

## Rapport över vattenkvaliteten i Söderfjärdens försöksområde (2010–2017)

Miriam Nystrand, Peter Österholm & Seija Virtanen

29 maj 2018

Datatolkningen i denna rapport baserar sig på resultat från Söderfjärdens demonstrationsfält som finns i närheten av Vasa (Fig. 1). På demonstrationsfältet har sedan år 2010 undersökts tre olika täckdikningsmetoders effekter på bl.a. grundvattennivån och vattenkvaliteten. Undersökningen påbörjades med projektet CATERMASS (Climate Change Tools for Environmental Risk Mitigation of Acid Sulphate Soils) (2010–2012) och har fortsatt med projektet BEFCASS (2013–2014) och VIOLA (2015–2018). Tanken är att ytterligare fortsätta följa upp effekterna på bl.a. vattenkvaliteten något år till. Dikesmetoderna är följande: 1) reglerad dränering med underbevattning dvs. reglerad dränering där man pumpar in tilläggsvatten några gånger under växtperioden (Tabell 1), 2) reglerad dränering där man inte pumpar in tilläggsvatten och 3) traditionell täckdikning. På varje delfält anlades tre reglerbrunnar och dessutom tre observationsrör via vilka grundvattennivån kan följas med i realtid. Reglerad dränering och underbevattning togs i bruk på försöksfältet år 2011, eftersom man det första året (2010) undersökte åkerns skördenivå och belastningen från skiftena före åtgärderna. Vattnet hindrades från att strömma från åkern tillbaka ut i diket genom att längs åkerns kanter installera en plastfilm som nådde ner till sulfidlagret, vilket börjar vid ca 1,5 m:s djup. Täckdikena på försöksfältet ligger på ca 1,2 m:s djup. Senhösten 2014 rensades/fördjupades det närliggande Nackdiket, vilket kan ha påverkar grundvattennivån och därmed även vattenkvaliteten. Datatolkningen för vattenkvaliteten baserar sig på prov tagna då det varit ett flöde över 0,08 L/s vid brunnarna som mynnar ut mot Nackdiket. Några prov har uteslutits pga. att det varit tjäle i marken vid provtagningen. Det har varit minst en vecka mellan provtagningarna så att vattnet hunnit bytas ut mellan provtagningarna. I skrivandets stund fanns tyvärr inte ännu alla elementresultat för åren 2015–2017 tillgängliga och därför gjordes tolkningen för vattenkvaliteten åren 2015–2017 (efter fördjupningen av Nackdiket) på basen av de redan tillgängliga resultaten (pH, elektrisk konduktivitet, aciditet, sulfat och klorid).

På fältet med reglerad täckdikning och underbevattning lyckades man hålla grundvattennivån ovanför sulfidlagren och även relativt bra ovanför täckdikensnivån de åren (2010–2014 och 2016) man pumpade in tilläggsvatten (12–50 mm/år; Tabell 1 och Fig. 2). Åren 2015 (efter fördjupningen av Nackdiket år 2014) och 2017 pumpades inte in tilläggsvatten i fältet. Följden var att grundvattennivån under sensommaren/tidiga hösten sjönk till sulfidlagret (73–75 dagar i ett streck; Tabell 2). Året efter fördjupningen av Nackdiket tog vattnet slut i diket, vilket även kan ha lett till den lägre grundvattennivån framförallt år 2015. På skiftet med reglerad dränering (utan inpumpat vatten) skedde oxideringen av sulfidlorer under en längre tid (0–182 dagar/år; Tabell 2 och Fig. 2) än för skiftet med underbevattning, men dock under betydligt kortare tid än vid vanlig täckdikning, där det sulfidrika lerskikten under sommaren exponerades för luftens syre under flera månader (83–195 dagar/år; Tabell 2 och Fig. 2). Grundvattennivån tenderade med åren att sjunka gradvist framförallt i referensfältet och fältet med endast reglerad dränering, men även något i fältet med underbevattning (Fig. 2). Detta kan bero på sura sulfatjordars typiska struktur som efter en upptorkning (omvandling från en vattenmättad sulfidrik lera till en torr sur sulfatjord) får en god och välutvecklad

aggregatstruktur (porös) där luft allt lättare tränger genom och på detta sätt även djupare ner i jordskiktet. Trots att grundvattennivån kunde hållas högre på skiftena med underbevattnings och reglerad dränering uppmättes endast små förändringar av markens pH-tal (Fig. 3) och aciditet (Fig. 4). Däremot ökade oxidationsdjupet i referensfältet med ca 30 cm (Fig. 3). Således har reglerad dränering och reglerad dränering med underbevattnings iallafall förhindrat oxidationsdjupet från att öka på fälten, där dessa metoder använts.

År 2010, innan reglerad dränering och underbevattnings togs i bruk på försöksfältet, var pH-värdet normalt under 4,5 i samtliga fält medan aciditet, sulfat- och metallhalterna var mycket höga i samtliga försöksfält (Fig. 5–9), på en nivå som är typisk för sura sulfatjordar (lerjordar) i Österbotten. Sulfathalten (Fig. 4) som påverkas mer eller mindre direkt av sulfidoxidationen är en av de viktigaste variablerna för att visa på eventuella effekter på sulfidoxidation. En stor del av sulfaten har frigjorts långt innan försöken påbörjades. Mängden sulfat som urlakades årligen under försöket motsvarar ungefär den mängd lösligt svavel som finns i den oxiderade markprofilen, men är ändå en liten bråkdel av den totala mängden svavel som fortfarande förekommer i olöst form i marken. Mängden frigjord aciditet som redan finns lagrad i marken var däremot extremt stor i förhållande till mängden syra som lakas ut årligen, vilket tyder på att aciditeten inte kan minskas snabbt enbart med att minska på oxidationen. Till detta behövs reduktion som konsumerar syra, dvs. det motsatta till oxidationsprocessen som frigör syra. Utsläppen av aciditet var klart högst för referensfältet på höstarna (Fig. 7). För höstarna tenderade aciditeten att sjunka lite i försöksfältet med underbevattnings (CDI) och kontrollerad dränering (CD) till hösten 2014 (före fördjupningen av Nackdiket), men trots att utgångsnivån var mycket högre i referensfältet (REF) så skedde en motsvarande sänkning där (Fig. 7). Efter fördjupningen år 2014 ökade aciditeten igen litegrann på höstarna i samtliga fält (mest i REF och CD; Fig. 7), vilket eventuellt beror på den lägre grundvattennivån förorsakad av dikningen. Detta förorsakade högst sannolikt ett djupare oxidationsdjup (bättre jordstruktur) och därmed större utsläpp av surt vatten. Trots att koncentrationskillnaderna för aciditeten mellan delfälten var signifikanta (framförallt på hösten) och vattenkvaliteten förbättrades något är aciditeten i det vatten som kommer ut från åkern fortfarande hög och överstiger tydligt gränsvärdet (0,3 mmol/l) för åvatten. Trots att det vatten som kommer ut från täckdikena späds ut när det blandas med annat vatten från avrinningsområdet skulle kvaliteten på dräneringsvattnet ännu behöva förbättras.

I början av försöksperioden var pH i CD och CDI c. 4,1 på våren och c. 4,0 på hösten och steg med c. 0,1–0,2 enheter under försöksperioden (Fig. 5). För REF var pH genomgående c. 0,1–0,3 pH-enheter lägre och det fanns inte heller någon tydligt stigande trend (Fig. 5). Det går inte med säkerhet att säga att grundvattenhöjningen skulle ha påverkat pH och även dikningen av Nackdiket har inte nämnvärt påverkat pH. Den elektriska konduktiviteten (EC) har sjunkit kraftigt i samtliga delfält (Fig. 5). Minskningen är störst i CD på hösten där EC halverats under försökstiden (Fig. 5). Minskningen är något mindre i REF så är det möjligt att regleringen minskat på mängden lösta ämnen i dräneringsvattnet (Fig. 5). Fördjupningen av Nackdiket påverkade inte nämnvärt konduktiviteten (Fig. 5).

I enlighet med tidigare studier var sulfathalterna högre på hösten (under högvattenflöden) än på våren (Fig. 6). Sulfathalterna sjönk dramatiskt till hösten 2014, framförallt på hösten då minskningen var c. 60 % för CD och c. 50 % för CDI (Fig. 6). På våren minskade sulfathalterna c. 30 % för dessa fält (Fig. 6). Men det är noterbart att minskningen var nästan lika stor för REF

där grundvattennivån inte reglerades (Fig. 6). Ungefär motsvarande minskning kunde ses för klorid (Fig. 6) som inte är direkt beroende av sulfidoxidation utan snarare av naturliga variationer. Det är således uppenbart att den dramatiska minskningen till hösten 2014 i första hand berodde på naturliga variationer och/eller något annat än grundvattenhöjningen, dvs. dessa variationer var så stora att de eventuella effekterna av kontrollerad dränering eller underbevattning inte med säkerhet kunde urskiljas. Efter fördjupningen år 2014 ökade sulfathalterna igen litegrann på höstarna i i REF och CD (Fig. 6), vilket eventuellt beror på den lägre grundvattennivån förorsakad av dikningen. Även halterna av ett flertal metaller (bl.a. Cd, Co, Mn, Ni, Y och Zn) som är typiska för sulfatjordar var mycket höga och korrelerade starkt med svavel- och kloridhalten, dvs. haltvariationerna var mycket liknande och metallhalterna tenderade således att sjunka kraftigt i samtliga fält under försöksperioden. Följaktligen går det inte heller med säkerhet att urskilja eventuella effekter av behandlingarna för dessa element.

Aluminium är kanske den mest skadliga metallen som lakas ut ur sulfatjordar och brukar reagera kraftigt på pH-förändringar. Aluminium är också en av de få metaller som ser ut att ha kunnat påverkas en aning av den förhöjda grundvattennivån (aluminiumhalterna var klart högst i referensfältet; Fig. 8), men den naturliga variationen var större och således kan det inte fastslås med säkerhet att grundvattenhöjningen signifikant minskade Al-halten. Att aluminium liksom andra för sulfatjordar typiska metaller även korrelerade starkt med Cl, indikerar att den generella haltminskningen (Fig. 8) berodde på andra hydrologiska mekanismer, exempelvis hur mycket avrinningsvattnet späds ut och/eller transporteras från olika marklager/-porer till dräneringsrören. Eftersom dessa hydrologiska faktorer tycks spela en mycket stor roll för vattenkvaliteten så kan det finnas skäl att undersöka närmare om detta skulle vara det effektivaste sättet att minska belastningen på mellanlång sikt (c. 10–15 år).

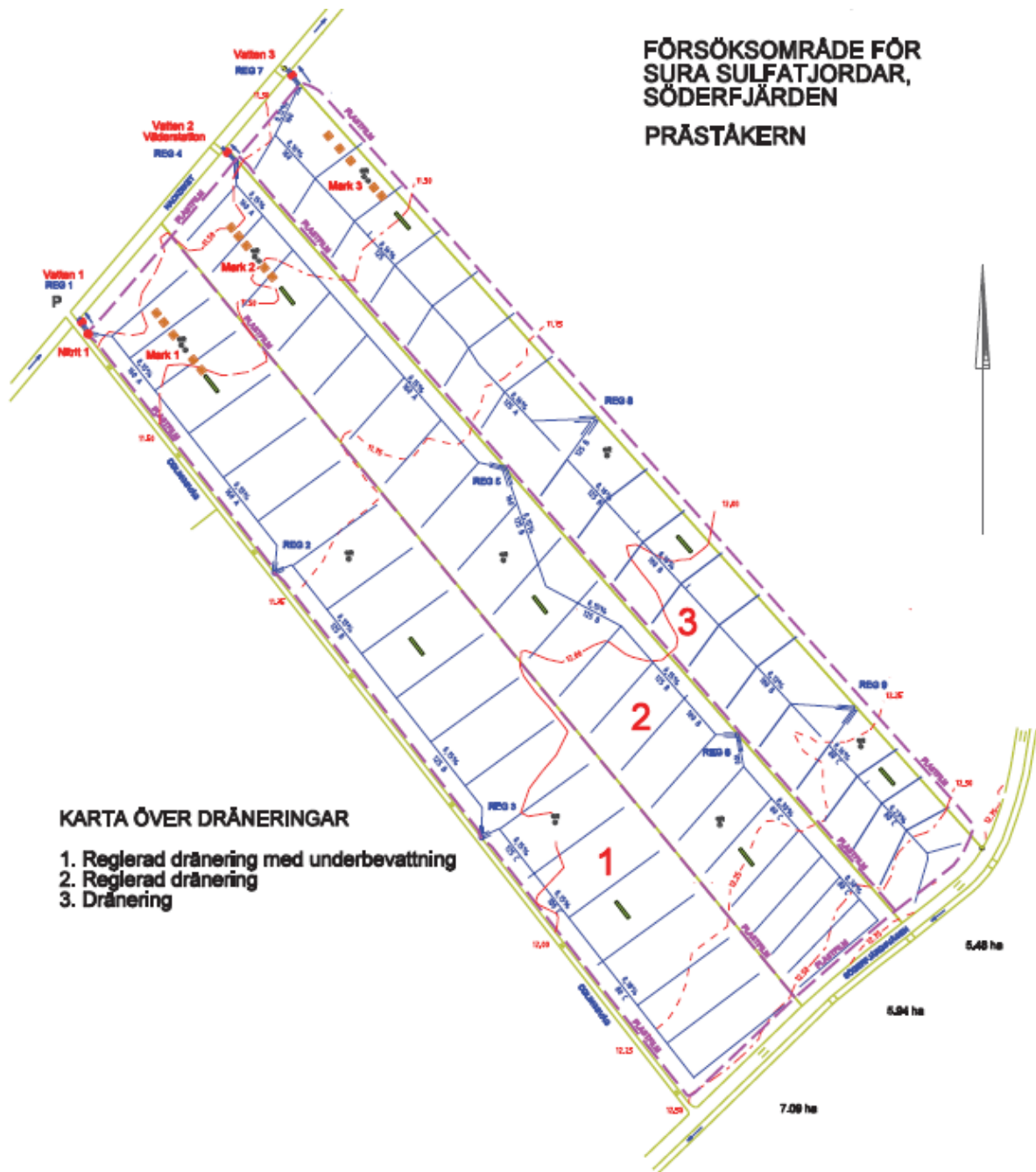
Liksom på andra finkorniga sura sulfatjordar i Österbotten så var haltvariationerna för järn annorlunda och halterna var inte anmärkningsvärt höga (Fig. 9). Vid de pH-värden som råder i Söderfjärden så är järnets löslighet främst beroende av oxidationsförhållandena. Oxidation av järnsulfider frigör järn, men eftersom relativt oxiderande förhållanden råder i den välstrukturerade sulfatjorden så fälls järnet ut som "rost" längs med sprickväggar i jorden. Under långvariga syrefria perioder pga. vattenmättnad kan järnfällningarna åter lösa upp sig och lakas ut ur jorden. Det är tydligt att CDI har höjt järnhalterna (Fig. 9); detta är kanske den mest tydliga effekten som grundvattenhöjningen haft på vattenkemin. Även om förhöjda järnhalter inte är ett positivt resultat i sig så visar det att det går att skapa reducerande förhållanden i marken. Det är noterbart att järnhalterna inte steg till anmärkningsvärt höga nivåer. CD har däremot inte höjt järnhalten i jämförelse med REF (Fig. 9). Arsenik tenderar att fällas ut tillsammans med järn och skulle åter kunna mobiliseras när järn löser upp sig, men detta var inte fallet i försöksfältet. En annan risk skulle kunna vara att salter ackumuleras i det underbevattnade fältet, men det fanns inga tecken på detta i vattendatat.

Sammanfattningsvis kan konstateras att man med hjälp av reglerad dränering och underbevattning kan hålla grundvattennivån ovanför sulfidlagren och även relativt bra ovanför täckdikensnivån de år man pumpar in tilläggsvattnet. Detta har dock inte ännu nämnvärt hjälpt till att minska på oxidationsdjupet. Även endast reglerad dränering hjälper till en vis mån att hålla grundvattennivån ovanom sulfidlagret, men vid torrare perioder tenderar grundvattennivån emellertid att sjunka ända ner till sulfidlagret. I CD har likaså oxidationsdjupet under försöksperioden hållits på samma nivå emotsatts till REF, där

oxidationsdjupet ökade litegrann. Positivt är att vattenkvaliteten blivit märkbart bättre i samtliga försöksfält under försöksperioden 2010–2017, men att detta till största delen beror på något annat än den förhöjda grundvattennivån. Det skulle bl.a. kunna vara möjligt att plastfilmen som installerades 2010 runt samtliga fält har påverkat vattnets flödesvägar genom marken, även i REF, men vi har ännu ingen modell för hur eller varför detta skulle förbättra vattenkvaliteten. Sammanfattningsvis kan även konstateras att rensningen/ fördjupningen av Nackdiket inte hade någon nämnvärd påverkan på vattenkvaliteten.

Underbevattningen ser ut att eventuellt minska något på oxideringen av svavel i sulfidform till sulfat i marken, men det förefaller som att mängden aciditet som redan frigjorts till marken är svår att bli av med under en rimlig tid genom att bara minska oxidationen. Även om grundvattenhöjningen förefaller att ha liten effekt på kort sikt så kan det dock inte uteslutas att under en situation som under den extremt torra sommaren 2006 så skulle CDI och ev. CD kunna spela en avgörande roll genom att förhindra att de värsta markskikten oxideras och tillför kraftigt förhöjda mängder syra och metaller till dräneringsrören. Tidigare forskning indikerar att en sådan extremt torr sommar mobiliserar så stora aciditets- och metallreserver till marken att det tar flera år innan situationen normaliseras. Således kan en orsak till de exceptionellt höga halterna i början av försöksperioden (år 2010) ännu vara en följd av den kraftiga försurningen och mobiliseringen av metaller år 2006. Från och med 2011 började metallhalterna igen normaliseras efter "surchocken" år 2006 och detta var mest sannolikt orsaken till den kraftiga sänkningen av sulfat och metallhalter i samtliga delfält under försöksperioden. Statistiskt sett uppkommer förhållanden likt de år 2006 ungefär vart tionde år, men sådana förhållanden uppkom emellertid inte under försöksperioden åren 2010–2017. Emellertid har våren 2018 varit exceptionellt varm och torr och om sådana förhållanden fortsätter och följs av kraftiga höstregn kan det tyvärr igen uppstå liknande förhållanden som de år 2006.

Nedan presenteras figurer och tabeller till rapporten.



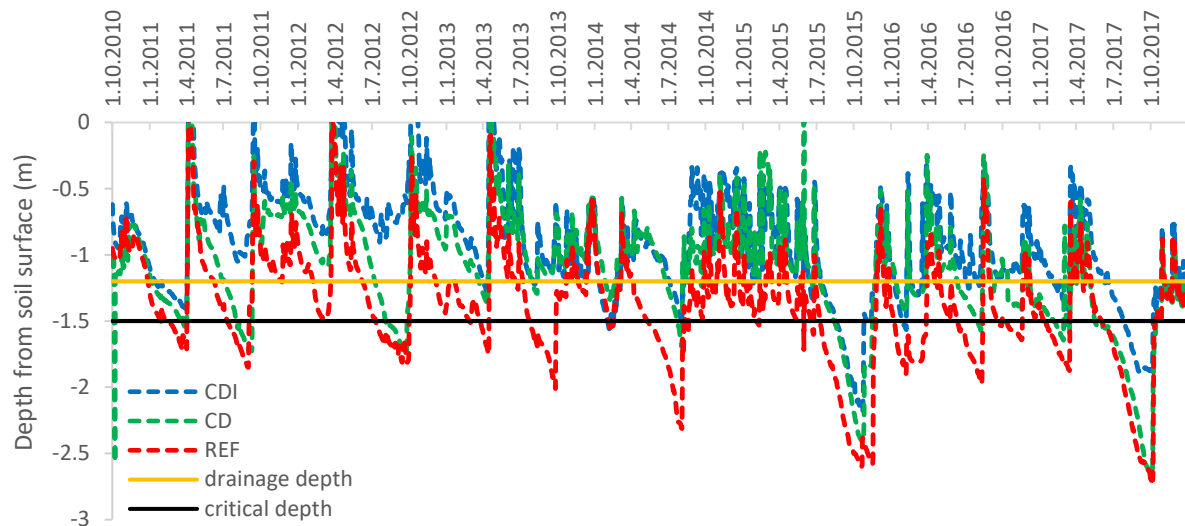
Figur 1. Försöksfältet på Söderfjärden (karta: Rainer Rosendahl) som finns i närheten av Vasa, Finland.

Tabell 1. Mängd vatten (mm/år) som pumpats in i delfältet med reglerad dränering och underbevattning per år.

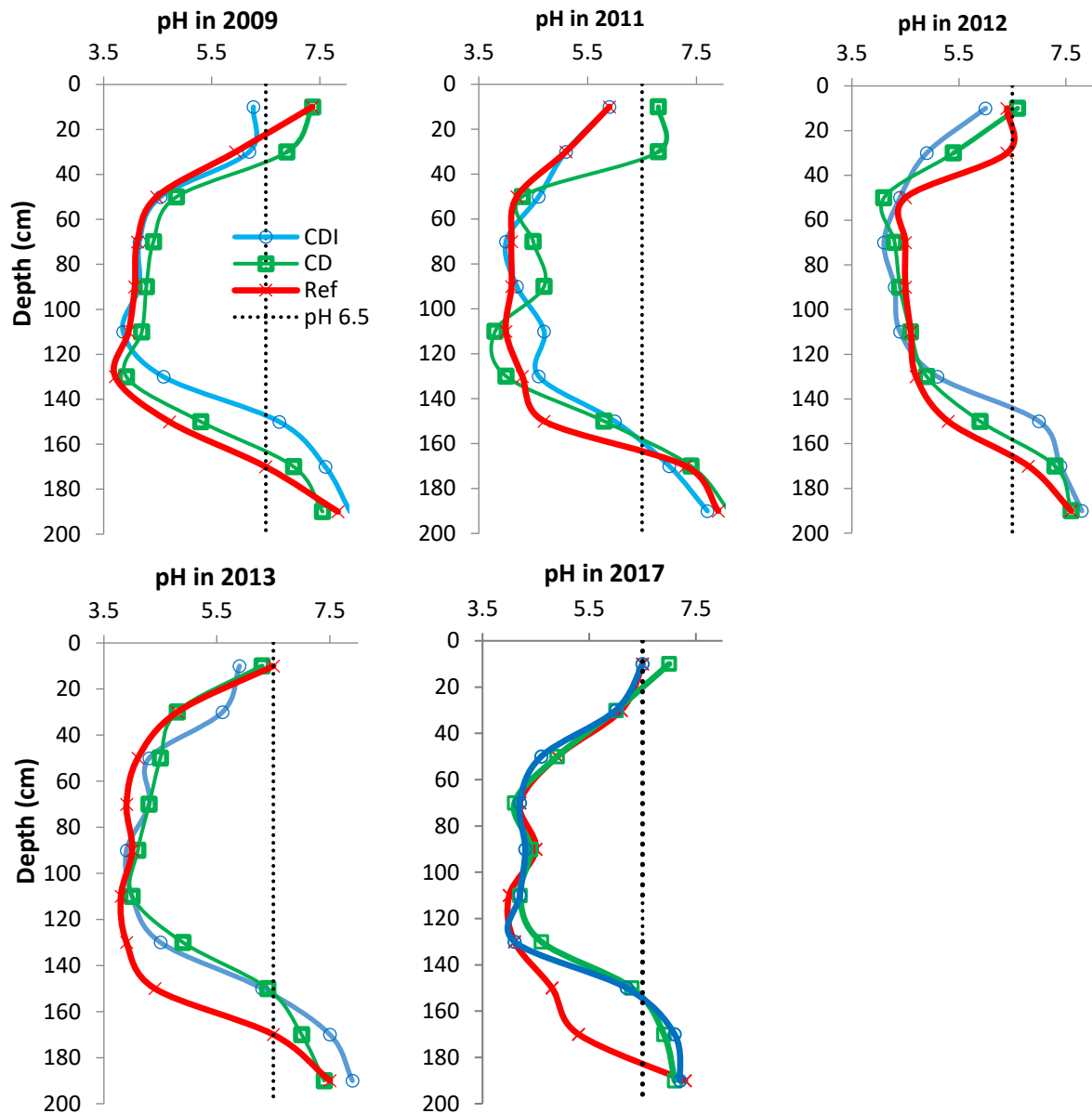
2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
31	50	12	28	-	21	-

Tabell 2. Antal dagar/år där grundvattennivån sjönk under täckdikets djup och ner till sulfidlagret i varje delfält. För åren markerat i blått skedde underbevattning i CDI. CDI = reglerad dränering med underbevattning; CD = reglerad dränering; REF = dränering.

			2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<b>CDI</b>	Under täckdikets djup (1.2 m)	Dagar/år	91	0	88	85	143	77	198
<b>CDI</b>	Ner till sulfidlagret (1.5 m)	Dagar/år	0	0	0	12	75	10	73
<b>CD</b>	Under täckdikets djup (1.2 m)	Dagar/år	175	94	133	75	140	201	303
<b>CD</b>	Ner till sulfidlagret (1.5 m)	Dagar/år	53	45	0	13	95	11	182
<b>REF</b>	Under täckdikets djup (1.2 m)	Dagar/år	232	241	281	270	282	310	306
<b>REF</b>	Ner till sulfidlagret (1.5 m)	Dagar/år	105	83	91	111	152	190	195

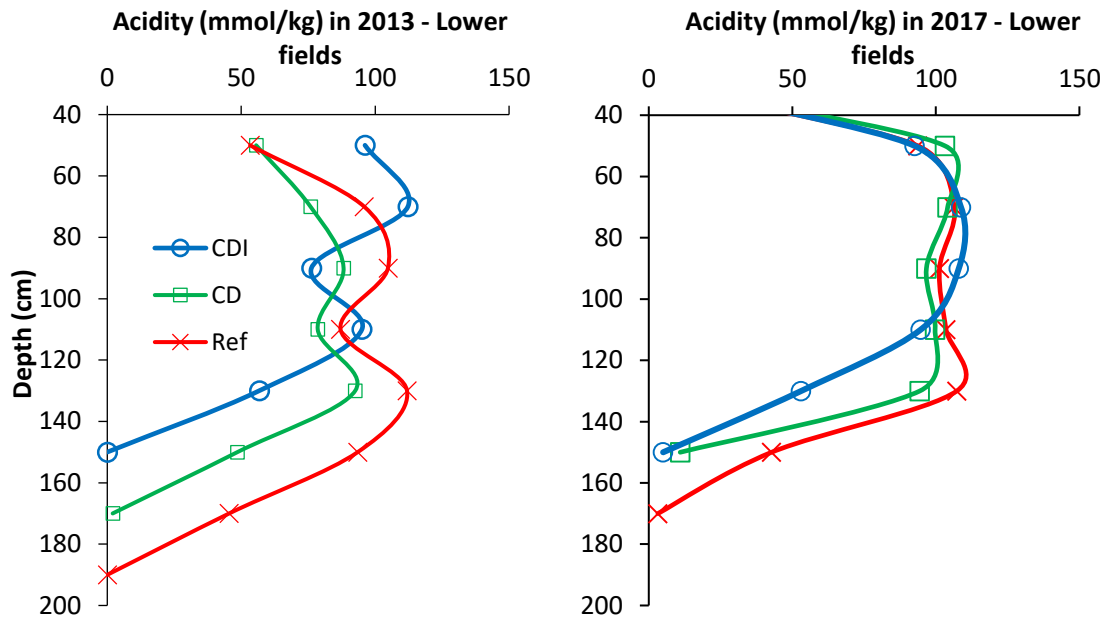


Figur 2. Kontinuerligt uppmätta grundvattennivån på Söderfjärdens försöksfält på de olika delfälterna åren 2011–2017. De kontinuerligt och manuellt mätta grundvattennivåerna stämde väl överens (skillnaden mellan mätresultaten var mestadels <10 cm). CDI = reglerad dränering med underbevattning; CD = reglerad dränering; REF = dränering.

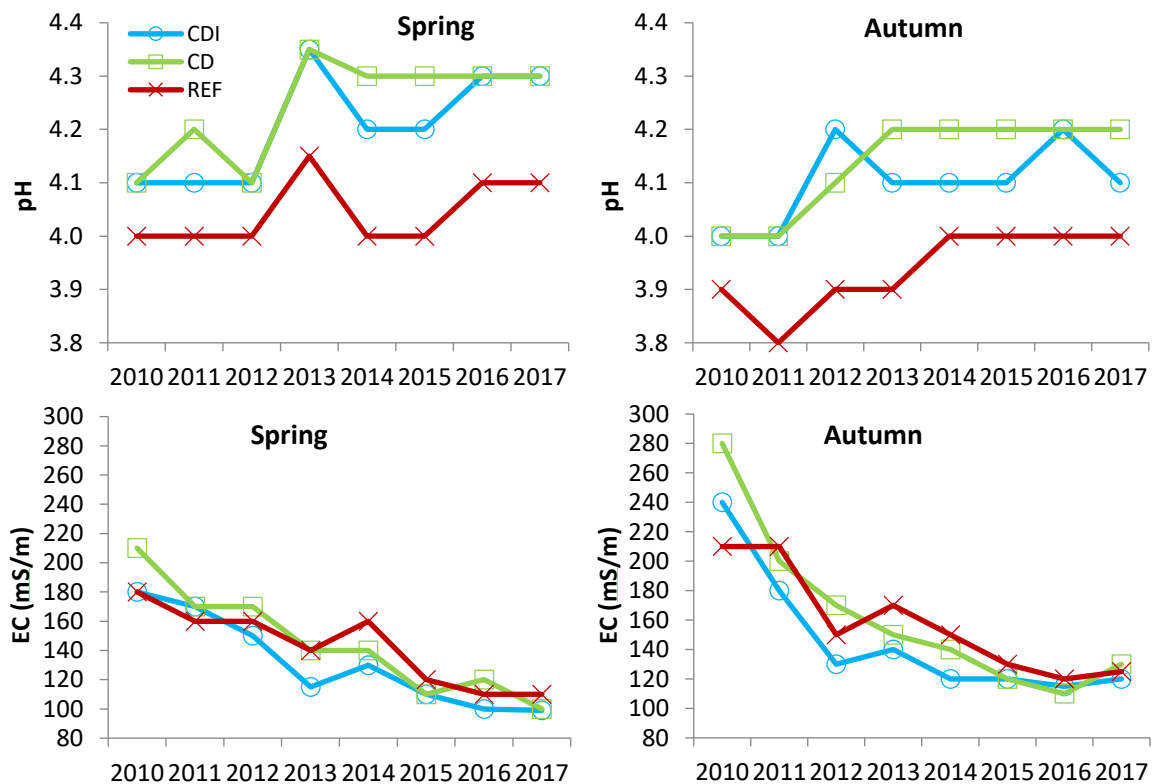


Figur 3. pH uppmätt i markprofiler tagna 2009–2017. Trots att grundvattennivån kunde hållas högre på skiftena med underbevattning och reglerad dränering uppmättes endast små förändringar av markens pH-tal under åren 2009–2017. Däremot ökade oxidationsdjupet i referensfältet litegrann. CDI = reglerad dränering med underbevattning; CD = reglerad dränering; REF = dränering.

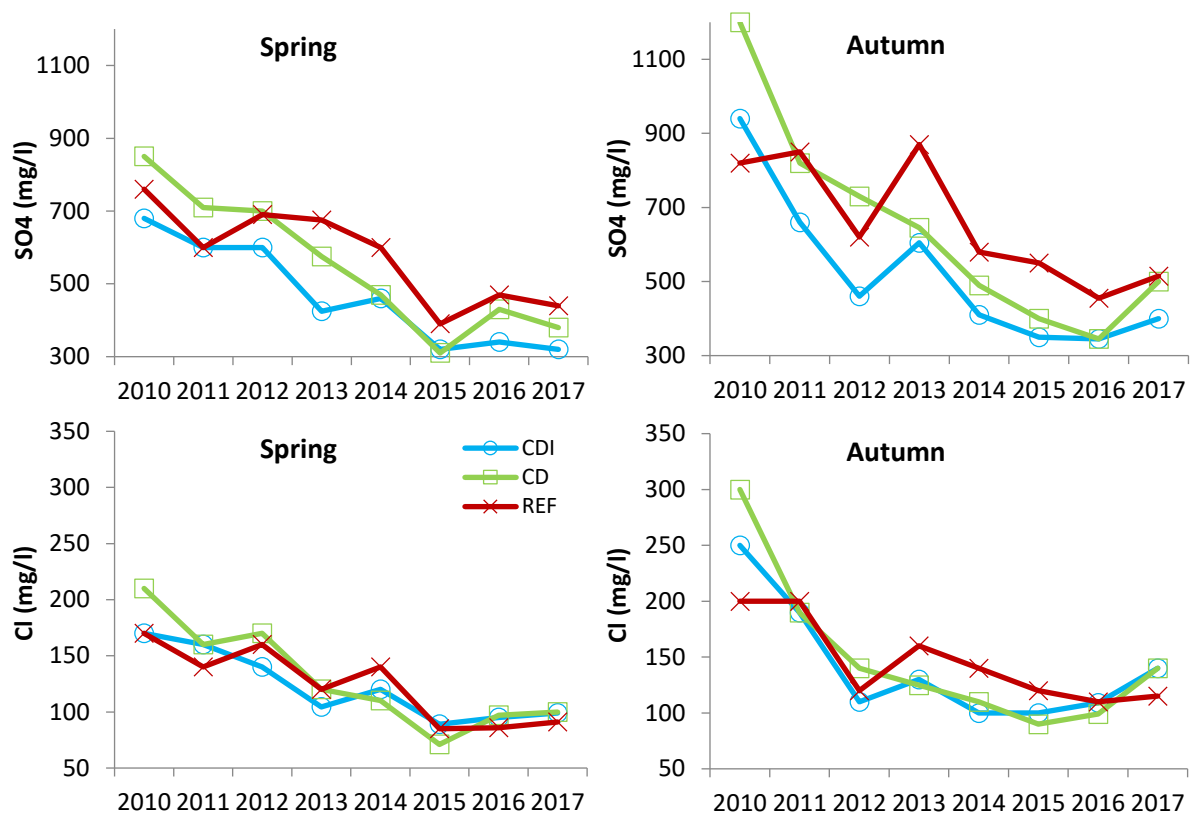




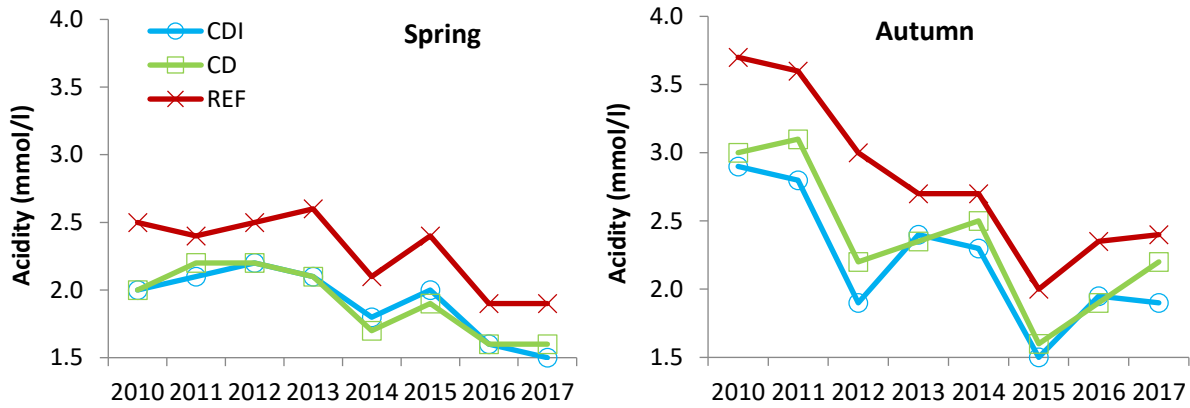
Figur 4. Aciditet uppmätt i markprofiler tagna år 2013 och 2017. Aciditeten sjönk endast en aning i CD och REF. CDI = reglerad dränering med underbevattning; CD = reglerad dränering; REF = dränering.



Figur 5. pH och EC uppmätt i brunnarna som mynnar ut mot Nackdiket. pH-värden var genomgående lägst i REF. pH var något lägre i samtliga fält på hösten, vilket motsvarar resultat från andra studier (förutsätter att höstens lågvattenflöden filtreras bort). Går inte att bevisa att grundvattenhöjningen skulle höja pH eftersom den naturliga variationen är så stor. Dessutom är pH aningen högre i CD. Den elektriska konduktiviteten (EC) har sjunkit kraftigt. Minskningen är störst i CD på hösten där EC halverats under försökstiden. Minskningen är något mindre i REF så är det möjligt att regleringen minskat på mängden lösta ämnen i dräneringsvattnet. CDI = reglerad dränering med underbevattning; CD = reglerad dränering; REF = dränering.



Figur 6. Sulfat och klorid uppmätt i brunnarna som mynnar ut mot Nackdiket. Element som även har liknande trend som sulfat (men inte visas som figurer) är Ca, Cd, Co, Hf, Mg, Mn, Na, Ni, Sr, Ta, Y, Zn. Sulfat är i princip den viktigaste variabeln för att mäta belastningen från sulfatjordar och borde minska pga. minskad oxidation. Liksom för EC så har sulfathalten sjunkit dramatiskt, men eftersom sulfathalten även minskade signifikant i referensfältet och då minskningen inte var störst i CDI som hade högsta grundvattennivån så torde de lägre halterna i behandlade fält i första hand bero på naturliga orsaker. Det är möjligt att regleringen minskade på sulfathalten, men de naturliga variationerna var alltså större. Efter fördjupningen av Nackdiket år 2014 ökade sulfathalterna litegrann på höstarna i REF och CD (Fig. 6), vilket eventuellt beror på den lägre grundvattennivån förorsakad av dikningen. Halterna och minskningen av klorid, som inte är direkt beroende av oxidationsreaktioner, var mycket lika som för sulfat. Detta är ett ytterligare argument för att minskningen av sulfathalterna inte i första hand berodde på minskad oxidation utan snarare på direkta hydrologiska orsaker. Resultatet är intressant eftersom det indikerar att det kan vara möjligt att påverka mekanismerna som transporterar syra och metaller från djupare markskikt till täckdiken.



Figur 7. Aciditet uppmätt i brunnarna som mynnar ut mot Nackdiket. Aciditeten var relativt stabil i samtliga fält på våren fram till år 2015, men därefter sjönk aciditeten tydligt framförallt i CDI och CD. Aciditeten klart högst (> 3,5 mmol/L) på hösten i REF i början av försöksperioden. Den sjönk märkbart 2012, men var fortfarande på en hög nivå i slutet av försöksperioden. Efter fördjupningen av Nackdiket år 2014 ökade aciditeten litegrann på höstarna i samtliga delfält, vilket eventuellt beror på den lägre grundvattennivån förorsakad av dikningen.

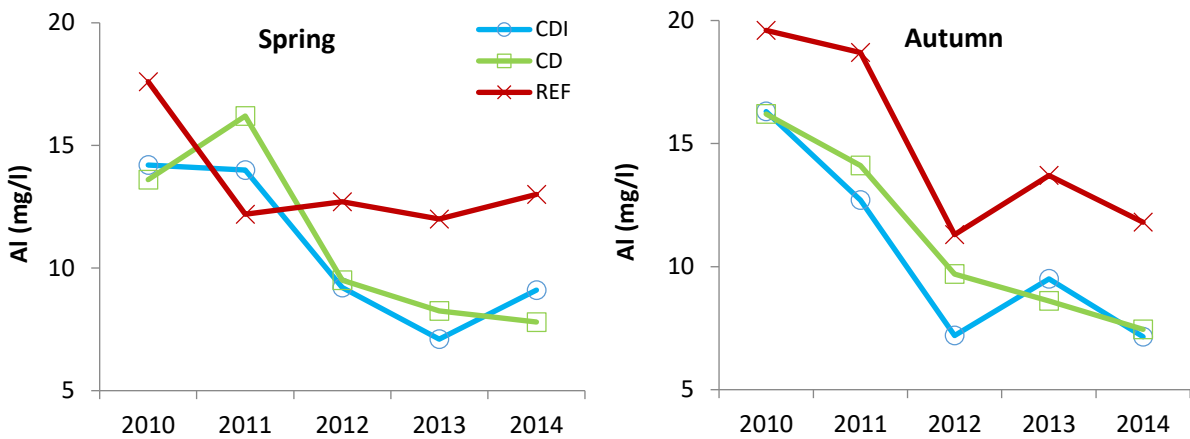


Fig. 8. Aluminium uppmätt i brunnarna som mynnar ut mot Nackdiket. Aluminiumhalterna var klart högst i referensfältet. Halterna minskade 30–40% på hösten och 40–50% på våren. Minskningen var aningen lägre i REF. Det kan inte uteslutas att den förhöjda grundvattennivån hade en viss effekt på aluminiumhalterna, men de naturliga variationerna var större.

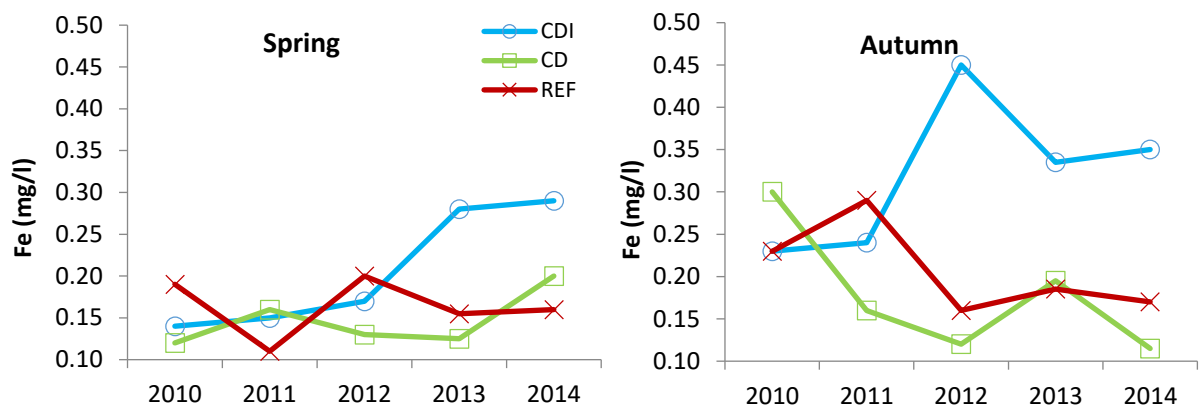


Fig. 9. Järn uppmätt i brunnarna som mynnar ut mot Nackdiket. Järnhalterna var inte anmärkningsvärt höga. Vid de pH-värden som råder i Söderfjärden så är järnets löslighet främst beroende av oxidationsförhållandena. Oxidation av järnsulfider frigör järn, men eftersom relativt oxiderande förhållanden råder i den välstrukturerade sulfatjorden så fälls järnet ut som "rost" längs med sprickväggar i jorden. Under långvariga syrefria perioder pga. vattenmättad mark kan järnfällningarna åter lösa upp sig och kan lakas ut ur jorden. Även om halterna inte var anmärkningsvärt höga så är det tydligt att CDI har höjt järnhalterna genom att markförhållandena har blivit mera reducerande.