

# MTT | RAPPORT 89

---

## **Minskning av miljörisiker orsakade av sura sulfatjordar Handbok för reglering av grundvattennivån**

Jaana Uusi-Kämpä, Seija Virtanen, Rainer Rosendahl, Peter Österholm,  
Merja Mäensivu, Vincent Westberg, Kristiina Regina, Kari Ylivainio, Markku Yli-Halla,  
Peter Edén och Eila Turtola



---

**Minskning av miljörisker orsakade  
av sura sulfatjordar  
Handbok för reglering av  
grundvattennivån**

---

Minskning av sura sulfatjordars miljörisker – metoder för anpassning till  
förändrade klimatförhållanden (CATERMASS)-projektet

Jaana Uusi-Kämppä, Seija Virtanen, Rainer Rosendahl, Peter  
Österholm, Merja Mäensivu, Vincent Westberg, Kristiina Regina,  
Kari Ylivainio, Markku Yli-Halla, Peter Edén och Eila Turtola



Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus  
Närings-, trafik- och miljöcentralen



ISBN: 978-952-487-441-0 (tryckt)

ISBN: 978-952-487-442-7 (webbversion)

ISSN 1798-6419

<http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti89.pdf>

Copyright: MTT

Författare: Jaana Uusi-Kämpä, Seija Virtanen, Rainer Rosendahl, Peter Österholm, Merja Mäensivu, Vincent Westberg, Kristiina Regina, Kari Ylivainio, Markku Yli-Halla, Peter Edén och Eila Turtola

Översättning: Anna Bonde och Merja Mäensivu

Utgivare och förläggare: MTT Jokioinen

Publikationsår: 2013

Pärmbild: Rainer Rosendahl

---

# Minskning av miljörisker orsakade av sura sulfatjordar

## Handbok för reglering av grundvattennivån

---

Jaana Uusi-Kämpä<sup>1)</sup>, Seija Virtanen<sup>2)</sup>, Rainer Rosendahl<sup>3)</sup>, Peter Österholm<sup>4)</sup>, Merja Mäensivu<sup>5)</sup>,  
Vincent Westberg<sup>5)</sup>, Kristiina Regina<sup>1)</sup>, Kari Ylivainio<sup>1)</sup>, Markku Yli-Halla<sup>2)</sup>, Peter Edén<sup>6)</sup>  
och Eila Turtola<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> MTT, Kasvintuotannon tutkimus, Planta, 31600 Jokioinen, fornamn.efternamn@mtt.fi

<sup>2)</sup> Institutionen för livsmedels- och miljövetenskaper, Mark- och miljövetenskap. PB 27 (Ladugårdsbågen 11), 00014 Helsingfors universitet

<sup>3)</sup> Pro Agria Österbottens svenska lantbrukssällskap, Handelsplanaden 16D, 65100 Vasa, fornamn.efternamn@proagria.fi

<sup>4)</sup> Geologi och mineralogi, Åbo Akademi, Domkyrkotorget 1, 20500 Åbo, fornamn.efternamn@abo.fi

<sup>5)</sup> ELY-centralen i Södra Österbotten, PB 262, 65101 Vasa, fornamn.efternamn@ely-keskus.fi

<sup>6)</sup> GTK, PB 97, Vasavägen 6, 67101 Karleby, fornamn.efternamn@gtk.fi

## Sammanfattning

I västra och södra Finlands kustområden finns sura sulfatjordar (alunjordar) som tidigare utgjort havsbotten. I havsbottens syrefria miljöer omvandlades svavelföreningar i växtrester och havsvattnets sulfat till sulfider på grund av bakteriell verksamhet. Torrläggning och ibrukttagande av mark för odling kommer jordlagren som tidigare varit havsbotten i kontakt med luftens syre och oxideras, vilket leder till att de småningom blir sura sulfatjordar. Svavelsyran som bildas då sulfidlagren oxideras, försurar både jord och avrinningsvatten. På grund av surheten urlakas ur marken aluminium och tungmetaller, som är skadliga för organismer. Detta kan leda till fiskdöd och att djur med kalkskal i vattendragen försvinner. Förutom belastningen på vattendragen, så kan också växthusgasutsläppen från dessa marker vara ansevära. Genom att hålla sulfiderna under grundvattennivån strävar man till att förhindra att försurningsproblemen uppstår.

Denna handbok beskriver hur grundvattennivån kan regleras för att minska den skadliga oxideringen. Handboken baserar sig på resultat från Söderfjärdens demonstrationsfält som finns i närheten av Vasa. På demonstrationsfältet utreddes tre olika täckdikningsmetoders effekter på grundvattennivån, belastningen på vattnet och luften samt på skörden. Dikningsmetoderna var följande: 1) underbevattning dvs. reglerad dränering där man pumpar in tilläggsvattnet, 2) reglerad dränering där man inte pumpar in tilläggsvattnet och 3) traditionell täckdikning. På fältet med reglerad täckdikning där man pumpade in tilläggsvattnet några gånger under växtperioden, lyckades man hålla grundvattennivån ovanför sulfidlagren. Vattnet hindrades från att strömma från åkern tillbaka ut i diket genom att längs åkerns kanter installera en plastfilm som nådde ner till sulfidlagret.

I handboken behandlas också kortfattat förekomst och identifiering av sura sulfatjordar samt miljöskador orsakade av sura sulfatjordar. I sista delen presenteras resultat från demonstrationsåkrarna åren 2010–2012. Man kan bekanta sig med resultaten också på webbplatsen ([www.catermass.fi](http://www.catermass.fi)).

---

**Nyckelord:** Sur sulfatjord, pH, grundvattennivå, urlakning, kväve, metaller, växthusgaser, vattendragsbelastning, täckdikning

---

---

## Förord

---

Rikliga mängder av metaller frigörs från kustområdets sura sulfatjordar till ytvattnen. Metallerna sköljs ut till vattendragen med avrinningsvattnet från åkrarna. I området är ytvattens kemiska status sämre än god främst på grund av kadmiumutsläppen från sura sulfatjordar (Rautio m.fl. 2010). Försurnings- och metallbelastningen kan minskas, genom att hålla grundvattennivån ovanför sulfidlagren som börjar på 1,5-2 m djup. Då luftens syre inte kommer ner till sulfidlagren förhindras oxidering av de mest sulfidrika jordlagren och följaktligen minskar försurningsproblemen. Forskningsresultat om höjning av grundvattennivån har samlats i den här handboken.

Reglering av grundvattennivån på odlingsmark och miljöeffekter som regleringen orsakar har utretts på korn- och veteåkrar på ett försöksfält som grundats på Söderfjärden i närheten av Vasa och på vallodling på försöksfältet i Pedersöre i närheten av Jakobstad. Inom Helsingfors universitet har man undersökt grundvattennivåns effekter på jorden, ytvattnet och rörlensplanter under kontrollerade förhållanden i en jordpelare. Forskningsresultaten är en del av projektet ”Minskning av sura sulfatjordars miljörisker – metoder för anpassning till klimatförändringen” (Climate Change Adaptation Tools for Environmental Risk Mitigation of Acid Sulphate Soils – CATERMASS). Inom delprojekt 3 ”Utveckling av metoder för att minska skadorna och anpassning av metoderna till jord- och skogsbruk under förändrade klimatförhållanden” har denna handbok sammanställts om hur grundvattennivån kan regleras så att de sura sulfatjordarnas sulfidlager hålls mättade med vatten under olika klimatförhållanden året runt, även under sommaren. Man har förutspått att risken för torra somrar eller störtregn liksom också nederbörds mängderna på hösten och vintern ökar på grund av klimatförändringen. Det är i synnerhet omfattande regn efter en torr sommarperiod som kan öka surhets- och metallbelastningen från åkrarna ut till vattnet. Enligt resultaten från försöksfälten kan grundvattennivån på flacka åkrar höjas med hjälp av reglerad dränering tillsammans med pumpning av tilläggs vatten till täckdikningssystemet samt med hjälp av en plastfilm som installeras längs åkerkanten. Syftet med plastfilmen är att förhindra vattnet från att rinna förbi regleringssystemet till diket. Målsättningen är att minska oxidering av sulfidlagren och därmed minska hela försurningsproblemet. I slutet av handboken presenteras resultaten från försöksfälten kort. I slutet av handboken finns också en lista över några publikationer där de nämnda forskningsresultaten finns noggrannare presenterade och annan litteratur som berör ämnet. I ett senare skede publiceras ett mer omfattande sammandrag av delprojektets resultat.

Finlands miljöcentral (SYKE) har fungerat som huvudkoordinator för CATERMASS-projektet. Delprojekt 3 koordinerades av Forskningscentralen för jordbruk och livsmedelsekonomi (MTT) och i delprojektet deltog MTT, Helsingfors universitet, Åbo Akademi, Närings-, trafik- och miljöcentralen i Södra Österbotten, ProAgria Österbottens svenska lantbrukssällskap samt Geologiska forskningscentralen (GTK). Delprojektet har finansierats av Life+-programmet, jord- och skogsbruksministeriet, Österbottens, Södra Österbottens och Mellersta Österbottens förbund, Salaojituksen tukisäätio, Oiva Kuusisto fonden samt projektpartners som deltagit i delprojektet med egenfinansiering.

# Innehåll

1	Sura sulfatjordar och deras utsläppsrisker .....	6
1.1	Uppkomsten av surhet .....	6
1.2	Grundvattennivån och oxidering av sulfider.....	7
1.3	Hurudan miljöpåverkan orsakar sura sulfatjordar?.....	7
1.3.1	Försurning av jordmånen och vattendragen, samt metallbelastning .....	7
1.3.2	Kväveutsläpp till luft och vatten .....	7
1.4	Var finns sura sulfatjordar? .....	8
1.5	Hur känner man igen sura sulfatjordar? .....	9
2	Reglering av grundvattennivån.....	11
2.1	Reglerad dränering.....	12
2.2	Pumpning av tilläggsvattnen .....	14
2.3	Installation av plastfilm.....	16
3	Resultat från CATERMASS-projektet.....	18
3.1	Dräneringsvattnets kvalitet .....	20
3.2	Växthusgaser .....	21
3.3	Markens pH-värde och näringsämnen samt skörderesultat .....	21
3.4	Kostnader .....	21
4	Litteratur .....	23
5	Tilläggsuppgifter.....	24

# 1 Sura sulfatjordar och deras utsläppsrisker

## 1.1 Uppkomsten av surhet

Efter istiden, för ungefär 8000 år sedan, började svavelhaltiga sediment lagras på botten av Litorinahavet och senare havskeden (bild 1) som fanns före nuvarande Östersjön. Svavel förekommer i form av järnsulfider i sedimenten. Järnsulfiderna är vanligen pyrit ( $\text{FeS}_2$ ), dessutom kan monosulfider ( $\text{FeS}$ ) förekomma. Det är just monosulfiderna som ger jorden dess typiska svarta färg som är lätt att identifiera. Trots detta kan också ljus lera vara sulfidhaltig; då är mängden monosulfider i leran mycket låg.

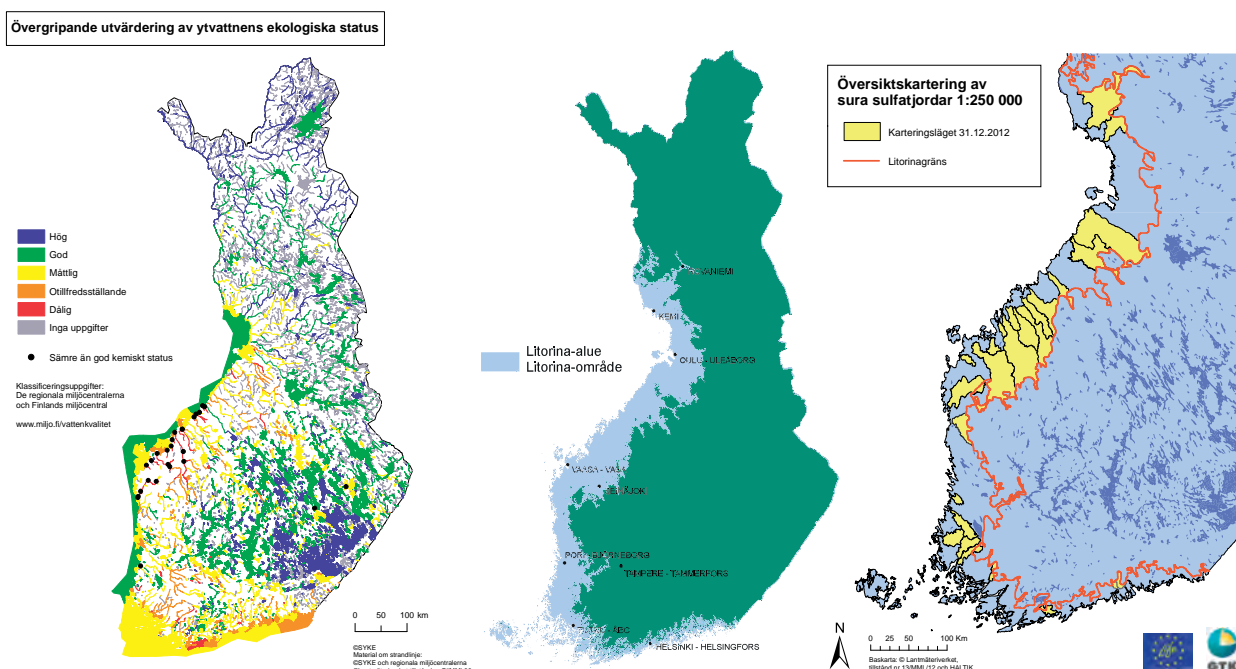


Bild 1. Till vänster Finlands ytvattens ekologiska och kemiska status (Bild: Regionala miljöcentraler och Finlands miljöcentral), i mitten områden längs Finlands kust täckta av Litorinahavet för cirka 7 200 år sedan (Källa: Tikkanen & Oksanen 2002, Bild: Anna Bonde, ELY-centralen i Södra Österbotten) och till höger kartering av sura sulfatjordar, situationen i slutet av år 2012 (Bild: GTK).

Om sulfidlagret kommer i kontakt med luftens syre, startar en lång kedja av kemiska och biokemiska reaktioner, som leder till att syra bildas (bild 2). Svavel och järn som ingår i sulfiderna kommer i kontakt med luftens syre och oxideras till järnhydroxid,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , och svavelsyra,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Jordens förmåga att neutralisera syra är svag eftersom det i allmänhet inte finns kalksten som skulle neutralisera syran i vår jordmån. Därför försuras jorden kraftigt. Sur sulfatjord bildas och jordens pH-värde sjunker till 4,5 eller lägre. Ofta är pH-värdet omkring 3,5 i de suraste lagren i sådan här jord. Eftersom många metaller är lösliga i så sura förhållanden frigörs de ur markmineralen till markvattnet, och metaller sköljs ut till vattendragen i rikligare omfattning än under normala förhållanden. Inga försurningsproblem uppstår om sulfiderna hålls mättade med vatten.



Bild 2. Försurningsreaktioner i jorden.

## 1.2 Grundvattennivån och oxidering av sulfider

Sura sulfatjordar bildas då jordlager som tidigare varit havsbotten kommer i kontakt med luftens syre och oxideras på grund av landhöjning, torrläggning och ibruktagande av odlingsmark. Jordlager under plogskiktet kan vara mycket sura och bara de jordlager som kontinuerligt är under grundvatten har ett pH-värde nära neutralt (bild 3).

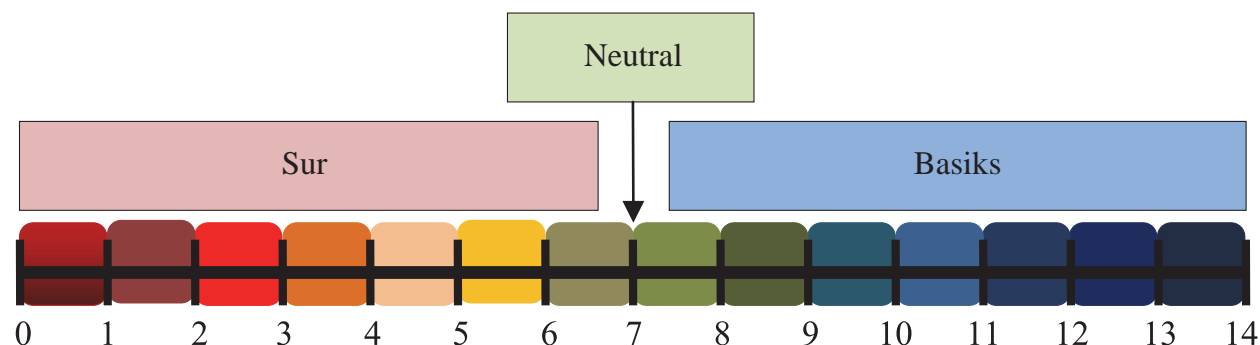


Bild 3. Markens och vattnets surhet och alkalinitet mäts med hjälp av pH-värdet.

Grundvattennivån varierar under olika årstider och väderförhållanden. I allmänhet är grundvattnet som lägst under sommarens torraste period. Trots att marken fortfarande höjer sig, har den naturliga landhöjningen liten effekt på grundvattennivån. Det som mest sänker grundvattennivån är dikning, som utförs för att förbättra torrläggningen av jorden så att den kan användas för odling.

I täckdikad mark når oxideringen ofta ner till ca 2 m djup, fastän dikena är bara drygt en meter djupa (Joukainen och Yli-Halla 2003). Torrlägningsdjupet är mindre med tegdiken än med täckdiken, och på våren sjunker inte grundvattennivån lika lågt som på åkrar med täckdiken. På sommaren kan grundvattnet ändå sjunka under det planerade torrlägningsdjupet på grund av grundvattenströmningar, kapillärkraften och växternas avdunstning.

Försurnings- och metallbelastningen kan undvikas genom att hålla grundvattennivån ovanför sulfidlagren. På så vis hindrar man luften från att nå lagren och oxidering av sulfiden förhindras.

## 1.3 Hurudan miljöpåverkan orsakar sura sulfatjordar?

### 1.3.1 Försurning av jordmånen och vattendragen, samt metallbelastning

Svavelsyra bildas då sulfiderna oxideras (kommer i kontakt med luftens syre) och svavelsyran försurar jordmånen och även vattendragen då den sköljs ut ur marken. Om pH-värdet sjunker under 5–6 uppstår problem för växtodlingen på grund av försurning av jorden. De sura sulfatjordarna i Österbotten har traditionellt varit goda odlingsjordar, då man kalkat plogskiktet. Ytkalkning har dock ingen effekt på försurningen längre ner i marken eller på försurningen av täckdiksvattnet som sköljs ut till vattendragen. Det sura vattnet urlakar även aluminium (Bärlund m.fl. 2005) och tungmetaller (Österholm & Åström 2004) ur marken. Aluminium och tungmetaller är skadliga för organismer och deras gifteffekter är varierande. Enligt undersökningar är utsläppen av tungmetaller från sura sulfatjordar (Sundström m.fl. 2002) till vattendragen av större betydelse än industrins tungmetallutsläpp. En kortvarig försurning av vattnet kan orsaka fiskdöd lokalt, och om den pågår under en längre tid kan organismsamhället förändras och leda till att djur med kalkskal, såsom kräftor, musslor och snäckor helt försvinner från vattendraget. Inom ramen för vattenvårdsplaneringen gjordes en ekologisk och kemisk klassificering (bild 1) av ytvattnen år 2009. Sura sulfatjordar utgör den största utmaningen för Österbottens ytvattens kemiska status (Rautio m.fl. 2010). Klassificeringen av vattendragen inför vattenvårdens andra planeringsperiod genomförs vintern 2013.

### 1.3.2 Kväveutsläpp till luft och vatten

Mikrober som finns i plogskiktet i sura sulfatjordar frigör kväve från det organiska materialet och omvandlar det till de oorganiska formerna ammoniumkväve och nitratkväve ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$  och  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ) precis på samma sätt som i andra jordar. Det här kvävet kan frigöras från marken till luften (som kväveoxidul,  $\text{N}_2\text{O}$  eller som molekyllärt kväve,  $\text{N}_2$ ) eller urlakas till vattendragen (huvudsakligen som nitrat). Kväveoxidul är en växthusgas som frigörs från sura sulfatjordar i minst lika stor utsträckning som från torvmark, som anses vara en stor utsläppskälla. Den årliga kväveoxidulbelastningen från försöksfälten på Söderfjärden i Solf i närheten av Vasa bedömdes vara till och med dubbel eller trefalt jämfört med finländska torvmarker.



Man har konstaterat att det förekommer höga halter av oorganiskt kväve (främst ammoniumkväve) även djupare ner i jordlagren i sura sulfatjordar (Paasonen-Kivekäs och Yli-Halla 2005, Simek m.fl. 2011), och i detta avseende skiljer de sig från övrig odlingsmark. Eftersom det finns rikligt av organiskt material i alven kan detta vara orsaken till de stora växthusgasutsläppen. I täckdiksvattnet från försöksfälten på Söderfjärden var halterna av nitratkväve höga, vilket orsakade kvävebelastning i vattendragen nedanför (se noggrannare i CATERMASS-projektets resultat, kapitel 3).

#### 1.4 Var finns sura sulfatjordar?

I Finland förekommer sura sulfatjordar nedanför det forntida Litorinahavets översta strandlinje (bild 1), som i Norra Österbotten finns på cirka 100 meters höjd, i Södra Österbotten på 80–90 meters höjd och i Södra Finland på cirka 30 meters höjd över havet. Mest sura sulfatjordar förekommer det från Uleåborgstrakten ner till söder om Vasa, samt till exempel vid Sirppujoki å. I dessa områden orsakar sura sulfatjordar också de största miljöskadorna, till exempel försämring av ytvattens kemiska status.

Sedan år 2009 har Geologiska forskningscentralen GTK ansvarat för systematisk kartläggning av sura sulfatjordar tillsammans med Åbo Akademi och Helsingfors universitet (Edén m.fl. 2012), och strävar till att kartlägga potentiella områden längs hela kusten före år 2015 (bild 1). Färdiga kartor kommer att publiceras på GTK:s förnyade webbsidor ([www.gtk.fi](http://www.gtk.fi)) i den takt de blir färdiga från början av år 2013. I bild 4 finns ett exempel av en karta för Kyro älvs avrinningsområde. På webbplatsen kommer också annat material med anknytning till ämnet att publiceras.

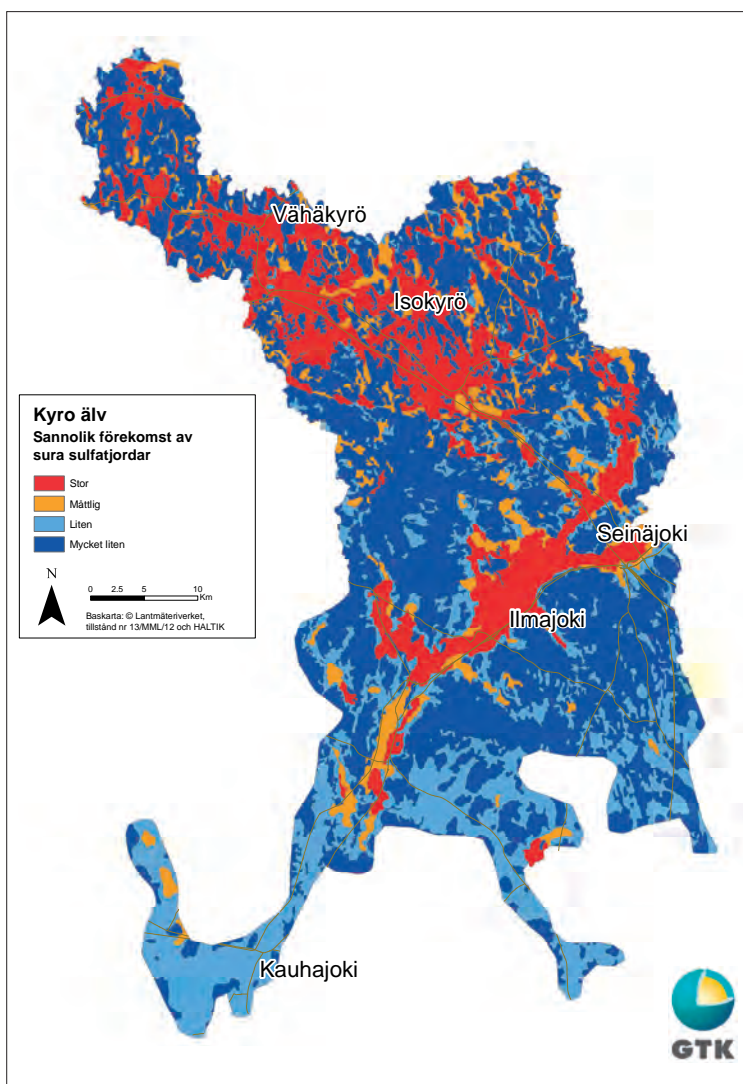


Bild 4. Sannolik förekomst av sura sulfatjordar på Kyro älvs avrinningsområde. OBS! Översiktskartans skala är 1:250 000, och är inte ämnad att användas på fastighetsnivå (Bild: GTK).

## 1.5 Hur känner man igen sura sulfatjordar?

Plogskiktets pH-värde indikerar i allmänhet inte förekomsten av sura sulfatjordar, eftersom vanlig jord kan ha lagrats ovanpå sur sulfatjord eller också har ett torvlager av varierande tjocklek bildats på den sura sulfatjorden. Dessutom har kalk spridits ut på åkern efter att den röjts för odlingsbruk, för att skapa gynnsammare odlingsförhållanden. Därför börjar de sura jordlagren först under plogskiktet. Under de sura jordlagren förekommer lagren som ännu innehåller rikligt av sulfid på 1,5–2 m djup. De sura lagren (pH-värde < 4,5) är de egentliga sura sulfatjordarna, och sulfiden som de innehöll har redan omvandlats till svavelsyra och järnet till järnoxider. Då jordlagret innehåller sulfider men ingen surhet ännu har hunnit bildas, kallas jorden för potentiellt sur sulfatjord. I bild 5 syns jordmassor som grävts upp ur sur sulfatjord: längst bak finns jord från plogskiktet, i mitten potentiellt sur sulfatjord och till höger den egentliga sura sulfatjorden, där rödaktig järnoxid syns på ytan av jordklumparna. Sura sulfatjordar utgörs i allmänhet av dyhaltiga ler-, mjäla- eller mojordar. På basis av den vä-lutvecklade strukturen kan de även kallas för grynloror.

De (egentliga) sura sulfatjordarna har vanligen en yta som delvis har färgats rödbrun eller orange av järnets oxidationsprodukter, och i de allra suraste lagren kan det förekomma gula mineral (jarosit). Tydlig färg av järnoxider förekommer i hål efter tidigare rötter i marken och sprickor som uppstått då marken torkat (bild 6a).

Sulfider i jordlager som kontinuerligt hålls under vatten (potentiella sura sulfatjordar) är massiva till sin uppbyggnad, dvs. det förekommer inga enskilda klumpar och jorden är svart eller mörkgrå (bild 6b). Jorden har också en tydlig lukt som påminner om ruttna ägg, vilket beror på svavelvätet ( $H_2S$ ) som finns i jorden. Om man har möjlighet att mäta jordens pH, så kan man konstatera förekomsten av sura sulfatjordar med hjälp av det. I ett färskt sulfidlager är pH-värdet ungefär sju, men pH-värdet sjunker kraftigt under några veckor på grund av oxideringen.



Bild 5. De olika jordlagren skiljer sig tydligt från varandra i grävmassor från sur sulfatjord (se även bild 6). (Bild: Rainer Rosendahl)

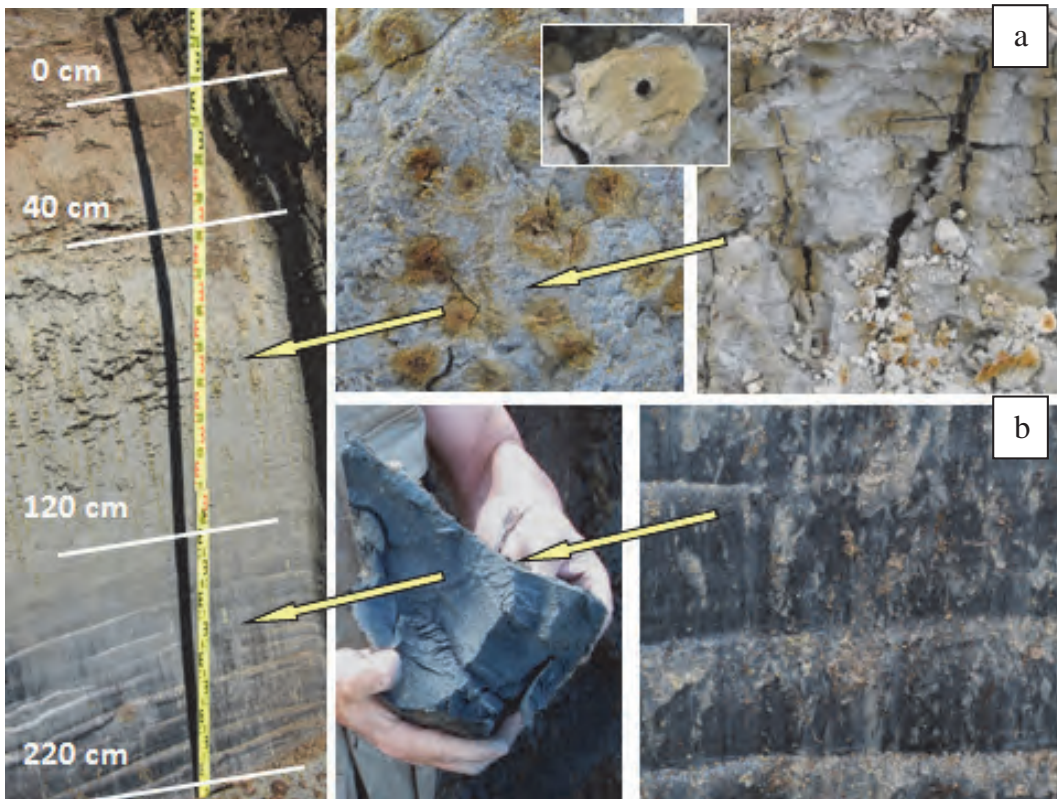


Bild 6. Ljus oxiderad (a) och mörk icke-oxiderad jordprofil (b) från försöksfältet i Pedersöre. Då jorden torkar upp bildas sprickor och stora porer i jorden, vilket betydligt främjar transport av vatten och syre i jordprofilen. (Bilder: Rainer Rosendahl)

Förekomsten av sura sulfatjordar kan även observeras i utfallsdiken och bäckar, på vars botten det syns rikligt av rödbrun järnfällning (bild 7).



Bild 7. Järnfällningen är lätt att observera på grund av dess röda färg på botten. Riklig fällning kan i vissa fall betyda att det finns sura sulfatjordar i diket avrinningsområde. (Bild: Rainer Rosendahl)

## 2 Reglering av grundvattennivån

I Finland är den årliga nederbörden större än avdunstningen (bild 8). Därför finns det orsak att leda bort överlopps vatten i synnerhet på våren och hösten både inom tätorter och på skogs- och jordbruksmark. Inom tätorterna sköts dräneringen med dagvattennätverk, i skogsområden med öppna diken och på odlingsmark med täckdikning. Vattnet leds via utfalldiken och rensade naturfåror till åar och sjöar och därifrån vidare till havet. Vattnet lagras naturligt i avrinningsområdet i sjöar och i jordmånen. Lagringen av vattnet kan ökas med hjälp av exempelvis konstgjorda sjöar och med bottendammar.

Som en följd av landhöjningen har det som tidigare varit havsbotten blivit till land, som används i olika syften. Även i samband med samhällsbyggande, såsom byggande av byggnader, vägar, järnvägar och kablar, samt vid muddring av farleder, kan sulfidlagren oxideras. För att minska på miljöeffekterna bör specifikt utvecklade metoder användas vid byggandet, exempelvis kalkning och lämplig placering av grävmassor. Jordbruk, skogsbruk och torvtäkt förutsätter torrläggning av marken vilket leder till oxidering av sulfidlagren. Oxidering sker i synnerhet efter mycket långa perioder av torka, då de allra suraste avrinningsvattnen uppstår.

De skadliga effekterna, som uppstår i miljön på grund av sura sulfatjordar inom jordbruket, kan minskas genom att hålla grundvattennivån ovanför sulfidlagren, så att sulfiderna inte oxideras. På vanlig täckdikad åker sjunker grundvattennivån ner till täckdikningsnivån under perioden försommar-höst. Då uppnås det torrläggingsdjup som krävs för jordbruksmaskiner och växter. På grund av avdunstning och grundvattenströmningar kan grundvattennivån ändå sjunka under täckdikena ända ner till sulfidlagren, vilket leder till att de börjar oxideras. Detta kan förhindras med hjälp av reglerad dränering, som ytterligare kan effektiviseras genom att pumpa in extra vatten i dräneringen då grundvattennivån ser ut att börja sjunka ner till sulfidlagret trots reglering (underbevattning). I båda fallen kan man minska förlusten av vatten till utfalldiken med hjälp av platsfilm som installeras mellan åkern och utfalldiket. Reglerad dränering och underbevattning utvecklades från början för att trygga odlingsväxternas vattenbehov och för att minska urlakningen av näringsämnen. I detta syfte blev metoderna allmänna i Finland i mitten av 1990-talet, då det blev möjligt att få miljöstöd för reglerad dränering. Metoderna kan även användas för att minska försurningsproblemen. Metoderna lämpar sig för flack mark och jordar med stor genomsläpplighetsförmåga.

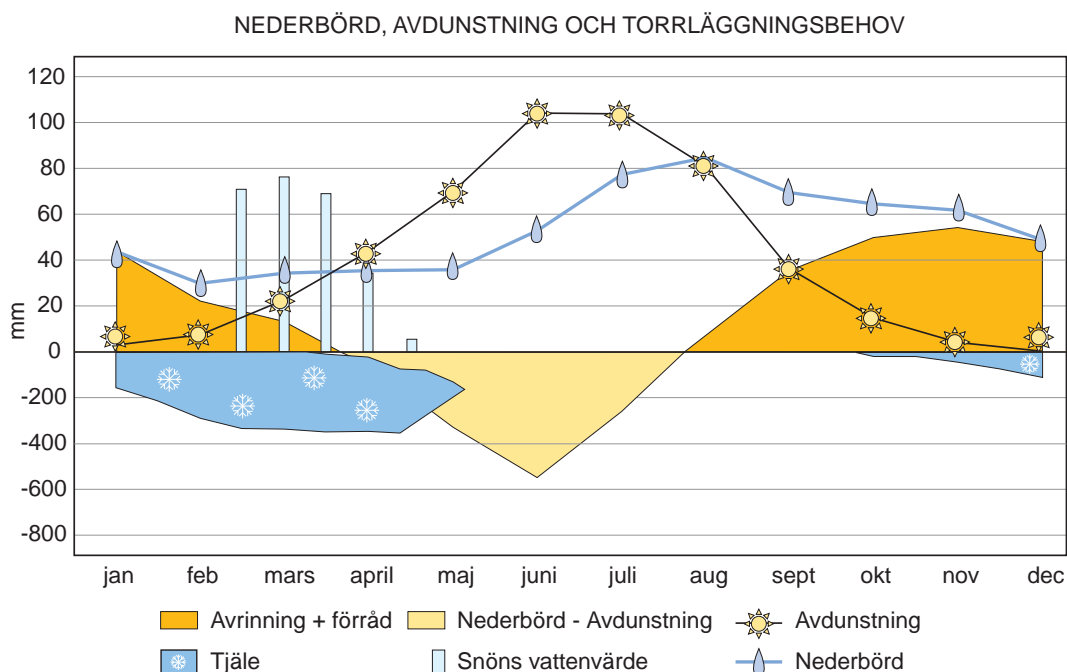


Bild 8. Den årliga nederbörden är större än avdunstningen, vilket märks i synnerhet på våren och hösten då det kan vara mycket blött. På sommaren kan avdunstningen ändå vara så stor att det finns behov av bevattning. Sulfiderna oxideras då grundvattnet sjunker ner till sulfidlagren på sommaren. Bilden baserar sig på långtidsmedelvärden uppmätta i Jockis. (Bild: Salaojakeskus 2002)

## 2.1 Reglerad dränering

På våren då snön och tjälen smälter och under regniga perioder fungerar reglerad dränering som vanlig täckdikning. Under övriga tider begränsas utflödet från täckdikena med hjälp av reglerbrunnar. I reglerbrunnarna finns ett överflödesrör, med vars hjälp vattennivån i brunnen kan regleras till önskad nivå (bild 9). Då grundvattnet stiger över den här regleringsnivån börjar vatten flöda ut ur rörsystemet tills vattennivån har sjunkit till reglerad nivå. Då regleringen tas bort helt fungerar dräneringen som vanlig täckdikning.

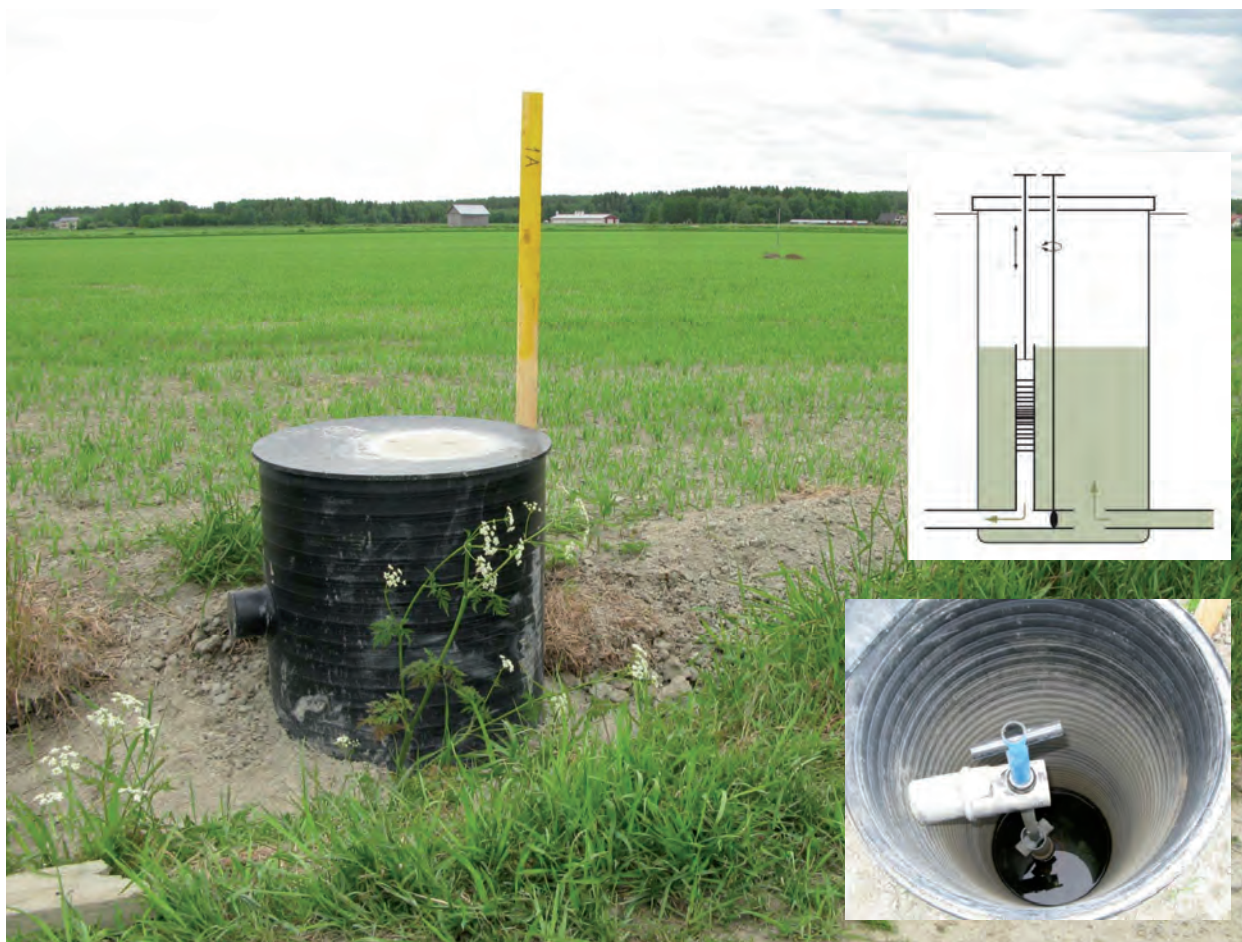


Bild 9. Reglerbrunn (Bilder: Rainer Rosendahl) och dess principskiss (Källa: Paasonen-Kivekäs 2009)

Reglerad dränering fungerar bäst på åkrar vars lutning är liten, högst 2 %. Vid ny dränering planeras reglerbrunnar in i samband med att dräneringen byggs, men de kan även byggas i ett redan befintligt täckdikessystem. Jordytans lutning och dikessystemets uppbyggnad bestämmer hur många reglerbrunnar som behövs. På sur sulfatjord lyckas reglerad dränering bäst om man installerar en plastfilm mellan åkern och utfallsdiket för att hindra att vatten sipprar direkt ut från marken till utfallsdiket (kapitel 2.3). Planeringen av reglerad dränering bör utföras av en täckdikesplanerare. Mer information om planeringen av reglerad dränering finns i broschyren Reglerad dränering som finns på Landsbygdnätverkets hemsidor ([www.landsbygd.fi](http://www.landsbygd.fi)).

På åkrar med reglerad dränering kan man övervaka grundvattennivån med hjälp av grundvattenrör (bild 10). Ett grundvattenrör installeras på varje reglerbrunns område halvvägs mellan två täckdiken på åkerskiftets lägre del. Grundvattenröret är 2,5 m långt och 50 mm i diameter. I nedre delen av röret längs cirka en meter finns hål vars diameter är 0,3 mm. Rörets botten är sluten med en plastplugg. Röret installeras i ett hål gjort med en jordborr till 1,5 m djup och då står 1 m av rörets övre del synligt ovanför markytan. Jorden kring röret packas ihop ordentligt ner till 30–50 cm djup, så att inte ytvattnet kommer åt att rinna ner i röret.

Vattennivån kan avläsas med en antenn försedd med ett flöte. På antennen markeras den kritiska nivån ut, då regleringen bör tas bort så att grödan inte blir vattenskadad (avstånd från jordytan mindre än 0,5 m).

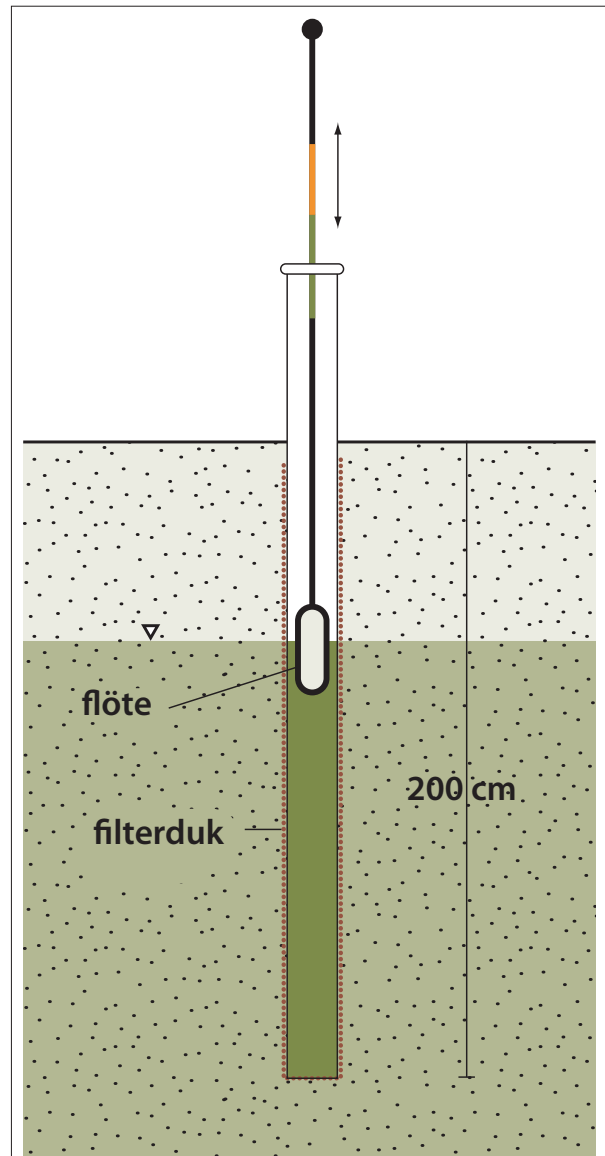


Bild 10. Till vänster ett grundvattenrör med sin flytande antenn som visar grundvattnets avstånd från markytan (Bild: Rainer Rosendahl). Till höger principskiss för grundvattenrör (Källa: Paasonen-Kivekäs 2009).

Eftersom målsättningen med reglerad dränering är att sulfidlagren inte ska oxideras under torra perioder på sommaren, bör så mycket vatten som möjligt lagras i åkern för växtperiodens behov. För att säkerställa detta höjs dämningnivån på våren genast då åkern torkat upp tillräckligt för jordbruksarbeten (bild 11). På så sätt hindras grundvattnet från att sjunka för lågt, värfuktigheten lagras i åkern och sulfidlagren hålls under vatten så länge som möjligt.

Under växtperioden följer jordbrukaren med vad grundvattenrören visar och vattennivån i reglerbrunnarna samt väderprognoser. Då grundvattennivån är hög, bör dämningnivån sänkas i god tid innan rikliga regn. På detta sätt undviker man att marken blir vattendränkt. En allmän regel för regleringen är att grundvattennivån ska vara minst 0,5 m under markytan under växtperioden. Under regniga år kan grundvattentytan vid behov sänkas ytterligare i slutet av växtperioden då avdunstningen minskar. Då erhålls lagringsutrymme för höstregnen i jordmånen och tillräckligt torr mark för skörde- och markbearbetningsmaskiner.

Genast efter höstarbetena sätts regleringen på igen, så att vattennivån hålls ovanför sulfidlagren hela vintern. Om det samlats slam i dräneringsrören, t ex rostfällning, kan det vara skäl att öppna reglerbrunnarna under ett par dagar, så att slammet sköljs ut ur rören. Inför vintern justeras regleringsnivån så högt som möjligt, men inte närmare än 60 cm från markytan och minst så att dräneringsrören är täckta av vatten. I frostkänsliga områden lönar det sig att isolera reglerbrunnens lock med styrox-skiva (isoleringen placeras inuti locket) eller alternativt öppna regleringen helt under vintern eller skydda brunnen med storsäckar runt om. På så sätt hindrar man att brunnen rubbas och skadas av tjälen.

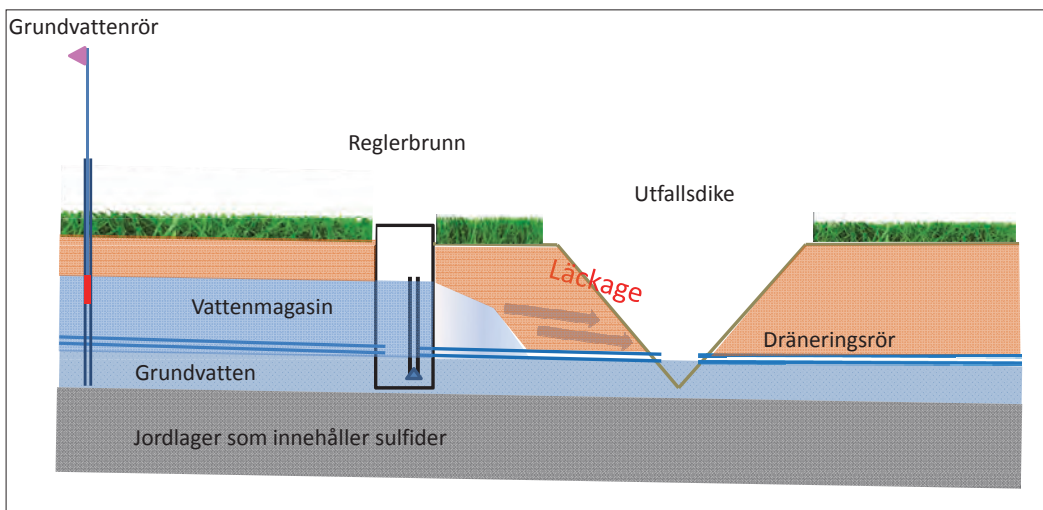


Bild 11. Principskiss för reglerad dränering på fårans vänstra sida och traditionell täckdikning på fårans högra sida. (Bild: Rainer Rosendahl)

## 2.2 Pumpning av tilläggs-vatten

Vid uppföljningar av reglerad dränering har man märkt att grundvattennivån kan sjunka så djupt under sommaren att det inte räcker med enbart reglerad dränering för att hålla grundvattennivån ovanför sulfidlagren (Joukainen och Yli-Halla 2003). Då kan oxidering av sulfiderna förhindras endast genom att pumpa in extra vatten i dikessystemet (bild 12).

Pumpning av tilläggs-vatten förutsätter att det finns vatten tillgängligt i utfallsdike, närliggande å, damm eller sjö (bild 13) och att plastfilm (kapitel 2.3) har installerats längs åkern för att förhindra att vattnet läcker ut från åkern igen. Om plastfilmen inte installeras rinner underbevattningsvattnet lätt tillbaka ut i utfallsdikedet. Dessutom behövs en effektiv pump (0,5 m<sup>3</sup>/min), med vars hjälp vattnet snabbt pumpas in via reglerbrunnen till täckdikessystemet (bild 13). Ofta räcker det med att pumpa under ett dygn eller två för att höja grundvattnet till önskad nivå. Pumpningen behöver inte pågå hela tiden utan den kan genomföras under flera olika perioder. På Söderfjärdens försöksfält var sulfidlagren under grundvattennivån hela sommaren 2012 tack vare fyra olika underbevattningsgångar, vilka motsvarade sammanlagt 48 mm:s regn (se CATERMASS-projektets resultat, kapitel 3).

Att höja grundvattennivån med hjälp av underbevattning lyckas bäst om åkerns lutning är under 1 % och pumpningen inleds så tidigt som möjligt, men senast då vattnet har sjunkit ner till täckdikena.

Tilläggs-vattnet fungerar som bevattning och kan även minska skördeskador under torra somrar samt förbättra skördens kvalitet.

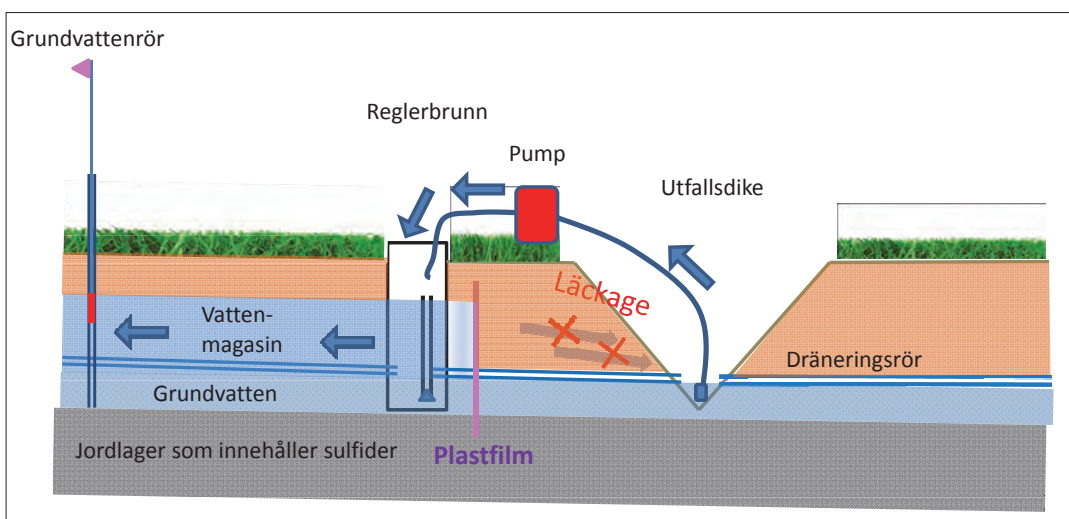


Bild 12. Principskiss över pumpning av tilläggs-vatten och placeringen av plastfilm i sur sulfatjord som har reglerad dränering. (Bild: Rainer Rosendahl)



Bild 13. Tilläggsvattnen pumpas från ett öppet dike i närheten, via reglerbrunnen ut i dräneringssystemet. Slang som placeras i utfalldike (a). Pump (b), som fungerar ett dygn utan uppehåll tack vare kanistern med tilläggsbränsle som kopplats in. Tilläggsvattnen strömmar in i reglerbrunnen (c). (Bilder: Rainer Rosendahl)



### 2.3 Installation av plastfilm

För att förhindra att vatten strömmar ut från åkern till diket kan en plastfilm installeras mellan åkerns nedre kant och diket. Plastfilmen bör installeras så djupt att den når ner till det täta sulfidlagret. Då kan vatten inte rymma ut under plastfilmen och sulfidlagret hålls bättre under grundvattnet. Installationen av plastfilmen utförs med hjälp av en täckdiktningmaskin, som utrustats med en monteringsenhet, som utvecklats för att installera plastfilm (bild 14). Då ett 0,3 m tjockt lager av matjord avlägsnas når täckdiktningmaskinen ner till 1,5 m djup, vilket innebär att plastens nedre kant kan installeras till och med 1,8 m under markytan.



Bild 14. Uppe till vänster installation av plastfilm ner till 1,8 m djup. Uppe till höger fylls fåran igen med sur grävmasa och till sist sprids det avlägsnade plogskiktets jord ut igen. På så sätt undviker man att sura grävmassor blandas med plogskiktet. Nedan täckdiktningmaskin utrustad med monteringsenhet. (Bilder: Rainer Rosendahl)



## TUMREGLER FÖR REGLERING AV ÅKERDRÄNERING

1. Följ med vattenflödet från våren. Börja reglera i tid, så att smältvattnet kan lagras i åkern.
2. Använd grundvattenrör för att följa med grundvattennivån, minst ett rör per skifte, men helst ett per regleravsnitt.
3. Håll grundvattnet på 60–70 cm avstånd från markytan – på så sätt stimuleras odlingsväxten att utveckla rotsystemet.
4. Under växtperioden bör grundvattennivån på åkerns lägsta ställe inte vara närmare än 50 cm från markytan längre än två dagar i sträck. Följ med väderleksprognoserna och justera dämningshöjden vid behov.
5. Om grundvattnet sjunker under önskad nivå och det finns vatten i närheten, underbevattna åkern i medeltal 2–4 gånger per sommar, 1–2 dygn per gång.
6. Sänk vid behov reglernivån inför skördetiden och höstregnen så att skörden mognar, markens bärighet förbättras och så att magasineringkapaciteten ökar.
7. Om du har rostutfällning eller annat sediment i dräneringssystemet, öppna regleringen helt på senhösten i en till två dagar, så att eventuellt slam spolats ur rören.
8. Inför vintern:
  - Tilläggsisolering för utsatta brunnar.
  - Justera regleringen så att täckdiksrören hålls täckta av vatten, men ej högre än 60 cm från markytan.
9. Sätt ut minst ett grundvattenrör per skifte

### 3 Resultat från CATERMASS-projektet

År 2010 grundades ett försöksfält på Söderfjärden i närheten av Vasa inom CATERMASS-projektet (bild 15). På försöksfältet utreds effekterna av olika dräneringsmetoder på grundvattennivån och problemen som orsakas av sura sulfatjordar (Uusi-Kämppä m.fl. 2012). Dräneringsmetoderna är 1. reglerad dränering med pumpning av tilläggsvattnen (underbevattning), 2. reglerad dränering utan pumpning av tilläggsvattnen och 3. vanlig täckdikning (bild 16). Vid reglerad dränering ställdes brunnarnas uppdrämningsnivå på en halv meters höjd under markytan efter vårbruket. Vid underbevattning bibehölls grundvattennivån genom att pumpa in tilläggsvattnen till täckdikssystemet. Grundvattenflöde från en åker till annan förhindrades med en platsfilm som var nergrävd i marken.

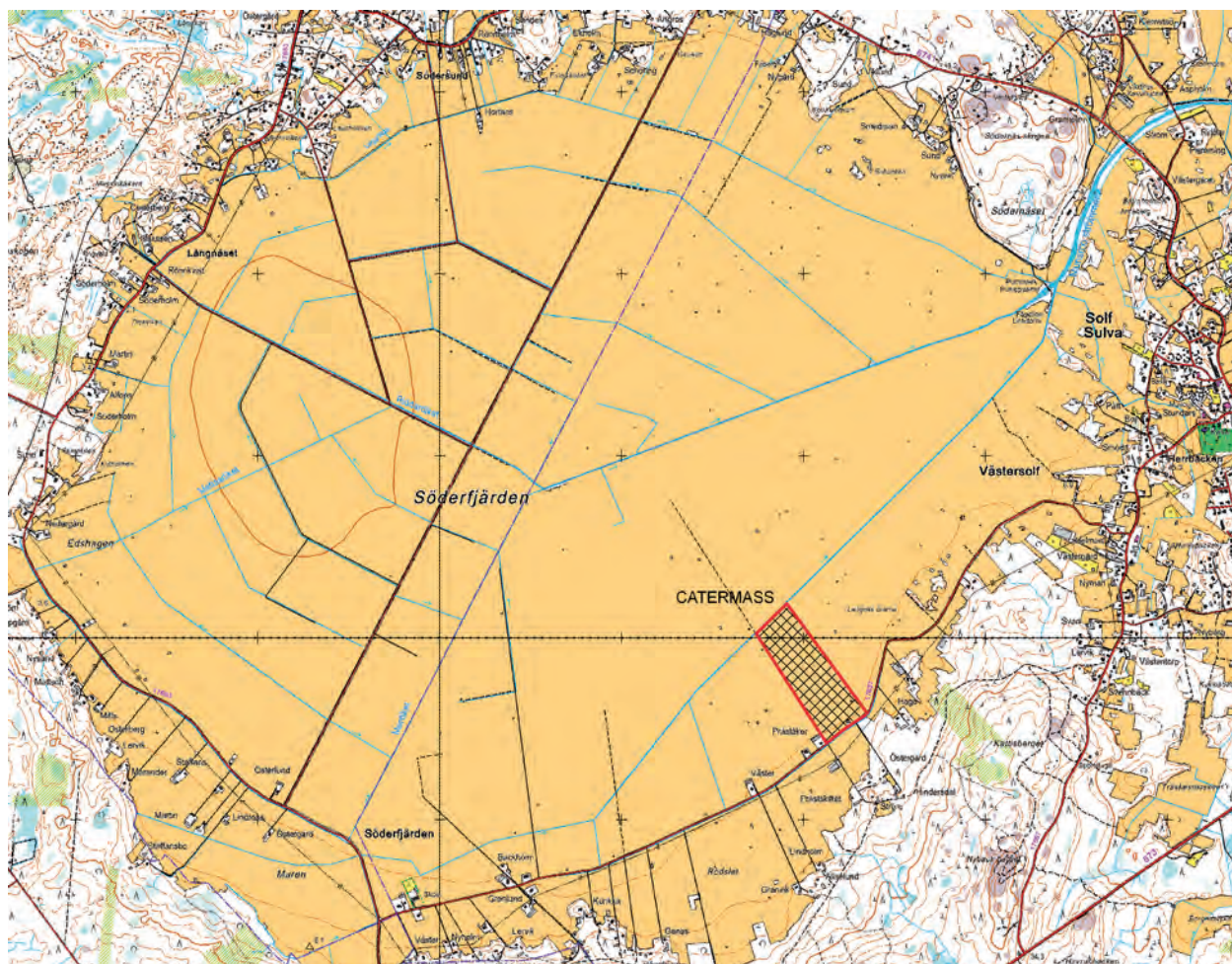
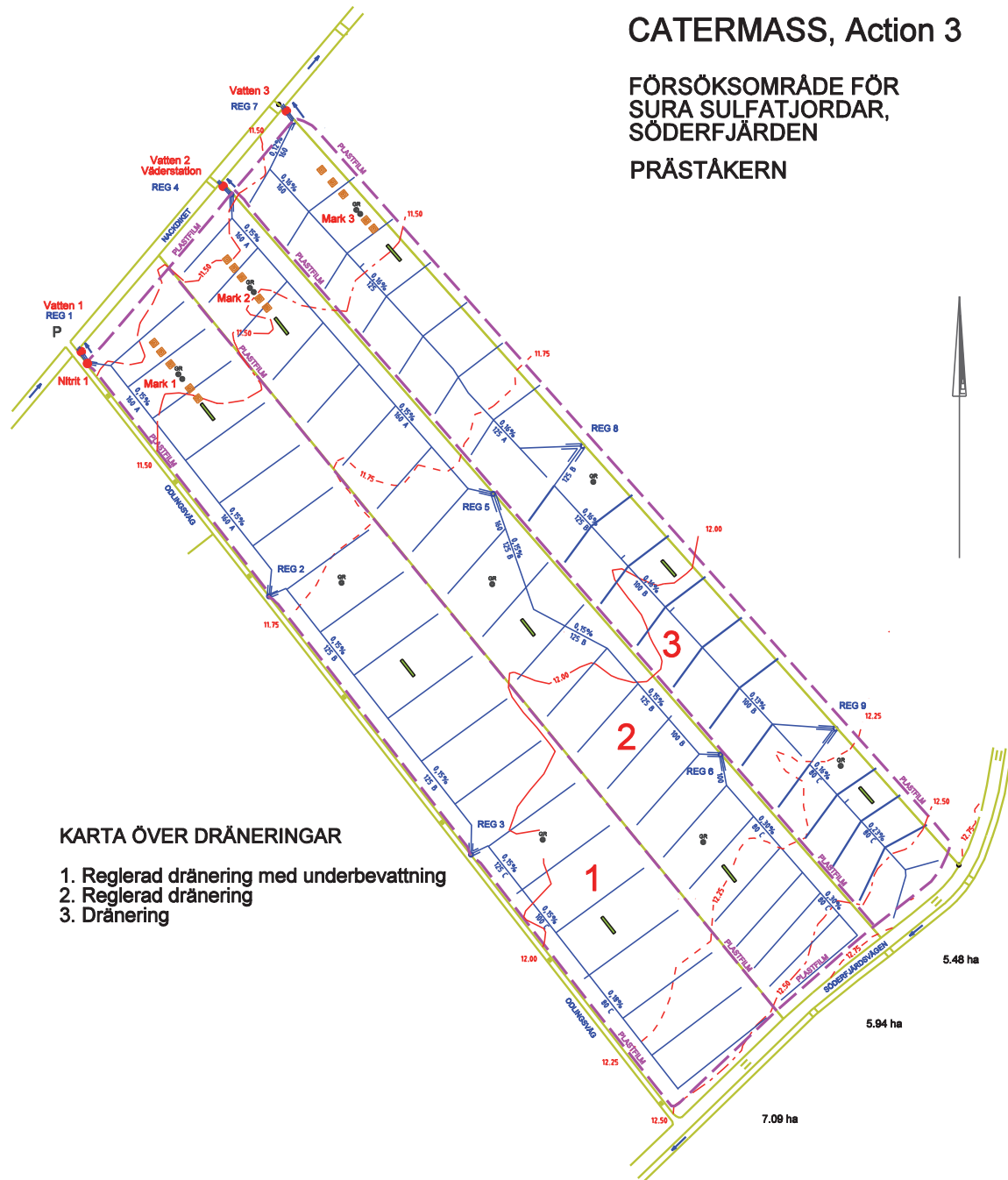


Bild 15. Försöksfältets placering (rastrerat område) på Söderfjärdens meteoritkraterområde. (Bild: Harri Lilja, MTT).

## CATERMASS, Action 3

FÖRSÖKSOMRÅDE FÖR  
SURA SULFATJORDAR,  
SÖDERFJÄRDEN

PRÄSTÅKERN



### KARTA ÖVER DRÄNERINGAR

1. Reglerad dränering med underbevattning
2. Reglerad dränering
3. Dränering

Bild 16. Försöksfältet på Söderfjärden (Karta: Rainer Rosendahl)

Under första projektåret följdes avrinningsvattnets kvalitet upp för att se skillnader mellan de olika åkrarna. Metoderna testades från år 2011 framåt. Då var det en ovanlig torr period under växtperioden. Man lyckades inte hålla grundvattennivån ovanför sulfidlaget med hjälp av reglerad dränering under hela växtperioden, men perioden med risk för oxidering av sulfiderna var dock kortare än med vanlig täckdikning (bild 17). Med underbevattning (31 mm, 310 m<sup>3</sup>/ha) hölls sulfidlaget under grundvattennivån under hela växtperioden 2011 med undantag för den övre delen av åkern. År 2012 regnade det betydligt mera, och med pumpning av tilläggsvattnet (48 mm, 480 m<sup>3</sup>/ha) hölls sulfidlaget under grundvattennivån hela växtperioden. Av bild 17 framgår variationerna i grundvattennivån i de olika skiftenas nedre delar. Den streckade linjen visar automatstationernas mätresultat, som kan läsas via Internet på adressen (<http://www.ehp-data.com>). Punkterna visar resultaten från de manuella mätningarna av grundvattennivån. Av bilden framgår tydligt hur justeringen av regleringen efter höstarbetet har hållit grundvattennivån ovanför sulfidlaget också vintertid.

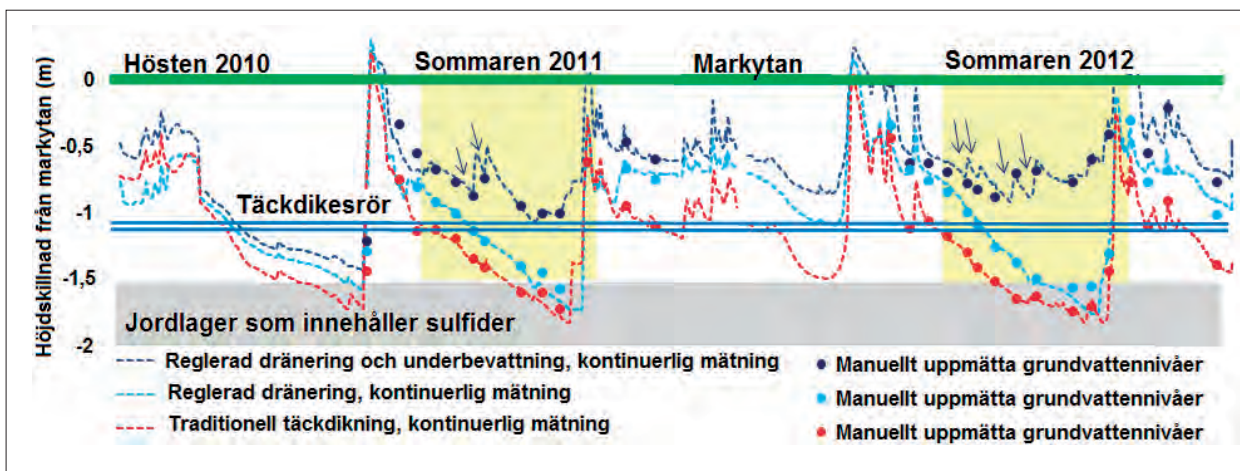


Bild 17. Grundvattennivån på Söderfjärdens försöksfält med de olika dräneringsmetoderna år 2011–2012. Tidpunkten för pumpning är utmärkt med pilar. (Graf: Seija Virtanen)

### 3.1 Dräneringsvattnets kvalitet

År 2011 noterades inga större skillnader i dräneringsvattnets pH-värde, men aciditeten var lägst på åkerskiftet som reglerades och underbevattades och högst på skiftet som hade vanlig dränering. Aciditeten som mättes på Söderfjärden är typisk för sura sulfatjordar och överstiger tydligt gränsvärdet som är under 0,3 mmol/l för åvatten (bild 18a). Aluminiumhalterna som mättes i dräneringsvattnet var höga och översteg halterna som är skadliga för organismer (0,1–2,0 mg/l). Efter att metodtestningen påbörjades mättes de högsta halterna av aluminium vid skiftet med vanlig dränering och de lägsta halterna vid skiftet som underbevattades (bild 18 b).

Erfarenheterna och resultaten från försöksfältet visar att reglering av grundvattennivån i åkern är möjlig med reglerad dränering, speciellt med tillförsel av tilläggs-vatten. Om det finns behov kan man även förhindra utflöde av grundvatten till utfalldiket med hjälp av en plastfilm. Eftersom försöket pågick endast två år kan man inte ännu notera större skillnader i dräneringsvattnets kvalitet, men resultaten antyder redan efter två år att man med dessa åtgärder kan minska på aciditeten och aluminiumhalterna i dräneringsvattnet.

Kvävehalterna i dräneringsvattnet var höga (8–35 mg/l). I medeltal cirka 90 % av kvävet var i form av nitratkväve. Då vårfödet var som störst år 2012 uppskattades urlakningen av nitratkväve vara cirka 25 kg/ha. Fosforhalterna i dräneringsvattnet var måttliga (0,014–0,065 mg/l) jämfört med utsläpp från gödslade åkrar.

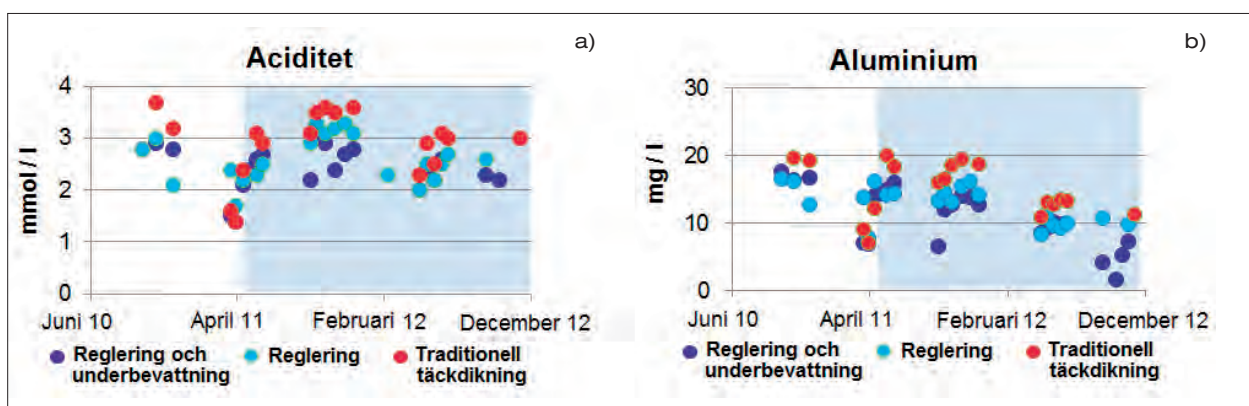


Bild 18. Aciditeten (mängden surhet) (a) och aluminiumhalten (b) i dräneringsvatten på Söderfjärdens försöksfält under perioden juni 2010- december 2012. Den ljusblåa bakgrunden visar när försöket med reglering har varit igång. (Källa: Virtanen m.fl. 2013).

### 3.2 Växthusgaser

Utsläpp av växthusgaser såsom kväveoxidul ( $N_2O$ ), metan ( $CH_4$ ) och koldioxid ( $CO_2$ ) mättes på försöksfältet. Utsläppen av kväveoxidul var 2–3 ggr större än motsvarande utsläpp från organiska jordar. Årsutsläppen motsvarar 20–30 kg/ha kväve, då utsläpp från organiska jordar är 8 kg/ha och från mineraljordar cirka 3,5 kg/ha. Under sommaren 2012 mättes också  $N_2O$ -halterna i marken. Mätningarna visar att halten  $N_2O$  var större vid 70 cm djup än vid 30 cm djup och att utsläppen var större från åkerskiftena med underbevattnings och reglerad dränering än från skiftet med vanlig dränering. Delvis kan dessa utsläpp till luften och vatten bero på de stora mängderna organiskt material och kväve i marken på 120–160 cm:s djup. Kväve frigörs då organiskt material bryts ner. Utsläppen av koldioxid och metan skiljde sig inte från utsläpp som har mätts i andra jordarter. Dräneringsmetoden eller grundvattennivån hade ingen effekt på växthusgasutsläppens storlek.

### 3.3 Markens pH-värde och näringsämnen samt skörderesultat

Jordarten på försöksfältet är mjällig mo (lerhalten 21–28 %, mjälhalten 26–34 % och mo- och sandhalten 39–53 %). pH-värdet i plogskiktet var 6,6–7,1 pga. kalkning, men pH-värdet i alven var lägre, på nivån 5,4–6,5. Mängden lösligt kväve var större i plogskiktet än vanligtvis vid odling utan stallgödsel. Enligt bördighetstester utförda i ytjorden (0–25 cm) var fosforhalten 20–25 mg/l på åkerskiftet med reglerad dränering och reglerad dränering med underbevattnings (skiften 1 och 2), vilket motsvarar bördighetsklass god. I åkerskiftet med vanlig dränering (skifte 3) var motsvarande bördighetsklass tillfredsställande (8–10 mg/l P). Bördighetsklassen för andra makronäringsämnen (kalcium, kalium, magnesium och svavel) var tillfredsställande/god. Av mikronäringsämnena hade lösligt koppar en halt som motsvarade bördighetsklassen tillfredsställande på alla skiften. Halten av mangan var tillfredsställande på skiftena 1 och 2 och rätt dålig på skifte 3 (vanlig dränering). Zinkhalten var försvarlig på det underbevattnade skiftet, rätt dålig på skiftet med reglerad dränering och dålig på skiftet med vanligt täckdikning.

Skörden av vårveete (5500–5900 kg/ha) och korn (5300–5700 kg/ha) var högre än skördar i medeltal. Proverna på växtbestånd och korn som togs på försöksfältet visade inga avvikelser i mängden grundämnen. Manganhalten i kornskörden år 2012 var liten (8–9 mg/ kilo torrsubstans) då det vanligtvis är cirka 20 mg. De preliminära resultaten visar inga skillnader mellan de olika åkerskiftena för vikten av en hektoliter eller 1000 korn.

### 3.4 Kostnader

Priset för en reglerbrunn är inalles ca 1000–1200 € (moms 0 %). I priset ingår kostnaderna för brunn, planering, utmärkning, rör, montering, dikning 20–30 m, grundvattenrör, smådelar mm. Den årliga kostnaden för pumpning av tilläggsvattnen var 95–195 €/ha beroende på hur mycket vatten man pumpade. Vid beräkningen antog man att skiftet på 4 ha ligger på 5 kilometers avstånd och pumpning under två dygns tid sker 2–4 ggr per år. Kostnaderna består av bensin, övervakning och resor. Vid beräkningen beaktades inte kostnaden för att skaffa pump. Kostnaden för montering av plastfilmen är cirka 5 €/löpmetr. I priset ingår plastfilmen, nedgrävning, montering av plasten och fyllning av färan.



Forsöksfältet på Söderfjärden under våren och sommaren.



Bild 1.



Bild 2.



Bild 3.



Bild 4.



Bild 5.



Bild 6.

Jordmonoliter grävs upp i sur sulfatjord på Viks campus (bilderna 1–3). I växthus odlades rörflen på monoliterna (bilderna 3–4). Av gaserna som kom från jordmonoliterna samlades växthusgasprov med hjälp av spruta (bilderna 5–6). (Bilder: Seija Virtanen)

---

## 4 Litteratur

---

- Bärlund, I., Tattari, S., Yli-Halla, M., Åström, M. 2005. Measured and simulated effects of sophisticated drainage techniques on hydrology and runoff hydrochemistry in areas of boreal acid sulphate soils. *Agricultural and Food Science* 14: 98-111.
- Edén, P., Auri, J., Rankonen, E., Martinkauppi, A., Österholm, P., Beucher, A., Yli-Halla, M. 2012. Mapping Acid Sulfate Soils in Finland: Methods and Results. I publikationen: Österholm, P., Yli-Halla, M. & Edén, P. (toim.). 7th International Acid Sulfate Soil Conference in Vaasa, Finland 2012. Towards Harmony between Land Use and the Environment, Proceedings volume. Geological Survey of Finland, Guide 56. ss. 31-33.
- Joukainen, S., Yli-Halla, M. 2003. Environmental impacts and acid loads from deep sulfidic layers of two well-drained acid sulfate soils in western Finland. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 95: 297-309.
- Paasonen-Kivekäs, M. 2009. Säättösaloitus. I boken: Maan vesi- ja ravinnetalous - Ojitus, kastelu ja ympäristö (toim. Paasonen-Kivekäs ym.). Salaojayhdistys ry.
- Paasonen-Kivekäs, M., Yli-Halla, M. 2005. A comparison of nitrogen and carbon reserves in acid sulphate and non acid sulphate soils in western Finland. *Agricultural and Food Science* 14: 57-69.
- Rautio, L. M., Siiro, P., Haldin, L., Storberg, K-E., Nuotio, E., Westberg, V. 2010. Kokemäenjoen-Saaristomeren-Selkämeren vesienhoitoalueen vesienhoitosuunnitelma vuoteen 2015. Yhteistyöllä parempaan vesienhoitoon. <http://www.ymparisto.fi> > Ympäristönsuojelu > Vesiensuojelu > Vesienhoitoalueet. På svenska: Rautio, L. M., Siiro, P., Haldin, L., Storberg, K-E., Nuotio, E., Westberg, V. 2010. Förvaltningsplanen för Kumo älvs-Skärgårdshavets-Bottenhavets vattenförvaltningsområde fram till år 2015. Samarbete för bättre vattenvård. [www.miljo.fi](http://www.miljo.fi) > Miljövård > Vattenvård > Vattenförvaltningsområden
- Salaojakeskus. 2002. Salaojituksen tavoiteohjelma 2020. <http://www.salaojayhdistys.fi/pdf/tavoiteohjelma.pdf>
- Šimek, M., Virtanen, S., Simojoki, A., Krištůfek, V., Yli-Halla, M. 2011. Evidence of rich microbial communities in the subsoil of a boreal acid sulphate soil conducive to greenhouse gas emissions, *Agriculture, Ecosystems & Environment* 140: 113-122.
- Sundström R., Åström M., Österholm P. 2002. Comparison of the metal content in acid sulfate soil runoff and industrial effluents in Finland. *Environmental Science and Technology* 36: 4269-4272.
- Tikkanen, M., Oksanen, J. 2002. Late Weichselian and Holocene shore displacement history of the Baltic Sea in Finland. *FENNIA International Journal of Geography* 180:1-2. <http://www.helsinki.fi/maantiede/geofi/fennia/demo/pages/oksanen.htm>
- Uusi-Kämpä, J., Ylivainio, K., Regina, K., Österholm, P., Rosendahl, R., Westberg, V., Mäensivu, M., Virtanen, S., Yli-Halla, M., Turtola, E. 2012. Korkeampi pohjaveden pinta ratkaisu happamien sulfaattimaiden päästöille? I publikationen Hoppanen (red.). *Maataloustieteen Päivät 2012* : [webbpublikation]. Suomen Maataloustieteellisen Seuran julkaisuja no 28. [http://www.smts.fi/Ymparisto/Uusi-Kamppa\\_Korkeampi.pdf](http://www.smts.fi/Ymparisto/Uusi-Kamppa_Korkeampi.pdf)
- Virtanen, S., Simojoki, A., Uusi-Kämpä, J., Österholm, P., Yli-Halla, M. 2013. Happaman sulfaattimaan valumaveden asiditeetti ja alumiinipitoisuudet lysimetrikokeessa ja Söderfjärdenin koekentällä. Teoksessa: Leppälammikujansuu, Soinne, Merilä, Rankinen, Salo, Hänninen (toim.). *Maankäytön kestävyys, VII Maaperätieteiden päivien abstraktit. Pro Terra* No. 61 / 2013. ss. 112-113.
- Österholm & Åström. 2004. Quantification of current and future leaching of sulfur and metals from Boreal acid sulfate soils, western Finland. *Australian Journal of Soil Research*. 42, 547-551.



---

## 5 Tilläggsuppgifter

---

CATERMASS.FI Minskning av sura sulfatjordars miljörisker. <http://www.catermass.fi>

Etone, E. K., Virtanen, S., Simojoki, A., Stoddard, F. 2012. High moisture acid sulphate soil effects on reed canary grass. I publikationen: Schulman ja Kauppinen (red.). Maataloustieteen Päivät 2012 [webbpublikation]. Suomen Maataloustieteellisen Seuran julkaisuja no 28. [http://www.smts.fi/Kasvintuotanto\\_jalostuu/Kenedy\\_High%20moisture.pdf](http://www.smts.fi/Kasvintuotanto_jalostuu/Kenedy_High%20moisture.pdf)

Sura sulfatjordar. Landsbygdsnätverkets publikation. 2009. [http://www.maaseutu.fi/attachments/verkkostoyksikko/5HZoNsENQ/sura\\_sulfatjordar\\_B5\\_LOW.PDF](http://www.maaseutu.fi/attachments/verkkostoyksikko/5HZoNsENQ/sura_sulfatjordar_B5_LOW.PDF)

Peltoviljelyn ravinnehuhtoutumien vähentäminen pellon vesitaloutta säätämällä. 2000. Salaoituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote n:o 25.

Reglerad dränering. Landsbygdsnätverkets publikation. 2009. [http://www.maaseutu.fi/attachments/verkkostoyksikko/5HZolv6g/reglerad\\_dranefing\\_kevyt\\_resoluutio.pdf](http://www.maaseutu.fi/attachments/verkkostoyksikko/5HZolv6g/reglerad_dranefing_kevyt_resoluutio.pdf)

Riktlinjer för minskning av olägenheterna från sura sulfatjordar fram till år 2020. Jord- och skogbruksministeriet, Miljöministeriet. 2011. [http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/julkaisusarja/newfolder\\_62/5xB7gwWM5/mmmjulkaisu2011\\_2a.pdf](http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/julkaisusarja/newfolder_62/5xB7gwWM5/mmmjulkaisu2011_2a.pdf)

International Acid Sulfate Soil Conference in Vaasa, Finland 2012. Towards Harmony between Land Use and the Environment, Proceedings volume. Geological Survey of Finland, Guide 56. [http://arkisto.gtk.fi/op/op56/op\\_056.pdf](http://arkisto.gtk.fi/op/op56/op_056.pdf).

Simojoki, A., Virtanen, S., Yli-Halla, M. 2012. Pohjaveden korkeuden vaikutus happaman sulfaattimaan dityppioksidiemissioihin lysimetrikokeessa. I publikationen: Schulman ja Kauppinen (red.). Maataloustieteen Päivät 2012 [verkkójulkaisu]. Suomen Maataloustieteellisen Seuran julkaisuja no 28. [http://www.smts.fi/Ymparisto/Simojoki\\_Pohjaveden%20korkeuden.pdf](http://www.smts.fi/Ymparisto/Simojoki_Pohjaveden%20korkeuden.pdf)

Sutela, T., Vuori, K.-M., Louhi, P. ym. 2012. Happamien sulfaattimaiden aiheuttamat vesistövaikutukset ja kalakuolemat Suomessa. Suomen ympäristö nro 14/2012. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=138242&lan=fi>

Virtanen, S., Simojoki, A., Yli-Halla, M. 2011. Korkean pohjaveden vaikutus happamalta sulfaattimaalta purkautuvan valumaveden happamuuteen lysimetrikokeessa. Teoksessa: Mieli maassa – maa mielessä 40 v, VI Maaperätieteiden päivien abstraktit. Pro Terra no 52 / 2011. ss. 27–28.

Yli-Halla, M. 2010. Happamien sulfaattimaiden luokittelu ja viljelyn vaihtoehdot. Teoksessa: Hoppanen (toim.). Maataloustieteen Päivät 2010 [webbpublikation]. Suomen Maataloustieteellisen Seuran julkaisuja no 26. <http://www.smts.fi/jul2010/esite2010/110.pdf>

VETENSKAP GER LIVSKRAFT

# MTT | RAPPORT

[www.mtt.fi/julkaisut](http://www.mtt.fi/julkaisut)

