

En våt klimatåtgärd

- möjligheter och konflikter med återvätning av dikade skogbeksädda torvmarker för att minska klimatpåverkan

MARIKA OLSSON 2020
MVEK02 EXAMENSARBETE FÖR KANDIDATEXAMEN 15 HP
MILJÖVETENSKAP | LUNDS UNIVERSITET



En våt klimatåtgärd

Möjligheter och konflikter med återvätning av dikade skogbeklädda torvmarker för att minska klimatpåverkan

Marika Olsson

2020



LUNDS
UNIVERSITET

Marika Olsson
MVEK02, Miljövetenskap: Examensarbete för kandidatexamen 15hp,
Lunds universitet
Intern handledare: Yann Clough, CEC, Lunds universitet
Extern handledare: Kristina Fontell och Linda Birkedal, Lunds kommun.
Madeleine Brask, Miljöbron Skåne

CEC - Centrum för miljö- och klimatforskning
Lunds universitet
Lund 2020

Abstract

Peatlands store substantial amounts of carbon. When drainage of these areas occurs in order to use for practices such as forestry, greenhouse gases (GHG) will be emitted which will enhance climate change. The aim of this study was to explore whether rewetting of drained forest covered peatlands can reduce its impact on climate and which conflicts with forestry this can lead to. As a case study, the potential for reducing GHG emissions by rewetting of forest covered peatlands in Lund municipality was assessed. Through a literature review, this study shows that rewetting of peatlands drained for forestry is a feasible measure for climate mitigation. However, to achieve a successful result the local conditions have to be considered, such as hydrology, vegetation and soil properties. Furthermore, if rewetting is implemented a conflict with forestry can emerge as the increased water table will reduce forest production if the tree species are not adapted to a wet environment. One solution presented in this study was the practice of cultivation on wet peatlands, paludiculture. In the case study, a mapping was conducted in ArcGIS to present areas of interest for rewetting within Lund municipality. The result indicates that GHG emissions would decrease with this measure. In conclusion, regarding rewetting it is essential to consider what the site is naturally most suitable for in order to optimize its ecosystem services. Rewetting is a climate mitigation action but as it may interfere with forestry, economic and social aspects should be considered to create a sustainable long-term plan.

Key words: *rewetting, peatland, forestry, climate mitigation, greenhouse gases.*

Innehållsförteckning

Abstract 5

Innehållsförteckning 7

1. Inledning 9

1.2. Syfte och frågeställning 10

1.3. Avgränsningar 11

1.4. Etisk reflektion 11

2. Bakgrund 13

2.1. Torvmarker och organogena jordar 13

2.2. Dränering av torvmarker i Sverige 13

3. Metod 15

3.1. Metod för litteraturstudie 15

3.2. Metod för kartläggning 17

4. Resultat 19

4.1. Växthusgasbalansen i torvmarker 19

4.1.1. Vattennivån 20

4.1.2. Näringsstatus 20

4.1.3. Vegetation 21

4.1.4. Klimat 21

4.2. Dikade skogbeklädda torvmarker 22

4.3. Återvätning 24

4.3.1. Utförande av återvätning 26

4.4. Markanvändningskonflikt 27

4.5. Odling på våtmark 28

4.6. Fallstudie: Lunds kommun 29

4.6.1. Kartläggning över torvmark och skogsmark 30

5. Diskussion 33

5.1. Kan återvätning av dikad skogbeklädd torvmark bidra till minskad klimatpåverkan? 33

5.2. Hur kan återvätning av dikad skogbeklädd torvmark skapa konflikt med skogsbruk? Kan en lösning vara odling på våtmark? 35

5.3. Vilken potential har återvätning av dikad skogbeklädd torvmark som biologisk kolsänka inom Lunds kommun? 37

5.4. Skogbeklädda torvmarker i relation till klimatförändringar och hållbar utveckling 40

Slutsats 43

Tack 45

Referenser 47

Bilaga 1 55

1.1. Emissionsfaktorer 55

1. Inledning

Den globala medeltemperaturen på vår planet stiger på grund av ökning av växthusgaser i atmosfären (IPCC, 2018). Denna ökning drivs av mänskliga aktiviteter som till exempel förbränning av fossila bränslen och skogsskövling (Al-Ghussain, 2019). Miljön förändras under en global uppvärmning med konsekvenser som extremväder, förhöjd havsnivå och utrotning av arter (IPCC, 2018). För att mildra katastrofala effekter på vårt samhälle behöver vi nå nettonollutsläpp av koldioxid vid år 2050 (IPCC, 2018). Världens länder försöker därmed minska sina växthusgasutsläpp och Sveriges regering har bland annat satt upp målet att uppnå nettonollutsläpp av växthusgaser år 2045 och därefter negativa nettoutsläpp (Regeringskansliet, 2017). En statlig offentlig utredning har genomförts för att skapa en strategi för att nå detta mål (Klimatpolitiska vägvalsutredningen, 2020).

Ett sätt att reducera mängden växthusgaser, som diskuteras i Sveriges klimatstrategi, är att utnyttja biologiska kolsänkor (Klimatpolitiska vägvalsutredningen, 2020). Biologiska kolsänkor är naturligt förekommande miljöer som extrahera växthusgaser från atmosfären (van Kooten, 2009; Field, 2001). Skogen är en typ av kolsänka som tar upp koldioxid genom fotosyntesen och lagrar kol i biomassa (van Kooten, 2009; Dixon et al., 1994; Field, 2001). Lunds kommun har uppmärksammat möjligheten att utnyttja skogsmarker som kolsänkor och söker efter mer kunskap om detta, varpå ämnet till denna kandidatuppsats uppstod, förmedlat av Miljöbron Skåne. Då majoriteten av Sveriges landyta utgörs av skogsmark, kan resultatet av detta arbete även vara intressant för andra aktörer som arbetar med att minska klimatpåverkan (SCB, 2019).

Alla länder som undertecknat Klimatkonventionen ska rapportera in växthusgasutsläppen från alla olika sektorer i landet till United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (Naturvårdsverket, 2019a; United Nations, 1992). I Sveriges rapportering år 2019, redovisas att den viktigaste källan till växthusgasutsläppen från Sveriges markanvändningssektor är dränerad skogb eklädd organogen mark (Naturvårdsverket, 2019b). Det finns ungefär en 1 miljon hektar dränerad skogb eklädd organogen mark, vilket är ungefär 4 % av Sveriges skog (Naturvårdsverket, 2019b; SCB, 2019). Trots den relativt låga andelen är växthusgasutsläppen från dränerade skogb eklädda torvmarker (en typ av organogen mark) i Sverige ungefär 10 miljoner ton CO₂-ekvivalenter per år, vilket

är lika mycket som från inrikes biltrafik år 2018 (Naturvårdsverket, 2019b; Kasimir et al., 2018; SCB, 2018). Därmed utgör dikade skogbeklädda torvmarker en betydande möjlighet till reducering av växthusgasutsläpp och är det som kommer att undersökas i denna studie.

Tidigare forskning stödjer att dränerade torvmarker kan bidra till stora mängder växthusgasutsläpp (till exempel FAO, 2012; He, Jansson, Svensson, Björklund, et al., 2016; Kasimir-Klemedtsson et al., 2000). Då grundvattennivån är en dominerande faktor som påverkar kvantiteten av växthusgasutsläppen har återvätning av dränerade torvmarker blivit en attraktiv lösning för att minska klimatpåverkan (FAO, 2012; Kasimir et al., 2018; von Arnold, Nilsson, et al., 2005). Det finns dock flera komplikationer, exempelvis finns studier som visar motsatt effekt (Vanselow-Algan et al., 2015; von Arnold, Weslien, et al., 2005) samt studie som visar att en dikad skogbeklädd torvmark kan skifta mellan att vara en kolsänka eller en kolkälla (He, Jansson, Svensson, Björklund, et al., 2016). Dessutom finns det andra motsättningar för genomförandet av återvätning då detta kan exempelvis hämma skogsproduktion (FAO, 2014). Således finns behov av att undersöka möjligheter och konflikter med återvätning av dikade skogbeklädda torvmarker i syfte att minska dess klimatpåverkan.

1.2. Syfte och frågeställning

Syftet med denna studie är att sammanställa befintlig kunskap om återvätning av dikad skogbeklädd torvmark för att undersöka om det är en fungerande metod för att minska klimatpåverkan. Därmed kommer olika faktorer att undersökas för att analysera hur dessa påverkar nivån av växthusgasutsläpp från sådan miljö. Även komplikationer för implementering av återvätning kommer att studeras. Avslutningsvis genomförs en fallstudie då tillämpningen av denna åtgärd inom Lunds kommun kommer att analyseras. Detta genomförs med följande frågeställning:

- ◆ Kan återvätning av dikad skogbeklädd torvmark bidra till minskad klimatpåverkan?
- ◆ Hur kan återvätning av dikad skogbeklädd torvmark skapa konflikt med skogsbruk?
 - Kan en lösning vara odling på våtmark?
- ◆ Vilken potential har återvätning av dikad skogbeklädd torvmark som biologisk kolsänka inom Lunds kommun?

1.3. Avgränsningar

Då denna studien analyserar klimatpåverkan från återvätning av dikade skogb eklädda torvmarker kommer växthusgaser att undersökas. Koldioxid är centralt i studien, men även metan och dikväveoxid analyseras då dessa tre är de viktigaste växthusgaserna från torvmarker (Kasimir-Klemedtsson et al., 2000). Studien kommer vidare att undersöka markanvändningskonflikter, med begränsning till konflikt med skogsbruk som kan uppstå om dikad skogb eklädd torvmark blötläggs. Avgränsningen till skogsbruk grundar sig i att skog dominerar Sveriges landyta och majoriteten utgörs av produktiv skog (SCB, 2019). Analysen av konflikt med skogsbruk fokuseras på konsekvenser för skogsproduktion och klimatpåverkan. Därmed exkluderas frågor som berör bland annat administrativa eller ekonomiska processer i samband med implementering av återvätning. Avslutningsvis kommer den framtagna kunskapen (om hur återvätning av dikad skogsmark påverkar klimat och skogsproduktion) att appliceras på miljön inom Lunds kommun. Detta eftersom kommunen är uppdragsgivare och kan användas som ett exempel på hur materialet i studien kan tillämpas.

1.4. Etisk reflektion

Uppsatsämnet har skapats på uppdrag från Lunds kommun. Kommunen, likväl andra intresserade, som tar del av studien kan använda uppsatsen som exempelvis stöd för eller emot att influera skogsägare att utnyttja skogen för att nå klimatmål. I en sådan situation skulle det bland annat kunna förekomma diskussioner om vilken typ av markanvändning som har störst betydelse. Exempelvis om det är värt att förlora ekonomisk inkomst kortsiktigt för att bidra till reducerad klimatpåverkan långsiktigt. Jag kommer att undvika att inkludera min personliga åsikt i frågan. Rekommendationer som förekommer i uppsatsen stöds därmed av vetenskaplig fakta samt eftersträvar transparens genom att belysa styrkor såväl som svagheter i rekommendationen. Vidare betonas avgränsningarna, att alla aspekter av ämnet inte är inkluderade i denna studie. Viktigt att notera är även att återvätning av dikad skogb eklädd torvmark inte ersätter andra åtgärder för att minska växthusgasutsläpp, utan är en del av klimatarbetet i helhet.

2. Bakgrund

2.1. Torvmarker och organogena jordar

Våtmarker är vegetationstäckta områden där vattennivån ligger nära markytan majoriteten av året (Gunnarsson & Löfroth, 2009). En typ av våtmark är myrar där vattennivån ligger nära marken så att syretillförsel i marken hindras (Kasimir-Klemedtsson et al., 2000; SGU, u.å.). Dött organiskt material ackumuleras i myren, men på grund av den syrefattiga miljön samt andra faktorer hämmas förmultning av materialet som då istället lagras och bildar torv (Kasimir-Klemedtsson et al., 2000; Rydin & Jeglum, 2013; SGU, u.å.). Torvmark är mark som innehåller ett lager torv som är tjockare än 30 cm (Rydin & Jeglum, 2013; SGU, u.å.). Torvmarker klassificeras som en typ av organogen mark, vilket är mark som innehåller mer än 20 % organiskt material (Hjerpe et al., 2014). Det finns generellt två typer av myrar där torv bildas. Mossar (ombrotrof myr) utgörs av mark som är högre än omkringliggande mark och endast får vatten från nederbörd (Kasimir-Klemedtsson et al., 2000). Mossar är därmed näringsfattiga (Rydin & Jeglum, 2013). Kärr (minerotrofa myrar) har istället en lägre position så tillflödet av vatten kommer från omkringliggande miljö. Vilken typ av miljö det är avgör därmed hur näringsrik kärret är (Hjerpe et al., 2014; Kasimir-Klemedtsson et al., 2000; SGU, u.å.). En myr skapas långsamt, det kan ta flera tusen år (Kasimir-Klemedtsson et al., 2000; SGU, u.å.). Globalt utgör torvmarker 3 % av världens yta men innehåller cirka 30 % av all jordbundet kol (FAO, 2012).

Denna rapport fokuserar på torvmark, men organogen mark nämns därför undersökningar av båda marktyperna är aktuella för detta arbete. Detta eftersom organogen mark kan innehålla ett lager torv som är tunnare än 30 cm, men kan ändå ge liknande effekter som torvmarker (SGU, u.å.; von Arnold, Nilsson, et al., 2005).

2.2. Dränering av torvmarker i Sverige

I följd med att den svenska befolkningen ökade under 1800-talet behövdes mer mark göras tillgängligt för odling, varpå dränering av marker accelererade (Hjerpe et al., 2014; Vasander et al., 2003). Dränering innebär att vattennivån sänks så att

mer syre kommer till marken och därmed skapar bättre förutsättningar för odling (Kasimir-Klemedtsson et al., 2000). Dränering av näringsrika kärr utgör goda förhållanden för åkermark och skogsmark, men även mindre bördiga markerna har dikats. Bortförandet av vattnet ändrar miljöns ursprungliga tillstånd och påverkar bland annat hydrologin, artsammansättningen och växthusgasbalansen (Kløve et al., 2017). Idag är det förbjudet att genomföra dränering utan tillstånd, men dikesrensning av befintliga diken är tillåtet (Länsstyrelsen Skåne, u.å.; Skogsstyrelsen, 2019a). Syftet med att utföra dikesrensning inom skogsbruk är att öka eller bibehålla skogsproduktionen som annars hämmas av hög vattennivå samt underhålla markens kapacitet att stötta skogsmaskiner. Mellan år 2013-2017 dikesrensades i medelvärde totalt 10 000 hektar, vilket Skogsstyrelsen (2019a) bedömer kommer att fortgå på lång sikt. Det finns ungefär 140 000 hektar dränerad organogen jordbruksmark och 1 miljon hektar dränerad organogen skogsmark (Naturvårdsverket, 2019b). Dock finns drygt 350 000 hektar dränerad skogbeväxtad torvmark i Sverige som är improduktiv, då dikningen har misslyckats (Hånell, 2009).

3. Metod

I detta avsnitt beskrivs vilka metoder som har använts i studien samt hur material har samlats in och hanterats.

3.1. Metod för litteraturstudie

Majoriteten av denna studie bygger på en litteraturstudie. Detta är en god metod för att bygga upp ens förståelse för ämnet, utforska vilken forskning som har gjorts och vilka frågor som är centrala inom området (Hart, 2010). Därmed har detta bedömts vara en lämplig metod för att sammanställa befintlig forskning om återvätning samt eventuell konflikt med skogsbruk. Första steget var att definiera vilka sökord som skulle användas, vilket baserades på den första och andra frågeställningen. Sökorden kombinerades på olika sätt med AND, OR, NOT samt trunkeringstecknet *. Se litteratursökningen i tabell 1.

Tabell 1. Tabellen visar schemat över litteratursökningen till denna studie. Urval 1 baserades på artikelns titel och abstract. I urval 2 lästes hela artikeln samt inkluderades i studien.

| Databas Datum | Sökord | Avgränsning | Antal träffar | Urval 1 | Urval 2 |
|------------------------------|--|-------------|---------------|---------|---------|
| Web of Science 31-03-2020 | (forest* AND rewett*) AND (greenhouse gas* OR CO2 OR carbon OR N2O OR Nitrous oxide OR CH4 OR methane) AND (Sweden OR Scandinavi* OR Nordic* OR Northern Europe) | | 40 | 20 | 6 |
| | (forest* AND rewett*) AND (greenhouse gas* OR CO2 OR carbon OR N2O OR Nitrous oxide OR CH4 OR methane) AND (Sweden OR Scandinavi* OR Nordic* OR Northern Europe) AND (peatland* OR wetland*) | | 31 | 16 | 5 |

| | | | | | |
|------------------------------|--|-------------------|----|----|---|
| Web of Science 17-04-2020 | (GHG OR greenhousegas*) AND (flux* or balance*) AND (peatland* AND drain* AND forest*) | Review | 7 | 2 | 1 |
| Web of Science 21-04-2020 | (forest* AND rewett*) AND (peatland* OR wetland*) AND (Sweden OR Scandinavi* OR Nordic OR Northern Europe) AND (production OR forestry OR paludiculture OR wetland forestry) | | 30 | 14 | 5 |
| | (forest* AND rewett*) AND (peatland* OR wetland*) AND (forest production OR forestry OR paludiculture OR wetland forestry) | Review, reports | 6 | 2 | 2 |
| | (forest* AND (*wet* AND peatland)) AND (forest production OR forestry OR paludiculture OR wetland forestry) | Review, 1990-2000 | 26 | 8 | 2 |

Litteratursökningen genomfördes i den vetenskapliga databasen Web of Science. Resultatet av litteratursökningen filterades manuellt i två steg i urval 1: (1) läsa titel (2) läsa abstract. Urvalsprocessen baserade på artikelns relevans till frågeställningarna och avgränsningarna samt att artikeln var skriven på engelska eller svenska. I urval 2 lästes hela artikeln samt valdes ut för att inkluderas i studien. Under sökningsprocessen identifierades nya ord, författare och tidskrifter som var intressanta för frågeställningarna.

Material har även sökts utanför de vetenskapliga databaserna för att nå rapporter och statistik från andra källor som svenska myndigheter eller Förenta Nationerna. Detta har erhållits genom att använda sökmotorn Google.com. Urvalet från dessa källor har följt de kriterier som nämnts ovan samt med strävan att använda trovärdiga källor som helst har genomgått faktagranskning, i kombination med en förhöjd medvetenhet om att informationen kan riskera att vara subjektiv och missvisande. En del material har även erhållits genom kedjesökning hos en artikels egna referenslista för att hitta primärkällor och nya referenser.

3.2. Metod för kartläggning

För att analysera potentialen för att genomföra återvätning av dikade skogbeklädda torvmarker inom Lunds kommun kartlades vilka områden som var av intresse för en sådan åtgärd, det vill säga torra skogbeklädda torvmarker. Därmed utfördes en kartläggning över torvmarker, skogsmarker samt markfuktighet inom kommunen. Metoden valdes anpassat efter min erfarenhet och kunskap om geografiskt informationssystem i ArcGIS. Allt material som har använts i kartläggningen redovisas i tabell 2.

Tabell 2. Tabell redovisar information om materialet som har använts för kartläggning över Lunds kommuns torvmark, skogsmark och markfuktighet.

| Material | Källa | Datum | Kvalite | Användning |
|--|--|---|---|---|
| Jordartskartan (1:25000 – 1:000 000, vektor, SWEREF99) | Sveriges Geologiska Undersökning (SGU). Hämtad från GET (SLU, 2020). | Ej möjligt att datera då SGU uppdaterar informationen successivt. | Kartläggningen för södra Sverige baseras till stor del på fältarbete. Lägesfelet (medelfelet) är uppskattat till 50-75 m. | Då torvmark skulle undersökas användes grundlagret (jyg2) och ytlagret (jy1). Grundlagret utgörs av jordarter med 0,5 m djup eller har en mäktighet större än 0,5 m. Ytlagret ligger ovanpå grundlagret och noteras i datan då jordarten skiljer sig från grundlagret. Ytlagret utgörs av tunna lager med mindre mäktighet än 0,5 m eller diskontinuerlig ytliga jordlager med 0,5-1 m mäktighet. |
| Skogskartan (raster, SWEREF99) | Riksskogs-taxeringen, Lantmäteriet samt satellitbilder från Sentinel 2. Hämtad från GET (SLU, 2020). | År 2016, maj. | 24 % medelfel för volym-uppskattningarna. | Volym över total skog, lövskog, tallskog och granskog. |
| Fastighetskartan hydrografi (vektor, SWEREF99) | Lantmäteriet. Hämtad från GET (SLU, 2020). | År 2015 - 2017 | Lägesnoggrannhet upp till 10 m. | Data över vatten (sjöar och större vattendrag). |

| | | | | |
|--|--|---------|---|---|
| Statistiska centralbyråns (SCB) kommungränser (vektor, SWEREF99) | SCB. Hämtad från Esri_cy_SE (ArcGIS, 2012) | År 2012 | | Lunds kommungränser. |
| Markfuktighetsindex (raster, SWEREF99) | Naturvårdsverket (2019c) | År 2019 | Vid en utvärdering (år 2006-2016) av indexet hade 96 % av de fältbedömda torra ytorna indexvärde under 129 och 96 % av de fältbedömda blöta ytorna indexvärde över 129. | Baserat på utvärderingen av indexet användes indexvärde 129 som gränsvärde mellan blött och torrt för att ge en uppskattning om markfuktigheten i Lunds kommun. |

Allt material bearbetades i ArcMap 10.5. Från jordartskartan extraherades alla polygoner klassificerade som kärrtorv eller mossetorv från grundlagret med verktyget *Select*, vilket resulterade i två nya shapefiles. Ytlagret användes i dess ursprungliga form då alla polygoner inom Lunds kommun var benämnda torv. Alla lager överlagrades med Lunds kommungränser så att all torvmark inom Lunds kommun erhöles. Samma procedur genomfördes med vattenkartan för att få allt vatten inom kommunen i syfte att ge kartläsaren en referenspunkt. För att extrahera all skog inom Lunds kommun användes *Extract by mask*. Verktyget användes för att få fram all skog inom Lunds kommun på samtliga torvlager. Arean av dessa områden beräknades genom att multiplicera antalet raster celler med cellstorleken 12,5 m. Volymen skog bestämdes genom att vektorisera skogslagerna så att volymen (som fanns i fältet *VALUE* i raster formatet) kunde summeras. Denna information användes i analysen för att beräkna andelen av olika träarter (lövträd, tall och gran) inom skog på torvmarker, vilket kan påverka växthusgasutsläppen. Markfuktighetsindexet var i rasterformat med cellstorlek 10 m, vilket omvandlades till 12,5 m för att underlätta interaktion med skogsdatan (*Resample*). Markfuktighetsindex inom Lunds kommun omklassificerades så värden från 0-129 blev klassat som 1 och värden från 129 - 240 som 0 (240 var det högsta värdet). Klassificering baseras på Boolean algebra då torra områden (klass 1) var av störst intresse för denna studie. Markfuktighetsindex för torvmarker inom kommunen erhöles med hjälp av *Extract by mask*. Med *Raster Calculator* kunde markfuktighetsindex multipliceras skogsdata för att erhålla hur mycket skog som fanns på torra respektive blöta torvmarker.

4. Resultat

I detta avsnitt redovisas en sammanställning av resultatet från litteraturstudien samt kartläggningen över skogbeväxtade torvmarker inom Lunds kommun.

4.1. Växthusgasbalansen i torvmarker

Några av de mest betydande växthusgaserna som bidrar till växthusgaseffekten är koldioxid (CO₂), metan (CH₄) samt dikväveoxid (N₂O) (Withgott & Laposata, 2015). Med koldioxid som referens är metan en 28-34 gånger starkare växthusgas under en 100 årsperiod och dikväveoxid är 265-298 gånger starkare än koldioxid (Myhre et al., 2013). Dessa är de viktigaste gaserna för växthusgasutsläpp från torvmarker (Kasimir-Klemedtsson et al., 2000). Vid det översta lagret i en torvmark finns syre tillgängligt och rymmer hög biologisk aktivitet. Därmed mineraliseras torv främst i de övre skikten och avger koldioxid. Där marken är vattenmättad lagras istället kol som torv (Hjerpe et al., 2014). Metan produceras där nedbrytning av organiskt material sker under anaeroba förhållanden, där jorden är mättad med vatten (Kasimir et al., 2018; von Arnold, Weslien, et al., 2005). Metan kan konsumeras genom att omvandlas till koldioxid av metanotrofa mikroorganismer under aerob miljö (Kasimir-Klemedtsson et al., 2000). Syretillgång i marken stimulerar även mineralisation av kväve samt nitrifikation vilket skapar förutsättning (tillgång på nitrat) för att denitrifikation ska ske, som utförs vid de anaeroba skikten ¹(Regina et al., 1996; Tauchnitz et al., 2015; von Arnold, Weslien, et al., 2005). Tillsammans bidrar detta till produktion av dikväveoxid. Om marken är konstant vattenmättad kan denitrifikationen ske, men då hämmas

¹ Nitrifikation är mikrobakteriell process då ammonium (NH₄⁻) omvandlas till nitrit (NO₂) och sedan nitrat (NO₃⁻) (Firestone & Davidson, 1989). Under processen kan dikväveoxid bildas. Denitrifikation innebär att nitrat (eller nitrit) omvandlas till kvävgas (N₂), under processen bildas även kväveoxid (NO) och dikväveoxid (Firestone & Davidson, 1989). Generellt skapas kvävgas i större mängd än dikväveoxid, men det kan ändras exempelvis vid lågt pH (Kasimir-Klemedtsson et al., 2000; Tauchnitz et al., 2015; Regina et al., 1996).

nitrifikationen vilket leder till lägre produktion av dikväveoxid (Osterloh et al., 2018; Regina et al., 1996).

Det finns många parametrar som påverkar växthusgasbalansen i torvmarker, som till exempel pH, erosion, urlakning av löst organiskt kol samt jordens egenskaper (Hjerpe et al., 2014; Kløve et al., 2017; Lindgren & Lundblad, 2014; Norberg et al., 2018). Inflytandet av olika faktorer varierar beroende på den lokala miljön men i följande avsnitt redovisas några av de mest väsentliga (Kløve et al., 2017; Lindgren & Lundblad, 2014; Wilson et al., 2016).

4.1.1. Vattennivån

Vattennivån är en indikator på syretillgången i torvmarken (Kasimir-Klemedtsson et al., 2000). Dränering av torvmarker medför att vattennivån sänks och syre blir tillgängligt vid skikt som tidigare befanns i en anaerob miljö. Därmed ökar produktionen av koldioxid och dikväveoxid samtidigt som metanutsläppen minskar och i vissa fall blir en svag metansänka (He, Jansson, Svensson, Björklund, et al., 2016; Kløve et al., 2017; Maljanen et al., 2010; von Arnold, Nilsson, et al., 2005). Reduceringen av metanutsläpp beror dels på att produktionen blir lägre samt att mer metan oxideras till koldioxid (Kløve et al., 2017). Endast några centimeters ändring av vattennivån kan kraftigt öka växthusgasutsläppen. Exempelvis utförde von Arnold, Weslien, et al. (2005) en studie då en sänkning på 7 cm ökade koldioxidutsläppet med 50% och metanutsläppen minskade med faktor 10. Effekten av dränering reducerar mängden torv, som till slut kan försvinna helt. Mindre mängd vatten gör dessutom marken mer kompakt, vilket påverkar markens markfysikaliska egenskaper som effektiv porositet och vattenhållande kapacitet (Kasimir-Klemedtsson et al., 2000; Kløve et al., 2017).

4.1.2. Näringsstatus

I näringsrik jord finns mer kväve som kan generera N_2O , jämfört med en näringsfattig jord (He, Jansson, Svensson, Meyer, et al., 2016; Lindgren & Lundblad, 2014). Har jorden en C/N kvot under 25 skapas höga N_2O -utsläpp enligt en studie av Klemedtsson et al. (2005). Det finns olika faktorer som influerar mängden kväve i jorden samt dess N_2O -utsläpp, bland annat vilka växtarter som finns vid torvmarken samt förekomsten av gödning (He, Jansson, Svensson, Meyer, et al., 2016; Kløve et al., 2017). Det finns en positiv korrelation mellan mängden näring och CO_2 -utsläpp då näring stimulerar mikrobiell respiration (Karki et al., 2019; Norberg et al., 2018). Dessutom kan vegetationstillväxten accelerera då både syre och näring finns tillgängligt i marken, vilket kan bidra med ett större

CO₂-upptag (Bergkvist, 2007; Hånell, 2009; Minkkinen et al., 2001). Näringsrik mark kan även stimulera större CH₄-utsläpp i våt torvmark (Lindgren & Lundblad, 2014; Juutinen et al., 2018)

4.1.3. Vegetation

Vilken typ av vegetation som finns vid torvmarken påverkar växthusgasutsläppen på olika sätt. Växtarter har varierande kemisk sammansättning och därmed är det organiska materialet från vissa arter lättare att mineralisera än andra. Består torven av lättnedbrytbart organiskt material blir växthusgasutsläppen större (von Arnold, Nilsson, et al., 2005; Vanselow-Algan et al., 2015). Vissa växter skapar hård konkurrens över tillgängligt kväve i marken vilket påverkar möjligheten att producera N₂O-utsläpp (He, Jansson, Svensson, Meyer, et al., 2016; von Arnold, Nilsson, et al., 2005). Växter med djupa rotsystem och aerenkym (luftig vävnad som underlättar transporter av gaser och finns hos exempelvis många kärlväxter) kan facilitera gastransport mellan marken och atmosfären, vilket särskilt kan förstärka transport av CH₄ och N₂O från de våta skikten av torvmarken (Lai, 2009; Lindgren & Lundblad, 2014; Ström et al., 2007; Vanselow-Algan et al., 2015). På så vis undviks dessutom oxidation av CH₄ (Lai, 2009). Denna transportväg påverkar indirekt innehållet av syre och vatten i jorden (Aurangojeb et al., 2017). Vissa växter, som träd, har ett stort CO₂-upptag som kan påverka ekosystemets totala CO₂-utsläpp (He, Jansson, Svensson, Björklund, et al., 2016).

4.1.4. Klimat

Klimatet influerar växthusgasutsläppen genom att bland annat påverka vattennivå, växtlighet, mikrobiell nedbrytning och näringsstatus i torvmarker. Hög temperatur leder till öka biologisk aktivitet vilket generellt intensifierar mikrobiell nedbrytning och ökar växthusgasutsläppen (Karki et al., 2019; Kasimir-Klemedtsson et al., 2000; Lindgren & Lundblad, 2014). Dessutom ökar evapotranspirationen i samband med temperaturökning vilket kan påverka vattennivån (se avsnitt 4.1.1.) (Bergkvist, 2007; FAO, 2012; Withgott & Laposata, 2015). Nederbörden påverkar även vattennivån samt eventuellt flöde av näringsämnen (se avsnitt 4.1.1. och 4.1.2.) (Hjerpe et al., 2014; Huth et al., 2018; Kasimir-Klemedtsson et al., 2000). Dessa nämnda faktorer påverkar även vegetationens tillväxt och artsammansättning (Smith & Smith, 2015; Withgott & Laposata, 2015).

4.2. Dikade skogbeklädda torvmarker

Växthusgasbalansen hos dikade skogbeklädda torvmarker skiljer sig från andra torvmarker, framförallt gällande koldioxidutsläpp. Koldioxidutsläppen beror främst på två faktorer, nedbrytning av torv (se avsnitt 4.1.) och ackumulering av kol i skogens biomassa (He, Jansson, Svensson, Björklund, et al., 2016). Träd som inte är anpassade till våt miljö har svårt att växa i en naturlig torvmark som är vattenmättad, därför dräneras marken vilket ökar syretillgången och stimulerar trädens tillväxt (Hånell, 2009). När träden växer upptas koldioxid och kol lagras i biomassan (Minkinen et al., 2001; van Kooten, 2009). Samtidigt stimulerar den ökade syretillgången i marken mineralisering av torv, vilket genererar koldioxidutsläpp. Om träden tar upp lika mycket koldioxid som avges från torvnedbrytningen har systemet nettonollutsläpp av koldioxid. Vid ökad skogstillväxt ökar koldioxidupptaget ytterligare och ekosystemet blir en kolsänka (He, Jansson, Svensson, Björklund, et al., 2016). Detta bevisar He, Jansson, Svensson, Björklund et al. (2016) som undersökte en granskog (*Picea abies*) i Sverige på dränerad torvmark som vara en koldioxidkälla de första 39 åren för att sedan övergå till att bli en koldioxidsänka i takt med att skogen växte. Att skogen kompenserar för utsläppen från torvnedbrytningen kan framställas som att kolet förflyttas från torv till träd.

Fortsättningsvis kan systemets koldioxidutsläpp förändras om skogen på torvmarken avverkas. Detta visar Kasimir et al. (2018) som undersökte växthusgasbalansen i fyra olika scenarier i Sverige under en 80-årsperiod, vilket motsvarar en hel skogsrotation. Tre olika områden med gran, pilträd (*Salix*) respektive rörflen (*Phalaris arundinacea*) samt en våt torvmark undersöktes. Resultatet visade att lägst avgång av kol erhöles hos granskogen, med vattennivå 40 cm från markytan. Om granskogen däremot skulle skövlas förväntas detta scenario ge upphov till högst koldioxidutsläpp efter en 10 årsperiod då mycket kol var ackumulerat i biomassan som till slut bryts ner till koldioxid. Inkluderades skövlingen i studiens beräkningar hade den våta torvmarken istället störst kolupptag, men den var ändå en källa till växthusgaser (likt de andra scenarier) på grund av metanutsläpp.

Vilken trädart som dominerar en skogbeklädd torvmark påverkar växthusgasutsläppen. Flera studier visar på att lövträd som al (*Alnus glutinosa*) och björk (*Betula pubescens*) skapar växtrester med en högre koncentration av kväve jämfört med barrträd som gran och tall (*Pinus sylvestris*), vilket kan resultera i högre N₂O-utsläpp (Menyailo & Huwe, 1999; Menyailo et al., 2002; von Arnold, Nilsson, et al., 2005; Wedderburn & Carter, 1999). Därmed är det särskilt viktigt att undersöka N₂O-utsläppen för lövskog eftersom det kan ha stor inverkan på den totala växthusgasbalansen (von Arnold, Nilsson, et al., 2005). N₂-fixerade lövträd som al (som lever i symbios med N₂-fixerande mikroorganismer) är särskilt

effektiva med att sänka C/N kvoten, vilket kan generera större N₂O-utsläpp jämfört med till exempel björk (von Arnold, Nilsson, et al., 2005; Maljanen et al., 2010; Wedderburn & Carter, 1999). Bland barrskogsarter finns studier som visar att gran kan orsaka större N₂O-utsläpp än tall (Menyailo & Huwe, 1999; von Arnold, Nilsson, et al., 2005).

Kvaliteten på det organiska materialet i torvmarken påverkar nedbrytningshastigheten och därmed växthusgasutsläppen (Berg & Staaf, 1980; McLaugherty & Berg, 1987; Côté et al., 2000). Exempelvis ger lägre koncentration av lignin högre nedbrytningshastighet vilket stimulerar växthusgasutsläpp (Wedderburn & Carter, 1999). Den kemiska sammansättningen kan variera mellan olika träarter (Johansson, 1995). Dessutom kan koldioxidupptaget variera mellan träarter, det visar Bergkvist (2007) som har sammanställt studier från ett forskningsprogram som bland annat fann att en undersökt dränerad björkskog hade ett nettoutsläpp av växthusgaser, till skillnad från ett område som dominerades av al som istället var en sänka av växthusgaser. Båda markerna hade likartad koldioxidavgång, men alen hade ett högre koldioxidupptag jämfört med björken. Koldioxidupptaget kan alltså variera, men upptaget beror även på hur stark tillväxten är vilket influeras av bland annat hur skogen bearbetas och att miljön är lämplig för träarten. Det finns dock studier som erhållit annat resultat, till exempel fann von Arnold, Nilsson, et al. (2005) och von Arnold, Weslien, et al. (2005) inte en signifikant generell skillnad av koldioxid- och metanutsläpp mellan lövskog och barrskog eller mellan arter inom grupperna.

Generellt i en skogbeväxt torvmark dominerar metanutsläppen när vattennivån ligger vid marknivå och koldioxidutsläpp dominerar när marken är dränerad. Dikväveoxid blir signifikant när marken är näringsrik i dränerat tillstånd, men i våtmarker kan det antas vara försumbart (med vissa undantag för att ibland vara en svag källa eller sänka (Maljanen et al., 2010)). Detta påvisar Lindgren och Lundblad (2014) som har rekommenderat emissionsfaktorer för skogbeväxta torvmarker i Sverige, tabell 3 (se konfidensintervall i bilaga 1). I samtliga fall genererar återvätning en reducering av de totala växthusgasutsläppen, trots att metanutsläppen ökar.

Tabell 3. Tabellen visar emissionsfaktorer för växthusgaser från skogsmark i olika klimatzoner och näringsstatus (Lindgren & Lundblad, 2014). Värdena baseras på omvandlingsfaktor 25 för metan och 298 för dikväveoxid. (+) indikerar utsläpp och (-) indikerar upptag.

| Klimat, näringsstatus | Dränerad organogen skogsmark (CO ₂ -ekv. ton/ha/år) | Återvätt (CO ₂ -ekv. ton/ha/år) |
|-------------------------------|---|--|
| Boreal zon, näringsrik | CO ₂ 3,4 N ₂ O 1,5 CH ₄ 0,1 Totalt 5 | CO ₂ - 2,0 N ₂ O CH ₄ 4,6 Totalt 2,6 |
| Boreal zon, näringsfattig | CO ₂ 0,9 N ₂ O 0,1 CH ₄ 0,2 Totalt 1,2 | CO ₂ -1,2 N ₂ O CH ₄ 1,4 Totalt 0,2 |
| Tempererad zon, näringsrik | CO ₂ 9,5 N ₂ O 1,3 CH ₄ 0,1 Totalt 10,9 | CO ₂ 1,8 N ₂ O CH ₄ 7,2 Totalt 9 |
| Tempererad zon, näringsfattig | CO ₂ 9,5 N ₂ O 1,3 CH ₄ 0,1 Totalt 10,9 | CO ₂ -0,8 N ₂ O CH ₄ 3,1 Totalt 2,3 |

4.3. Återvätning

Återvätning av dränerade torvmarker innebär att vattennivå höjs helt eller delvis till den ursprungliga nivån som rådde innan antropogen dikning utfördes (FAO, 2012). Syftet är att ekosystemet ska återgå till dess naturliga balans och reducera växthusgasutsläppen. För att få ett lyckat resultat av återvätning finns det ett flertal faktorer att hantera.

Det är viktigt att uppnå en stabil vattennivå då fluktuationer påverkar utsläppen av växthusgaser. När vattennivån är hög expanderar den anaeroba miljön och produktionen av CH₄ ökar (Kløve et al., 2017). Om vattennivån istället är låg kommer CO₂-utsläppen accelerera (Maljanen et al., 2010). Fluktuerande

vattennivåer påverka särskilt N₂O-utsläppen (Osterloh et al., 2018). Då vattennivån är låg stimuleras nitrifikation, vilket skapar nitrat och N₂O som mellanprodukt (Kløve et al., 2017). God tillgång på nitrat i kombination med en stigande vattennivån skulle gynna denitrifikation som kan producera ytterligare N₂O-utsläpp (Regina et al., 1996; Tauchnitz et al., 2015). Sådan variation av vattennivå kan totalt leda till en ökning av N₂O-utsläpp samt möjliggör att alla tre växthusgaser kan emitteras (Osterloh et al., 2018). Att bevara en stabil vattennivå kan vara svårt i praktiken eftersom det påverkas av naturliga faktorer som exempelvis nederbörd och evapotranspiration (Bergkvist, 2007; Karki et al., 2019).

Skiftande vattennivå kan även påverka växtsamhället och succession av växter, vilket influerar växthusgasbalansen (Kløve et al., 2017). Till exempel genomförde Vanselow-Algan et al. (2015) en studie som redovisar skillnader i växthusgaser vid återväta torvmarker på grund av olika växter. Där *Molinia caerulea* dominerade, en växt med aerenkym och som genererade mer lättnedbrytbar förna jämfört med de andra växterna, var metanutsläppen störst. Vidare påverkar vegetationen möjligheten att återskapa torvmarkens kolinlagring, exempelvis gynnar vitmossa (*Sphagnum*) torvbildning (Kløve et al., 2017; Wilson et al., 2016). För att stimulera återförandet av sådana växter kan extra åtgärder krävas, till exempel kontrollering av pH och att hindra oönskade arter från att bli dominerande (Kløve et al., 2017).

Tiden som gått sedan dränering utfördes kan även påverka resultatet av återvätningen (Vasander et al., 2003). Om dräneringen skett nyligen är det troligt att miljön kommer återgå till dess ursprungliga tillstånd, men har längre tid förlöpt blir det svårare att restaurera (Vasander et al., 2003). En orsak kan vara att det hydrologiska systemet har förändrats så att vatten inte längre naturligt uppehålls i området (Kløve et al., 2017). Vad den dränerade torvmarken har använts till och hur den har behandlats är ytterligare en faktor som influerar resultatet (Vanselow-Algan et al., 2015). Man bör även ta hänsyn till hur mycket torv som finns kvar i den dränerade marken för att bedöma om hur stor effekt återvätningen kan ge (Couwenberg et al., 2011).

Kløve et al. (2017) bedömer i en översiktsartikel att återvätning kommer till en början att orsaka en nettoökning av växthusgasutsläpp. De första positiva effekterna kommer istället vara reduktion av marksättning och nedbrytning av djupliggande organiskt material. I helhet kommer en lyckad återvätning reducera CO₂- och N₂O-utsläpp, samtidigt som CH₄-utsläppen ökar successivt med att vattennivån höjs (Wilson et al., 2016). Återvätning av torra näringsrika dikade torvmarker i Sverige kan enligt Hjerpe et al. (2014) bidra med en reduktion av växthusgasutsläpp på 5 ton CO₂-ekv. per hektar och år, över en 70-årsperiod.

4.3.1. Utförande av återvätning

Återvätning kan under rätt förhållanden reducera växthusgaser, men det finns även utmaningar i utförandet av återvätning som kan påverka hur effektiv åtgärden blir. När återvätning ska genomföras krävs stor hänsyn till de lokala förhållandena och det finns inte ett tillvägagångssätt som är applicerbart överallt (FAO, 2014). Man bör sträva efter att återskapa den miljö som fanns tidigare och för att göra det kan fler åtgärder än att höja vattennivån krävas, varav några presenteras i detta avsnitt (Hjerpe et al., 2014).

För få en jämn vattennivå i hela torvmarken behöver hänsyn tas till variationer i hydrologin, exempelvis kan marksättning vara särskilt påtagligt nära diken vilket kan hindra vatten från att spridas i torvmarken (Vasander et al., 2003). För att effektivt återväta området bör det inte finnas diken i närheten som kan ansamla vatten (FAO, 2014). För att höja vattennivån kan det i vissa fall vara tillräckligt att fylla igen eller ta bort dräneringskanalerna (FAO, 2014; Kløve et al., 2017). Vattennivån i torvmarken bör vara nära markytan (± 10 cm) på en stabil nivå (Couwenberg et al., 2011). Vid återvätning av skogbeksäddade torvmarker bör även trädets evapotranspiration beaktas då detta kan skapa naturlig dränering, särskilt under sommaren då avdunstningen är som störst (Bergkvist, 2007; FAO, 2014).

Metanutsläppen kommer accelerera vid blötläggningen och kan vara extra hög i början då det kan finnas en större mängd lättnedbrytbart organiskt material som metanogena mikroorganismer kan konsumera. Därmed rekommenderas att extrahera viss markvegetation och det översta lagret av torv innan återvätningen sker (Hjerpe et al., 2014; Zak et al., 2017). För skogsmark kan detta vara praktiskt komplicerat på grund grova rötter. Den översta torven som tas bort kan hanteras på olika sätt, exempelvis användas för att täppa igen diken eller utvinna energi (Hjerpe et al., 2014; Kløve et al., 2017). Att torven då istället producerar koldioxid kan ses som positivt eftersom det är en svagare växthusgas jämfört med metan (Myhre et al., 2013).

Borttagandet av det översta torvlagret kan även minska näringsmängden och därmed gynna tillväxten av växter som är vanliga vid torvmarker, som är anpassade för näringsfattiga miljöer (Kløve et al., 2017; Zak et al., 2017). Vattentoleranta växter med aerenkym bör undvikas eftersom de faciliterar gastransport till atmosfären samt kan hämma återkomsten av torvbildande växter (Kløve et al., 2017; Vanselow-Algan et al., 2015). Därmed är det bra att uppmärksamma omkringliggande miljö för att identifiera potentiella kolonisatörer (Vasander et al., 2003).

4.4. Markanvändningskonflikt

I en rapport från Förenta Nationernas livsmedels- och jordbruksorganisation (FAO) benämns torvmarker vara en betydande miljö för utsläpp av växthusgaser och uppmanar till att minimera förekomsten av dränerade torvmarker genom bland annat återvätning (FAO, 2012). I en redovisning av konflikter och synergier som kan uppkomma med annan markanvändning presenteras att återvätning kan ge upphov till synergier med att stödja biologisk mångfald, minska klimatförändringar och brandrisk. Däremot skapas en konflikt med produktionsändamål, för skogbeklädda torvmarker handlar det främst om att återvätning kan minska skogsproduktionen då vissa träarter inte är anpassade för en våt miljö, dessutom kan marken bli mer svåråtkomlig (FAO, 2014; FAO, 2012; Hånell, 2009). I Sverige finns cirka 1 miljon hektar dikade torvmarker med skog, varav ungefär 65 % är produktiv skogsmark (Hånell, 2009; Naturvårdsverket, 2019b). Skogsbruket och mål för skogsproduktion har därmed en väsentlig inverkan på möjligheten att implementera återvätning av dränerad skogbeklädd torvmark i Sverige.

Det finns olika perspektiv på relationen mellan skogbeklädda torvmarker och klimat. Skogen extraherar stora mängder CO₂ från atmosfären vilket är positivt för klimatet (Dixon et al., 1994; Field, 2001; Naturvårdsverket, 2019b; van Kooten, 2009). Torvmarker lagrar stora mängder kol vilket även är bra för klimatet, men som vid dränering kan adderas till atmosfären (FAO, 2014; Kløve et al., 2017). Växthusgasutsläpp från torvmarken i följd av dränering kan kompenseras av CO₂-upptaget från skogen, men det kan vara svårt att säkerhetsställa eftersom trädens CO₂-upptag varierar under utvecklingen, samtidigt som nedbrytningen av torven fortsätter (He, Jansson, Svensson, Björklund, et al., 2016). Dessutom fortsätter eventuella N₂O-utsläpp vilket inte tas upp av skogen (Kløve et al., 2017). Därmed är det inte självklart att skogbeklädda dränerade torvmarker har nettonollutsläpp eller negativa utsläpp av växthusgaser.

Avverkas skogen på skogbeklädda dränerade torvmarker kan produkterna och biprodukterna användas som till exempel byggnadsmaterial, pappersmassa och bioenergi (Skogsstyrelsen, 2019a). Flera produkter kan ersätta fossila råvaror eller material som används i produktioner där stora mängder växthusgasutsläpp genereras. Detta ger skogen en substitutionsnytta som, tillsammans med det stora CO₂-upptaget och kolinlagring, skulle kunna motivera att sträva efter så stor skogstillväxt som möjligt för att minska klimatpåverkan (Björheden, 2019). Dessa positiva substitutionseffekter skulle kunna öka i takt med uttag av skog om tillväxten kan upprätthållas. Skogsstyrelsen (2019a) menar att Sverige försöker kombinera de båda klimatåtgärderna, att utnyttja skog för CO₂-upptag och kollagring (vilket är starkare hos en orörd skog än en brukad skog) samt att underhålla skogsproduktion för att substituera fossila råvaror.

Dock ifrågasätts om skogsprodukter från skogbeklädda dränerade torvmarker är positivt för klimatet. He, Jansson, Svensson, Björklund et al. (2016) framför att biomassa producerad på näringsrika dränerade skogbeklädda torvmarker är på lång sikt en växthusgaskälla eftersom att oavsett vad skogsprodukterna används till kommer de till slut att brytas ner och avge CO₂. Skogsprodukterna har då odlats på bekostnad av mineralisering av torv vilket är kol som annars skulle ha lagrats i marken. Därmed bör sådana skogsprodukter inte klassificeras som förnyelsebara produkter (He, Jansson, Svensson, Björklund, et al., 2016). FAO (2014) uttrycker liknande argument, att generellt är CO₂-upptaget av träden större än kolavgången från jorden vilket gör systemet till en kolsänka, men när kolet i träprodukterna till slut frigörs har kolet flyttat från torvmarken till atmosfären och klimatnyttan är därmed förlorad. Skogsstyrelsen (2019b) drar slutsatsen att befintlig kunskap påvisar att biomassan från skogbeklädda dikade torvmarker inte nödvändigtvis har en stark substitutionsnytta, utan istället är i medelvärde sämre för klimatet än fossila material.

4.5. Odling på våtmark

En metod för att lösa konflikt mellan skogsproduktion och återvätning (se avsnitt 4.4.) kan vara att kombinera de båda målen. Paludikultur är ett sådant exempel som innebär att återväta torvmarker används för produktion (Hjerpe et al., 2014; Joosten et al., 2016). Om återvätningen ger önskat resultat reduceras klimatpåverkan och om man dessutom odlar på den våta torvmarken kan koldioxidupptag och kolinlagring stimuleras, inkomst genereras och substitutionsnytta uppnås genom att ersätta fossila råvaror (FAO, 2014).

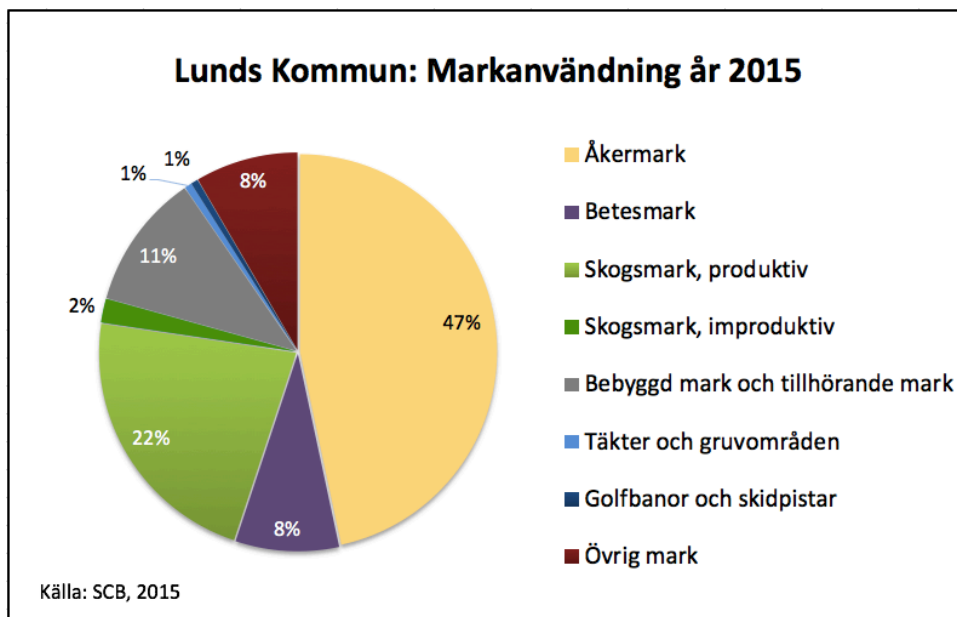
För att genomföra paludikultur krävs växter som överlever höga vattennivåer och inte stör torvbildning. FAO (2014) anger att det finns ungefär 473 arter som är lämpade för paludikultur i tempererade och boreala klimat och som kan generera till exempel mat, medicin och timmer. För träarter finns exempelvis al som förekommer naturligt i näringsrika och blöta marker (FAO, 2014; Huth et al., 2018). Ett annat alternativ är att odla grödor för bioenergi, som exempelvis rörflen. Karki et al. (2016) jämförde odling av rörflen på dränerade respektive återväta torvmarker i Danmark. Resultatet visade en signifikant nettominskning av växthusgaser hos de återväta torvmarkerna, trots att metanutsläpp förekom. Dock var avkastningen av torr biomassa lägre vid de våta torvmarkerna, vilket inte borde ha påverkats av vattennivån enligt författarna utan eventuellt på grund av konkurrens mellan rörflen och andra växter. Vass (*Phragmites australis*) och kaveldun (*Typha*) är andra lämpliga arter för att producera bioenergi (FAO, 2014; Günther et al., 2015). Båda arterna har aerenkym och kan därmed påverka

metanutsläppen från torvmarken (Günther et al., 2015; Vanselow-Algan et al., 2015). Att skörda sådana växter har gett varierande resultat för metanutsläpp, till exempel upptäckte Günther et al. (2015) ingen kortsiktig effekt, medans van der Nat och Middelburg (2000) fann en reduktion av metanutsläpp hos torvmark med avklippt vass.

För att utföra paludikultur behöver förutsättningar finnas för att kunna återvåta området (se avsnitt 4.3.) samt för att genomföra produktionen. Kunskap behövs för att identifiera lämplig art för den lokala miljön samt annan rådgivning som underlättar övergången till att odla på våtmark (Kløve et al., 2017; FAO, 2014). En våt miljö kan vara svåråtkomlig för maskiner och annan logistik. Nya regler kan behövas för att skapa möjligheter att sälja materialet till industri och marknad (Kløve et al., 2017; FAO, 2014).

4.6. Fallstudie: Lunds kommun

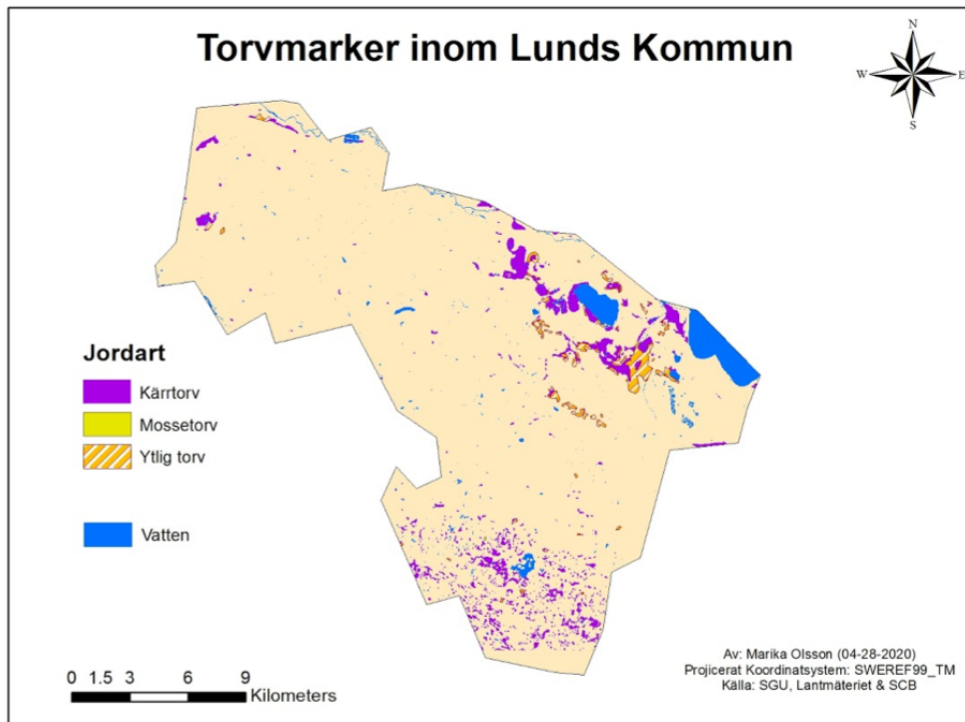
Lunds kommun ligger i Skåne län, södra Sverige, och som en del av Sveriges sydligaste landskap är det generellt det varmaste i landet (SMHI, 2019). Skåne har ett klimatmål att vid år 2030 ska växthusgasutsläppen minska med 80 % jämfört med år 1990 (Länsstyrelsen Skåne, 2018). Lunds kommun omfattas därmed av detta mål, vilket är ett delmål i kommunens klimatmål om att ha nära noll växthusgasutsläpp år 2050 (Lunds kommun, 2017). I Skåne tar skogen generellt upp mer växthusgaser än vad den avger, med undantag för skog på dränerade torvmarker (Länsstyrelsen Skåne, 2018). Skåne ligger inom det södra lövskogsområdet vilket innebär att lövträd dominerar (Skogsstyrelsen, u.å.). Av Lunds kommuns 42 707 hektar är ungefär 24% skogsmark, varav 9 497 ha är produktiv och 832 ha är improduktiv, se figur 1 (SCB, 2015). Produktiv skogsmark definieras som skog lämplig för produktion och som till stor del brukas i det syftet. Improduktiv skogsmark är all annan typ av skogsmark.



Figur 1. Diagrammet visar andelen av olika markanvändningar inom Lunds kommun (SCB, 2015).

4.6.1. Kartläggning över torvmark och skogsmark

En översiktlig kartläggning över torvmarker i Lunds kommun har genomförts med data från SGU, se figur 2. Resultatet visade att det finns ungefär 2 370 hektar torvmark inom kommunen, varav 79,11 % är kärrtorv, 20,83 % är ytlig torv och 0,06 % mossetorv, se tabell 4.

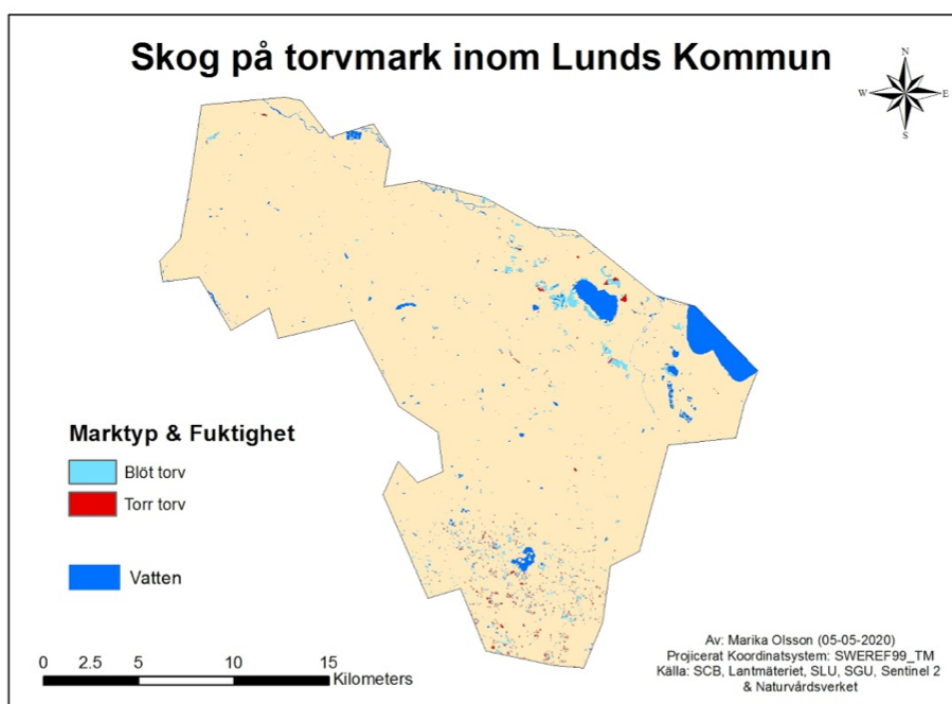


Figur 2. Kartan visar olika typer av torvmarker som finns inom Lunds kommun. Kärrtorv och mossetorv är klassificerade som jordarter i grundlagret. Ytlig torv finns i ytlagret som ligger ovanpå grundlagret och anmärks om jordarten skiljer sig från grundlagret. Kärrtorv dominerar i Lunds kommun och mossetorv är begränsat till 0,06 % av den totala arean av torvmark.

Tabell 4. Tabell presenterar arean av torvmark, skog på torvmark samt torr skogbeklädd torvmark inom Lunds kommun. Värdena är avrundade uppåt.

| Torv | Torvmark (hektar) | Skog på torvmark (hektar) | Torr skogbeklädd torvmark (hektar) |
|---------------|-------------------|---------------------------|------------------------------------|
| Kärrtorv | 1874,73 | 656,30 | 174,53 |
| Mossetorv | 1,31 | | 0,64 |
| Ytlig torv | 493,60 | | 19,06 |
| Totalt | 2369,64 | 718,56 | 195,02 |

Enligt kartläggningen som gjorts baserat på SLU skogskarta 2015, finns 10 060 hektar skog inom Lunds kommun varav 7 % står på torvmark. Majoriteten finns på kärrtorv (tabell 4). Det markfuktighetsindex som använts i denna studie är generaliserad och tolkas därmed endast som en indikator för markfuktigheten (Naturvårdsverket, 2019c). Figur 3 visar torra respektive blöta torvmarker med skog inom Lunds kommun. Majoriteten (73 %) av den skogbeklädda torvmarken är klassad som blöt. 195 hektar är klassad som torr torvmark, varav 74 % är lövskog och resterande är barrskog (tabell 5).



Figur 3. Kartan visar skog som finns på blöt respektive torr torvmark inom Lunds kommun. 73% av den totala arean skogbeklädd torvmark är blöt och resterande är torr.

Tabell 5. Tabellen redogör fördelningen mellan olika skogstyper på torr skogbeklädd torvmark (kärrtorv, mossetorv och ytlig torv) i Lunds kommun.

| Skogstyp på torr torvmark | Volym (Mm ³ sk/ha/år) |
|---------------------------|----------------------------------|
| Lövskog | 2,02 |
| Granskog | 0,65 |
| Tallskog | 0,08 |

5. Diskussion

I detta avsnitt diskuteras resultatet i relation till frågeställningarna samt i ett större miljö-och samhällsperspektiv.

5.1. Kan återvätning av dikad skogbeklädd torvmark bidra till minskad klimatpåverkan?

Forskning visar att våta torvmarker är kolsänkor medan dränerade torvmarker är kolkällor, men inkluderas utsläpp av metangas och dikväveoxid blir växthusgasbalansen mer nyanserad (Kløve et al., 2017; Maljanen et al., 2010; von Arnold, Nilsson et al., 2005). Generellt avger en vattenmättad torvmark metan och en dränerad näringsrik torvmark släpper ut dikväveoxid samt koldioxid (Kløve et al., 2017; Wilson et al., 2016). Mycket forskning tyder på att nettoutsläppen är lägre hos en våt torvmark jämfört med en dränerad, trots att metanutsläppen kan vara stora (Lindgren & Lundblad, 2014). Följaktligen bör återvätning av dikade torvmarker vara en bra metod för att minska klimatpåverkan, vilket är bevisat av flera studier (till exempel He, Jansson, Svensson, Björklund, et al., 2016; Günther et al., 2015; Karki et al., 2019). Dock finns det även empiriska studier som inte har bevittnat sådan effekt (till exempel Vanselow-Algan et al., 2015; von Arnold, Weslien, et al., 2005). Detta beror på olika faktorer vars inflytande varierar beroende på den lokala miljön. I tabell 6 summeras de faktorer som har behandlats i denna studie och som visat sig vara de generellt viktigaste och mest undersökta faktorerna i andra studier. I tabellen redogörs förhållanden som påverkar växthusgasbalansen i skogbeklädda torvmarker i dränerat respektive återvätt tillstånd. Det är relevant att diskutera faktorer som påverkar en torvmark i de båda tillstånden eftersom om en dränerad torvmark orsakar stora växthusgasutsläpp blir effekten av återvätningen mer markant.

Tabell 6. Tabellen innehåller viktiga faktorer som påverkar växthusgasbalansen i våt respektive dränerad torvmark.

| Faktor | Dränerad torvmark | Våt torvmark |
|---------------|--|---|
| Vattennivå | <ul style="list-style-type: none"> Låg vattennivå skapar mer aerob miljö → ökad mineralisering av torv, högre CO₂-och N₂O-utsläpp samt svagare CH₄-utsläpp. Fluktuerande vattennivåer → kan öka växthusgasutsläppen | <ul style="list-style-type: none"> Hög vattennivå nära markytan skapar mer anaerob miljö → ökad CH₄-produktion, mindre N₂O- och CO₂-utsläpp samt reducering av torvnedbrytning. Fluktuerande vattennivåer → kan öka växthusgasutsläppen |
| Näringsstatus | <ul style="list-style-type: none"> Större tillgång till näringsämnen → stimulerar mineralisering, ökar utsläppen av N₂O och CO₂. Tillväxt av vegetation kan öka i näringsrik jord → större CO₂-upptag samt eventuell konkurrens om näringsämnen vilket influerar N₂O-utsläppen. | <ul style="list-style-type: none"> Större tillgång till näringsämnen → stimulerar tillväxt av vegetation → större CO₂-upptag. I näringsrik mark kan även CH₄-utsläpp öka. |
| Vegetation | <ul style="list-style-type: none"> Växter som skapar konkurrens om tillgängligt kväve → kan reducera N₂O-utsläppen. Växter som tar upp mycket CO₂: lagrar mer C i biomassan → minskar ekosystemets CO₂-utsläpp. Kvaliteten på det organiska materialet påverkar nedbrytningshastigheten och mängden näringsämnen → påverkar växthusgasutsläppen. | <ul style="list-style-type: none"> Samma som i dränerat tillstånd (alla tre punkter). Växter med aerenkym faciliterar gastransport vilket kan öka utsläppen av särskilt CH₄ och N₂O. Vissa arter gynnar torvbildning mer än andra → kolinlagring |
| Klimat | <ul style="list-style-type: none"> Varmare klimat stimulerar biologisk aktivitet → ökar växthusgasutsläppen. Fluktuationer i väder, som torka och nederbörd, påverkar bland annat vattennivån → påverkar växthusgasutsläppen. Klimatet påverkar vegetationens tillväxt och sammansättning → influerar växthusgasbalansen. | <ul style="list-style-type: none"> Samma som i dränerat tillstånd (alla tre punkter) |

Hur lång tid det tar tills att återvätningen ger önskad effekt är en annan viktig aspekt men som inte har redovisats i detta arbete på grund av brist på studier om de långsiktiga effekterna av återvätning, många belyser behovet av mer forskning om

detta (Karki et al., 2019; Karki et al., 2016; Jauhiainen et al., 2019). Varierande resultat kan erhållas, exempelvis redovisade Günther et al. (2015) att både efter 2 respektive 15 år efter återvätning hade åtgärden resulterat i en omfattande minskning av växthusgaser, men Vanselow-Algan et al. (2015) visade i en annan studie att efter 30 år påträffades torvmarker fortfarande vara växthusgaskällor, av både metan och koldioxid. Återvätning anses trots detta för många vara en attraktiv lösning för att minska växthusgasutsläpp (till exempel FAO, 2014; Hjerpe et al., 2014). Även Skogsstyrelsen (2019b) påpekar behovet av mer forskning, men anser att befintlig kunskap ändå är tillräcklig för att initiera åtgärder, som exempelvis återvätning, för att minska klimatpåverkan från dränerade torvmarker. Reduceringen av växthusgasutsläpp bedömdes kunna motsvara ökningen av utsläpp som dräneringen har orsakat.

Sammanfattningsvis kan resultatet av denna litteraturstudie tolkas som att en lyckad återvätning kan minska växthusgasutsläppen signifikant, men vägen dit kan vara komplicerad och variera från fall till fall. En utveckling av studien hade kunnat vara att noggrannare analysera vilka metoder som använts för att mäta effekterna av dränering och återvätning samt vilka lokala förhållanden som skiljer sig mellan olika studier. Trots denna eventuella felkälla, samt att det fanns mer litteratur att analysera som inte hanns med, liknar resultatet andra litteraturstudier inom detta område (till exempel Kløve et al., 2017; Wilson et al., 2016; Maljanen et al., 2010). Därmed anses resultatet vara tillförlitligt och att metoden var tillfredsställande i relation till arbetets omfattning.

5.2. Hur kan återvätning av dikad skogbeklädd torvmark skapa konflikt med skogsbruk? Kan en lösning vara odling på våtmark?

Återvätning av dikade skogbeklädda torvmarker kan komma i konflikt med skogsbruk på grund av att återvätningen minskar tillväxten om trädarterna inte är anpassade till våt miljö (FAO, 2012; Hånell, 2009). Från ett klimatperspektiv finns generellt två synsätt på hur skogen kan hanteras för att generera klimatnytta. Ett synsätt är att all ökad tillväxt av träd är positivt för klimatet, även skog på dränerad torvmark, eftersom träd binder koldioxid från atmosfären i biomassa som sedan kan utnyttjas för att ersätta fossila råvaror och material som används i processer som genererar stora växthusgasutsläpp (Bergkvist, 2007; Björheden, 2019; Skogsstyrelsen, 2019a). Ett annat synsätt är att skog som växer på dränerad torvmark inte skapar produkter som kan beaktas som koldioxidneutrala eller förnyelsebara eftersom produktionen har pågått tack vare dränering, vilket i sin tur stimulerar mineralisering av torv (He, Jansson, Svensson, Björklund, et al., 2016).

Mineraliseringen genererar koldioxidutsläpp som anses vara fossilt eftersom det skulle ha bevarats i marken om dräneringen inte utfördes (FAO, 2014; He, Jansson, Svensson, Björklund, et al., 2016). Därmed anses att skogsprodukter från dränerade torvmarker inte bidrar till minskad klimatpåverkan och kan dessutom vara sämre för klimatet än fossila produkter (Skogsstyrelsen, 2019b).

Från ett ekonomiskt perspektiv har dränering av torvmarker bidragit till ökad skogsproduktion och i Sverige är denna industri mycket viktig (Bergkvist, 2007). Följaktligen kan återvätning bidra till ekonomisk förlust för skogsägaren. För att minimera denna förlust bör återvätning ske vid improduktiva torvmarker, marker där dräneringen har varit ineffektiv så att marken redan är våt samt områden med låga naturvärden (Hjerpe et al., 2014; Kløve et al., 2017). För att optimera klimatnytta bör istället näringsrika torra torvmarker prioriteras för återvätning. Detta rekommenderar Jordbruksverket som även har beräknat att en permanent återvätning av sådana marker är en kostnadseffektiv åtgärd för att minska växthusgasutsläpp (Hjerpe et al., 2014). I de fall då det räcker att täppa igen dräneringskanalerna för att återvåta kan kostnaden bli låg, dock kan kostnaderna stiga för att exempelvis hålla vattennivån stabil (Kløve et al., 2017).

Kostnader kring återvätning skulle kunna utvecklas till att inkludera andra ekosystemtjänster (FAO, 2014; Kasimir et al., 2018). Kasimir et al. (2018) gjorde en lönsamhetsanalys som visade att på grund av utebliven produktion var en våt torvmark minst lönsam, men summerades värdet för biodiversitet samt upptag och lagring av kol hos torvmarken översteg det priset av produkterna från de andra scenarierna - tre torvmarker med gran, pilträäd respektive rörflen. Utfallet av sådan beräkning beror på vilka kostnader som inkluderas, men det belyser att synergier kan uppkomma vid återvätning som sträcker sig utanför skogsproduktion och klimatåtgärder. Dessutom finns möjlighet att sälja utsläppskrediter för de minskade växthusgasutsläppen till följd av återvätning (O'Sullivan & Emmer, 2011).

En metod för att kombinera produktion och återvätning som behandlats i denna studie är paludikultur. Det finns studier som visar att paludikultur genererar totalt lägre växthusgasutsläpp än dränerade torvmarker (till exempel Karki et al., 2016; Günther et al., 2015). Genom att kunna kombinera inkomster från produktion, minskade utsläpp och andra ekosystemtjänster finns det mycket som indikerar att paludikultur är en lovande lösning (FAO, 2014; Gallego-Sala et al., 2016). Dock finns det brist på svenska exempel samt forskning om paludikultur i relation till skogsproduktion på dränerade torvmarker. Exempelvis hade det varit intressant att jämföra den ekonomiska skillnaden mellan skogsproduktion och paludikultur samt jämföra paludikultur med återvätning. Vid tillfällen då varken återvätning eller paludikultur är genomförbart finns det andra metoder för att reducera växthusgasutsläpp hos skogbeväxtade torvmarker som inte inkluderades i denna studie, exempelvis att undvika kalhygge som bland annat påverkar systemet

genom att ändra vattennivån i torvmarken och kraftigt reducerar upptaget av koldioxid (Korkiakoski et al., 2019).

Vidare utveckling av denna studie hade varit att nyansera diskussionen om markanvändningskonflikt med skogsbruket, exempelvis genom att intervjua sakkunniga och skogsägare om vilka praktiska möjligheter och svårigheter som finns för att motivera skogsägare till att genomföra återvätning samt ställa om produktionen till paludikultur. Metoden för denna studie har fungerat väl för att definiera en konflikt i relation till klimatarbete och skogsproduktion, men saknar flera sociala och ekonomiska aspekter som påverkar utformningen av projekt för att adressera och lösa sådana konflikter.

5.3. Vilken potential har återvätning av dikad skogbeklädd torvmark som biologisk kolsänka inom Lunds kommun?

Kartläggningen över torvmarker inom Lunds kommun visade att det finns 2 370 hektar torvmark inom kommunen, varav 719 hektar är skogbeklädd där majoriteten är blöt. Resterande 195 hektar som är klassad som torr och är därmed av intresse för eventuell återvätning. I enlighet med Jordbruksverkets rekommendationer bör näringsrik torvmark prioriteras för att maximera klimatnyttan (Hjerpe et al., 2014). Det fanns inte möjlighet att inom denna studie utföra fältarbete, därmed antas kärrtorven vara näringsrik och mossetorven vara näringsfattig (se avsnitt 2.1.). Den ytliga torven är inte definierad som mossetorv eller kärrtorv och därmed är det svårt att göra antaganden om dess näringsstatus. Generellt genererar lövträd högre koncentration av kväve jämfört med barrträd (se avsnitt 4.2.) och på arealen av torr skogbeklädd torvmark inom kommunen var 74 % lövskog och 26 % barrskog (m³sk/hektar/år). Barrskog inkluderar gran (23%) och tall (3%) och det finns studier som visar att gran kan generera högre N₂O-utsläpp än tall (Menyailo & Huwe, 1999; von Arnold, Nilsson, et al., 2005). Detta indikerar att en relativt högre kvävehalt kan påträffas inom kommunen.

För att uppskatta växthusgasutsläppen från skogbeklädda dränerade torvmarker inom kommunen används emissionsfaktorer från tabell 3. Observera dock att dessa emissionsfaktorer är avsedda för uppskattning av utsläpp på nationell nivå, inte för enskilda projekt eftersom det finns stora lokala variationer. Värdena för Lunds kommun har därmed en viss osäkerhet och syftar endast till att vara en indikation som bör undersökas grundligare. Dessutom exkluderar emissionsfaktorer för återvätning eventuell trädvegetation som kan finnas vid torvmarken och det var inte möjligt att ange tiden det tar för att uppnå givet växthusgasutsläpp (Lindgren & Lundblad, 2014). Tabell 7 visar att störst

växthusgasutsläpp avges från den skogbeklädda torra kärrtorven, men störst procentuella reduktion sker vid återvätning av skogbeklädd mossetorv.

Tabell 7. Tabellen visar växthusgasutsläpp från torr skogbeklädd torvmark inom Lunds kommun. Emissionsfaktorerna som använts är från Lindberg och Lundblad (2014).

| Torv | Växthusgasutsläpp i dränerat tillstånd (ton CO ₂ -ekv.) | Växthusgasutsläpp i återvätt tillstånd (ton CO ₂ -ekv.) |
|--|--|--|
| Kärrtorv | 1 902 | 1 571 |
| Mossetorv | 7 | 1 |
| Ytlig torv, näringsrikt/näringsfattigt | 207 | 172 / 44 |

Sammanfattningsvis står cirka 2 % av skogen inom Lunds kommun på torra torvmarker och avger totalt 2 116 ton CO₂-ekv. Dessa miljöer är därmed en källa till växthusgaser och återvätning hade bidragit med en reduktion på ungefär 436 ton CO₂-ekv. Dock uttrycker Hjerpe et al. (2014) och Skogsstyrelsen (2019b) tveksamhet mot att en näringsrik våtmark i tempererat klimat skulle avge CO₂, förutsatt att vattennivå är stabil, vilket anges i tabell 3. Därmed använder Skogsstyrelsen (2019b) CO₂-emissionsfaktorn för motsvarande våt torvmark i borealt klimat, då återvätning istället leder till minskad CO₂-utsläpp. Används det i denna studie blir reduktion vid återvätning istället cirka 1 136 ton CO₂-ekv.. I båda beräkningarna har CO₂ minskat signifikant samtidigt som CH₄ har ökat markant.

Av Lunds kommuns totala växthusgasutsläpp (inklusive fler växthusgaser än CO₂, CH₄ och N₂O) utgör utsläppen från skogbeklädda torvmarker knappt 1 % (Neij et al., 2020). Denna studie har behandlat växthusgaser som avges direkt från torvmarken, men det finns andra utsläppskällor som kan adderas för att nyansera växthusgasbalansen från skogbeklädda torvmarker ytterligare. En sådan är CH₄-utsläpp från diken som skapas för att dränera torvmarker, se tabell 8 (Lai, 2009; Lindgren & Lundblad, 2014; Maljanen et al., 2010). Om detta adderas till växthusgasutsläppen från skogbeklädda torvmarker inom Lunds kommun blir det totalt 2136 CO₂-ekv.

Tabell 8. Tabellen visar emissionsfaktorn för diken i boreal zon. Enligt författarna Lindgren och Lundblad (2014) bör denna faktor används för hela Sverige. Hos en skogbeklädd organogen mark antas 2,5 % utgöras av diken. Med dessa värden har utsläpp från diken vid skogbeklädda torvmarker inom Lunds kommun beräknats och redovisas i tabellen. Värdena är avrundade uppåt.

| Utsläppskälla | Skogbeklädd dränerad organogen mark (CO ₂ -ekv. ton/ha/år) | Återvätt (CO ₂ -ekv. ton/ha) |
|----------------------|---|---|
| Diken, boreal zon | 0,1 | 0,0 |
| Diken i Lunds kommun | 19,5 | 0,0 |

Det finns stor potential för att utnyttja dränerade skogbeklädda torvmarker som biologiska kolsänkor genom återvätning i Lunds kommun, men inkluderas CH₄ och N₂O skulle dessa miljöer fortfarande avge växthusgaser vid återvätning, dock i mindre mängd jämfört med dränerat tillstånd. Det bör dock uppmärksammas att jordbruksmark på dränerad torvmark generellt släpper ut mer växthusgaser än samma mark med skog och eftersom nästan hälften av Lunds kommuns markyta utgörs av jordbruksmark (se figur 1) finns stor sannolikhet att dessa marker har större potential som växthusgaskälla (Hjerpe et al., 2014; SCB, 2015). Emellertid, om man sätter resultatet av denna studie i relation till kommunens klimatmål om att ha nära noll växthusgasutsläpp år 2050 kan de skogbeklädda dränerade torvmarkerna vara intressanta att undersöka vidare (Lunds kommun, 2017). Skogsstyrelsen (2019b) menar att återvätning som klimatåtgärd är särskilt effektivt i södra Sverige med tanke på dess varmare klimat, speciellt för torvmarker med minst 40 cm torv och god bördighet. Vid eventuell implementering av återvätning i Lunds kommun kan konflikt med skogsbruk förväntas uppkomma eftersom majoriteten av skogsmarken inom kommunen är klassad som produktiv (SCB, 2015).

En utveckling av denna studie hade varit att utföra fältarbete för att erhålla mer tillförlitlig data. Exempelvis kan näringsstatus bestämmas genom att mäta C/N ratio eller undersöka vegetation, till exempel är blåbär och lingon indikatorer på hög näringskoncentration (Lindgren & Lundblad, 2014). Datan om markfuktighet hade kunnat kontrolleras genom fältarbete samt kompletteras med att kartlägga dräneringskanaler (Hjerpe et al., 2014; Lindgren & Lundblad, 2014). På grund av osäkerheten i materialet samt brist på jämförbara exempel är det svårt att avgöra tillförlitligheten i resultatet. Idag sker restaurering av våtmarker främst i syfte att stödja biologisk mångfald och reducera näringsläckage (Klimatpolitiska vägvalsutredningen, 2020), så för att få mer kunskap om klimatpåverkan behöver återvätningsprojekt även utvärderas från ett klimatperspektiv.

5.4. Skogb eklädda torvmarker i relation till klimatförändringar och hållbar utveckling

Resultatet i denna studie motiverar att återvätning kan vara en del av klimatarbetet för att mildra klimatförändringar. Eftersom markägare kan förlora ekonomiskt på att restaurera dikade torvmarker får den offentliga sektorn större ansvar att påverka implementering av sådan åtgärd (Länsstyrelsen Skåne, 2018; Klimatpolitiska vägvalsutredningen, 2020). För att motivera och optimera återvätning bör fler miljömål än minskad klimatpåverkan inkluderas (Kløve et al., 2017). Exempelvis kan våtmarker enligt Seifollahi-Aghmiuni et al. (2019) beröra 10 av de 17 globala hållbarhetsmålen. Figur 4 visar exempel på ekosystemtjänster som restaurering av torvmarker kan skapa. Dock är en våt torvmark inte nödvändigtvis optimal ur ett miljöperspektiv men de potentiella nackdelarna är relativt få, exempelvis läckage av kvicksilver och fosfor (Hjerpe et al., 2014).



Figur 4. Bilden visar några ekosystemtjänster som en naturlig eller återvät torvmark kan underhålla (Page & Baird, 2016)

Eftersom denna studie har redovisat att det finns många faktorer att ta hänsyn till vid återvätning och att det inte finns ett tillvägagångssätt som är applicerbart överallt bör utformningen av en restaurering utgå från de lokala förhållandena (se avsnitt 4.3.). Kløve et al. (2017) föreslår att skapa en hanteringsplan genom att bland annat kartlägga torvmarken, karaktären av omkringliggande miljö och bedöma torvmarkens potentiella framtida användning. Skogb eklädda torvmarkers varierande potential för olika ändamål bör identifieras och hanteras därefter (Bergkvist, 2007; Kløve et al., 2017). En början på detta är exempelvis kartläggningen som utförts i denna studie.

För att skapa en hållbar långsiktig plan är det viktigt att erkänna och bemöta de sociala och ekonomiska konflikterna som kan uppstå vid hantering av skogbeväxtade torvmarker, exempelvis upplevelse av inskränkning i rätten av att ha tillgång och användning av naturresurser (FAO, 2014). Det kan relateras till social och ekonomisk hållbarhet som behövs för att nå hållbar utveckling. Denna studien har visat att dränering av torvmarker inte bidrar till hållbar utveckling utifrån ett klimatperspektiv, dock skapar dränering möjligheter för skogsproduktion vilket är en del av arbetet för hållbar utveckling. Således uppstår frågan kring vilka komplikationer som kan uppstå om stora hektar skogsproduktion skulle reduceras i samband med återvätning av näringsrika torvmarker i Sverige - vad detta har för konsekvenser för skogsägare, Sveriges ekonomi och klimatarbete med bortfall av skogsprodukter för att substituera fossila material. Därtill finns det starka argument för att skogsprodukter odlade på dränerade torvmarker inte genererar stor klimatnytta, vilket skapar en komplex frågeställning utan självklara svar.

För att kunna utforma långsiktiga planer behövs även kunskap om hur klimatförändringar kan komma att påverka torvmarkernas ekosystem (Bergkvist, 2007). För Sverige förutspås exempelvis att temperaturökningen kommer skapa längre växtsäsong, vilket kan utnyttjas för att skapa ett större CO₂-upptag om skogsbruket anpassas (Eriksson et al., 2015; Lavoie, 2005). Men samtidigt ökar mikrobiell respiration och evapotranspiration vilket genererar CO₂-utsläpp samt sänker vattennivån (Gallego-Sala et al., 2016; Lavoie, 2005). Parallellt försämras förutsättningarna för torvmarksväxter som stimulerar kolinlagring via torvbildning. Vidare förväntas nederbörden att öka men med inslag av kraftigt regn och torka, vilket påverkar vattennivån i torvmarkerna (Eriksson et al., 2015). Det finns således risk att klimatförändringarna leder till att mer växthusgaser avges från torvmarker och att en feedback-loop skapas då effekten förstärker klimatförändringarna ytterligare, som i sin tur stimulerar ännu mer växthusgasutsläpp (Gallego-Sala et al., 2016). Klimatförändringar kommer även påverka ekosystemtjänster från torvmarker (Gallego-Sala et al., 2016).

Det finns dock torvmarker som existerat under flera hundra år och därmed överlevt tidigare förändringar (Gallego-Sala et al., 2016). Spår efter historien finns lagrad i torv (pollenanalys) vilket kan redovisa till exempel förändring i artsammansättning som kan relateras till miljöförändringar. Det finns således möjlighet att torvmarker har resiliens mot klimatförändringar (Page & Baird, 2016). Anpassningsförmågan är starkare om förändringen sker gradvis under lång tid och om torvmarken inte har blivit störd av exempelvis dränering (Froking et al., 2011; Gallego-Sala et al., 2016; Page & Baird, 2016). För att skapa en tydligare bild av framtiden behövs mer forskning om vad som stimulerar stabiliserande respektive destabiliserande mekanismer mot klimatförändringar (Froking et al., 2011; Page & Baird, 2016). Framtiden för torvmarker är således oklar, men tydligt är att skogbeväxtade torvmarker har en roll att spela i klimatarbetet.

Slutsats

Denna studie har sammanställt befintlig kunskap som visar att dikade skogbeklädda torvmarker generellt är en källa till växthusgaser (gällande CO₂, CH₄ och N₂O). Återväts dikade torvmarker kan växthusgasutsläppen totalt minska, trots ökade utsläpp av CH₄. Hur stor reduktionen av växthusgaser blir beror på den lokala vattennivån, växtsamhället, klimat samt jordens karaktär. Har torvmarken påverkats kraftigt av antropogen aktivitet försvåras arbetet. Dock kan det ändå vara en kostnadseffektiv åtgärd för att minska växthusgasutsläpp som dessutom kan skapa synergier med andra ekosystemtjänster och miljömål.

Återvätning av skogbeklädda torvmarker kan skapa konflikter med skogsbruket då en förhöjd vattennivå kan reducera produktionen. Ur ett klimatperspektiv finns argument för att mer klimatnytta genereras om torvmarker restaureras jämfört med att odla skogsprodukter på dikad torvmark. Återvätning kan skapa en ekonomisk förlust för markägaren vilket skapar behov av bland annat mer kunskap och praktiska exempel av alternativ som paludikultur, där behov av produktion och klimatarbete skulle kunna förenas.

Ett första steg i en eventuell planering för att integrera återvätning av dränerade skogklädda torvmarker i miljö-och klimatarbetet samt uppskatta dess potential som klimatåtgärd är att genomföra en kartläggning av dessa områden, vilket har gjorts i denna studie för Lunds kommun. I en kommun med en låg andel skogsmark blir följaktligen växthusgasutsläppen inte enorma, men då Lunds kommun har klimatmål om att ha nära noll utsläpp år 2050 är återvätning av dikade skogbeklädda torvmarker intressant för att optimera möjligheterna att nå detta mål.

Tack

Ett stort tack till min handledare Yann Clough för värdefullt stöd och rådgivning under hela arbetet. Tack till Kristina Fontell och Linda Birkedal från Lunds kommun för att jag fick möjligheten att genomföra denna studie med ert intresse och stöd. Tack till Madeleine Brask från Miljöbron Skåne för samordning av projektet samt goda råd och uppmuntran under processen. Jag vill även tacka Åsa Kasimir och Hillevi Eriksson för er tid och hjälp att besvara frågor om växthusgasutsläpp från skogbeklädda torvmarker.

Referenser

- Al-Ghussain, L. (2019). Global Warming: Review on Driving Forces and Mitigation. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 38(1), 13-21. DOI 10.1002/ep
- ArcGIS. (2012, Mars 20). *Sveriges kommungränser från SCB*.
<https://www.arcgis.com/home/item.html?id=41f5d23fef8f410590f2d934c7dba81a>
- Aurangojeb, M., Klemedtsson, L., Rütting, T., He, H., Weslien, P., Banzhaf, S., & Kasimir, Å. (2017). Nitrous oxide emissions from Norway spruce forests on drained organic and mineral soil. *Canadian Journal of Forest Research*, 47(11), 1482–1487. [dx.doi.org/10.1139/cjfr-2016-0541](https://doi.org/10.1139/cjfr-2016-0541)
- Bergkvist, B. (2007). *Kolet, klimatet och skogen - Så kan skogsbruket påverka*. LUSTRA. <https://www.mistra.org/wp-content/uploads/2017/10/LUSTRASkogskla%CC%88ddaTorvta%CC%88cktaMarker2007.pdf>
- Berg, B. & Staaf, H. (1980). Decomposition rate and chemical changes of Scots pine needle litter. II. Influence of chemical composition. *Ecological Bulletin*, 32, 373–390. <https://www-jstor-org.ludwig.lub.lu.se/stable/2011282>
- Björheden, R. (2019). *Det svenska skogsbrukets klimatpåverkan - Upptag och utsläpp av växthusgasen koldioxid*. Skogsforsk. https://www.skogforsk.se/cd_20190523090341/contentassets/4b4b423402784d658204a7784723637b/det-svenska-skogsbrukets-klimatpaverkan.pdf
- Couwenberg J., Thiele A., Tanneberger F., Augustin J., Bärish S., Dubovik D., Liashchinskaya N., Michaelis D., Minke M., Skuratovich A. & Joosten H. (2011). Assessing greenhouse gas emissions from peatlands using vegetation as a proxy. *Hydrobiologia* 674, 67–89. DOI 10.1007/s10750-011-0729-x
- Côté, L., Brown, S., Paré, D., Fyles, J. & Bauhus, J. (2000). Dynamics of carbon and nitrogen mineralization in relation to stand type, stand age and soil texture in the boreal mixedwood. *Soil Biology & Biochemistry*, 32, 1079-1090. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00017-1](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00017-1)
- Dixon, R. K., Brown, S., Houghton, R. A., Solomon, A. M., Trexler M. C. & Wisniewski J. (1994). Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems. *Science New Series*, 263(5144), 185-190. <https://www-jstor-org.ludwig.lub.lu.se/stable/2882371>
- Eriksson, H., Hazell, P. & Wågberg, P. (2015). *Skogen i ett varmare klimat*. Skogsstyrelsen. <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/miljo-och-klimat/skog-och-klimat/skogen-i-ett-varmare-klimat.pdf>
- FAO. (2012). Peatlands - guidance for climate change mitigation through conservation, rehabilitation and sustainable use. In H. Joosten, M-L. Tapio-Biström & S. Tol

- (Eds.), *Mitigation of climate change in agriculture series 5* (2nd ed.). Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations & Wetlands International
- FAO. (2014). Towards climate-responsible peatlands management. In R. Biancalani & A. Avagyan (Eds.), *Mitigation of climate change in agriculture series 9*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations
- Field, C. B. (2001). Plant Physiology of the “Missing” Carbon Sink. *Plant Physiology*, 125(1), 25-28. DOI: 10.1104/pp.125.1.25
- Firestone, M.K. & Davidson, E.A. (1989). Microbiological basis of NO and N₂O production and consumption in soil. In M.O. Andreae & D.S. Schimel (Eds.), *Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere*, 47, 7–21.
- Froking, S., Talbot, J., Jones, M.C., Treat, C.C., Kauffman, J. B., Tuittila, E-S. & Roulet, N. (2011). Peatlands in the Earth's 21st century climate system. *Environmental Reviews*, 19, 371–396. DOI: 10.1139/A11-014.
- Gallego-Sala, A.V., Booth, R.K., Charman, D.J., Prentice, I.C. & Yu, Z. (2016). Peatlands and climate change. In A. Bonn, T. Allott, M. Evans, H. Joosten & R. Stoneman (Eds.), *Peatland Restoration and Ecosystem Services* (pp. 129-150). Cambridge University Press. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1017/CBO9781139177788>
- Global Monitoring Laboratory. (2020, April 6). *Trends in Atmospheric Carbon Dioxide*. Earth System Research Laboratories Global Monitoring Laboratory. <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>
- Gunnarsson, U. & Löfroth, M. (2009). *Våtmarksinventeringen – resultat från 25 års inventeringar* (Rapport 5925). Naturvårdsverket. <https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/978-91-620-5925-5.pdf>
- Hjerpe, K., Eriksson, H., Kanth, M., Boström, B., Berglund, K., Berglund, Ö., Lundblad, M., Kasimir, Å., Klemedtsson, L., Eksvärd, J., Lindgren, A. & Svensson, E. (2014). *Utsläpp av växthusgaser från torvmark* (Rapport 2014:24). Jordbruksverket. https://www2.jordbruksverket.se/download/18.64f2616c14acd372c5c4391c/1420810674894/ra14_24.pdf
- He, H., Jansson, P-E., Svensson, M., Björklund, J., Tarvainen, L., Klemedtsson, L. & Kasimir, Å. (2016). Forests on drained agricultural peatland are potentially large sources of greenhouse gases – insights from a full rotation period simulation. *Biogeosciences*, 13, 2305–2318. doi:10.5194/bg-13-2305-2016.
- He, H., Jansson, P-E., Svensson, M., Meyer, A., Klemedtsson, L. & Kasimir, Å. (2016). Factors controlling Nitrous Oxide emission from a spruce forest ecosystem on drained organic soil, derived using the CoupModel. *Ecological Modelling*, 321, 46–63. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.10.030>
- Huth, V., Hoffmann, M., Bereswill, S., Popova, Y., Zak, D. & Augustin, J. (2018). The climate warming effect of a fen peat meadow with fluctuating water table is reduced by young alder trees. *Mires and Peat*, 21(4), 1–18. DOI: 10.19189/MaP.2017.OMB.291
- IPCC. (2018). *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., Zhai, P., Pörtner, H.-O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P.R., Pirani, A., Moufouma-Okia, W., Péan, C. Pidcock, R. Connors, S., Matthews, J.B.R., Chen, Y., Zhou, X., Gomis, M.I., Lonnoy, E., Maycock, T., Tignor, M. & Waterfield, T. (Eds.)]. In Press.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf

- Johansson, M.B. (1995). The chemical composition of needle and leaf litter from Scots pine Norway spruce and white birch in Scandinavian forests. *Forestry*, 68(1), 49–62. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1093/forestry/68.1.49>
- Joosten, H., Gaudig, G., Tanneberger, F., Wichmann, S. & Wichtmann, W. (2016). Paludiculture: sustainable productive use of wet and rewetted peatlands. In A. Bonn, T. Allott, M. Evans, H. Joosten & R. Stoneman (Eds.), *Peatland Restoration and Ecosystem Services* (pp. 339-357). Cambridge University Press. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1017/CBO9781139177788>
- Juutinen, S., Moore, T.R., Bubier, J.L., Arnkil, S., Humphreys, E., Marincak, B., Roy, C. & Larmola, T. (2018). Long-term nutrient addition increased CH₄ emission from a bog through direct and indirect effects. *Scientific Reports*, 8(1), 3838. DOI:10.1038/s41598-018-22210-2
- Karki, S., Elsgaard, L., Kandel, T. P. & Lærke, P. E. (2016). Carbon balance of rewetted and drained peat soils used for biomass production: a mesocosm study. *Global Change Biology Bioenergy*, 8, 969–980. doi: 10.1111/gcbb.12334
- Karki, S., Kandel, T.P., Elsgaard, L., Labouriau, R. & Lærke, P.E. (2019). Annual CO₂ fluxes from a cultivated fen with perennial grasses during two initial years of rewetting. *Mires and Peat*, 25(1), 1-22. DOI: 10.19189/MaP.2017.DW.322
- Kasimir, A., He, H.X., Coria, J. & Norden, A. (2018). Land use of drained peatlands: Greenhouse gas fluxes, plant production, and economics. *Global Change Biology*, 24, 3302–3316. DOI: 10.1111/gcb.13931
- Kasimir-Klemedtsson, Å., Nilsson, M., Sundh, I. & Svensson, B. (2000). In Å. Kasimir-Klemedtsson & M. Lilliesköld (Eds.), *Växthusgasflöden från myrar och organogena jordar* (Rapport 5132). Naturvårdsverket. <http://www.naturvardsverket.se/documents/publikationer/620-6160-7.pdf>
- Klemedtsson, L., von Arnold, K., Weslien, P. & Gundersen P. (2005). Soil CN ratio as a scalar parameter to predict nitrous oxide emissions. *Global Change Biology*, 11, 1142–1147. doi: 10.1111/j.1365-2486.2005.00973.x
- Kløve, B., Berglund, K., Berglund, O., Weldon, S. & Maljanen, M. (2017). Future options for cultivated Nordic peat soils: Can land management and rewetting control greenhouse gas emissions?. *Environmental Science & Policy* 69, 85-93. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.12.017>
- Korkiakoski, M., Tuovinen, J.-P., Penttilä, T., Sarkkola, S., Ojanen, P., Minkkinen, K., Rainne, J., Laurila, T. & Lohila, A. (2019). Greenhouse gas and energy fluxes in a boreal peatland forest after clear-cutting. *Biogeosciences*, 16, 3703–3723. <https://doi.org/10.5194/bg-16-3703-2019>

- Klimatpolitiska vägvalsutredningen. (2020). *Vägen till en klimatpositiv framtid* (SOU 2020:4). Miljödepartementet.
<https://www.regeringen.se/48ec20/contentassets/1c43bca1d0e74d44af84a0e2387bfbcc/vagen-till-en-klimatpositiv-framtid-sou-20204>
- Lai, D.Y.F. (2009). Methane Dynamics in Northern Peatlands: A Review. *Pedosphere*, 19(4), 409–421. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(09\)00003-4](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(09)00003-4)
- Lavoie, M., Paré, D. & Bergeron, Y. (2005). Impact of global change and forest management on carbon sequestration in northern forested peatlands. *Environmental Reviews*, 13(4), 199-240. doi: 10.1139/A05-014
- Lindgren, A & Lundblad, M. (2014). *Towards new reporting of drained organic soils under the UNFCCC – assessment of emission factors and areas in Sweden* (Rapport 14). Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU).
https://pub.epsilon.slu.se/11172/11/lindgren_a_lundblad_m_140512.pdf
- Lunds kommun. (2017). *LundaEko II Lunds kommuns program för ekologiskt hållbar utveckling 2014-2020*.
https://www.lund.se/globalassets/regelsamling/miljo_och_halsa/lundaeko-ii-antagen-kf-2017-10-26.pdf
- Länsstyrelsen Skåne. (2018). *Ett klimatneutralt och fossilbränslefritt Skåne. Klimat- och energistrategi för Skåne* (Rapport 2018:17.). Länsstyrelsen Skåne. Diarienummer: 420-35247-2017.
<https://www.lansstyrelsen.se/download/18.2e0f9f621636c84402734c0d/1582108728580/Klimat-%20och%20energistrategi%20%C3%B6r%20Sk%C3%A5ne.pdf>
- Länsstyrelsen Skåne. (u.å.). *Markavvattning och diken*. Hämtad April 21, 2020, från <https://www.lansstyrelsen.se/skane/miljo-och-vatten/vattenverksamhet/vagledning-for-olika-vattenverksamheter/markavvattning-och-diken.html#0>
- Maljanen, M., Sigurdsson, B. D., Guðmundsson, J., Óskarsson, H., Huttunen, J. T. & Martikainen, P. J. (2010). Greenhouse gas balances of managed peatlands in the Nordic countries - present knowledge and gaps. *Biogeosciences*, 7, 2711–2738. doi:10.5194/bg-7-2711-2010
- McClaugherty, C. & Berg, B. (1987). Cellulose, lignin and nitrogen levels as rate regulating factors in forest litter decomposition. *Pedobiologia* 30, 101–112.
- Menyailo, O.V., Hungate, B.A. & Zech, W. (2002). Tree species mediated soil chemical changes in a Siberian artificial afforestation experime. *Plant and Soil*, 242(2), 171-182. <https://www.jstor.org/stable/24122572>
- Menyailo, O.V. & Huwe, B. (1999). Activity of denitrification and dynamics of N₂O release in soils under six tree species and grassland in central Siberia. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 162(5), 533–538. DOI: 10.1002/(SICI)1522-2624(199910)162:5<533::AID-JPLN533>3.3.CO;2-2
- Minkinen, K., Laine, J. & Hökkä, H. (2001). Tree Stand Development and Carbon Sequestration in Drained Peatland Stands in Finland – a Simulation Study. *Silva Fennica*, 35(1), 55–69. DOI: 10.14214/sf.603
- Myhre, G., Shindell, D., Bréon, F.-M., Collins, W., Fuglestedt, J., Huang, J., Koch, D., Lamarque, J.-F., Lee, D., Mendoza, B., Nakajima, T., Robock, A., Stephens, G., Takemura, T. & Zhang, H. (2013). Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In

- T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex & P.M. Midgley (Eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis* (pp. 659 -740). Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment. Cambridge University Press.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf
- Naturvårdsverket. (2019a, September 9). *Sveriges rapportering till FN:s klimatkonvention*. <https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/EU-och-internationellt/Internationellt-miljoarbete/miljokonventioner/Klimatkonventionen/Sveriges-rapportering-till-fns-klimatkonvention/>
- Naturvårdsverket. (2019b). *National Inventory Report Sweden 2019. Greenhouse Gas Emission Inventories 1990-2017 Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol*.
<https://www.naturvardsverket.se/upload/miljoarbete-i-samhallet/internationellt-miljoarbete/miljokonventioner/FN/nir-sub-15-april.pdf>
- Naturvårdsverket. (2019c, Maj 19). Markfuktighetsindex_NMD.
<https://metadatakatalogen.naturvardsverket.se/metadatakatalogen/GetMetaDataById?id=cae71f45-b463-447f-804f-2847869b19b0>
- Neij, L., Alkan Olsson, J., Hiselius, L., Rummukainen, M., Hildingsson, R., Andersson, F.N.G., Peterson, A. & Sternudd, C. (2020). *Lunds Kommuns Klimatpolitiska Råd* (Rapport 2020). Lunds Kommuns Klimatpolitiska Råd.
<https://www.lund.se/contentassets/9b2829c0c9cf4de8b98eff406bb5fd61/klimatpolitiska-radets-arsrapport-2020.pdf>
- Norberg, L., Berglund, Ö. & Berglund, K. (2018). Impact of drainage and soil properties on carbon dioxide emissions from intact cores of cultivated peat soils. *Mires and Peat*, 21(3), 1–14. DOI: 10.19189/MaP.2017.OMB.284
- Osterloh, K., Tauchnitz, N., Spott, O., Hepp, J., Bernsdorf, S. & Meissner, R. (2018). Changes of methane and nitrous oxide emissions in a transition bog in central Germany (German National Park Harz Mountains) after rewetting. *Wetlands Ecology and Management*, 26, 87–102. <https://doi.org/10.1007/s11273-017-9555-x>
- O'Sullivan, R & Emmer, I. (2011). Selling peatland rewetting on the voluntary carbon market. In F. Tanneberger & W. Wichtmann (Eds.), *Carbon credits from peatland rewetting* (pp. 94-99). Schweizbart Science Publishers.
- Page, S. E. & Baird, A. J. (2016). Peatlands and Global Change: Response and Resilience. In A. Gadgil & T.P. Gadgil (Eds.), *Annual Review of Environment and Resources* (Vol 41, pp. 35–57). doi: 10.1146/annurev-environ-110615-085520
- Regeringskansliet. (2017, Juni 12). *Det politiska ramverket*.
<https://www.regeringen.se/artiklar/2017/06/det-klimatpolitiska-ramverket/>
- Regina, K., Nykänen, H., Silvola, J. & Martikainen, P.J. (1996). Fluxes of Nitrous Oxide from Boreal Peatlands as Affected by Peatland Type, Water Table Level and Nitrification Capacity. *Biogeochemistry*, 35(3), 401-418.
<https://www.jstor.org/stable/1469290>
- Rydin, H. & Jeglum, J.K. (2013). *The biology of peatlands* (2nd ed.). Oxford University Press.

- SCB. (2015). *Markanvändningen i Sverige efter kommun och markanvändningsklass. Vart 5:e år 2010 - 2015*. Statistiska Centralbyrån. Hämtad Mars 30, 2020, från http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__MI__MI0803__MI0803A/MarkanvKn/?rxid=becea254-5421-4597-a048-306c00f6acdd
- SCB. (2018). *Utsläpp av växthusgaser från inrikes transporter efter växthusgas, transportslag och år*. Statistiska Centralbyrån. Hämtad Mars 30, 2020, från http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__MI__MI0107/MI0107InTransp/table/tableViewLayout1/
- SCB. (2019). *Markanvändningen i Sverige (7th ed.)*. https://www.scb.se/contentassets/ea00bda68634c1dbdec1bb4f6705557/mi0803_2015a01_br_mi03br1901.pdf
- SGU. (u.å.). *Torv – från sjö till torvmark*. Sveriges Geologiska Undersökning. Hämtad April 21, 2020, från <https://www.sgu.se/om-geologi/jord/fran-istid-till-nutid/erosion-och-igenvaxning/torv-fran-sjo-till-torvmark/>
- Seifollahi-Aghmiuni, S., Nockrach, M. & Kalantari, Z. (2019). The Potential of Wetlands in Achieving the Sustainable Development Goals of the 2030 Agenda. *Water*, 11 (3), 609. doi:10.3390/w11030609
- Skogsstyrelsen. (2019a). *Skogsskötsel med nya möjligheter (Rapport 2019/24)*. Samverkansprocess skogsproduktion. <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/om-oss/publikationer/2019/rapport-2019-24-skogsskotsel-med-nya-mojligheter.pdf>
- Skogsstyrelsen. (2019b). *Sammanfattning av kunskapsläget kring klimatpåverkan av dikning respektive återvätning av skogsmark (inkl övergiven jordbruksmark)*. Diarienummer 2018/5027.
- Skogsstyrelsen. (u.å.). *Skånes Distrikt*. Hämtad April 21, 2020, från <https://www.skogsstyrelsen.se/om-oss/organisation/vara-distrikt/skanes-distrikt/>
- SLU. (2020, Maj 5). *Sök digitala kartor och geodata*. Sveriges Lantbruksuniversitet. <https://www.slu.se/site/bibliotek/anvanda-biblioteket/soka/digitala-kartor/>
- SMHI. (2019, December 6). *Skånes klimat*. Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/klimatet-i-sveriges-landskap/skanes-klimat-1.4827>
- Smith, T.M. & Smith, R.L. (2015). *Elements of Ecology (9th ed.)*. Pearson Education. ISBN 978-0-321-93418-5
- Ström, L., Lamppa, A. & Christensen, T. R. (2007). Greenhouse gas emissions from a constructed wetland in southern Sweden. *Wetlands Ecology and Management*, 15(1), 43–50. DOI 10.1007/s11273-006-9010-x
- Tauchnitz, N., Spottb, O., Russowb, R., Bernsdorfc, S., Glaserc, B. & Meissnerc, R. (2015). Release of nitrous oxide and dinitrogen from a transition bog under drained and rewetted conditions due to denitrification: results from a [15N]nitrate–bromide double-tracer study. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 51(2), 300–321. <http://dx.doi.org/10.1080/10256016.2015.1011634>

- United Nations. (1992). *United Nations Framework Convention on Climate Change*. New York: United Nations, General Assembly.
<https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>
- van der Nat, F.-J. & Middelburg J.J. (2000). Methane emission from tidal freshwater marshes. *Biogeochemistry*, 49(2), 103–121. <https://www.jstor-org.ludwig.lub.lu.se/stable/1469380>
- van Kooten, G.C. (2009). Biological carbon sequestration and carbon trading re-visited. *Climatic Change*, 95, 449–463. DOI 10.1007/s10584-009-9572-8
- Vasander, H., Tuittila, E.S., Lode, E., Lundin, L., Ilomets, M., Sallantausta, T., Heikkilä, R., Pitkanen, M.L. & Laine, J. (2003). Status and restoration of peatlands in northern Europe. *Wetlands Ecology and Management*, 11, 51–63. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1023/A:1022061622602>
- Vanselow-Algan, M., Schmidt, S.R., Greven, M., Fiencke, C., Kutzbach, L. & Pfeiffer, E.-M. (2015). High methane emissions dominate annual greenhouse gas balances 30 years after bog rewetting. *Biogeosciences*, 12, 4361–4371.
- von Arnold, K., Nilsson, M., Hanell, B., Weslien, P. & Klemedtsson, L. (2005). Fluxes of CO₂, CH₄ and N₂O from drained organic soils in deciduous forests. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(6), 1059–1071. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.11.004>
- von Arnold, K., Weslien, P., Nilsson, M., Svensson, B.H. & Klemedtsson, L. (2005). Fluxes of CO₂, CH₄ and N₂O from drained coniferous forests on organic soils. *Forest Ecology and Management*, 210(1-3), 239–254. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.02.031>
- Wedderburn, M.E. & Carter J. (1999). Litter decomposition by four functional tree types for use in silvopastoral systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 31, 455–461. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(98\)00151-5](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(98)00151-5)
- Wilson, D., Blain, D., Couwenberg, J., Evans, C.D., Murdiyarso, D., Page, S.E., Renou-Wilson, F., Rieley, J.O., Sirin, A., Strack, M. & Tuittila, E.-S. (2016). Greenhouse gas emission factors associated with rewetting of organic soils. *Mires and Peat*, 17(4), 1–28. DOI: 10.19189/MaP.2016.OMB.222
- Withgott, J. & Laposata, M. (2015). *Environment: The Science Behind the Stories* (5th ed.). Johannesburg: MTM
- Zak, D., Goldammer, T., Cabezas, A., Gelbrecht, J., Gurke, R., Wagner, C., Reuter, H., Augustin, J., Klimkowska, A. & McInnes, R. (2017). Top soil removal reduces water pollution from phosphorus and dissolved organic matter and lowers methane emissions from rewetted peatlands. *Journal of Applied Ecology*, 55(1), 311–320. DOI: 10.1111/1365-2664.12931

Bilaga 1

1.1. Emissionsfaktorer

Här presenteras värdet för 95-procentigt konfidensintervall för de emissionsfaktorer som används för CO₂, N₂O och CH₄ vid dränerad av skogbevädd torvmark (tabell 1) samt återvätningsfaktor (tabell 2) enligt en rapport av Lindgren och Lundblad (2014). Lindgren och Lundblad (2014) har rekommenderat emissionsfaktorer för skogbevädda torvmarker i Sverige genom att ha sammanställt flera svenska studier och jämfört med andra sammanställningar samt Förenta Nationernas klimatpanels rekommendationer. Dessa emissionsfaktorer användes i denna studie i avsnitt 4.2. och avsnitt 5.3.

Tabell 1. Tabellen visar 95-procentigt konfidensintervall för emissionsfaktorer för växthusgaser från dränerad organogen skogsmark i olika klimatzoner och näringsstatus (Lindgren & Lundblad, 2014). (+) indikerar utsläpp och (-) indikerar upptag.

| Klimat, näringsstatus | Emissionsfaktor (ton CO ₂ -C/ha/år) (kg N ₂ O-N/ha/år) (kg CH ₄ /ha/år) | Konfidensintervall (95%) | Mätplatser (n) |
|----------------------------------|---|-----------------------------|----------------|
| Boreal zon, näringsrik | CO ₂ 0.93 | 0.54 – 1.3 | 62 |
| | N ₂ O 3.2 | 1.9 - 4.5 | 75 |
| | CH ₄ 2.0 | -1.6 – 5.5 | 83 |
| Boreal zon, näringsfattig | CO ₂ 0.25 | -0.23 – 0.73 | 59 |
| | N ₂ O 0.22 | 0.15 - 0.28 | 43 |
| | CH ₄ 7.0 | 2.9 – 11.0 | 47 |
| Tempererad zon, näringsrik | CO ₂ 2.6 | 2.0 – 3.3 | 8 |
| | N ₂ O 2.8 | -0.57 - 6.1 | 13 |
| | CH ₄ 3.1 | -4.6 – 16 | 25 |
| Tempererad zon, näringsfattig | CO ₂ 2.6 | 2.0 – 3.3 | 8 |
| | N ₂ O 2.8 | -0.57 - 6.1 | 13 |
| | CH ₄ 3.1 | -4.6 – 16 | 25 |

Tabell 2. Tabellen visar 95-procentigt konfidensintervall för emissionsfaktorer för växthusgaser vid återvätdad organogen mark i olika klimatzoner och näringsstatus (Lindgren & Lundblad, 2014). (+) indikerar utsläpp och (-) indikerar upptag.

| Klimat, näringsstatus | Emissionsfaktor (ton CO ₂ -C/ha/år) (kg N ₂ O-N/ha/år) (kg CH ₄ /ha/år) | Konfidensintervall (95%) | Mätplatser (n) |
|----------------------------------|---|-----------------------------|----------------|
| Boreal zon, näringsrik | CO ₂ -0.55 | -0.77 – -0.34 | 39 |
| | N ₂ O CH ₄ 183 | 0 – 657 | 35 |
| Boreal zon, näringsfattig | CO ₂ -0.34 | -0.59 – -0.09 | 26 |
| | N ₂ O CH ₄ 55 | 0.6 – 328 | 39 |
| Tempererad zon, näringsrik | CO ₂ 0.5 | -0.71 – +1.71 | 15 |
| | N ₂ O CH ₄ 288 | 0 – 1141 | 37 |
| Tempererad zon, näringsfattig | CO ₂ -0.23 | -0.64 – +0.18 | 43 |
| | N ₂ O CH ₄ 123 | 4 – 593 | 42 |



LUNDS
UNIVERSITET

WWW.CEC.LU.SE
WWW.LU.SE

Lunds universitet

Miljövetenskaplig utbildning
Centrum för miljö- och
klimatforskning
Ekologihuset
223 62 Lund