



Projektrapport nr 18

Effekter vid restaurering av avslutade torvtäcker genom återvätning; undersökningar vid Porla, Toftmossen och Västkärr.

Lars Lundin, Elve Lode, Torbjörn Nilsson, Monika Strömgren, Sabine Jordan, Sergei Koslov

Uppsala
Februari 2016

**TORV
FORSK**

Stiftelsen Svensk
Torvforskning

Kontaktperson: Lars Lundin, Institutionen för mark och miljö, SLU,
Box 7014, 750 07 Uppsala. Tel. 018-673109, e-post: Lars.Lundin@slu.se

Foto fram- och baksida: Porla våtmark i Närke; framsidan överblick och
baksidan vitmosseexpansion
Fotograf: Lars Lundin

Tryckår: Juni 2016
Tryckort: Gävle

Förord

Projekt, Energimyndigheten 7494-6: Restaurering av avslutade torvtäkter genom återvätning.

Myrar och torvmarker är betydelsefulla inslag i Sveriges natur. Ungefär 15% av landets yta utgörs av torvmarker. Markerna fyller många ekosystemfunktioner såväl i naturligt tillstånd som nyttjade inom areella näringar. En användning är utvinning av torv, som substrat för främst odling, energi och strö i ladugårdar. Den senare i förlängningen att nyttjas inom jordbruket som markförbättrare. Utvinningen av torv innebär extraktion av materialet från det naturliga tillståndet och det blir uppenbar påverkan på myr miljön. Efter avslutad täkt ska markerna överföras till alternativ användning och en sådan är tillskapande av våtmark med på lång sikt nyskapad torvbildning till en ny myr. Det är just detta efteranvändningsalternativ, som detta projekt och rapport behandlar.

Projektet (7494 (1-6)) startade 1997 och har pågått i etapper. Undersökningarna har i huvudsak berört de två områdena Porla och Västkärr i Närke med Toftmossen i Västmanland, som adderats i den senaste etappen.

Under perioden deltog fyra medarbetare: Monika Strömgren, Elve Lode, Torbjörn Nilsson och Lars Lundin. Elve Lode disputerade år 2001 på just efterbehandling av torvtäkt till ny våtmark (Lode, 2001). Genom stöd från SLU 2009 utökades gruppen med doktoranden Sabine Jordan. Doktorandens huvuduppgift är att bidra till klarläggandet av växthusgasbalansen efter hydrologisk restaurering av avslutade torvtäkter. Doktorandarbetet väntas 2016 resultera i en avhandling och arbetet är beroende av föreliggande projekt. Projektet genomförs också med kontakter och utbyte av erfarenheter inom organisationen *International Peat Society* och särskilt dess *Commission V* och hithörande projekt *Wise after-use of peatlands; Rehabilitation and Restoration* (Farell, C.). Projektet har också koppling till organisationen Svensk Torv AB och Stiftelsen Svensk Torvforskning, ”TorvForsk”, som delvis finansierat projektet. Huvudfinansiär har varit Energimyndigheten.

Under projektåren har finansieringen av projektet varierat och därmed de insatser som kunnat genomföras. Emellertid har grundläggande monitoring upprätthållits och resultat från undersökningarna rapporterats i ett flertal publikationer och vid seminarier och konferenser; se publikationslistan. Denna rapport ger resultat från hela projektiden med visst fokus på senaste etappen 2011-2014.

Innehållsförteckning

Förord	2
Innehållsförteckning	3
Sammanfattning	4
Summary	6
Inledning	8
Projektets syfte	9
Mål	9
Metoder	9
Geografisk beskrivning av täkt/återvättningsområdena	11
Resultat	14
Väder	14
Mark	14
Hydrologi	19
Avrinning	22
Vegetation	26
Västkärr	26
Porlan	29
Toftmossen	32
Vattenkvalité	33
Vattenkemi	34
Västkärr	35
Porla	38
Ämnestransporter	41
Bottenfauna	42
Växthusgasflöden	44
Slutsatser	50
Projektpublicering	53
Organisation och tillkännagivande	53
Publicerade artiklar	53
<i>Projektpublicering</i>	53
Referenser	56

Sammanfattning

Torvmarker täcker stora arealer i Sverige och utvinning vid torvtäkter är en etablerad verksamhet. Efter avslutad täkt erfordras efterbehandling till nytt nyttjande av täktområdet. Detta kan vara till jordbruksmark, skogsproduktion, våtmark m.fl. användningsområden. Just omföringen av avslutad täkt undersöktes i detta projekt inriktat på restaurering av täktområdet genom återvätning till våtmark och i förlängningen till ny myr. Undersökningarna inriktades på hydrologi, mark, vattenkemi, vegetation och växthusgaser. Projektet startade i slutfasen av täktverksamheten med bestämningar av mark- och vattenförhållanden före återvätning och följde sedan tillstånd och processer i tillskapad våtmark. Undersökningarna genomfördes i etapper med ökat fokus på växthusgaser de senare sju åren.

Vattenförhållandena ändrades från det dikade tillståndets vattennivåer några decimeter under markytan till ett ytvatten med flerstädes 0.5 – 1.5 m djup. De grunda sjöarna hade tämligen hög vattenomsättning och merdeles goda syrgasförhållanden, som endast under kortare stagnationsperioder under senvinter och sensommar visade syrgasfria förhållanden i bottenvattnet. Förhållandena påverkade bottenfaunan som varierat men med tidig etablering av stort antal individer och biomassa men som minskade något under senare år. Artantalet visade dock en tendens att öka med tiden.

Vegetation saknades nästan helt när täkternas avslutades med endast en bar torvyta, som återstod. Begynnande växtkolonisation startade redan första året men det tog 2-3 år för att nå större täckning. Vegetationsetableringen var snabbare i Västkärns näringsrikare miljö men efter ett antal år föreföll arterna att bli tämligen triviala och en långsam igenväxning vidtog. Särskilt expanderade vassruggar ute i det öppna vattnet.

På den fattigare miljön vid Porlan etablerades vegetationen långsammare men efter en femårsperiod var vegetationen nästan heltäckande även om vatten och bar torv fanns främst mellan vegetationstuvorna. Främst var det tuv- och ängs-/kärrull som startade etableringen även om bl.a. starr, sileshår och vitag också förekom. Björnmossan noterades tidigt upp och efter sju år kunde spontan vitmossetablering noteras och täckningen har fortsatt att expandera.

Markförhållandena påverkades av kvarlämnad torv och den fastare kärrtorven i bottenskikten var mer stabil än ytligare kvarlämnad vitmosstorv. Vid Västkärr med en plan torvmark ovan en postglacial lera kunde torvutvinningen nå jämn och relativt tunt torvlager vid täktavslut. Detta substrat blev också en tämligen stabil botten i våtmarkstillståndet. Porlanområdet med torv på en ojämn moränbotten kom också att ha kvarlämnad torv med olika kvalitet och den ytliga vitmosstorven kom att svälla och delvis lyfta och bilda flyttorv med låg bärighet. Kemiskt ändrades inte torvsubstratet i större omfattning med stabilt pH, kol- och fosforhalt medan kväveinnehållet ökade något med större inslag av ammonium. CN-kvoten blev något lägre i den fattigare Porlan.

Hydrologin i våtmarksområdet speglades av vattennivån i våtmarkerna, grundvattennivåer i den närmaste omgivningen och avrinningen från områdena. Ytvattennivån finns relaterad ovan. Grundvattenförhållandena i omlandet påverkades av höjd vattennivå i våtmarken men ändringen på större avstånd (50-100 m) var liten, möjligen någon decimeter. På kortare avstånd från våtmarkskanten var ändringen större och det noterades 0.2-0.3 m högre nivå på 30-50 m avstånd. Avrinningen speglas i vattenbalansen, som visade lägre avrinning och högre avdunstning från våtmarksområdena. För den mer stabila perioden 7-13 år efter återvätning visar kontrollområdet en avrinning i medeltal per år om 246 mm och avdunstningen 492 mm.

Motsvarande värden för våtmarken Porla A1 var 197 mm respektive 540 mm. Höga vattenföringar vid kraftiga regn och snösmältning visade lägre toppar från våtmarken jämfört med kontrollen. Låga flöden vid torrperioder verkade bli lägre och perioder utan flöde längre än förhållandena under pågående täkt.

Vattenkemi var olika vid de tre undersökningsområdena där Porlan utgjorde en näringsfattig miljö med pH strax över 5 medan Toftmossen hade ett pH på ungefär 6 och Västkärr det rikaste med pH mellan 6 och 7. Även näringsämnen som oorganiskt kväve, baskatjoner och fosfor speglade denna bild. Ändringar efter återvätning kunde endast bestämmas för Porlan och Västkärr. Vattnets pH var tämligen oförändrat vid Porlan medan det inledningsvis blev lägre vid Västkärr för att med tiden öka till högre värden än före återvätningen. Flertalet ämnen visade lägre koncentrationer i våtmarkerna jämfört med i täktstillstånd men fosforhalterna ökade. Även transporter av flertalet ämnen var lägre efter återvätning.

Växthusgasemissioner från öppet vatten visade generellt låga värden för de tre växthusgaserna koldioxid, metan och lustgas. Från växter på mark i strandzonen förekom dock höga flöden av CH₄, vilket var betydligt högre än den som uppmätts på den orörda myren. Det blev tydligt att våtmarksväxterna är en förutsättning för betydande metanemissioner. Även höga emissioner av CO₂ uppmättes från dessa växter, men de nya kontinuerliga mätningarna från det automatiska mätsystemet visade att en mycket stor andel av CO₂-emissionerna hade tagits upp genom fotosyntes under dagarna. Om detta kan generaliseras för alla ekotoper med vegetation, tillsammans med att N₂O-emissionerna generellt var låga eller obefintliga för de tre undersökta lokalerna, pekade resultaten på att det var CH₄, som dominerade nettoflödet av växthusgasemissioner från torvtäkter som restaurerats genom återvätning.

Allmänt kan sägas att det är ett möjligt och bra alternativ att efterbehandla avslutade torvtäkter till våtmark till fördel för landskapsdiversitet och biologisk variation. Betydelsen ur ett växthusgasperspektiv kan vara mer dubiöst och erfordrar ytterligare studier. På sikt kommer dock torvbildningen att ackumulera kol.

Summary

In Sweden, mires and peatlands cover large areas parts of which are used for rural activities such as peat harvesting. When harvesting is finished, the site should be brought to an alternative after-use such as for e.g. forest production, agriculture crops or grasslands. Sites may also be subject to rewetting with a goal of establishing wetlands that eventually may form mires with new peat accumulation. In this report we have investigated effects of rewetting by restoration of site hydrology on soil, hydrology, vegetation and emissions of green house gases (GHG). The project started at the cessation of peat extraction with determination of soil and water before planned rewetting to open wetlands. Studies were carried out during three periods, i.e. before rewetting, directly after rewetting and also 7-13 years later.

Water conditions in the area changed from the drained situation with water levels a few decimeters below peat surface to surface waters with water depth of 0.5-1.5 m. These shallow lakes had comparably large water turnover and often fairly good oxygen conditions. However, during water stagnant periods, oxygen free bottom waters occurred. Such conditions influenced the benthic fauna that had developed rapidly to large number of individuals with high biomass. This high biomass later decreased and instead number of species increased.

At termination of peat harvesting, the cutover area was fairly black without any vegetation. During the first year after cessation of peat extraction, plant colonization started and after two to three years there was rather high coverage of the cutover area. The Västkärr fen was fairly nutrient rich and vegetation establishment was faster as compared to the nutrient poor Porla peatland. In the Västkärr fen about 16 species dominated in the early phase but this declined to fewer number of species being rather common types and especially reed expanded over open water surfaces.

In the nutrient poor Porla site establishment of species were slower but after about five years fairly good coverage could be seen dominated by cotton grass (*Eriophorum vaginatum* and *E. angustifolium*) but *Carex* spp., *Drosera* spp. and *Rhynchospora alba* were also found. *Polytricum commune* was seen early and seven years after rewetting *Sphagnum* also had colonized and expanded later on.

Soil conditions were influenced by remaining peat after extraction and at Västkärr fen the bottom black peat over flat post-glacial clay formed a rather stable bottom in the newly formed lake. In the Porla site the prerequisites were different with an uneven moraine covered by peat of various thicknesses with black fen peat in the bottom overlaid by *Sphagnum* peat in the top peat layers at several places. This top layer peat collected lots of water and swelled up to the water surface on some areas and formed also floating rafts. This peat had low bulk density and low load bearing capacity, not conveniently accessible.

The peat chemical properties did not change very much after rewetting with stable pH, carbon and phosphorus content. However, higher nitrogen content, especially ammonium was observed and over time, the CN-ratio declined.

Wetland hydrology was controlled by water levels, groundwater in the near-by land and the discharges to and from the sites. Lake water levels were fairly stable. Groundwater levels in the surroundings were elevated 0.2-0.3 m in the closest about 30 m but not more than 0.1 m at distances of 50-100 m from the lake.

Runoff from the sites could be mirrored in the water balance that showed a runoff on 197 mm and evapotranspiration on 540 mm, compared to the control area having corresponding values of 246 mm and 492 mm, respectively. From this it could be concluded that there was a decreased runoff after rewetting. Also peak flows at heavy rain or snowmelt showed lower values as well as low discharges during periods of drought. Duration of periods with no surface water flow increased.

Water chemistry in the wetlands changed somewhat with pH at Västkärr fen initially on lower levels but with time reaching values higher than before rewetting. The Porlan wetland showed small changes in pH but most element concentrations decreased which was similar to the Västkärr fen. Also element flows were lower after rewetting.

Emissions of GHG emissions showed low values from the open water for carbon dioxide, methane and nitrous oxide (N₂O). Comparably high emissions occurred from plants on peat in the shoreline, especially for methane. Emissions of N₂O on the other hand, were almost negligible from most sites on both peatlands. For net gas exchange, measurements of both photosynthesis and emissions were needed. These were obtained using a continuous automatic system with transparent chambers. Later investigations will reveal the outcome of these determinations. However, for emissions, it could be concluded that methane was the dominant GHG.

A general conclusion would be that rewetting of terminated peat cut-over areas to form new wetlands is a good after-use option for landscape biodiversity. The significance from a GHG perspective could be disputed but with new mire vegetation there will be carbon accumulation from peat formation.

Inledning

Sverige är ett torvrikt land. På en del torvmarker pågår torvtäkt. Denna verksamhet innebär utvinning av torv för främst odling, strö och energi. Efter avslutad täkt lämnas marken till ny markanvändning. Flera alternativ finns bl.a. skogsodling, betesmark, bärodling och återvätning till ny våtmark. Denna rapport presenterar effekter av återvätning till våtmark i form av en grund sjö till gagn för vatten, biodiversitet och klimat. Initialt innebär vattentillförseln stora ändringar från en dränerad situation till vattentäckta förhållanden. Emellertid ändras fysikaliska, kemiska och biologiska förhållanden fortlöpande efter att ny hydrologi skapats. Sådana förhållanden har undersökts vid tre torvtäkts/återvättningsområden med två i SV Sverige och ett i östra Svealand.

Våtmarker och torvmarker i landskapet har stor betydelse för vattenbalans, retention och utlakning av ämnen, för växthusgaser och den biologiska mångfalden. Det är inte bara torvnäringen som har intresse av kunskaper om efterbehandling till våtmark utan också tillsynsmyndigheter och regeringens miljömålsarbete relaterar till flera av de uppsatta målen, bl.a. myllrande våtmarker, levande sjöar och vattendrag, endast naturlig försurning, ingen övergödning, begränsad klimatpåverkan och ett rikt växt och djurliv. Ytterligare betydelse är utblick mot estetiska värden – en attraktiv landskapsbild där öppna kärrmarker utgör ett väsentligt mångfacetterat inslag.

Torv är en del i Sveriges energiförsörjning och torvtäkt pågick 2010 på ca 20 tusen ha torvmark där Sveriges torvpotential uppgår till 6.4 miljoner ha (Hånell, 1989). Torvbränsleenergin i nuvarande omfattning uppgår till 2-4 TWh men skulle kunna vara större (SCB, 2014). Torvbildning är en pågående naturlig process som främjas av lämpliga hydrologiska förutsättningar. Bildningen sker långsamt och bygger på bl.a. solenergi och CO₂ som skapar de växter som sedermera kan lagras som torv. God tillgång på vatten är en förutsättning för hämmad nedbrytning med långsiktig lagring av organiskt material.

Under täktverksamheten regleras vattenförhållana för att efter avslutad verksamhet kunna anpassas till lämplig efteranvändning av den kvarvarande marken. Prioriterat är f.n. återvätning för ny våtmarksbildning, med relevans för flera av regeringens miljömål. Den inverkan efterbehandlingen har på hithörande processer är p.g.a. de naturgivna processerna långsiktig.

Internationellt är intresset för restaurering av mänskligt påverkade torvmarker och utbrutna torvtäkter stort. I Sverige har uppmärksamheten på dessa marker fått ökad aktualitet de senaste åren och berör nu i ökande omfattning också återställande av dikade skogsmarker. För torvtäkter har aktualiteten blivit särskilt stor mot bakgrund av att ett ökande antal torvtäkter nu kommer till efterbehandlingsstadium. Inom de närmaste åren skall minst ytterligare ca 5000 ha efterbehandlas. Kunskap om olika alternativ och hur dessa kan tillskapas efterfrågas i ökande omfattning. I Sverige är det lagstadgat att en efterbehandlingsplan skall finnas. Den dominerande efterbehandlingen i dessa planer är eller kanske har varit beskogning men alternativ som för jordbruksgrödor, energiskog och "viltvatten" finns också. Just liminska och kärrartade våtmarker röner ökande intresse i takt med att naturvärden och naturliga funktioner uppmärksammas alltmer.

Naturliga myrar och skogklädda torvmarker har undersökts i andra projekt och resultaten visar på den stora betydelse organogena marker har för kollagring och växthusgasemissioner

(Nilsson och Nilsson., 2004; Morén, 2006; Strack, 2008). Det föreligger en viss motsättning mellan goda biodiversitetvärden och klimatpåverkan på så sätt att eftersträvad vegetation också bidrar till större växthusgasemissioner. Emellertid innebär torvbildning en långsiktig lagring av kol, som då undantas påverkan i atmosfären. Hithörande frågor har även fått ökat utrymme inom föreliggande projekt och bestämmningar har gjorts på alla de tre ingående efterbehandlade täkterna

Projektets Syfte

Undersökningarna inriktas på att klarlägga effekter på systemet mark-vatten-växt-atmosfär vid återvätning av avslutade torvtäkt. Avsikten är att söka nå ett fungerande ekosystem med en torvbildande vegetation och bestämma en begynnande ackumulation av biomassa samt de miljökonsekvenser detta får på återvättningsområdet, dess omland inklusive nedströms vattensystem samt luftmiljön. Kopplingen mellan vegetationens och andra organismers funktioner till fysikaliska och kemiska förhållanden klargörs. Hydrologiskt klargörs hur avrinningsmönstret från det efterbehandlade området ändras, dels hur årsavrinningen påverkas, dels även hur återvätningen inverkar på frekvensen av höga och låga flöden.

Mål

Målet är att bestämma hur vegetationstillstånd, vattenbalans, vattenkvalité och hydrokemiska budgetar ändras vid återvätning av torvmark efter täkt och i ett inledande skede av torvtillväxt samt förutsättningar för torvbildad vegetation. Våtmarksmiljöns betydelse för kollagring och flöden av växthusgaser klargörs.

I det långa perspektivet skall undersökningarna vara ett kunskapsunderlag för konventionell efterbehandling av avslutade torvtäkt.

Metoder

Undersökningar genomfördes vid de tre täktområdena Västkärr, Porla och Toftmossen. Vid Västkärr studerades främst vattennivåer, vattenkvalité, mark-/bottensubstrat, bottenfauna, vegetation och i viss omfattning växthusgaser. För Porlan genomfördes liknande undersökningar med också därtill vattenflöden, ämnestransporter, grundvattenförhållanden och i större utsträckning undersöktes växthusgaser. Undersökningarna vid Toftmossen startade senare och då med vegetation redan delvis etablerad. Markprovtagning genomfördes således efter inledande återvätning. Vid Toftmossen har inriktningen primärt varit på växthusgaser.

Inledningsvis inventerades förhållandena i slutet av pågående täkt, då i det dränerade tillstånd, som erfordras för att kunna genomföra torvtäkt. Efter ett till två år avslutades täktverksamheten 1998 och 1999 och områdena förbehandlades inför återvätning. Detta innebar igenläggning av diken på Västkärr och installation av en munk samt byggande av en dammvall vid Porla. Redan 1998 började ökning av vattenmängden ske vid Västkärr och senare vid Porla genom de nederbördsrika åren 1998 och 2000, varvid höga vattennivåer nåddes. Därefter har hydrologin varierat med höga och låga nivåer.

Temperatur- och nederbördsdata har hämtats från SMHI:s karttjänst Luftweb (<http://luftweb.smhi.se/>). Porlan och Västkärr är närbelägna och har likartat klimat medan Toftmossen belägen på större avstånd från de andra två har givits värden adekvata för just det området. Marken har provtagits före och efter återvätning. Både markprovtagningscylinrar och vitrysk torvkannborr har använts. Markens fysikaliska och kemiska förhållanden bestämdes vid Porlan och Västkärr före återvätningen varvid topografi, torvmäktigheter och minerogent underlag kartlades. Markprovtagning genomfördes för fastställande av mineraljordens jordarts- och kemiska sammansättning. Torvslag och torvkemi bestämdes.

Grundvattennivåer har följts i täktens omland med manuella mätningar i öppna rör. Avrinning har bestämts i avbördningsstationer med registrerande instrument och manuella mätningar var 14:e dag.

Vid Porlan har vattenflödesmätningar har genomförts från tre områden:

- Tillrinning från uppströms liggande avrinningsområde, kallat Porla In (78 ha).
- Avrinning från Porla RW/A1 = täktområde (-1999)/återvätningsområde (2000-2013), totalt ca 133 ha.
- Avrinning från referensområdet, Läsarmossen (13.5 ha) beläget 2 km SO Porla A1.

Mättdammar med Thomsonöverfall installerades för dessa områden och vattenståndet i dessa mättdammar följdes kontinuerligt med registrerande peglar. Vattenföringsdata har på detta sätt insamlats sedan hösten 1996 från Läsarmossen, juni 1998 från Porla In, sommaren 1998 från Porla RW/A1. Då medelstilldelningen var låg till projektet under perioden 2003-2006 kunde inte några hydrologiska mätningar genomföras under större delen av 2003, samt delvis också under 2004-2006.

Vid Västkärr följdes avrinningen i utloppet från täkt-/återvätningsområdet med en referensstation i avloppsdiket från pågående täktområde söder om efterbehandlingsområdet. Problem med inläckage av vatten från omgivningarna runt täktområdet medförde svårigheter med kontinuerlig och meningsfull vattenföringsbestämning från efterbehandlingsområdet. Efter återvätning var det inte varit möjligt att göra väldefinierade mätningar. Hela mätstationen kom att ligga under vatten. Undersökningarna vid Västkärr koncentrerades därför på vattennivåer, vattenkvalité, vattenkemi och vegetationsutveckling samt under senare år bottenfauna och växthusgaser (sedan 2009). Torv och underliggande mineraljord har bestämts med avseende på fysikaliska och kemiska förhållanden. Ytvattnets kemiska sammansättning följs.

Vattenprovtagning genomfördes månadsvis och två till tre dagar efter provtagning gjordes analyser vid institutionerna för mark och miljö och vatten och miljö, SLU i Uppsala enligt metoder för svensk standard (SIS, 1986). Syrgashalter bestämdes i fält med elektrod vid 1-5 gånger årligen (ej 2005) och bottenfauna provtogs en gång per år.

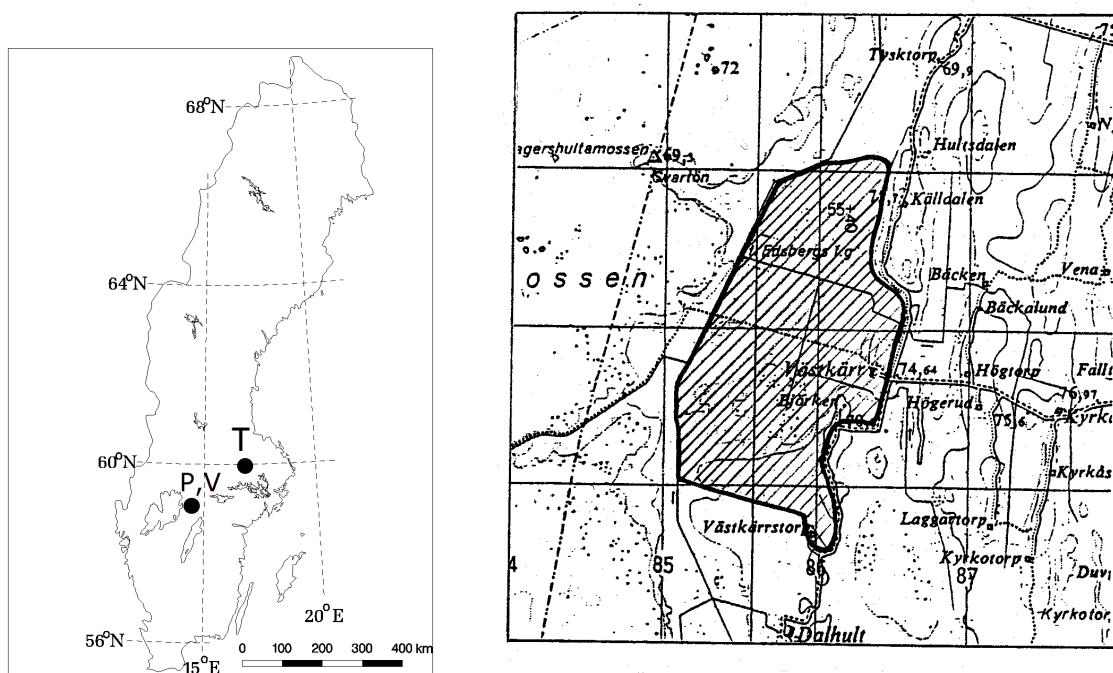
Vegetationstillståndet karterades i strandområdena på våtmarkerna. Karteringen upprepades under de flesta åren efter återvätningen. Artförekomst och delvis täckningsgrader bestämdes för kärlväxter och mossor. Kartmaterial och vegetationsinventeringar kombinerades för att tillskapa översikter över mark- vatten- och vegetationsutvecklingen för de två återvätningsområdena Porla och Västkärr. Undersökningarna av ytstrukturerna baserades på

färgortofoton (0.5 m pixlar) hämtade från SWEREF 99, dvs Lantmäteriverket och baserade på flygbilder från 2007 tagna på 4800 m höjd. Detta innebar bilder åtta (Porla) respektive nio (Västkärr) år efter återvätning.

Under de senare sex åren genomfördes mätningar av växthusgaser enligt kammarteknik vid upp till fyra gånger per år och för de två senaste åren installerades ett automatiskt system med åtta kyvetter för kontinuerliga bestämningar av emissioner och nettoflöden.

Geografisk beskrivning av täkt/återvättningsområdena

De två undersökningsområdena Porlan (N 59° 01'; E 14° 38') och Västkärr (N 59° 06'; E 14° 45') har geografiskt läge i sydvästra Sverige i södra Örebro län ca 10 km norr Laxå och 50 km SV Örebro. Porlanområdet ligger 6 km SV om Skagerhultamossen, den största mossen i denna del av landet medan Västkärr utgör laggområde på mossens NO del (Fig. 1). Vid Porla har Läsarmossen (N 59° 01'; E 14° 40') använts som referensområde. Där pågick torvproduktion fram till ca 1980 varefter området restaurerats, dels på naturlig väg genom att gamla diken växt eller slammat igen, dels genom att en del av diken dämats 1989. Arealen är 13.5 ha. Toftmossen (N 59° 43'; E 16° 18') återfinns i Västmanland ca 150 km NO om de två andra undersökningsområdena.



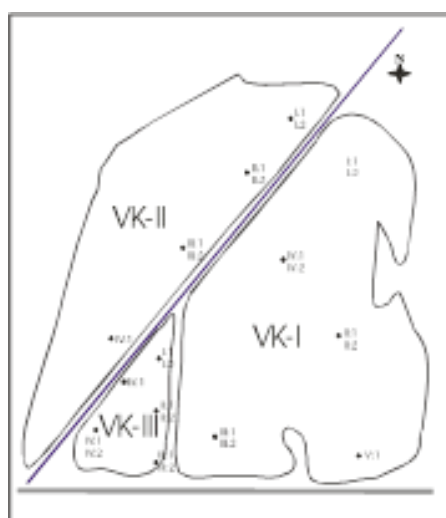
Figur 1. Porlans (P), Toftmossen (T) och Västkärrs (V) geografiska lägen i Sverige och hela Västkärrsområdets utbredning (till höger). Endast den norra tredjedelen av Västkärr är efterbehandlad.

Västkärr

Täktområdet Västkärr utgörs av tre delområden varav det norra om 80 ha är det som först efterbehandlats (Fig. 2). Detta område utgjordes i sin tur av tre delvis avskilda ytor. En var tänkt att bli ett viltvatten (östra området: VK I), en grund fågelsjö med öar där vattennivåer

reglerades för upprätthållande av öppna vattenytor och motverkande av fisketablering. En andra yta, det västra området VK II, var avsedd för mer fri återkolonisation av kärrartad vegetation. Även på denna yta tillskapades öar. Det tredje området var VK III, ca 5 ha, med en delvis öppen vattenyta och påverkades primärt av tillrinning från områden med pågående täkt. VK III hade också direkt anslutning till VK I.

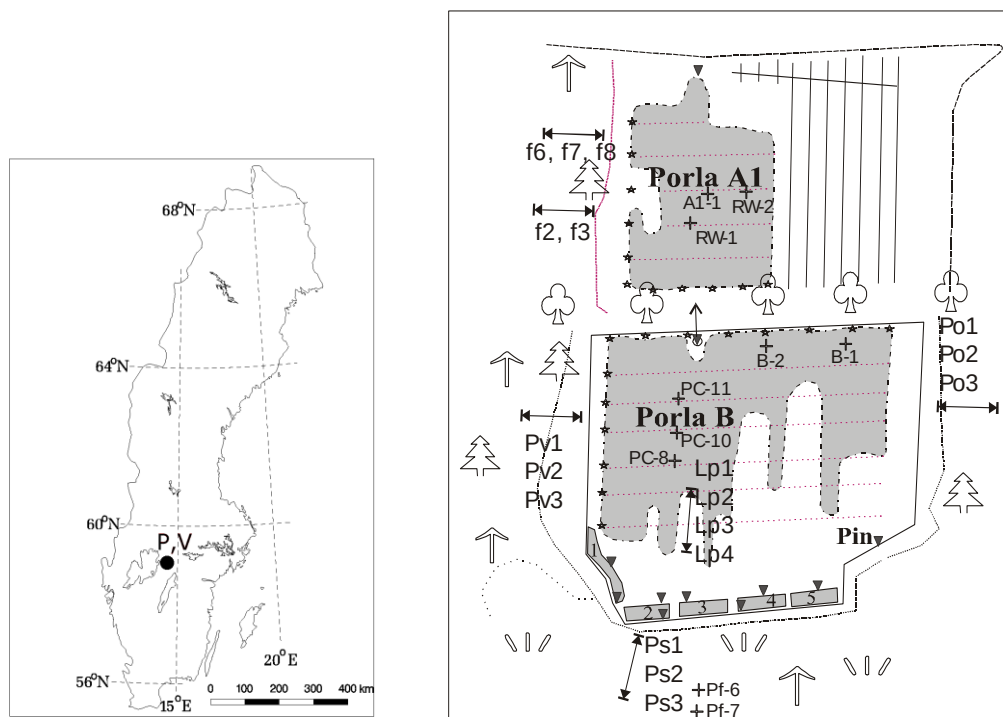
Markförhållandena vid Västkärr utgjordes av en starrtorv på postglacial lera med 0.2 m torvmäktighet och stabila bottenförhållanden. Läget i terrängen var i ett lågområde mellan den väldiga Skagerhultamossen och i öster högre liggande jordbruks- och skogsmark. Detta medförde utströmningsförhållanden av grundvatten och relativt stabila vattennivåer även om dessa under perioder med stor vattentillgång kan nå en till två meters förhöjt vattenstånd. En relativt rik kärlväxtflora etablerades med kaveldun, tåg, vass och starrarter.



Figur 2. Västkärr med de tre delområdena VK I, VK II och VK III

Porla

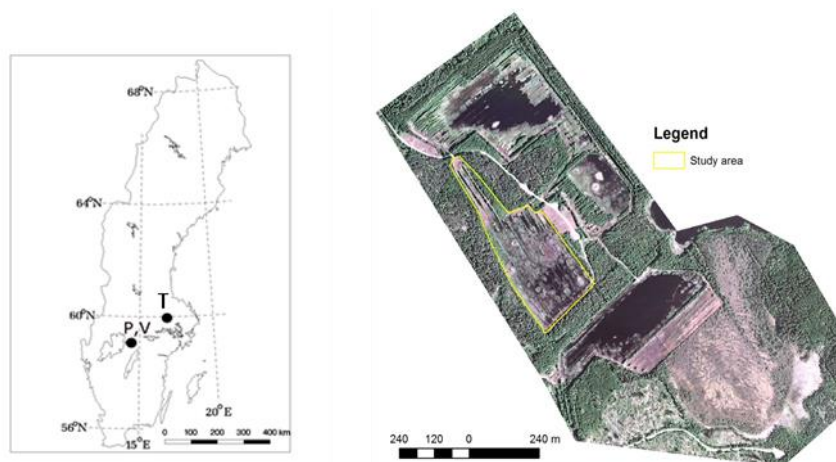
Porlaområdet utgjorde huvudundersökningsområde med två våtmarker; Porla B ca 12 ha och Porla A1 ca 5 ha med tre olika typer av återvätning. Porla A1 planerades till kärrområde, B avsågs utgöra en fågelsjö och i dennas kanter etablerades terrassering med laguner (5 st om ca 10 x 40 m²) för studier av vegetationsutveckling under varierande hydrologiska förhållanden (Fig. 3). Återvätningen genomfördes hösten 1999.



Figur 3. Geografiskt läge för Porla i sydvästra Närke. Detaljkarta med täkt- och återvättningsområden A1 och B, i vars södra del fem laguner finns. Söder om dessa finns ett naturligt och orört fattigkärr utgörande delar av tillflödet till återvättningsområdet.

Toftmossen

Det tredje området Toftmossen har efterbehandlats vid flera tidpunkter med en del i öster redan på 1990-talet. Undersökningarna av växthusgaser och vegetation hänför sig till de centrala delarna i väster med ett antal lokaler inom ett begränsat område (Fig. 4). Vid täktstart var torvmäktigheten ca 3 m dominerad av *Sphagnum* och *Carex* torv och vid avslutning fanns 20-40 cm torv kvar, som var delvis ler- och gyttejblandad. Hela området omfattar ca 55 ha medan växthusgasmätningarna gjordes inom ett område på ca ett ha.



Figur 4. Toftmossen och dess geografiska läge. Undersökningsområdet på Toftmossen är inringat med gul ram.

Resultat

Väder vid Porla och Västkärr

Års- och månadsmedeltemperaturen under undersökningsperioden 1997-2013 har i de flesta fall varit högre än under den s.k. normalperioden 1961-1990. Under perioden 1997-2013 har årsmedelnederbörden varit nästan 9 % högre jämför med normalperioden 1961-1990 (Eriksson, 1979). Sommarhalvåret (april-september) i perioden 1997-2013 har i medeltal varit 13 % nederbördsrikare än normalperioden 1961-1990.

Väder vid Toftmossen

Klimatperioden 1961-1990 visade att 2010 var medeltemperaturen lägre än normalt medan åren 2011, 2012 och 2013 var varmare. Långtidsvärdet för nederbörd är 650 mm per år vid Toftmossen. Utgående från detta så var åren 2010 och 2011 ganska normala i nederbörd. Under 2012 kom det dock hela 869 mm, vilket var nästan lika mycket som under det extremt nederbördsrika året 2000. Perioden april-oktober 2012 hade ett kraftigt nederbördsöverskott. Däremot så var år 2013 istället det nederbördsfattigaste under perioden 1961-2013.

Mark

Västkärr

En höghumifierad kärrtorv (starr-/trädtorv) överlagrade gyttja och lera. Torvlagrets mäktighet före återvätning varierade mellan 0 och 70 cm, flerstädes 20-40 cm, och gyttjan nådde 0-5 cm.

Volymvikter var för de olika jordarterna:

- torv 0.2-0.3 g/cm³,
- gyttja 0.4-1.0 g/cm³
- lera 0.8-1.4 g/cm³.

Efter återvätning bestämdes volymvikten för bottensubstratet, som bestod till delar av kvarlämnad torv och till delar av nytt sediment. Volymvikten uppgick till 0.1-0.3 g/cm³ med en glödförlust om 80-90%. Med en antagen kolhalt för organiskt material på 50% resulterade detta i 40-45% C i sedimentet, vilket överensstämde bra med uppmätta kolhalter (43-48%) i provtaget organiskt material (Tabell 1 och 3). Ett grovt överslag avseende mängden kol/m² visade en minskning med ca 10% efter åtta år.

Torvens kemiska sammansättning karaktäriserades av relativt goda näringsförhållanden med ett pH_{H2O} i torven av 4.5-5.2 och i underliggande lera på 5.2-5.5 (Tabell 1). C-innehållet i torven låg på normal nivå och med en kvävehalt av ca 2.1% gav det en CN-kvot som indikerade relativt gynnsamma växtbetingelser. Halterna extraherbart (HCl) fosfor och kalium låg på höga nivåer. Utbytbar (NH₄Ac) Ca och Mg var relativt högt. Ammoniumhalten var nära noll i markytens nära skikt medan nitrathalten var relativt hög. I den underliggande, sannolikt anaeroba lermiljön, saknades nitrat men istället förekom ammonium. Den södra delen av området är näringsrikare än den norra.

Tabell 1. Markens kemiska sammansättning av torrsubstans i torv (0-20 cm) och lera (30-50 cm) på täktområdet Västkärr 1997, dvs. före återvätning. Ca och Mg extraherat med NH₄Ac. Antal prov 5-10.

	PH _{H2O}	C, %	N, %	C/N	NH ₄ -N mg/kg	NO ₃ -N mg/kg	P _{HCl} mg/kg	K _{HCl} mg/kg	Ca mg/kg	Mg mg/kg	S, %
torv	4.8	45	2.1	21	0	10-100	600	400	8800	500	0.5
lera	5.3	2	0.1	20	30-100	0	450	2200	1200	150	0.1

Efter återvätning ändrades torven/bottensedimenten något och mest påtagligt var ändringen i nitrat och ammonium. Före återvätning dominerade nitrat i kvarlämnad torv men efter återvätning visade ammonium det högre innehållet (Tabell 2).

Tabell 2. Ammonium- och nitrathalter i torven vid Västkärr före och efter återvätning (2003).

	Före återvätning	Efter återvätning
NH ₄ -N KCl, mg/kg ts	0	115
NO ₃ -N KCl, mg/kg ts	50	0.7

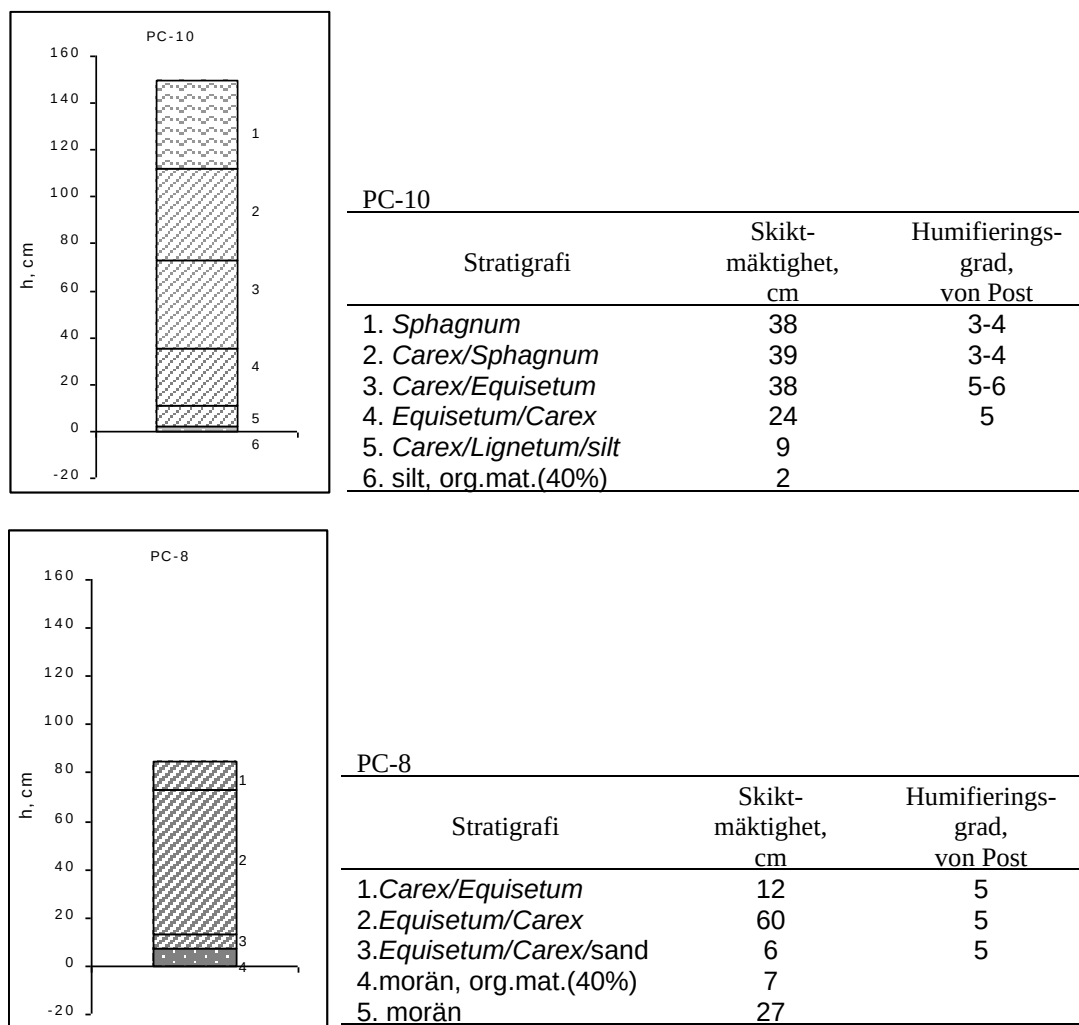
Den kemiska sammansättningen av kvarlämnad torv efter avslutad täkt och bottensediment (torv) efter återvätning visade endast mindre ändringar med något ökande pH-värde, ökad svavelhalt, utbytbar Mg men i stort oförändrade halter Ca, K och P (Tabell 3).

Tabell 3. Kemiska egenskaper i torv och bottensediment (relaterat ts) före och efter återvätning vid Västkärr (3-9 prov/analys).

år	pH	C, %	N, %	C/N	S, %	Ca NH ₄ Ac mg/kg	Mg NH ₄ Ac mg/kg	K HCl mg/kg	P HCl mg/kg
1997	5,1	43	2,1	21	0.6	8800	500	400	665
2003	5,3	48	2,1	23	1,0	1200	96	320	610
2007	5,4	46	2,2	21	1,1	8200	675	430	490

Porlans torvlager inom återvättningsområdet

Variationen i torvmäktighet inom Porlanområdet var stor inför återvätningen med uppstickande stenar och block på flera platser. Ställvis fanns 0-0.5 m torv men mäktigheten varierade i övrigt från 0.3 m till ca 2 m. Torvslaget i yttorven dominerades av *Carex* och *Carex/Eriophorum* torv men där torvdjupet var större fanns också ett ytlager av *Sphagnum* torv (Fig. 5).



Figur 5. Stratigrafi för återvätningsområdet med torvslag, torvdjup och humifieringsgrad. Lokaler för PC 8 och 10 var från de centrala och södra delarna av Porla B.

Mäktigare lager av kvarlämnad torv fanns i nordväst medan relativt litet torvdjup, 0.2-0.5 m lämnats i de södra delarna nära det orörda kärrområdet. Humifieringsgraden var flerstädes 20-40% i den relativa skalan, motsvarande H4-6 enligt von Post (Fig. 5). *Sphagnum*-torven hade lägre humifieringsgrad, H 3-5. Torvstratigrafin bestämdes på ett tiotal platser. På lokaler med mäktigare torv visade stratigrafien i ytnära skikt *Sphagnum*-torv, därunder *Eriophorum-Scheuchzeria-Sphagnum* torv, som överlagrade i varierande blandning med *Carex*, *Equisetum* och *Lignetum* torv i de tidigast bildade lagren, varunder minerogent material var inblandat i torven. I de nordliga områdena förekom också *Pragmites*, *Bryales* och *Equisetum* inslag i torven.

Torvens skrymdensitet före återvätning var ca 0.1 g/cm³ och 0.3-0.4 g/cm³ efter att området iordningställdes för återvätning. Torven hade delvis kompakterats av maskiner. Provtagning av svälld och upplyft torven visade värden mellan 0.02 g/cm³ och 0.04 g/cm³. Detta innebar en femtedel av värden före återvätning. En skrymdensitet på 0.3-0.4 g/cm³ motsvarande 15-20 kg C m⁻² och decimeterskikt. En jämförelse av yttorven (*Sph.*) före och efter återvätning visade på en minskning med nära 80% i kolinnehållet i det ytligaste 0.6 m skiktet främst orsakad av låga skrymdensiteter. Jämförelsen blev svår eftersom fixa torvskikt inte går att identifiera.

Särskilda undersökningar genomfördes för att klargöra svälld och flytande torvs egenskaper och hur lagerföljden var. Den flytande torven utgjordes av relativt kraftigt nedbruten vitmosstorv av 0.5-1 m mäktighet och därunder ca 0.5 m vatten ovan höghumifierad starr/vass torv och gyttja (Tabell 4).

Tabell 4. Karaktäristisk lagerföljd för flytande eller svälld torv i Porlans återvättningsområde 2013. Hum.grad: humifieringsgrad enligt von Post, C %: kolhalt beräknad från glödförlust och 50% kol i organiskt material.

Djup, cm	Material	Hum.grad	Glödförlust, %	Volymvikt, g/cm ³	C, %
0-60	Vitmosstorv	8	95	0.02	47
60-100	Vatten	-	-	-	-
100-120	Vasstorv	9	95	0.03	47
100-120	Gyttja	-	93	0.04	46
120-130	Lera				
130+	Morän				

Torven kemiska sammansättning före återvätning uppvisade pH-värden i yttorven på ca 4.5 stigande med djupet till 5 och 5.2 närmast över mineraljorden. Kolhalten var ca 50% och kvävehalten ca 1% vilket gav en CN- kvoten på 40-50 i markytens nära skikt medan kvoten var nära 20 i de djupare lagren. På den orörda och närbelägna torvmarken var CN-kvoten 60-130 i den övre metern. För Porla B före återvätning var halten S var 0.15% och tillgängligt P och K (HCl) i de översta 0.2 m var 320 mg/kg respektive 92 mg/kg motsvarande 77 kg P/ha och 22 kg K/ha. NO₃-N var i låga (< 3 mg/kg) 0 och NH₄-N uppgick till 52-240 mg/kg ts (Tabell 5 och 6). Jämfört med Västkärn noterade vi för Porlan uppenbart näringsfattigare förhållanden och att den orörda kärnmarken kunde således klassificeras som ett fattigkärn.

Efter återvätning, 2003 ca 4 år efter, var i ytskikten kolhalt nära nog oförändrat, ca 50%, pH ökade till 2003 men var sedan lägre 2007. Kvävehalten hade ökat och detta resulterade i en CN-kvot på ca 35. Det oorganiska kvävet föreföll att ha minskat något främst beroende på NH₄-N (Tabell 5). Halterna P (HCl) hade ökat medan K (HCl) hade minskat. Mängderna hade minskat för båda ämnena. Effekterna kunde bero på ändrad skrymdensitet, som också medförde klart lägre mängder P och K i ytskikten. Detta märktes också senare vid inventering 2007 (Tabell 6).

Tabell 5. Markkemiska variabler vid Porla 1998, 2003 och 2007 i torvskikten 0-20 cm och 20-40 cm. Ammonium- och nitratkväve extraherat i KCl. Halter relaterat ts, antal prov 3-8.

År		pH H ₂ O	C, %	N, %	C/N	S, %	K NH ₄ Ac, mg/kg	NH ₄ -N, mg/kg	NO ₃ -N, mg/kg
1998	0-20 cm	4.4	50	1.15	43	0.2	2.0	52	2.1
1998	20-40 cm	4.6	50	0.8	63	0.1	0	240	0.2
2003	0-20 cm	4.8	50	1.4	36	0.3	3.7	50	0.8
2003	20-40 cm	4.8	53	1.6	33	0.2	2.6	96	1.2
2007	0-20 cm	4.2	55	1.8	31	0.2	0.1		
2007	20-40 cm	4.4	57	1.8	32	0.2	0.1		

Tabell 6. Extraherbart (HCl) P och K i torven vid Porlaområdena före återvätning 1998 och efter vätning 2003 och 2007. Halter relaterat ts, antal prov 3-8.

	Koncentrationer, mg/kg			Mängder, kg/ha		
Marknivå	P _{HCl}			P _{HCl}		
	1998	2003	2007	1998	2003	2007
0-20 cm	320	277	370	77	24	32
20-40 cm	215	276	460	48	24	40
	K _{HCl}			K _{HCl}		
	1998	2003	2007	1998	2003	2007
0-20 cm	92	116	51	22	10	4
20-40 cm	53	82	18	11	5	1

Avseende de utbytbara baskatjonerna Ca och Mg visade Mg nära oförändrade halter medan Ca var högre efter återvätningen, troligen beroende på schakningsarbeten, som blandat in minerogent material i torven. Den lägre skrymdensiteten medförde trots högre halter att mängderna Ca och Mg var lägre efter återvätning än före denna (Tabell 7).

I jämförelse med Västkärr var pH likartat men i övrigt uppvisar Porlan fattigare näringsförhållanden vilket kan ses i C/N kvoten, som på Västkärr var 21. Tillgängligt P och K var också avsevärt lägre och mängderna låg nära eller under de värden som anges för skogsodling. En klar skillnad till Västkärr visade också näringsämnesfraktionerna av kväve med avsaknad av nitrat vid Porlan medan ammonium fanns (Tabell 8). På Västkärr var det tvärt om. Ändring efter återvätning av nitrat och ammoniuminnehåll var för Porla liten medan halterna vid Västkärr visade på ökat innehåll av ammonium medan nitrat minskade (Tabell 2).

Tabell 7. Utbytbart (NH₄Ac, pH 7) Ca och Mg i torven vid Porlaområdena före återvätning 1998 och efter 2003. Halter relaterat ts, antal prov 3-8.

	Koncentrationer, mg/kg ts					
Marknivå	Ca			Mg		
	1998	2003	2007	1998	2003	2007
0-20 cm	1090	1830	1900	366	365	306
20-40 cm	711	1620	1602	370	279	246
	Mängder, kg/ha					
Marknivå	Ca			Mg		
	1998	2003	2007	1998	2003	2007
0-20 cm	261	162	190	88	32	31
20-40 cm	157	106	160	82	19	25

Kemiskt representerade de två områdena Västkärr och Porlan olika ”torvmarker” och speglar på så sätt olika typer av växtbetingelser. Västkärr var ju en laggzon av kärrtyp medan Porlan

emanerar från en mosse. Under den senare treårsperioden adderades ett tredje område, Toftmossen för att öka representativiteten. I flera avseenden visade torven vid Toftmossen kemiska förhållanden, som ligger mellan den fattiga Porlan och det rika Västkärr (Tabell 8).

Tabell 8. Torvkemi vid Porlan och Västkärr före återvätning och för Toftmossen 4-7 år efter återvätningen i skiktet 0-20 cm.

	Porla	Toftmossen	Västkärr
pH	4.5	5.3	4.8
C, %	50	47	45
N, %	1.1	1.7	2.1
C/N	45	28	21
NO ₃ -N, mg/kg ts	1	0.4	50
NH ₄ -N, mg/kg ts	50	10	0
K _{HCl} , mg/kg ts	92	290	400
P _{HCl} , mg/kg ts	320	410	600

Hydrologi

Västkärns våtmarksförhållanden

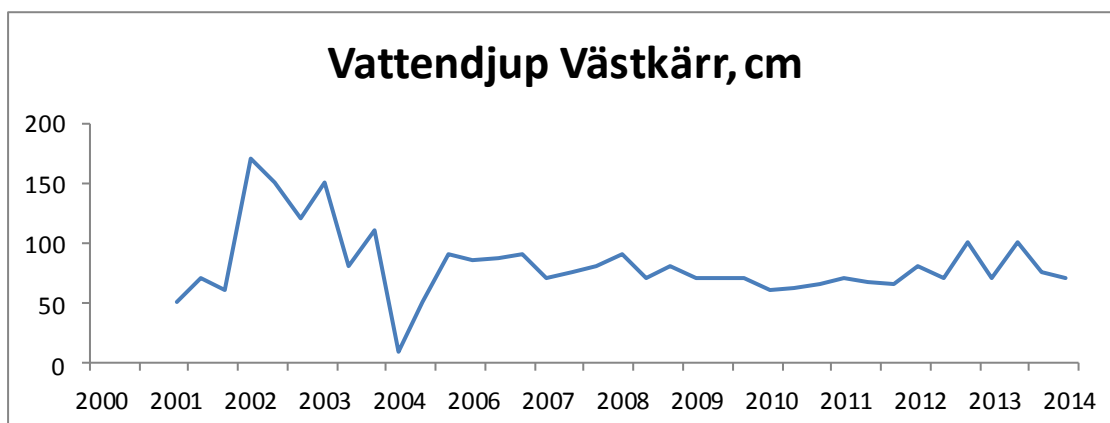
Västkärr studerades 1997-2014 varav det första året med delvis pågående täkt och den andra året (1998) med start av vegetationsetablering och genom det årets nederbördsrika sommar viss återvätning fast den egentliga återvätningen genomfördes 1999. De klimatiska förhållandena inverkade på efterbehandlingen redan innan planerad återvätning genomfördes. Under vintern 1997/98 var området relativt blött med ytvatten på många delområden. Detta försvårade arbetet med återställande, som ändå till största delen lyckades nå avsett resultat.

Vattennivån på täktområdet var då starkt varierande både i tiden och över täktytan. Flerstades var dock vattendjupet 0.2 – 0.5 m. Under 1999 var större delen av området vattentäckt med vattendjup mellan 0.5 m och 1 m. Genom omfattande nederbörd både våren 1997 (maj >100 mm) och sommaren 1998 kom omgivande vattensystem att bryta in i återvätningsområdet och påverka flödesmätningar från området.

Grundvattennivå och vattendjup at Västkärr

Grundvattennivåer vid Västkärr bestämdes i rör installerade 1997. För detta år visar nivåerna en variation från markytan till 100 cm därunder, i medeltal på ca 50 cm djup sommartid men avsevärt ytligare höst-vinter-vår, liksom även under det blöta året 1998. Under 1999 var större delen av återvätningsytan vattentäckt med vattendjup upp till ca en meter. En viss utströmning sågs också av trycknivåerna men ett genomsläppligt skikt förekom i övergången mellan torv och lera och i lerans övre skikt.

Vattendjupet i Västkärnsområdena varierade under åren, ofta mellan 0.5 m och 1.5 m djup men vid de högsta vattennivåerna var djupet över två meter (Fig. 6).

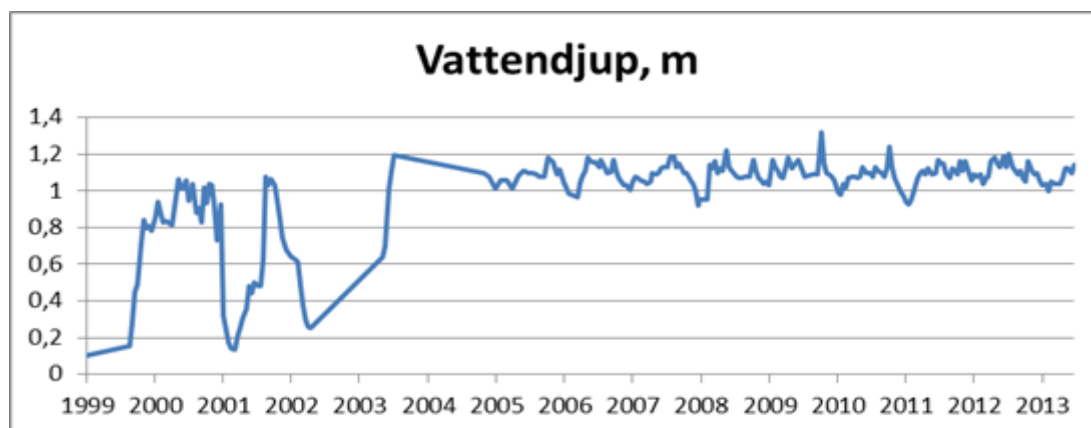


Figur 6. Vattendjup, cm vid Västkärr år 2000 – 2014.

Porlans vattenförhållanden

Första året efter återvätning, år 2000, som var nederbördsrikt, var vattennivån i hela området relativt hög med upp till en till en och en halv meters djup men succesivt grundare åt söder där botten (tidigare marken) låg högre. Hela detta år var området vattentäckt med sjöliknande förhållanden och största vattendjup mellan 1.4 m och 1.6 m. Detta torde motsvara 0.5 m till 1.0 m över stora delar av Porlan. Variationerna detta år var måttliga med ca 0.3 m mellan högsta och lägsta nivå (Fig. 7). I det norra området, Porla A1, finns lokalt större vattendjup, ca 1.8 m, men området var också långgrunt i de södra och västra delarna med vattendjup om 20-60 cm. Vattennivån var betydligt stabilare i detta område och variationerna stannade vid mindre än 10 cm. Ställvis låg torven i nivå med vattenytan och kunde då utgöras av svälld eller flytande torv. Möjligen lyftes torven av metan- och koldioxidgas.

Under perioder med högre vattennivå var delar av den under sommartid synliga torvytan under vatten men delvis var flytande torv ändå synlig. Svälld och upplyft torv ökade med tiden i omfattning i det norra området, Porla A1, och under år 2002 var arealen synlig torv stor men senare förekom variation mellan synlig torv och öppet vatten. En bedömning av ytan synlig torv i Porlanområdet är 50-70% söder om vägen och 20-40% norr om vägen. Påtaglig variation i vattennivåer noterades 2001 och 2002 med därefter har nivån varit relativt stabil (Fig. 8).



Figur 7. Vattendjupet i Porla B under åren 1999 till 2013.

Orsaker till avsänkta vattennivåer i Porla B var delvis naturliga med minskat inflöde av vatten och ökad avdunstning sommartid men den snabba och omfattande minskningen i vattenmagasin 2001 kan inte förklaras enbart av detta. Det kunde också jämföras med område A1, som klarade att hålla en stabil och hög nivå. Istället torde läckage dominera vattenförlusterna. Detta läckage kunde ske genom den vattenreglerande munk som installerats, antingen genom den blockerande trävägg som finns i munken eller utvändigt längs den ledningstrumma som förband in- och utlopp ur munken. Sannolikt var det en konstruktionsmiss vid installationen av munken som orsakade ett läckage, som senare åtgärdades. Det kan dock också vara så att de grävningar som gjordes vid iordningställandet av återvättningsområdet har punkterat en relativt tät torvmarksbotten och öppnat grundvattenförande mineraljordsskikt med möjlighet för vattnet att såsom grundvatten passera ur området och nå markytan och avvattande dikessystem längre ned i området.



Figur 8. Porla B våren 2001 med eftersträvad vattennivå och utan svälld och flytande torv.

För Porlanområdet A1 gjordes invallningar, som skapade upp till 2-3 m höga vallar på den östra sidan. Dessa vallar förefaller kvarhålla tillräckligt med vatten för att upprätthålla en lämplig vattennivå. Ändå torde visst vattenflöde kunna ske genom vallen.

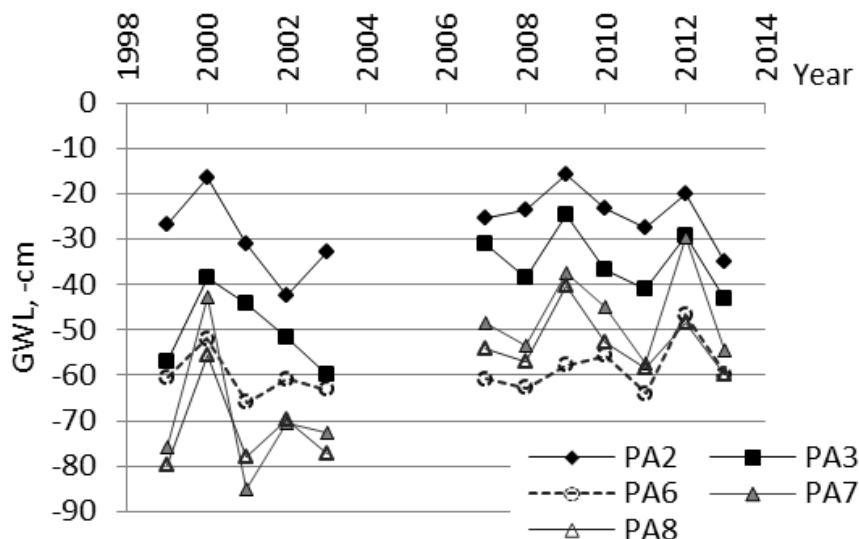
Grundvattennivåer vid Porla

Grundvattennivåerna inom täktområdet och i omlandet till Porlan har följts före och efter återvätning. Inom området låg medelnivån 10-30 cm under markytan före återvätning. Det mer humida året 1998 var nivåerna ytliga medan större avsänkning noterades 1999, dvs. med 20 cm respektive 26 cm.

I den orörda myren söder om täktområdet var nivåerna högre med medelvärden av 5-10 cm, dock med påverkan från täktområdet vid stationen närmast (8 m) våtmarkskanten där nivån sänktes till 35 cm under det torra 1999. I områdena på ömse sidor täkten var nivåerna något djupare, 20-80 cm. Även inom det norra området A1 låg grundvattenytan 10-30 cm under markytan.

Vattennivåns ändring efter återvätning innebar en höjning över markytan inom återvätningsområdet där vattendjupet varierat spatiellt och i tid men flerstädes med vattendjup mellan 0.5 m och 1.5 m (Fig. 7). Grundvattennivån i kantzonen runt återvätningsområdet påverkas av återvätningen (Fig. 9).

Grundvattennivån i omlandet påverkades av den 1-2 m förhöjda vattennivån i våtmarken och i närområdet ändrades nivån 0.1-0.3 m inom avstånd från våtmarkskanten på 30 m till 50 m. Närmast kanten (10-30 m) var ändringen något högre med 0.2-0.3 m. På avstånd av 50-100 m var höjningen i nivå ca 0.1m. Denna ökning motverkades vid Porla B området genom att kantdikena där fanns kvar. Ändringar i grundvattennivå utanför dikena varierade inom 0.1 m med både högre och lägre nivåer efter återvätning jämfört med väntade nivåer utan återvätning.



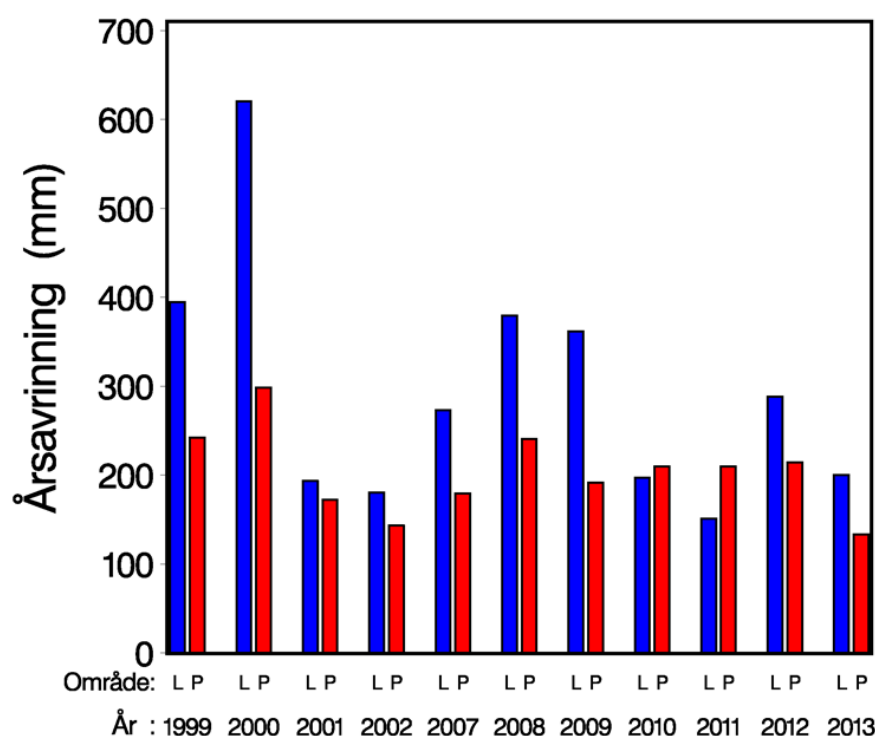
Figur 9. Grundvattennivåer i västra kantzonen till Porla A1 under 1999 – 2013. Två transekter: en är PA2 och PA3, den andra PA 6-8 med stationer PA3 och PA8 närmast täkt/återvätningsområde (Fig. 3).

Avrinning

Det kan konstateras att de övergripande hydrologiska förutsättningarna var gynnsamma för torvmarksbildning genom ett humitt klimat med en årsnederbörd om ca 700 mm och avdunstning på 400 mm vilket gav ett överskott av avrinningsvatten på 300 mm (Brandt m.fl., 1994). Detta bidrog till att upprätthålla eftersträvad vattennivå.

Avrinningen beror i hög grad på nederbörden. Eftersom den senare varierade kraftigt under mätperioden var även variationen i årsavrinningen betydande (Fig. 10). Avrinningen från det

blivande återvätningsområdet visade en specifik avrinning om ca 13 l/s,km² (400 mm) för det nederbördsrika året 1998. För åren 1999 – 2001 var avrinningen från området 242 mm, 299 mm respektive 172 mm (Tabell 9). Vattenbalansen för undersökningsområdena visade en varierande bild med för kontrollområdet Läsarmossen tämligen rimliga årsvärden med 324 mm avrinning och en evapotranspiration (E) på 435 mm. För återvätningsområdet Porla A1 var bilden något annorlunda med en avrinning efter återvätning på i medeltal 203 mm och med E som nådde 556 mm, alltså något hög avdunstning och låg avrinning (Tabell 9).

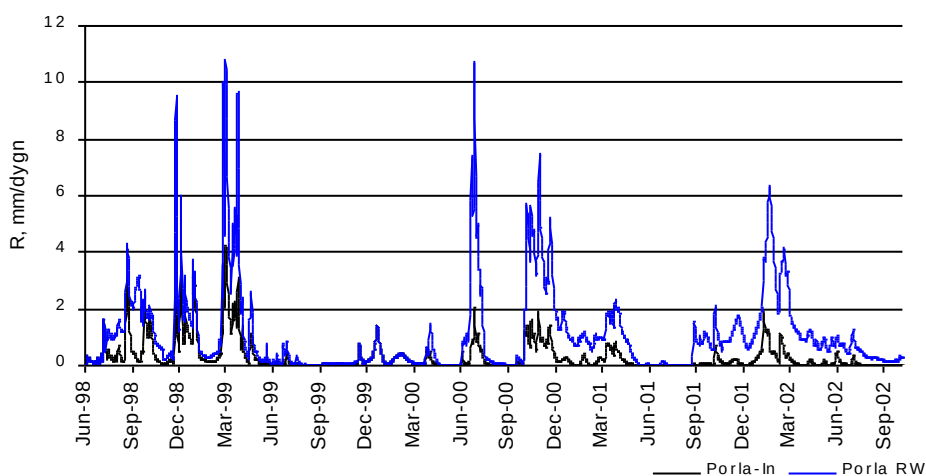


Figur 10. Årsavrinningen från referensområdet Läsarmossen (L, blå staplar) och återvätningsområdet Porla (P, röda staplar) under åren 1999-2002 och 2007-2013.

Samvariationen mellan in- och utflöde från Porlan visade god korrelation men utflödet var klart högre än inflödet och berodde sannolikt på inverkan av flera inlopp och ett grundvattenutflöde till återvätningsområdet (Fig. 11). Även den närbelägna referensen Läsarmossen visade likartat mönster. Sambanden visar korrelationskoefficienter mellan 0.61 och 0.92.

Tabell 9. Vattenbalansen för kontrollområdet Läsarmossen, LÄ och återvättningsområdet Porla A1 under åren 1999-2002 och 2007-2013 med nederbörd, P, avrinning, R och avdunstning, E.

År	P, mm	R, mm		E, mm	
		LÄ	Porla A1	LÄ	Porla A1
1999	832	395	242	437	590
2000	994	620	299	374	695
2001	658	193	172	464	485
2002	710	180	143	530	567
2007	737	273	179	464	557
2008	808	379	241	429	567
2009	743	362	192	381	551
2010	667	197	210	469	457
2011	718	151	210	567	508
2012	863	288	214	575	649
2013	624	200	134	424	491



Figur 11. Avrinning från Porlans avrinningsområden, in- och utflöde (RW) 1998 - 2002.

Avrinningen från återvättningsområdet bestämdes för perioden 1999 till 2013. Endast ett helt år kunde nyttjas före återvätningen och det var 1999, som utgjorde kalibreringsår. Redan år 2000 var återvätningen ett faktum och just det året var det mest nederbördsrika under hela projektiden och de två sjöararna hade hög vattennivå. Avrinningen minskade dock detta år jämfört med beräknad avrinning utan återvätning med hela 77 mm, 21% (Tabell 10). Detta år kan till delar ha varit påverkad av uppfyllnad av vatten från dränerad täktyta till full vätning. Mängden vatten som lagrades i våtmarken uppgår till ca 15% av en årsavrinning. Också åren därefter, 2001 – 2002, noterades minskning i årsavrinningen men dessa år var det hydrotekniska problem med läckage, vilket gjorde uppmätt avrinningen osäker. Sammantaget för de tre inledande åren 2000 – 2002 blev minskningen 157 mm, 20%. Sedan följde några år (2003 – 2006) med brister i mätningar, pga. utebliven finansiering, så först 2007 kunde

fullgoda avrinningsdata nås. För perioden 2007 – 2010 var avrinningsminskningen 31 mm, 5% men att märka att just året 2010 noterades oförändrad avrinning. Efterföljande tre år 2011 – 2012 var ändringen liten men för 2013 observerades åter lägre avrinning och med 80 mm, 37%. Återvätningen har således minskat årsavrinningen och detta kan ha berott på flera orsaker, bl.a. högre avdunstning från tillskapade sjöar och vattenytor men också ett ökat grundvattenläckage genom tillskapad dammvall.

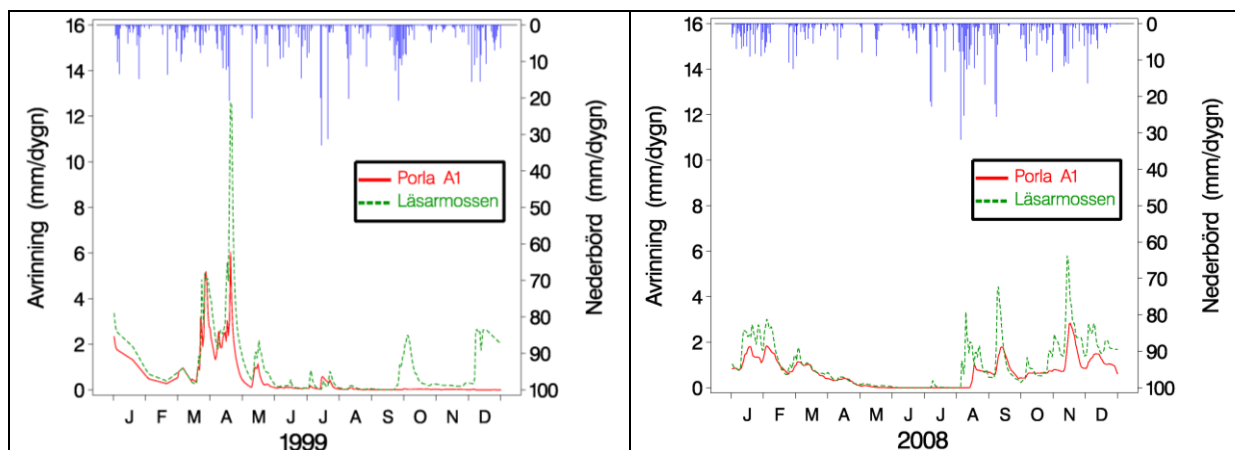
Tabell 10. Årsavrinningen, Q mm, från återvätningsområdet (station A1) före återvätning 1999 och två perioder efter 2000 – 2002 och 2007 – 2013. (Åren 2003 – 2006 saknar perioder med mätningar.) A1 ber. är beräknad som om ingen återvätning skett medan uppmätt är uppmätta värden och differensen är mellan A1 uppmätt och A1 beräknad i mm och %.

År	A1 ber. Q, mm	A1 uppmätt. Q, mm	Differens. Q, mm.	Differens, %
1999	242	242	0	0
2000	376	299	-77	-21
2001	236	175	-60	-25
2002	163	143	-20	-12
2007	186	179	-7	-4
2008	274	241	-34	-12
2009	226	192	-34	-15
2010	210	210	0	0
2011	209	210	-1	+1
2012	212	214	-2	+1
2013	213	133	-80	-37

Under de inledande åren efter återvätningen noteras lägre utflöde från återvätningsområdet än beräknat från kontrollområdet Läsarmossen. Medelvattenföringen var 5–24% lägre än beräknat för dikade täktförhållanden (Tabell 10) vilket ligger i linje med den högre avrinning som ofta noteras efter dikning (Iritz et al., 1994). Dock visade vårflödet 2004 en högre avrinning. Senare år uppvisar mindre ändringar jämfört med de under täktförhållanden.

Höga flöden påverkades i mindre omfattning både med mindre ökning och minskningar (+/- ca 10%). Antalet dygn med verkligt höga flöden från återvätningsområdet var även under perioden 2007-2009 lägre än från det självrestaurerade området (Fig. 12). Men för perioden 2011-2013 var antalet dygn med riktigt höga flöden ungefär lika från de två områdena.

I situationer med låga flöden, dvs i situationer under sommaren då nederbörden varit låg och det normalt är litet vattenflöde, noterades minskade flöden och under t.ex. sommaren 2004 förekom inget utflöde ur de tillskapade våtmarkerna under hela två månader medan referensområdet endast saknade flöde under 10 dagar. För år 2008 var vattenföringen 0 från Porlan under 77 dagar perioden maj-augusti medan kontrollområdet Läsarmossen saknade vattenföring endast för 40 dagar (Fig. 12). Lagringen i våtmarksområdet under torrperioder gör att vattenflödena upphör under perioder för flertalet år och kunde bero på hög avdunstning från sjöytorna. Avrinningsmätningar för återvätningsområdet visade minskad årsavrinning och även lågvattenföring, vilket med följd att risken för sinande vattenföring ökar i avrinnande vattendrag med allvarliga konsekvenser för vattenlevande organismer.



Figur 12. Avrinningen från kontrollområdet Läsarmossen (grön) och täkt-/återvättningsområdet Porla A1 under 1999 (före återvätning) och exemplet 2008 efter återvätning vid Porla A1.

Vegetation

Den storskaliga vegetationsutbredningen startade från nästan fullständigt kala torvtytor. Vegetationsutvecklingen följdes genom fältinventering men analyserades också med GIS-teknik, vilket bidrog till uppskalad bild av vegetationsutvecklingen samt utgjorde också underlag för skattning av växthusgasproduktionen. GIS kartorna var från 2007 men endast mindre ändringar hade skett till 2013.

Västkärr

Vegetationsetableringen studerades översiktligt 1997 och mer ingående 1999 och 2001. Bestämningarna från 1997 visade att vanligt förekommande arter var kärrkavle (*Alopecurus geniculatus* L.), brunskära (*Bidens tripartita* L.), arter av släktet *Brassicaceae* spp, tågarter bl.a. kryptåg (*Juncus bulbosus* L.), åkerfräken (*Equisetum arvense* L.) och ängssyra (*Rumex acetosella* L.). Arter som ansågs sannolika att bli kvar efter vattenståndshöjning var svaltling (*Alisma plantago-aquatica* L.), sjöfräken (*Equisetum fluviatile* L.), mannagräs (*Glyceria fluitans* L.), tågarter (*Juncus* spp.) m.fl. Mindre frekvent förekommande arter 1997 som väntades bli kvar var bl.a. vass.

Efter ett till två års återvätning noterades 1999 förekomst av ett fåtal arter, främst 16 dokumenterade. I de två områdena mot väster var vattendjupet ca 0.5 m och vegetationen dominerades av mannagräs (*Glyceria fluitans* L.), som fanns redan 1997. På vissa ytor var förekomsten av dytåg (*Juncus stygius*) klart märkbar och en viss skillnad från 1997 då även andra tågarter förekom där. Vanligt förekommande var också gräsnate (*Potamogeton gramineus*), som inte var nämnd 1997. I det östra och likaledes största området var vegetationen mer varierande. Ställvis dominerade gräsnate (*Potamogeton gramineus*) och på andra lokaler fräken (*Equisetum limosum*) med förekomst av vanlig vass (*Phragmites australis*) där vattendjupet var större, ca en meter. Dessa senare arter hade dykt upp eller ökat sedan 1997 medan flera arter som fanns då, nu utgått, t.ex. åkerfräken, ängssyra och brunskära. Den fortsatta utvecklingen bedöms bli likartad i de västra delarna medan en mer varierande utveckling är att vänta i öster.

Den GIS-relaterade kartan för Västkärr täcker 92.7 ha och inkluderade de tre delområden som finns inom återvättningsområdet; VK I om 40.6 ha, VK II om 26.4 ha och VK III om 5.7 ha samt kringliggande strandområden om ca 20 ha (Fig. 13). Utifrån bilderna kunde tre landtyper särskiljas, dvs. öppna vattenytor, vegetationstäckta strandzoner och områden för upplag och transporter.

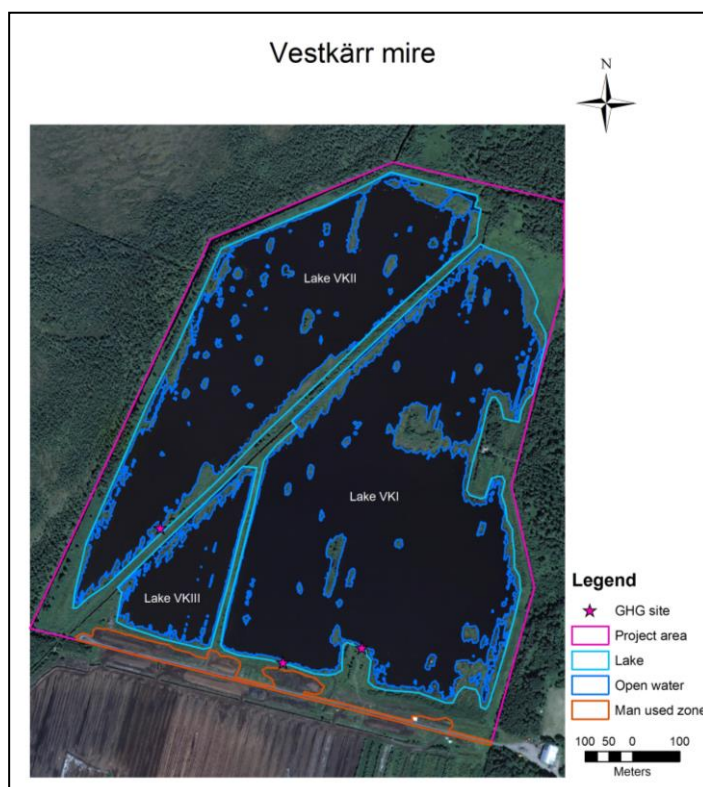


Figure 13. Västkärns våtmark med de tre delområdena VK I, VK II och VK III visualiserad från ortofoto från Lantmäteriverket (0.5 m pixlar; SWEREF 99) från 2007.

Västkärr dominerades av öppna vattenytor nio år efter återvätning men i strandzonerna fanns vegetation, som dominerades av kaveldun, rörflen och starrarter, främst *Carex rostrata*. Ute på de mer öppna vattenytorna förekom vassruggar och visst inslag av vass märktes också i strandzonerna. Vassen verkade expandera med tiden. Arealen av öppen vattenyta inom delområdena är för VK I 81%, VK II 85% och för VK III 83%. Övriga delar var vegetationstäckt främst av *Phragmites australis*, *Typha latifolia*, *Carex spp* (främst *Carex Rostrata*) och *Phalaris arundinacea* (Fig. 14).

Vegetationen vid Västkärr kom med tiden att domineras av sju artgrupper. Vanligt förekommande var vass- och grästyper (*Poaceae*), starr (*Cyperaceae*), kaveldun (*Typhaceae*) och tågväxter (*Juncaceae*), dessutom förekom också igelknoppar (*Sparganiaceae*), nateväxter (*Potamogetonaceae*), kallaväxter (blomvass – *Araceae*) och fackelblomster (*Lythraceae*) (Fig. 15). Antalet arter förefaller ha ökat även om dominansen av vass och rörflen är stor men ökad biodiversitet kan noteras.

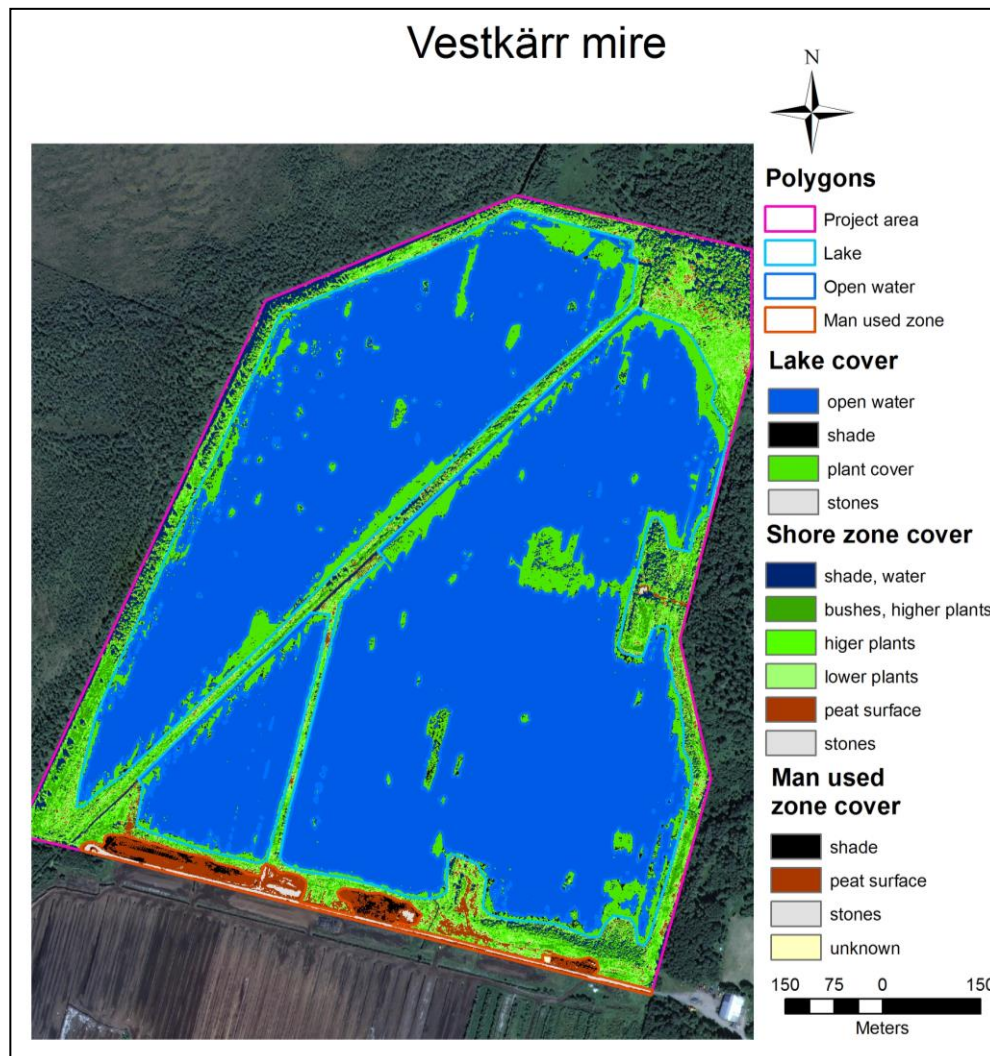


Figure 14. GIS-baserad klassifikation landtäckte på Västkärr nio år efter återvätning.

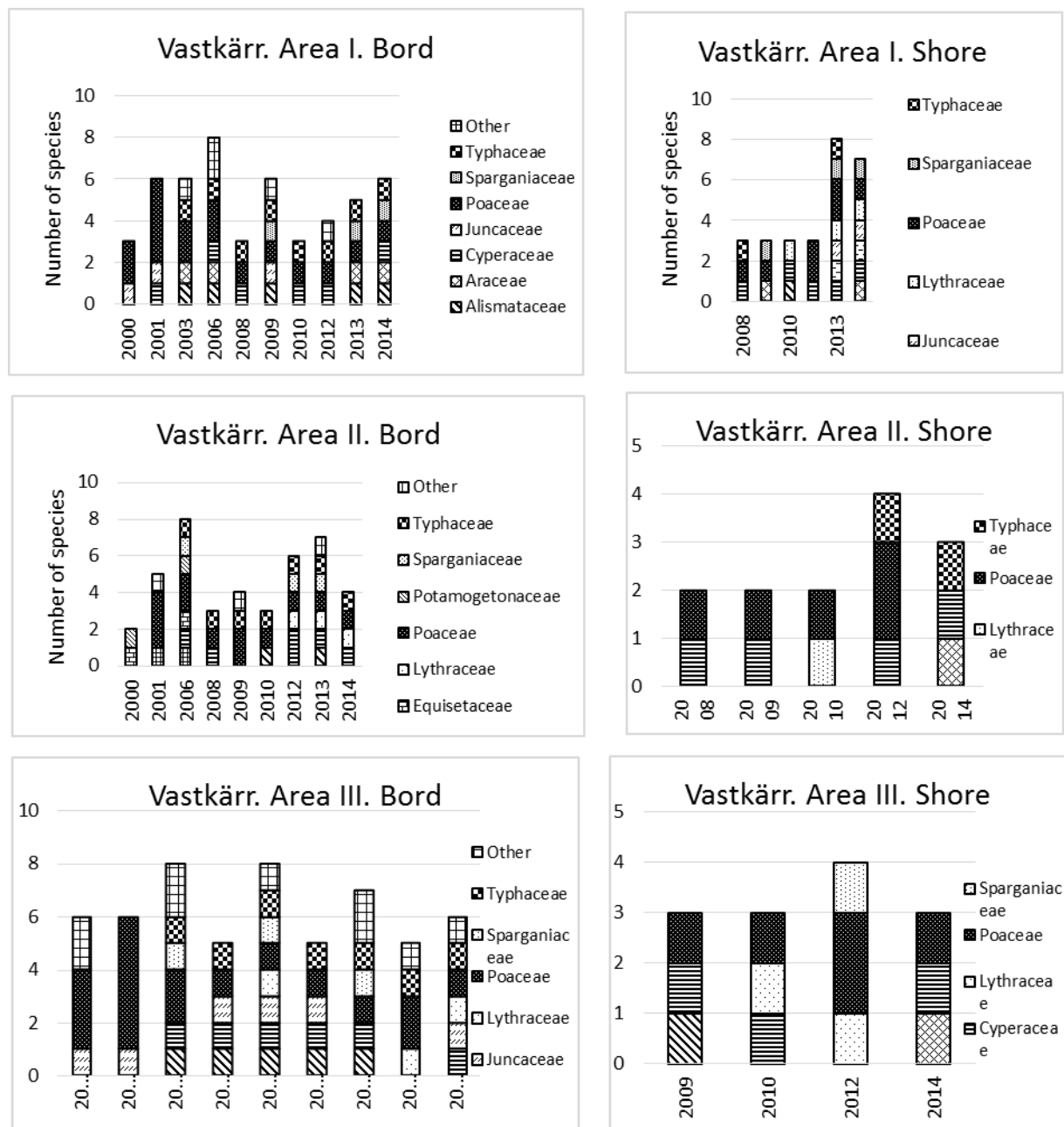


Figure 15. Vegetationssammansättning vid Västkrärrs tre delområden åren 2000 till 2014 uppdelade på strandområde (shore) och vegetationsbård i vatten (board).

Porlan

Kartstudien över Porla omfattade 74.1 ha (Fig 16) inkluderande de två områdena A1 (4.4 ha) och B (9.3 ha) med tillhörande strandområden om 1.6 ha respektive 4.0 ha. Begränsningarna av områdena utgjordes av dikesförhållanden och kringliggande skogsområden. Det undersökta området studerat med GIS inkluderade också det närmast orörda lågstarrkräret söder om Porla B (Fig. 16).

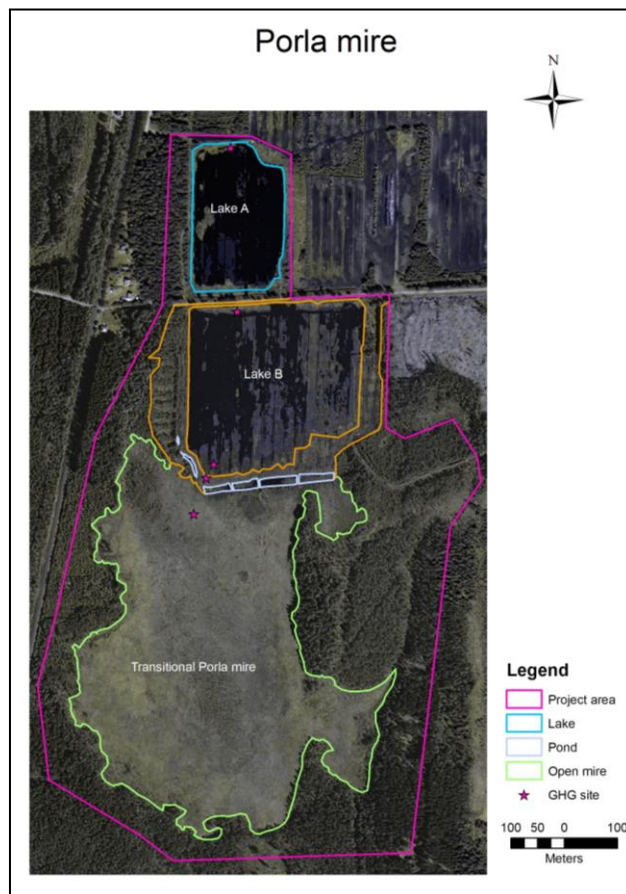


Figure 16. Porlaområdena A1, B och lågstarrkärret (open mire) med lagunerna söder om B-området. Lantmäteriet (ortophoto order of 24/05-2010).

GIS-analysen grundad på ortofoton från 2010 visade delområden av olika karaktär och det gick att skilja ut fyra huvudområden med olika vegetationsförhållanden. Dessa utgjordes av öppna vattenytor, strandområden, öppen myr och skog på torvmark (Fig 17). För området A1 utgjorde den öppna vattenytan 75% medan motsvarande yta inom Porla B var 52%. Vegetationstäckningen för de tre delytorna A1, B och lågstarrkärret i söder var 12%, 23% resp. 60%. Ungefär 50% av vegetationstäcket är att hänföra till områden med svälld eller flytande torv. För strandområden täcks 50-60% av vegetation. De första åren efter återvätning skedde långsam kolonisation av tuvull för att efter ca fem år bli mer och mer beväxt och 2010 i stort sett helt vegetationstäckt främst av tuvull och ängsull/kärrull men också björnmossa, lite björk, silesår, mm. År 2007 noterades den första spontana vitmossetableringen som senare ökat i omfattning.

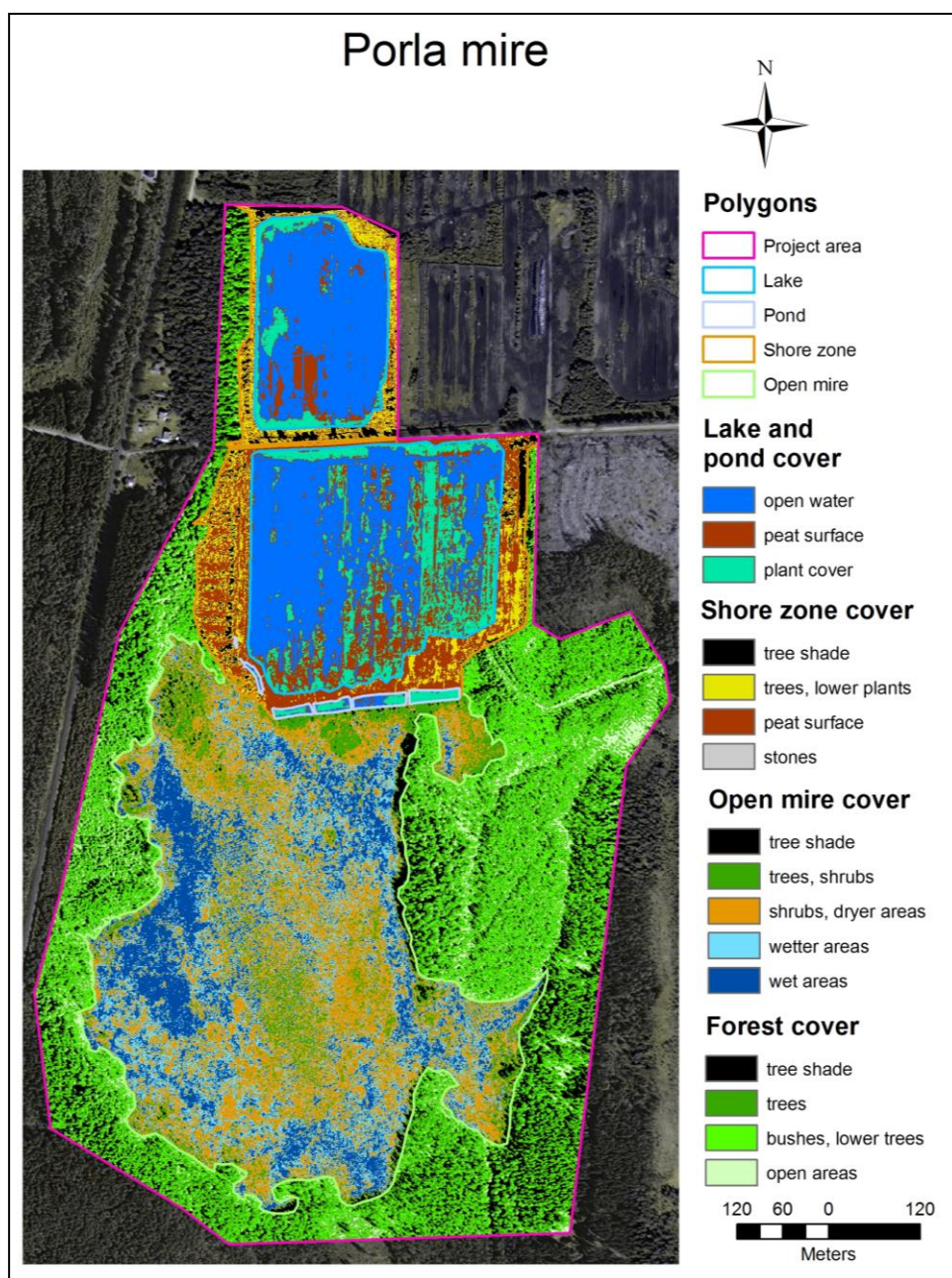
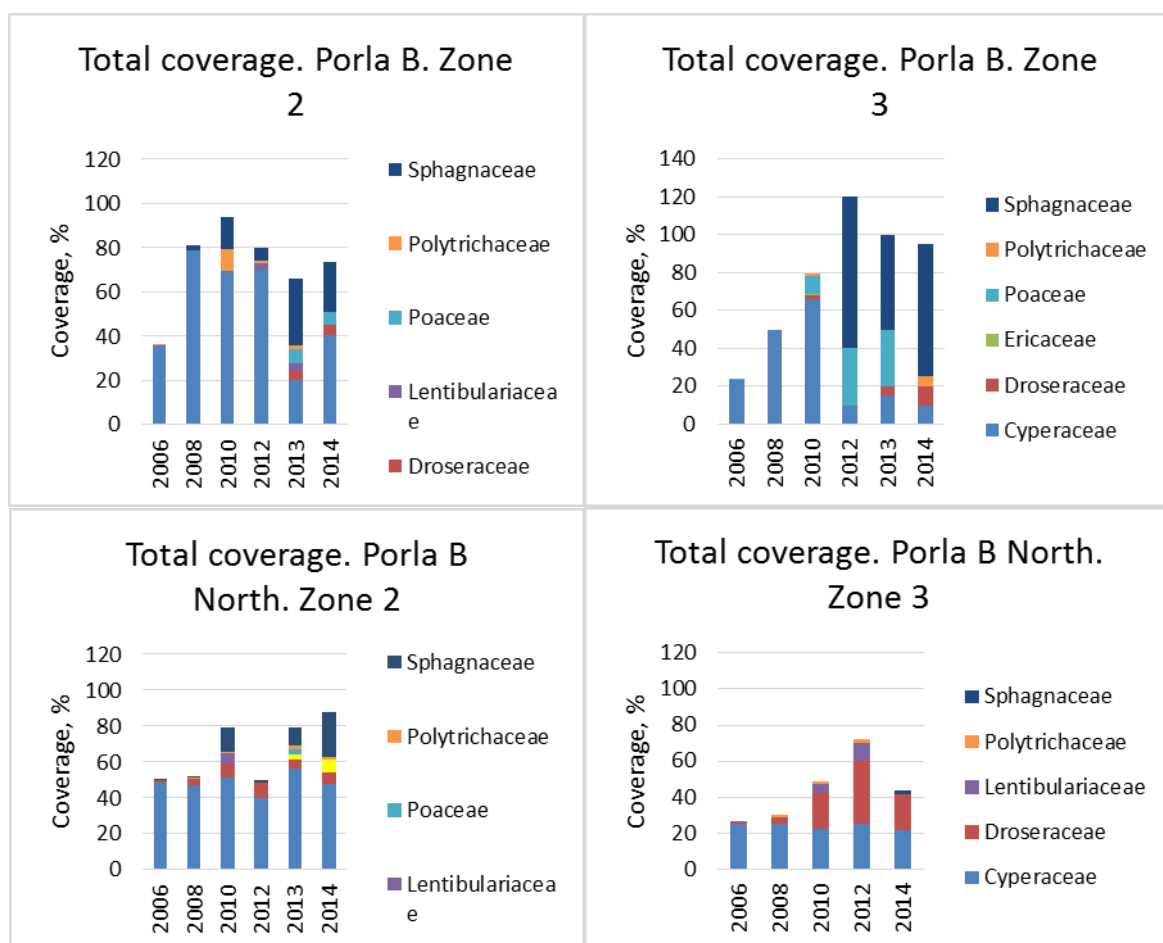


Figure 17. GIS-klassificerad vegetation för Porlaområdet tio år efter återvätningen.

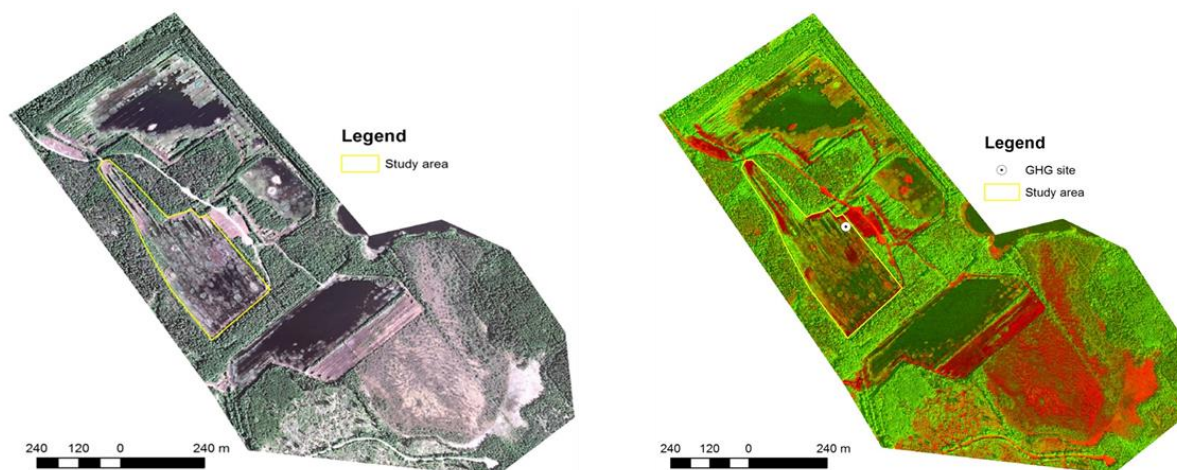
Porlas växtsamhällen ändrades över tid från att ha dominerats av tuv- och ängsull har dessa artar minskat till förmån för vitmossor och silesår. Dessutom har antalet artgrupper ökat över tid (Fig. 18).



Figur 18. Artgruppers utveckling över tid från bar torv år 1999 till ökad vegetationstäckning 2012-2014. Porla B:s område i två zoner ut mot öppet vatten; zon 2: vegetationsbård ungefär halvvägs från strand till öppet vatten medan zon 3 är närmare öppet vatten. Artgrupper: Vitmossor – *Sphagnaceae*, björnmossor – *Polytrichaceae*, vass och gräs – *Poaceae*, bläddror – *Lentibulariaceae*, sileshår – *Droseraceae*, tåg – *Juncaceae*, ljung - *Ericaceae* och starr – *Cyperaceae*.

Toftmossen

Det tredje området Toftmossen har efterbehandlats vid flera tidpunkter med en del i öster redan på 1990-talet. Undersökningarna av växthusgaser och vegetation hänförde sig till de centrala delarna i väster med ett antal lokaler inom ett begränsat område (Fig. 19).



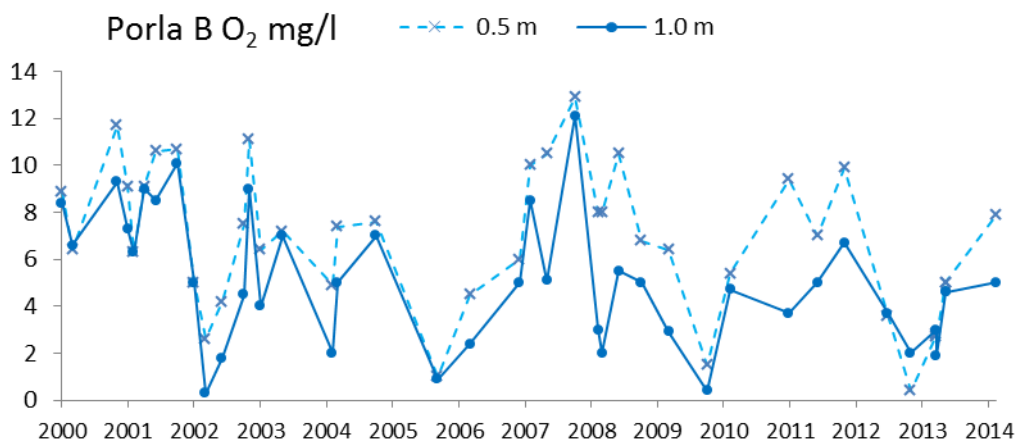
Figur 19. Underlaget till GIS-analysen av Toftmossens vegetation och delområden var ortofoton från 2013. Lantmäteriverket genomförde flygfotografering 2010 med flyghöjd 4800 m (karta till vänster). Pixelstorlek var 1.0 m med GIS markanalys med polygoner från Principal Component Analysis (PCA) ytskikt (ArcGis 10.2. Spatial Analyst Tool) av samma ortofoto (karta till höger). Området för GHG bestämning visas med vit cirkel.

Vegetationsförhållandena vid Toftmossen visade på begränsad variation av arter med på dränerade och lite torrare områden stor andel bar torv men med en vegetation dominerad av fräken (*Equisetum palustre* och *Eq. Sylvaticum*). I de blötare områdena förekom starr, tuvull, ängsull, vass och kaveldun med vatten mellan växterna. Vitmossa hade etablerat sig i mindre områden 2012 och expanderade åren därefter.

Vattenkvalité

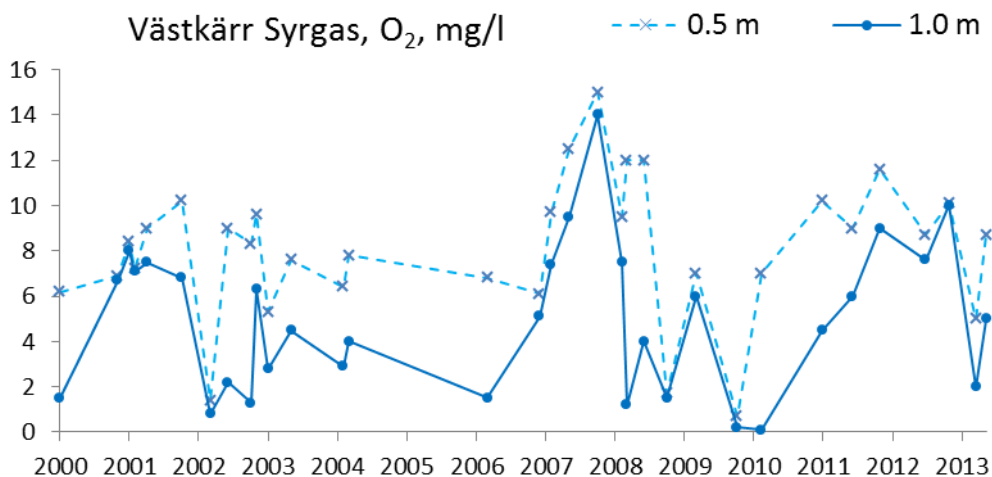
Syrgashalten i Porla-områdena varierade från relativt hög mättnadsgrad vår och höst och lägre under sommaren med trolig syrgasbrist i bottenvattnet tidvis (Fig. 20) Men, likt förhållandena vid Västkärr är områdena grunda och vattenomsättning och blandning orsakad av vind kan relativt lätt förbättra syreförhållandena. Med ökad vegetation kommer syrgastäringen att öka. Problem med syrefria bottenar påverkar kemiska processer men har också betydelse för limniskt liv i form av bl.a. bottenfauna.

Under större delen av tiden förekom löst syrgas även i bottennära vatten men vid stagnationsperioder, främst senvinter och sensommar, var syrgashalten lägre och i bottenvattnet observerades då ibland syrgasbrist med reducerande förhållanden som följd (Fig. 20). Detta är dock inte otypiskt för svenska små skogsjöar men får påverkan på kemiska och biologiska förhållanden.



Figur 20. Syrgashalt i våtmarken Porla B under perioden 2000 till 2014.

Syrgashalten i återvättningsområdet på Västkärr visade mestadels relativt goda syrebetingelser (Fig. 21) med över 6 mg/l men halten blev låg vid några tillfällen, ca 1 mg/l, och sannolikt var det syrebrist i bottennära skikt under sensommar och senvinter om inte stor vattenomsättning förekom genom smältning eller regn. Området var relativt grunt (ofta under en meters djup) vilket gjorde att vattentillförsel och vind snabbt blandade vattnet och bidrog till syresättning. Ökad växtlighet kom dock att medföra större syreförbrukning och motverkade syresättning. Tidvis uppträdde syrebrist i bottenvattnet.



Figur 21. Syrgashalten i våtmarken Västkärr under perioden 2000 – 2013.

Vattenkemin

Vattenkemin påverkas av återvätningen med något olika förlopp vid de två områdena. Detta var också i linje med skillnaderna i näringsinnehåll vid de två områdena. Vattenkemin vid Porlan och Västkärr uppvisade olika ämnesinnehåll med högre pH och näringsrikare vatten vid Västkärr (Tabell 11 och 12). Den underliggande minergogena marken påverkade och detta speglar också vegetationsförhållandena. Större innehåll av baskatjoner vid Västkärr påverkade

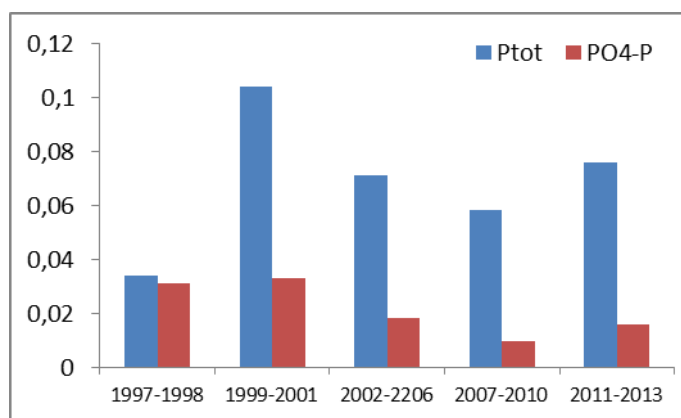
också övriga näringsämnen medan de mer ordinära svenska moränförhållandena präglar Porlanområdet.

Västkärr

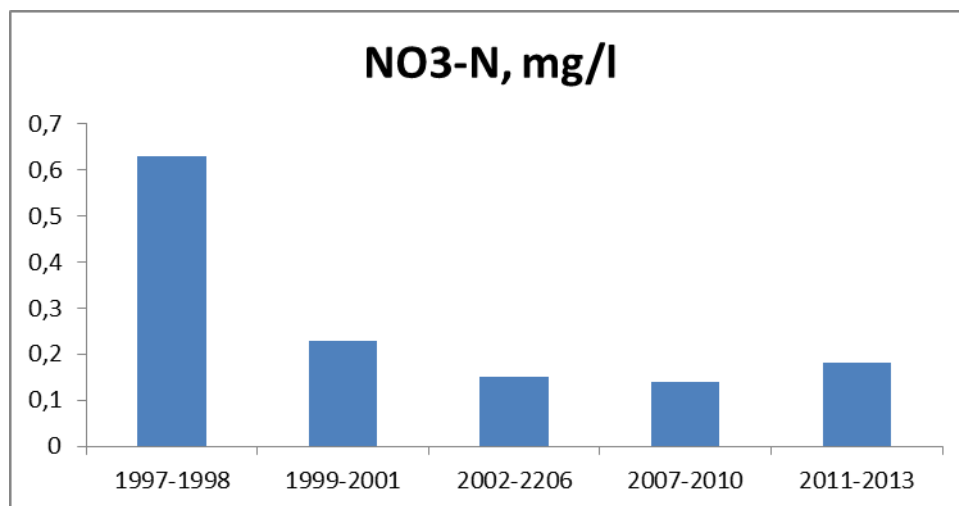
Vid Västkärr föreföll pH nå succesivt högre nivåer (Tabell 11). Vattenfärg och organiskt material visade lägre värden efter återvätningen vid Västkärr. Baskatjoner och metaller uppvisade också lägre värden efter återvätningen och detta torde höra samman med sedimentation i vattenbassängerna. Detta var i samklang även med den minskade mängden organiskt material. Den övergripande bilden efter återvätning var minskade halter av flertalet ämnen men på lite längre sikt förefaller en långsam återgång till högre halter att ske. Detta märktes också i ledningsförmågan som var klart lägre de inledande åren med höjd vattennivå. Undantag från detta visade sulfat, fosfor och oorganiskt kväve, som kvarblev på låga nivåer.

De kemiska processerna ändrades i bottensedimenten, tidigare torvtäktsytan, från oxiderande förhållanden med SO_4 bildning och kvarhållande av P. Efter återvätning uppstod i bottensedimenten reducerande förhållanden, vilket motverkade bildningen av SO_4 medan PO_4 frigjordes. Under de första åren efter återvätning blev PO_4 -halten hög för att senare minska, troligen orsakat av vegetationsupptag och sedimentering genom komplexbildning (Fig. 22). Redan 1998 med höga vattennivåer noterades frigörelse av fosfat. Totalfosforhalten, P_{tot} , kvarligger längre på förhöjd nivå i jämförelse med $\text{PO}_4\text{-P}$ (Tabell 11).

Kväve utgör ett viktigt ämne i samband med areella näringar, såsom bl.a. skogs, jord- och torvbruk, med högre halter i brukade marker jämfört med ostörda förhållanden. Kväve bidrar också i eutrofieringsprocesser och röner därför särskilt intresse. Under pågående täktverksamhet utgjorde oorganiskt kväve (de biologiskt aktiva komponenterna NO_3 och NH_4) 60-75% av totalkvävet medan koncentrationerna i opåverkade svenska skogsvatten ofta visar på endast 20% oorganiskt kväve. Effekten av återvätning visade också på denna ändring med oorganiskt kväve, som då utgjorde endast 15-25%. NO_3 -halterna (2-3 mg/l före återvätning och 0.2 mg/l efter) vid Västkärr var relativt höga i täktstillstånd men minskade drastiskt efter återvätning (Fig. 23).

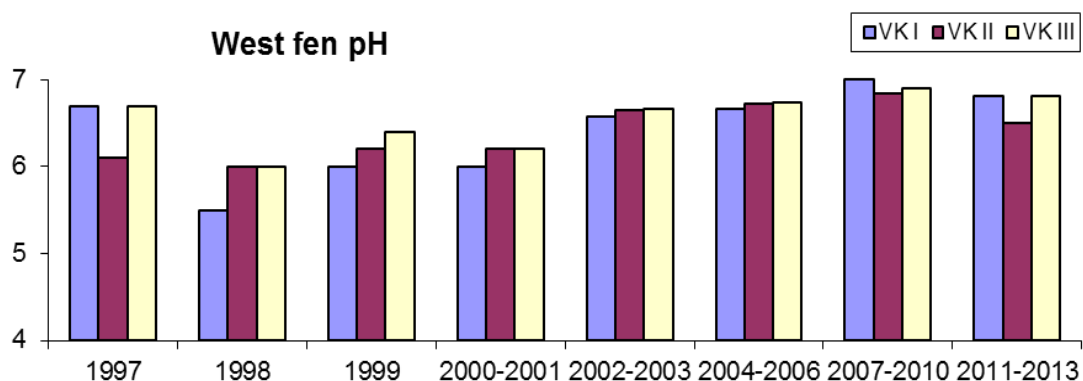


Figur 22. Fosfatfosforhalten vid Västkärr före (1997-1998) och efter återvätning 1999-2013.



Figur 23. Nitrathalten vid Västkärr under perioden 1997 till 2013.

Vattnets pH vid Västkärr visade relativt låga halter under pågående täkt, möjligen orsakat av sulfatbildning i dränerat tillstånd. Detta ändrades efter vattentillförsel då halten $\text{SO}_4\text{-S}$ minskade från ca 25 mg/l till ca 2.5 mg/l (Tabell 11). Under tiden efter återvätning ökade pH-värdet från drygt 6 till 7 efter ca sju år och i den senaste perioden 12-14 år efter återvätning var pH 6.7 (Tabell 11 och Fig 24).

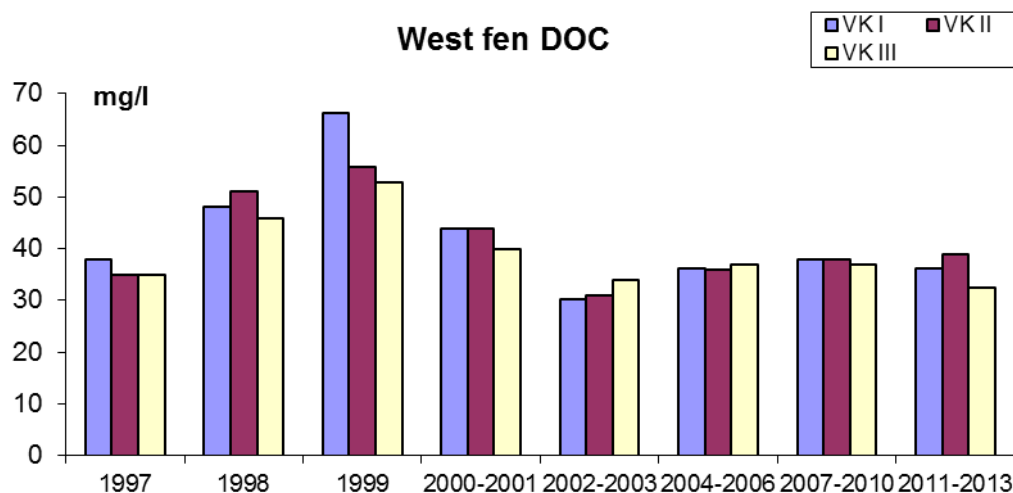


Figur 24. Vattnets pH vid Västkärr under perioden 1998 till 2009.

I dikat tillstånd med pågående täkt var utflödet av organiskt material relativt högt men blev inledningsåren med förhöjd vattenyta ytterligare något högre för att på sikt minska, troligen pga den sedimentation, som gjordes möjlig i återvättningsområdet. Succesivt med ökande vegetation och andra organismer så finns en tendens till att DOC-halten åter ökade de senaste åren (Tabell 11 och Fig 25).

Tabell 11. Vattenkemi vid Västkärr före återvätning (1997-1998) och för fem efterföljande perioder, 1999 - 2013.

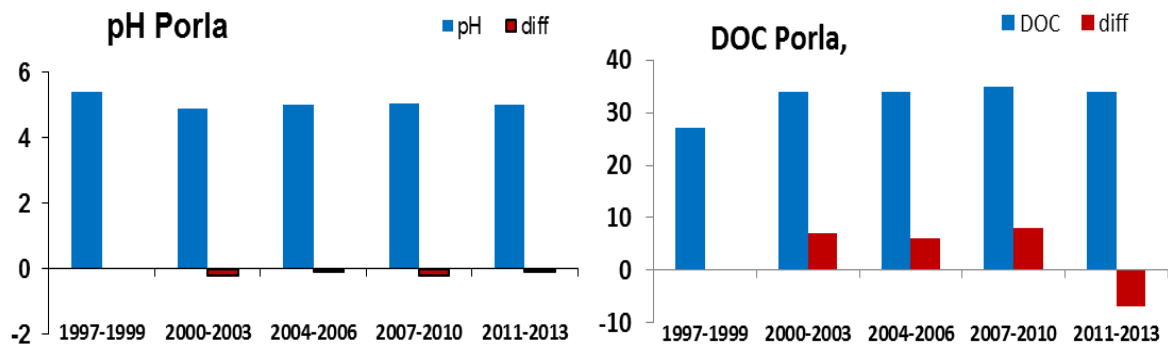
Element	1997-1998		1999-2001		2002-2006		2007-2010		2011-2013	
	N = 29		N = 35		N = 40		N = 31		N = 34	
	Conc.	CV	Conc.	CV	Conc.	CV	Conc.	CV	Conc.	CV
pH	6.1	9	6.2	4	6.7	4	6.9	5	6.7	4
El. kond, $\mu\text{S cm}^{-1}$	247	57	76	21	82	25	90	32	99	31
Färg, mgPt L^{-1}	160	53	258	37	175	34	200	26	187	42
DOC, mg L^{-1}	45	42	48	28	34	27	38	21	36	21
Na, mg L^{-1}	5.4	54	3.0	21	3.3	24	4.3	22	4.1	31
K, mg L^{-1}	2.9	109	1.4	51	1.4	41	1.6	34	1.6	50
Ca, mg L^{-1}	41	57	13	22	12	30	16	39	15	47
Mg, mg L^{-1}	5.8	59	1.8	30	1.7	29	2.1	31	2.1	40
Mn, mg L^{-1}	1.3	162	0.1	148	0.2	130	0.3	182	0.2	155
Fe, mg L^{-1}	1.7	87	2.9	53	2.4	47	3.1	43	2.8	59
Al, mg L^{-1}	0.39	78	0.31	48	0.21	57	0.38	38	0.32	48
Si, mg L^{-1}	3.5	93	1.4	71	1.4	78	2.5	111	1.4	120
HCO_3 , mg L^{-1}	27	118	18	59	20	44	26	76	26	60
Cl, mg L^{-1}	4.6	19	4.0	22	4.7	26	5.8	24	5.0	25
$\text{SO}_4\text{-S}$, mg L^{-1}	3.1	58	1.9	58	2.6	38	3.1	31	2.8	45
$\text{NO}_3\text{-N}$, mg L^{-1}	0.63	151	0.23	125	0.15	134	0.14	126	0.18	138
$\text{NH}_4\text{-N}$, mg L^{-1}	0.64	103	0.46	94	0.19	123	0.33	163	0.36	153
N_{org} , mg L^{-1}	1.31	59	1.69	38	1.37	33	1.49	57	1.70	22
N_{tot} , mg L^{-1}	2.47	46	2.38	29	1.70	25	1.92	58	2.24	35
$\text{PO}_4\text{-P}$, mg L^{-1}	0.031	146	0.033	102	0.018	114	0.010	98	0.016	144
P_{tot} , mg L^{-1}	0.034	18	0.104	58	0.071	63	0.058	47	0.076	42



Figur 25. DOC halter i de tre delområdena i Västkärr under perioden 1997 till 2013.

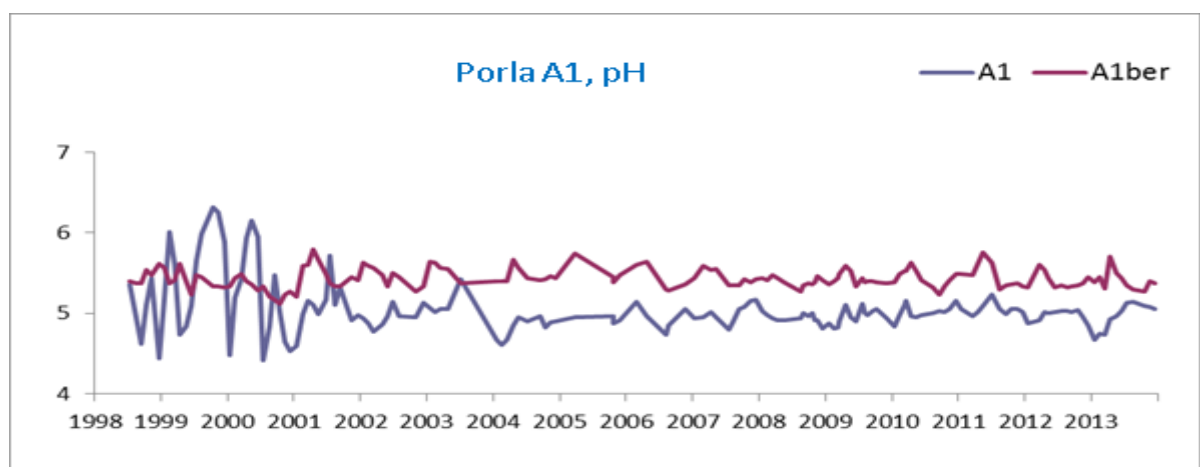
Porla

Vattenkemin vid Porlaområdet karaktäriserades av relativt surt och näringsfattigt vatten, dock vanligt för svenska skogsbygder med pH på 5.4, konduktivitet av 41 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 0.46 meq/l baskatjoner, 40 mg/l DOC, 1.3 mg N/l och 0.01 mg P/l (Fig. 26 och Tabell 12). Detta gällde särskilt det separata återvättningsområdet Porlan men också uppströmsområdet till Porlans täktområde. Före återvätning var tillrinningsvattnen tämligen mörkfärgade (280–380 mgPt/l och 40–50 mg DOC/l) med lågt pH (4.0 – 4.5) att jämföras med lägre färg (140 – 260 mgPt/l och 30 – 40 mg DOC/l) och högre pH (5 – 6) från täktområdena (Tabell 12).



Figur 26. pH och DOC i Porla A1 under perioden 1997 till 2013 med ändringar visade med röd stapel.

Under den första treårsperioden efter återvätning noterades de inledande ändringar i vattenkemi. Dessa visade främst på minskade koncentrationer för de flesta ämnena. Särskilt märktes lägre halter baskatjoner, järn och sulfat medan aluminium och mangan var relativt oförändrade. DOC ökade något de inledande åren efter återvätning för att senare nå lägre värden än jämfört med kontrollen. Nitratkoncentrationen minskade med ca 30% och visade måttligt höga värden på 0.02 – 0.05 mg/l att jämföras med ca 0.11 mg/l före återvätning. Undantag från minskade koncentrationer är vätejoner med en mindre ökning speglad i ett pH, som var 5.2 efter återvätning, dvs. 0.2 enheter lägre än före återvätning (Fig 26). Ändringen i pH var emellertid liten och inte signifikant. Däremot ändrades variationen från att ha varit påtaglig under täktförhållanden till att få mindre variation i våtmarkstillstånd (Fig 27).



Figur 27. Porla pH i utloppet från återvättningsområdet. Den streckade linjen är beräknade värden för området utan återvätning medan heldragen linje visar hur pH blev efter återvätning.

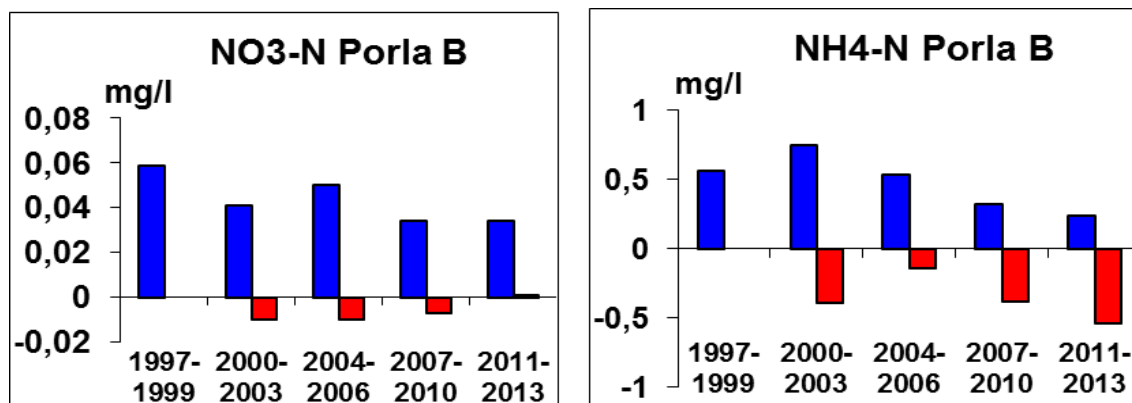
Ett lägre pH innebar också att en tidvis förekommande bikarbonatalkalinitet före återvättning vändes till avsaknad av alkalinitet därefter. Även totalfosfor och ammonium ökade och då med 0.006 mg/l, +40% respektive 0.1 mg/l, +15% (Tabell 12). För totalkväve noterades en mindre minskning med ca 0.2 mg/l, -15%.

Tabell 12. Vattenkemin vid Porla före återvättning och för fyra perioder därefter relaterande till åren 1-4 efter återvättning (2000-2003; period 1), 4-6 efter (2004-2006), period 3 – 2007-2010 och period 4 – 2011-2013. För HCO₃ saknas relevant jämförelse.

Ämne	Före	Period				Δ 1	Δ 2	Δ 3	Δ 4
		1	2	3	4				
pH	5.4	5.1	4.9	5.0	5.0	- 0.4	- 0.6	- 0.5	- 0.4
El. kond, μS/cm	43	35	31	28	31	- 14	-20	- 19	- 25
Färg, mgPt/l	223	233	242	251	239	+ 27	+ 27	+ 46	+ 5
DOC, mg/l	27	34	34	35	34	+7	+6	+8	- 7
Na, mg/l	3.1	2.6	2.7	2.8	3.0	+ 0.2	+ 0.1	+ 0.2	0
K, mg/l	0.50	0.47	0.50	0.44	0.46	+ 0.04	+ 0.04	- 0.28	+ 0.02
Ca, mg/l	4.7	2.6	1.7	1.9	2.8	- 1.7	- 3.0	- 2.7	- 2.0
Mg, mg/l	1.12	0.56	0.55	0.65	0.83	- 0.29	-0.52	- 0.42	- 0.48
Mn, mg/l	0.16	0.08	0.06	0.08	0.10	- 0.28	- 0.34	- 0.26	- 0.02
Fe, mg/l	5.0	3.5	1.9	2.2	2.9	- 1.4	- 3.8	- 2.8	+ 0.3
Al, mg/l	0.38	0.39	0.36	0.34	0.35	+ 0.13	+ 0.11	+ 0.13	- 0.1
Si, mg/l	4.8	2.4	1.9	1.9	2.4	- 1.0	- 2.7	- 1.7	- 2.8
HCO ₃ , mg/l	0.08	0	0	0	0	-	-	-	-
Cl, mg/l	3.5	3.5	3.7	3.8	3.8	+ 0.4	+ 0.5	+ 0.4	-0.2
SO ₄ -S, mg/l	0.65	0.55	0.40	0.27	0.25	- 0.11	+ 0.07	0.00	- 0.08
NO ₃ -N, mg/l	0.11	0.02	0.03	0.05	0.03	- 0.01	- 0.01	- 0.01	0.00
NH ₄ -N, mg/l	0.61	0.75	0.47	0.31	0.24	- 0.39	- 0.14	- 0.38	- 0.54
N _{org} , mg/l	0.50	0.70	0.89	0.69	0.81	+ 0.27	+ 0.33	+ 0.28	-0.64
N _{tot} , mg/l	1.22	1.51	1.39	1.06	1.08	- 0.13	+ 0.18	-0.11	-0.77
PO ₄ -P, mg/l	0.003	0.004	0.005	0.004	0.004	+0.003	+0.003	+0.003	+0.001
P _{tot} , mg/l	0.015	0.021	0.017	0.019	0.018	+0.012	+0.009	+0.013	+ 0.012

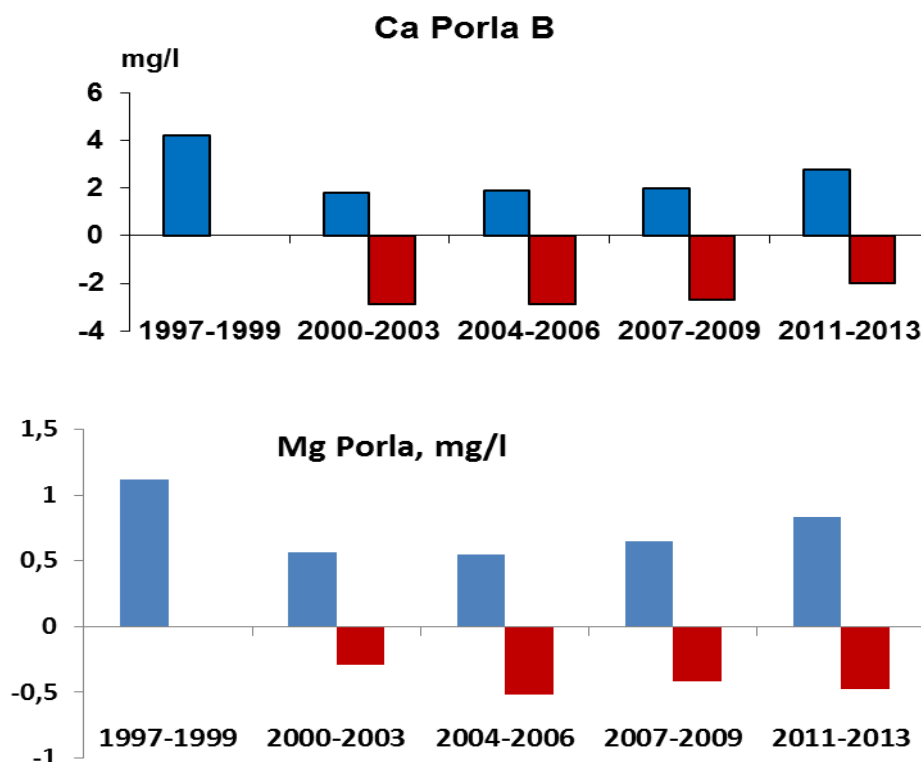
Nitrathalten i återvättningsområdet ändrades över tid ganska lite och förändringar jämfört med referensen visade både i huvudsak lägre halter (Fig 28).

Ammoniumhalten var relativt hög i återvättningsområdet med värden före vattentillförel på 0.5 mg/l och strax därefter nästan 0.8 mg/l för att sedan succesivt avta till lägre koncentrationer jämfört med referensen (Fig 28).



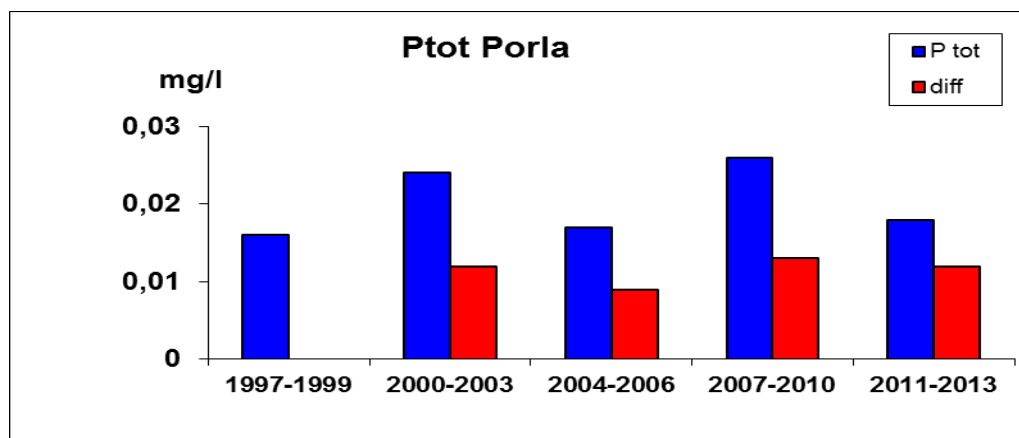
Figur 28. Nitrat- och ammoniumhalter vid Porla B före återvätning och under fyra perioder därefter tillsammans med ändringar i koncentrationer (röd stapel).

Baskatjoninnehållet i våtmarken efter vattentillförsel visade på lägre halter efter återvätning för flertalet ämnen möjligen med undantag för Na som visade en mindre ökning. Lägre koncentrationer är rimligt eftersom dikning i regel leder till ökade halter (Bergquist et al., 1984) och återvätning borde ge motsatsen där ju också sedimentation tillkommer (Fig. 29).



Figur 29. Ca och Mg koncentrationer vid Porlan före och under fyra perioder efter återvätning, 1997 - 2013.

Total-N halten ändrades i mindre omfattning och visade både högre och lägre värden där lägre koncentrationer dominerade (Tabell 12). Total-P visade däremot förhöjda koncentrationer för hela perioden efter återvätning (Fig 30).



Figur 30. Totalfosfor halten i Porla före och under fyra perioder efter återvätning, 1997 - 2013.

Ämnestransporter

Transporten av ämnen påverkades av vattenflödet och ämneskoncentrationen och hur dessas fördelning gentemot varandra ser ut. Normalt bör ökade koncentrationer och ökad vattenföring ge ökade transporter och vice versa men fördelningen under året kan påverka resultatet och ibland ge något motstridiga resultat.

Transporten av ämnen från Porlaområdet visade de första åren efter återvätning, 2000 och 2001, främst lägre flöden för merdelen ämnen. Endast K och NH_4 ökade under år 2000 respektive 2001. Detta överensstämde relativt väl med koncentrationsändringarna men med vissa undantag. Dessa rör då främst NH_4 och P_{tot} (Tabell 13). Under hela perioden efter återvätning noterades minskade flöden av nästan alla ämnen. Endast kalium skiljde sig från detta för två perioder. En retention av ämnen i våtmarken förekom och lägre koncentrationer tillsammans med lägre vattenföring blev ämnestransporterna lägre (Tabell 14). Ändringar i flöden vid referensområdena inverkar dock på de noterade förändringarna.

Tabell 13. Ämnestransporter i avrinningen år 2000 och 2001 från Porlanområdet ett och två år efter återvätning med ändringar (Δ) i transporter jämfört med förhållanden före återvätning.

	H kg/ha	K kg/ha	Ca kg/ha	Mg kg/ha	$\text{NO}_3\text{-N}$ kg/ha	$\text{NH}_4\text{-N}$ kg/ha	N_{tot} kg/ha	P_{tot} kg/ha	DOC kg/ha
2000	0.08	1.0	6.0	1.5	0.18	1.8	3.9	0.04	102
Δ	- 0.02	+ 0.2	- 8.1	- 1.2	- 0.18	- 1.6	- 2.7	- 0.04	- 66
2001	0.02	0.8	3.4	0.8	0.13	1.3	2.8	0.03	62
Δ	- 0.01	- 0.5	- 6.5	- 0.7	- 0.04	+ 2.0	- 2.7	- 0.02	- 38

Det förekom något högre transporter åren innan återvätningen och sedan även år 2000, som var ett år med mycket hög vattenföring. Trots detta minskade transporterna från återvätningsområdet i jämförelse med referensen. Transporterna låg på ungefär samma nivå under hela perioden 1999 till 2013 vid kontrollområdet Läsarmossen medan det för flertalet ämnen var lägre efter återvätningen jämfört med före. Vid Porlan kan utströmmande

grundvatten ha betydelse för ämnesflödena. Protoner och möjligen aluminium uppvisade mindre ändringar medan t.ex. kalcium, klorid, järn och sulfat noterades för relativt kraftiga flödesminskningar. Genomgående var dock en ackumulation av ämnen i den tillskapade våtmarken, som därmed utgör ett retentionsområde för kemiska ämnen.

Tabell 14. Ämnestransporter från Porlans återvättningsområde i perioder från 1999 till 2013 tillsammans med ändringar jämfört med täktstillstånd, dvs före återvätningen år 1999/2000.

	H+, kg/ha	K, kg/ha	Ca, kg/ha	Mg, kg/ha	NO3-N kg/ha	NH4-N kg/ha	Ntot, kg/ha	Ptot, kg/ha	DOC, kg/ha	Susp., kg/ha
1999	0.02	1.3	10	2.5	0.2	1.4	3.5	0.03	74	23
2000-	0.05	0.9	4.7	1.2	0.2	1.5	3.4	0.04	82	17
2001	-0.02	-0.2	-7.3	-0.9	-0.1	-1.8	-2.2	-0.03	-52	-10
2002-	0.01	0.4	1.5	0.4	0.03	0.6	1.3	0.01	30	5
2004	-0.03	-0.5	-8.5	-1.6	-0.1	-1.5	-3.0	-0.03	-69	-16
2006-	0.02	1.0	3.9	1.3	0.1	0.7	2.1	0.03	70	13
2008	-0.02	+0.1	-7.2	-1.0	-0.1	-0.8	-3.6	-0.01	-32	-18
2009-	0.02	0.8	4.1	1.3	0.1	0.5	2.1	0.04	67	9
2010	-0.02	-0.7	-5.1	-0.7	-0.04	-1.0	-1.7	-0	-24	-17
2011-	0.02	0.8	3.9	1.3	0.1	0.3	1.9	0.03	55	7
2013	-0	+1.6	-8.9	-1.4	+0.01	-2.1	-2.5	-0.01	-48	-18

Bottenfauna

Före återvätning var miljön artfattig med arter som tål lågt pH. Dominerande var kott och fjädermyggor, vilket är vanligt för täktområden. Anmärkningsvärt var förekomsten av *Oligostomis reticulata*, som är så ovanlig att den nästan är rödlistad. Den anses av vissa som extremt renvattenkrävande, av andra som typdjur för myrdiken.

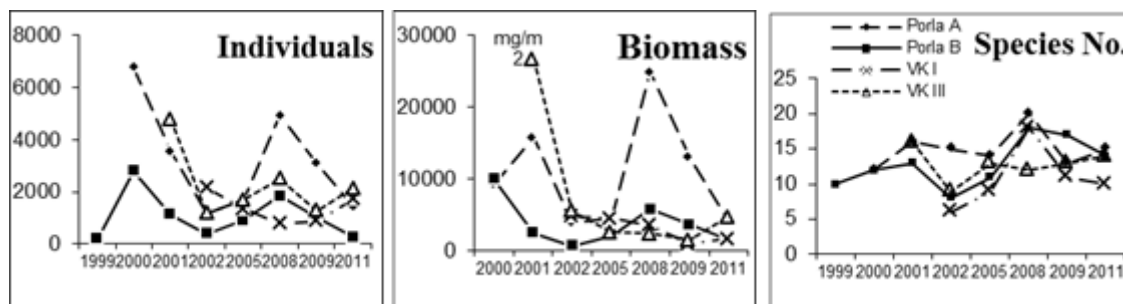
Första året med återvätning var faunan fortfarande artfattig men typisk för humösa vatten. Det förekom en del relativt sällan observerade arter, sannolikt beroende på att dessa typer av vatten ofta inte undersöks i större omfattning. Rödlistade arter saknades dock. Biomassan dominerades av rovdjur (Tabell 15). En påtaglig miljöförsämring noterades 2002 och återhämtning har skett därifrån. I stort var det samma faunatyper som inledningsvis. Året 2008 visade rikare tillgång än 2009 och vid Porlan än fattigare 2011 medan Västkärr visade mindre ökning till 2011 (Fig. 31). Undersökningar i sådana här nybildade vatten är fortfarande unika och ger intressanta resultat ur koloniseringsynvinkel. Fortsatt utveckling kan bli givande för att se hur biologisk sammansättning växer fram.

Under senare år, dvs 2008 och 2009 märktes högre såväl totalantal individer som antalet artgrupper (taxa). Antalet individer minskade 2011 vid Porla men ökade vid Västkärr. Bilden för totalantal individer liksom biomassan var likartad. Under tidigare år ökade biomassan något från låga värden 2002 till 2005 men de höga värden som noterades 2008 återfinns inte 2009 och 2011. Detta kan dock vara naturliga variationer så en kolonisation av arter förekom även om biomassan verkade låg jämfört med inledningsåren (Fig 31).

Tabell 15. Bottenfauna, antal och biomassa, vid Västkärr fyra år efter återvätning, 2002, och vid Porla tre år efter återvätning, 2002 samt utvecklingen till 2008 och 2011.

	Västkärr, artantal/m ²			Porla B, artantal/m ²		
år	2002	2008	2011	2002	2008	2011
Chaoborus flavicans	700	80	0	33	47	67
Tofsmygga						
Procladius sp.	140	80	660	107	73	7
Fjärdermygga						
Chironomus plumosus-gr.	100	60	0	20	113	47
Fjärdermygga						
Pisidium sp.	1180	0	0	0	0	0
Ärtmusslor						
Orthocladinae ob.	0	0	0	8	0	0
Fjärdermygga						
Tanytarsus sp.	0	200	200	40	153	7
Fjärdermygga						
Totalt	2160	1360	1720			

	Biomassa, mg/m ²			Biomassa, mg/m ²		
Filtrerare	1696	2	0	217	577	0
Detritusätare	42	2160	556	558	642	1619
Rovdjur	2776	966	480	1999	21712	1642
Delare	332	400	0	1082	1687	59
Totalt	4846	3534	1706	3953	24957	4320



Figur 31. Bottenfauna vid Porla och Västkärr (VK) åren 1999 till 2011 visande artantal, antal individer (antal/m²) och biomassan.

Växthusgasflöden

”Begränsad klimatpåverkan” är ett av Sveriges sexton miljömål (www.miljomal.nu) som syftar till att begränsa halten växthusgaser i atmosfären på en nivå där den antropogena påverkan på klimatsystemet inte blir farlig. Våra torvmarker släpper naturligt ut växthusgaser som metan (CH_4), lustgas (N_2O) och koldioxid (CO_2), samtidigt som de binder in kol genom att ackumulera torv. Vid återvätning av nedlagda torvtäcker kommer emissionerna av dessa växthusgaser att påverkas. Grundvattennivån är en betydelsefull faktor för emissionerna av CO_2 , som förväntas minska vid återvätning medan emissionen av CH_4 , som är en mer än 30 gånger så kraftig växthusgas som CO_2 , förväntas öka. På näringsrika torvmarker kan även emissioner från den ännu mer potenta gasen N_2O påverkas (Maljanen et al., 2009; Leppelt et al., 2014).

I Porla undersöktes växthusgasemissioner från sex olika ekotoper av mark; naturlig myr, dränerad bar torv, tuvull på bar torv, tuvull i fuktig torvmiljö, starr och kärrull i blöt mark och öppen vattenyta sedan 2007 (Fig. 32). Mätningar av växthusgasemissioner i Toftmossen började i September 2012 och liknar upplägget i Porla med mätningar från liknande ekotoper. Förutom de ekotoper som undersöktes i Porla, studerades även ytor med nykolonialiserad vitmossa, men där saknades ett referenstillstånd, som den naturliga myren utgjorde. I näringsrika Västkärr användes åtta mätpunkter ut utmed tre gradienter, som löpte från strand, vidare till fuktiga förhållanden och ut till öppet vatten. Emissionsmätningarna där började hösten 2008.

Bestämningarna av gasemissioner genomfördes vid alla försökslokaler kampanjvis, dvs med kammarteknik vid ett antal specifika tidpunkter. Detta gav en uppfattning om processerna och variationen i gasflöden både för olika marktyper och vid olika tider under året. Kontinuerlig mätning var dock eftersträvarsvårt och från våren 2013 påbörjades kontinuerliga mätningar i Porla från åtta mätpunkter som gav tydligare svar på dynamiken i CH_4 - och CO_2 -flöden över dygn och säsonger. Dessa mätningar omfattade även växternas upptag av CO_2 , vilket den manuella mätmetodiken med ”mörka kyvetter” inte gjorde.

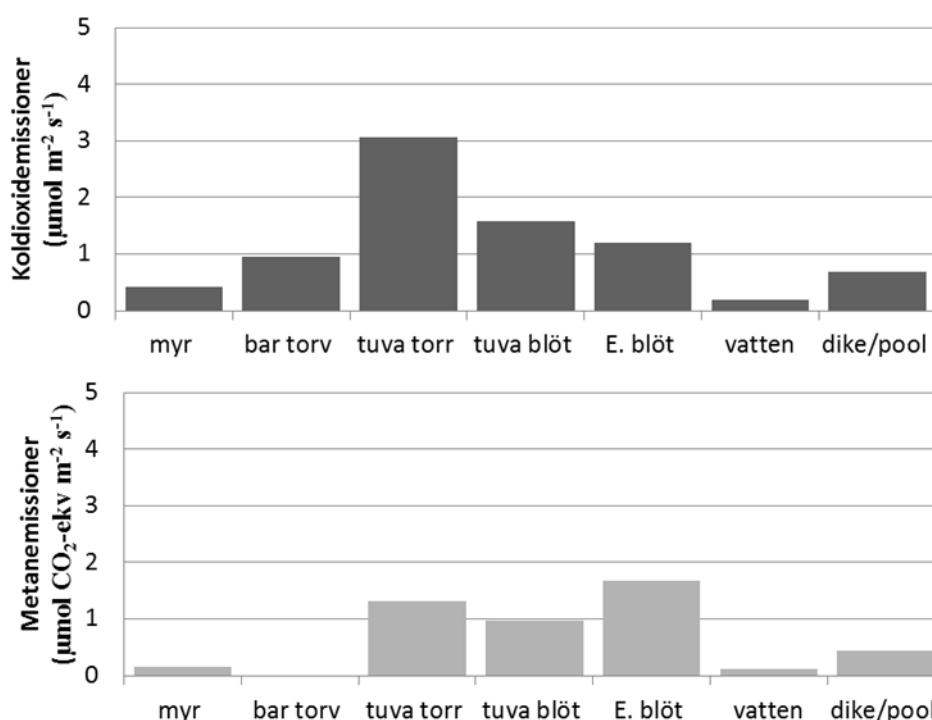
Växthusgasemissioner i Porla och Toftmossen

Det var en stor skillnad i växthusgasemissioner mellan olika ekotoper i Porla. Lägst emissioner av både CH_4 och CO_2 uppvisades från den bara torven, det öppna vattnet och den naturliga myren (Fig. 33).



Figur 32. Vid Porlan mättes emissioner av koldioxid, metan och lustgas från åtta punkter på sex olika ekotoper.

Emissionerna från starr och kärrull i blöt mark var betydligt högre och allra högst värden uppmättes från tuvullen både i dränerad och fuktig torvmiljö. Porla var relativt näringsfattig och inga signifikanta N₂O-emissioner uppmättes under åren som mätningar av växthusgasemissioner pågick. De preliminära resultaten av växthusgasemissionerna från olika ekotoper i Toftmossen bekräftade det som tidigare observerades i Porlan, med låga emissioner av CO₂ och CH₄ från bar torv, öppet vatten och ytor med vitmossa och höga från ängsull och tuvull.



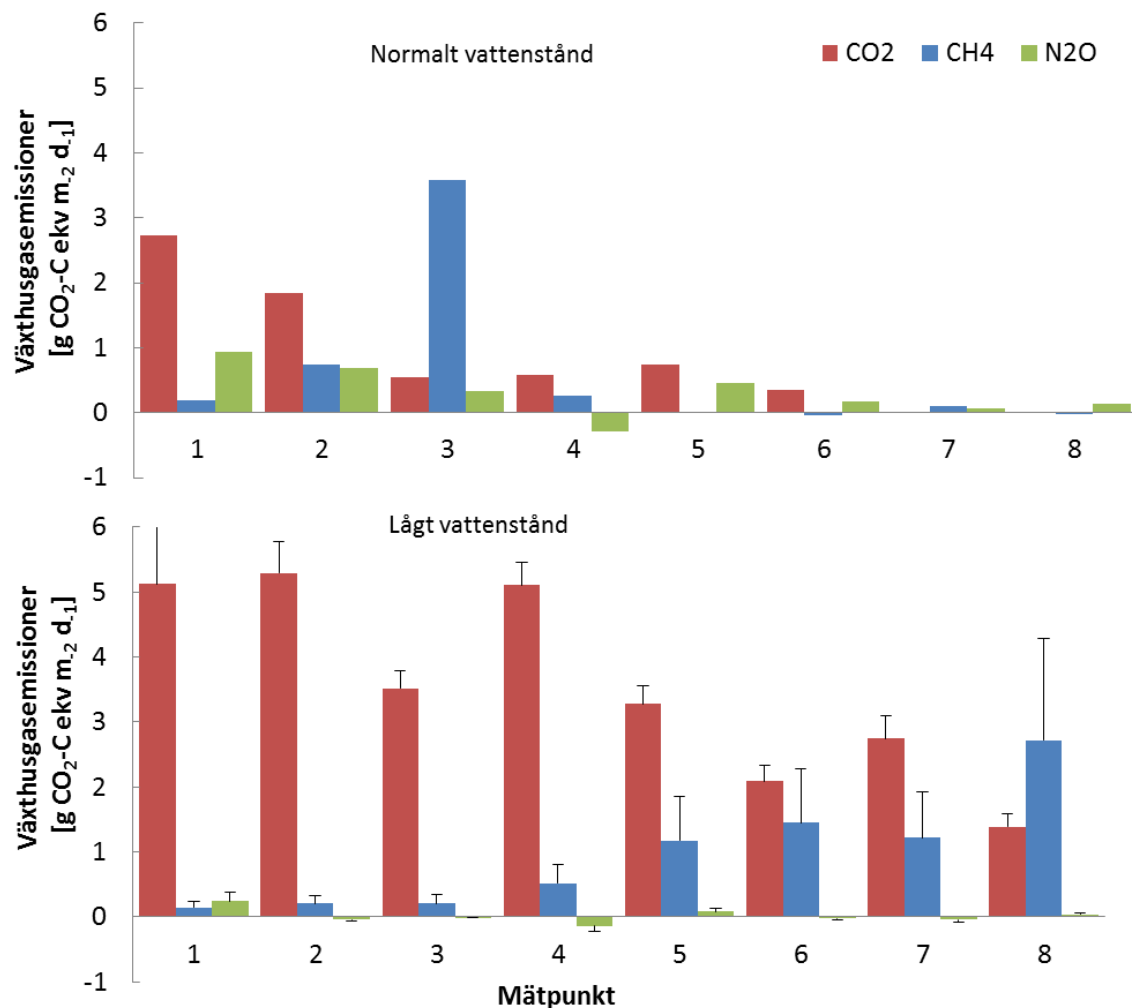
Figur 33. Genomsnittliga emissioner av koldioxid och metan för olika ekotoper i Porla från alla kampanjmätningar utförda under 2009-2012. Metanemissionerna anges i koldioxid-ekvivalenter enligt IPCC 2013 (1 g CH₄ motsvarar 34 g CO₂-ekvivalenter). Enheten 1,0 µmol m⁻² s⁻¹ motsvarar 1,0 g C m⁻² d⁻¹.

Växthusgasemissioner från Västkärr

Vattenförhållandena var viktiga för storleken av växthusgasemissioner även i Västkärr, vilket även andra studier visar (Martikainen, et al., 1993; Trettin, et al., 2006; Alm et al., 2007). Koldioxidemissionerna var högst på mätpunkter ovanför vattenlinjen, och minskade med tilltagande vattendjup (Fig. 34). Detta beror dels på att det fanns mer vegetation ju mindre blöt en mätpunkt var, dels på att nedbrytning hämmades under anaeroba förhållanden. Avseende CH₄ skedde de största emissionerna på vattendränkta områden med vattendjup på maximalt 15 cm. Mätpunkterna på fastmark och på djupare vatten hade låga emissioner av CH₄. Vegetationen var liksom som i Porla och Toftmossen av stor betydelse, men eftersom den samvarierade med vattendjupet var det svårt att särskilja från vattenförhållandena. I Västkärr växlade vattennivån kraftigt, vilket innebar att alla mätpunkter var torrlagda vid något tillfälle, medan de en annan gång var helt lagda under vatten. I juni 2009, då sjöbotten var torrlagd, ökade emissionen generellt ju längre ut mätningen gjordes. Det var alltså de mätpunkter med störst vattenmättad som hade högst emissioner. En månad senare kunde endast få av mätpunkterna mätas eftersom vattennivån var så hög. Vid detta tillfälle observerades CH₄-

emissioner, på de mätpunkter som tidigare varit ovan mark, och mycket låga eller obefintliga emissioner där vattnet var djupare.

Lustgas kan bildas på bördiga torvmarker (Maljanen et al., 2009), men emissionerna av N₂O i Västkärr var låga vid alla tillfällen. Detta berodde på att grundvattennivån behöver vara ännu lägre för att ge optimala förhållanden för lustgasbildning. En annan orsak kunde vara att den rika växtligheten effektivt tog upp det kväve som fanns tillgängligt. Emissionerna av N₂O kunde ske episodiskt och kunde därför vara svåra att fånga under kampanjmätningar. För att få en ökad klarhet om N₂O betydelse skulle mer frekventa eller kontinuerliga mätningar vara värdefulla.

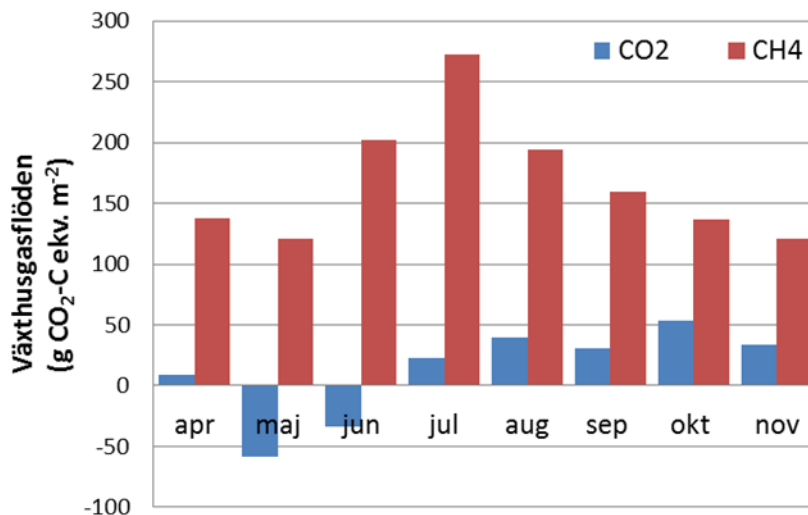


Figur 34. Emissioner av CO₂, CH₄ och N₂O från en fuktighetsgradient i Västkärr under normala vattenförhållanden (oktober 2008) och under lågt vattenstånd (juni 2009). Under normala vattenförhållanden låg mätpunkt 1 och 2 ovanför vattenlinjen, vattennivån blev sedan djupare för varje mätpunkt. Mätpunkt 7 och 8 var tagna på öppet vatten utan vegetation ovan vattenytan. Under det låga vattenståndet i juni 2009, var alla mätpunkter torrlagda. Emissionerna av CH₄ och N₂O anges i CO₂-C-ekvivalenter enligt IPCC 2013 (1 g CH₄ motsvarar 34 g CO₂-C-ekvivalenter (9,27 CO₂-C-ekvivalenter och 1 g N₂O motsvarar 298 CO₂- och CO₂-C-ekvivalenter).

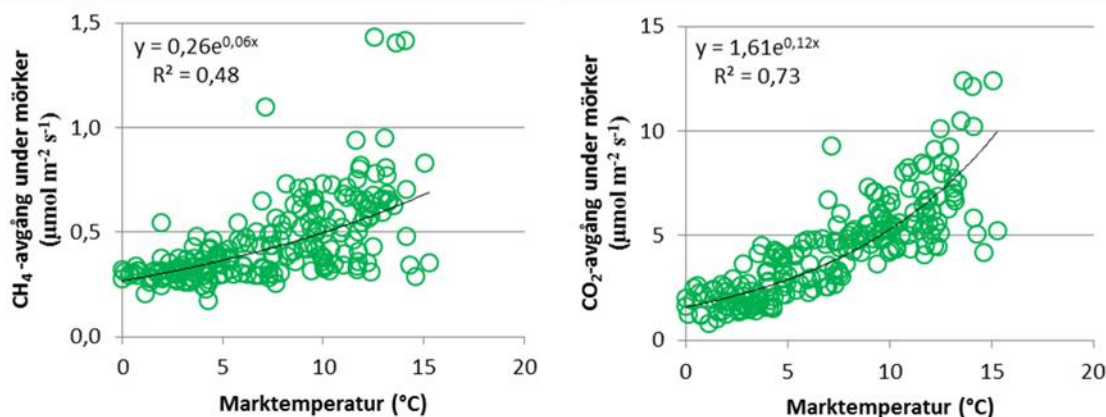
Säsongsvariation av CH₄- och CO₂-flöden i Porla

De kontinuerliga mätningarna med det automatiska systemet vid Porlan gav flöden av CH₄ och CO₂ hela dygnet. Mätkamrarna i detta system är transparenta till skillnad från de mätningar som gjordes med de manuella systemen med ogenomskinliga mätkammare. Detta innebar att de automatiska mätningarna gjordes när växternas fotosyntes pågick och att det var nettoflödet av upptag (fotosyntes för CO₂) och avgång (respiration för CO₂) som mättes. Det syntes därför en tydlig dyngsvariation med upptag av CO₂ under en solig sommardag och avgång under natten med transparenta mätkammare. I de ogenomskinliga manuella kamrarna fanns ingen fotosyntes eftersom den avslutas så fort ljuset var borta. Mätresultaten från detta system motsvarar alltså de mätningar som gjordes under natten med det automatiska systemet. Det automatiska systemet mäter åtta olika punkter trettio gånger per dygn. Det kunde inte täcka in den rumsliga variationen, som gjordes med det andra mätsystemet, men kunde visa på variationer i flöden över dygn och säsong och hur olika abiotiska faktorer påverkade flödena. Det gav oss också möjligheter att beräkna nettoflöden av CH₄ och CO₂ och att göra beräkningar av respiration och fotosyntes för olika tidsperioder. De initiala automatiska mätningarna från olika ekotoper i Porla visade att emissionerna av CH₄ och CO₂ (respiration), såväl som nettoupptaget av CO₂ (fotosyntes – respiration) har en tydlig variation över säsongen. Flödena var störst under maj och juni och lägre under vår och höst (Fig. 35).

Det var tydligt att temperaturen var en viktig faktor för emissionerna av CO₂ (respiration). För en tuvullstuva kunde 73 % av variationen under den snöfria delen av ett år förklaras med ett exponentiellt samband med temperaturen (Fig. 36). Även variationen i CH₄-emissioner kunde förklaras till en viss del med ett exponentiellt samband med temperaturen, men förklaringsgraden var betydligt lägre än för CO₂-emissionerna (R²=0,48 för tuvullstuvan).

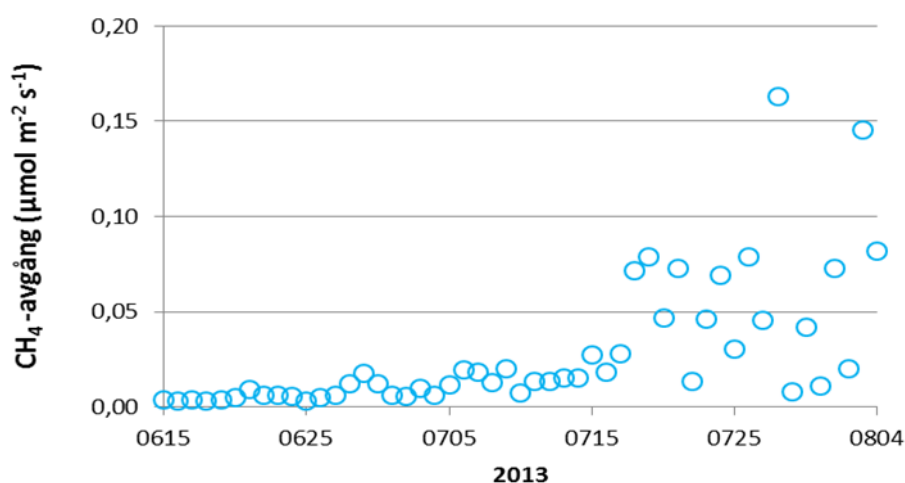


Figur 35. Nettoavgång av CH₄ och CO₂ från en tuvullstuva i strandzonen i Porla. Negativa värden anger ett nettoupptag av CO₂. Notera att 1 g metan motsvarar 34 g koldioxid-ekvivalenter (GWP100 för IPCC 2013), vilket motsvarar 9,3 g CO₂-C ekvivalenter.



Figur 36. CH₄- och CO₂ -avgång på en tuvullstuva i relation till temperaturen. Varje punkt motsvarar ett dygnsmedel av de mätningar som skedde då den fotosyntetisk aktiva strålningen (PAR) var noll (dvs när det är mörkt).

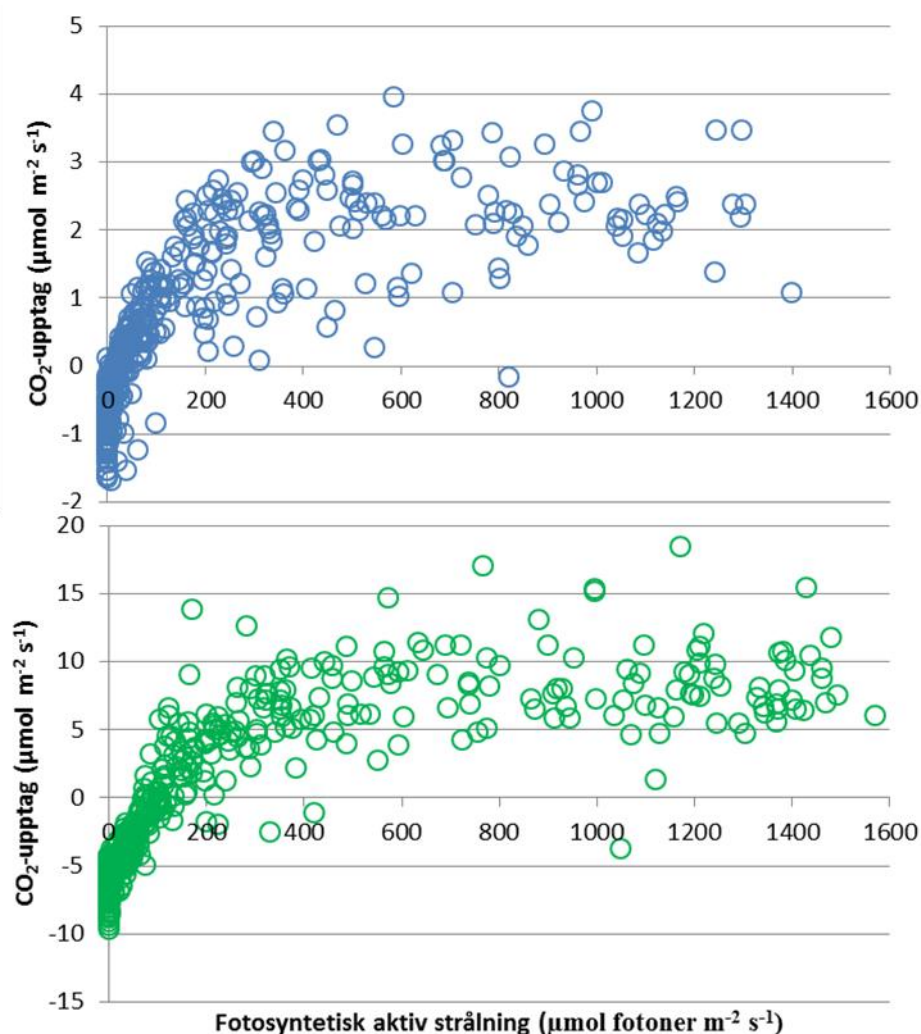
Vattennivån var också en viktig faktor för CH₄- och CO₂-avgång, där både dränerade och översvämmade förhållanden verkade hämmande (Alm et al., 2007). Det öppna vattnet mellan tuvor i strandzonen hade t ex generellt mycket låga emissioner av CH₄, men efter en längre torrperiod, när ytvattnet inte längre förelåg, uppmättes betydande CH₄-emissioner (Fig. 37).



Figur 37. Emissioner av CH₄ från en yta med öppet vatten mellan tuvullstuvor, där vattennivån blev så låg att strandbotten blottades i mitten av juli 2013. Varje punkt motsvarar ett dygnsmedel, baserade på upp till 30 mätningar per dygn

Vegetationen inverkar kraftigt på både CH₄- och CO₂-flödena. De största CO₂-emissionerna uppmättes från tuvullstuvor, medan den bara torven eller öppna vattnet precis bredvid hade relativt låga emissioner. Växter som tuvull var en förutsättning för CH₄-emissionerna. Dessutom ökade CO₂-emissionerna generellt med hur mycket bladyta som fanns och som kunde respirera. De automatiska mätningarna visade att en tuvullstuva under blöta förhållanden emitterade CH₄ motsvarande 1350 g ekvivalenter CO₂-C från en kvadratmeter under ett år (perioden 24 nov 2013-11 apr 2014 borträknad), medan motsvarande emission från vattenytan mellan tuvorna låg på 50 g. Motsvarande siffror för CO₂ var 1050 g CO₂-C från tuvan och 18 g CO₂-C för vattnet.

Även om CO₂-emissionerna från växten ökar med ökad bladyta, är det viktigt att komma ihåg att en växt tar upp mer CO₂ än den avger så länge den växer. De uppmätta CO₂-flödena från kampanjmätningarna gällde ju enbart i mörker och inte under ljusa förhållanden när växterna tog upp CO₂ genom fotosyntes. Tillgången till ljus var en mycket viktig faktor för koldioxidflödena där koldioxidupptaget ökade med ljusstillgången tills växten uppnår ljusmättnad och maximal fotosynteskapacitet (Fig. 38). Genom mätningarna med det automatiska systemet med transparenta kyvetter kunde såväl fotosyntes och respiration som nettoupptaget av CO₂ beräknas. Beräkningarna visade att respirationen från en tuvullstuva under blöta förhållanden uppgick till 1050 g CO₂-C m⁻² markyta på ett år (perioden 24 nov-11 apr borträknad) och att mer än 90 % av denna CO₂ togs upp av växten genom fotosyntes. Nettoavgången blev då endast 80 g CO₂-C m⁻².



Figur 38. Samband mellan upptag av CO₂ och fotosyntetisk aktiv strålning (PAR) på vatten mellan tuvor (övre) och på en tuva (undre) i Porla under perioden 15-30 juni 2013. Observera att figurerna har olika skalor och att amplituden är betydligt större för tuvan än för vattenytan. Varje punkt motsvarar en enskild mätning, under ett dygn genomfördes totalt 30 mätningar.

Upptag av CO₂ genom fotosyntes uppmättes även från vattenytan mellan tuvor. Där hade vitmossa börjat etablera sig i botten och upptaget genom fotosyntes av denna och/eller alger i vattnet måste ha bidragit till detta. Totalt hade denna yta en avgång av 180 g CO₂-C m⁻², varav

hälften togs upp genom fotosyntes, vilket innebar en nettoavgång på 90 g CO₂-C m⁻². Det noterades att nettoavgången av CO₂ från tuvan och vattnet bredvid låg på samma nivå, men också att dessa värden baseras på en mätpunkt och att variationen mellan olika mätpunkter kan vara stor.

Vi undersökte även hur emissionerna av CH₄ påverkades av ljusintensiteten. Vissa studier har visat att CH₄ ökar då vissa växters klyvöppningar är öppna (dvs under ljus). Det första årets resultat i Porla visade dock att de undersökta ekotoperna inte påverkades av ljusförhållandet.

Slutsatser

Det finns ett flertal alternativ för efterbehandling av utbrutna torvtäkter. De naturgivna förutsättningarna ska beaktas vid valet. Hänsyn bör även tas till markägarintressen. I sluttande terräng finns naturlig dränering och nyttjandet inom de areella näringarna såsom skogs- och jordbruk är då att föredra. I lågt liggande terräng kan tillskapandet av våtmark vara det bästa valet. Det gäller dock att det finns de rätta hydrologiska förutsättningarna. Landskapsperspektivet har också betydelse så att i områden med liten förekomst av våtmark är denna variant att föredra. Detta projekts intensioner var att studera ekosystemförhållanden vid återvätning av avslutad torvtäkt.

Primärt undersöktes två återvättningsområden i SV Sverige. Till dessa adderades ytterligare ett område i östra Svealand, Toftmossen främst för studier av växthusgaser med koppling till vatten- och vegetationsförhållanden. Av de två områdena i SV utgjorde det ena, Västkärr, ett laggområde till Skagerhultamossen och ligger som en svacka i terrängen med högre terräng och grundvattennivåer i omlandet. Under täktverksamheten pumpades vatten ut från området och när denna dränering upphörde fylldes bassängen naturligt med vatten. Det andra området, Porlan, låg i en svag sluttning och särskilda hydrologiska konstruktioner erfordrades, såsom en munk vid dämmande väg och invallning med ett par meter höga vallar. I detta fall torde visst grundvattenläckage kunnat förekomma men tillrinning och nederbörd var ändå tillräckliga för att upprätthålla lämplig vattennivå för våtmarkerna. Det tredje är en anpassad efterbehandling med skog och våtmark blandat. Det bör i sammanhanget påpekas att dammkonstruktion och hydrologiska installationer måste planeras noga liksom bevakandet av eventuell sättning av dammvallen.

Markförhållandena i kvarlämnad mark, i våtmarken senare som bottensubstrat, hade betydelse såväl för näringstillgång som för eventuella ändringar i marktillstånd. En rikare näringsmiljö, som förekom vid Västkärr, främjar vegetationsetablering och tillsammans med höghumifierad torv blir bottenförhållandena stabila. Lämnas å andra sidan torv av olika kvalité och mäktighet kan svällning och upplyft flytande torv orsaka torvtytor ovan våtmarkens vattenyta. Sådana förhållanden förelåg vid Porlanområdet. På sikt kom dock dessa ytor att koloniseras av vegetation men tillgängligheten var låg på grund av bristande bärighet. Där torvlager dominerad av vitmosstorv lämnades kvar kom denna att flerstädes svälla eller även flyta upp till vattenytan som lös flytande torv. Torvsubstratet i denna yttorv blev lös med skrymdensiteter 0.02-0.04 g/cm³, endast en femtedel av yttorven efter avslutad täkt. Detta ger en lucker och möjligen lättrorlig torv. Skulle omgivningsförhållandena vara sådana att det finns direkt ytvattenförbindelse till nerströms vattendrag och recipient kan flyttorven flyta ut till dessa vatten.

Markkemiskt ändrades inte pH och kolhalt nämnvärt medan kvävehalten verkade öka vilket resulterade i lägre CN-kvot särskilt för det fattigare Porlanområdet. De oorganiska fraktionerna var oförändrade vid Porlan medan de minskade vid Västkärr där nitrat, som fanns i täktmiljön inte återfanns efter återvätning då istället ammonium ökade. Utbytbara baskatjoner och fosfor var i stort oförändrade eller minskade något och detta avseende kalium.

Grundvattenförhållandena i omlandet påverkades av höjd vattennivå i våtmarken men ändringen på större avstånd (50-100 m) var liten, möjligen någon decimeter. På kortare avstånd från våtmarkskanten var ändringen större och det noterades 0.2-0.3 m högre nivå på upp till 30-50 m avstånd.

Avrinningen från våtmarkerna minskade överlag jämfört med täktstillståndet men efter ca 10 år var förhållandena mer stabila och likartade täktsituationen även om det allra sista året noterades för klart lägre vattenflöde. Vid torrperioder och lågvattenflöden noterades att det föreligger risk för lägre flöden och mer utdragna perioder med sinande vattenflöden. Sammantaget visade de hydrologiska mätningarna att, jämfört med naturlig torvmark, så blev årsavrinningen från återvätningsområdet lägre, samt antalet dygn med låga flöden eller inget flöde alls, blev högre. Dessa låga flöden eller inget flöde alls kan medföra problem för de organismer, som lever i vattendrag nedströms återvätningsområdet.

Vattenkvaliteten i våtmarkerna påverkades av tillrinning och markförhållanden samt grundvattenflöden. De relativt grunda våtmarkerna hade stor vattenomsättning och vid större vattentillförsel eller blåsigtt väder så syresattes vattnet men under torrare perioder med stagnation blev bottenvattnet syrefritt. Detta påverkar sedimentkemin och bottenfaunan och det visar sig att känsliga situationer kan uppstå med tillbakagång i bottenfauna och frigörelse av bl.a. fosfor och ammonium med möjlig eutrofierande effekt i nedströms vattendrag.

Näringstillståndet hos de tre våtmarksområdena speglades i vattenkemin och gradienten från den fattiga Porlan över mellanliggande Toftmossen till det rika Västkärr märktes i flera ämnen. Vattnets pH var vid Västkärr mellan 6 och 7 medan Porlan hade värden strax över 5 och för Toftmossen noterades värden nära 6. Västkärrs vatten hade en Ca-halt över 10 mg/l, nitratkväve på ca 0.2 mg/l och fosfathalt av ca 0.02 mg/l. Motsvarande värden för Porlan var Ca 2 mg/l, NO₃-N 0.03 mg/l och PO₄-P 0.004 mg/l. För Toftmossen var halterna 5 mg/l, 0.05 mg/l respektive 0.01 mg/l. Återvätningen ändrade vattenkemin lite olika för Porlan och Västkärr. Vid Toftmossen gjordes inte dessa bestämmningar. Vattnets pH ändrades i liten omfattning vid Porlan medan det vid Västkärr var klart lägre de första våtmarksåren för att sedan succesivt stiga till värden klart över de vid pågående täkt. Organiskt material ökade inledningsvis vid Porlan för att de senaste åren nå lägre värden. Vid Västkärr steg DOC inledningsvis för att senare återgå till liknande värden som före återvätning. Kvävekoncentrationerna visade en förskjutning från nära 60% oorganiskt kväve under pågående täkt till endast ca 20% i våtmarkstillståndet. Det var särskilt nitrat som minskade. Förhållandena vid Porlan visade något lägre totalkväve, ökande organiskt kväve men lägre halter oorganiskt kväve och särskilt nitrat. Vid Västkärr noterades lägre kväveinnehåll avseende samtliga fraktioner. Baskatjonkoncentrationerna minskade vid Västkärr och för Ca och Mg vid Porlan där K visade en splittrad bild. Fosforhalterna ökade vid båda återvätningsområdena.

Transporten av näringsämnen och metaller var lägre efter återvätning för att på sikt öka något till relativt normala värden för likartade grunda sjöar och våtmarker. Bottenfaunan var ofta artfattig och försurningstålrig men med ökande antal arter över tid.

Vegetationsutvecklingen startade med ett utgångsläge vid tåkternas avslutning, då med en vegetationsfri bar torvyta där begynnande växtkolonisation startade redan första året men det tog 2-3 år för att nå större täckning. Vegetationsetableringen var snabbare i Västkärrens näringsrikare miljö men efter ett antal år föreföll arterna att bli tämligen triviala och en långsam igenväxning vidtog. Vassutbredningen tilltog ute i de öppna vattnen. Strandzonerna var särskilt krävande och för att de inte skulle förbuskas och trädetableras erfordrades röjning. På den fattigare miljön vid Porlan etablerades vegetationen långsammare men efter en femårsperiod såg vegetationen nästan heltäckande fast vatten och bar torv fanns främst mellan vegetationstuvorna. Främst var det tuv- och ängsull som startade etableringen även om bl.a. starr, silleshår och vitag också förekom. Björnmossan noterades tidigt upp och efter sju år noterades spontan vitmossetablering och denna fortsatte att expandera. *Sphagnum fallax* och *Sphagnum angustifolium* noterades vid Porlan och *Sphagnum magellanicum* och *Sphagnum squarrosum* på Toftmossen.

Dessa inledande studier av växthusgaser på de olika lokalerna visar på att öppet vatten har låga emissioner av alla tre växthusgaserna. Nivåerna var jämförbara med de värden som uppmättes på den naturliga myren i Porla. Från mark med växtlighet i strandzonen sker dock höga flöden av CH₄, vilken är betydligt högre än den som uppmätts på myren. Det är tydligt att våtmarksväxterna är en förutsättning för betydande metanemissioner. Även höga emissioner av CO₂ uppmättes från dessa växter, men de nya kontinuerliga mätningarna från det automatiska mätsystemet visar att en mycket stor andel av CO₂-emissionerna tas upp genom fotosyntes under dagarna. Om detta kan generaliseras för alla ekotoper med vegetation, tillsammans med att N₂O-emissionerna generellt var låga eller obefintliga för de tre undersökta lokalerna, pekar resultaten på att det är CH₄ som dominerar nettoflödet av växthusgasemissioner från torvtäcker som restaurerats genom återvätning.

Näringsrika torvmarker (exempelvis kärr) släpper generellt ut mer växthusgaser än näringsfattiga torvmarker, som mossar (Couwenberg 2007, Höper 2002, 2007; maljanen et al., 2009; Leppelt et al., 2014). N₂O emissioner från mossar är låg p.g.a. lågt pH, låg kväve mineralisering, anaeroba förhållanden och därigenom låg nitratkvävetillgång (Kasimier Klemetsson m fl 2009). Näringsrika kärr kan ha lustgasemissioner som uppgår till 16 kg kväve per hektar, vilket motsvarar 7,8 ton CO₂-ekvivalenter per hektar (Joosten och Clarke, 2002). Liknande förhållanden kunde inte noteras vid de tre undersökta områdena där N₂O emissionerna var låga.

Allmänt kan sägas att det är ett möjligt och bra alternativ att efterbehandla avslutade torvtäcker till våtmark till fördel för landskapsdiversitet och biologisk variation. Betydelsen ur ett växthusgasperspektiv kan vara mer dubiöst och erfordrar ytterligare studier. På sikt kommer dock torvbildningen att ackumulera kol.

Projektpublicering

Resultat från projektet har också presenterats vid flera konferenser och publikationer (Blankenburg et al., 2000; Lundin, 1998; Lundin, 2000; Lundin & Lode, 2001; Vasander et al., 2000; Vasander et al., 2003; Lundin & Lode, 2002; Lundin m.fl., 2003; Lundin & Lode,

2004) samt ingår till del också i en doktorsavhandling (Lode, 2001). Vidare publicering är Lundin et al., 2006, Lundin et al., 2008, Lundin et al., 2009, Jordan et al., 2010 och Lundin et al., 2010. Vidare konferenspresentationer är gjorda i Quebec 2011, Lundin et al., 20011), vid IPC i Stockholm 2012 (Jordan et al., 2012; Lode et al., 2012; Lundin et al., 2012; Nilsson et al., 2012) och IPS symposium i Riga 2014 (Lundin et al., 2014). En litteratursammanställning är gjord 2010 (Jordan, 2010). Populärt presenterades resultat i Tidningen Svensk Torv 3/2013 (Lundin, 2013). Noteras kan också att erfarenheter (Olsson et al., 2002) nyttjats i den statliga Torvutredningen SOU 2002:100 samt att en rapport färdigställts åt Naturvårdsverket avseende klimatpåverkan (Olsson och Lundin, 2006) och ett uppdrag från Energimyndigheten och Naturvårdsverket avseende livscykelanalys för torvbruket (Finnveden och Lundin, 2006). Resultat från undersökningarna ingår också i en internationell bokpublikation (Höper et al., 2008).

Organisation och tillkännagivande

Täkterna har drivits av Neova AB (VAPO OY), Örebro Energi AB (Sydkraft AB), Råsjö Torv AB som entreprenör. Rutinmässiga fältobservationer genomförs av Sten-Ove och Lotta Pettersson, Hasselfors. Markägare har varit Sveaskog AB (Porla) och Per-Olof Stålhammar (Västkärr). Ekonomiskt stöd har givits av Energimyndighetens Energiteknikavdelning, TorvForsk och SLU. Projektet har genomförts vid institutionen för mark och miljö, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU).

Publicerade artiklar

Projektpublikationer

- Blankenburg, J., Goosen, M., Lode, E., Lundin, L., Money, R., Tonnis, W.J. and Wheeler, B. Guidelines for wetland restoration of peat cutting areas – the Bridge Project. Abstract at the Millennium Wetland Event, Quebec, August 6-12, 2000. p. 395.
- Blankenburg, J., Lundin, L. and Money, R.. 2002. Guidelines for wetland restoration of peat cutting areas – the Bridge-Project. Final report to the EC Directorate D – RTD Actions: Environment. Geological Survey of Lower Saxony. Bremen. Germany.
- Blankenburg, J. and Tonnis, W. (eds.) 2004. Guidelines for wetland restoration of peat cutting areas. Results of the BRIDGE-project. Geological Survey of Lower Saxony. Institute of Soil Technology. Bremen. 56pp.
- Finnveden, G. och Lundin, L. 2006. Ett svenskt torvbruk som är gynnsammare vad avser växthusgaser ur ett livscykelperspektiv – en kritisk analys. Avdelningen för miljöstrategisk analys-fms, Institutionen för samhällsplanering och miljö, KTH. TRITA-INFRA-FMS 2006:04. ISSN 1652-5442. Stockholm. 22s.
- Höper, H., Augustin, J., Cagampan, J.P., Drösler, M., Lundin, L., Moors, E., Vasander, H., Waddington, J.M. and Wilson, D. 2008. Restoration of peatlands and greenhouse gas balances. In; Strack, M. (Ed.) Peatlands and Climate Change. International Peat Society. Saarijärven Offset Oy, Saarijärvi. ISBN 978-952-99401-1-0. pp. 182-210.
- Jordan, S., Lundin, L., Strömgren, M., Lode, E. and Nilsson, T. 2009. Peatland restoration in Sweden. From peat cutting areas to shallow lakes – after-use of industrial peat sites. Peatlands international 1/2009, pp 42-43. International Peat Society, Jyväskylä. ISSN 1455-8491.
- Jordan, S. 2010. Consequences of wetland restoration for hydrochemistry, especially carbon, nitrogen and phosphorus balances, greenhouse gas emissions and hydrology. PhD project. Department of Soil and Environment, SLU, Uppsala. 14pp.

- Jordan, S., Strömgren, M., Lode, E., Lundin, L. and Nilsson, T. 2012. Greenhouse gas emissions from two rewetted peatlands in Sweden. Extended abstract No 206. Proceedings of the International Peat Congress, Stockholm, 2-8 June, 2012. 4pp.
- Lode, E. 1999. Wetland restoration: a survey of options for restoring peatlands. *Studia Forestalia Suecica* 205, 30 pp.
- Lode, E. 2001. Natural mire hydrology in restoration of peatland functions. Doctoral thesis at the Swedish University of Agricultural Sciences. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Silvestria* 234, 38 pp.
- Lode, E., Ilomets, M. and Lundin, L. 2002. Criteria for restoration of peat accumulating landscapes. In Schmielewski, G. And Rochefort, L. (eds.) Proceedings of the International Peat Symposium of International Peat Society "Peat in Horticulture – Quality and Environmental Challenges", Pärnu, Estonia 3-6 September 2002. pp. 229-236.
- Lode, E., Lundin, L. and Ilomets, M. 2010. Self-Recovery of Cut-over Bogs: Summary from Case Studies. In: Eiseltová, M. (Ed.). Restoration of Lakes, Streams, Floodplains and Bogs in Europe: Principles and Case Studies. Wetlands: Ecology, Conservation and Management. Volume 3, 265-284. Springer verlag. ISBN 978-90-481-9264-9.
- Lode, E., Jordan, S., Lundin, L., Nilsson, T. and Strömgren, M. 2012. Up-scaling possibilities of environmental changes on long-term peatland management at Porla mire. Extended abstract No 228. Proceedings of the International Peat Congress, Stockholm, 2-8 June, 2012. 6pp.
- Lundin, L. 1998. Hydrochemistry of natural, cut-over and rewetted peatland sites. Peatland Restoration and Reclamation. Proceedings of the 1998 International Peat Symposium. Malterer, T., Johnson, K. & Stewart, J. eds. Duluth, Minnesota, USA. pp 139-143.
- Lundin, L. och Lode, E. 2000. Restaurering av avslutade torvtäkter genom återvätning. Institutionen för skoglig marklära, SLU. Uppsala. 24s.
- Lundin, L. 2000. Water quality and land use interactions in peatland catchments. Abstract at the Millennium Wetland Event, Quebec, August 6-12, 2000. p. 387.
- Lundin, L. 2001. Restaurering av avslutade torvtäkter genom återvätning. Delrapport. Institutionen för skoglig marklära, SLU. Uppsala. 8s.
- Lundin, L. and Lode, E. 2001. Mire water conditions at peatland sites restored by rewetting. Abstract for presentation at the conference; Changing wetlands: new developments in wetland science. University of Sheffield, UK, 11-13 September 2001.
- Lundin, L. 2002. Hydrochemistry in rewetted peatlands with special attention on phosphorus turnover. BIOGEOMON University of Reading, UK, August 17-21, Conference abstracts. p 144.
- Lundin, L. and Lode, E. 2002. Effects of peatland rewetting on the hydrochemistry. In Schmielewski, G. And Rochefort, L. (eds.) Proceedings of the International Peat Symposium of International Peat Society "Peat in Horticulture – Quality and Environmental Challenges", Pärnu, Estonia 3-6 September 2002. pp. 252-255.
- Lundin, L., Lode, E. och Nilsson, T. 2003. Restaurering av avslutade torvtäkter genom återvätning. Institutionen för skoglig marklära, SLU. Uppsala. 33s.
- Lundin, L., Nilsson, T. and Lode, E. 2003. The paradox of peatland hydrology. In: Järvet, A. and Lode, E. eds. Ecohydrological processes in Northern wetlands. Selected papers of International Conference & Educational Workshop, Tallinn, Estonia 30 June – 4 July 2003. Tallinn-Tartu. Pp 25-29.
- Lundin, L. and Lode, E. 2004. Wetland after peat cutting – Impacts on water chemistry. Proceedings of the 12th International Peat Congress "Wise use of peatlands". Tampere, Finland 6-11 June 2004. Vol. 1, 391-397.
- Lundin, L., Lode, E. and Nilsson, T. 2006. Wetland environment after rewetting peat cutover areas. Abstract for the 5th European Conference on Restoration Ecology, Land use changes in Europe as a challenge for restoration – ecological, economical and ethical dimensions. August 22-25, 2006, Greifswald. p 123.
- Lundin, L. 2008. Lägesrapport för projektet "Restaurering av avslutade torvtäkter genom återvätning. Institutionen för mark och miljö, SLU, Uppsala. 4s.

- Lundin, L., Lode, E., Strömgren, M. and Nilsson, T. 2008. Wetland, Wise After-use at Terminated Peat Cuttings. In; Farrell, C. and Feehan, J. Proceedings of the International Peat Congress "After Wise Use – The Future of Peatlands" Tullamore, Ireland 8-13 June, 2008. 5pp.
- Lundin, L., Lode, E., Strömgren, M. and Nilsson, T. 2008. Wetland, Wise After-use at Terminated Peat Cuttings. In; Farrell, C. and Feehan, J. Proceedings of the International Peat Congress "After Wise Use – The Future of Peatlands" Tullamore, Ireland 8-13 June, 2008. Abstracts of presentations, p 66.
- Lundin, L., Lode, E., Strömgren, M. and Nilsson, T. 2009. Environmental impacts of hydrological restoration after peat extraction. BIOGEOMON 2009, 6th International Symposium on Ecosystem Behaviour. Conference June 29th – July 3rd, 2009. Helsinki. Poster abstract. p 505.
- Lundin, L., Lode, E., Strömgren, M., Nilsson, T. and Jordan, S. 2010. Effects on the peatland environment of hydrological restoration after peat extraction. International Peat Society Convention in Jyväskylä June 14-18 2010. Abstract 1 pp.
- Lundin, L., Lode, E., Strömgren, M., Nilsson, T. and Jordan, S. 2011. Wetland management after termination of peat extraction and effects on the environment. In Program and Abstracts for the International Symposium on Responsible Peatland Management and Growing Media Production. Quebec, Canada, June 13-17, 2011. International Peat Society, Université Laval and International Society for Horticulture Science. Oral presentation. p. 61.
- Lundin, L., Lode, E., Jordan, S., Nilsson, T. and Strömgren, M. 2012. Restoration of water quality and biology in two rewetted cut-over peatlands. Extended abstract No 231. Proceedings of the International Peat Congress, Stockholm, 2-8 June, 2012. 8pp.
- Lundin, L. 2012. Wetlands: Classification, Distribution, Function. In: Bengtsson, L., Herschy, R.W. and Fairbridge, R.W. Encyclopedia of lakes and reservoirs. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer verlag. ISBN: 978-1-4020-5616-1. pp. 914-916.
- Lundin, L. 2013. Vegetation påverkar metangasutsläppen. Tidningen Svensk Torv 3/2013. Stockholm. s 3.
- Lundin, L. 2013. Restaurering av avslutade torvtäkter genom återvätning; undersökningar vid Porla, Västkärr och Toftmossen. Lägesrapport för Energimyndigheten. 5s.
- Lundin, L. 2014. Perspectives on peatland use impacts and wetland restoration. Abstract for the International Peat Technology Symposium, Riga 26-28 August 2014. P.40.
- Nilsson, T., Lundin, L., Jordan, S., Lode, E. and Strömgren, M. 2012. Runoff changes after rewetting of a cutover peatland in Sweden. Extended abstract No 310. Proceedings of the International Peat Congress, Stockholm, 2-8 June, 2012. 5pp.
- Olsson, M., Lundin, L. & Lode, E. 2002. Utredning rörande torvutvinningens effekter för växthusgaser. Utredning för den statliga Torvutredningen. Institutionen för skoglig marklära, SLU. Rapport. 14s.
- Olsson, M. and Lundin, L. 2006. Våtmarksrestaurering I relation till växthusgasbalanser och ekosystemtjänster. Uppdrag åt Naturvårdsverket för fördjupad utvärdering av miljömålet Myllrande våtmarker. Institutionen för skoglig marklära, SLU. 15s.
- Strack, M., Waddington, J.M., Turetsky, M., Roulet, N.T. and Byrne, K.A. 2008. Northern peatlands, greenhouse gas exchange and climate change. In: Strack, M. (ed.) 2008. Peatlands and climate change. International Peat Society. Jyväskylä.
- Strömgren, M. 2001. Soil-surface CO₂ flux and growth in a boreal Norway Spruce stand. Silvestria 220. SLU. Uppsala.
- Vasander, H., Lode, E., Lundin, L., Ilomets, M., Sallantausta, T., Tuittila, E-S. And Laine, J. 2000. Restoration of peatlands in northern Europe. Abstract at the Millennium Wetland Event, Quebec, August 6-12, 2000. p. 222.
- Vasander, H., Tuittila, E-S., Lode, E., Lundin, L., Ilomets, M., Sallantausta, T., Heikkilä, M-L. and Laine, J. 2003. Status and restoration of peatlands in northern Europe. *Wetlands Ecology and Management* 11: 51-63.

Referenser

Textreferenser

- Alm, J., Shurpali, N. J., Minkkinen, K., Aro, L., Hytönen, J., Laurila, T., Lohila, A., Maljanen, M., Martikainen, P. J., Mäkiranta, P., Penttilä, T., Saarnio, S., Silvan, N., Tuittila, E.-S. & Laine, J. (2007) Emission factors and their uncertainty for the exchange of CO₂, CH₄ and N₂O in Finnish managed peatlands. *Boreal Environment Research* (12), 2, 191-209.
- Bergquist, B., Lundin, L. och Andersson, A. 1984. Hydrologiska och limnologiska konsekvenser av skogs- och myrdikning. Siksjöbäcksområdet. Effects of peatland drainage on hydrology and limnology. The basin Siksjöbäcken. Limn. inst. Uppsala. Rapport B4. 143 pp. (In Swedish with English summary).
- Brandt, M., Jutman, T., Alexandersson, H. 1994. Sveriges vattenbalans. Årsmedelvärden 1961–1990 av nederbörd, avdunstning och avrinning. SMHI Hydrologi Nr 49. 16 s.
- Couwenberg, J. (2007) Biomass energy crops on peatlands: on emissions and perversions. International Mire Conservation Group, Newsletter (3), 12-14.
- Eriksson, B. 1979. Statistisk analys av nederbördsdata. Del 1. Arealnederbörd. SMHI Rapporter RMK Nr 16. 73 s.
- Hånell, B. 1989. Skogliga våtmarker i Sverige. En beskrivning av det skogliga tillståndet på de torvtäckta markerna och deras utbredning på riks-, landsdels- och länsnivå. – Rapporter i skogsekologi och skoglig marklära. Rapport 60. Sveriges lantbruksuniversitet. Uppsala. 88 s.
- Höper, H. (2002) Carbon and nitrogen mineralisation rates of fens in Germany used for agriculture. A review. In: Broll, G., Merbach, W. & Pfeiffer, E.-M. (eds.), *Wetlands in Central Europe - Soil organisms, soil ecological processes and trace gas emissions*. Springer, Berlin, 149-164.
- Höper, H. (2007) Freisetzung von Treibhausgasen aus deutschen Mooren (Emission of greenhouse gases from German peatlands). In: TELMA, 37, Selbstverlag der DGMT, Hannover, 85-116. (in German, English summary).
- Iritz, L., Johansson, B. & Lundin, L. 1994. Impacts of forest drainage on floods. *Hydrological Sciences Journal* 39, 637-661.
- Joosten, H. & Clarke, D. (2002) *Wise Use of Mires and Peatlands – background and principles including a framework for decision-making*. International Mire Conservation Group and International Peat Society, 304 pp.
- Kasimir Klemetsson, Å., Weslien, P. & Klemetsson, L. (2009) Methane and nitrous oxide fluxes from a farmed Swedish histosol. *European Journal of Soil Science*, 60, 321–331.
- Klemetsson L, Kasimir Klemetsson Å, Moldan F and Weslien P. 1997. Nitrous oxide emission from Swedish forest soils in relation to liming and simulated increased N-deposition. *Biology and Fertility of Soils* 25:290-295
- Korhonen J F, Mäki M, Korkiakoski M, Bosco S, Brümmer S, Cade M, Carter S, Darenova E, Delorme J-P, Dementriades T, Dusek J, Galkowski M, Görres C-M, Halmeenmäki C, Herrmann A, Hupp J, Hurkuck M, Jordan S, Juszczak R, Lee M, Liu C, Moffat A M, Merbold L, Nickerson N, Pumpanen J, Smith J, Strömberg M, Volpi I, Waniek M, Pihlatie M. 2014. Inter-comparison of N₂O chambers using laser absorption spectrometry: Quantification of systematic errors. Extended abstract to the Finnish National Centre of Excellence annual meeting.
- Leppelt T, Dechow R, Gebbert S, Freibauer A, Lohila A, Augustin J, Drösler M, Fiedler S, Glatzel S, Höper H, Järveoja J, Lærke P E, Maljanen M, Mander Ü, Mäkiranta P, Minkkinen K, Ojanen P, Regina K, Strömberg M. 2014. Nitrous oxide emission hotspots from organic soils in Europe. *Biogeosciences Discussions*: 11, 9135-9182.

- Maljanen M, Sigurdsson B D, Guðmundsson J, Óskarsson H, Huttunen J T, Martikainen P J. 2009. Land-use and greenhouse gas balances of peatlands in the Nordic countries – present knowledge and gaps. *Biogeosciences Discuss.*, 6, 6271–6338.
- Martikainen, P.J., Nykänen, H., Crill, P. and Silvola, J. 1993. Effects of lowered water table on nitrous oxide fluxes from northern peatlands. *Nature* 366, 51-53.
- Morén, A-S. (ed.) 2006. Så funkar det. Kolet, klimatet och skogen. LUSTRA. SLU, Uppsala.
- Nilsson, K. och Nilsson, M. 2004. The climate impact of energy peat utilization in Sweden – the effect of former land-use and after treatment. IVL Report 1606. Stockholm.
- SCB. 2014. Torv 2013 - Produktion, användning, miljöeffekter. Statistiska Meddelanden MI SM1401. 37 s.
- SIS, 1986. Swedish standard for water analysis, SIS 3120. Standardisation Committee of Sweden.
- Strack, M. (ed.) 2008 *Peatlands and Climate Change*. International Peat Society, 223 pp.
- Trettin CC, Laiho R, Minkinen K, Laine J (2006) Influence of climate change factors on carbon dynamics in northern forested peatlands. *Canadian Journal of Soil Sciences* 86: 269-280.

Stiftelsen Svensk Torvforskning

TorvForsk – Stiftelsen Svensk Torvforsknings mål är att öka kunskapen om torv och torvmarker och att initiera, planera, genomföra och utvärdera forskning och utvecklingsinsatser av betydelse för användning och bevarande av torvmarker.

TorvForsk är en allmännyttig forskningsstiftelse som bildades 1983 av representanter för torvnäringen. TorvForsk har till uppgift att initiera, planera, genomföra samt utvärdera forskning och utvecklingsinsatser av betydelse för torvbranschen.

TorvForsks insatser ska bestå i

- att fånga upp projektförslag och idéer som avser utveckling av torvhantering och som kräver samverkan mellan flera kompetenser.
- att stimulera och stödja långsiktig och uthållig samverkan och kompetensuppbyggnad inom torvnäringen av gemensamt intresse för branschen som helhet eller för grupp av intressenter.
- att genom rapporter, seminarier osv medverka till kunskapsöverföring och teknikspridning.

Verksamheten ska ha som målsättning att resultaten får en praktisk tillämpning.



Rapporten kan beställas från:

TorvForsk
Arenavägen 33
121 77 Johanneshov
info@svensktorv.se

eller laddas ned från www.torvforsk.se

**TORV
FORSK**

Stiftelsen Svensk
Torvforskning