

Återvätning av dikad torvmark

**Olivia Larsson
Linn Carlstedt**

**Degree of Bachelor of Science
with a major in Earth Sciences
15 hec**

**Department of Earth Sciences
University of Gothenburg
2020 B-1085**

Faculty of Science



UNIVERSITY OF GOTHENBURG

Återvätning av dikad torvmark

Olivia Larsson
Linn Carlstedt

ISSN 1400-3821

B1085
Bachelor of Science thesis
Göteborg 2020

Mailing address
Geovetarcentrum
S 405 30 Göteborg

Address
Geovetarcentrum
Guldhedsgatan 5A

Telephone
031-786 19 56

Geovetarcentrum
Göteborg University
S-405 30 Göteborg
SWEDEN

1. INLEDNING	7
1.2. OMRÅDESBESKRIVNING	9
1.3. BAKGRUND	10
1.3.1. TORVMARKER	10
1.3.2. VATTENHALTEN OCH TEMPERATURENS PÅVERKAN PÅ TORV	11
1.3.3. MÄNNISKANS PÅVERKAN PÅ TORV	11
1.3.3.1. Klimatförändringar	11
1.3.3.2. Skogsbruk och jordbruk	12
1.3.3.3. Torvbrytning	12
1.3.3.4. Restaurering	14
2. METOD	16
2.1. FÄLTARBETE	16
2.2. TRENDANALYS	18
2.3. OMVANDLING TILL EF	18
3. RESULTAT	20
3.1. TRENDANALYS	20
3.1.1. KOLDIOXID	20
3.1.2. METAN	21
3.2. EMISSIONSFAKTORER (EF)	23
4. DISKUSSION	26
4.1. KOLDIOXID	26
4.2. METAN	27
4.3. RESTAURERING	28
4.4. FELKÄLLOR OCH FRAMTIDA STUDIER	29
5. SLUTSATS	30
6. REFERENSLISTA	31
APPENDIX	34

Tackord

Vi vill tacka vår handledare Åsa Kasimir som med stor flexibilitet handlett oss genom vårt arbete i denna speciella tid av Corona-pandemi och Linns graviditet. Tack fälttekniker David Allbrand som kunde utföra fältarbetet istället för oss när restriktioner av studenters resande infördes av universitetet. Tack Emily Whitehurst Zack och Mark Johnson för att ni ordnade så att vi kunde påbörja och slutföra arbetet tidigare på grund av rådande omständigheter. Tack också till vår examinator Leif Klemedtsson.

Tack också till Bo Englund vars hus vi fått bo i när vi skrivit stora delar av arbetet. Tack till Nike för att du var en ordentlig unge så att din mamma kunde få skriva det här arbetet utan allt för stora krämpor.

Olivia Larsson & Linn Carlstedt

Sammanfattning

Klimatet förändras med ökad global temperatur och extrema värderevent till följd av mänskliga utsläpp av växthusgaser. Förändring i markanvändningssektorn står för 24% av de totala årliga utsläppen globalt och av de uppgår dikade torvmarker till 10%. I Sverige står dikade torvmarker för omkring en femtedel av de totala växthusgasutsläppen, vilket motsvarar nästan lika mycket utsläpp som från personbilar. Riktlinjer har utformats av IPCC för rapportering av våtmarker där torvmarker ingår. När torv syresätts vid dikning frigörs kol som genom mikrobiell nedbrytning omvandlas till koldioxid. Det finns därför ett stort intresse i att undersöka restaureringsåtgärder för att återigen göra dikade torvmarker torvbildande.

Projektet VIRV ska undersöka växthusgasbalansen på Anderstorps Stormosse under en flerårsperiod. Detta kandidatarbete bygger på analyser av första mättillfället där mätningar genomförts på en tidigare dikad yta, som restaurerats genom återvätning till torvbildande våtmark, och en orörd referensyta. Arbetet innefattar även en litteraturstudie av dikad torvmark i Sverige. Analyserna av mätningarna visade att den restaurerade ytan och referensytan beter sig liknande gällande koldioxidutsläpp med ett upptag i transparent kammare och ett utsläpp i mörklagd kammare.

Metanutsläppen var också liknande mellan ytorna, och indikerade på ett noll-utsläpp. Vidare visade studien att vegetationstypen beroende på vattenhalt och mängd växtlighet hade en inverkan på koldioxidflödet där torrare förhållanden och mer växtlighet hade ett större upptag av koldioxid.

Abstract

The climate is changing due to anthropogenic emissions of greenhouse gases (GHG), with increasing global temperatures and extreme weather events. Emissions from land use, land-use change and forestry (LULUCF) account for 24% of the total annual emissions globally, where drained peat lands stands for 10%. In Sweden the emissions of peat lands account for a fifth of the total GHG emissions, which almost equals the emissions from the automotive sector. Guidelines regarding the management and reporting of wetlands, including peat lands, has been provided by the IPCC to mitigate the emissions. When peat lands are drained the organic matter gets decomposed by microbial organisms and the released carbon converts into carbon dioxide. There is of great interest to investigate restoration strategies for drained peat lands to re-establish them to peat-forming wetlands.

The project VIRV will investigate the GHG flux at Anderstorps Stormosse during several years. This bachelor thesis is based on the first measurement of the bog by measuring the gas fluxes on a previous drained area, which has been restored by rewetting, and an undrained reference area. The thesis also includes a literature study of peat. The analysis of the data showed that the restored area and the natural reference area behaved similar regarding the carbon dioxide emission with an uptake in the transparent chamber and an emission in the dark chamber, while the emission of methane indicate a net-zero emission. The study also showed the importance of vegetation types when it comes to carbon dioxide emissions, where drier conditions with more vegetation had a greater uptake.

Ordlista

Aerob nedbrytning - Syrekrävande nedbrytningsprocess.

Anaerob nedbrytning - Syrefri nedbrytningsprocess.

Organogen mark - Mark som innehåller mer än 20% organiskt material. All torvmark är således organogen mark.

Emissionsfaktor - Utsläppet av en viss växthusgas per arealenhet under en viss tid.

Koldioxidekvivalent (CO_2 -ekv)- Växthusgaser har varierande stark växthuseffekt. För att de ska kunna jämföras med varandra omvandlas de till koldioxidekvivalenter och representerar då hur stor mängd koldioxidutsläpp som gasen motsvarar.

Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) - FN:s klimatpanel som sammanställer aktuell forskning om klimatet i rapporter.

1. Inledning

Mänsklig påverkan på klimatet beräknar ha höjt den globala medeltemperaturen med 1°C sedan förindustriell nivå. Den globala uppvärmningen förväntas stiga till 1,5°C jämfört med förindustriell temperatur redan mellan åren 2030-2052 (IPCC, 2018) och till 4°C i slutet av seklet om den antropogena påverkan på klimatsystemet fortsätter i samma utveckling som idag (IPCC, 2014b). För att begränsa uppvärmningen till 2°C, men med målet att inte överstiga 1,5°C innan århundradets slut har världens nationer skrivit under Paris-avtalet (United Nations / Framework Convention on Climate Change, 2015). För att uppnå målet om 1,5°C krävs en minskning av de globala koldioxidutsläppen med 45% år 2030 jämfört med 2010 års nivåer och ett nollutsläpp vid 2050. För att klara målet om 2°C krävs en minskning av koldioxidutsläpp med 25% innan 2030 och ett nollutsläpp vid 2070 (IPCC, 2018). Enligt IPCC (2014a) kommer de antropogena växthusgasutsläppen vilka bidrar till den globala uppvärmningen till största del från fossil energianvändning. En annan betydelsefull utsläppskälla är förändringar i markanvändning vilket står för 24% av de årliga globala utsläppen, och av dem kommer 10% från dikade torvmarker (IPCC, 2014a).

Jordens torvmarker är en viktig kolsänka då 26% av allt markbundet kol finns i dem, trots att de bara täcker 3,5% av jordens yta. De allra flesta torvmarker (95%) finns i norra hemisfären då det är de subarktiska och de boreala zonerna som är bäst lämpade för bildning av torvmarker (Franzén, 2006). Sverige är ett av de länder med störst andel torvmark i världen, med 15% av den totala markarealen, vilket motsvarar 6,35 miljoner ha torvmark (Naturvårdsverket, 2016). 1,5 miljoner ha av dessa marker är påverkade av dikning, framförallt till nytta för skogs- och jordbruk, där arealen skog på dikad torvmark uppgår till 800 000 ha, dikad jordbruksmark till 145 000 ha och torvbrytning till 12 500 ha (Naturvårdsverket, 2016).

När torvmark dikas syresätts jorden och det bundna kolet oxideras vilket leder till att det organiska materialet bryts ned av mikroorganismer där kolet omvandlas till koldioxid. I näringsrik mark frigörs även kväve vid mikrobiell nedbrytning som kan leda till lustgasutsläpp, vilket ofta är fallet i jordbruksmark. Samtidigt avtar metanutsläppet från marken i och med den minskade vattennivån som hämmar anaeroba mikroorganismers nedbrytning och istället gynnar aeroba mikroorganismers

nedbrytning (Naturvårdsverket, 2016). I rapporten *Rapportering av utsläpp från dränerade organiska jordar under UNFCCC – utvärdering av emissionsfaktorer och arealer för Sverige* av Lindgren A. och Lundblad M. (2014) utreds och presenteras de rekommenderade emissionsfaktorer (EF) som ska användas inom Sveriges nationella klimatrapporering av dränerad organogen mark, torvbrytning och återvätning. Det till följd av att IPCC i oktober 2013 antog *The 2013 Supplement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands (WL GL)*, vilkas riktlinjer kommer att användas inom rapportering av växthusgaser inom markanvändningssektorn (LULUCF) till Klimatkonventionen (UNFCCC). Enligt Lindgren & Lundblads (2014) rapport uppgick de årliga växthusgasutsläppen från dränerad organogen mark, torvbrytning och återvätning i Sverige till 10,63 miljoner ton koldioxidekvivalenter ($\text{CO}_{2\text{-ekv}}$). Dikad skogsmark står för det största utsläppet totalt, medan dikad jordbruksmark har de största utsläppen per ytenhet (Lindgren & Lundblad, 2014). Denna utsläppskälla motsvarar omkring en femtedel av Sveriges totala växthusgasutsläpp, vilket motsvarar nästan lika mycket utsläpp som från personbilar (Kasimir m.fl., 2018). Kasimir m.fl. (2018) menar att det behövs akuta restaureringsåtgärder för att återigen blötlägga marker genom fördämning och förespråkar samtidigt plantering av grödor som tål de blötare förhållandena.

Projektet *Växthusgaser i restaurerade våtmarker (VIRV)* är ett delprojekt i det till stor del EU-finansierade projektet GRIP on LIFE som ska förbättra miljön i vattendrag och våtmarker. I Sverige ska mätningar göras av växthusgasbalansen mellan metan, koldioxid och lustgas på två restaurerade näringsfattiga myrar. Växthusgasbalansen ska sedan jämföras med referensytor i form av orörda myrmarker för att se om de restaurerade ytorna efter återvätning beter sig liknande. De två myrmarkerna som ska studeras ligger i Jämtland respektive Jönköpings län.

1.1. Syfte

Den här studien har tagit del av VIRVs första mätdata och dess syfte är att göra en första analys av växthusgasflödet på en restaurerad yta och en orörd referensyta för att se om de beter sig liknande gällande utsläpp av metan och koldioxid. Analysen baseras på mätningar från ett mättillfälle vid Anderstorps Stormosse i Jönköpings län som tidigare dikats för torvtäkt och sedan restaurerats 2014 genom återvätning.

Vidare syfte är att undersöka vegetationens påverkan på utsläppen av metan och koldioxid. Arbetet inkluderar också en omfattande litteraturstudie om torv. Med tanke på de rådande omständigheterna på grund av Corona-pandemin kunde inte fältarbete och därmed insamling av data ske i samma utsträckning som planerat.

1.2. Områdesbeskrivning

Den insamlade data som analyserats i den här studien kommer från mätningar gjorda på Anderstorps Stormosse ($57^{\circ}20'01.8''N$ $13^{\circ}35'59.9''E$), belägen i de småländska kommunerna Gislaved och Gnosjö (Bild 1). Klimatet i Anderstorp klassificeras som Dfb enligt Köppens klimatklassifikation vilket innebär ett fuktigt kontinentalklimat (Kottek m.fl., 2006). Mossen omfattar 1 939 ha vilket gör den till en av Sveriges största myrmarker och beskrivs av Länsstyrelsen i Jönköpings län att ha en orörd vildmarkskaraktär. Inom det stora området finns många mindre miljöer där växter och djur som är sällsynta eller som egentligen inte lever i regionen trivs (Länsstyrelsen i Jönköpings län, 2006). Mossen karaktäriseras som en öppen högmosse och dess rika variation i natur och fågellivet gör att mossens bevarandevärde beskrivs som högt. Anderstorps Stormosse är därför utsedd till att vara ett Natura 2000 område samt ett naturreservat (Länsstyrelsen i Jönköpings län, 2016).



Bild 1. Översiktskarta där Anderstorps Stormosse markerats i rött. Källa: Esri, USGS.

Under andra världskriget bedrevs torvtäkt på mossen. Det innebar att vissa delar, runt 20% av mossen, torrlades (Länsstyrelsen i Jönköpings län, 2016). Under denna tidsperiod bröts torv fortfarande för hand genom att bryta den i långa djupa fåror, vilket gör att det mellan fårorna finns obruten torv (Paulsson, 2015). Efter att torvbrytningen avslutades, växte under andra halvan av 1900-talet skog på den torrlagda marken. Under restaureringsprojektet *Life to ad(d)mire* som pågick mellan 2010 och 2015 så restaurerades ungefär 300 ha genom fördämning av diken och avverkning av skogen (Länsstyrelsen i Jönköpings län, 2016). I den här studien har en del av den restaurerade ytan jämförts med en orörd referensyta.

1.3. Bakgrund

Torv är en jordartstyp som Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2014) menar kan definieras som att minst 30% av dess torkade massa består av dött organiskt material. För att torv skall bildas krävs en långvarig period där tillförseln av organiskt material, vilket sker genom produktion av biomassa från växter som är anpassade till torvmarkens miljö, överstiger både mineralisationen och exporten av de organiska ämnena från jorden. Den främsta anledningen till att detta sker är att nedbrytningen av det organiska materialet i torven hämmas av syrebristen som orsakas av markens vattenmättnad. Torv kan ha en vattenhalt så hög som 95% (FAO, 2014). Så till skillnad från andra ekosystem vars kretslopp ofta är snabbare och fullständiga, är torvens långsam och ofullständig, då inte allt organiskt material bryts ned. Torv karaktäriseras därigenom av en positiv kolbalans (Joosten & Clarke, 2002).

1.3.1. Torvmarker

Om torvlagret är tjockare än 30 centimeter så definieras landformen som torvbildande (Naturvårdsverket, 2016). Torvmarker är en form av våtmark då dess vattennivå är nära markytan, och de delas vidare in i mossar och kärr. Mossar skiljer sig från kärr då de får allt sitt vatten från nederbörd, vilket gör att både halten av näringsämnen och markens pH-värde är lågt. Vidare karaktäriseras mossar av en låg primärproduktion (Kellner, 2003). Vattentillförseln i kärr kommer från nederbörd men även till viss del från inflödet av yt- eller grundvatten. Dess egenskaper påverkas därigenom av inflödet av yt- och grundvatten i förhållande till nederbörd, men även av områdets geologi. Kärren delas in på en skala mellan rik- och fattigkärr, baserat på halten

mineral vilket har en stark korrelation till pH-värdet. Då den svenska berggrunden ofta är silikatrik medför det att de flesta kärr kategoriseras som fattigkärr och dess egenskaper liknar mossarnas. Ofta finns både mossar och kärr på samma område och bildar då myrkomplex (Kellner, 2003).

De svenska torvmarkerna samt andra nordliga torvmarker började bildas i slutet av den senaste istiden för omkring 16 500 år sedan på de platser där isen började dra sig tillbaka, dess utbredning expanderade sedan under Holocen (FAO, 2014). Denna typ av torvbildning som sker på en landyta som nyligen blivit torrlagd på grund av landhöjning, med ett minerogent underlag där växtlighet inte etablerat sig och inte haft ett förstadium som sjö, kallas primär torvmarksinitiering (Schoning, 2014). Då olika områden i Sverige lyfts upp över havsnivån vid olika tidpunkter har det resulterat i att det finns både relativt ny och relativt gammal torvmark i Sverige. Enligt Schoning (2014) finns det en anledning till att torvmarkernas egenskaper skiljer sig åt. Han menar att hastigheten av kolackumulation varierar från att inledningsvis vara långsam men att hastigheten sedan snabbt accelererar och blir vid en ålder av runt 700-1500 år som högst, för att sedan bli långsammare (Schoning, 2014).

1.3.2. Vattenhalten och temperaturens påverkan på torv

Torvens kolbalans påverkas av den mikrobiella nedbrytningens hastighet och produktionen av organiskt material från växter, vilket i sin tur påverkas av hydrologi och temperatur (Samson m.fl., 2018). Koldioxidutsläpp ökar om temperaturen höjs samt om vattennivån i marken sänks medan metanutsläpp är mer komplexa eftersom att de är en funktion av både produktionen och konsumtionen av metan i torven (Moore & Dalva, 1997), men generellt gäller att metanutsläppen ökar vid varmare temperaturer men minskar då vattennivån sänks (Moore & Dalva, 1993). Lustgas kan bildas i stora mängder om dikning eller uppodling sker utav näringsrika våtmarker då lagrat kväve frigörs (Naturvårdsverket, 2016).

1.3.3. Människans påverkan på torv

1.3.3.1. Klimatförändringar

De pågående klimatförändringarna bidrar till en allt högre global medeltemperatur och det blir allt vanligare med extrema väderevent. Värmeböljor och torka är de typer

av extremer som förväntas påverka torvens kolbalans genom en sänkt vattennivå i torvmarker så att mer växthusgaser släpps ut (Bragazza m.fl., 2016). Detta kan göra torvmarker till en utsläppskälla och bidra till en positiv återkopplingseffekt i klimatsystemet (Samson m.fl., 2018).

1.3.3.2. Skogsbruk och jordbruk

Miljö- och klimatkonsekvenser av skogsbruk och jordbruk är många och hotar såväl de lokala ekosystemen som det globala klimatsystemet. När trakthyggesbruk blev dominerande inom skogsindustrin i Sverige på 1900-talet dikades stora arealer våtmarker för att ge plats åt den växande skogsindustrin (Bernes & Lundgren, 2009). Behovet av odlingsbar mark växte också i takt med att befolkningen ökade och i mitten av 1800-talet beviljade riksdagen lån och stöd till dikning av myrmarker för att främja jordbruket (Runefeldt, 2010). Dikning har reglerats sedan 1200-talet och idag tillämpas flera olika lagar, så som: Miljöbalken (1998:808), lag (1998:8112) med särskilda bestämmelser om vattenverksamhet, lag (1973:1150) om förvaltning av samfälligheter och förordning (1998:1388) om vattenverksamhet (Jordbruksverket, 2014). Enligt Lindgren & Lundblads (2014) rapportering har dikad skogsmark i Sverige en total årlig avgång på 5,9 miljoner ton CO_{2-ekv} och en genomsnittlig årlig EF på 6,7 ton CO_{2-ekv}/ha. Dikad jordbruksmark har en högre årlig EF på 30,3 ton CO_{2-ekv}/ha för åkermark och 11,4 ton CO_{2-ekv}/ha för naturbetesmark, och en total avgång på 4,4 miljoner ton CO_{2-ekv} för åkermark och 0,3 miljoner ton CO_{2-ekv} för naturbetesmark (Lundblad & Lindgren, 2014).

1.3.3.3. Torvbrytning

Redan i början av 1900-talet började Sverige bryta torv till bränsleanvändning då tillgången var stor och man var samtidigt till stor del beroende av import av stenkol och oroad över ökade kolpriser (Bernes & Lundgren, 2009). Vid en torvtäkt dikas och dräneras våtmarker som innehåller torv på vatten, torven bryts sedan på våren och sommaren under torra, gynnsamma väderförhållanden (Statistiska centralbyrån, 2019). Torv räknas enligt FN:s klimatkonvention till ett fossilt bränsle, liksom stenkol, men är bara hälften så energieffektivt. Torvindustrin har därför inte visat sig ekonomiskt hållbar, men fick under världskriget ett uppsving i och med sämre

ekonomiska förhållanden (Bernes & Lundgren, 2009). Än idag bryts torv i Sverige, men i liten utsträckning. År 2017 producerades 1,1 miljoner kubikmeter energitorv på 63 våtmarker, vilket var det lägsta sedan 1998, för att året efter öka med 72% på grund av gynnsamma väderförhållanden och brist på biobränslen (Sveriges geologiska undersökning, 2018, Statistiska centralbyrån, 2019). Lika stor volym torv bryts för användning av odlingstorv, där Sverige är en viktig producent i Europa (Sveriges geologiska undersökning, 2019). Energitorv används framförallt som bränsle vid fjärrvärmeanläggningar tillsammans med biobränslen, och stod 2017 endast för 0,2% av Sveriges totala energiproduktion. De inhemska utsläppen 2014 uppgick till 215 000 ton CO_{2-ekv} (Naturvårdsverket, 2016). Enligt WL GLs senaste uppdatering av emissionsfaktorer beräknades årliga koldioxidutsläpp från dikad mark för torvbrytning i Sverige till 2,8 ton/ha, vilket ger ett totalt årligt utsläpp på 92 100 ton CO₂ (Lindgren & Lundblad, 2014). Lustgasutsläpp från dessa marker är små och inte signifikanta enligt WL GL och Sverige har hittills inte inkluderat det i sin rapportering till UNFCCC. Inte heller har utsläpp av metan från dessa marker rapporterats, men uppskattas enligt WL GL årligen till 6,1 kg CH₄/ha, vilket i Sverige skulle motsvara ett årligt utsläpp på 7 300 ton CO_{2-ekv} från torvtäktområden (Lindgren & Lundblad, 2014). Det är Miljöbalken som reglerar tillstånden för torvbrytning, och sedan 2017 gäller samma regler för både energi- och odlingstorv, där det endast är tillåtet att bryta torv i områden med lågt naturvärde som dikade marker med redan höga utsläpp (Sveriges geologiska undersökning, 2017). På så sätt påverkar inte dräneringen utsläppen i samma grad, då marken redan är påverkad av dikning (Naturvårdsverket, 2016). Efter avslutad torvtäkt planteras oftast skogsmark eller så återgår marken till våtmark genom återvätning (Sveriges geologiska undersökning, 2019). Idag subventioneras torv för energiändamål och ingår som ett stödberättigat bränsle i elcertifikatsystemet trots att det går att jämföra med fossila bränslen. Naturvårdsverket konkluderar i sin redovisning att torvanvändandets klimatpåverkan, som måste vägas in, inte kan kompenseras hur än torvtäkter bedrivs (Naturvårdsverket, 2016).

1.3.3.4. Restaurering

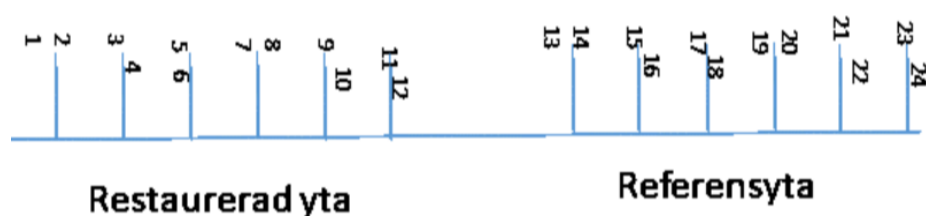
Naturvårdsverket (2016) har på uppdrag av regeringen analyserat och redovisat den svenska torvbrytningens miljö- och klimatpåverkan för att se hur den förhåller sig till Sveriges miljö kvalitetsmål *Begränsad klimatpåverkan* och *Myllrande våtmarker*. Enligt redovisningen rekommenderas i första hand att ny torvtäkt ska anläggas på redan dränerad, näringsrik torvmark utan skog med plantering av skog som efterbehandlingsmetod om all torv brutits bort. Om det istället finns torv kvar i torvtäkten så är det mer effektivt att stoppa utsläppen genom att bilda en sjö, vilket stoppar nedbrytningen av kolet och växthusgasutsläppen blir då nära noll vid sjöytan men längst de grundare sjökanterna kan nedbrytning fortsatt ske och resultera i utsläpp främst i form av metan. Vidare menar Naturvårdsverket (2016) att utsläppen kan minskas från en torvtäkt med återstående torv genom att den återväs till en våtmark så att torvbildning återigen kan ske. Vid återvätning är det viktigt att först se över torvtäkten, om det är stor ojämnheter efter torvbrytningen bör torvtäkten först jämnas ut och plattas till innan grundvattennivån höjs. När efterarbetet av en torvtäkt sker genom återvätning eller anläggning av sjö är det viktigt att det sker snabbt om torvtäkten fortsatt innehåller torv, för ju längre tid som torven ligger öppen desto mer växthusgaser hinner släppas ut genom den mikrobiella nedbrytningen (Naturvårdsverket, 2016). Återvätning påverkar således utsläppens flöde där koldioxid förväntas minska, metan och löst organisk kol (DOC) att öka och lustgas att reduceras till noll utsläpp (Lundblad & Lindgren, 2014). I WL GL antas återvätning av dränerad organogen mark kunna leda till ett upptag av koldioxid, där den återvätta marken till en början förväntas fungera som en kolkälla för att efter några år till årtionden börja lagra in kol och fungera som kolsänka (Hiraishi m.fl., 2014). För metan förväntas enligt IPCC en motsatt utveckling, där utsläppen istället ökar med tiden efter återvätning (Hiraishi m.fl., 2014). De emissionsfaktorer som redovisas för återvätt organogen mark i WL GL baseras dels på utsläpp från återvätt organogen mark men kompletteras också med uppgifter om utsläpp från naturliga, odränerade torvmarker. Anledningen till det är att mer data finns tillgänglig från sådan mark och de antas bete sig likvärdigt. Siffrorna som redovisas varierar med klimat och näringshalt i jorden där koldioxidutsläpp från näringsfattig boreal mark har en årlig EF på -0,34 ton CO₂-C/ha och näringsrik boreal mark -0,55 ton CO₂-C/ha (negativ EF betyder att det är ett upptag av gasen). Årlig EF för tempererad mark är inte

signifikant skilt från 0 men uppskattas till -0,23 ton CO₂-C/ha för näringsfattig mark och 0,5 ton CO₂-C/ha för näringsrik mark. Metanutsläpp från boreal mark har en årlig EF på 41 kg CH₄-C/ha för näringsfattig respektive 137 kg CH₄-C/ha för näringsrik mark och från tempererad mark en årlig EF på 92 kg CH₄-C/ha för näringsfattig respektive 216 kg CH₄-C/ha för näringsrik mark (Hiraishi m.fl., 2014). Rapportering av utsläpp från restaurerade våtmarker har inte inkluderats i Sveriges klimatrapporering till UNFCCC, så i Lundblad & Lindgrens (2014) utredning av svenska utsläpp från dränerad organogen mark används data från Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (SMHI) och Sveriges geologiska undersökning (SGU) för att undersöka utbredningen. Arealen av återvätt organogen jord beräknades till 1 300 ha sedan 1990, men anses osäker då detaljerad data över jordmån saknas och restaurering efter till exempel torvtäkt inte inkluderas (Lundblad & Lindgren, 2014).

2. Metod

2.1. Fältarbete

Data över växthusgasutsläppen kommer från mätningar som genomfördes på Anderstorps Stormosse den 2020-04-07 av forskare Åsa Kasimir och fälttekniker David Allbrand. Ramar placerades vid varje mätplats ett dygn innan och trycktes ned cirka 40 cm i torven och rötter från växtlighet fick sågas bort för att göra det möjligt (Bild 2). Det var 12 mätplatser, numrerade 1-12, på den restaurerade ytan och 12 mätplatser, numrerade 13-24, på den orörda referensytan (Figur 1). Halten koldioxid och metan mättes i kamrar som placerades på ramarna med en portabel LosGatos Ultra Greenhouse Gas Analyser (UGGA), där instrumentet samlade in data över gasernas koncentration (ppm) var femte sekund under ungefär tre minuter (Bild 3). Mätningar gjordes både med transparent kammare och mörklägd kammare vid varje mätplats för att räkna ut flödet av gaserna. I transparenta kammare visas netto-C då både respiration från växternas rötter och från nedbrytningsprocessen samt fotosyntes från växterna mäts, medan det i den mörklägda kammaren endast är respirationen som kvarstår. Detta genererade totalt 48 mätperioder av koncentrationen av koldioxid och metan, då två mätningar gjordes vid varje mätplats. Vid de 24 olika mätplatserna är de ramor med jämna nummer (förutom 22 och 23 som förväxlades) förlagda på ljungtuvor där marken är torrare, medan ramor med udda nummer placerades där marken var blötare och växtligheten varierande mellan halvgräs, mossa och utan någon vegetation alls. Enligt fältarbetarnas observation verkade den restaurerade ytan torrare än referensytan.



Figur 1. Översikt över ramarnas placering vid spängerna.



Bild 2. Ramen nedtryckt i torven. Varje mätpunkt har en ram som kamrarna placeras på vid mätning.
Foto: Åsa Kasimir.



Bild 3. Fältmätning med transparent kammare, UGGAn ses till vänster i bild. Foto: Åsa Kasimir.

2.2. Trendanalys

Utsläppsvärdena (ppm) för metan och koldioxid från mätningarna plottades i MATLAB mot tiden och regressionsanalyser genomfördes för att beräkna utsläppshastigheten (ppm/s). Resultaten exporterades till Excel, där de trender som var signifikanta på en 95% nivå användes för att beräkna medelvärden för vardera yta och för de olika kammartyperna (mörklagd och transparent) samt de olika vegetationstyperna (torr och blöt). Resultaten sammanställdes i tabeller för vardera gas och typ av kammare. De trender som inte var signifikanta på en 95% nivå rödmarkerades och tolkades som noll-utsläpp.

Avvikelser hittades i graferna för metan och identifierades i MATLAB till kammare 13 för både mörklagd och transparent kammare och användes därför inte i regressionsanalysen. Data från UGGAn som plottades i MATLAB visade störningar i början av mätperioden (Appendix 1, 2), därför uteslöts de första 40 sek i varje mätperiod (Appendix 3, 4) innan regressionsanalyserna genomfördes.

2.3. Omvandling till EF

Utsläppshastigheterna (ppm/s) användes för att beräkna mängden utsläpp i $\text{g/m}^2/\text{s}$ för vardera yta. Den allmänna gaslagen tillämpades enligt formeln;

$$pV = nRT$$

där p = tryck (Pa) = 101 kPa, V = volym (m^3) = 0,08 m^3 , R = gaskonstanten = 8,31 J $\text{mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ och T = absoluta temperaturen (K) = 257,85 K, för att få ut n = substansmängd (mol). Substansmängden multiplicerades med utsläppshastigheterna för att få ut mol/s, vilket multiplicerades med molvikten för vardera gas. Värdena dividerades med kammarens area för att få ut vikten gas per kvadratmeter och sekund ($\text{g/m}^2/\text{s}$) som slutligen omvandlades till EF (ton/ha/år) för att göras jämförbara med litteraturstudiens EF värden. Värdena för metan räknades om till koldioxidekvivalenter enligt omräkningsfaktor 25 Global Warming Potential (GWP) (Forster m.fl., 2007).

Resultaten presenterades i stapeldiagram där både transparent och mörklagd kammare för metan visar nettot mellan upptag och utsläpp. För koldioxid visar transparent kammare nettot mellan upptag och utsläpp, medan mörklagd kammare för koldioxid

endast visar utsläpp. Fotosyntesen presenterades också genom att beräkna skillnaden mellan utsläppsmängderna från transparent kammare och mörklad kammare.

3. Resultat

3.1. Trendanalys

Majoriteten av trenderna var signifikanta på en 95% nivå, med undantag för mätningarna av metan i mörklagd kammare där hälften av trenderna var icke-signifikanta vilket indikerar ett noll-utsläpp (Tabell 1-4).

3.1.1. Koldioxid

Mätningarna av koldioxid i transparent kammare gav liknande resultat för både den restaurerade ytan och referensytan, med ett högre upptag av koldioxid vid den torrare vegetationen där den restaurerade ytan hade det högsta upptaget av samtliga ytor (Tabell 1). Den blötare vegetationen på den restaurerade ytan skiljer sig dock med ett utsläpp istället för upptag (Tabell 1). Resultatet från mätningar av koldioxid i mörklagd kammare visade även det liknande värden för båda ytorna, i referensytan var utsläppet något högre vid den torrare vegetationen och det var denna vegetationstyp som släppte ut mest koldioxid (Tabell 2).

Tabell 1. Utsläppsstatistik av koldioxid i transparent kammare. Röda markeringar visar icke-signifikanta (95% nivå) utsläppshastigheter.

Kammare	Yta	Vegetation	Utsläppshastighet (ppm/s)	Medelvärde (ppm/s)	Medelvärde (ppm/s)
1	Restaurerad	Varierande (halvgräs, mossa mm)	1,20E-02	5,27E-03	-4,69E-03
3			-1,26E-03		
5			3,64E-03		
7			4,86E-03		
9			-3,46E-03		
11			9,30E-03		
2		Ljung	-3,09E-02	-1,30E-02	
4			3,77E-03		
6			-1,66E-02		
8			-2,42E-02		
10			-1,74E-02		
12			7,33E-03		
13	Referens	Varierande (halvgräs, mossa mm)	-8,34E-03	-1,63E-03	-4,56E-03
15			-5,79E-03		
17			-6,37E-03		
19			-3,00E-03		
21			1,81E-02		
22			-4,40E-03		
14		Ljung	-9,08E-03	-8,08E-03	
16			-9,90E-03		
18			-9,62E-03		
20			1,03E-03		
23	-7,78E-03				
24	-4,00E-03				

Tabell 2. Utsläppsstatistik av koldioxid i mörklagd kammare.

Kammare	Yta	Vegetation	Utsläppshastighet (ppm/s)	Medelvärde (ppm/s)	Medelvärde (ppm/s)
1	Restaurerad	Varierande (halvgräs, mossa mm)	7,57E-03	1,11E-02	1,16E-02
3			1,27E-02		
5			1,18E-02		
7			1,09E-02		
9			1,50E-02		
11			8,81E-03		
2		Ljung	5,71E-03	1,20E-02	
4			1,60E-02		
6			1,93E-02		
8			8,99E-03		
10			1,01E-02		
12			1,20E-02		
13	Referens	Varierande (halvgräs, mossa mm)	8,62E-03	1,13E-02	1,71E-02
15			1,19E-02		
17			-2,64E-03		
19			1,87E-02		
21			2,78E-02		
22		3,34E-03			
14		Ljung	2,61E-02	2,30E-02	
16			2,68E-02		
18			2,65E-02		
20			2,49E-02		
23	8,73E-03				
24	2,47E-02				

3.1.2. Metan

Mätningarna av metan i transparent kammare visade ett upptag av metan på den restaurerade ytan medan referensytan hade ett utsläpp av metan (Tabell 3). Resultaten från den mörklagda kammaren visade att hälften av mätvärdena inte var signifikanta. Medelvärden av de resterande värden som användes i regressionsanalysen visar ett litet utsläpp av metan för de båda ytorna (Tabell 4).

Tabell 3. Utsläppsstatistik av metan i transparent kammare. Röda markeringar visar icke-signifikanta (95% nivå) utsläppshastigheter.

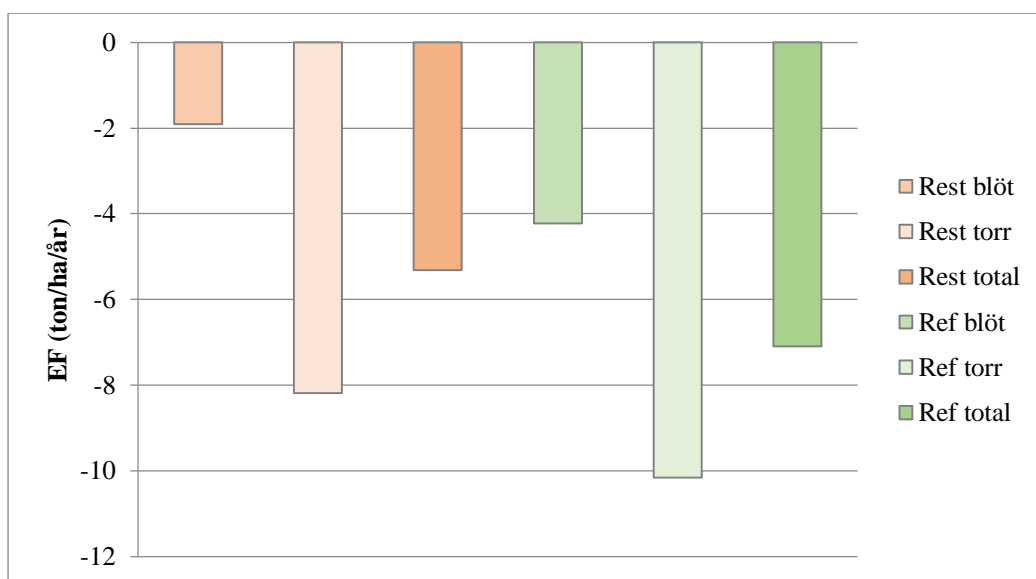
Kammare	Yta	Vegetation	Utsläppshastighet (ppm/s)	Medelvärde (ppm/s)	Medelvärde (ppm/s)
1	Restaurerad	Varierande (halvgräs, mossa mm)	-8,85E-06	-1,06E-05	-9,87E-06
3			-1,21E-05		
5			-2,26E-05		
7			-1,56E-05		
9			2,21E-05		
11			-2,67E-05		
2		Ljung	7,16E-05	-8,96E-06	
4			-2,65E-05		
6			-5,53E-06		
8			-1,99E-05		
10			-4,19E-05		
12			-2,82E-05		
13	Referens	Varierande (halvgräs, mossa mm)	Ingen data	2,94E-05	1,84E-05
15			-5,03E-06		
17			2,17E-05		
19			3,00E-05		
21			3,65E-05		
22			-1,17E-07		
14		Ljung	-5,20E-06	1,29E-05	
16			3,20E-05		
18			-2,83E-05		
20			2,47E-05		
23			-2,13E-05		
24			7,57E-05		

Tabell 4. Utsläppsstatistik av metan i mörklad kammare. Röda markeringar visar icke-signifikanta (95% nivå) utsläppshastigheter.

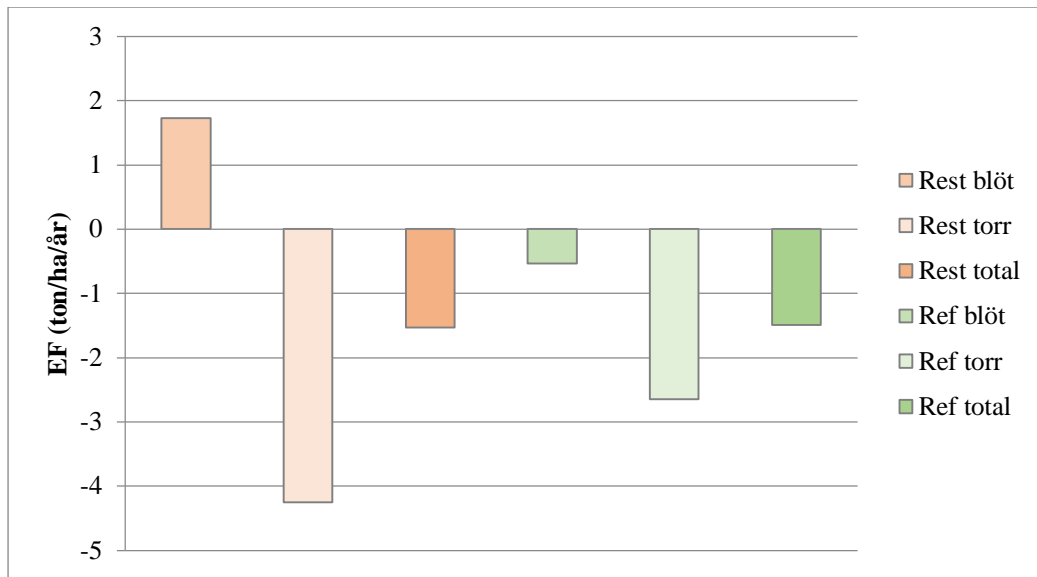
Kammare	Yta	Vegetation	Utsläppshastighet (ppm/s)	Medelvärde (ppm/s)	Medelvärde (ppm/s)
1	Restaurerad	Varierande (halvgräs, mossa mm)	-2,75E-05	-9,27E-06	5,20E-06
3			-1,65E-06		
5			9,01E-06		
7			-3,22E-06		
9			-9,35E-06		
11			2,92E-06		
2		Ljung	5,97E-05	2,69E-05	
4			-5,83E-06		
6			1,52E-06		
8			-6,93E-06		
10			4,74E-06		
12			2,50E-06		
13	Referens	Varierande (halvgräs, mossa mm)	Ingen data	2,68E-05	2,51E-05
15			-6,91E-06		
17			3,59E-07		
19			4,64E-05		
21			4,10E-05		
22			-7,34E-08		
14		Ljung	7,12E-06	2,38E-05	
16			-6,85E-08		
18			-1,69E-05		
20			2,00E-05		
23			-1,62E-06		
24			8,49E-05		

3.2. Emissionsfaktorer (EF)

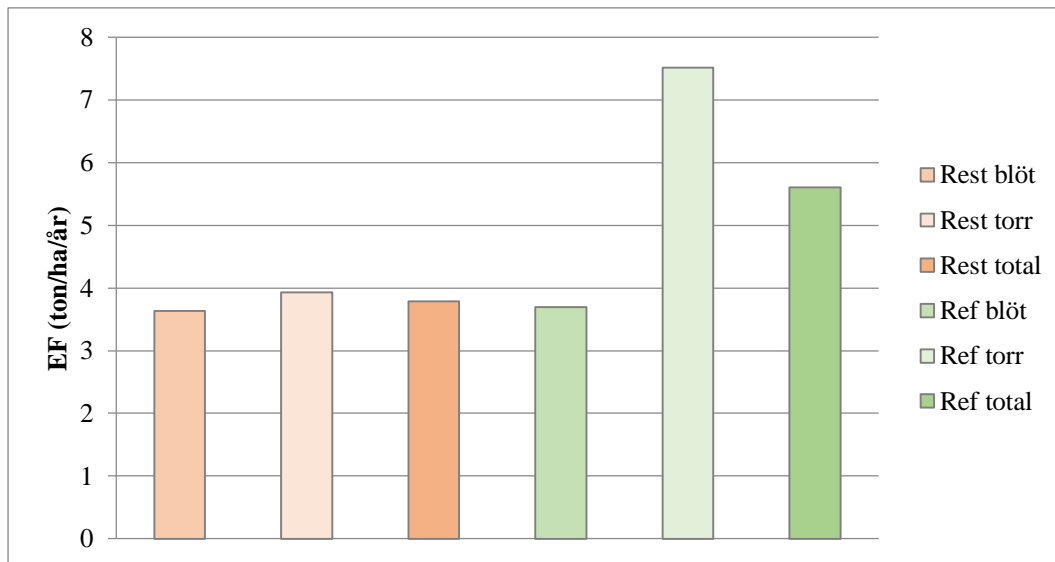
Beräkningen av fotosyntes visar att koldioxidupptaget är störst vid torrare vegetation både på den restaurerade ytan och referensytan (Figur 2). Netto-flödet för koldioxid hade en lägsta EF på -4,25 ton CO₂/ha/år och en högsta EF på 1,72 ton CO₂/ha/år (Figur 3) medan netto-flödet för metan hade en lägsta EF på -0,03 ton CO_{2-ekv}/ha/år och en högsta EF på 0,09 ton CO_{2-ekv}/ha/år (Figur 5, 6). Respirationen som ses i mörklagd kammare för koldioxid visade en högsta EF på 7,52 ton CO₂/ha/år vid torrare vegetation på referensytan (Figur 4).



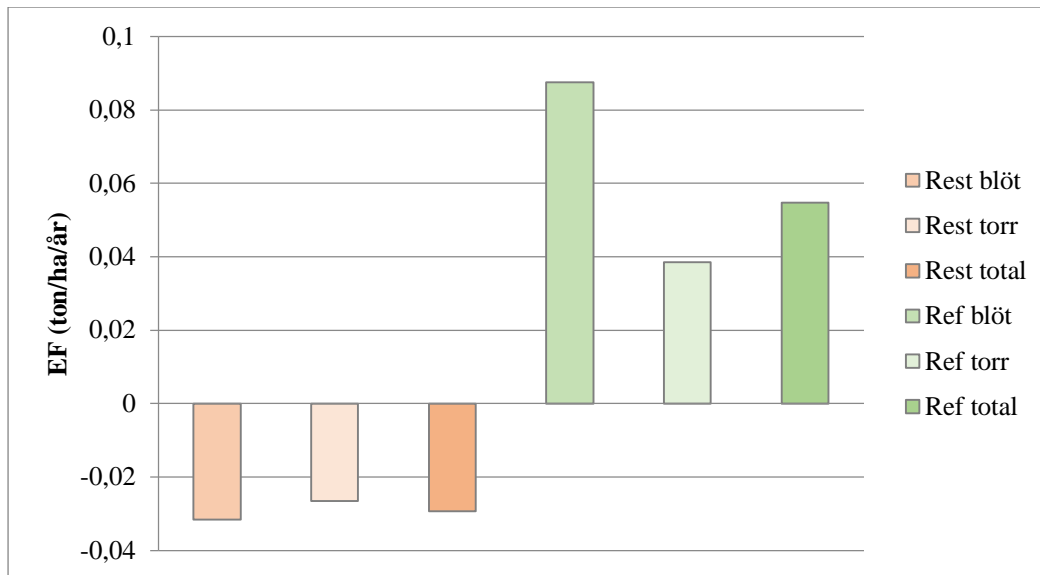
Figur 2. Jämförelse av upptag genom fotosyntes mellan de olika ytorna och vegetationstyperna.



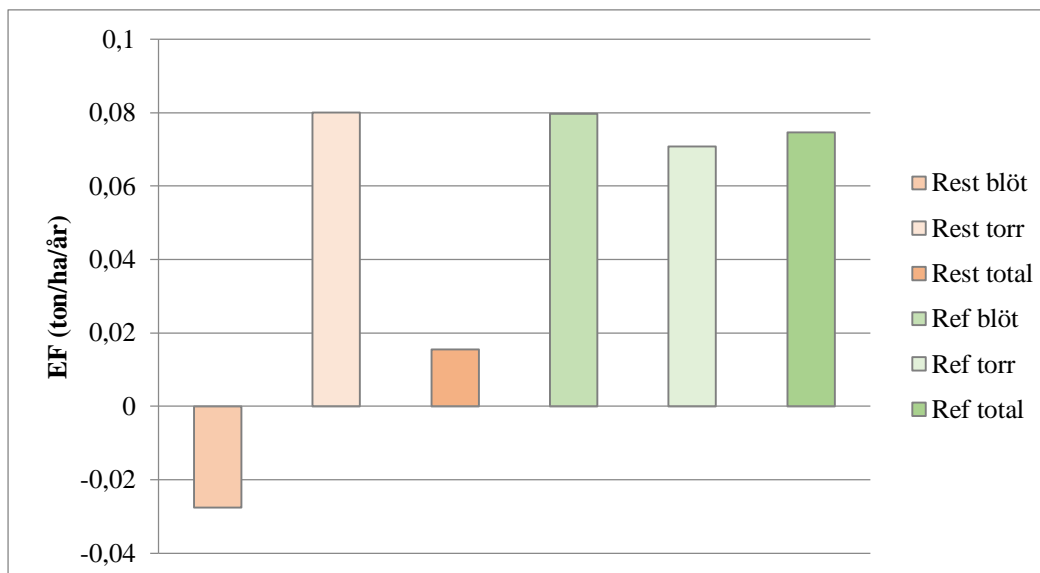
Figur 3. Jämförelse av netto-koldioxidutsläpp i transparent kammare mellan de olika ytorna och vegetationstyperna.



Figur 4. Jämförelse av koldioxidutsläpp i mörklagd kammare mellan de olika ytorna och vegetationstyperna.



Figur 5. Jämförelse av metanutsläpp uttryckt i koldioxidekvivalenter i transparent kammare mellan de olika ytorna och vegetationstyperna.



Figur 6. Jämförelse av metanutsläpp uttryckt i koldioxidekvivalenter i mörklagd kammare mellan de olika ytorna och vegetationstyperna.

4. Diskussion

4.1. Koldioxid

Resultatet av EF visar att den restaurerade ytan och referensytan verkar bete sig på liknande sätt. I de transparenta kamrarna sker totalt sett ett netto-upptag av koldioxid, där den torrare vegetationen har ett högre upptag (Figur 3). Det kan förklaras av vegetationstypen, där den torrare vegetationen består av framförallt ljung, där mer fotosyntes sker än i den blötare vegetationen med mindre växtlighet (Figur 2). Ett undantag ses i den blötare vegetation på den restaurerade ytan som istället har ett netto-utsläpp av koldioxid (Figur 3). Det kan förklaras av vegetationstypen som är fattigare på växtlighet och därmed sker inte fotosyntes i samma utsträckning (Figur 2). I de mörklagda kamrarna där ingen fotosyntes äger rum, sker endast respiration och därmed ett utsläpp av koldioxid (Figur 4). Den blötare vegetationens lägre utsläpp är förväntat då anaerob miljö hämmar aeroba mikroorganismers omvandling av organiskt material till koldioxid (Naturvårdsverket, 2016). I motsats visade den torrare vegetationen ett högre utsläpp vilket troligtvis kan förklaras av att den aeroba miljön främjar aeroba mikroorganismers nedbrytningen där organiskt material omvandlas till koldioxid.

Emissionsfaktorer för återvätt torvmark och naturlig torvmark skiljer sig inte åt i rapporteringen av IPCC då de antas bete sig liknande gällande växthusgasutsläpp (Lindgren & Lundblad, 2014). Detta är något som stöds av resultatet från den första mätningen av Anderstorps Stormosse, där koldioxidutsläpp från de båda ytorna liknar varandra (Figur 3, 4). Av de emissionsfaktorer som presenteras av IPCC har boreala områden en EF på -1,25 ton CO₂/ha/år och tempererade områden en EF på -0,84 ton CO₂/ha/år (inte signifikant skilt från 0), vilket är lägre än netto-upptagen som visades i resultaten från koldioxidutsläppen från mätningar i transparent kammare (Figur 3). Skillnaden kan dels bero på att resultatet från det här arbetet bara baseras på ett mättillfälle och att beräkningar av EF ska ge en årlig bild av utsläppen vilket i det här fallet inte inkluderar andra årstider där gasflödet beter sig annorlunda (Larsen m.fl., 2007). Den här mätningen visar att den restaurerade ytan numer liknar den orörda referensytan med ett upptag av koldioxid, och därmed fungerar som en kolsänka. Om framtida mätningar på Anderstorps Stormosse kommer ge samma resultat visar det på

vikten av åtgärder av dikade torvmarker för att minska koldioxidutsläppen. Dikade torvmarker är en stor utsläppskälla i Sverige och den här typ av studier visar vad det finns för potential att omvandla stora utsläppskällor till utsläppssänkor.

4.2. Metan

Analysen av utsläppshastigheter från metan visar att många värden är nära noll, och mätningarna från mörklagd kammare visade att endast hälften av alla utsläppshastigheter var signifikanta (Tabell 4). Icke-signifikanta utsläppshastigheter tyder på att det varken domineras av utsläpp eller upptag av metan, utan att det råder ett noll-utsläpp. I de transparenta kamrarna var fler resultat signifikanta och visade en viss skillnad mellan den restaurerade ytan och referensytan, där den restaurerade ytan har ett upptag av metan och referensytan släpper ut metan (Figur 5). Upptaget av metan i den restaurerade ytan kan bero på oxidation av metan till koldioxid genom metanotrofa mikroorganismer vid tillgång på syre (Kasimir-Klemedtsson et. al, 2000). Utsläppet av metan från referensytan kan förklaras med att referensytan generellt verkade blötare enligt observationer vid mättillfället, vilket gynnar anaeroba nedbrytningsprocesser och därmed utsläpp av metan, vilket även gäller inom referensytan där mätvärdena från den blötare vegetationen visar på ett större metanutsläpp (Figur 5). Ytterligare en förklaring till att ytorna beter sig olika kan bero på att utsläpp av metan tros öka med tiden efter restaurering (Hiraishi m.fl., 2014). Resultaten av metanutsläpp är svåra att tolka då det är oklart om det finns brister i datakvalitén eller om det faktiskt visar en representativ bild av ett noll-utsläpp av metan. Det kan antas att medelvärden av utsläppshastigheterna egentligen är närmare noll, då de icke-signifikanta resultaten som indikerar ett noll-utsläpp inte var med i beräkningen. Dock skulle en beräkning som inkluderar de icke-signifikanta värdena och reducerar dem till noll i analysen antagligen ge ett medelvärde för nära noll. Därför kan det diskuteras vilken metod som representerar det faktiska gasflödet bäst.

Enligt litteraturstudien har Sveriges metanutsläpp en EF på 0,15 ton CO_{2-ekv}/ha/år för dikad torvmark vid torvtäkt, och en EF på 1,37 ton CO_{2-ekv}/ha/år för restaurerad mark i boreala områden och en EF på 3,07 ton CO_{2-ekv}/ha/år för restaurerad mark i tempererade områden (Lindgren & Lundblad, 2014). Resultaten från det här arbetet indikerar ett noll-utsläpp av metan och visar därmed lägre utsläpp jämfört med alla

redovisade EF från IPCC, även lägre än utsläppen från dikade torvmarker för torvtäkt (Figur 5, 6). Det här skiljer sig från teorin som säger att metanutsläpp förväntas öka efter återvätning (Hiraishi m.fl., 2014; Naturvårdsverket, 2016; Lindgren & Lundblad, 2014), men är ändå inte förvånande då metanutsläpp varierar mycket lokalt mellan olika våtmarker enligt Å. Kasimir (personlig kommunikation, 29 april 2020). Även här kan framtida mätningar av Anderstorps Stormosse bidra till en större förståelse och bild av hur utsläpp av metan påverkas av återvätning av dikad torvmark och därmed kunna utvärdera den totala effekten av växthusgasutsläpp vid restaurering. Vad resultaten från den här mätningen indikerar på är att koldioxidflödet är större än metanflödet och därmed påverkar klimatsystemet i högre grad.

4.3. Restaurering

Enligt arbetets litteraturstudie gällande olika restaureringsåtgärder så bör återvätning till våtmark varit gynnsam för den typ av dikad torvmark som Anderstorps Stormosse var, då den efter torvbrytning fortsatt innehöll torv (Naturvårdsverket, 2016). Inga uppgifter finns tillgängliga över hur utsläppsflödet såg ut på Anderstorps Stormosse innan återvätning när torvmarken var dikad för torvtäkt. Enligt litteraturstudien har dikad torvmark för torvtäkt i Sverige en EF på 10,27 ton CO₂/ha/år vilket kan jämföras med de betydligt lägre värdena som genererades vid denna mätning (Figur 3) (Hiraishi m.fl., 2014). Det kan således antas att den restaurerade ytan idag släpper ut mycket mindre koldioxid än när torvtäkt bedrevs.

Sverige har som alla andra nationer skrivit på Paris-avtalet med målet om att begränsa den globala uppvärmningen till 2°C och förhoppningsvis 1,5°C. IPCC (2018) menar att det inte bara krävs en inbromsning till ett noll-utsläpp av växthusgaser för att uppnå 1,5°C målet utan även negativa utsläpp av koldioxid, vilket innefattar upptag och lagring av koldioxid från atmosfären bland annat genom teknisk utveckling, återbeskogning och landrestaurering. Enligt Naturvårdsverket och FN:s klimatkonvention likställs torv som energiresurs med fossila bränslen, trots det bryts idag torv i Sverige och stora arealer torvmark står dikade för jord- och skogsbruk (Bernes & Lundgren, 2009; Statistiska centralbyrån, 2019). Samtidigt har restaureringsåtgärder av dikade torvmarker visat ge effekt på växthusgasflödet genom ett upptag av koldioxid (Naturvårdsverket, 2016), vilket även kan ses i resultatet från

mätningen på Anderstorps Stormosse. Det borde därför vara förenligt med Parisavtalet att förbjuda torvtäkt samt påbörja restaurering av dikade torvmarker för att återigen göra torvmarker till en kolsänka istället för en kolkälla.

4.4. Felkällor och framtida studier

Den ursprungliga planen var att göra tre mätningar per dag under fem dagar. Men på grund av Corona-pandemin var studenter vid Göteborgs Universitet inte tillåtna att utföra fältarbete. Fältarbetet utförades istället av handledare Åsa Kasimir tillsammans med fälttekniker David Allbrand och genererade endast data från ett mättillfälle. Det resulterade i att den här studien endast representerar ett tillvägagångssätt i hur denna typ av data mäts, analyseras och tolkas. För att få bättre evidens av resultaten krävs mer data under längre perioder och under olika väderförhållanden. Projektet VIRV kommer studera flödet av växthusgaser på Anderstorps Stormosse under flera år och kommer därmed ge en klarare bild av hur ytorna beter sig. Det hade varit intressant att komplettera studiens data med mätningar utav en dikad torvmark för att ännu tydligare kunna påvisa hur restaureringar av dikade torvmarker kan minska klimatpåverkan.

5. Slutsats

Jämförelsen av den restaurerade ytan och den orörda referensytan visar att de beter sig liknande när det gäller utsläpp och upptag av koldioxid, medan istället skillnaden i flödet av koldioxid i mätningarna verkar bero på vegetationstypen. Därmed har restaureringsåtgärden genom återvätning gett bra resultat där den liknar den naturliga mossen och har låg mikrobiell nedbrytning av organiskt material. Det är svårare att dra någon slutsats gällande metanutsläpp då det behövs mer tillförlitlig data, men våra mätningar indikerar dock på ett noll-utsläpp. Koldioxidflödet är större än metanflödet enligt den här studiens resultat, men mer data krävs i framtiden för att se hur växthusgasflödet ser ut på Anderstorps Stormosse. Litteraturstudien visar på vikten av restaurering av dikade torvmarker och ett stopp av torvbrytning för att arbeta i riktning mot Paris-avtalet.

6. Referenslista

Bernes, C. & Lundgren, J. L. (2009). *Bruk och missbruk av skogens resurser: en svensk miljöhistoria*. Värnamo: Fälth & Hässler.

Bragazza, L., Buttler, A., Robroek, B. J., Albrecht, R., Zaccone, C., Jassey, V. E., & Signarbieux, C. (2016). Persistent high temperature and low precipitation reduce peat carbon accumulation. *Global Change Biology*, 22(12), 4114-4123.
<https://doi.org/10.1111/gcb.13319>

FAO; Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2014). Towards climate-responsible peatlands management. *Mitigation of climate change in agriculture series 9*.

Forster, P., V. Ramaswamy, P. Artaxo, T. Berntsen, R. Betts, D.W. Fahey, J. Haywood, J. Lean, D.C. Lowe, G. Myhre, J. Nganga, R. Prinn, G. Raga, M. Schulz and R. Van Dorland (2007). *Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing*. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Franzén, L. G. (2006). Increased decomposition of subsurface peat in Swedish raised bogs: are temperate peatlands still net sinks of carbon. *Mires and Peat*, 1(03), 1-16.

Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M., & Troxler, T. G. (2014). 2013 supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Wetlands. *IPCC, Switzerland*.

IPCC. (2014)a. *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp

IPCC. (2014)b. *Summary for policy makers*. In: *Climate Change 2014 Synthesis report* [Pachauri, R. K., Gomez-Echeverri, L., & Riahi, K.]

IPCC. (2018). *Summary for Policymakers*. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press. 4-12

Joosten, H., & Clarke, D. (2002). Wise use of mires and peatlands. *International Mire Conservation Group and International Peat Society*, 304.

- Jordbruksverket. (2014). *Utsläpp av växthusgaser från torvmark*. Rapport 2014:24.
- Kasimir, Å., He, H., Coria, J., & Nordén, A. (2018). Land use of drained peatlands: Greenhouse gas fluxes, plant production, and economics. *Global change biology*, 24(8), 3302-3316. <https://doi.org/10.1111/gcb.13931>
- Kasimir-Klemedtsson, Å., Nilsson, M., Sundh, I., & Svensson, B. (2000). *Växthusgasflöden från myrar och organogena jordar*. Naturvårdsverket. Rapport, 5132.
- Kellner, E. (2003). *Wetlands-different types, their properties and functions (No. SKB-TR--04-08)*. Uppsala University, Dept of Earth Sciences/Hydrology, 3-11
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259-263.
- Larsen, K. S., Ibrom, A., Jonasson, S., Michelsen, A., & Beier, C. (2007). Significance of cold-season respiration and photosynthesis in a subarctic heath ecosystem in Northern Sweden. *Global Change Biology*, 13(7), 1498-1508.
- Lindgren, A., & Lundblad, M. (2014). *Towards new reporting of drained organic soils under the UNFCCC (No. 14)*.
- Länsstyrelsen i Jönköpings län (2006) *Värdefulla myrmarker i Jönköpings län*. Tillgänglig: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:880966/FULLTEXT01.pdf>
- Länsstyrelsen i Jönköpings län (2016) *Bevarandeplan för Natura 2000-område Anderstorp Store mosse*. Tillgänglig: <https://www.gislaved.se/download/18.3eef3cf91590a634dcc338e7/1485339612178/Anderstorp+Store+mosse+bevarandeplan.pdf>
- Moore, T. R., & Dalva, M. (1993). The influence of temperature and water table position on carbon dioxide and methane emissions from laboratory columns of peatland soils. *Journal of Soil Science*, 44(4), 651-664. <https://doi-org.ezproxy.ub.gu.se/10.1111/j.1365-2389.1993.tb02330.x>
- Moore, T. R., & Dalva, M. (1997). Methane and carbon dioxide exchange potentials of peat soils in aerobic and anaerobic laboratory incubations. *Soil Biology and Biochemistry*, 29(8), 1157-1164. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(97\)00037-0](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(97)00037-0)
- Naturvårdsverket. (2016). *Torvutvinningens och torvanvändningens klimat- och miljöpåverkan*. Skrivelse NV-06808-15.
- Paulsson, K. (2015) *Restaurering av en värdefull naturtyp - Myren - Erfarenheter från projektet Life to a(d)dmire* Länsstyrelsen i Jönköpings län. Tillgänglig: https://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=LIFETOADDMIRE_Broschyr_2015_SV.pdf

Runefelt, L. (2010). *Svensk mosskultur: odling, torvanvändning och landskapets förändring 1750–2000*. Stockholm: Kungl. skogs- och lantbruksakademien.

Samson, M., Słowińska, S., Słowiński, M., Lamentowicz, M., Barabach, J., Harenda, K., ... & Chojnicki, B. H. (2018). The impact of experimental temperature and water level manipulation on carbon dioxide release in a poor fen in northern Poland. *Wetlands*, 38(3), 551-563. <https://doi.org/10.1007/s13157-018-0999-4>

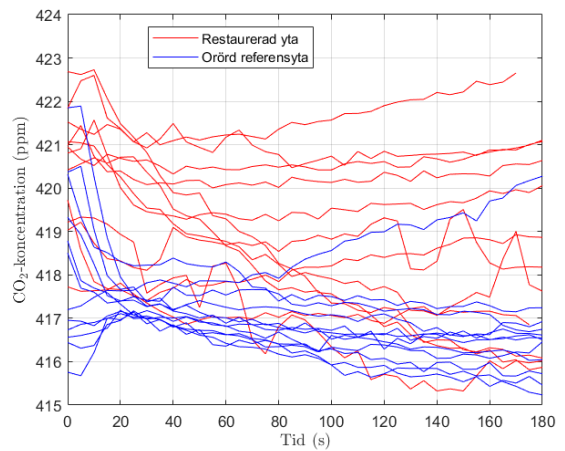
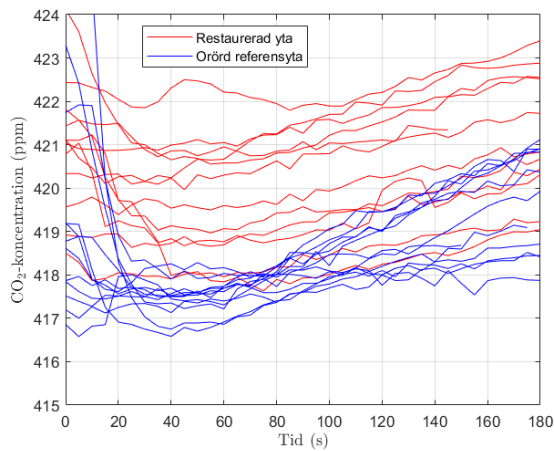
Schoning, K. (2014). *Torvtillväxt och kolackumulation hos unga torvmarker i Uppland*. Uppsala: Sveriges geologiska undersökning.

Sveriges geologiska undersökning. (2017). *Geologiska undersökningar och bedömning av hydrologisk påverkan vid ansökan om torvtäkt*. Uppsala: Sveriges geologiska undersökning.

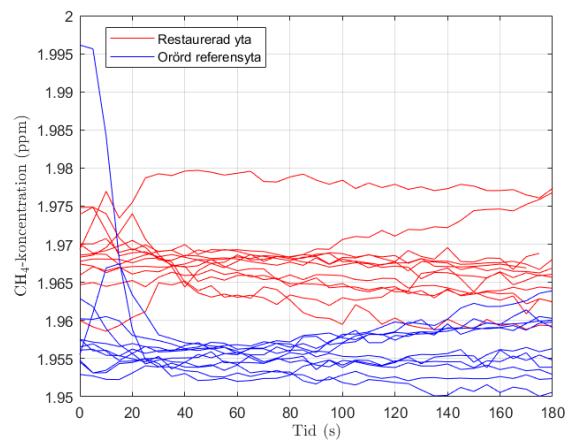
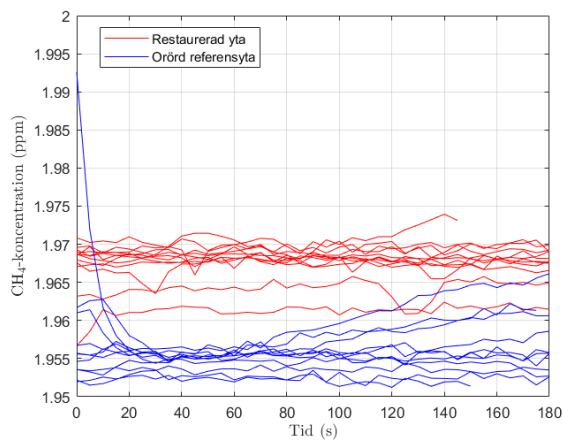
Sveriges geologiska undersökning. (2019). *Torvbruk*. Hämtad 2020-03-03 från <https://www.sgu.se/samhallsplanering/planering-och-markanvandning/markanvandning/torvbruk>

United Nations / Framework Convention on Climate Change. (2015) Adoption of the Paris Agreement, 21st Conference of the Parties, Paris: United Nations. Tillgänglig: <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>

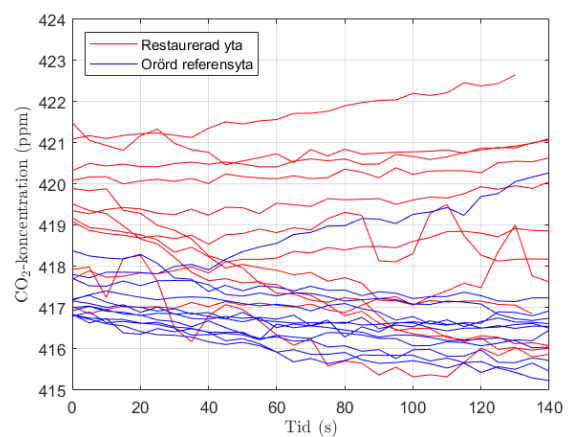
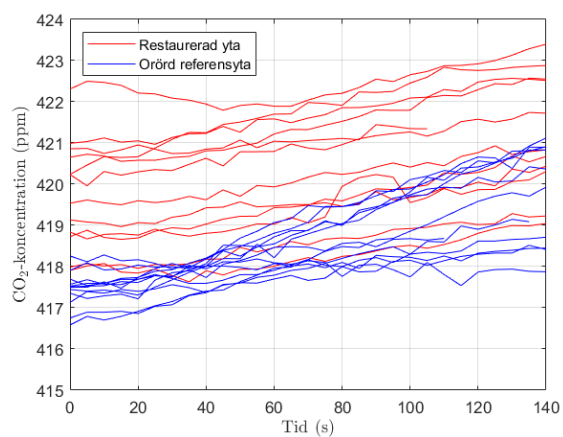
Appendix



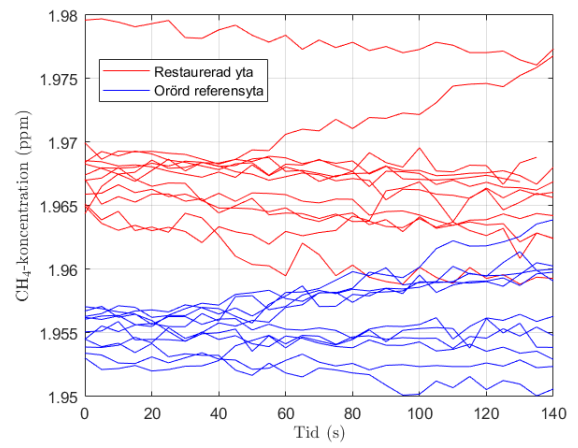
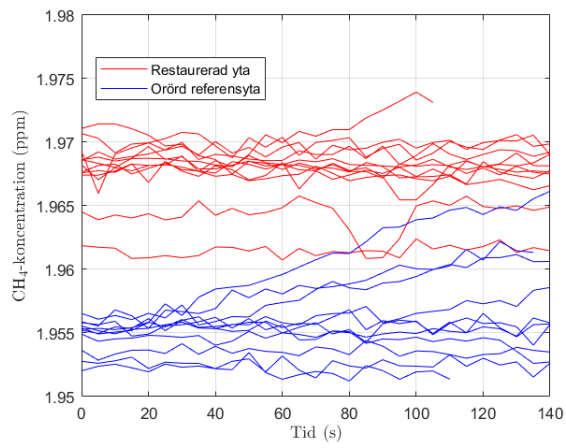
Appendix 1. Mätperioder av koldioxid i mörklagd kammare (tv) och transparent kammare (th).



Appendix 2. Mätperioder av metan i mörklagd kammare (tv) och transparent kammare (th).



Appendix 3. Mätperioder av koldioxid som användes vid regressionsanalyserna i mörklagd kammare (tv) och transparent kammare (th).



Appendix 4. Mätperioder av metan som användes vid regressionsanalyserna i mörklad kammare (tv) och transparent kammare (th).