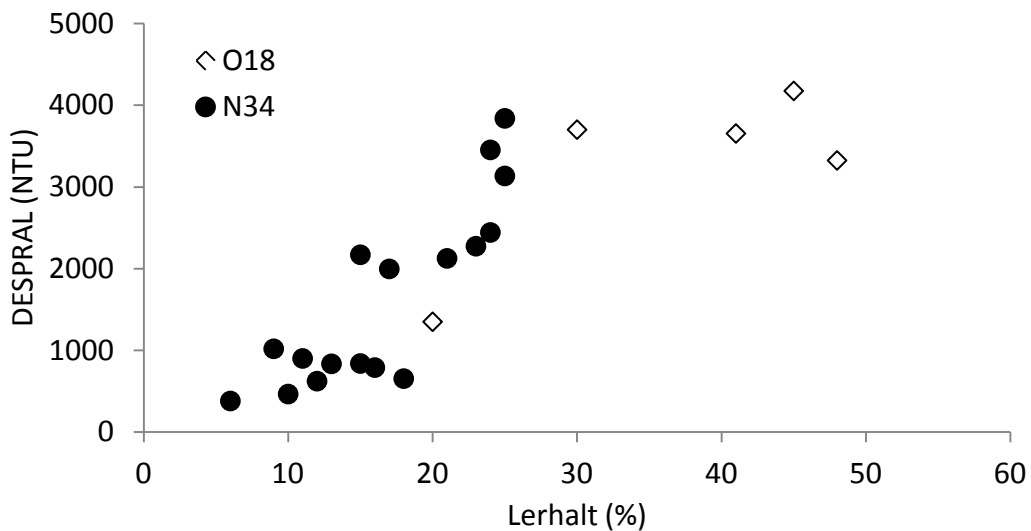
Jämförelsen mellan de två använda testerna (DESPRAL och SST) visade att DESPRAL mobiliserade högre halter av suspenderat material (1093-2800 mg/l) jämfört med SST (76-553 mg/l). Halter av suspenderat material var starkt linjärt korrelerade med turbiditet för både DESPRAL ($R^2=84.6$) och SST test ($R^2=64.2\%$). Också, ett statistiskt signifikant positivt linjärt samband mellan dessa två tester (Pearsons korrelations koefficient $r=0.78$, $p<0.05$). DESPRAL test var dock mer robust med högre upprepbarhet (0.995) än SST test (0.824).

Jämförelsen av DESPRAL resultat med empiriskt framräknade erodibilitetsvärdena (K värde) enligt Universal Soil Loss Equation (USLE) visade att DESPRAL kunde skilja år jordproverna där lerhalt överskred 30 %, medan alla dessa jordar tilldelades enligt USLE nomograf ganska likvärdiga K-värden.

Slutligen visade DESPRAL analyser att lagringstiden av jordprover hade en betydande påverkan på erhållna resultat. Jordarnas erosionsbenägenhet minskade generellt med tiden, speciellt för de proverna som uppvisat hög erosionsbenägenhet genom höga turbiditetsvärdena. Den största minskningen i erosionsbenägenhet skedde dock under första och andra analystillfället, det vill säga mellan analyser av färskare prover och efter 8 veckors lagringstid.

Delprojekt 2: Utvärdering av faktorer som påverkar mobilisering av suspenderat material och P

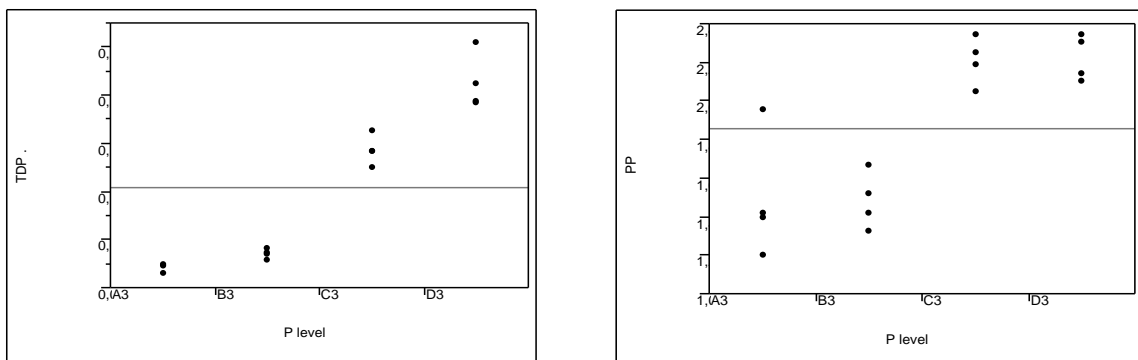
Avrinningsområde N34 domineras av lättare jordar medan avrinningsområdet O18 består huvudsakligen av lerjordar. Resultat av DESPRAL analyser visar på en ökande erosionsbenägenhet med ökande lerhalt (Figur 1.)



Figur 1. Turbiditetsvärdena (NTU) som en funktion av lerhalt i jordprover från två typområden.

Analys av resultat baserad på jordproverna från delprojekt 1 stödjer dessa resultat, där lerhalt var starkt positivt korrelerat till resultat från DESPRAL test ($r=0.75$, $p<0.05$). Å andra sida, resultat med jordproverna tagna från observationsfält i delprojekt 3 visar att lerhalt visserligen var korrelerad till DESPRAL test men denna gång negativt, det vill säga att högre lerhalter innebar lägre erosionsbenägenhet.

Effekten av stigande P-halter i jordproverna från Kungsängens rutförsök på halter av löst och bundet P visas i figur 2. Resultaten visar inga signifikanta skillnader mellan olika växtföljder och P-led med avseende på markens erosionsbenägenhet men skillnader i P-halter är däremot signifikanta, både vad avser löst P och P bundet till markpartiklarna.



Figur 2. Effekt av stigande P-halter i marken på halter av löst (TDP) och bundet P. Olika led (A, B, C, D) har stigande halter av växttillgänglig P som en följd av stigande P-givor.

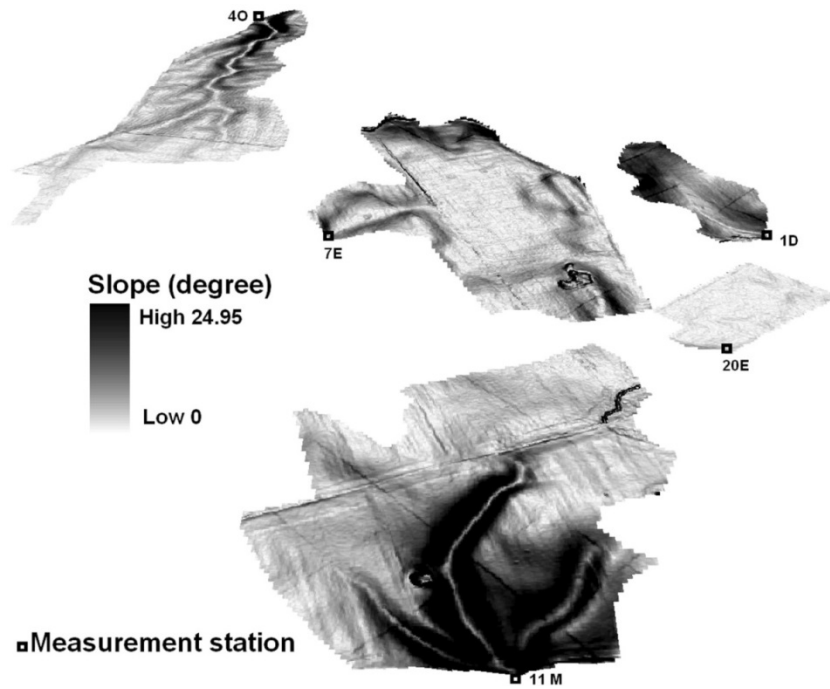
Delprojekt 3: Tillämpning av nyvunnen kunskap genom jämförelsen med långtids mätserier i fältskala

Risken för sediment och P-mobilisering uppskattad utifrån DESPRAL analyser från fem olika observationsfält visade på hög variabilitet mellan fälten. Resultaten av DESPRAL test för de 44 individuella prover visade mer än en 12-faldig variation (330-3972 NTU). Koncentrationen av SS varierade ungefär femfaldig (90-1720 mg/l), medan de genomsnittliga värdena för P-fraktionerna varierade ungefär trefaldigt. Mer detaljerade resultat för varje fält presenteras i tabell 1.

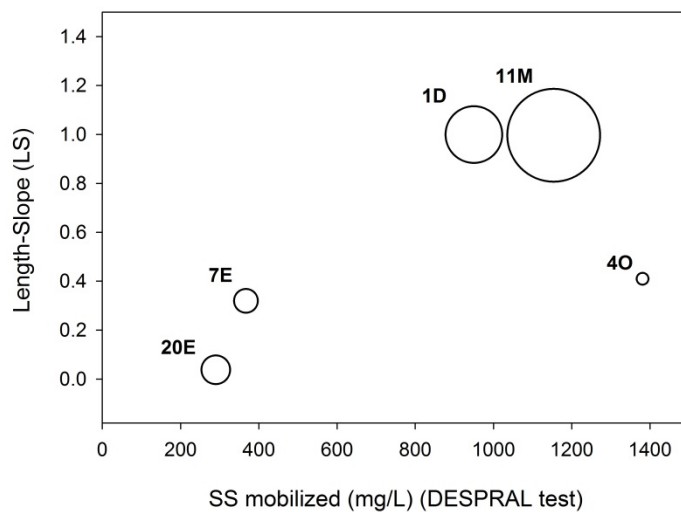
Tabell 1. Resultat av DESPRAL dispergeringstest för turbiditet, suspenderat material (SS), total fosfor (TP), löst P (DP), icke-reaktiv P (UP), och P-anrikningsgrad (PER). Standardfel i parentes.

Fält	<i>n</i>	Turbiditet (NTU)	SS (mg/L)	TP (mg/L)	DP (mg/L)	UP (mg/L)	PER
11M	10	1813 (267)	1154 (100)	0.72 (0.07)	0.03 (0.01)	0.69 (0.07)	1.1 (0.1)
1D	11	1833 (104)	950 (100)	1.22 (0.13)	0.08 (0.01)	1.15 (0.12)	1.6 (0.2)
20E	5	781 (77)	290 (100)	0.47 (0.02)	0.06 (0.01)	0.41 (0.02)	2.9 (0.9)
4O	9	2310 (69)	1381 (100)	0.68 (0.04)	0.04 (0.00)	0.65 (0.04)	1.0 (0.1)
7E	9	806 (155)	367 (100)	0.44 (0.06)	0.04 (0.01)	0.40 (0.05)	2.8 (0.5)

Trots den höga variabiliteten av turbiditetsvärdena inom varje fält, var skillnaderna i medelvärden mellan olika fält statistiskt signifikanta ($P < 0,0001$), vilket visar att DESPRAL test är tillräcklig robust för att tillämpas i fältskalan. Variabiliteten i turbiditetsvärdena hade sitt ursprung främst från de olika proverna inom fälten (86%) snarare än i skillnaderna mellan de 3 upprepningar för varje prov (14%). Baserad på DESPRAL resultat kan dessa fält delas i två grupper, fält med höga turbiditetsvärdena med mer erosionsbenägna jordar (11M, 1D samt 4O), och fält med signifikant lägre värden (20E och 7E). De observerade halter och transporter av suspenderat material och olika P-fraktioner kunde dock inte förklaras enbart av DESPRAL, trots de uppvisade klara skillnader i erosionsbenägenhet mellan olika fält. Först efter att hänsyn tagits även till transportfaktorerna, det vill säga flödesvägarnas hydrologiska konektivitet inom varje fält (Figur 3), kunde resultat från DESPRAL test sättas i ett sammanhang där en kombinerat bedömning utifrån mobiliseringsrisken (DESPRAL) och transportpotentialen (hydrologi) kunde användas för att beskriva de uppmätta långtidsmedelvärdena på ett tillfredställande sätt (Figur 4). Den högupplösta höjdmodellen baserad på LIDAR (Light Detection and Ranging) data användes för att på ett trovärdigt sätt kunna beräkna flödesvägarnas hydrologiska konektivitet inom varje fält.



Figur 3. Topografi över 5 fält som var inkluderade i studien, baserat på högupplöst LiDAR (Light Detection and Ranging) höjddata (2-m grid). Högre lutning representeras med mörkare nyanser.



Figur 4. Långtidsmedelvärden av halter av suspenderat material uppmätta i utloppet av fem fält illustreras med storleken på cirklarna. Samband med jordarnas erosionsbenägenhet illustreras med halt av suspenderat material (SS) mobiliserat med DESPRAL testet (x-axeln). Sambandet med flödesvägarnas hydrologiska konektivitet illustreras med LS faktorn (y-axeln) som framräknades baserat på högupplöst LIDAR höjddata.

Delprojekt 4: Tillämpning av nyvunnen kunskap genom jämförelsen med långtids mätserier i avrinningsområdesskala

I det sista delprojektet testades om DESPRAL analyser kan illustrera skillnader i jordarnas erosionsbenägenhet i avrinningsområdesskala. I tabell 2 sammanfattas resultat för alla utförda analyser.

Tabell 1. Resultat av DESPRAL dispergeringstest för turbiditet, suspenderat material (SS), total fosfor (TP), icke-reaktiv P (UP), och löst P (DP).

Catchment	Antal fält	Turbiditet	SS	TP	UP	DP
		NTU	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹
E21	57	699 ± 493	751.2 ± 369.4	1.11 ± 0.47	1.04 ± 0.43	0.07 ± 0.07
<i>Median</i>		589	650	0.96	0.91	0.05
Min-Max		177-2942	180-2070	0.01-3.04	0.33-2.63	0.01-0.41
E23	32	1033 ± 518	1010.3 ± 323.0	0.93 ± 0.21	0.88 ± 0.20	0.04 ± 0.03
<i>Median</i>		882	985	0.90	0.85	0.04
Min-Max		410-2488	460-1810	0.6-1.37	0.58-1.24	0.02-0.13

Skillnader i turbiditetsvärdena från DESPRAL testet visar på signifikanta skillnader mellan dessa två avrinningsområden, med högre mobiliseringsrisk i området E23, som också uppvisar betydligt högre förluster av suspenderat material och P. Alla resultat från detta delprojekt är inte än utvärderade och sammanställda, då det ingår i det fjärde året av projektet som ska finansieras av Institutionen för vatten och miljö, SLU.

Diskussion

Jordarnas sårbarhet mot erosion är en viktig faktor vid bedömningen av risken för både transport av suspenderat material och till det bundet P. Två huvudfrågorna i detta projekt var dels om en enkel och robust test kan påvisa skillnader i erosionsbenägenhet för ett brett spektrum av svenska jordar, med fokus på lerjordarna, dels om resultat av jordprovsanalyser kan skalas upp till fält- och avrinningsområdesnivå. Medan den förstnämnda frågan är mer intressant ur en svensk ståndpunkt, den andra bör vara av intresse i en bredare internationell perspektiv. För att kunna svara på ovannämnda frågorna har vi kombinerat markundersökningarna och påföljande laboratoriska analyser med data som samlats genom långvariga miljöövervakningsprogram.

Innan vi kunde angripa dessa frågor var vi tvungna att testa tillförlitlighet, upprepbarhet och robusthet i de två dispersionstester (DESPRAL och SST) som mest används internationellt (Delprojekt 1). Resultat visade att DESPRAL test var mer robust, enklare och hade en högre upprepbarhet jämfört med SST test. Detta var anledning till att i de påföljande studierna fokusera just på DESPRAL.

Ett annat viktigt resultat av denna studie var att lagringstiden för jordproverna påverkade resultat, där en längre lagring innebar ökad strukturstabilitet av markaggregat och resulterade därmed i lägre erosionsrisk. Denna oönskade effekt innebär i förläggningen att alla analyser bör göras på färska prover, kort tid efter provtagningen, för att undvika missvisande resultat. Detta medförde också att analyser av gamla prover från riksomfattande provtagningar (till exempel ”Mark och gröda programmet”, Eriksson, 1997) för att få till en rikstäckande

riskbedömning inte kan genomföras utan att introducera stora osäkerheter på grund av olika lagringstider.

En tredje viktig resultat från delprojekt 1 var att bägge dispersionstester som användes kunde differentiera och rangordna jordarnas erosionsbenägenhet även i de lerhaltintervaller (<30% ler) där empiriska beräkningar baserade på USLE-metodik visade mer eller mindre konstanta värden, vilket bekräftade de tidigare observerade begränsningar i användandet av sådana värden i modellerings syften.

Resultat av DESPRAL analyserna kunde relateras till en rad viktiga markegenskaper, med textursammansättningen som viktigaste faktorn. Tyvärr är inte dessa samband entydiga. Till exempel är DESPRAL-värden positivt korrelerade med lerhalten i delprojekten 1 och 2, men visar negativt samband för jordproverna inkluderade i delprojekt 3. Denna motstridighet har också uppmärksamts i andra dispersionsstudier (Withers med fl., 2001, Udeigwe med fl., 2007, Borda med fl., 2007), och kan bero på ett antal faktorer inklusive varierande dataunderlag, där inkluderade jordprover hade vid skilda textursammansättning, halter av organiskt material och andra viktiga markegenskaper. Fler provanalyser och ett bredare dataunderlag krävs därför för att kunna dra mer långtgående slutsatser avseende möjligheterna att relatera redan kända markegenskaper (textur, pH, halt av organiskt material mm) till jordarnas erosionsbenägenhet. Å andra sidan är DESPRAL test robust och enkel, och därmed en annan viktig slutsats kan vara att det är mycket säkrare att utföra denna enkla test än att försöka bedöma jordens erosionsbenägenhet via andra kända markegenskaper. I detta avseende bör också sägas att man kan nyttja samma underlag för bedömningen av risken av förluster av bundet men också något överraskande löst P (resultat från delprojekt 3).

Uppskalningen av de erhållna resultaten från laboratoriska analyserna till fält- och avrinningsområdesskala var den andra utmaningen i detta projekt. Jordproverna representerar en yta på 1m² och med tanke på hög variabilitet i markegenskaperna inom ett och samma fält, ställs en berättigad fråga om hur representativa är proverna för ett helt fält. Resultat från delstudie 3 visar på en betydande variabilitet i DESPRAL resultat inom ett och samma fält, men att skillnaderna mellan olika fält ändå var så pass tydliga att signifikanta skillnader konstaterades mellan olika fält, med tre högrisk och två lågrisk fält, trots att alla fält hade hög lerhalt (26-60%). Även resultat från delprojekt 4 stödjer detta, med signifikanta skillnader mellan de två avrinningsområden som inkluderats i studien.

Å andra sidan, ett direkt samband mellan resultat från DESPRAL och de uppmätta långtidsmedelvärdena kunde inte hittas. Mobiliseringen av jordpartiklarna och till dem bundna ämnen som t ex P är bara det första steget i ett transferkontinuum, där det mobiliserade materialet antingen når mätpunkten (utloppet av ett fält eller avrinningsområdet) eller fastnar någonstans på vägen. Därför måste den nyvunna kunskapen om mobiliseringsrisken kombineras med en bedömning av hur effektiva är flödesvägarna som flyttar det mobiliserade materialet. Topografin har en förstaorder kontroll över hydrologin och en detaljerad beskrivning av topografin kan hjälpa oss att förstå vattnets vägar i landskapet. Vi har i denna studie nyttjat den högupplösta LIDAR höjddata för att bedöma lutningen, flödesackumulering och vattenvägarnas konektivitet i de studerade fälten. Denna information

kombinerad med DESPRAL resultat kunde beskriva de stora skillnaderna i de observerade halterna av suspenderat material och P. Höga förluster av suspenderat material och P förekom enbart på de två fält (1D och 11M) där vi visade på både en hög mobiliseringsrisk (DESPRAL) och en hög transportpotential. I ett tredje fält (4O) begränsades förlusterna av låg transportpotential trots en hög mobiliseringsrisk. De två återstående fälten hade både en låg mobiliseringsrisk och en låg transportpotential, vilket resulterade i låga förluster. I ett bredare perspektiv kan denna metodik tillämpas på stora delar av svensk åkermark. Högupplöst höjddata finns redan för stora delar av Sverige och kan användas som screening metodik för att identifiera fält eller delar av fält med hög transportpotential. Erosionsbenägenhet av jordarna i de utpekade fälten kan därefter analyseras med en enkel och robust metod (DESPRAL) för att komplettera riskbedömningen.

Publikationer

Ana Villa, Faruk Djodjic, Lars Bergström & Mats Wallin. 2012. Assessing soil erodibility and mobilization of phosphorus from Swedish clay soils – Comparison of two simple soil dispersion methods, Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science 62(2):260-269.

Estimation of soil and unreactive phosphorus losses from agricultural fields using a simple soil test. Abstract and Poster at 7th international phosphorus workshop, Uppsala, Sweden, 9-13 September 2013.

Ana Villa, Faruk Djodjic & Lars Bergström. Soil dispersion tests combined with topographic information can describe field-scale sediment and phosphorus losses. Manuskript inskickad till Soil Use and Management i september 2013.

Ana Villa, Faruk Djodjic & Lars Bergström. Soil dispersion tests combined with topographic information can describe sediment and phosphorus losses at catchment scale. Manuskript

Ana Vila. Avhandling. Juni eller september 2014.

Slutsatser

- Kvantifieringen av jordarnas erosionsbenägenhet är en viktig del av riskbedömningen, eftersom jordarna sårbarhet mot erosion uppvisar stora variationer
- DESPRAL är en robust och enkel metod att rangordna jordar och fält med avseende på deras sårbarhet mot erosion
- Kompletterande analyser av lösta och bundna P former i samma DESPRAL test kan också illustrera sårbarhet mot förluster av olika P former
- Kombination av resultat från DESPRAL med bedömningen av fältens hydrologiska konektivitet kan effektivt rangordna fältens sårbarhet mot P förluster via ytavrinningen

Resultatförmedling till näringen

November 2012 – Poster presentation i samband med Greppa Näringens/Jordbruksverkets fosforrådgivarkurs: "Risk assessment and quantification of erosion and particulate P losses from areas dominated by clay soils". Uppsala.

De viktigaste resultat ingick i följande muntliga presentationer:

Jordbruksverkets konferens, Arlanda, 10 november 2011. Jordbruksverket. "Forskarens syn på fosforåtgärder". Faruk Djodjic

Jordbruksverket/Greppa näringen rådgivarkurs "Fosfor i fokus", 20 november 2012. "Identifiering av riskområden och lämpligaste åtgärder. Faruk Djodjic

HaV forum 2013. Göteborg. Skyddszoner i jordbrukslandskapet – anpassad placering eller generellt krav? Faruk Djodjic

Referenser:

- Borda, T., Withers, P. J. A., Sacco, D., Zavattaro, L. & Barberis, E. 2010. Predicting mobilization of suspended sediments and phosphorus from soil properties: a case study from the north west Po valley, Piemonte, Italy. *Soil Use and Management*, 26, 310-319.
- Eriksson, J., Andersson, A. och Andersson, R. 1997. Tillståndet i svensk åkermark. Rapport / Naturvårdsverket 4778, ISSN 0282-7298. ISBN 91-620-4778-7. Stockholm. Naturvårdsverket.
- Persson, G. 2001. Phosphorus in tributaries to lake Mälaren, Sweden: Analytical fractions, anthropogenic contribution and bioavailability. *Ambio* 30:486-495.
- Römkens, M.J.M., Young, R.A., Poesen, J.W.A., McCool, D.K., El-Swaify, S.A., och Bradford, J.M. 1996. Soil Erodibility factor (K). In Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., och Yoder, D.C. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). USDA Handbook 703:65-99.
- Udeigwe, T. K., Wang, J. J. & Zhang, H. (2007). Predicting runoff of suspended solids and particulate phosphorus for selected Louisiana soils using simple soil tests. *Journal of Environmental Quality*, 36, 1310-1317.
- Ulén, B. och Jakobsson, C. 2005. Critical evaluation of measures to mitigate phosphorus losses from agricultural land to surface waters in Sweden. *Science of the Total Environment* 344:37-50.
- Uusitalo, R., Yli-Halla, M. och Turtola, E. 2000. Suspended soil as a source of potentially bioavailable phosphorus in surface runoff waters from clay soils. *Water research* 34: 2477-2482.
- Withers, P. J. A., Hodgkinson, R. A., Barberis, E., Presta, M., Hartikainen, H., Quinton, J., Miller, N., Sisak, I., Strauss, P., Mentler, A. 2007. An environmental soil test to estimate the intrinsic risk of sediment and phosphorus mobilization from European soils. *Soil use and management* 23:57-70.