

Diken – den bortglömda länken mellan fält och vattendrag

Bakgrund

Reduktion av fosfor- (P) tillförsel till ytvatten för att minska övergödningen är prioriterat i både Sverige (Brandt et al., 2009) och resten av länderna runt Östersjön (HELCOM, 2007). Eftersom ca 40% av de diffusa fosforutsläppen till havsområdena kring Sverige kommer från jordbruksmark, behöver dessa minskas för att uppnå god ekologisk status (EC, 2000) och möta nationella miljömål (Naturvårdsverket, 2006). Dock varierar dessa fosforförluster i både tid och rum, vilket betyder att det är nödvändigt att identifiera de avrinningsområden som bidrar mest till dessa förluster för att kunna sätta in kostnadseffektiva motåtgärder.

I jordbruksdominerade områden sker avrinningen till ytvatten till stor del i diken, och upp till 80 % av ytan kan vara dränerad på detta sätt (Blann m fl, 2009). Enligt Nationell Inventering av Landskapet i Sverige (NILS) (Esseen med fl., 2004) finns det 89000 mil diken i Sverige, vilket motsvarar ca 22 varv runt jorden. Det betyder att diken är 1,6 gånger vanligare än naturliga vattendrag (Esseen med fl., 2004), och mer än 10 % av dessa diken ligger i åkermark (Glömskär med flera, 2007). Diken har därför en stor roll i fosforomsättningen både på en lokal, och med tanke på ovanstående siffror, även på regional och nationell skala.

Diken fyller således en viktig roll som länk mellan åkermark och vattenreceptier (Janse and Van Puijenbroek, 1998), men trots den viktiga funktion som diken fyller, och den omfattning som Sveriges dikessystem har, finns betydande kunskapsbrist om hur förluster av näringsämnen via diken kan minskas (Kröger med flera, 2007 & 2008). Även Moore med flera (2000) konstaterar att diken är bortglömda länkar mellan åkermark och vattenreceptier. Forskning har även visat att dikessediment kan fungera både som källa och fälla för P (Sallade and Sims, 1997a, b; Nguyen and Sukias, 2002; Vaughan et al., 2007; Smith, 2009).

För närvarande fokuserar EU:s ramdirektiv för vatten på utveckling av detaljerade planer för minskning av fosforutsläpp från små avrinningsområden där risken för läckage är stor. Eftersom endast ett begränsat antal avrinningsområden ingår i den nationella miljöövervakningen, är kunskapen om var sådana avrinningsområden finns begränsad. En försvårande faktor är dessutom att fosforförluster kan variera kraftigt i tid och rum (Heckrath et al., 2008; Sharpley and Rekolainen, 1997), vilket innebär att en stor del av de totala förlusterna mycket väl kan vara koncentrerade till ett fåtal högflödestillfällen. Detta innebär ytterligare begränsningar av användandet av synoptiska provtagningar (Grayson et al., 1997) och analyser av vattenkvalitet för att identifiera de avrinningsområden som bidrar mest till fosforförlusterna. Med synoptisk provtagning menas här vattenprovtagning i många punkter spridda över ett avrinningsområde under en kort tid för att få uppfattning om de rumsliga variationerna. Dessutom är de flesta av dessa synoptiska provtagningar utförda under basflöde varvid grundvattnet dominerar vattenflödet och P halterna därmed är låga (Wayland et al., 2003). Sammantaget gör allt detta att dagens miljöövervakningsmetoder sällan är tillräckliga för identifiering av högriskområden.

Studier har visat att fosforförluster ökar signifikant när åkermarkens P-halt är större än de optimala förhållandena för växtupptag (Sims, 2000), eller när möjligheter till fosforfastläggning på mineralpartiklar blir begränsade eftersom bindningsplatserna redan är mättade (Sharpley, 1995; Vadas et al., 2005). Flera studier lyfter också fram olika metoder som både bestämmer P innehållet, och som gör det möjligt att förutse den potentiella

fosforretentionen i dikessedimenten. Exempel på sådana är Phosphorus Sorption Indices (PSI; (Sallade and Sims, 1997a) och oxalat extraherad Al och Fe (Nguyen and Sukias, 2002). McDowell & Sharpley (2001) föreslog användandet av vatten som extraktionsmedel för ytjordar för att uppskatta löst reaktiv P i ytavrinning, medan Nguyen & Sukias (2002) använde vattenextraherbar P i kombination med P-mättnadsgrad för att identifiera de diken som kan tänkas fungera som en potentiell källa till P i recipientvattnen. Sallade och Sims (1997a) fann att de översta 5 cm av dikessedimenten som innehöll förhöjda halter av organiskt material och oxider, hade högre P-halt och högre biologiskt aktiv P jämfört med både djupare sediment i diket och jordar från angränsande jordbruksfält. Dock var Mehlich 1 (en agronomisk analysmetod för att bestämma mängd växttillgänglig P) värdena lägre i ytsedimenten än i omgivande jordar. Nguyen och Sukias (2002) drog slutsatsen att P som fastläggs i diken är en potentiell källa till P i dräneringsvattnet nedströms eftersom en stor del av sedimentbunden P kan potentiellt kan frisläppas till det överliggande vattnet.

Den höga variabiliteten vad gäller olika P fraktioner i dikessediment, både inom ett avrinningsområde (Dunne et al., 2007; Vaughan et al., 2007) och mellan olika avrinningsområden (Nguyen och Sukias, 2002), försvårar möjligheterna till bedömning av dikenas roll för vattenkvalitet. Trots att flera studier har provtagit och karakteriserat vatten från dräneringsdiken i kombination med karakterisering av dikessedimenten i dessa (Sallade och Sims, 1997a; Nguyen och Sukias, 2002), är det svårt att koppla dessa ofta momentana värden på mycket varierande parametrar (t ex koncentrationer av DRP och tot-P i vattnet) till de mer stabila värden som kan erhållas från sedimentanalyser.

Sammantaget gör allt detta att trots utbredningen av diken i Sverige, och trots deras roll som potentiell källa eller fälla för P, finns det begränsat med kunskap om hur dikessediment kan användas för att förstå de processer som styr P-transport i jordbrukslandskapet. En fråga som är viktig att besvara är om dikessediment kan fungera som indikator för långsiktiga P-förluster från ett avrinningsområde, dvs om det kan användas för att bedöma hur stor risken är för P-förluster från många av de små avrinningsområdena för vilka mätdata saknas. Det vore således av intresse att jämföra P innehåll i dikessedimenten med det i omgivande jordar, samt att relatera detta till fosforkoncentrationerna som mäts i vattnet i utloppen från dessa avrinningsområden.

Med bakgrund av detta beviljades projektet ”Diken – den bortglömda länken mellan fält och vattendrag” i början av 2009 medel från SLF:s forskningsprogram ”Fosforförluster från jordbruksmark – bakomliggande orsaker och effektiva motåtgärder”.

Målet med projektet har varit (i) att bedöma den spatiala variationen i växttillgänglig och löslig P i dikessediment i ett antal små jordbruksavrinningsområden i Syd- och Mellansverige, (ii) att jämföra växttillgänglig P i dikessediment med motsvarande värden i omkringliggande jordar, samt (iii) att undersöka sambandet mellan de erhållna resultaten från denna studie med långsiktig miljöövervakningsdata med avseende på vattenkvalitet.

Material och metoder

1. Analys av sedimentprover från öppna diken

Studieområden

Studien har utförts i några av de s.k. typområden som sköts av institutionen för mark och miljö, SLU. Områdena valdes eftersom de tillhör de mest undersökta och kartlagda områden i Sverige med långa mätserier av vattenkvalitet. För huvuddelen av studien användes 4 av dessa

områden, (C6 – Intensivtypområde i Uppland, E23 – Greppa P område i Östergötland, N34 – Intensivtypområde i Halland och W – Regionalt typområde i Dalarna), men för det tredje delmomentet, undersökningen av sambandet mellan P i dikessedimenten och miljöövervakningsdata för vattenkvalitet, utvidgades studien till att omfatta 12 områden. Förutom de 4 tidigare nämnda inkluderades även typområdena F26 (Småland), M42 & M36 (Skåne), E21 & E24 (Östergötland), U8 (Södermanland), T9 (Närke) och O18 (Västergötland) i studien.

Analyser

Sedimentprover av de översta 4 cm av dikessedimenten samlades in från de utvalda områdena i augusti och september 2009, samt september och oktober 2011. Antalet provtagningspunkter varierade mellan 6 och 26 per område, beroende på den totala sträckan öppna diken. Vid varje provtagningspunkt insamlades 2 replikat. Provtagningen gjordes med en Willnerhämtare när detta var möjligt, och provtagning direkt i en plastburk när dikesbottenförhållandena var sådana att användning av hämtare inte var möjligt. Alla prover lufttorkades och siktades genom en 2 mm sil. Sediment-pH mättes i en 1:5 (w:v) vattenlösning, och glödförlust genom att hetta upp provet till 500°C i tre timmar.

Växttillgänglig P i dikessedimenten bestämdes genom extraktion med ammoniumlaktat/ättiksyra vid pH 3,75 (P-AL; Egnér et al., 1960). Även Al och Fe analyserades genom samma extraktionsprocedur. För analys av löslig P (P-vatten) extraherades dikessedimenten med vatten (1:10 w/v) och centrifugerades vid 1500 rpm i 10 min. Amorf (icke-kristallint) och svagt kristallint Al (Al-ox) och Fe innehåll (Fe-ox), samt P-oxalat (P-ox) i sedimenten bestämdes genom extraktion av 1 g sediment med 40 ml 0,175 M ammoniumoxalat i 2 h i mörk miljö. Lösningen centrifugerades sedan vid 2500 rpm i 10 min. För bestämning av Phosphorus Sorption Index (PSI) jämviktades 2 g sediment med 19,4 mmol P kg⁻¹ sediment i 20 ml 0,01 M CaCl₂ i 20h och därefter centrifugerat vid 3000 rpm i 10 min. PSI beräknades sedan som X/log C där X är mängden adsorberad P (mg kg⁻¹) och C är P koncentrationen i lösningen (mg l⁻¹) efter jämvikt. P koncentrationer i alla lösningar och extrakt bestämdes med by inductively coupled plasma-atomic emission spectroscopy (ICP, PerkinElmer Optima 2100 DV).

2. Experimentella tillsatser av P till dikesvatten

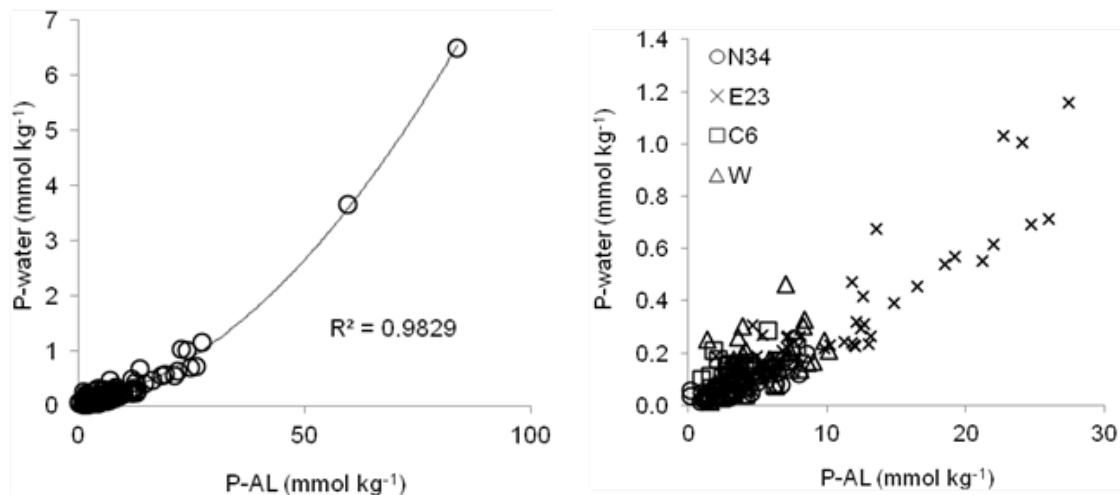
Under 2010 lades fokus på att utveckla en metodik kring möjligheter att utföra försök med tillsatser av fosfor (P), och eventuellt även andra ämnen, till dikesvatten för att studera retentionen av dessa i dikena. Ett flertal försök utfördes i Bäcklösadiket i Uppsala för att utveckla en enkel och tillförlitlig metod för sådana studier. Fördelen med detta dike är att mätningar kan göras under hela sommarhalvåret under kontrollerade former vad gäller kvantitet och kvalitet på bäckvattnet. Orsaken till detta är att kommunens vattenverk (dricksvatten) då är den enda vattenkällan som vid genomspolning av sandfilter släpper ut längre pulser med vatten. Påverkan från övriga källor minimeras således och de interna processerna i diket kan studeras vid olika flödesregimer. Mätningar av flödet med utspädningsmetoden (Hongve, 1987) utfördes för att kunna designa en provtagningsfrekvens som fångar en puls av det tillförda ämnet. Förutom tillsatser av löst P testades även tillsatser av andra ämnen som till exempel bromid (Br) och bor (B). Br är ett konservativt spårämne medan B testades som ett spårämne för tillfört P, eftersom B borde bete sig ungefär som P men inte förekommer naturligt i höga halter i dikessedimentet

Ovan nämnda försök har utförts under olika flödesregimer, vid både högt (~20 l/s) flöde och vid lågt flöde (~4 l/s).

Resultat

1. Analys av sedimentprover från öppna diken

De kemiska analyserna av dikessedimenten i de fyra områden där detta undersöktes visade på tydliga samband mellan växttillgänglig P (P-AL) och lättlöslig P (Figur 1). Fosforhalt som extraherades med vatten ökade med ökande P-AL halt, men mycket varierande halter påträffades både inom olika områden och vid jämförelsen mellan olika områden. Ett visst samband finns också mellan halter av järn och aluminium extraherade med oxalat respektive ammoniumlaktat, och sedimentets P-sorptionsförmåga. Sambandet mellan växttillgänglig och lättlöslig P kunde inte ytterligare förbättras genom att inkludera dikens P-bindningsegenskaper som PSI eller halter av Al och Fe. DPS eller P-mättnadsgrad, beräknat som kvot mellan P-AL och PSI, visade signifikant korrelation med P-vatten, men denna korrelation var trots detta lägre än motsvarande samband mellan endast P-AL och P-vatten. Detta indikerar att, åtminstone under förhållandena i denna studie, mängden lättlöslig P framförallt styrs av P-halten snarare än jordarnas bindningsegenskaper.



Figur 1. Samband mellan växttillgängliga (P-AL) (x-axeln) och lättlösliga (vattenlösliga) P (y-axeln) för samtliga undersökta fyra olika studieområden (vänster), och uppdelat på område med två extremvärden borttagna (höger).

P-AL halterna i dikessedimenten skiljde sig signifikant ($p < 0.05$) från motsvarande värden i de omkringliggande jordarna för de fyra undersökta områdena (fig 2). Jämförelsen mellan olika former av P i dikessedimenten och mellan mediankoncentrationer av total P (TP) eller löst P (DP) i vattenprover insamlade inom det nationella miljöövervakningsprogrammet visade på tydliga samband (fig 3 a-d). Däremot fanns det inget signifikant samband mellan mediankoncentrationer av total P (TP) eller löst P (DP) i vattenprover och P-halter i omkringliggande fält. På grund av det mycket starka sambandet mellan växttillgängligt P (P-AL) i dikessedimenten och långtidskoncentrationer av total P (TP) i vattnet i de fyra ursprungliga studieområdena (fig 4a) utvidgades denna del av studien till att omfatta 13 områden med olika karakteristik, i synnerhet med avseende på jordart. Resultatet av detta visade på fortsatt starka samband, men att sambandet varierade beroende på jordart och partikelstorlek. Sambanden var $R^2 = 0.99$ för tyngre leror och $R^2 = 0.92$ för lätt leror. För sandiga jordar påvisades dock inget samband (fig 4).

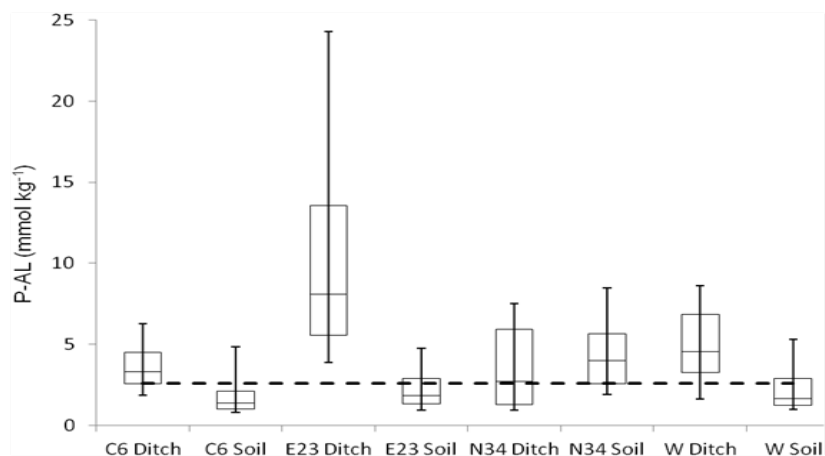


Fig 2. Median, 10th, 25th, 75th and 90th percentil för P-AL värden för dikessediment och för jordar i de fyra ursprungliga områdena. Den streckade linjen representerar den övre gränsen för optimal halt (P-AL klass III) av växttillgänglig P i Sverige.

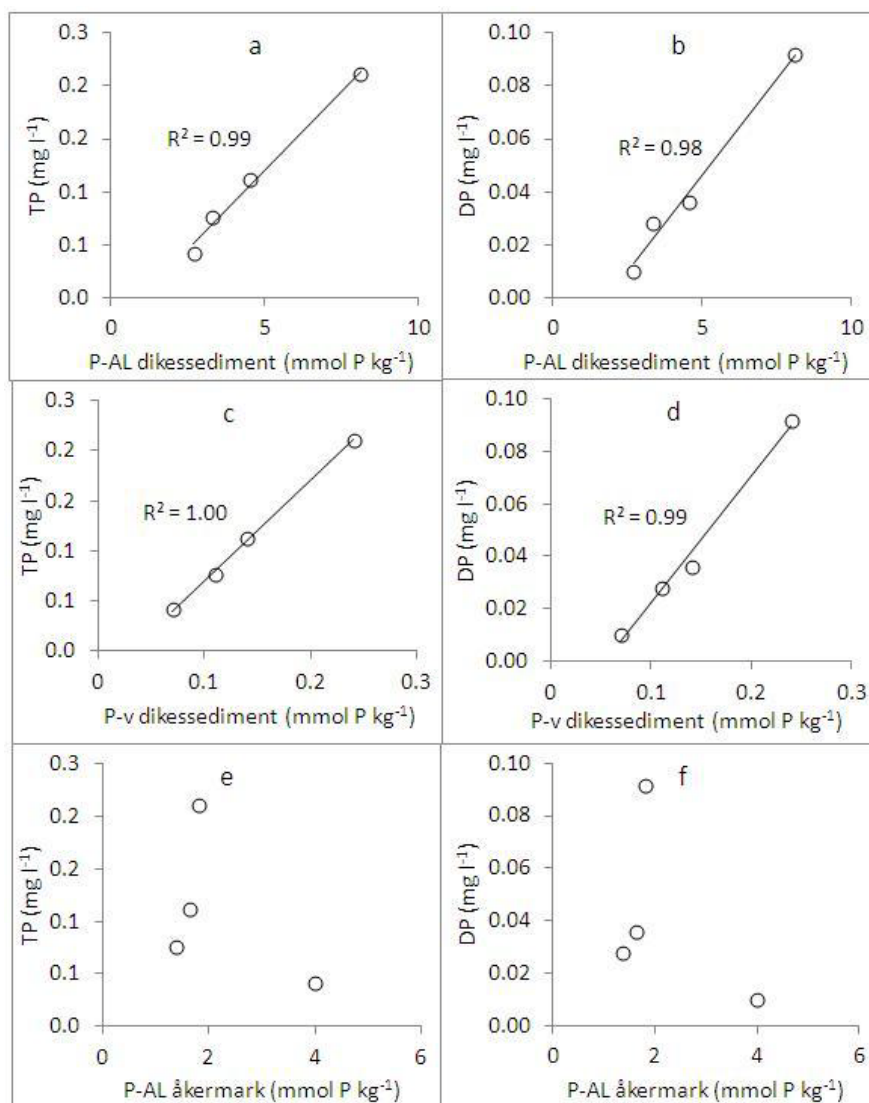


Fig 3. Förhållanden mellan mediankoncentrationer av total P (TP) eller löst P (DP) i vattenprover insamlade inom det nationella miljöövervakningsprogrammet och P-AL eller P-vatten värden från dikessedimenten i denna studie, samt P-AL från jordprover.

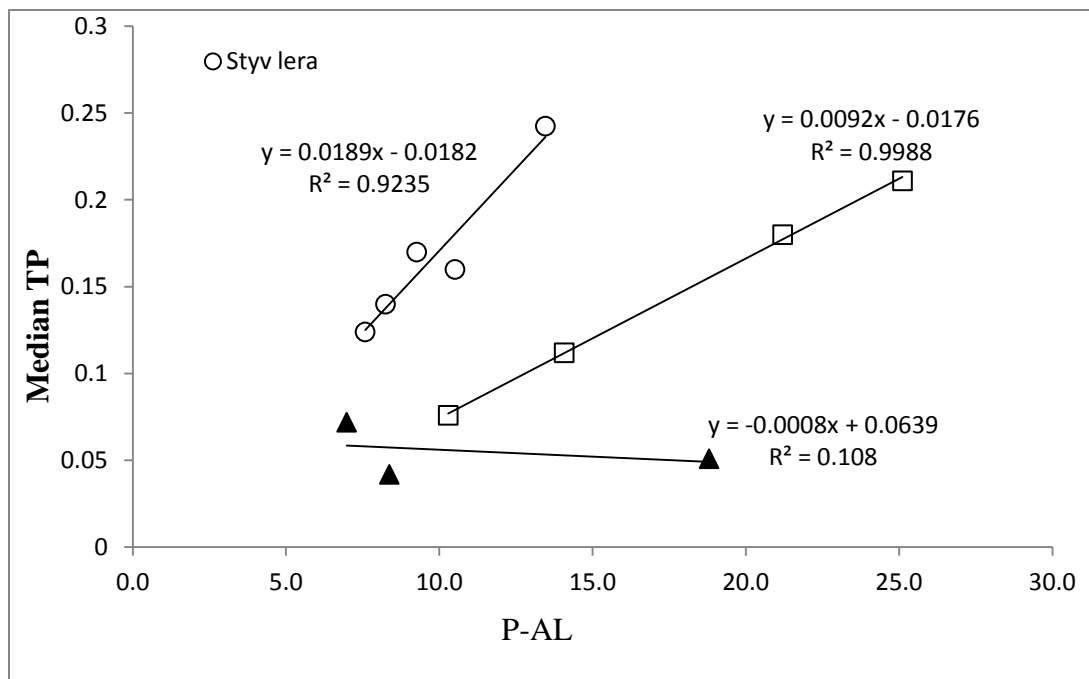
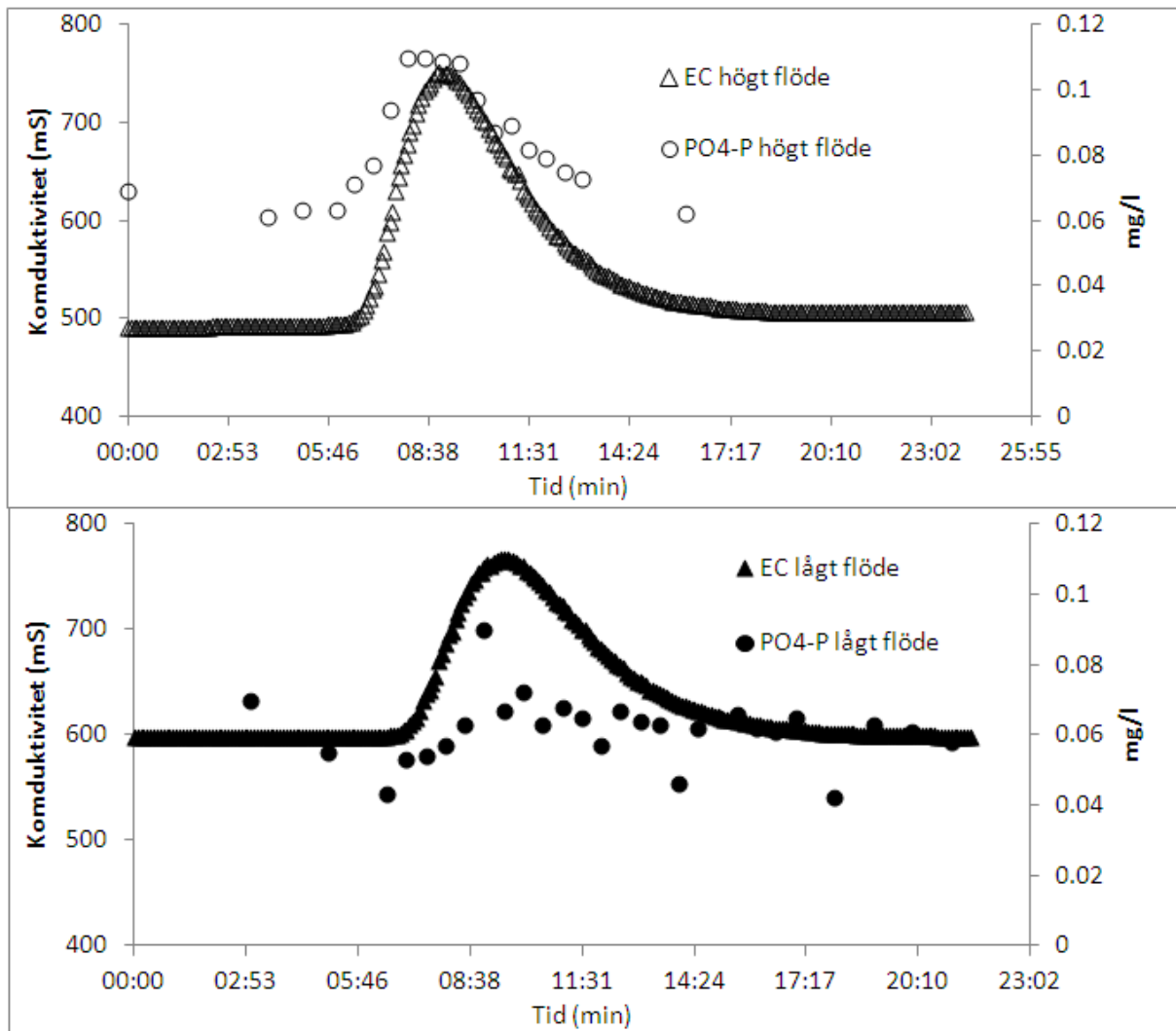


Fig 4. Samband mellan växttillgängligt P (P-AL) i dikessedimenten och långtidskoncentrationer av total P (TP) i vattnet i 13 områden. Blå romber är styv lera, röda rektanglar lättlera och gröna trianglar sandiga jordar.

2. Experimentella tillsatser av P till dikesvatten

De utförda tillsatsförsöken visar att retention i diken är i princip obefintlig vid höga flöden (Figur 5). Pulsen av tillförda P sammanföll med pulsen av salt mätt genom ökad konduktivitet. Integrering av uppmätta P-halter visade också att i princip all tillförd P passerade mätpunkten utan att fastläggas. Under det låga flödet var det däremot svårt att identifiera en tydlig puls (Figur 5) vilket tyder på att retentionen i systemet är hög. Försök med tillsatser av Br visade på hög samstämmighet mellan halterna av tillsatt Br och mätningarna av vattnets ledningsförmåga vilket var förväntat med tanke på att Br är ett konservativt spårämne. Tillsatserna av B var mycket svår att tolka, troligtvis på grund av förändringar (regn och ökat flöde) som skedde under försökets gång. En viktig slutsats från dessa experimentella tillsatser berör därför också själva försöksmetodiken. Studier i naturliga diken är tids- och arbetskrävande och med små möjligheter att kontrollera viktiga påverkansfaktorer som till exempel väderförhållanden eller flödet. Om dessa förhållanden ändras under försökets gång äventyras syftet och resultaten kan vara svåra att utvärdera. Studier under mer kontrollerade förhållanden där en eller flera viktiga faktorer (flödet, halter, bottensubstrat mm) kan varieras under kontrollerade former borde öppna möjligheter till mer detaljerade processtudier. Sådana studier kräver dock satsningar i forskningsinfrastruktur som till exempel anläggning av en dikespark, men detta låg utanför ramen för detta projekt.



Figur 5. Transport av en puls av tillsatt salt (mätt som konduktivitet) och en puls av tillsatt P vid högt flöde (övre diagram) och vid lågt flöde (nedre diagram).

Diskussion

Sammantaget visar resultaten att studien bidrar med viktig kunskap kring dikenans betydelse för näringsämnestransporter. Analyser av dikessediment inom denna studie visar bland annat att:

1. P-halter i dikessediment når upp till de värden som vanligtvis mäts i prover från åkermark
2. P-halter i dikessediment är mycket varierande både mellan områden, men även inom ett och samma område
3. Flödesstyrd provtagning kan vara en bra metodik för att fånga variationer i näringsämneshalter efter olika tillsatsförsök

När det gäller de individuella resultaten är det intressant att notera de stora variationerna i både växttillgänglig och lättlöslig P i dikessedimenten, både inom och mellan respektive avrinningsområde. Detta innebär att både omfattande och noggrant planerad provtagning ofta är nödvändig för att återge en korrekt bild av P förekomsten. Det tydliga sambandet mellan P-AL och P-vatten, i synnerhet vid höga värden, stöder tidigare observerade trender från

jordbruksjordar, där lättlös P ökar signifikant när värden av växttillgänglig-P överskrider gränsen för agronomiskt optimum (Sims et al., 2000).

Det kanske mest intressanta resultatet av denna studie är det tydliga sambandet mellan medianvärdena för P-AL i dikessedimenten och den uppmätta långtidsmedianen för TP i vattendragen. Detta samband kan ha betydelse för både miljöövervakning och åtgärder för P reduktion, förutsatt att det kan påvisas under ytterligare förhållanden. Om det verkligen kan bevisas att analys av P-AL i dikessediment kan användas som en tidsintegrerad indikator för P koncentrationen i vattnet i ett avrinningsområde kan detta vara en lätt, kostnadseffektiv och snabb metod för att identifiera de avrinningsområden som kan väntas bidra mest till P förluster. Analys av dikessediment skulle även kunna användas för att prediktera medianvattenfosforkoncentrationer och därmed fylla en funktion när nya miljöövervakningsprogram skall utformas.

För att detta skall kunna fungera tillfredställande måste dock ytterligare studier konfirmera detta samband i flera områden, och framförallt för fler jordarter. De slutliga resultaten av denna studie visar tydligt att sambandet skiljer sig beroende på jordart i avrinningsområdet, och hänsyn till detta måste därmed tas när slutsatser skall dras. Den tydliga grupperingen i olika jordarter kan möjligen bero på mineralpartiklarnas adsorberande egenskaper. Generellt har finare partiklar högre kapacitet att adsorbera P, och dikessedimenten i de lerdominerade områdena har därmed större potential att kvarhålla P än områden med större kornstorlekar. En viss uppdelning mellan olika typer av avrinningsområden, med avseende på dominerande jordart, är därmed att vänta. Resultaten indikerar även att sanddominerade avrinningsområden inte är optimala för den här typen av studier, förmodligen av samma anledning. Ytterligare studier är därmed nödvändiga för att undersöka metodens lämplighet i andra typer av avrinningsområden är de som ingått i denna studie.

Publikationer

Phosphorus content in drainage ditch sediments as an indicator of long-term in-stream phosphorus concentrations. Faruk Djodjic, Mats Wallin, Katarina Kyllmar. Inskickad till Environmental monitoring and assessment i januari 2012.

Ditch sediments as indicators of long term phosphorus losses from agricultural catchment. Joakim Ahlgren, Faruk Djodjic, Mats Wallin & Katarina Kyllmar. Manuskript.

Phosphorus content in drainage ditch sediments from four agricultural catchments in Southern and Central Sweden. Poster till Catchment Science Workshop 2011 i Dublin, Ireland, 14:e till 16:e september 2011.

Övrig resultatförmedling till näringen

Utmaningen Fosfor – forskarens syn på fosforåtgärder. Muntlig presentation på Jordbruksverkets rådgivarkonferens på Arlanda, den 9 september 2010, där även de viktigaste resultaten från detta projekt presenterades

Diken - den bortglömda länken mellan fält och vattendrag - Muntlig presentation på konferensen "Jordbruk och vatten" som anordnades av Havs- och vattenmyndigheten (HaV) den 20-21 mars 2012 i Göteborg.

Referenser

- Brandt, M., Ejhed, H., & Rapp, L. (2009). Nutrient loads to the Swedish marine environment in 2006. Report 5995. Swedish Environmental Protection Agency, Stockholm, Sweden.
- Dunne, E.J., McKee, K.A., Clark, M.W., Grunwald, S., & Reddy, K.R. (2007). Phosphorus in agricultural ditch soil and potential implications for water quality. *Journal of soil and water conservation*, 62, 244-252.
- EC (2000). Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 – Establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities* L327, 1-72.
- Esseen, P.-A., Glimskär, A., & Ståhl, G. (2004). Linjära landskapselement i Sverige: skattningar från 2003 års NILS-data (Linear landscape elements in Sweden: estimations from 2003 year NILS data). NILS arbetsrapport nr 127. The Department of Forest Resource Management, SLU, Umeå, Sweden. (In Swedish).
- Glimskär, A., Wikberg, J., Marklund, L., & Christensen, P. (2007). Linjära landskapselement i NILS fältinventering 2003-2006 (Linear landscape elements in NILS field survey 2003-2006). NILS arbetsrapport nr 199. The Department of Forest Resource Management, SLU, Umeå, Sweden. (In Swedish).
- Grayson, R.B., Gippel, C.J., Finlayson, B.L., & Hart, B.T. (1997). Catchment-wide impacts on water quality: the use of 'snapshot' sampling during stable flow. *Journal of hydrology (Amsterdam)*, 199, 121-134.
- Heckrath, G., Bechmann, M., Ekholm, P., Ulén, B., Djodjic, F., & Andersen, H.E. (2008). Review of indexing tools for identifying high risk areas of phosphorus loss in Nordic catchments. *Journal of hydrology (Amsterdam)*, 349, 68-87.
- HELCOM (2007). HELCOM Baltic Sea Action Plan - A new environmental strategy. Helsinki Commission, Baltic Marine Environment Protection Commission, Helsinki, Finland.
- Hongve, D. (1987). A revised procedure for discharge measurement by means of the salt dilution method. *Hydrological processes* 1(3): 267-270.
- Janse, J.H., & Van Puijenbroek, P. (1998). Effects of eutrophication in drainage ditches. *Environmental pollution*, 102, 547-552.
- McDowell, R.W., & Sharpley, A.N. (2001). Approximating Phosphorus Release from Soils to Surface Runoff and Subsurface Drainage. *Journal of environmental quality*, 30, 508-520.
- Naturvårdsverket. (2006). Aktionsplan för havsmiljö. Rapport 5563.
- Nguyen, L., & Sukias, J. (2002). Phosphorus fractions and retention in drainage ditch sediments receiving surface runoff and subsurface drainage from agricultural catchments in the North Island, New Zealand. *Agric. Ecosyst. Environ.* 92, 49-69.
- Sallade, Y.E., & Sims, J.T. (1997a). Phosphorus transformations in the sediments of Delaware's agricultural drainageways: I. Phosphorus forms and sorption. *Journal of environmental quality*, 26, 1571-1579.
- Sallade, Y.E., & Sims, J.T. (1997b). Phosphorus transformations in the sediments of Delaware's agricultural drainageways: II. Effects of reducing conditions on phosphorus release. *Journal of environmental quality*, 26, 1579-1588.

- Sharpley, A.N. (1995). Dependence of runoff phosphorus on extractable soil phosphorus. *Journal of environmental quality*, 24, 920-926.
- Sharpley, A.N., & Rekolainen, S. (1997). Phosphorus in agriculture and its environmental implications. In H. Tunney, Carton, O.T., Brookes, P.C., & Johnston, A.E. (Eds.), *Phosphorus loss from soil to water* (pp. 1-53). CAB International, Wallingford.
- Sims, J.T. (2000). The role of soil testing in environmental risk assessment for phosphorus The Chesapeake Bay. In A.N. Sharpley, (Ed.), *Agriculture and phosphorus management* (pp. 57-81). Lewis Publishers, Boca Raton.
- Smith, D.R. (2009). Assessment of in-stream phosphorus dynamics in agricultural drainage ditches. *Science of the total environment*, 407, 3883-3889.
- Swedish Standards Institution, (1979). *Water quality - Determination of pH-value of water*. SS 28122.
- Swedish Standards Institution, (1997). *Water quality - Determination of phosphorus - Ammonium molybdate spectrometric method*. SS-EN 1189.
- Vadas, P.A., P. J. A. Kleinman, A. N. Sharpley, & Turner, B.L. (2005). Relating soil phosphorus to dissolved phosphorus in runoff: A single extraction coefficient for water quality modeling. *Journal of environmental quality*, 34, 572-580.
- Vaughan, R.E., Needelman, B.A., Kleinman, P.J.A., & Allen, A.L. (2007). Spatial variation of soil phosphorus within a drainage ditch network. *Journal of environmental quality*, 36, 1096-1104.
- Wayland, K.G., Long, D.T., Hyndman, D.W., Pijanowski, B.C., Woodhams, S.M., & Haack, S.K. (2003). Identifying relationships between baseflow geochemistry and land use with synoptic sampling and R-mode factor analysis. *Journal of environmental quality* 32, 180-190.