

Optimal placering av motåtgärder på gårdsskala – möjligheter och begränsningar

Projektnummer: H1333066

Faruk Djodjic, SLU, Helena Elmquist, Odling i Balans

Slutsatser

1. Lantbrukarna besitter en god kunskap om orsaker och rumslig förekomst av oönskad påverkan på vattenkvalitet från deras gårdar. Denna kunskap och erfarenhet kan stärkas och byggas ut genom utbildningsinsatser och forskningsresultat som exemplifierar orsak-verkan samband utifrån lokala förutsättningar. Greppa Näringen kan ha en viktig roll här!
2. Lantbrukarnas självdesignade åtgärdsprogram bör utvecklas, som utifrån lokala förutsättningar kan plocka upp åtgärder till liten kostnad och stor nytta, både för miljö och för företaget. Näringen bör arbeta tillsammans med myndigheterna för att hitta lämpliga ersättningar för dessa åtgärder, genom att hitta nya eller anpassa befintliga styrmedel.
3. Riskkartorna för ytavrinning och erosion kan numera tas fram för i princip varje gård i hela landet. Dessa visade sig i detta projekt kan stärka lantbrukarnas självförtroende och lyfta fram lantbrukarnas egen kunskap, erfarenhet, kreativitet och uppfinningsrikedom att lösa observerade problem.
4. I dag finns vetenskapligt beprövade metoder som kan till relativt låg kostnad ge information om viktiga förutsättningar för både produktion och vattenkvalitet, som t ex information om jordarnas bindningsförmåga (analys av Fe och Al i AL-extraktet), jordarnas erosionsbenägenhet och mobilisering av partikulär P (DESPRAL), P-frigörelse (vattenlöslig-P eller löst P i DESPRAL-extraktet) etc. Tillgång till sådan information erbjuder bättre beslutunderlag och argumentation för optimering av åtgärdsarbetet.

Bakgrund

Övergödningen (eutrofiering) är det allvarligaste hotet mot livsmiljön i svenska havsområden. Dessa övergödningprocesser pågår även i inlandet där i första hand ett stort antal mindre sjöar är drabbade. Jordbruksmark är i dagsläget den enskild största källa av fosfor (P) till våra hav, sjöar och vattendrag (Brandt et al. 2008). Transport av P från terrestra till akvatiska miljöer beskrivs ofta med en struktur som består av fyra steg (källa, mobilisering, leverans och påverkan) och benämns som ”P transfer continuum” (Haygarth et al. 2005). Även åtgärderna för att minska diffusa P-förluster från åkermark kan utifrån detta koncept delas i sådana som reducerar frigörelsen av fosfor från marken och från tillsatta gödselmedel, och sådana som minskar eller förhindrar själva transporten av fosfor på markytan eller i marken (Djodjic and Bergström 2005);(Bergström et al. 2007). Kostnadseffektivitet av åtgärderna som syftar till att minska transporten av P till vattenrecipienterna (t ex skydds zoner, anpassade skydds zoner, konstruerade våtmark, fosfordammar mm) är främst beroende av deras placering i landskapet. I de fall åtgärderna är placerade i högriskområden där inkommande halter och mängder av näringsämnen är höga, blir också åtgärdernas kostnadseffektivitet hög. Placeras de i lågriskområden med låga inkommande halter/mängder, blir de dyra och ineffektiva. Därmed är identifieringen av högriskområden en förutsättning för

optimal placering av motåtgärderna. Den andra lika viktiga faktorn är att lantbrukarna identifierar och tillämpar åtgärder där de gör mest nytta. Vår hypotes är att det bästa sättet att både identifiera lämpligaste lokaliteter och åtgärder, och faktiskt tillämpa dem, är en deltagande process där nya forskningsrön och modellresultat kombineras med lantbrukarnas kompetens och detaljerad lokalkännedom. En sådan process måste vara baserad på lokala och konkreta problem och täcka gårds-, fälts- och inomfältsskala.

Material och metoder

1. I det första steget utnyttjades lantbrukarnas kompetens, lokalkännedom och erfarenhet där de fick inventera problemområden på sina gårdar. Exempel på problemområden som lantbrukarna observerat/erfarit är problem som erosion, ytavrinning och stående vatten. Alla observationer har ritats på högupplösta papperskartor över den egna gården och använts för att verifiera modellresultat i steg 2 (se nedan). Studieområden som vi fokuserade på är 16 pilotgårdarna som ingår i projektet Odling i Balans (OiB). Dessa gårdar är belägna i utpräglade växtodlingsområden från Skåne till Dalarna och täcker därmed ett brett spektrum av klimatologiska, pedologiska, hydrologiska och produktionsförhållanden.
2. I ett parallellt steg nyttjades högupplösta LIDAR höjddata tillsammans med den nyframtagna jordartskartan för att med hög precision modellera fram riskområden för erosion, ytavrinning och P-förluster. Liknande modellering med en vidareutvecklad USPED (Unit Stream Power Erosion Deposition) har gjorts för total avrinningsområden i Sverige och modellresultat överensstämde både med observerade riskområden och uppmätta transporter av suspenderat material (Djordjic and Spännar 2012); (Djordjic 2013)). Tillvägagångssätt vid modelleringen är identisk med metodiken som framgångsrikt användes för att identifiera riskområden för ytavrinning, erosion och P-förluster i fyra svenska delavrinningsområden, där modellen identifierade 72-96 % av alla i fält observerade problemområden (Djordjic och Villa, 2015). I korthet beräknar USPED rumslig distribution av erosion och deposition vid "steady state" förhållanden av vattenflödet (dvs ytavrinningen), som kan approximeras som en funktion av uppströms bidragande area (Mitasova et al. 2001). Nettoerosion och deposition är beräknade som divergens av sedimentflöde i flödets riktning med hänsyn tagen till topografisk komplexitet både i flödets/lutningens riktning (längsprofil, profile curvature) och vinkelrätt mot flödets/lutningens riktning (tvärprofil, tangential curvature) (Warren et al. 2005). I övrigt används i USPED samma faktorer som i USLE/RUSLE som beskriver nederbördens och avrinningens effekt på erosion (R faktor), jordartens erosionskänslighet (K värde) samt effekten av vegetationstäcket (C värde). För att illustrera de viktigaste ytavrinnings- och erosionsvägarna i landskapet, separerades 2 % av alla 2x2m-celler med högsta modellerade erosionsvärden för varje delavrinningsområde.
3. Utifrån de modellerade transportvägarna samlades representativa jordprover från de utpekade riskområdena för att kvantifiera jordarnas mobiliseringspotential med avseende på erosion och P-förluster. Urval av provtagningsplatser grundades även på jordartskartan med syftet att täcka de vanligast förekommande jordarter på varje gård. Som grund till detta urval användes den nyligen framtagna jordartskarta över svensk åkermark. Provtagningen ägde rum under vår och sommar 2014. Sammanlagt togs 163 prover på 16 Odling i Balans gårdar. Alla prover (0-10 cm) togs som samlingsprov av 10 delprov inom en radie på 1 m. Alla prover analyserades för att bestämma halt av växttillgänglig K, P, Ca och Mg (Egnér et al., 1960). I samma extrakt analyserades även halterna av Al och Fe, för att uppskatta

jordarnas P-bindningsförmåga som under svenska förhållanden huvudsakligen styrs av dessa ämnen. Dessutom analyserades jordproverna även enligt DESPRAL (Withers et al. 2007) dispersionstest, som har visat sig fungera väl för svenska jordar för att skilja och rangordna mobiliseringspotential för både suspenderat material och olika P-fraktionerna (Villa et al. 2012). DESPRAL test är en enkel jorddispersionstest som används för att uppskatta jordarnas benägenhet att eroderas och transportera till jordpartiklarna bunden P. Envägs variansanalys (ANOVA) beräknades med Fisher jämförelsetest för att studera om det förekom statistisk signifikanta skillnader i potentiell mobilisering av SS och PP mellan olika jordarter.

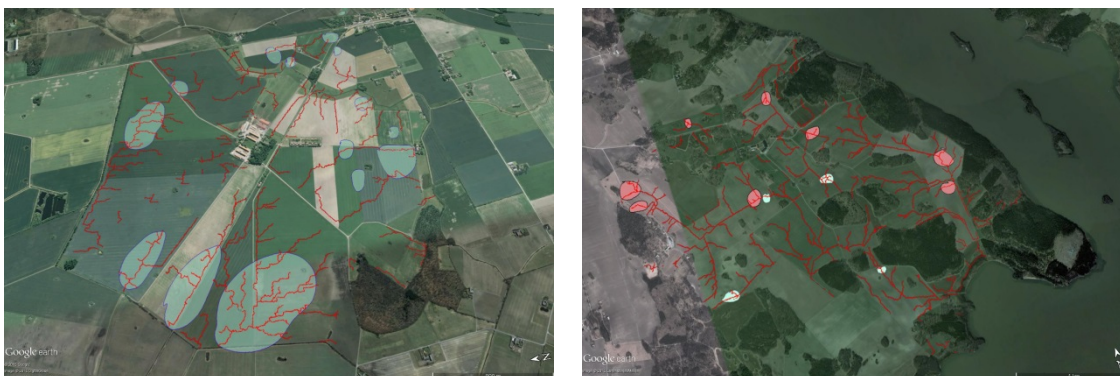
- 4.
5. Under projektet gång anordnas två workshops, en i november 2014 och en i januari 2015. I det första heldagsmötet träffades lantbrukarna och forskarna för att diskutera erhållna resultat från fältobservationerna, jordanalyserna och modelleringen. Således möjliggjordes utbyte av viktig information: forskarna fick en direkt feedback från lantbrukarna ("know how and where") med avseende på modellens kapacitet att identifiera riskområden, medan lantbrukarna fick från forskarna en översikt över de viktiga hydrologiska, markkemiska och markfysikaliska faktorer som styr vatten och ämnestransporter under de lokala förhållandena som påverkar just deras gård ("know why"). En SWOT (Strength=Styrka, Weakness=Svaghet, Opportunity=Möjlighet; Threat=Hot) analys utfördes inom lantbrukargruppen under den första workshopen för att utvärdera möjligheterna och begränsningarna till uppskalningen av detta tillvägagångssätt. SWOT-analyser utfördes utifrån två huvudfrågeställningar där lantbrukarna ombads dels beskriva sin gård som helhet utifrån SWOT-perspektiv, dels djupdyka i motåtgärderna för att minska P-förluster på sina gårdar. Utvärderingen av SWOT analys gjordes genom att gruppera alla svar och synpunkter från lantbrukarna i tre grupper: P-källor, P-transport och Övrigt. Indelning av faktorer relevanta för P-förluster i två grupper (P-källor och P-transportvägar) är ett sätt som anammats från ett P-index perspektiv. Denna indelning är viktigt utifrån åtgärdssynpunkt eftersom val av eventuella motåtgärder bör styras av de bakomliggande orsakerna för en förhöjd risk för P-förlusterna. Med andra ord, olika motåtgärder kan rekommenderas beroende på om en förhöjd förlustrisk är orsakad av höga P-källor eller hög risk på grund av effektiva transportvägar. Målsättningen under den andra workshopen var att redovisa alla erhållna resultat inklusive SWOT-analys.

Resultat

Lantbrukarna identifierade sammanlagt 128 problemområden på sina gårdar (Tabell 1). Genom att använda 2 % av alla 2x2m-celler med högst modellerade erosionsvärden identifierades sammanlagt 109 av dessa 128 problemområden (85 %).

Tabell 1. Jämförelsen mellan observerade och modellerade problemområden.

Problem	Antal observationer	Identifierade med modellen
Ytavrinning/Erosion	38	36
Stående vatten, dålig dränering	72	62
Markpackning, körskador, svårbehandlad jord	8	6
Kraftig lutning	7	4
Övrigt	3	1
Summa	128	109



Figur 1. Exempel på identifierade problemområden, där polygoner representerar lantbrukarnas iakttagelser medan de röda linjerna representerar modellresultat.

Den nämnda höga förklaringsgraden (85 %) av lantbrukarnas iakttagelser med modellresultat var uppenbar även innan den statistiska analysen blev klar. Vid novembermötet diskuterades lantbrukarnas egna kartor tillsammans med modellresultat och vår generella bedömning var att modellen och lantbrukarna lyckades peka ut i stor sett samma områden som problematiska. Lantbrukarnas egen bedömning av modellresultat för deras egna gårdar var mycket positiv, och reflektionerna lydde t ex att ”det stämmer bra (Västraby), mycket bra (Hacksta), stämmer till 95 % (Broby), modellkartorna ljuger inte (Fårdala), de röda linjerna är klockrena (Norregård)” med mera.

Utvärdering av analysresultat från jordproverna användes för att illustrera viktiga samband mellan jordegenskaper och risk för P-förlusterna. Således hittades statistiskt signifikanta ($p < 0.001$) samband mellan den växttillgängliga P (P-AL) och den lösta P i dispersionstestet ($r^2 = 0.28$). Detta samband förstärktes ytterligare när hänsyn togs till jordarnas P-bindningsförmåga genom att beräkna P-mättnadsgrad. P-mättnadsgrad beräknades som en kvot mellan P-AL och summan av aluminium (Al) och järn (Fe) i AL-extraktet. Även detta samband var statistiskt signifikant ($p < 0.001$) med något högre r^2 -värdet (0.39).

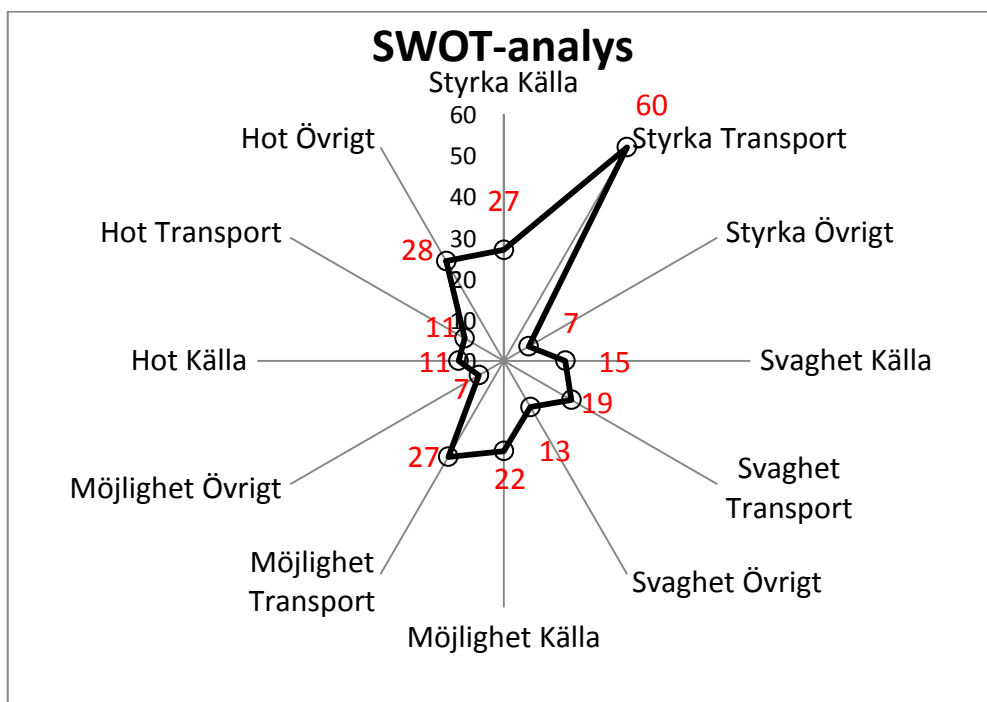
Mobiliseringen av den bundna P (partikulär P, PP) var i hög grad kopplad till mobiliseringen av markpartiklar. Således hittades statistiskt signifikanta samband ($p < 0.001$) mellan PP och både turbiditet ($r^2 = 0.62$) och halt av suspenderat material (SS, $r^2 = 0.56$). Sambandet mellan turbiditet och SS var också starkt ($p < 0.001$, $r^2 = 0.71$). Det finns även en tendens att jordar med högre mo-mjåla halt (silt och silt loam) uppvisar en högre halt av SS i förhållande till turbiditet medan lerhaltiga jordar (clay, silty clay, clay loam, silty clay loam) uppvisade en högre turbiditet i förhållande till SS-halt. Sambandet mellan PP och SS kunde förbättras ytterligare om hänsyn togs till P-AL ($p < 0.001$, $r^2 = 0.59$).

ANOVA analys visade att det fanns signifikanta skillnader mellan olika jordarter vad det gäller potentiell mobilisering av både markpartiklarna (turbiditet, SS) och PP med DESPRAL-testet. Således mobiliserades signifikant lägre halter av partiklar och PP i de lättare jordarterna (loamy sand, sandy loam, sandy clay loam och loam, Tabell 2). Detta gäller både skillnader i turbiditet, SS och PP. För de jordarterna med högre lerhalter blir bilden inte lika klar även om det finns tendenser till att jordar med högre halter av ler (clay) och mo-mjåla (silt, silt loam, silty clay) uppvisar en högre potentiell mobilisering.

Tabell 2. ANOVA (analys av varians) tabell med skillnaderna mellan olika jordarter med avseende på turbiditet, suspenderat material (SS) och bundet fosfor (PP). Skillnader mellan jordarter med samma bokstav är inte signifikanta.

Jordart	N	Turbiditet (FNU)	SS (mg/l)	PP (mg/l)
LOAMY SAND	4	211 (140)	C 272 (136)	H 865.5 (336) J K
SANDY LOAM	39	353 (200)	C 513 (266)	H 772.4 (291) K
SANDY CLAY LOAM	8	372 (128)	C 557 (226)	H 744.6 (182) K
LOAM	24	402 (199)	C 543 (287)	H 884.8 (378) K
CLAY LOAM	12	1093 (664)	B 1021 (430)	G 1151.7 (240) I J
SILTY CLAY LOAM	11	1408 (862)	A B 1519 (709)	F 1169.5 (419) I J
SILT	7	1426 (307)	A B 2779 (1083) D	1425.9 (307) I
SILT LOAM	12	1584 (803)	A 2041 (834)	E 1384.3 (439) I
SILTY CLAY	19	1446 (499)	A 1473 (433)	F 1270.7 (343) I
CLAY	27	1514 (533)	A 1378 (286)	F 1255 (297) I

Resultat av lantbrukarnas SWOT-analys visas i figur 2. Flest antal jordbrukarnas svar kunde kategoriseras under SWOT-segment "Styrkor" (87 påståenden sammanlagt), med högre antal med fokus på "Transportfaktorer" (60) i förhållande till "Källfaktorer". Exempel på de förstnämnda är t ex väl-dränerade jordar med bra markstruktur, en bra växtföljd med vallodling och lite eller ingen förekomst av ytavrinning och erosion. Exempel på "Källfaktorer" är t ex optimal P-status i marken, balanserad P-tillförseln, bra koll på växtnärbalansen, försäljning av stallgödseln mm.



Figur 2. Resultat av lantbrukarnas SWOT-analys. De ingående SWOT-kategorier (Styrka, Svaghet, Möjlighet och Hot) var ytterligare klassade utifrån ett P-index synsatt i P-källor och P-transportvägar samt en tredje kategori (Övrigt). Angivna siffror visar antal lantbrukarnas påståenden i varje kategori.

Både "Svagheter" (47) och "Möjligheter" (56) var relativt jämnt fördelade mellan källorna och transportvägarna. Som exempel på "Svagheter" när det gäller P-källor (15 påståenden) listades framförallt höga P-AL-tal, samt hög djurtäthet och gödselproduktion. "Svagheter" från

transportperspektiv(19 påståenden) täckte huvudsakligen risker för erosion, ytavrinning, stående vatten och dålig dränering. Många av föreslagna "Möjligheterna" var ett direkt svar till de listade "Svagheter", där lantbrukarna själva gav förslag på åtgärder på specifika svagheter. Således argumenterades för anpassade skyddszoner för att motverka erosion och ytavrinning, systemtäckdikning för att åtgärda förekomst av stående vatten och vattensjuka fält, försäljning av stallgödsel och grannsamarbete för att bättre fördela överskott av stallgödsel mm. Slutligen upplevde lantbrukarna relativt få hot vad det gällde både källor (11 påståenden) och transportvägar (11 påståenden), och de flesta påståenden klassades i detta fall under kategorin "Övrigt". De upplevda hoten berörde framförallt en försämrad lönsamhet samt tvingande åtgärder från myndigheternas sida som t ex obligatoriska generella skyddszoner och träda, gödselskatt, rigorösa djurtäthetsregler, införande av restriktioner i samband med vattenskyddsområden etc. Det framkom även farhågor om en mindre gynnsamt (regnigare) klimat med försämrade odlingsförutsättningar.

Diskussion

Fosforförlusterna uppvisar en hög variation i både tid och rum. Sharpley m. fl. (2009) introducerade så kallad 80:20-regel, som illustrerar att merpart av P-förlusterna (80 %) har sitt ursprung i en relativ liten andel (20 %) av den totala arealen av ett avrinningsområde. Dessa kritiska delar (Critical Source Areas, CSAs) av avrinningsområdena sammanfaller med hydrologisk aktiva arealer där förutsättningarna finns för t ex ytavrinning, erosion och/eller makroporflöden. Dessa CSAs varierar både över avrinningsområden och över individuella fält, vilket kräver optimering av placeringen av eventuella motåtgärder (Gburek m fl., 2000). Trots tunga vetenskapliga bevis att P-förlusterna är episodiska och rumsligt varierande, nuvarande styrmedel för att minska P-förlusterna är framtagna och tillämpade ganska generellt och utan incitament för optimering av placeringen av motåtgärder för att uppnå en högre effektivitet. Utveckling av fjärranalys och en ökad tillgång till högupplöst data underlättar och möjliggör identifiering av hydrologisk aktiva delar av avrinningsområdena, vilket är en förutsättning för optimering av åtgärdsplaceringen i landskapet för att förbättra både deras effektivitet och kostnadseffektivitet (Djodjic och Villa, 2015). Även studier i Finland (TEHO, 2014) visar att optimerade åtgärder ger högsta miljönytta.

Lantbrukarnas kunskap definieras som deras förmåga att koordinera och anpassa ett brett spann av socio-tekniska tillväxtfaktorer till specifika förutsättningar (Stuiver et al., 2004). Med andra ord, lantbrukarna måste tillämpa "allmän" kunskap till lokala förutsättningar och integrera specifika syften (t ex reducering av näringsämnesförluster) med övriga processer i jordbruksproduktionen. Den generella kunskapsnivå angående implementering och effekt av motåtgärder måste därför anpassas till lokala förutsättningar, och det är endast möjligt genom att tillvarata lantbrukarnas lokalkunskap och erfarenhet, i kombination med nya forskningsrån som baseras på högupplöst data.

Resultat erhållna i detta projekt bekräftar tidigare resultat att högupplöst miljödata möjliggör en pålitlig identifiering av CSAs (Djodjic och Spännar, 2011; Djodjic och Villa, 2015). Från den motsatta vinkeln visar jämförelsen mellan modellresultat och lantbrukarnas observationer att lantbrukarna själva har oftast väldigt bra koll över problemområden på deras egna gårdar. Ur detta perspektiv tjänstgör forskarnas modellresultat snarare som en bekräftelse för lantbrukarnas egna observationer, och ger relevans till lantbrukarnas kunskap och erfarenhet. Diskussionerna under workshopparna visar också på att denna kunskap och kompetens inte nyttjas i dag vid framtagningen av åtgärdsprogram för att minska näringsämnesförlusterna. Inte så sällan är det till och med frustrerande för lantbrukarna att tillämpa vissa generella åtgärder (t ex skyddszoner) på fält där man vet på förhand att de inte kommer göra någon nytta. Exempel på detta är t ex införandet av breda skyddszoner på genomsläppliga organiska/sandhaltiga jordar, invallade fält och generellt fält där ytavrinning och erosion aldrig

förekommer. Sådana åtgärder är ineffektiva, dyra för samhället och frustrerande för lantbrukarna. Detta faktum bekräftas också av Riksdagens miljö- och jordbruksutskottets uppföljnings- och utvärderingsgrupp som konstaterar att det finns en risk att t.ex. kommuner och privata markägare utgår i sitt åtgärdsarbete från vad man kan söka bidrag för i stället för att ha en helhetssyn på vattenvårdsarbetet (Riksdagen, 2014).

Analysresultat från jordproverna visade sig vara användbart på flera olika sätt. Lantbrukarna som deltog i undersökningen var väl medvetna om betydelsen av P-AL-värdena vid bedömningen av förlustriskerna. I SWOT-analys bedömdes både höga mängder stallgödsel och fält med höga P-AL-tal som svaghet/hot, medan en anpassad gödslingsstrategi angavs som styrka och/eller möjlighet. Däremot fanns det flera frågetecken kring pålitlighet av P-AL som mått för att bedöma även risken för P-förlusterna. I detta sammanhang visade sig användning av DESPRAL-testet som en approximation för vattenlöslig-P en viktig tillgång. Det positiva sambandet mellan P-AL och löst P i DESPRAL-testet illustrerade betydelsen av P-halten i marken för P-frigörelse. Å andra sidan var resultat om jordarnas P-bindningsförmåga en ny och spännande information för lantbrukarna. Förutom halter av Al och Fe som indikatorer för P-bindningsförmåga så lyftes frågorna om betydelsen av jordens pH både för P-löslighet generellt, och för resultat av P-AL-extraktionen i synnerhet. Det sura AL-extraktet tenderar att överskatta halter av växttillgänglig P (P-AL) i kalkrika jordar med högt pH (Lovang 2015). Flera lantbrukare ifrågasatte därför rimlighet att i sådana fall använda P-AL som en måttstock för att bedöma riskerna för P-förlusterna.

Bedömningen av den potentiella mobiliseringen av jordpartiklarna och partikulär P med DESPRAL-testet bekräftade tidigare resultat om olika jordarters känslighet gentemot erosion (Villa, 2014), med ett ganska klart mönster med lägre halter av mobiliserade partiklar för de lättare jordar (loamy sand, sandy loam, sandy clay loam och loam, Tabell 2). Då den partikulära P uppvisade starka samband med både turbiditet och SS-halter innebar detta även en lägre potentiell mobilisering av partikulär P i de lättare jordarna. Den multipla regressionen visade även att P-AL-värden påverkade halter av potentiellt mobiliserad PP, men PP-halterna var främst beroende av mobiliseringen av markpartiklarna. Därmed är det viktigt att betona att nivå av PP-förluster styrs till en lägre grad av P-halter i marken och är mer beroenda av jordarnas sårbarhet mot erosion. Genom att kombinera identifiering av hydrologiskt aktiva delar av landskapet (USPED-modellering) med jordarnas sårbarhet mot mobilisering av partiklarna och P (DESPRAL) skapades ett pålitligt beslutsunderlag för lantbrukarnas egna åtgärdsstrategier. När detta underlag visade sig stämma mycket väl med lantbrukarnas egna bedömningar, observationer och erfarenhet så skapades en mycket positiv inställning till platsanpassade och optimerade åtgärder, som kan byggas in i övriga processer på ett lantbruksföretag. I många fall såg lantbrukarna möjligheter till synergieffekter, som t ex förbättrad dränering och täckdikning av vattensjuka fält och fält som ofta utsatts för ytavrinning och erosion, där en förbättrad dränering skulle gynna både produktion och miljö.

Även om det finns en del överlapp så kan man utifrån resultat av detta projekt identifiera två huvudgrupper av gårdar med olika problembilder när det gäller möjligheter att minska P-förluster:

1. Den första gruppen innefattar gårdar med lättare, sandigare och väl dränerade jordar. Huvudproblem i denna grupp är oftast kopplat till P-källorna, med höga P-AL-halter i marken och/eller hög djurtäthet och stallgödselproduktion, som leder till höga P-förluster, framförallt i form av löst-P. Huvudfokus på dessa gårdar borde vara att i högsta möjliga mån åstadkomma en stallgödselhantering som möjliggör optimal gödsling utifrån grödans behov, för att på sikt minska höga P-AL-tal i marken. Två viktiga osäkerhetsfaktorer för dessa gårdar är bristande data på markens P-bindningskapacitet och lämplighet av P-AL som metoden för bedömning av

växttillgänglig P. I dessa lättare jordar kan en hög bindningskapacitet starkt modifiera deras sårbarhet mot P-frigörelse och bör därför kartläggas. Extraktion med ammoniumlaktat kan extrahera oproportionerligt höga halter av P från kalkrika jordar och överskatta växttillgänglighet, vilket innebär att en alternativ metod kan vara lämpligare (t ex Olsen-P). Åtgärdsalternativ i dessa fall bör vara att strategiskt jobba för att på sikt minska P-källorna (optimerad gödsling, försäljning av stallgödsel, samarbete med grannarna för att minska stallgödselöverskott) samt rening av vatten efter att det passerat fälten. Stallgödselspridningen bör utföras under optimala förhållanden med snabb nedmyllning. Frågan är dock om vanliga våtmarker och P-dammar skulle vara effektiva då de främst reducerar PP. Dammar och våtmarker med efterföljande kemisk vattenrening (Ekstrand et al. 2011) kan vara en effektiv åtgärd i detta fall. Generella skyddszoner och strukturkalkning bör i dessa markförhållanden ha mycket begränsat effekt och bör inte rekommenderas. Anpassade skyddszoner kan vara aktuella på relativt små delar av fälten där man upplever problem med ytavrinning, erosion och stående vatten.

2. Den andra gruppen innefattar gårdar med tyngre jordar med högre lerhalt. Huvudproblem i denna grupp är oftast kopplad till P-transport, där topografi och sämre dränering leder till ytavrinning och erosion, med PP som huvudformen av P. Huvudfokus på dessa gårdar bör ligga på att identifiera och åtgärda hydrologisk aktiva delar av landskapet. En osäkerhetsfaktor här är brist på data angående jordarnas erosionsbenägenhet, som kan överbryggas genom DESPRAL-analys. Strukturkalkning, anpassade skyddszoner, vallodling och förbättrad dränering är lämpliga åtgärder i fält för att minska P-förluster i dessa fall. Våtmarker och P-dammar kan också reducera halter av PP i vatten som lämnar åkermark. Vålfungerande backdiken (diken mellan skogen och åkermarken) kan hjälpa till att undvika att vatten från skogen rinner över åkermark och mobiliserar P-rika små partiklar. De identifierade hydrologisk aktiva delar av landskapet bör varsam hanteras i samband med markbearbetning och P-gödsling, speciellt om de redan ligger i en hög P-AL-klass. Här är dock viktigt att känna till att stora P-förluster kan uppkomma från hydrologisk aktiva delar av landskapet, även om P-halter i marken är låga eller måttliga (Villa och Djodjic, 2014; Djodjic och Villa, 2015).

Resultat av SWOT-analys visar att lantbrukarna ser och känner igen både "Styrkor" och "Möjligheter" på sina gårdar. De är också väl medvetna om "Svagheter" och i de flesta fall har förslag på kreativa lösningar på sina problem, där iakttagna "Svagheter" kan åtgärdas med förslag som redovisades i "Möjligheterna". Således föreslår man t ex att åtgärda hög djurtäthet med försäljning av stallgödsel och grannsamarbete, dålig dränering med investeringar i täckdikning, ytavrinning och erosion med strukturkalkning, backdiken och skyddszoner. En stor majoritet av identifierade "Styrkor" och "Möjligheter" är dock av intern karaktär och kan bara i få fall kopplas till externa aktörer, som t ex redan pågående (Styrka) eller tänkbara (Möjlighet) samarbete med grannarna, eller en bra relation med myndigheterna. Å andra sidan upplevs majoritet av "Hoten" som externa, där det mest framträdande hotet är försämrade lönsamhet på grund av nya tvingande regler (t ex obligatoriska skyddszoner), nya restriktioner (lägre djurtäthet, förbud att sprida gödsel) eller skatter (gödselskatt).

Som det nämntes redan så definieras lantbrukarnas kunskap som deras förmåga att koordinera och anpassa ett brett spann av socio-tekniska tillväxtfaktorer till specifika förutsättningar (Stuiver et al., 2004). Åtgärdsarbetet för en bättre vattenkvalitet är inget undantag. I denna studie kunde vi konstatera att lantbrukarna har en bra uppfattning om orsaker till påverkan som deras verksamhet kan ha på vattenmiljö. Lantbrukarna kan också identifiera den rumsliga spridningen av problemområden och även föreslå motåtgärder som kan minska påverkan och är samstämmiga med övriga processer på deras gårdar. Lantbrukarna själva är också medvetna om behovet av ut- och fortbildning, så att de kan

sätta sin kunskap och erfarenhet ("know how") i ett större samhällsperspektiv och behov ("know why). De kan resultera i en optimal placering ("know where") av lämpliga åtgärderna utifrån lokalspecifika orsaker och förutsättningar. Denna studie svarar inte på frågan om dessa insatser och åtgärder skulle bli tillräckliga för att nå vattenkvalitetsmål som t ex god ekologisk status enligt Ramdirektivet för vatten. Dessa åtgärder representerar i många fall de sällsynta "lågliggande frukter" som är ur lantbrukarens perspektiv logiska, relevanta och effektiva, och kan innebära viktiga synergieffekter och "win-win" situationer. I många fall uttrycktes också vilja att investera egna pengar i åtgärder som lantbrukarna ansåg relevanta och lämpliga.

En viktig fråga i detta sammanhang är hur nuvarande styrmedel passar ihop med möjligheterna att införliva platsspecifika åtgärder. Det enkla svaret är att åtgärder som i dag syftar till att minska P-förluster anses vara alltför generella och fyrkantiga. I många fall får formen gå före innehållet, och det väcker en berättigad frustration hos lantbrukarna. Den rigida regleringen av åtgärderna tillåter egentligen inte lantbrukarna att utöva det de är bäst på, det vill säga att anpassa generell kunskap till specifika förutsättningar. Således anläggs skydds zoner generellt och utan anpassning till risken för erosion och ytavrinning. Anpassade zoner skulle kunna vara en lösning till detta men kravet på minsta storlek på 0.25 ha gör att små och effektiva anpassade zoner antingen uteblir, eller ersätts med överdimensionerade zoner. Anläggning av våtmarker och P-dammar föreslås också generellt, utan att ta hänsyn t ex till att prioritera högriskområden med högre inkommande P-halter, eller den dominerande P-formen i inkommande vatten. Ersättningsprincipen (kompensering för förlurad inkomst) motverkar optimeringen av placeringen av åtgärder på två sätt. Först, en fast ersättningssumma som inte tar hänsyn till att åkermarksvärde varierar både i tid och i rum. Det leder till att lantbrukare som har ett större inkomstbortfall väljer bort denna åtgärd. För det andra, omöjliggör en fast ersättningssumma prioritering av placeringen av åtgärderna utifrån deras kostnadseffektivitet. Således betalas en och samma ersättning till t ex effektiva skydds zoner i högriskområden och helt verkningslösa skydds zoner på platta sandiga jordar där ytavrinning aldrig förekommer. Strukturkalkning föreslås som en effektiv åtgärd för att minska P-förluster, och antas bära sina egna kostnader då den också leder till högre skördar (Larsson and Gyllström 2013). Strukturkalkningens effekter är beroende av markegenskaper (lerhalt, halt av organiskt material), kalkningsdos och nedmyllningseffektivitet samt väderförhållandena som råder under spridningen av kalkmaterial. Framtagna riskkartor med identifierade ytavrinnings- och erosionsstråk skulle kunna användas tillsammans med kartor över lerhalter för att t ex styra högre kalkdoser med fler nedmyllnings rundor till högriskområdena, där en förbättrad struktur ger högsta miljövinst. För flertal av effektiva åtgärder kan inte lantbrukarna få stöd eller ersättning (täckdikning, backdikesunderhåll och funktionsförbättring, kulvertering av öppna diken etc). I många fall kan det också finnas målkonflikter med olika miljömål som förhindrar åtgärdsimplementering. Således hindras t ex åtgärder i diken som minskar risken för fosforförluster med motivation att bibehålla och förbättra den biologiska mångfalden.

Sammanfattningsvis är styrmedel i många fall inte tillräckligt flexibla för att tillåta lantbrukarna att anpassa generella åtgärder till lokalspecifika förutsättningar, även i de fall där det finns tillräckligt med vetenskapligt underlag att motivera detta. I vissa fall är dessa regler berättigade utifrån andra aspekter, men ofta motiveras behov av strikta regler med att myndigheterna ska kunna ha en god möjlighet att utöva tillsyn. Det är säkerligen en viktig aspekt men frågan är om den är tillräckligt viktig för att låta den minska möjligheterna för ett effektivt åtgärdsarbete.

Publikationer

1. Vetenskaplig artikel i Environmental Science and Policy. Manuskript.

2. Poster och muntlig presentation vid "Sötvattenövervakningen 50 år", SLU, Ultuna, 20150511

Resultatförmedling till näringen

Förväntade resultat och metodik är av intresse för både jordbruks- och vattenmiljö Sverige. Hittills har vi kunnat presentera del av resultat på t ex mötet som hölls på Jordbruksverket i mars 2015, med fokus på skyddszoner i jordbrukslandskapet. En posterpresentation av resultat gjordes av Faruk Djodjic och Helena Elmquist på jubileumsseminariet "Sötvattenövervakningen 50 år", på SLU, Ultuna, i maj 2015. Resultat ska kommuniceras även på workshopar, konferenser, vattendagarna mm. Exempel på sådana är Greppa näringens/Jordbruksverkets rådgivarkurser och HaV:s vattenforum. Inte minst tror vi att deltagande av lantbrukarna själva ska leda till "vattenringarna" där lantbrukarna som kommer att delta i projektet via Odling i Balans ska dela och förmedla sina egna erfarenheter med sina kollegor.

Referenser

- Bergström, L., F. Djodjic, H. Kirchmann, I. Nilsson, and B. Ulén. 2007. Phosphorus from farmland to water, *Report Food 21, no. 4/2007. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.*
- Brandt, M., H. Ejhed, and L. Rapp. 2008. Näringsbelastning på Östersjön och Västerhavet 2006. in Naturvårdsverket ed Naturvårdsverket, NV Rapport 5815, Stockholm, 43.
- Djodjic, F. 2013. Anpassad placering av skyddszoner i landskapet för att öka åtgärdens kostnadseffektivitet. Slutrapport.
- Djodjic, F., and L. Bergström. 2005. Phosphorus losses from arable fields in Sweden - Effects of field-specific factors and long-term trends. *Environmental monitoring and assessment* 102: 103-117.
- Djodjic, F., and M. Spännar. 2012. Identification of critical source areas for erosion and phosphorus losses in small agricultural catchment in central Sweden. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B 2013; Soil & Plant Science*: 229-240.
- Ekstrand, S., T. Persson, and R. Bergström. 2011. Dikesfilter och dikesdammar - Slutrapport fas 1. in I. R. B2001 ed IVL Svenska Miljöinstitutet AB.
- Haygarth, P.M., L.M. Condron, A.L. Heathwaite, B.L. Turner, and G.P. Harris. 2005. The phosphorus transfer continuum: Linking source to impact with an interdisciplinary and multi-scaled approach. *Science of the Total Environment* 344: 5-14.
- Larsson, M., and M. Gyllström. 2013. Åtgärder för god ekologisk status i ett jordbruksdominerat avrinningsområde: exemplet Lillån, *Länsstyrelsens rapportserie 2013:16*. Vattenmyndigheten Norra Östersjöns vattendistrikt.
- Lovang, M. 2015. Fosfor och fosforanalyser på jordar med hög kalkhalt och/eller höga pH - en litteratursammanställning Lantbrukskonsult AB, 35.
- Mitasova, H., L. Mitas, and W.M. Brown. 2001. Multiscale Simulation of Land Use Impact on Soil Erosion and Deposition Patterns. Paper presented at the Sustaining the Global Farm. Selected papers from the 10th international Soil Conservation Meeting. Purdue University
- Warren, S.D., H. Mitasova, M.G. Hohmann, S. Landsberger, F.Y. Iskander, T.S. Ruzycski, and G.M. Senseman. 2005. Validation of a 3-D enhancement of the Universal Soil Loss Equation for prediction of soil erosion and sediment deposition. *CATENA* 64: 281-296.
- Villa, A., F. Djodjic, L. Bergström, and M. 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*: 260-269.
- Withers, P.J.A., R.A. Hodgkinson, E. Barberis, M. Presta, H. Hartikainen, J. Quinton, N. Miller, I. Sisak, et al. 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.